



28
20j
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMI-
NADO TEPEXTITLA EN LA CUENCA DEL
ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEX.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A:

LUIS ARTURO TAPIA CRESPO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-156

ANEXO

Señor TAPIA CRESPO LUIS ARTURO.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Ing. - Mariano Ruiz Vázquez, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOLOGO.

"ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEXITLA EN LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO"

- I GENERALIDADES.
 - II GEOLOGIA REGIONAL.
 - III ASPECTOS GEOTECNICOS DEL PROYECTO.
 - IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- BIBLIOGRAFIA.
ANEXOS.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con 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 Coordinación de la Administración -- Escolar 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., Junio 8 de 1984.
EL DIRECTOR

Dr. Octavio M. Rascón Chávez

54/
QARCH'MRV:gtg

I N D I C E

CAPITULO	I	GENERALIDADES	1
	I.1	Introducción	1
	I.2	Antecedentes	1
	I.3	Objetivo del Estudio	4
	I.4	Localización y Vías de Comunicación	4
	I.5	Climatología	5
	I.6	Método de Trabajo	7
	I.7	Características Generales del Proyecto	9
CAPITULO	II	GEOLOGIA REGIONAL	13
	II.1	Fisiografía	13
	II.2	Hidrografía	15
	II.3	Geomorfología	17
	II.4	Estratigrafía	18
	II.5	Tectónica General	42
	II.6	Sismicidad	48
	II.7	Geología Histórica	49
CAPITULO	III	ASPECTOS GEOTECNICOS DEL PROYECTO	53
	III.1	Exploraciones Directas (Perforaciones)	53
	III.2	Geofísica	69
	III.3	Características Físicas y Mécánicas de las Rocas	75
	III.4	Geología	90
	III.4.1	Geología de la Boquilla	90

III.4.2	Geología del Vaso	96
III.5	Geología de las Obras Auxiliares	100
III.5.1	Vertedor de Excedencias	100
III.5.2	Obra de Desvío y Obra de Toma	101
III.6	Bancos de Materiales	103
III.6.1	Banco de Material Impermeable	106
III.6.2	Banco de Material Permeable	108
III.6.3	Banco de Roca	109
CAPITULO IV	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
	Conclusiones	111
	Recomendaciones	115
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXO ESFUERZO CORTANTE	
	ANEXO FOTOGRAFICO	
	ANEXO PETROGRAFICO	

RELACION DE FIGURAS, TABLAS Y PLANOS

Figura No. 1	Cuencas Hidrológicas del Centro de México.
Figura No. 2	Plano de Ubicación de los Proyectos Almoloya, Almoloya II y Tepextitla.
Figura No. 3	Localización del Proyecto Tepextitla.
Figura No. 4	Mapa Climatológico de la Región de Zacualpan- Sultepec-Ixtapan de la Sal
Figura No. 5	Provincias Fisiográficas del Centro de México.
Figura No. 6	Plano Hidrológico.
Figura No. 7	Tabla de Correlación Estratigráfica
Figura No. 8	Evolución Geodinámica Jurásico-Cretácico.
Figura No. 9	Zona Interna (Arco insular-mar marginal) y Zona Externa (Plataforma) del Jurásico-Cretácico.

- Figura No. 10 Epicentros de Sismos dentro del Area del Proyecto.
Figura No. 11 Carta Sísmica de México.
Figura No. 12 Sección Litológica de la Formación Cuernavaca.

Tabla No. 1 Resumen de Características.

- Plano No. 1 Esquema General Presa Tepextitla.
Plano No. 2 Perfil de Exploración Directa.
Plano No. 3 Secciones Geoelectricas de Resistividad.
Plano No. 4 Análisis de Estabilidad de Taludes.
Plano No. 5 Plano Geológico.
Plano No. 6 Bancos de Materiales.

ANEXO PETROGRAFICO

- | | |
|--------------|-------------------------|
| Lámina No. 1 | Pizarra. |
| Lámina No. 2 | Arenisca Metamorfizada. |
| Lámina No. 3 | Esquisto de Sericita. |
| Lámina No. 4 | Toba Arcillosa. |
| Lámina No. 5 | Pórfido Riolítico. |

I.1 INTRODUCCION

El aumento creciente de los habitantes en la ciudad de México y áreas adyacentes, ha originado el incremento de todos los servicios que requiere una población urbana de las mayores del mundo.

Dentro de estos servicios, se encuentra el suministro de agua potable, cuya demanda creciente, implica en un futuro inmediato -- conducir el líquido desde cuencas vecinas a la de México evitando en lo posible, la sobreexplotación perjudicial de los acuíferos - que actualmente surten precariamente al Area Metropolitana (Figura No. 1).

La Comisión de Aguas del Valle de México (C.A.V.M.), dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos --- (S.A.R.H.), realiza los estudios para determinar la factibilidad geológica de almacenamiento hidráulico en diversos sitios de la - Cuenca del Alto Amacuzac que servirán para incrementar el abastecimiento de agua a la Ciudad de México.

El presente estudio contempla la posibilidad geológica de -- construcción de una presa de almacenamiento sobre el arroyo Almoloya, sobre el sitio denominado Tepexitla en el Estado de México.

I.2 ANTECEDENTES

El estudio de factibilidad para la construcción de una presa de almacenamiento sobre el arroyo Almoloya, dió inicio por parte de la Comisión de Aguas del Valle de México en el año de 1977, --

mediante el "Estudio Geológico Superficial a Detalle de la Boquilla y Vaso denominado Almoloya", ubicado aproximadamente a 5 Km. aguas arriba del eje propuesto en el presente trabajo y realizado por el Departamento de Geología, dirigido por el Ing. Alfonso Torres H., perteneciente a la Dirección de Aguas Subterráneas de la propia comisión.

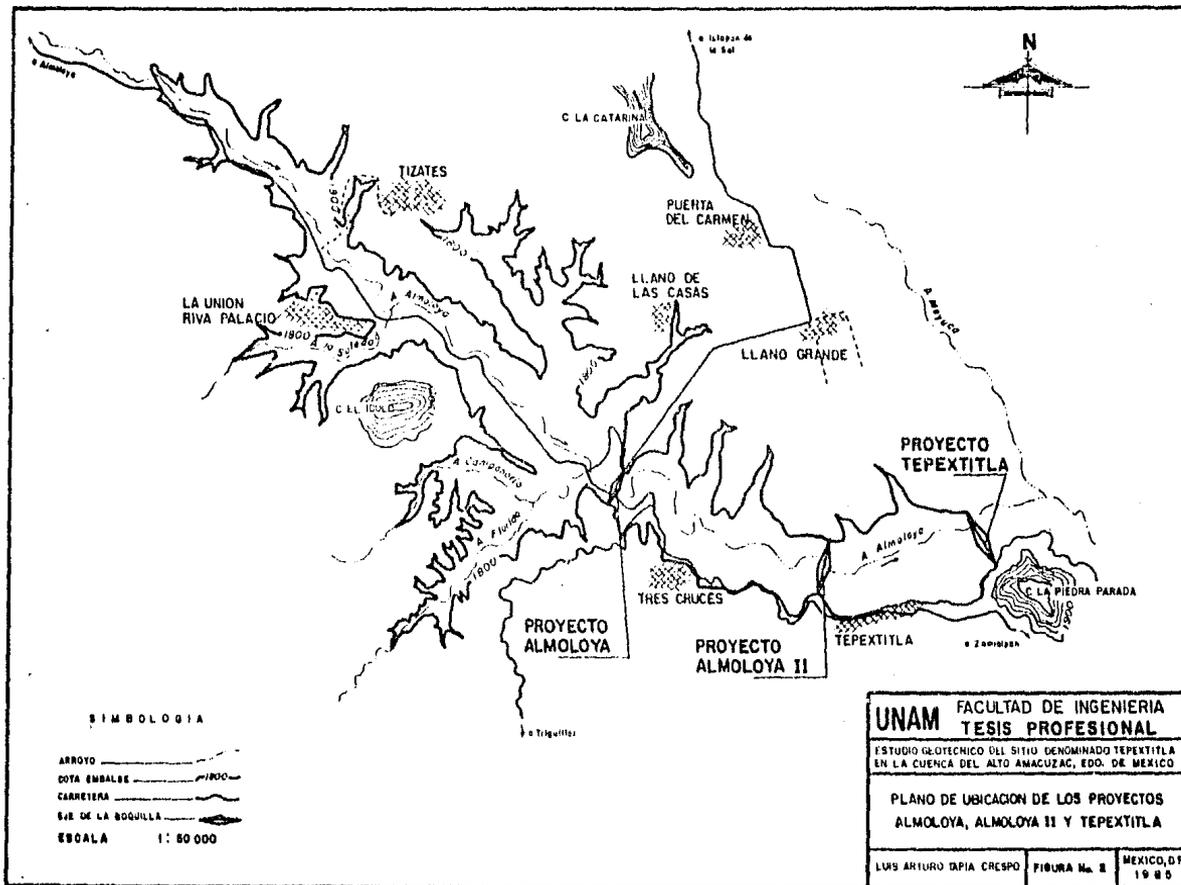
En este trabajo se realizó simultáneamente al estudio geológico, exploraciones directas con recuperación de núcleos de roca. Sin embargo, estas exploraciones fueron limitadas a la zona del eje de la boquilla, excluyendo de investigación el área del vaso. Las conclusiones del estudio, en base a los resultados obtenidos, señalan que el sitio denominado Almoloya, presenta una insuficiencia de condiciones geotécnicas, tales como alta permeabilidad e inestabilidad de la Formación Cuernavaca, constituyente de la mayor parte de la margen izquierda de la boquilla, cuyos materiales granulares no presentan una compactación y competencia adecuada para la construcción de una obra civil.

Buscando una alternativa que sustituyera el sitio eliminado, el Ing. Mario Veytia B. preparó en octubre de 1981 el "Estudio -- Geológico de los Proyectos Almoloya II, Estado de México y Chontalcatlán, Estado de Guerrero". El sitio denominado Almoloya II se ubica aproximadamente a 2.5 Km. aguas abajo del sitio original Almoloya y a 2.0 Km. aguas arriba del sitio Tepextitla. El objetivo principal de este trabajo, fue la localización de un nuevo eje de boquilla seleccionado en base a un estudio geológico superficial, que reuniera condiciones geológicas y topográficas aceptables para la implantación de una cortina sobre el cauce del arroyo Almoloya. Las conclusiones finales demuestran el nivel de los resultados obtenidos. En éstas, se recomienda la ejecución de estudios geológicos-geotécnicos de mayor detalle en el eje y vaso así como en las obras de demasías y desvío que se proponen en el mismo.

Durante 1983 el nuevo Departamento de Geología y Fotogrametría de la C.A.V.M., después de un análisis de los estudios antecedentes de la región, decide realizar el "Estudio Geológico-Geotécnico del Sitio Denominado Tepexitla", ubicado aproximadamente, como ya se indicó, a 2.0 km. aguas abajo del sitio propuesto tres años atrás por el Ing. M. Veytia. En este trabajo se efectuó simultáneamente al estudio geológico superficial, la obtención de muestras cúbicas inalteradas procedentes de los taludes de la Formación Cuernavaca, con objeto de determinar su estabilidad y las características físicas y mecánicas de esta formación, por cuyos parámetros había sido eliminado el sitio Almoloaya. Los estudios para obtener la estabilidad y las características arriba señaladas, fueron realizadas en los laboratorios de mecánica de suelos de la Subsecretaría de Investigación y Desarrollo Experimental de la S.A.R.H., y cuyos resultados serán analizados en el Capítulo III.3, correspondiente a las Características Físicas y Mecánicas de las Rocas.

Finalmente, en 1984 la Compañía Ingeniería y Organización, S.A., efectúa para la C.A.V.M., el "Estudio Geológico-Geofísico de la Boquilla y Vaso Tepexitla, Estado de México, Cuenca del Alto Amacuzac", que serviría para complementar el estudio geotécnico de este sitio. El objetivo primordial del trabajo consistió en la realización de la investigación geofísica, que determinaría la geología del subsuelo de la zona de la boquilla y del vaso, para así poder extrapolar sus resultados con todos los estudios antecedentes. El estudio geofísico señalaría las características hidráulicas de los diferentes estratos o unidades litoestratigráficas y el comportamiento del contacto entre las dos unidades geológicas superficiales presentes. Las conclusiones derivadas de los resultados del estudio serán analizadas en el Capítulo III, subíndice 2, correspondiente a la Geofísica del Proyecto.

NOTA.- La ubicación de estos proyectos se muestra en la Figura No. 2.



A Amoloya

A Salazar de
 la Sel



C LA CATARINA

TIZATES

PIERTA
 DEL CARMEN

LA UNION
 RIVA PALACIO

LLANO DE
 LAS CASAS

C EL TIGRO

LLANO GRANDE

PROYECTO
 TEPEIXTLA

PROYECTO
 ALMOLOYA

THES CHUCES

PROYECTO
 ALMOLOYA II

TEPEIXTLA

C LA PIEDRA PARADA

A Triguilla

A Zampayan

SIMBOLOGIA

- ARROYO ————
 - COTA EMBALBE ———— 1800 ————
 - CARRETERA ————
 - SEÑAL DE LA BOQUILLA ————
- ESCALA 1: 50 000

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEIXTLA
 EN LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO

PLANO DE UBICACION DE LOS PROYECTOS
 ALMOLOYA, ALMOLOYA II Y TEPEIXTLA

LUIS ARTURO DIAZ CRESPO FIGURA No. 2 MEXICO, D.F. 19 80

I.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo principal del presente estudio es conocer las -- condiciones litológicas, geomorfológicas, estructurales y geohi-- drológicas, que sirvan para definir la factibilidad geológica de construcción de una presa de almacenamiento sobre el arroyo Almoloya en el sitio denominado Tepextitla, en el Estado de México, - así como determinar los problemas que pudieran crear estas condi-- ciones geológicas y plantear las posibles alternativas de solu--- ción.

I.4 LOCALIZACION Y VIAS DE COMUNICACION

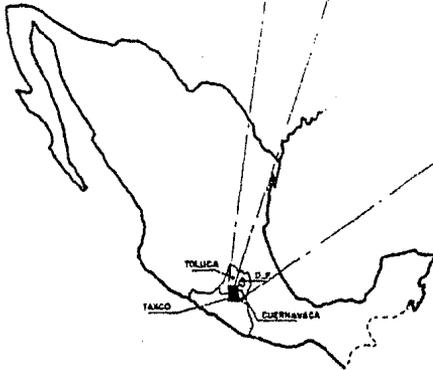
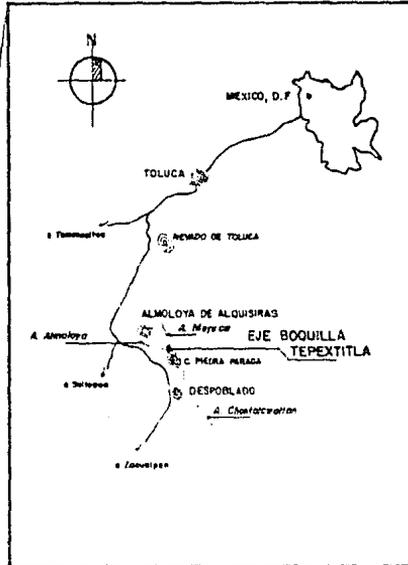
El área de estudio se encuentra en la porción centro-meridio-- nal de la República Mexicana, en la región surponiente del Estado de México en donde éste colinda con el estado de Guerrero. La bo-- quilla de la presa Tepextitla se ubica sobre el arroyo Almoloya, - aproximadamente a 85 Km., en línea recta al suroeste de la Ciudad de México y aproximadamente a 10 Km., en la misma dirección de -- Ixtapan de la Sal, Méx.

Las coordenadas geográficas del sitio son las siguientes:

18°48'35" Latitud norte
99°44'50" Longitud oeste

tomadas de: Comisión de Estudios del Territorio Nacional
Carta Topográfica "Ixtapan de la Sal, (E-14-A-57)".
Esc. 1: 50 000, México, 1979.

Para llegar al área del Proyecto Tepextitla, a partir de la-- Ciudad de México se debe seguir la ruta que se describe a conti-- nuación:



TOLUCA
MEXICO, D.F.
TANCO
CUERNAVACA

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA TESIS PROFESIONAL		
ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEIXTLA EN LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO		
LOCALIZACION DEL PROYECTO TEPEIXTLA		
LUIS ARTURO TAPIA CRESPO	FIGURA No. 3	MEXICO, D.F. 1983

Al llegar a la ciudad de Toluca se toma la carretera No. 134 que conduce a la población de Temascaltepec, recorriendo 18 Km., - se desvía hacia la izquierda para tomar el camino que va al poblado de Sultepec, encontrando a 48 Km., otra desviación, también a la izquierda que conduce al poblado de Almoloya de Alquisiras-Zacualpan, desarrollando en éste un recorrido de 29 Km., se llega al sitio denominado cerro de la Piedra Parada, en el cual se encuentra la placa que identifica al sifón Apetlahuacán, construido por la S.A.R.H., siguiendo una brecha aproximadamente unos 0.5 Km. se llega hasta las obras del sifón, las cuales coinciden con el eje de la boquilla Tepexitla. (Figura No. 3)

I.5 CLIMATOLOGIA

El relieve de la región es el factor fundamental del clima que allí prevalece. La altitud máxima que se alcanza es de 2 000 m.s.n.m., en el Cerro de la Piedra Parada, contrastando los ---- 1 550 m.s.n.m., en los lechos de los arroyos.

De acuerdo a los datos de Cetenal-Instituto de Geografía, -- 1970, el clima del área se designa, según la clasificación de -- Koeppen, modificada por E. García (1964), con la siguiente nomenclatura:

(A)C(W₂)(W)ig

que significa:

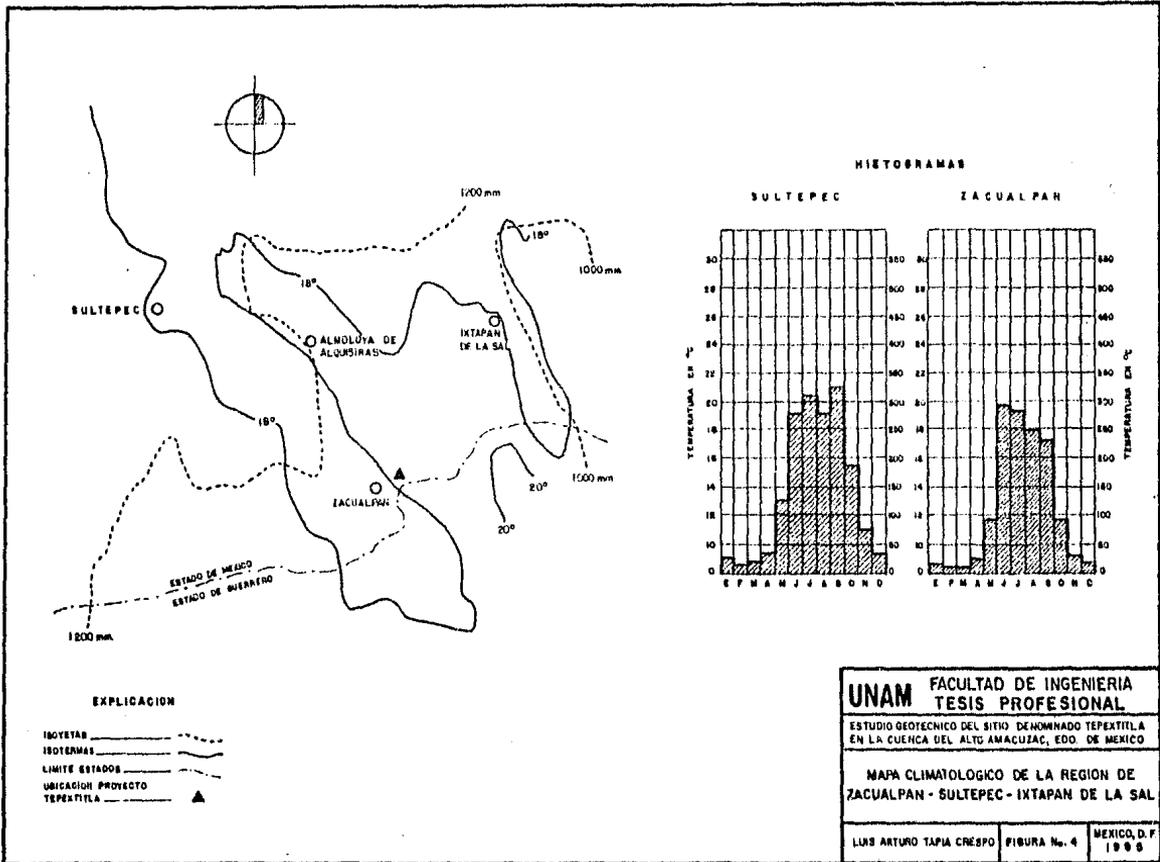
- A = grupo de climas cálidos.
- C = grupo de climas templados.
- (A)C = subgrupo, clima semicálido, el más cálido de los templados C, con temperatura media anual superior a 18°C y la del más frío, menor a 18°C.

- C(W₂) = el más húmedo de los templados subhúmedos, con lluvias en verano.
- (W) = por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco. Un 5% de lluvia invernal, menor a la total anual.
- i = isotermal, con oscilación menor a 5°C.
- g = temperatura tipo Ganges, el mes más caliente del año es mayo.

En términos generales, corresponde al más subhúmedo de los climas semicálidos, con lluvias en verano y escasa oscilación térmica.

La temperatura media anual oscila entre 22° y 24°C., la temperatura máxima ha sido de 41°C. en el mes de mayo y la mínima de 6°C., en diciembre. La precipitación media anual es de 1 407 mm., con un promedio de 250-300 mm. El porcentaje de lluvia en invierno es menor a los 5 mm.

En la Figura No. 4, se presenta el Mapa Climático, mostrando las curvas isotermas e isoyetas; el área de estudio se encuentra rodeada por la isoterma con 18°C., la cual viene descendiendo gradual y paralelamente desde 5°C., en el volcán Nevado de Toluca. De las gráficas de temperatura y precipitación en el mismo, correspondientes a las poblaciones de Sultepec y Zacualpan, Méx., al noroeste y suroeste del área de estudio respectivamente, se observa que los meses de alta precipitación pluvial son de junio a septiembre, con un promedio de 250-300 mm.; el mes con menor precipitación es febrero-marzo, con un valor cercano a 5 mm., y la máxima en junio-julio con 308 mm., lo que corrobora los datos ya citados con anterioridad. Entre los meses de diciembre-enero dentro de la región se pueden presentar heladas y/o granizadas.



I.6 METODO DE TRABAJO

El método de trabajo empleado en la elaboración de este estudio, consistió de tres etapas de investigación, las cuales se describen a continuación:

Primera Etapa

Investigación Preliminar.- Esta se desarrolló en gabinete consistiendo de una recopilación y análisis de la información antecedente del área de estudio de tipo general, geológica, topográfica y de obras civiles similares. Como parte de esta etapa se elaboró el plano fotogeológico, utilizando fotografías aéreas escala 1:20 000 obtenidas para la C.A.V.M. en 1982, en donde se identificaron los contactos entre las diferentes unidades litoestratigráficas, los caracteres estructurales de las rocas, los aspectos hidrológicos y las posibles vías de acceso a las áreas de interés que se estudiarían en la etapa siguiente.

Segunda Etapa

Trabajo de Campo.- Este trabajo consistió en la realización de un levantamiento geológico de semidetalle de la boquilla y vaso, con objeto de la verificación fotogeológica obtenida en la primera etapa. De este levantamiento se obtuvieron datos geológicos, que fueron vaciados en una restitución fotogramétrica escala 1:10 000, efectuada para la C.A.V.M. en 1977, los cuales se enlistan a continuación:

- 1.- Litología. clasificación, características texturales y estructurales, secuencia estratigráfica, espesores y distribución.
- 2.- Geomorfología. génesis y evolución de las formas del relieve, topografía, erosión e intem-

perismo, movimiento del terreno (estabilidad de taludes).

3.- Estructuras geológicas: fallas, fracturas, pliegues y discordancias (foliación, contactos, etc.), con obtención de rumbo y echado de cada una de ellas.

4.- Proposición de bancos de materiales: dimensiones y composición.

Para la obtención de estos datos se realizaron diversos recorridos sobre secciones transversales al arroyo Almoloya, así como a todo lo largo de su cauce, utilizando cinta métrica, brújula y altímetro. Se efectuó la descripción y el muestreo de los afloramientos rocosos, midiendo sus espesores, rumbos y echados.

El levantamiento geológico de semidetalle fue realizado simultáneamente a la etapa de investigación subterránea utilizando para este fin un método geofísico implementándolo tanto en la boquilla como en el vaso. El estudio geofísico tuvo el objetivo principal de la verificación-correición de la información estratigráfica y de la existencia de discontinuidades geológicas en el eje de la boquilla Almoloya, que fueron obtenidas durante 1977, en las exploraciones directas con recuperación de núcleos efectuadas en ese sitio, y de la información obtenida durante el levantamiento geológico de semidetalle y de los resultados parciales del método geofísico de resistividad eléctrica que se utilizaba en el desarrollo del estudio.

Tercera Etapa

Trabajo de Gabinete.- Esta etapa correspondió a la elaboración de los perfiles geológicos del eje de la boquilla y de ciertas áreas dentro del vaso, el plano geológico general, los estudios petrográficos de las muestras colectadas en superficie, se colaboró en la

realización de las secciones geoelectricas, dando puntos de vista geológicos en su interpretación y se analizaron e interpretaron - los resultados de las dos etapas antecedentes. Corresponde a ésta última etapa, la elaboración del presente texto, donde se presentan los resultados globales del estudio, incluyendo conclusiones de acuerdo a los objetivos fijados en la realización del mismo.

I.7 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO (PLANO No. 1)

Las características generales del Proyecto Tepextitla fueron definidas en base al Estudio de Prefactibilidad para el Aprovechamiento de los Recursos de la Cuenca del Río Amacuzac, efectuado por la Compañía I.P.E.S.A., en noviembre de 1979. Dentro de este estudio, entre muchas otras alternativas existía una que contemplaba la investigación de 4 sitios propuestos como vasos derivados y 2 almacenadores. La presa Tepextitla es una presa almacenadora perteneciente a esta alternativa, cuyo sistema fue proyectado para incrementar el abasto de agua potable a la Ciudad de México en $10.58 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Para esta misma boquilla se proyectaron cortinas mayores de 100.0 m. y hasta de 200.0 m. En el presente estudio se eligió la elevación de 175-200 m. teniendo como objetivo la posibilidad de captar el mayor volumen de agua del arroyo Almoloya.

Las características del almacenamiento son las siguientes:

Cortina

Altura total _____	175.0 m.
Tipo _____	Materiales Graduados.
Elevación de corona _____	1 760.0 m.s.n.m.
Elevación del cauce _____	1 595.0 m.s.n.m.

Elevación del desplante _____	1 585.0 m.s.n.m.
Longitud de corona _____	570.0 m.
Ancho de corona _____	10.0 m.
Bordo libre _____	2.5 m.

Vaso

Elevación del embalse (N.A.M.E.) _____	1 757.5 m.s.n.m.
Capacidad de almacenamiento _____	170.0 x 10 ⁶ m ³ .
Longitud total _____	11.0 Km.
Area de inundación _____	440.0 Ha.

La orientación del eje de la cortina es N 45° W y la del embalse la que se observa en la figura No. 2

Las características de la cuenca son las siguientes:

Cuenca

Area _____	334.3 Km ² .
Escurrimiento medio anual _____	114.0 x 10 ⁶ m ³ .
Gasto medio anual _____	3.62 m ³ /seg.
Avenida máxima considerada _____	1 100.0 m ³ /seg.

Obra de excedencias

Se ubicaría sobre la margen derecha a 60.0 m. del extremo de la cortina. Se proyectó con compuertas para aprovechar al máximo los escurrimientos de la cuenca y aumentar la capacidad de almacenamiento. Se estudiaron varias posiciones del vertedor, optándose por la que presentaba un mejor funcionamiento hidráulico y facilidad en su construcción, dado el problema que representaba la topografía y el desnivel entre el umbral de la estructura y la elevación del cauce del arroyo Almoloya.

La obra de excedencias está formada por un canal de llamada, el cual se proyectó a la elevación 1 749.50 m.s.n.m.: un vertedor de cresta controlada, con igual elevación y una longitud de la -- misma de 23.0 m. partida en dos tramos de 11.50 m. cada una; una zona de compuertas constituida por un puente de maniobras y las-- propias compuertas; y por un canal de descarga revestido de concreto con 22.0 m. de ancho en su parte más baja y taludes 0.5-1 formado por dos tramos, teniendo el primero una pendiente de -- 0.001 y el segundo 0.54, al final del cual está ubicada una cubeta deflectora con elevación de 1 650.0 m., que fué proyectada para resistir la avenida de diseño de 1 100 m³/seg.

Obra de desvío

Se encontrará en la margen izquierda y será del tipo de 2 túneles de 5.0 m. de diámetro y una longitud de 937.50 m. cada uno, diseñándose para conducir un gasto de 400 m³/s. La elevación del umbral es de 1 615.0 m.s.n.m., mientras la de la salida se encuentra a 1 580.0 m.s.n.m.

Obra de toma baja

Se proyectó aprovechando parte de uno de los túneles de desvío y servirá de desagüe de fondo para el llenado lento de la presa. Además esta obra permitirá conducir el agua a la planta de -- bombeo ubicada aguas abajo de la presa para enviarla al Area Metropolitana.

Esta obra está formada por una torre de concreto de 5.0 m. - de altura con sección circular de igual dimensión, situada en el tajo de entrada al túnel; un túnel de concreto de 5.0 m. de diámetro con una pendiente de 1.0, ligado al túnel No. 2 de desvío; y una tubería a presión de 2.0 m. de diámetro, en cuyo inicio presenta una válvula esférica de 1.0 m. de diámetro, para regular el gasto de diseño que es de 13.0 m³/s.

La elevación del umbral es de 1 660.0 m.s.n.m. y su carga de diseño máxima es de 97.50 m.

Obra de toma alta

Tiene una función similar a la obra de toma baja, o sea evitar el llenado acelerado de la presa, así como en un momento dado captar el agua de los niveles altos de la presa si se proyectase una conducción a la planta de bombeo.

La toma alta está localizada en la ladera izquierda y está formada por una torre de concreto reforzado de 4.40 m. de altura, de sección circular de 3.0 m. de diámetro, situada en el taajo de entrada del túnel número 3 y con rejillas de acero estructural colocadas en la parte superior de ésta; un túnel de concreto reforzado de 3.0 m. de diámetro, que funcionará como canal con pendiente de 0.0045 en una longitud de 350.0 m. Tiene 2 transiciones interiores de 3.50 m. de longitud para poder ligar la estructura de las compuertas deslizantes del túnel; una lumbrera, donde se alojaran las compuertas deslizantes de concreto de sección rectangular de 3.0 x 6.8 m. con 2 muros intermedios en toda su longitud para instalar las guías de los vástagos y dar ventilación. En la parte superior está proyectada una caseta de los mecanismos de operación de las 2 compuertas deslizantes que son de acero estructural de 3.0 x 3.0 m., una de servicio y otra de emergencia; y un canal de descarga revestido de concreto reforzado y sección trapezoidal con 4.0 m. de ancho de plantilla y taludes --- 0.5 : 1; a lo largo tiene 2 pendientes, la primera es de 0.001 y la segunda es de 0.166. Al final del canal, una cubeta deflector, teniendo un gasto de diseño de 28.0 m³/s.

La elevación del umbral es de 1 702.0 m.s.n.m. y su gasto de diseño es de 55.50 m³/s.

NOTA.- Todas estas características de la obra pueden ser consultadas en el PLANO No. 1.

CAPITULO II GEOLOGIA REGIONAL

II.1 FISIOGRAFIA

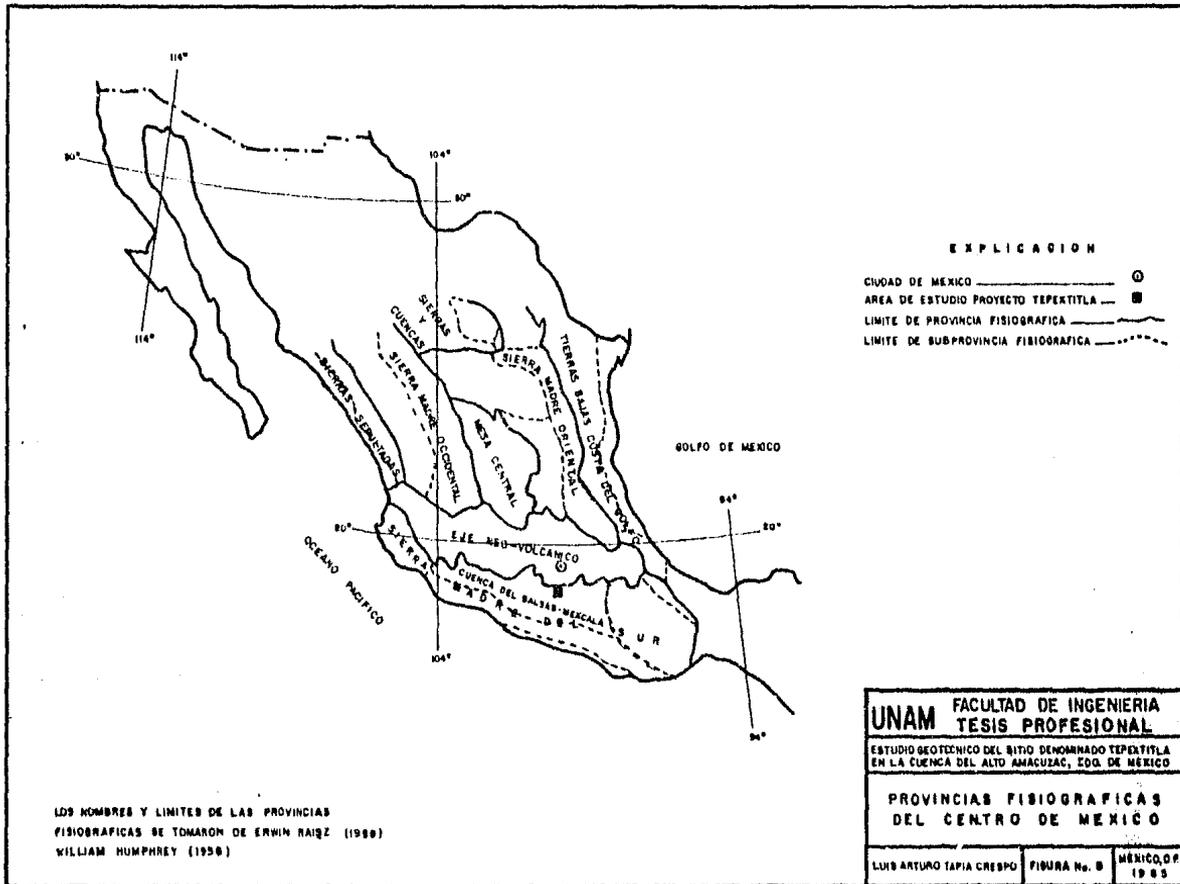
De acuerdo a la clasificación propuesta por E. Raiz (1959),-- fisiográficamente el área de estudio está localizada en la provincia denominada Sierra Madre del Sur, en el borde septentrional de la subprovincia Cuenca del Balsas-Mexcala. (Figura No. 5)

Los límites fisiográficos de la Cuenca del Balsas-Mexcala son: al norte con la provincia del Eje Neovolcánico, al sur con la Vertiente Meridional, al este con la Altiplanicie Oaxaqueña y al oeste con la Altiplanicie Septentrional, estas tres últimas siendo subprovincias de la propia Sierra Madre del Sur.

La región denominada Cuenca del Balsas-Mexcala, ocupa porciones de los Estados de Guerrero, México, Nayarit, Colima, Michoacán, Oaxaca, Morelos y Puebla.

La región muestra tres tipos de topoformas según los datos de la Carta Fisiográfica México, editada por S.P.P., en 1981, escala 1:1 000 000., las cuales se describen a continuación:

La primera topoforma es la "Gran Sierra Compleja con cañadas", conformadas éstas, por los elementos topográficos de mayor altitud, como lo son la Sierra de Tepextitla con 2 200 m.s.n.m., presentando una orientación este-oeste, el Cerro de la Piedra Parada con 2 000 m.s.n.m., ubicado en el eje de la boquilla, los cerros Terrero y - Las Palomas hacia el occidente del vaso con 2 100 y 2 280 m.s.n.m. respectivamente, presentándose todas estas formas sobre la margen-



EXPLICACION

- CIVIDAD DE MEXICO
- AREA DE ESTUDIO PROYECTO TEPETITLA
- LIMITE DE PROVINCIA FISIOGRAFICA
- LIMITE DE SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA

LOS NOMBRES Y LIMITES DE LAS PROVINCIAS
FISIOGRAFICAS DE TOMARON DE ERWIN RAJZ (1989)
WILLIAM HUMPHREY (1956)

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

ESTUDIO GEOTECNICO DEL RITO DENOMINADO TEPETITLA
EN LA CUENCA DEL ALTO AMOZAC, EDO. DE MEXICO

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS
DEL CENTRO DE MEXICO

LUIS ARTURO TAPIA CRESPO FIGURA No. 8 MEXICO, D.F. 1985

derecha del arroyo Almoloya. Unicamente en la margen izquierda se localiza, hacia el noroeste de la boquilla, los cerros Huehuetzingo con 2 260 m.s.n.m. y la Catarina con 2 000 m.s.n.m. (Fotografía No. 1).

Estos elementos topográficos arriba señalados, se encuentran constituidos principalmente por rocas metamórficas e ígneas extrusivas.

El segundo tipo de topoforma lo representan "las mesetas con cañadas", compuestas por materiales epiclásticos ígneos, que rellenaron las partes más bajas de la topografía madura anterior. Estas mesetas son casi planas con inclinaciones muy leves de 1° - 2° , disectadas incipientemente por arroyuelos que agilizan el desagüe en épocas de lluvias. Las cañadas presentan escarpes casi verticales formando valles encajonados o en forma de "V". Algunos de éstos presentan un cierto tipo de escalonamiento originado probablemente por colapsos gravitacionales que se han presentado desde épocas pliocénicas hasta el reciente. La altura máxima de las mesetas es de 1 680 m.s.n.m., disminuyendo gradualmente hacia los valles o cañadas. (Fotografía No. 2).

El tercer y último tipo de topoforma es el "valle con laderas tendidas", que se presenta a partir del Puente de Los Sabinos hasta el final del embalse. La margen derecha presenta escarpes casi verticales mientras la izquierda tiene laderas tendidas, siendo coronadas ambas por planicies, lo que en conjunto forma mesetas, las cuales están constituidas por material clástico granular. La base de los valles en forma de "V", lo conforman suelos y aluviones, compuestos del material erosionado principalmente de las mesetas de origen aluvial. (Fotografía No. 3).

II. 2 HIDROGRAFIA

La región hidrológica que corresponde a la zona de estudio, es la No. 18, de acuerdo a la clasificación utilizada por la S.A.R.H., localizándose el Proyecto Tepextitla en la Subcuenca Río Grande de Amacuzac, perteneciente ésta a la Gran Cuenca del Río Balsas.

"La región posee un sistema de drenaje que se encuentra en su etapa juvenil de desarrollo, ya que las corrientes existentes tienen sus cauces sinuosos, angostos y profundos, a través de meandros encajonados de valles en forma de "V", careciendo por completo de llanuras de inundación". (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p.8).

Las corrientes principales más importantes de la Subcuenca Río Grande de Amacuzac son el río San Jerónimo y el Chontalcuatlán. El arroyo Almoloya, donde se ubica el proyecto, es tributario del arroyo Pilcaya que a su vez se convierte en el río Chontalcuatlán, que aguas abajo se une al San Jerónimo para sumergirse en las sierras calizas de Cacahuamilpa y emerger en uno solo denominado río Amacuzac, tributario del río Balsas que desemboca finalmente en el Océano Pacífico.

Las corrientes principales tributarias del Almoloya son: arroyo Los Capulines, Yerbabuena, La Soledad, Yerbabuena II, El Cristo, Campanario y Florido, que de acuerdo a la clasificación de Davis, son consecuentes originando una red fluvial de tipo dendrítico. -- Existe otro tipo de red desarrollada por los arroyos secundarios en los materiales de la Formación Cuernavaca, denominada paralela, causante de una serie de disecciones formadoras de grandes bloques que debido a la erosión remontante podrán aislarse unas de otras.

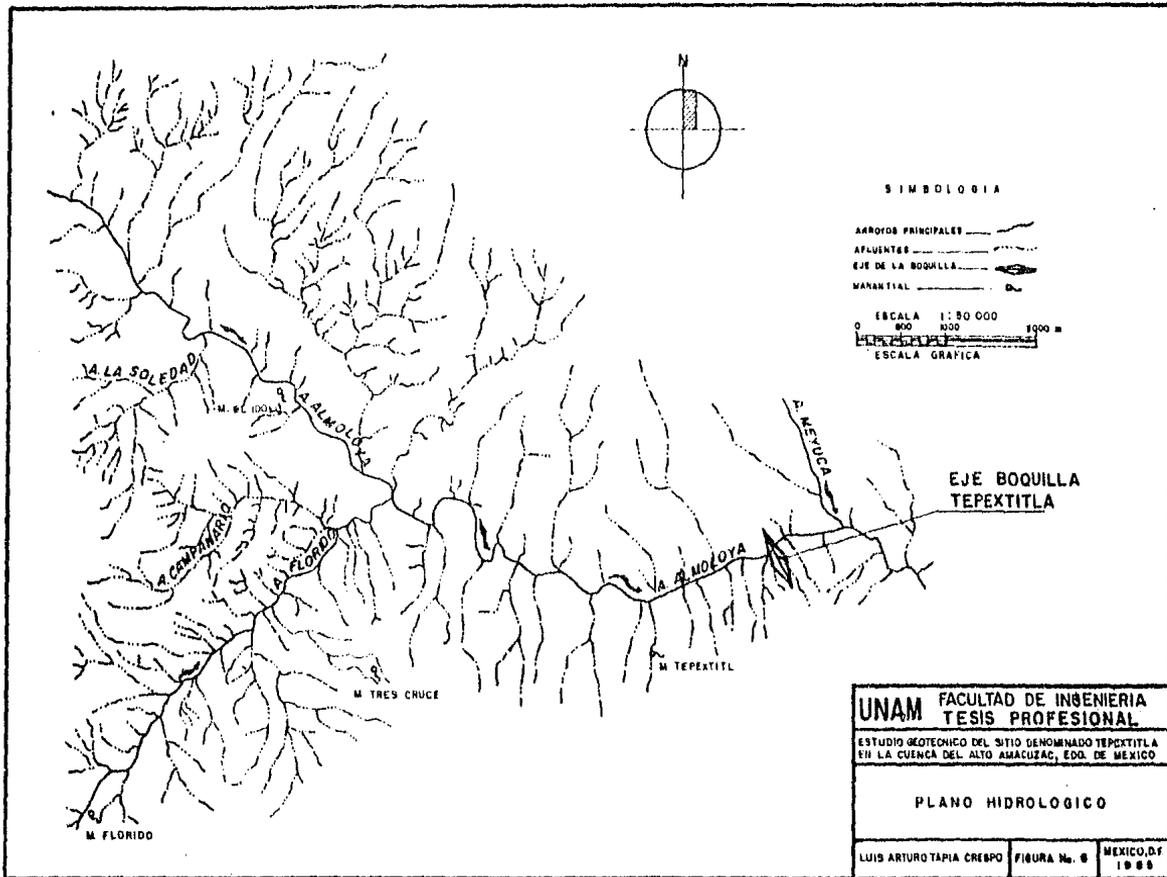
El arroyo Almoloya labró su cauce en el contacto entre la roca más antigua de la región y los materiales plio-pleistocénicos--

de la Formación Cuernavaca, debido a diferencia entre la resistencia de estas rocas. Su longitud aproximada es de 26.5 km., partiendo del poblado de Almoloya de Alquisiras hasta la confluencia de éste con el arroyo Malina donde cambia de nombre por el de arroyo-Pilcaya.

Todas estas corrientes fluviales tienen su origen en la porción meridional del volcán Nevado de Toluca, donde se presentan -- alturas mayores de los 4 000 m.s.n.m.; ahí el drenaje es de tipo-- radial con gran cantidad de ramificaciones, descendiendo rapidamen-- te hasta la cota 2 500, con pendientes muy fuertes.

El arroyo Almoloya presenta una orientación de norte-noroeste hasta el sitio denominado Puente Los Sabinos donde cambia su dirección al este-oeste, hasta la boquilla donde rodea al cerro de la Piedra Parada y retorna a la dirección norte-noroeste. Este cambio de dirección se debe a que el arroyo encuentra roca más resistente a la erosión, del tipo de la roca ígnea extrusiva (riolita), así-- como intrusiva (pórfido riolítico).

Los manantiales dentro de la zona de estudio son relativamente escasos y de poca importancia en cuanto a la aportación de agua, - sus caudales son bajos en épocas de estiaje, aumentando en la temporada de lluvias. Los más importantes cercanos al eje de la boquilla son: Manantial Tepextitla, ubicado en la población del mismo nombre y que abastece parcialmente de agua potable a los habitantes de esta comunidad; se encuentra en un afloramiento de roca ígnea extrusiva como lo es la Riolita Tilzapotla. Manantial Tres Cruces ubicado en los alrededores de este pueblo y sobre la misma roca que el anterior. Manantial Florido muy cercano a la población denominada Río Florido, aportando agua potable para sus habitantes y - encontrándose en rocas metamórficas. Por último, existe uno más sobre la carretera que va hacia Almoloya de Alquisiras, a partir del puente Los Sabinos a la altura del kilómetro número 22, denominado



Manantial El Idolo, ya que se localiza en la ladera noreste del cerro del mismo nombre y constituido por la Riolita Tilzapotla.

(Figura No. 6).

II.3 GEOMORFOLOGIA

La región donde se ubica el proyecto presenta dos rasgos geomorfológicos principales: el primero se refiere a una topografía--construccional o de depósito, debida a la inundación o sepultura de valles del relieve maduro anterior, por grandes abanicos aluviales de edad plio-pleistocénicos. Este proceso de aluviación produjo ex tensas llanuras con inclinaciones muy suaves, variables entre 1° y 2° hacia el sur. Los cerros y serranías más elevados del relieve--maduro están desprovistos de terrenos llanos, y asoman en forma de islotes por encima del mar de aluviación.

Los segundos son rasgos topográficos que deben su origen a la erosión e intemperismo, cuyos efectos son determinados por las rocas que los forman. Las sierras con elevaciones mayores presentan grandes escarpes verticales surcados por fracturas que alcanzan --varios metros de profundidad. Las cimas carecen de terrenos planos formando costillas afiladas, las cuales propician la erosión de la masa rocosa. Estas sierras se encuentran constituidas por rocas íg neas extrusivas del tipo de la riolita y toba riolítica (Riolita - Tilzapotla). Existen cerros aislados semiredondos cortados por frac turas y moldeados por la erosión de tipo exfoliación, caracterís--tico de las rocas ácidas de origen ígneo intrusivo; es éste el caso de la roca que compone el cerro de la Piedra Parada, que sirve ~~de~~ empotramiento derecho a la cortina (Fotografía No. 4). El rasgo to pográfico de erosión mas notable son las barrancas que se desarro--llan sobre el contacto entre los depósitos aluviales plio-pleisto-

énicos (Formación Cuernavaca) y la unidad estratigráfica más antigua (Rocaverde Taxco Viejo). El desarrollo de estas barrancas originalmente se efectuó en tiempos miocénicos tardíos-pliocénicos -- tempranos, antes de la acumulación de los depósitos Cuernavaca. -- Después de la acumulación de éstos, aprovechando la poca resistencia que ofrece la zona de su contacto los ríos labraron sus cauces actuales formando estas barrancas, las cuales están orientadas esencialmente del noroeste hacia el sureste.

II.4 ESTRATIGRAFIA

Las unidades que afloran en la región están constituidas de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, cuyos nombres se introducen formalmente por vez primera siguiendo las normas fijadas en el Código Estratigráfico, en el Boletín No. 60 del Instituto de Geología de la U.N.A.M., elaborado por C. Fries en 1960, encontrándose sus localidades tipo, cercanas a las ciudades de Cuernavaca, Mor., y Taxco, Gro. En ese trabajo se les da a todas esas rocas un carácter estratigráfico, describiéndolas como una unidad litoestratigráfica. En el presente texto se describen a continuación 13 unidades, teniendo como secuencia un espesor que asciende a unos 4500 m., excluyendo a las rocas metamórficas del basamento.

Esta secuencia estratigráfica se establece con base en la superposición de las unidades que la integran, estando parcialmente apoyada tanto por datos paleontológicos como radiométricos, obtenidos con anterioridad en diversos trabajos, los cuales se mencionarán en su oportunidad.

Todas estas unidades estratigráficas pueden ser consultadas en la tabla de correlación expuesta en la Figura No. 7.

ERA	SISTEMA	SERIE	PISO EUNOPEO	EDAD M.A.	PROYECTO TEPEXTITLA	QUERRENO NORTE-CENTRAL (A)	ESTADO (B) DE MORELOS	HUETAMO, MICHOACAN (C)		
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE			ALUVION	GRUPO ALUVION	GRUPO ALUVION	ALUVION	(A) A. JUAREZ, S. MORENO, 1977	
		PLEISTOCENO		00	FORMACION CUERNAVACA	CHICHINAUTZIN	CHICHINAUTZIN		(B) C. FRIE, 1980	
	TERCIARIO	PLIOCENO			12	FORMACION CUERNAVACA	FORMACION CUERNAVACA	FORMACION CUERNAVACA		(C) J. PANTOJA, 1980
		MIOCENO			25	GRUPO BUENAVISTA	GRUPO BUENAVISTA	SERIE VOLCANICA CHARACHARANDO		
		OLIGOCENO			40	RIOLITA TILZAPOTLA	RIOLITA TILZAPOTLA	RIOLITA TILZAPOTLA		
		EOCENO			60		GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	FORMACION BALSAS	
		PALEOCENO			70					
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRANTIANO	72						
			CAMPANIANO							
			SANTONIANO	84	FORMACION MEXCALA	FORMACION MEXCALA	FORMACION MAL PASO			
		INFERIOR	CONIACIANO				FORMACION CUANTLA	FORMACION CUANTLA		
			TURONIANO			90				
			CENOMANIANO			110	FORMACION MORELOS	FORMACION MORELOS	FORMACION MORELOS	
		INFERIOR	APTIANO			120	FORMACION KOCHICALCO	FORMACION KOCHICALCO	FORMACION SAN LUCAS	
	NEULOMIANO				136	FORMACION ACUILTAPAN	FORMACION ACUILTAPAN	FORMACION ANGAO		
						FORMACION ACHAHUITZOTLA	FORMACION ACHAHUITZOTLA			
	TRIASICO	JURASICO	SUPERIOR							
			MEDIO							
		INFERIOR			160	ROCA VERDE TAXCO VIEJO	ROCA VERDE TAXCO VIEJO			
PALEOZOICO		SUPERIOR			ESQUISITO TAXCO	ESQUISITO TAXCO	ESQUISITO TAXCO			
		MEDIO								
		INFERIOR								

NOTA: Las líneas verticales indican falta de depósito
 Las líneas diagonales, falta de afloramiento

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
 ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEXTITLA EN LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO

TABLA DE CORRELACION
 ESTRATIGRAFICA

LUIS ARTURO TAPIA CRESPO FIGURA No 7 MEXICO, D.F. 1988

ERA PALEOZOICA

ESQUISTO TAXCO

DEFINICION.- El nombre de Esquisto Taxco fué propuesto por C. Fries en 1960 (Op. cit., p.32) para las rocas del área de afloramiento, de aproximadamente 4 Km²., situada hacia el oriente y sureste -- de la Ciudad de Taxco, Gro.

"Esta unidad es la más antigua de la región y forma el basamento sobre el que fueron depositadas, con más o menos discordancia angular, todas las demás formaciones".

DISTRIBUCION.- Además de su área tipo, esta unidad se presenta al oriente del poblado de Taxco Viejo, Gro; en la Sierra de Ixtapan-Tonatico, donde fueron observados extensos afloramientos por Dollfus y Montserrat en 1867; en la Sierra de Tepextitla y subyace una región de extensión considerable al surponiente de Zacualpan, - Méx., (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p.11).

EXPRESION FISIOGRAFICA.- "El Esquisto Taxco es susceptible de un desgaste erosivo relativamente fácil, tendiendo a formar superficies bien disectadas. Las laderas de los valles son poco inclinadas y lisas, pero formando acantilados en las partes inferiores de éstos" (C. Fries, 1960, p.33).

LITOLOGIA Y ESPESOR.- Este conjunto metamórfico consiste en una secuencia de rocas pelíticas, psamíticas y volcánicas, que se presentan como esquistos de sericita y cuarzo, esquistos de clorita, esquistos grafiticos, pizarras negras, cuarcitas, y como metatobas, metaignimbritas y metalavas. El grado de metamorfismo exhibido en estas rocas corresponde a la facie de esquisto verde, como lo indica la presencia de clorita, sericita y epidota. "El conjunto mine-

ral sugiere que la roca fue producida por un metamorfismo dinámico regional a temperaturas relativamente bajas". (op. cit., p. 34).

Existen tres componentes litológicos del Esquisto Taxco que se presentan en aparente orden de superposición. "El conjunto litológico inferior consiste de esquistos de sericita y cuarzo de grano fino a mediano. Una secuencia de cuarcitas y pizarras los sobreyace, constituyendo el conjunto intermedio. El tercer conjunto, que pudiera ser el más reciente, consiste de metalavas, metatobas y metaignimbritas, de composición andesítica, traquiandesítica y riolítica". (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p. 12).

"Abundan las vetillas de calcita y cuarzo. Son numerosos los diques básicos de andesita o diabasa que fueron intrusionados en el esquisto y erosionados antes del depósito de la próxima formación suprayacente". (C. Fries, 1960, p. 34).

Todos los elementos litológicos de la formación, salvo las cuarcitas, presentan una foliación secundaria bien desarrollada produciendo finas ondulaciones.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- La base del Esquisto Taxco no aflora en la región. Mientras que la superficie superior se debe a la erosión y se encuentra cubierta por un conglomerado compuesto por fragmentos de esquisto detríticos, encima del que puede presentarse cualquiera de las formaciones más jóvenes, inclusive hasta la Formación Cuernavaca.

EDAD Y CORRELACION.- "Las dataciones obtenidas por métodos isotópicos de K-Ar, Rb-Sr y Pb-alfa, corresponden a una edad de 1 020 m.a.". (Z. de Cserna, et al., 1974), abarca desde el Paleozoico temprano hasta fines del mismo. El no conocerse con precisión la edad del Esquisto Taxco, hace difícil ofrecer conclusiones en cuanto a su correlación. Sin embargo, los diferentes componentes litológicos, la estructura y el grado de metamorfismo del mismo guardan semejanza con algunas unidades del Complejo Acatlán del Paleozoico, que afloran extensamente en Puebla y Oaxaca.

ERA MESOZOICA

SISTEMA JURASICO

ROCAVERDE TAXCO VIEJO

DEFINICION.- El nombre de Rocaverde Taxco Viejo fue propuesto por C. Fries en 1960, (p. 35) para las rocas que afloran al oriente del poblado de Taxco Viejo, sin embargo, esta zona no ofrece buenos afloramientos por lo que este autor junto con Z. de Cserna (1981), señalan como "nueva" área tipo, la parte meridional de la Sierra de Ixtapan-Tonatico y de la región de Zacualpan, Méx.

DISTRIBUCION.- La unidad aflora ampliamente, además de los sitios arriba señalados, en las cercanías de los pueblos de Buenavista, Metlixtapa, Agua Dulce y El Sauz; al norponiente de Ixcapuzalco y pequeños afloramientos pueden ser localizados al oriente y poniente del cerro de Ojo de Agua, en donde se encuentran las grutas de la Estrella. C. Fries (op. cit.)

EXPRESION FISIOGRAFICA.- La expresión fisiográfica de esta unidad es similar a la del Esquisto Taxco, caracterizándose por presentar superficies bien disectadas y relativamente bajas.

LITOLOGIA Y ESPESOR.- "Este complejo metamórfico está compuesto por una secuencia de rocas volcánicas, tobas y lahares con algunos intervalos de grauvacas y pizarras negras, afectadas por un metamorfismo incipiente. Las rocas volcánicas son principalmente andesíticas; no obstante, se han encontrado algunos derrames que podrían ser basaltos. El color de estas rocas es gris claro a oscuro, con distintas tonalidades de verde, debido a la presencia de clorita y epidota". (ibid).

"Las rocas metasedimentarias reportadas en la secuencia corresponden a lutitas y areniscas, con foliación muy fina, paralela a la

estratificación y con pliegues diversos". (F. Campa, et al., 1974, p. 7).

El espesor de la unidad propuesto por C. Fries es cuando menos de 100 m. (op. cit., p. 35); sin embargo para Z. de Cserna, el espesor máximo aproximado de esta secuencia es de unos 400 m. (op. cit., p. 14); y para F. Campa (op. cit., p. 9) el espesor representativo de toda la secuencia volcánico-sedimentaria es de 2 000 m.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- Sus contactos inferior y superior estan marcados por superficies de discordancias. Descansa sobre el Esquistos Taxco, mientras su contacto superior es con la Formación Acuitlapán. C. Fries (1960), se refiere al contacto superior y señala que los movimientos tectónicos y la erosión eliminaron gran parte de la formación antes de ser depositadas las unidades superiores, por lo que puede estar cubierta por cualquiera de las unidades comprendidas entre la Formación Acahuizotla y el Grupo Balsas". (op. cit., p. 35).

EDAD Y CORRELACION.- Por la relación que guarda su base encima del Esquistos Taxco considerado del Paleozoico, y por su relación -- semejante con la Formación Acuitlapán, que se extiende hasta el Jurásico superior, se puede concluir que la Rocaverde Taxco Viejo representa al Mesozoico inferior, probablemente al Triásico tardío y quizás al Jurásico temprano.

"Rocas semejantes a las que forman la Rocaverde Taxco Viejo han sido descritas en diversas localidades de la República Mexicana. -- Burckhardt y Scalia en 1906, describen en las cercanías de Ciudad de Zacatecas, rocas sedimentarias marinas fosilíferas del Triásico superior. En la región de Zitácuaro, Mich., rocas volcánicas verdes están cubiertas por rocas sedimentarias donde Cantú-Chapa (1968), - encontró fósiles marinos del Neocomiano. En la región de Placeres de Oro, Gro., Z. de Cserna, observó rocas verdes debajo de la Forma

ción Angao, que es del Jurásico superior. Estas relaciones regionales tienden a indicar la presencia de una acumulación marino-volcánica en esta parte de México durante principios del Mesozoico". (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p. 15).

FORMACION ACUITLAPAN

DEFINICION.- El nombre de la formación fue tomado por C. Fries (op. cit., p. 38) para las rocas que afloran en la base suroccidental de la serranía caliza conocida con el nombre de Cerro de Acuitlapán situado en el noreste del pueblo del mismo nombre en el estado de Guerrero.

DISTRIBUCION.- La formación además de encontrarse en su área tipo aflora cerca del panteón de Taxco, Gro., (*ibid*) y en el flanco suroccidental de la Sierra de Taxco.

EXPRESION FISIOGRAFICA.- Debido a que las áreas de afloramiento son demasiado pequeñas como para mostrar una expresión fisiográfica bien definida, se puede afirmar que esta formación muestra escaso relieve y un grado medio de disección.

LITOLOGIA Y ESPESOR.- La mayoría de los afloramientos de la unidad consisten de lutita gris verdosa, que posee un aspecto de pizarra filítica. Se presentan estratos de grauvaca mal clasificada, y en menor proporción estratos de arenisca. Dentro de la secuencia existe un conglomerado constituido por fragmentos de guijas de rocas metamórficas y volcánicas. Estratos de caliza sólo se encuentran en las partes inferiores de la unidad.

El espesor en el área de Taxco fue estimado por C. Fries (op. cit., p. 39) en 120 m. Mientras en las áreas de su afloramiento, en las inmediaciones de los poblados de Almoloya de Al-

ción Angao, que es del Jurásico superior. Estas relaciones regionales tienden a indicar la presencia de una acumulación marino-volcánica en esta parte de México durante principios del Mesozoico". (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p. 15).

FORMACION ACUITLAPAN

DEFINICION.- El nombre de la formación fue tomado por C. Fries (op. cit., p. 38) para las rocas que afloran en la base suroccidental de la serranía caliza conocida con el nombre de Cerro de Acuitlapán situado en el noreste del pueblo del mismo nombre en el estado de Guerrero.

DISTRIBUCION.- La formación además de encontrarse en su área tipo aflora cerca del panteón de Taxco, Gro., (ibid) y en el flanco suroriental de la Sierra de Taxco.

EXPRESION FISIOGRAFICA.- Debido a que las áreas de afloramiento son demasiado pequeñas como para mostrar una expresión fisiográfica bien definida, se puede afirmar que esta formación muestra escaso relieve y un grado medio de disección.

LITOLOGIA Y ESPESOR.- La mayoría de los afloramientos de la unidad consisten de lutita gris verdosa, que posee un aspecto de pizarra filítica. Se presentan estratos de grauwaca mal clasificada, y en menor proporción estratos de arenisca. Dentro de la secuencia existe un conglomerado constituido por fragmentos de guijas de rocas metamórficas y volcánicas. Estratos de calisóo se encuentran en las partes inferiores de la unidad.

El espesor en el área de Taxco fue estimado por C. Fries (op. cit., p. 39) en 120 m. Mientras en las áreas de su afloramiento, en las inmediaciones de los poblados de Almoloya de Al-

cerro del mismo nombre localizado en la porción poniente del estado de Morelos, y propuesto para las rocas calizas que afloran en dicha localidad.

DISTRIBUCION.- Dentro del Estado de México existen afloramientos de esta unidad en la Sierra de San Gaspar, en cuyas faldas se encuentra el poblado de Chalmita; y al suroeste del pueblo de Tonatico. Dentro del estado de Guerrero aflora en la base suroccidental del Cerro de Acuitlapán ubicado al norte del pueblo del mismo nombre. Un pequeño afloramiento atraviesa la carretera de peaje Amacuzac-Iguala, un poco al sur del Km. 157.

EXPRESION FISIOGRAFICA.- Es similar a la presentada por la Formación Morelos, sin embargo, "la topografía de ésta no presenta formas tan redondeadas como aquella y las líneas de desagüe son de medianamente a muy espaciadas. Los flancos de los cerros tienden a presentar una inclinación acentuada exponiendo a la roca sana, siendo los acantilados muy escasos".(C. Fries, op. cit., p.41)

LITOLOGIA Y ESPESOR.- "Esta formación consiste de calizas densas, finamente laminadas de color gris claro a negro en estratos delgados a medianos. Capas delgadas de pedernal se presentan interestratificadas en la parte superior de la formación, mientras en la inferior disminuye tanto el número de capas como de pedernal". (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p. 17).

C. Fries (1960) calculó en los afloramientos situados en Acuitlapán, donde aflora la unidad completa, un espesor aproximado de 150 m.; sin embargo, analizando los plegamientos, llegó a la conclusión de que éste debería exceder de los 500 m.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- La Formación Xochicalco está cubierta discordantemente por la Formación Morelos. Sin embargo, la cima de la unidad infrayacente debe haber sido erosionada, ya que su litología en el contacto varía de un lugar a otro. "El contac-

to inferior en las inmediaciones de Acuitlapán, cubre a la Formación Acuitlapán en aparente discordancia". (op. cit., p. 42).

EDAD Y CORRELACION.- Debido a su contenido faunístico de microfósiles, Bonet en 1956, data a la Formación Xochicalco con una edad Aptiana, por la presencia de ejemplares de colomiella mexicana, junto con radiolarios silicificados y calcificados.

"Las rocas de esta formación se correlacionan con la parte superior de la Formación San Lucas en la región de Huetamo, Mich.,-- (Pantoja-Alor, J., 1959) y con la Formación San Juan Raya de Tehuacán, Puebla". (Z. de Cserna y C. Fries, op. cit., p. 17).

FORMACION MORELOS

DEFINICION.- El nombre para una potente sucesión de calizas y dolomías que afloran en el estado de Morelos y en los contiguos de México y Guerrero, propuesto por C. Fries (1960, p. 44) fue el de Formación Morelos, cuyos afloramientos en el primer estado consideró como región tipo.

DISTRIBUCION.- Siendo esta formación una de las unidades con mayor distribución en la región sería difícil mencionar todos y - cada uno de sus afloramientos dentro de los distintos estados que han sido mencionados con anterioridad.

EXPRESION FISIOGRAFICA.- Las capas gruesas de calizas y dolomías son resistentes a la erosión tendiendo a formar altos topográficos. Las superficies del terreno elevado son redondeadas y convexas hacia arriba. Las líneas de desagüe son amplias y espaciadas, y los costados de los valles aumentan su inclinación hacia abajo, terminando en fondos angostos en forma de "V". Abundan pequeñas do linas en sitios donde los costados están muy inclinados.

LITOLOGIA Y ESPESOR.- Esta unidad estratigráfica consta de una sucesión de capas calizas y dolomías interestratificadas con pedernal en forma de nódulos, lentes, granos y fragmentos de fósiles silicificados. La parte basal está constituida por un miembro de yeso y anhidrita. Los estratos son de gruesos a masivos. Los cuerpos arrecifales están conformados por montículos y bioestromas discontinuos de rudistas, gasterópodos y otros pelecípodos empotrados en una matriz de calcilutita y calcarenita.

El espesor exacto de la formación, dentro de la región, es difícil de establecer debido a condiciones de erosión, ya sea de su base o de su cima. "Sin embargo, en la parte central del estado de Morelos el espesor probable llega cuando menos a 900 m.". C. Fries (op. cit., p. 52). Se considerará que las variaciones en el espesor se deben al acunamiento que sufre la formación.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- La Formación Morelos sobreyace con hiato en aparente concordancia a la Formación Xochicalco, o cubre discordantemente las unidades más antiguas. Mientras su contacto superior discordante principalmente es con la Formación Cuautla, pudiendose encontrar también a la Formación Mexcala o cualquier formación más joven.

EDAD Y CORRELACION.- Debido a la fauna de microfósiles, así como la presencia de rudistas, la Formación Morelos es indicativa de una edad Albiano-Cenomaniano (C. Fries, 1960, p. 55). Sin embargo, este alcance cronoestratigráfico podría no ser uniforme debido a las características depositacionales, tectónicas, estructurales y litoestratigráficas.

Por su posición estratigráfica y litológica, la Formación Morelos, se correlaciona con depósitos de plataforma en la parte centro-oriental de México, como son las formaciones El Abra de-

Valles-San Luis Potosí y de la Faja de Oro; El Doctor de los estados de Hidalgo y Querétaro; con la Formación Tamaulipas Inferior - en los estados de Hidalgo, Veracruz y Tamaulipas, así como con la caliza Aurora y parte de la Formación Cuesta del Cura del noreste de México.

FORMACION AMATEPEC

DEFINICION.- En la porción noroccidental del estado de Guerrero y surponiente del Estado de México, específicamente en las cercanías de Zacualpan, Sultepec e Ixcapuzalco, se presentan afloramientos rocosos de calizas interestratificadas con lutitas, los cuales Z. de Cserna (1978, p.9), denominó de manera informal como Formación Amatepec.

DISTRIBUCION.- Dentro del Estado de México es donde se encuentran sus afloramientos, destacandose los que se localizan hacia el suroeste de la Sierra de Tepextitla, los que afloran al noreste - del poblado de Teamate, en la porción suroriental de la población de Almoloya de Alquisiras y los que se hallan al norte y suroccidente de Sultepec. Dentro del estado de Guerrero existen rocas de esta formación en las inmediaciones de Metlixtapa e Ixcapuzalco.

EXPRESION FISIOGRAFICA.- La topografía característica de esta formación es muy similar a la de la Formación Xochicalco, presentando formas semiredondeadas, con líneas de desagüe medianamente a muy espaciadas. Los flancos de los cerros presentan inclinaciones acentuadas con acantilados no muy fuertes.

LITOLOGIA Y ESPESOR.- "La Formación Amatepec está constituida por una interestratificación de calizas y lutitas. Las calizas son micritas pelágicas laminadas de estratos delgados presentando pe-

dernal negro en forma de lentes. Se presentan calcarenitas finas que poseen laminación y estratificación delgada. Las lutitas se presentan en capas cuyo espesor varía de delgadas a medianas" (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p. 19).

Esta formación presenta una potencia dentro de la región que varía en el orden de los 200 a 450 m. (Z. de Cserna, 1978, p. 9).

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- La Formación Amatepec se presenta sobreyaciendo concordantemente a la Formación Acuitlapán y tiene una transición lateral a la Formación Morelos. Su contacto superior presenta una superficie de erosión muy cercana, pudiéndose encontrar encima de ésta, cualquier formación Cretácica más joven e incluso el Grupo Balsas.

EDAD Y CORRELACION.- A consecuencia de ser muy pobre su contenido de fauna, "los numerosos intentos para datar micropaleontológicamente estas calizas fueron infructuosos. Sin embargo, el Dr. F. Bonet encontró restos mal conservados de foraminíferos que pudieran indicar una edad Albiano-Cenomaniano". (Z. de Cserna y C. - Fries, op. cit., p. 19). Esta edad es confirmada también por sus relaciones estratigráficas.

Su correlación más significativa pudiera realizarse con la Formación Tamaulipas Superior del noreste de México.

FORMACION CUAUTLA

DEFINICION.- El nombre de Formación Cuautla fue tomado por C. Fries en 1960 (op. cit., p. 60) del poblado de Cuautla, Mor., siendo propuesta para los afloramientos de caliza en las serranías bajas situadas hacia el poniente de esa población.

DISTRIBUCION.- La formación se encuentra aflorando en zonas muy extensas del noreste de los estados de Morelos, Guerrero e inclusive hasta la parte suroccidental de Puebla.

EXPRESION FISIOGRAFICA.- Un factor que expresa fisiográficamente a esta formación es su grado de resistencia a la erosión e intemperismo teniendo un desarrollo menor que la Formación Morelos, de rasgos cársticos. La unidad tiende a formar acantilados donde los valles se encuentran muy inclinados. Forman, en gran parte del estado de Morelos, grandes serranías casi paralelas --- (C. Fries, op. cit., p.61).

LITOLOGIA Y ESPESOR.- La Formación Cuautla consta de tres facies principales, que son:

- 1.- Una sucesión gruesa de calizas con estratos medianos a gruesos, compuestas de calcilutita, calcilimolita y calcarenita, presentando nódulos de pedernal, así como bioestromas de rudistas, corales y gasterópodos silicificados.
- 2.- Una sucesión más delgada de calizas laminadas de estratos delgados a medianos con pedernal en forma de láminas, presentando dolomitización aunque ésta sin importancia.
- 3.- Una sucesión muy delgada de calizas clásticas de estratos delgados a medianos, con textura de calcilutita, calcilimolita y calcarenita, con una mezcla de material arcilloso y carbonoso.

La porción de la Formación Cuautla que posee el espesor máximo, tomado como parámetro del espesor total de toda la secuencia, corresponde a la facies No. 1, presentando un total aproximado de 750 m.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- La Formación Cuautla descansa en aparente concordancia encima de la Formación Morelos, siendo

su próxima unidad suprayacente la Formación Mexcala, que descansa encima de ésta concordantemente. Se pueden encontrar formaciones más jóvenes que ésta sobre la Formación Cuautla, debido a la erosión de la primera.

EDAD Y CORRELACION.- Por su contenido faunístico macrofósil, C. Fries (1960), resume todos los datos paleontológicos existentes para datar esta unidad de la siguiente manera:

Las capas basales son de edad Cenomaniense tardía, mientras que las de encima casi seguramente son de edad Turoniana tardía.

Rocas similares en litología y edad a la Formación Cuautla afloran en los estados de Puebla y Oaxaca, donde son nombradas Formación Petlalcingo. Se ha correlacionado con la Formación Soyatal en Querétaro; con la Formación Agua Nueva del extremo septentrional de Hidalgo y suroriente de San Luis Potosí.

FORMACION MEXCALA

DEFINICION.- La secuencia de rocas clásticas marinas que afloran en las inmediaciones tanto del pueblo como del río situado cerca del Km. 220 de la carretera México-Acapulco, constituyen la Formación Mexcala (C. Fries, 1960, p.72); la localidad tipo fue escogida a lo largo del río Balsas-Mexcala, un poco al oriente del puente de la carretera.

DISTRIBUCION.- Esta formación aflora desde el suroeste de Taxco, continuando al sur hasta el centro del estado de Guerrero, al norte por el estado de Hidalgo y al oriente por la parte occidental de Puebla y Oaxaca.

EXPRESION FISIOGRAFICA.- Estas rocas muestran poca resisten

cia a la erosión, tendiendo a formar planicies bajas. La topografía desarrollada en ésta tiene un aspecto de madurez, caracterizándose por presentar terrenos muy disectados, con cumbres redondas o con filos agudos y valles en forma de "U" desarrollados sobre los sinclinales del área.

LITOLOGIA Y ESPESOR.- Esta formación es muy variable en su litología, tanto vertical como lateralmente. La parte basal está constituida de caliza arcillosa o de limolita calcárea en estratos de medianos a gruesos, intercalados con capas de arenisca calcárea. Encima de ésta, se encuentran capas interestratificadas de lutitas y limolitas calcáreas, con menor cantidad de arenisca. Hacia arriba de la sucesión, los interestratos de arenisca o subgrauvaca aumentan y aparecen capas de conglomerado de grano fino. En general, podemos decir, que las capas de grano fino muestran una laminación, mientras las de grano grueso presentan estratificación cruzada.

Debido a que la Formación Mexcala sufrió erosión y plegamiento no puede ser estimado su espesor de manera confiable. Sin embargo, Bohlenberger-Thomas en 1955 midió una sucesión en la localidad tipo con cierta exactitud, la cual presenta unos 1 220 m. de potencia (C. Fries, 1960, p.80).

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- La Formación Mexcala descansa encima de la Formación Cuautla casi en todas partes, pero localmente parece faltar ésta y entonces el contacto es con la próxima unidad infrayacente, o sea, la Formación Morelos. En el distrito de Taxco, Gro., la unidad descansa sobre el Esquisto Taxco, pero en otros sitios descansa sobre una de las unidades intermedias. La próxima formación suprayacente puede ser cualquiera de las unidades del Terciario con un contacto erosional y angular.

EDAD Y CORRELACION.- Los datos paleontológicos reportados--

por Ontiveros-Tarango (1973, p.22), corroboran la edad Turoniana de la parte inferior de esta formación, tal y como lo había considerado C. Fries en 1960 (op. cit., p.89 y 205). Por otra parte en otros lugares de esta región, este autor designa mediante datos similares una edad Coniaciana para su mitad superior. Tomando esta información se puede concluir que la Formación Mexcala representa al Turoniano y al Coniaciano en la región.

Esta se puede correlacionar con las Formaciones Kochipala y Mal Paso que afloran en la región de Huetamo, Mich., y noroeste de Oaxaca, respectivamente; con la Formación Agua Nueva y San Felipe de la Sierra Madre Oriental y de la región de Tampico, Tamps.

ERA CENOZOICA

SISTEMA TERCIARIO

GRUPO BALSAS

DEFINICION. - C. Fries (1960, p.91), propuso el nombre de Grupo Balsas para un conjunto de rocas que comprende una variedad grande de tipos litológicos de espesor variable, que se presentan en la cuenca hidrológica del río Balsas-Mexcala en el centro-sur de México.

DISTRIBUCION. - Es una formación importante en el noreste de Guerrero y parte del estado de Morelos. Aflora en la depresión en derredor de Iguala, en las cercanías de Taxco, en el valle del río Chontalcuatlán y forma las colinas bajas al norte de Puente de Ixtla, este último en Morelos.

EXPRESION FISIOGRAFICA. - El Grupo Balsas presenta una expresión fisiográfica tan variada como las unidades que lo constituyen. El conglomerado calizo bien endurecido forma cuerpos redondeados, lisos y con líneas de desagüe ampliamente espaciados. El otro extremo corresponde a la sucesión de capas de limo, arena y conglomerado poco endurecidas e incipientemente disectadas, mostrando una topografía parecida a la que caracteriza a la Formación Mexcala.

LITOLOGIA Y ESPESOR. - El Grupo Balsas comprende tipos de rocas tan diversos como evaporitas, conglomerados de grano grueso, sedimentos clásticos de grano fino, tobas, corrientes lávicas y calizas de agua dulce.

El tipo litológico más característico de la región es un conglomerado formado por guijas y matatenas de calizas cretácicas, que presentan una matriz calcárea o areno-limo-arcillosa con óxidos de fierro. En este último caso el conglomerado tiene una coloración rojiza, por lo que se denomina "conglomerado rojo". Los estratos del conglomerado varían de delgados, medianos y hasta masivos. Las arcosas, limolitas y lutitas pueden presentarse solas o interstratificadas con capas de conglomerados.

En varias localidades el Grupo Balsas contiene derrames de lavas de composición andesítica y basáltica. También se presentan pequeños cuerpos lenticulares de yeso y de calizas de agua dulce interstratificados con limolitas rojizas.

El espesor total del Grupo Balsas es variable de un lugar a otro. C. Fries (1960, p. 95), calculó su espesor en las cercanías del poblado de Amacuzac, Mor., en más de 2 000 m.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS. - El Grupo Balsas descansa con discordancia angular y erosional encima de todas las rocas más antiguas de la región, desde la Formación Mexcala del Cretácico superior hasta el Esquisto Taxco del Paleozoico. La próxima formación supra-

yacente es la Riolita Tilzapotla que guarda relación concordante con las capas superiores del grupo, pudiendo, donde falta esta última, encontrarse cualquiera de las formaciones volcánicas del Terciario medio e inclusive rocas de edad Cuaternaria, guardando en este caso discordancia angular y erosional sobre el grupo.

EDAD Y CORRELACION.- Los límites cronológicos del Grupo Balsas son amplios, no pudiéndose fijar con precisión en ninguna parte por falta de restos fósiles.

"Las edades obtenidas para la parte inferior de la Riolita - Tilzapotla (Eoceno medio-Oligoceno inferior), permiten inferir que la parte superior del Grupo Balsas probablemente no sea mucho más joven que el Eoceno inferior a medio, mientras que por correlación la parte inferior pudiera representar al Maestrichtiano. Debido a esta información sería preciso una reevaluación en su correlación" (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p.22).

Rocas similares al Grupo Balsas son correlacionables a las encontradas en Zimapán, Hgo., y denominadas Grupo El Morro. Con el Conglomerado Rojo de Guanajuato localizado en el Distrito minero de Guanajuato, Gto.

RIOLITA TILZAPOTLA

DEFINICION.- El nombre de Riolita Tilzapotla fué propuesto por C. Fries (1960, p.104), para describir los extensos afloramientos de brecha tobácea riolítica situados en las cercanías del poblado de Tepextitla, así como los ubicados al sur del lago de Tequesquitengo y al noroeste del pueblo de Amacuzac, Mor.

DISTRIBUCION.- La Riolita Tilzapotla está ampliamente distribuida en la parte occidental y central de México. Regionalmente se localiza en gran parte del suroeste de México, al sur del poblado de Acatipila y en Taxco, ambos en el estado de Guerrero.

EXPRESION FISIOGRAFICA.- Esta unidad volcánica forma mesetas con bordes abruptos que muestran diaclasas columnares de grandes dimensiones. En otros sitios son constituyentes de las sierras altas que sobresalen de formaciones más recientes que forman planicies. (Z. de Cserna y C. Fries, op. cit., p. 22).

LITOLOGIA Y ESPESOR.- La descripción petrográfica que realizó de Cserna y Fries (1981), en la parte inferior de la Riolita Tilzapotla en la sierra de Taxco, es correlacionable con los afloramientos que se encuentran al noroeste de ésta área, correspondientes a las sierras de Sultepec, Tepextitla y la situada al poniente del poblado de Almoloya de Alquisiras, y que corresponde a la siguiente descripción:

"Estos afloramientos están formados por un derrame piroclástico de composición dacítica a riodacítica. En las cercanías del poblado de Acamixtla la parte inferior de la unidad presenta aproximadamente 50 m. de derrames vítreos de color negro, localmente llamado "piedra pez". La parte restante de la formación volcánica consta de rocas riolíticas fluidales desvitrificadas de color rosa y gris claro".

El espesor de la Riolita Tilzapotla en la región es muy variable debido probablemente a causas originales de su depósito o su erosión posterior. Sin embargo, al definir formalmente esta unidad, C. Fries (op. cit., p. 104), consideró que el espesor máximo en las cercanías de Tilzapotla, correspondía a unos 250 m. En promedio se puede concluir, de acuerdo a estos datos y los obtenidos por de --- Cserna, que el espesor varía entre los 50 hasta los 400 m.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- Estas rocas volcánicas descansan en concordancia sobre las capas más jóvenes del Grupo Balsas, pudiendo sobreyacer a las Formaciones Mexcala o Morelos. En los sitios donde la serie descansa encima de rocas más antiguas que el Grupo Balsas la relación con éstas son de discordancia angular. Se

encuentra cubierta por sucesiones volcánicas más recientes, pero donde éstas han sido erosionadas, la siguiente formación más joven, o sea la Cuernavaca, descansa en discordancia erosional, y en algunos sitios también angular.

EDAD Y CORRELACION.- Se han realizado varios estudios radiométricos para datar a la Riolita Tilzapotla. El método plomo-alfa aplicado a una muestra de circones autógenos, demostró una edad - Oligoceno tardío (C. Fries, 1960, p.107). El método K-Ar aplicado en un concentrado de feldespatos potásicos, proporcionó una edad que corresponde al Oligoceno temprano a medio. Empleando el mismo método, pero ahora en una muestra de roca entera, dió una edad equivalente al Eoceno temprano (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p.23) Se concluye que en la región, la base de la Riolita Tilzapotla es del Oligoceno Temprano, acumulándose la mayor parte de ella probablemente durante el Oligoceno.

La Riolita Tilzapotla, en edad aunque no en litología puede corresponder a la parte basal de la serie volcánica Xochitepec, de la zona sur de la Cuenca de México. En el noreste de Hidalgo, puede corresponder a la porción inferior del Grupo Pachuca.

SISTEMA CUATERNARIO

FORMACION CUERNAVACA

DEFINICION.- Los depósitos clásticos transportados por agua, bien expuestos y muy extensos, depositados en la cuenca hidrográfica del río Amacuzac y sus afluentes, sobre los que se construyó la Ciudad de Cuernavaca, Mor., fueron denominados por C. Fries -- (1960, p.119-120), como Formación Cuernavaca.

DISTRIBUCION.- La distribución de estos materiales clásticos son muy extensos. Se encuentran desde su límite septentrional de afloramiento que se extiende desde la base sur del volcán Nevado de Toluca o Zinacantépetl*, hasta la base sur del volcán Popocatepetl.

EXPRESION FISIOGRAFICA.- Estos depósitos constituyen rellenos de valles y bajos topográficos antiguos formando superficies construccionales como abanicos aluviales coalescentes y extensas llanuras con desarrollo incipiente de la red hidrográfica. Presenta tajos y barrancas que se alargan por erosión remontante en la superficie construccional.

LITOLOGIA Y ESPESOR.- La litología de la Formación Cuernavaca es muy variada. Está formada principalmente por conglomerado de grano grueso, cuyos constituyentes son casi exclusivamente rocas volcánicas andesíticas y basálticas empacadas en una matriz tobácea - arenosa, pudiendo ser el tamaño de los componentes desde limo hasta bloques de 1.0 m. de diámetro. Existen además intervalos tobáceos, depósitos margosos y tierra diatomácea, así como travertino e incluso llega a presentar depósitos de yeso.

El espesor de la Formación Cuernavaca dentro de la región varía de un lugar a otro; sin embargo, sus mayores espesores son muy cercanos a los 100 o 200 m. (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p. 26).

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS.- Sobreyace en discordancia erosional a la Riolita Tilzapotla, o bien, en la misma forma sobre el Grupo Balsas. La unidad inmediata suprayacente es el Grupo Chichinautzin, descansando este elemento volcánico en discordancia erosional.

EDAD Y CORRELACION.- No se han podido establecer los límites precisos de edad de la Formación Cuernavaca por su carencia de --

*.El Nevado de Toluca fue llamado por algunos autores El Xinantécatl lo cual, según Tamayo, J.L., 1949, p. 217, no se presta a análisis etimológico alguno. Zinacantépetl, en náhuatl significa la montaña del marcielago. (de Cserna y Fries, op. cit., p. 27).

fauna, Sin embargo, C, Fries por sus relaciones estratigráficas, - la consideró del Plioceno superior y quizá del Pleistoceno inferior.

Se correlaciona con la Formación Chilpancingo que aflora en las cercanías de la ciudad del mismo nombre en el estado de Guerrero, En la parte suroccidental de la Cuenca de México, con la Formación Tarango,

ALLUVION

Los depósitos clásticos holocénicos cuya acumulación esta constituida por gravas, arenas y limos poco compactados y mal cementados, que se encuentran como pequeñas áreas de relleno son denominadas como aluvión

Estos depósitos son transportados debido a la activa erosión que se desarrolla por los principales ríos y arroyos de la región, los cuales debido a sus dimensiones, son importantes únicamente en aquellos lugares donde son lo suficientemente grandes para ser realzados en un mapa geológico, Son importantes algunos de ellos dados sus constituyentes principalmente arenosos y arcillosos en virtud de servir como bancos de materiales,

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

C, Fries (1960, p. 138), nos señala al respecto de este tipo de rocas: "las rocas ígneas intrusivas más antiguas de la región afloran en Taxco, Gro., donde cortan al Esquistos Taxco en forma de diques, mantos y pequeños cuerpos irregulares". Este autor observó - en el Km. 160,5 de la carretera Amacuzac-Taxco un dique con estas

características, deformado y fallado que sugiere una edad que pudiera ser del Paleozoico. Existen, sin embargo, en la región la presencia de diques, diquestratos y troncos que son considerados como del Terciario, ya que cortan rocas más antiguas al Paleozoico no observándose que cortaran a la Formación Cuernavaca suprayacente, de edad Plio-Pleistoceno.

ROCAS GRANITOIDES

Dos cuerpos intrusivos en forma de troncos, compuestos por roca granítica, cortan las Formaciones Xochicalco y Morelos en las cercanías del poblado de Palmillas, Gro. Las rocas corresponden; el primero a un pórfido de diorita cuarcífera y granodiorita, el segundo llamado "Tronco de Coaxtlán", por C. Fries (op. cit., p.139), es un pórfido granodiorítico de edad, calculada por el método radiométrico de plomo-alfa, del Eoceno medio (Z. de Cserna, et al., 1974, p.272). Un tercer tronco aflora en el cerro de Colotepec, ubicado al sureste de la Ciudad de Taxco, siendo clasificado por E. Schmitter como una monzonita cuarcífera.

ROCAS MAFICAS

En la región cercana al proyecto afloran por lo menos cuatro cuerpos intrusivos máficos. El primero de éstos, se localiza sobre la margen derecha del Arroyo Almoloya, 6 Km. aguas abajo del poblado de Almoloya de Alquisiras, Méx., constituido por una roca clasificada como diabasa en forma de diquestrato que intrusióna a la Formación Anatepec. Un pequeño tronco de composición andesítica, intrusióna a la Formación Acuitlapán a unos 3 Km. al surpo-

niente de la sierra de Tepextitla. Más al surponiente, unos 3 Km. al noreste del poblado de Aquiapán, Gro., un tronco o dique de -- diorita intrusiva a la Formación Amatepec. Por último, en la porción norponiente, a unos 2 Km. de la población de Totoimajac, Méx. un pequeño tronco de diabasa está emplazado en el Esquisto Taxco.

ROCAS FELSICAS

De estas rocas únicamente aparecen nueve cuerpos intrusivos félsicos dentro de la región. Sin embargo, Z. de Cserna y C. Fries 1981 (op. cit.), señalan haber cartografiado un total de once cuerpos similares en su estudio que dió como resultado la Carta Geológica denominada "Hoja Taxco".

De estos nueve elementos ígneos, dos intrusionan a las Formaciones Acuitlapán y Amatepec, ambos son diques, uno de composición riolítica y el otro de felsita que se encuentra al sur de las poblaciones de Sultepec y El Teamate, Méx., respectivamente.

Otros cuatro diques, además de un tronco, intrusionan al -- Esquisto Taxco, los primeros de composición felsítica encontrándose dos al sur del poblado El Teamate, y los restantes en las cercanías del pueblo de San Pedro Hueyahualco, ambos en el Estado de México; el tronco es un pórfido riolítico, que forma el -- cerro de la Piedra Parada al norponiente del poblado de Malinaltenango, Méx. Por último un tronco felsítico, intrusionó a la Rocaverde Taxco Viejo y a las formaciones Acuitlapán y Xochicalco al surponiente del pueblo de El Platanar, Gro.

II. 5 TECTONICA GENERAL

ESTRUCTURA DEL BASAMENTO

El basamento de la región está formado por rocas metamórficas -- varias veces deformadas y truncadas por una superficie de erosión -- sobre la cual se depositaron las rocas sedimentarias marinas que -- constituyen, para consideraciones tectónicas la cobertura mesozoica. Las rocas metamórficas del basamento se dividen en dos unidades litoestratigráficas de las cuales la más antigua, que posee las hue-- llas de por lo menos dos deformaciones penetrantes, es el Esquisto Taxco. Encontrándose encima de ésta en forma discordante la Rocaver de Taxco Viejo, en la cual se observa sólo una foliación secundaria incipiente acompañada por un metamorfismo de grado muy bajo. Los efectos de la deformación que afectó a la cobertura mesozoica de la región, aparentemente no fueron penetrantes sobre las estructuras -- de las rocas del basamento.

En base a datos de medición del rumbo e inclinación de la folia-- ción en el Esquisto Taxco realizados por Z. de Cserna y C. Fries, -- 1981 (op. cit., p.29), se puede especular que la tendencia estructu-- ral de la primera deformación en esta roca se produjo desde el po-- niente-norponiente hacia el oriente-nororiente, probablemente contra los terrenos metamórficos más antiguos de las partes centromeridio-- nal y centro-oriental de la República Mexicana. Por falta de datos geocronométricos precisos, únicamente se puede inferir que esa de-- formación tuvo lugar hacia finales del Paleozoico.

La segunda deformación en el Esquisto Taxco, desplaza a la pri-- mera, dando origen a ondulación de la primera foliación que, sin --

duda alguna, resultó de una deformación compresional.

F. Campa (1978), encuentra mucha semejanza entre las rocas del Esquistos Taxco descritos por C. Fries y las rocas volcánico-sedimentarias del Cretácico inferior que afloran al occidente de Teloloapan, Gro., por lo que la edad del Esquistos Taxco pudiera no ser Paleozoica, y en ese caso esta unidad no formaría parte del basamento metamórfico sobre el que evolucionó la secuencia mesozoica (S.P.P., 1982 p. 59).

En la región, la unidad litoestratigráfica más joven del basamento es la Rocaverde Taxco Viejo, que descansa sobre el Esquistos Taxco, guardando con éste una relación discordante. Sin embargo, en varios sitios, se observan abundantes vetillas de cuarzo que pudieran indicar una relación tectónica correspondiente a una cabalgadura. Si esta suposición es cierta podría pensarse que la segunda foliación en el Esquistos Taxco está íntimamente relacionada con el emplazamiento de la Rocaverde Taxco Viejo en forma de una o varias masas alóctonas y también como un crucero de cabalgamiento. De esta manera el origen de esta segunda foliación pudiera haber tenido lugar hacia finales del Jurásico temprano o principios del Jurásico medio (Z. de Cserna, 1970, p.103-105; 1976, p.20-21).

Las estructuras en la Rocaverde Taxco Viejo corresponden a pliegues amplios con dirección NNW-SSE que se originaron al ser esta unidad deformada contra la Plataforma Morelos-Guerrero durante finales del Cretácico tardío.

Por otra parte, en el supuesto caso de que la Rocaverde Taxco Viejo no constituyese una o varias masas alóctonas, sino que su acumulación se hubiese efectuado en la región, entonces sería necesario analizar el período de fracturamiento resultante de condiciones de tensión regional que permitió el ascenso del material magná-

tico andesítico, así como de diques y diquestratos a través del Esquisto Taxco (C. Fries, 1960, p. 138). Estos cuerpos están deformados siendo anteriores a la Formación Acuitlapán, de modo que pudieran haberse originado del mismo magmatismo que dio origen a la Roca verde Taxco Viejo. En este caso, la segunda foliación del Esquisto Taxco debe haberse desarrollado antes que la Rocaverde Taxco Viejo se depositara en la región, mientras la foliación incipiente y propilitización de esta última fueron originadas, en un período de deformación compresiva que pudo haberse efectuado a finales del Jurásico temprano o principios del Jurásico medio y que fue seguida por una erosión que removió estas rocas volcánicas de los sitios donde no afloran.

La posibilidad que la segunda foliación del Esquisto Taxco y la foliación incipiente de la Rocaverde Taxco Viejo hayan resultado de la deformación de la cobertura mesozoica según el Dr. F. Ortega G. (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, *op. cit.*), pudiera ser otra hipótesis alternativa; sin embargo, esta interpretación tendría que reconsiderar dos hechos importantes, que son: la presencia de clástos de andesita basáltica foliados y propilitizados de la Rocaverde Taxco Viejo en la parte basal de la Formación Acuitlapán en algunos sitios y la falta de crucero de fractura en ésta, siendo que esta formación presenta un crucero de tipo continuo o pizarroso.

La historia térmica, que se pudo conocer gracias a los trabajos geocronométricos del Dr. R. L. Armstrong (*ibid*), tienden a indicar que en el desarrollo del metamorfismo del Esquisto Taxco, los aspectos térmicos fueron los que ejercieron un papel importante en un ambiente de baja presión. Así mismo, señalan que la región sufrió calentamiento durante el Cretácico tardío. Esto, a su vez, se puede explicar mediante el emplazamiento de numerosos cuerpos intrusivos sintectónicos durante la deformación de la cobertura mesozoica y -- que en el desarrollo de los pliegues del basamento, el ascenso de --

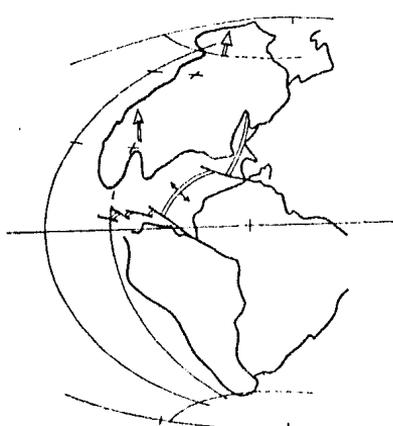
estos cuerpos pudo haber jugado un papel más importante que la com presión desde el poniente-surponiente. Es por ello, tal vez, que - del desarrollo de esos pliegues no resultara una deformación penetrante en el basamento.

ESTRUCTURA DE LA COBERTURA MESOZOICA

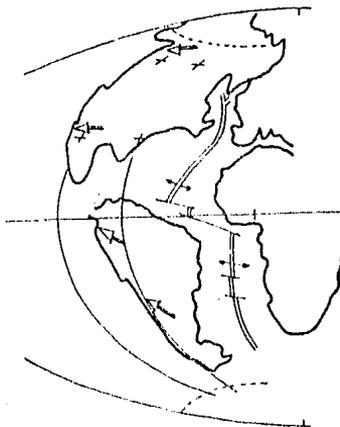
La constitución de esta cobertura mesozoica comprende el paquete estratigráfico integrado a partir de la Formación Acuitlapán hasta la Formación Morelos.

En cuanto a la génesis de las estructuras de la cobertura, De mant-Mauvois y Silva (1976), refieren que: "esta cadena corresponde a un arco volcánico que se desarrolló en respuesta a la fase compresiva del Jurásico-Cretácico". Considerando la posición de la Placa Norteamericana en el período comprendido entre los 160-100 m.a., se puede relacionar la fase compresiva con el movimiento de América del Norte hacia el noreste (apertura del Atlántico Norte) y con la subducción del Paleopacífico. (Figura No. 8).

F. Campa, et al., (1974-1980), a través de sus diversos estudios realizados en la región y zonas adyacentes, pudo recopilar y analizar las fases de deformación que a su juicio actuaron en el desarrollo de la cobertura mesozoica. En su estudio de 1977, sobre las regiones mineralizadas de Guadalajara, Tlalpujahuá, El Oro, Angangueo Ixtapan-El Oro, Temascaltepec, Sultepec, Taxco y Huitzucó, consideró que el Mesozoico estaba representado por dos regiones contrastantes teniendo como contacto una franja muy clara con dirección preferencial NNW-SSE que tocaba cada uno de estos puntos y teniendo al oriente de esta línea afloramientos de una secuencia de bancos y capas de

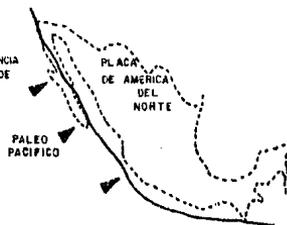


B JURASICO SUPERIOR 135 M.A



C CRETACICO SUPERIOR 65 M.A

EL METAMORFISMO DE LA SECUENCIA
VULCANO-SEDIMENTARIA SE PUEDE
UBICAR EN ESTE PERIODO



A ARCO VOLCANICO - JURASICO - CRETACIO

DE O. BRAM, S. DIETS Y G. HOLDEN, S.R. (1970)

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPENTILLA
EN LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO

EVOLUCION GEODINAMICA
JURASICO CRETACICO

LUIS ARTURO TAMIA CREPO FIGURA No. 6 MEXICO, DF
1986

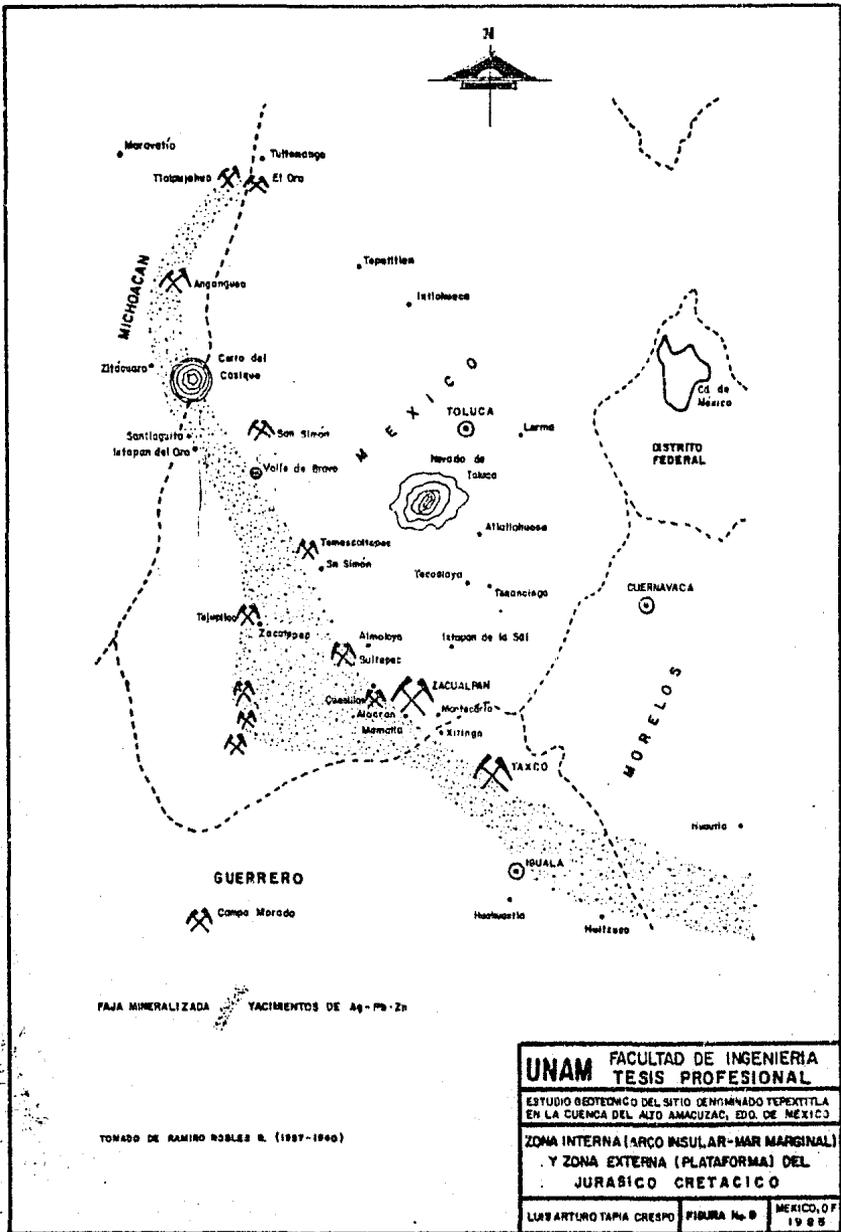
caliza de plataforma y sedimentos flysch del Cretácico, que se encuentran plegados en grandes estructuras anticlinales y sinclinales orientadas norte-sur. Al oeste de dicha franja la secuencia volcánico-sedimentaria metamorfizada, del Jurásico superior- Cretácico inferior. De aquí que esta autora estime dos dominios paleogeográficos: un dominio de plataforma externo y un dominio interno de arco insular-mar marginal, que son opuestos en sus facies pero correlacionables en el tiempo. (Figura No. 9).

De la secuencia volcánica metamorfizada del dominio interno de arco insular mar-marginal F. Campa (1978, p. 61-62), señala que corresponde a la región actual de Teloloapan-Arcelia-Tejupilco, mientras que la zona externa corresponde a la región de Morelos-Guerrero La zona de Huetamo-Coyuca, representa la transición entre los dos dominios.

En cuanto a las fases de deformación que tuvieron lugar posteriormente al depósito de las rocas metamórficas, C. Fries(1960) y F. Campa (1974-1978), realizaron estudios al respecto: el primero demostró la existencia de dos fases, atribuyendo a la Revolución Larumílica mayor importancia, evidenciada por una discordancia del Cretácico (Albiano), sobre la secuencia volcánico-sedimentaria metamorfizada. El segundo autor deduce cuatro fases sucesivas de deformación, las cuales son:

Primera Fase.- Representada por una deformación compresional llevada a cabo durante el Cretácico medio (Cenomaniano), afectando la secuencia volcánico-sedimentaria depositada hasta el Albiano. Esta fase esta acompañada de un metamorfismo regional de bajo grado, manifestado por el plegamiento y foliación de estos depósitos, cuyo origen se puede ubicar en este período, al cambiar el sentido del desplazamiento de América del Norte y empezar la deriva de América del Sur (apertura del Atlántico Sur), originandose el cierre del dominio del Caribe. (Figura No. 8).

Segunda Fase.- Al término del Cretácico y comienzos del Terciario



rio (Paleoceno), "ocurrió la deformación compresional que dió origen a la formación de grandes estructuras anticlinales y sinclinales, -- afectando a los depósitos de plataforma, mismos que tienen una tendencia a recostarse hacia el oriente"(F. Campa, 1978, p.60), además en este tiempo, esta deformación, superpuesta a la del Cretácico medio (Cenomaniano), "provoca la aloctonía y corrimiento del dominio interno sobre los de plataforma" (op. cit., p.59), además de que la región de transición de Michoacán y Guerrero, continuaba con el depósito de capas rojas continentales.

Durante el Eoceno-Oligoceno toda la región emerge definitivamente acompañando a este suceso un fallamiento normal intenso y una sedimentación clástica continental sobre las partes más bajas de la entonces nueva topografía. (S.P.P., 1982, p.60).

Tercera Fase.- Compuesta por una deformación compresional que su perpuesta a las dos anteriores, ocurre a fines del Mioceno desarrollando una posición anormal de la secuencia metamórfica conjuntamente con otras unidades pre-miocénicas y que conforman combamientos amplios. Esta tercera fase implica también el final de la deformación compresional dando paso a la cuarta fase, ahora de extensión que continua hasta nuestros días.

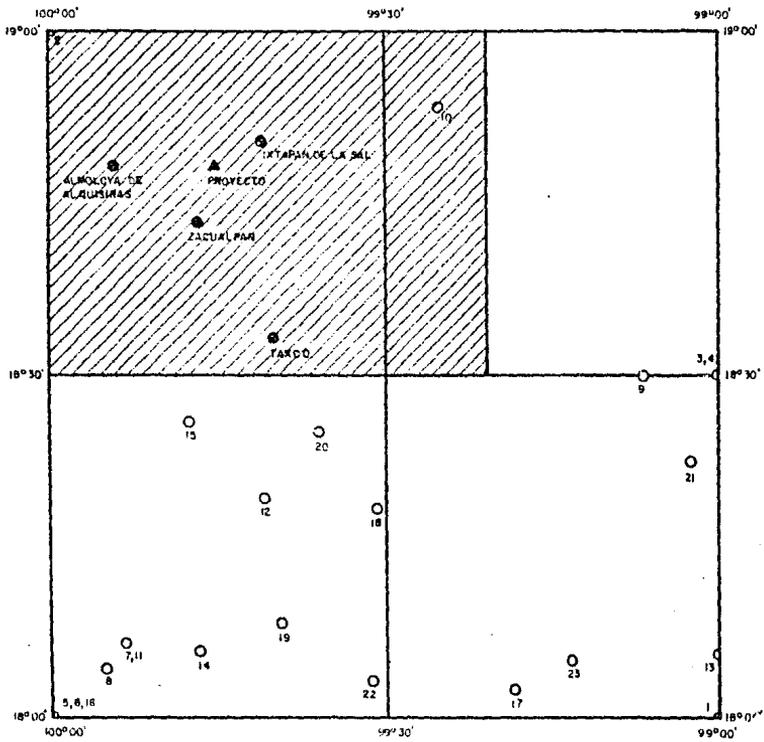
Cuarta Fase.- La tectónica extensional o neotectónica (distensión) da inicio con la actividad volcánica intermedia y la generación de fosas: desde el Plioceno hasta el Reciente se producen movimientos tensionales, que provocan un fallamiento normal, un sistema de diaclasas y el relleno posterior de las fosas. Este relleno constituye los depósitos epiclásticos de la Formación Cuernavaca. Las fosas más características se observan en las mesetas de Ixtapan de la Sal, -- Coatepec Harinas-Pilcaya, y en general cualquier meseta constituida por estos materiales que guarde una orientación NW-SE. De igual forma da inicio a esta deformación la actividad volcánica andesítica basáltico hasta llegar a nuestros días formando conos y coladas que han conformado el Eje Neovolcánico, y que cubre al conjunto de rocas y sus deformaciones compresionales superpuestas.

II.6 SISMICIDAD

De acuerdo a datos obtenidos por el Dr. R. Mota del Servicio-- Sismológico Nacional del Instituto de Geofísica de la U.N.A.M., que aparecen en (de Cserna Z., Fries C., 1981, p.36), se demuestra que en la región comprendida entre los paralelos $18^{\circ} 30'$ y $19^{\circ} 00'$ de latitud norte, así como la de los meridianos $99^{\circ} 00'$ y $100^{\circ} 00'$ longitud oeste, y en la cual se encuentra ubicada la zona de estudio, solamente dos sismos tuvieron sus epicentros en la vecindad del sitio -- Tepextitla, durante el período comprendido entre los años 1900 y 1980. Uno de éstos ocurrió el 19 de noviembre de 1912, localizado aproximadamente a unos 35 Km. en línea recta al norponiente del eje de la cortina, teniendo una profundidad de 80 Km., desconociéndose la magnitud del mismo. El otro sismo con epicentro localizado aproximadamente a unos 32 Km de la zona del proyecto y a unos 3 Km. del poblado de Chalma, Méx., ocurrió el 3 de mayo de 1958 desconociéndose tanto su profundidad como su magnitud (Figura No. 10).

Refiriendo, sin embargo la ubicación del Proyecto Tepextitla a la Carta Sísmica de la República Mexicana, editada por el Instituto de Geofísica antes mencionado, éste se encuentra en la zona denominada sísmica de movimientos frecuentes (Figura No. 11), como lo demuestra la presencia de numerosos sismos ocurridos en este período (1900-1980), al sur de las coordenadas geográficas arriba citadas, que se pueden observar en la Figura No. 10, que tuvieron profundidades promedio de 100.0 Km., con magnitud promedio calculada con ondas "P" de 4.3, concluyéndose que estos sismos tuvieron efectos leves para la región de interés.

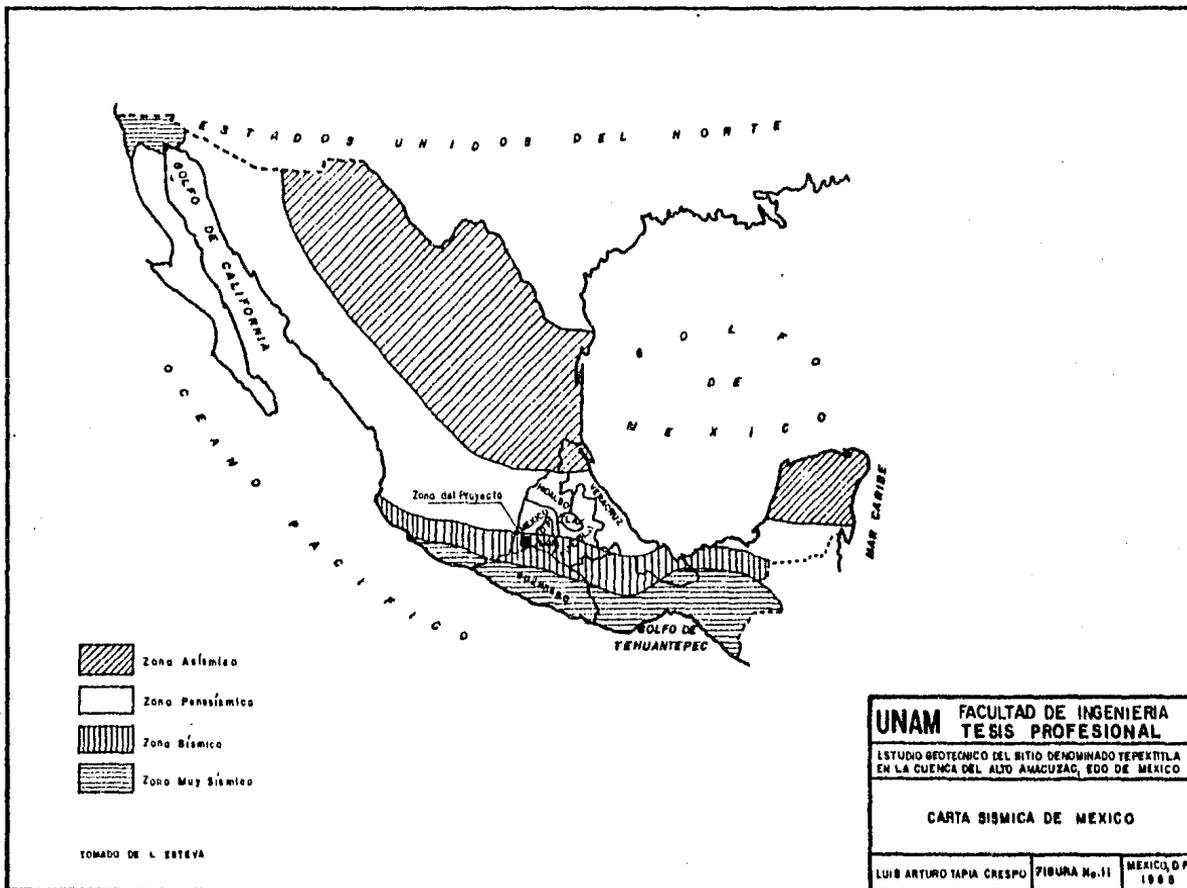
De acuerdo a lo anterior, existe una cierta peligrosidad desde el punto de vista sísmico en cuanto a la estabilidad de una obra ci



Nº.	Fecha	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (km)	Magnitud
1	26/03/1908	18°00'	99°00'	80	7
2	19/11/1912	19°00'	100°00'	80	7
3	06/10/1937	18°30'	99°30'	100	7
4	03/05/1938	18°30'	99°00'	100	7
5	28/05/1938	18°25'	100°00'	110	7
6	23/02/1941	18°00'	100°00'	120	7
7	03/08/1950	18°08'	99°54'	95	7
8	28/05/1954	18°04'	99°35'	100	7
9	07/03/1955	18°30'	99°05'	100	7
10	05/05/1958	18°55'	99°25'	?	7
11	08/07/1962	18°08'	99°54'	192	7
12	10/05/1965	18°19'	99°42'	131	4.0
13	19/02/1968	18°06'	99°00'	163	3.6
14	20/02/1968	18°06'	99°48'	89	3.5
15	24/08/1967	18°24'	99°48'	97	4.5
16	19/08/1967	18°00'	100°00'	87	3.6
17	26/03/1971	18°02'	99°19'	98	4.5
18	08/02/1972	18°17'	99°31'	112	4.3
19	08/11/1973	18°08'	99°41'	71	5.3
20	30/10/1974	18°24'	99°37'	81	4.6
21	11/08/1977	18°24'	99°02'	102	4.4
22	28/03/1978	18°03'	99°31'	84	4.7
23	04/10/1978	18°05'	99°14'	88	4.9

DATOS DEL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL, DEL INSTITUTO DE GEOFÍSICA DE LA UNAM. (1980)

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEXTITLA EN LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO	
EPICENTROS DE SISMOS DENTRO DEL AREA DEL PROYECTO	
LUIS ARTURO TAPIA CRESPO	MEXICO, D.F. 1985



vil, como la que se proyecta, así como de los materiales de la Formación Cuernavaca de constitución clástica que presenta pendientes casi verticales o dirigidos hacia el embalse.

II.7 GEOLOGIA HISTORICA

El primer evento registrado en la región fue el depósito de tobas riolíticas interestratificadas con materiales clásticos que forman al Esquisto Taxco. Estas rocas se acumularon probablemente en la segunda mitad del Paleozoico siendo con posterioridad fuertemente deformadas en pliegues recostados con rumbos hacia el noreste.-- El metamorfismo dinámico de rango bajo y el desarrollo de la foliación parecen haber acompañado al plegamiento. Posteriormente cortaron al esquisto numerosas fallas, se formaron vetillas de cuarzo y fueron emplazados diques andesíticos siguiendo a ésto un largo período de erosión.

Encima del esquisto erosionado fueron depositadas las rocas andesíticas de la Rocaverde Taxco Viejo, probablemente en la segunda mitad del Triásico. La región pudo haber estado bajo el nivel del mar mientras se acumulaba cuando menos una parte de dichas rocas,-- a juzgar por la matriz calcárea de algunos interestratos de toba.-- Las rocas volcánicas parecen haber sido plegadas y metamorfizadas ligeramente, desarrollando una foliación débil antes de ser depósitada encima la siguiente unidad estratigráfica.

La erosión o la falta de depósito (hiatus), siguió al metamorfismo de la Rocaverde Taxco Viejo. El depósito de las capas calcáreas y arcillosas de la Formación Acahuizotla, probablemente en la última parte del Jurásico, marcan la primera transgresión mesozoica en el sur de México. (Z. de Cserna, 1965, p.57).

Después del depósito de la Formación Acahuizotla pudo haber -- existido algo de plegamiento débil o combamiento, ya que ésta se -- conserva exclusivamente en lugares aislados debajo de la formación suprayacente inmediata, o sea la Formación Acuitlapán. Esta consiste en lutita y limolita cuya edad corresponde probablemente al Neocomiano (Cretácico inferior), marcando el inicio probable de la --- transgresión Cretácica. Ambas formaciones, la Acahuizotla y la Acuitlapán, muestran el efecto de un metamorfismo dinámico débil, hasta el rango de pizarra y filita. A medida que la erosión nivelaba las tierras positivas, disminuía la sedimentación pelítica, entonces ya en el Aptiano, dominan los sedimentos calcáreos de carácter nerítico de la Formación Xochicalco (Bonet, 1971, p.18). Un combamiento hacia arriba para formar la paleopenínsula de Taxco y un hiato largo, aunque de duración desconocida, ocurrieron entre el depósito de la caliza Xochicalco y el de la Formación Morelos suprayacente, cuya edad varía del Albiano medio al Cenomaniano temprano. La formación está - representada por diversas facies en toda la región, sin embargo, -- gran parte de ella representa una facies de agua somera, y a juzgar por su fauna probablemente se acumuló sobre bancos calcáreos situados al oriente de la paleocosta. El relieve de la superficie pre-Morelos fue considerable y la formación no llegó a cubrir completamente la paleopenínsula de Taxco, la cual se extendía con rumbo noreste por lo que actualmente son los Estados de México y Michoacán.

En seguida a mediados del Cenomaniano la región emergió del mar (regresión) y parecen haber sido intrusionados varios troncos graníticos acompañados por combamientos locales y erosión diferencial de la cima de la Formación Morelos. Sobre esta última se depositó, a principios del Turoniano, las capas calcareníticas y calizas basales de la Formación Cuautla. Hacia el final del Turoniano un cambio de sedimentación interrumpió la acumulación de caliza, iniciando el depósito de lodo, limo, arena y conglomerado de grano fino que consti-

tuye la Formación Mexcala. Prosiguió un probable período de deformación, levantamiento y vulcanismo en una zona hacia el poniente y sur del estado de Morelos, comenzando hacia el final del Cenomaniano y continuando durante el Turoniano, manifestandose por material tipo flysh depositado sobre la Formación Mexcala. No se conoce con exactitud cuando cesó el depósito de la Mexcala en respuesta al levantamiento de la región, pero se supone que corresponde al Santoniano tardío o al Campaniano temprano.

"En un tiempo avanzado de la época, la región quedó expuesta a la erosión subaérea y no volvió a sumergirse" (C. Fries, 1960, p.162) y "al término del Cretácico e inicio del Cenozoico (Terciario), ocurrieron las deformaciones compresionales que dan como resultado la formación de un sistema de pliegues anticlinales y sinclinales" (S.-P.P., 1982, p.60). "Después del período de compresión, la descompresión subsecuente (tafrogenia), ocasionó el descenso vetrical y progresivo de grandes bloques (horts y grabens), propiciando así, la acumulación de grandes clásticos derivados de las estructuras plegadas, para dar lugar a la sedimentación tipo molasa continental" (Z. de Cserna, 1965, p.59), la cual constituye el Grupo Balsas. Simultaneamente con el fallamiento y el depósito de material clástico tuvo lugar la extravasación de lavas máficas y andesitas incluidas en el mismo grupo. (C. Fries, 1960, p.162). El fallamiento disminuyó gradualmente a principios del Oligoceno, originando el cese del depósito del Grupo Balsas. A medida de esta disminución, comenzaron las emisiones volcánicas riolíticas produciendo la Riolita Tilzapotla y por los depósitos volcanoclásticos y andesíticos causando la acumulación de la Formación Tepoztlán, hacia finales del Oligoceno y en el Mioceno, respectivamente.

Hacia el final del Plioceno se renovó el fallamiento, comenzando así el depósito de la Formación Cuernavaca. La causa precisa del

cese del depósito de los materiales epiclásticos de ésta última formación es desconocida, siguiendo a este evento la erosión de sus -- constituyentes hacia principios del Pleistoceno. Estos depósitos -- fueron seguidos por la extravasación de las lavas del Grupo Chichinautzín que debió haberse iniciado hacia el final del Plioceno y -- particularmente durante el Pleistoceno, a causa del desarrollo de las fallas laterales profundas de la corteza que definen el Eje -- Neovolcánico (C. Fries, 1960, p.164).

Finalmente la disolución de las rocas carbonatadas de las formaciones cretácicas al final del Pleistoceno causó el desarrollo de dolinas y poljes causantes de lagos, tales como el de Coatetelco y Tequesquitengo, entre otros. El vulcanismo intermitente y la formación de dolinas prosiguen en la actualidad y continuarán hasta un futuro lejano. (op. cit., p.169)

CAPITULO III ASPECTOS GEOTECNICOS DEL PROYECTO

III.1 EXPLORACIONES DIRECTAS (PERFORACIONES)

Las investigaciones del subsuelo consideradas para el Proyecto Tepextitla fueron tomadas específicamente de los resultados obtenidos en las exploraciones directas con recuperación de núcleos realizados en 1977 para la C.A.V.M., en el "Estudio Geológico Superficial a Detalle de la Boquilla y Vaso Denominado Almoloya", a pesar de su título este estudio excluyó de investigación a la zona del vaso, realizando únicamente la perforación de 7 sondeos ubicados en el eje de la boquilla y 2 más localizados sobre la planicie que constituye la margen izquierda del arroyo Almoloya. En virtud que el eje de la boquilla Almoloya queda incluida en el área de embalse del Proyecto Tepextitla se extrapolaron sus resultados a los obtenidos en el levantamiento geológico de semidetalle y a los del estudio geofísico de resistividad.

Debido a que las condiciones topográficas, geológicas y estructurales del valle labrado por el arroyo Almoloya se conservan en toda su extensión, podemos asegurar que las características encontradas en el eje Almoloya son correlacionables con las del eje Tepextitla.

Los objetivos trazados en la exploración del subsuelo fueron los siguientes: conocer la característica y comportamiento del contacto entre las diversas unidades litoestratigráficas existentes, los espesores de éstas, así como la del aluvión presente en el cauce, además de conocer los aspectos físicos de las rocas que conforman la boquilla y vaso, tales como la permeabilidad, recuperación y calidad de roca (R.Q.D.= rock quality designation).

Para este fin fueron efectuados nueve sondeos verticales con recuperación de núcleos a una profundidad promedio de 104.40 m., -- con una longitud total de perforación de 940 m., de los cuales -- 366 m. se perforaron en roca suelta y 574 m. en roca sólida, con un promedio total de recuperación de núcleos de 58.46%, mientras el promedio del índice de calidad de roca fue de 21.44%, lo que -- significa en términos generales muy mala calidad de roca. Se utilizaron brocas de diamante y barril doble giratorio con un diámetro NQ (3"), máquinas perforadoras rotatorias marca Longyear No. 38. Se practicaron, conforme se desarrollaba el avance en la perforación, 128 pruebas de permeabilidad, tipo Lefranc (89) y tipo Lugeon (39), según el tipo de roca que se estuviera probando. Las pruebas Lefranc variaron de permeable (10^{-4} cm/s) a impermeable (10^{-6} cm/s), mientras las Lugeon tuvieron una variación desde --- 0.0 U.L. (impermeable), hasta 12.6 U.L. (permeable); en el sondeo No. V, se presentó un sólo tramo no determinado analíticamente.-- En general estas pruebas indican categorías de permeabilidad en las rocas de poco permeable e inclusive impermeables.

Por otra parte, se presentaron diversas pérdidas de circulación de agua de perforación tanto parciales como totales, principalmente en los sondeos ubicados sobre la margen izquierda consti-- tuida por materiales epiclásticos de la Formación Cuernavaca, éstos fueron los Nos. I, II, III y IV; sobre la margen derecha, --- compuesta por roca metamórfica del Esquisto Taxco, estas pérdidas únicamente se presentaron en el sondeo No. VII. Además, ya sea -- para detener estas pérdidas de circulación o suprimir derrumbes -- dentro del pozo, se cementaron varios tramos en todas y cada una de las exploraciones.

Con toda esta información se formaron columnas litológicas-- de cada uno de los sondeos, en las que se describe el por ciento--

total de material recuperado, el porcentaje total de índice de calidad de roca y los resultados de las pruebas de permeabilidad: - Para una mejor perspectiva de entendimiento de los mismos, en el Plano No. 2 se muestra un perfil que incluye a las 9 exploraciones realizadas.

A continuación se describen de manera simplificada la litología y los por menores técnicos de la exploración subterránea -- resultante en cada uno de los sondeos. Antes de pasar a esta descripción es conveniente señalar las categorías de permeabilidad-- que se consideraron, así como los rangos establecidos para el índice de calidad de las rocas.

Prueba Lugeon

de 0 a 3 U.L. _____ es impermeable
 de 3 a 11 U.L. _____ es poco permeable
 de 11 a 25 U.L. _____ es permeable
 de 25 a 40 U.L. _____ es muy permeable

Prueba Lefranc

$K = A \times 10^{-6}$ _____ es impermeable
 $K = A \times 10^{-5}$ _____ es poco permeable
 $K = A \times 10^{-4}$ _____ es permeable

Índice de Calidad de Roca

de 0 a 25 _____ muy mala
 de 25 a 50 _____ mala
 de 50 a 75 _____ regular
 de 75 a 90 _____ buena
 de 90 a 100 _____ excelente

SONDEO I

Localización: margen izquierda (meseta)

Elevación: 1821.20 m.s.n.m.

Profundidad: 275.0 m.

Diámetro de Perforación: NW (88.9 mm.) y NQ (69.9 mm.)

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	9.00	Suelo hasta los 0.50 m., enseguida arena arcillosa bien cementada.
9.00	21.90	Interestratificación de sedimentos - tobáceos en estratos delgados y gravas en matriz limosa.
21.90	50.00	Secuencia de toba areno-arcillosa -- con arenas de grano medio, ambas en estratos delgados.
50.00	68.00	Interestratificación de toba lítica de estratos medios, arena de grano-- fino y sedimentos tobáceos en estratos delgados.
68.00	77.00	Capas de toba lítica.
77.00	98.00	Secuencia de capas arenosas y tobas-- areno-arcillosas.
98.00	115.00	Capas de toba lítica.
115.00	130.00	Secuencia de sedimentos tobáceos en-- estratos delgados con horizontes delgados de arenas de grano fino.
130.00	140.00	Interestratificación de toba lítica, - gravas en matriz areno-limosa, capas-- de arena fina y toba areno-arcillosa.
140.00	202.00	Interestratificación de gravas, tobas,

de	a	arenas y tobas líticas, todas en estratos de delgados a medios.
202.00	236.00	Secuencia de sedimentos tobáceos limosos, tobáceos arenosos con pequeños -- horizontes de gravas.
236.00	275.00	Sedimentos tobáceos en estratos delgados.

Se obtuvieron muestras de canal de 0.00 a 12.00, 113.00 a - 115.00, 123.00 a 142.00, 145.00 a 147.00, 201.90 a 209.00 y 218.00 a 275.00 m., el resto de tramos muestreados fueron conseguidos en núcleos. El promedio de recuperación tanto de núcleos como de muestras de canal fue del 56%. El índice de calidad de roca fue de 0.00%, lo que implica muy mala calidad. El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta los 201.00 m. Existieron pérdidas de circulación a los 6.00, 50.00, 97.00, 116.00 y 124.00 m. Se registraron derrumbes de la pared del pozo de 41.20 a 45.00, 50.00 a 57.80, 95.00 a 98.00 y 123.00 a 138.00 m. Se cementó el tramo de 0.00 a 135.00 y 213.70- a 218.00 m.

Las pruebas de permeabilidad realizadas fueron un total de - 31, todas de tipo Lefranc, excepto la número 31 que fue de tipo - de Transmisibilidad. La interpretación de los resultados de estas pruebas señalan que la columna litoestratigráfica se comporta de una forma de poco permeable a impermeable.

Se puede concluir que la toba lítica y los sedimentos tobáceos en general se comportan de una forma impermeable, mientras-- las capas de arena se presentan en la categoría de poco permeable, aunque existen, en menor cantidad, algunas netamente permeables.

SONDEO II

Localización: margen izquierda (meseta)

Elevación: 1818.50 m.s.n.m.

Profundidad: 140.0 m.

Diámetro de Perforación: HW (114.3 mm.), NW (88.9 mm.) y NQ (69.9 mm)

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	1.00	Suelo.
1.00	5.00	Arena de grano fino en estratos delgados.
5.00	15.00	Toba brechoide.
15.00	18.00	Arcilla color café, plástica.
18.00	23.00	Arena de grano fino en estratos delgados.
23.00	30.00	Sedimentos tobáceos en estratos delgados.
30.00	40.00	Toba brechoide.
40.00	51.30	Sedimentos tobáceos en estratos delgados.
51.30	53.00	Toba brechoide.
53.00	60.00	Arena con arcilla en estratos delgados.
60.00	140.00	Sedimentos tobáceos areno-arcillosos-limosos en estratos delgados.

Se obtuvieron muestras de canal de material arenoso, en los siguientes tramos; de 0.00 a 1.00 y 73.00 a 75.00 m., el resto de muestras fueron núcleos de diámetro NQ. El promedio de recuperación de las muestras de roca fue de 50%, mientras el promedio total del índice de calidad de roca fue de 0.00%, valor que indica muy mala calidad.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta los -- 125.00 m. Se registraron pérdidas de circulación del agua de perforación parciales y totales a los 40.00, 42.00, 47.00, 56.00, -- 61.00, 63.00, 69.70, 83.00, 95.00, 97.80 y 132.00 m. Se presentaron derrumbes en las paredes del pozo en los tramos de 6.20 a 15.00 50.00 a 62.00, 90.00 a 100.00 y 106.00 a 120.00 m. Se cementó, -- debido a los caídos y pérdidas de agua, el tramo de 0.00 a 27.00, y 30.20 a 120.00 m. Se colocó tubería de ademe HW y NW, en la pro fundidad de 0.00 a 77.30 m.

Se efectuaron 21 pruebas de permeabilidad, todas de tipo Le-- franc excepto la última que se realizó por ascenso del nivel del agua. Los resultados de estas pruebas indican que el comportamiento de las rocas varía entre lo poco permeable predominante, lo im permeable y lo permicable en menor proporción.

En general se puede concluir que los horizontes de arena de-- estratos delgados en la profundidad de 0.00 a 23.00 y de 53.00 a 60.00 m., son poco permeables. La toba brechoide se presenta imper meable a poco permeable y los sedimentos tobáceos son poco permea-- bles e impermeables.

SONDEO III

Localización: margen izquierda.

Elevación: 1817.50 m.s.n.m.

Profundidad: 140.0 m.

Diámetro de Perforación: NW (88.9 mm.) y NQ (69.9 mm.)

Profundidad en metros

Litología

de a
0.00 2.00

Arena de grano fino, gravas y boleos.

de	a	
2.00	8.00	Sedimentos tobáceos en estratos delgados.
8.00	13.00	Arena gruesa con grava y boleos.
13.00	18.00	Arenas mal clasificadas.
18.00	23.00	Sedimentos tobáceos en estratos delgados.
23.00	30.00	Capas de toba lítica.
30.00	38.00	Arenas mal clasificadas.
38.00	98.20	Sedimentos tobáceos areno-arcillosos en estratos delgados.
98.20	128.80	Arenisca metamorfozada y esquistos.
128.80	140.00	Pizarra.

Se obtuvieron muestras de canal en los tramos de 0.00 a 5.00, 13.00 a 18.00 y 30.00 a 40.00 m., el resto se muestreó mediante núcleos con diámetro NQ. El promedio de recuperación de estas muestras de roca fue de 54.5%, mientras el índice de calidad de roca fue de 37%, que indica mala calidad de la misma.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta los -- 128.00 m. Existieron pérdidas de circulación del agua de perforación tanto parciales como totales a los 46.30, 50.00, 67.00, 69.00 77.00, 79.00, 88.30 y 109.60 m. Se registraron diversos derrumbes en la pared del pozo de 13.00 a 18.00 y 45.00 a 53.50 m. Se cementó el tramo de 0.00 a 5.00, 31.00 a 40.00, 41.00 a 53.00, 61.00 a 80.00 y 81.00 a 113.50 m., impidiendo así ciertos derrumbes y fugas de agua.

Se efectuaron 22 pruebas de permeabilidad, de las cuales 18 fueron tipo Lefranc y 4 tipo Lugeon, correspondiendo estas últimas de la No. 19 a la No. 22. Los resultados de todas estas pruebas de muestran que la columna litoestratigráfica tiene un comportamiento de poco permeable a impermeable.

En términos generales podemos asegurar que la parte superior de la columna, constituida por gravas y boleos, tiene un comportamiento permeable; a partir de los 15.00 y hasta los 78.50 m. prácticamente se presenta como poco permeable en los sedimentos tobáceos. La roca se conduce impermeable tanto en la parte basal de estos sedimentos tobáceos como durante el tramo explorado en el metamórfico

SONDEO IV

Localización: margen izquierda.

Elevación: 1806.50 m.s.n.m.

Profundidad: 85.00 m.

Diámetro de Perforación: NQ (69.9 mm.).

Profundidad en metros

de	a	
0.00	8.00	Arena fina con grava y boleos.
8.00	10.00	Sedimentos tobáceos.
10.00	14.50	Arena con limo.
14.50	55.00	Sedimentos tobáceos.
55.00	78.00	Arenisca metamorfizada y esquisto.
78.00	85.00	Pizarra.

Se obtuvieron únicamente 2 tramos muestreados mediante los recortes de canal, éstos fueron de 0.00 a 3.00 y 20.00 a 22.00 m., la totalidad de las muestras fueron logradas mediante núcleos de roca de diámetro NQ. El promedio de recuperación de la roca fue de 34%. El índice de calidad de la roca correspondió al término muy mala, teniendo el valor de 7%.

El nivel del espejo de agua de prueba disminuyó hasta los--- 68.00 m. Las pérdidas de circulación del agua de perforación, debidas a la permeabilidad de las rocas o a discontinuidades del -- terreno se registraron en las profundidades siguientes: 17.00, --- 22.00, 31.80, 38.00 y 70.00 m. En todo el desarrollo del sondeo-- no se detectaron derrumbes en las paredes del pozo. Se cementó el tramo de 0.00 a 70.00 m. No fue necesario la colocación de tube--- ría de ademe.

Se llevaron a cabo 15 pruebas de permeabilidad, 14 de tipo-- Lefranc, realizando la prueba No. 2 con inyección a gasto constan-- te y una sola, la No. 15 de tipo Lugeon. Los resultados demuestran en términos generales que la roca tiene un comportamiento de per-- meable y de impermeable.

La conclusión lógica de estas pruebas, indican que los mate-- riales epiclásticos interestratificados de grava, arena y boleos, los horizontes individuales de arena y principalmente los sedimentos tobáceos son permeables, mientras, aunque fracturados y alte-- rados, los constituyentes metamórficos son impermeables.

SONDEO V

Localización: margen izquierda.

Elevación: 1765.50 m.s.n.m.

Profundidad: 60.00 m.

Diámetro de Perforación: NW (88.9 mm.) y NQ (69.9 mm.)

Profundidad en metros

Litología

de

a

0.00

2.80

Suelo y limo arcilloso.

2.80	17.00	Arenisca metamorfozada y esquistos.
17.00	25.00	Pizarra.
25.00	30.00	Arenisca metamorfozada y esquistos.
30.00	60.00	Pizarra.

La muestra de canal obtenida fue una sola de 0.00 a 8.00 m., presentandose como núcleos de roca el resto de la columna. El promedio de recuperación de estas muestras de roca fué de 59%. El índice de calidad de roca se observó muy malo con el valor de 15%.

El espejo del agua de prueba descendió hasta los 38.50 m. Las pérdidas de circulación parcial o total del agua de perforación no existieron. Un solo derrumbe se registró en el tramo inicial, de 0.30 a 8.00 m. y se cementó el tramo de 0.00 a 25.00 m.

Se realizaron 10 pruebas de permeabilidad, 4 tipo Lefranc y 6 tipo Lugeon. Las primeras de 10.00 a 30.00 m. y las segundas de 30.00 a 60.00 m. Los resultados indican en general que las rocas encontradas se comportan de una manera impermeable.

Debido a que este sondeo se desarrolló en su totalidad en roca metamórfica, ésta demostró ser impermeable, excepto de los 10.00 a los 15.00 m., donde se encuentra muy fracturada y alterada.

SONDEO VI

Localización: margen izquierda.

Elevación: 1739.00 m.s.n.m.

Profundidad: 50.0 m.

Diámetro de Perforación: NQ (69.9 mm.)

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	4.00	Arenisca metamorfozada alterada y esquistos.
4.00	24.20	Arenisca metamorfozada sana y esquistos.
24.20	50.00	Pizarra y esquistos.

Se obtuvo muestra de canal únicamente de 0.00 a 4.00 m. El resto fue muestreado mediante núcleos de roca. Su promedio de recuperación fue de 62.2%. Su índice de calidad de roca, en general fue de 34%.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta los -- 22.50 m. Prácticamente no existieron pérdidas de circulación de a gua de perforación durante la totalidad de la exploración, sin em bargo, se presentó un prominente tramo de derrumbe de 3.00 a 20.00 m. Se cementaron los siguientes tramos, de 0.00 a 25.00 y 32.00 a 35.00 m. No existió necesidad de colocar en este sondeo tubería de ademe.

Se efectuaron 8 pruebas de permeabilidad, una tipo Lefranc, y las 7 restantes tipo Lugeon, teniendo un tramo no probado correspondiendo de 40.00 a 45.00 m. Los resultados de estas pruebas, registraron un comportamiento general de la columna litoestratigráfica de poco permeable a impermeable, siendo esta última la predominante.

Como conclusión de estos resultados, se puede asegurar que la arenisca metamorfozada, de 0.00 a 25.00 m. es poco permeable, de 5.00 a 50.00 m. corresponde a pizarras, cuyo comportamiento es impermeable.

SONDEO VII

Localización: cauce Arroyo Almoloya.

Elevación: 1707.50 m.s.n.m.

Profundidad: 60.60 m.

Diámetro de Perforación: NW (88.9 mm.) y NQ (69.9 mm.).

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	4.00	Aluvión; gravas, arenas y arcilla.
4.00	60.60	Pizarras y esquistos.

La muestra de canal correspondió a los depósitos aluviales, -ésto es, de 0.00 a 4.00 m., el resto fue obtenido en núcleos de roca de diámetro NQ. El promedio de recuperación de la roca correspondió a 88%. El índice de calidad de la roca es malo, indicado por el valor promedio obtenido de 31%.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta los -- 11.50 m. No existieron pérdidas de circulación del agua de perforación, ni derrumbes en las paredes del pozo, sin embargo, se cementó el tramo de 0.00 a 17.00 m. y se colocó tubería de ademe - NW en el tramo de 0.00 a 9.00 m.

Las pruebas de permeabilidad realizadas fueron 16, de los -- 6.50 a 55.00 m., consistiendo 3 al tipo Lefranc y 13 al tipo Lu-geon. Los resultados de estas pruebas señalan en general un comportamiento impermeable.

Este sondeo demuestra, ya que atravesó únicamente pizarra y esquisto, que dicha roca es impermeable, presentando pequeños intervalos poco permeables insignificantes.

SONDEO VIII

Localización: margen derecha.

Elevación: 1734.30 m.s.n.m.

Profundidad: 50.0 m.

Diámetro de Perforación: NW (88.9 mm) y NQ (69.9 mm).

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	6.00	Arenisca metamorfozada y esquistos.
6.00	48.00	Pizarra
48.00	48.80	Filon de cuarzo
48.80	50.00	Pizarra.

Se obtuvieron núcleos de roca de diámetro NQ en toda la exploración y únicamente de 0.00 a 3.00 m, se consiguió muestra de canal. El promedio de recuperación del muestreo de roca consistió en 66%. El índice de calidad de roca (R.Q.D), fué mala con un valor de 29%

El espejo del nivel de agua de prueba descendió hasta los 12.50 m. No existieron pérdidas de circulación de agua de perforación, ni derrumbes en las paredes del pozo. Se cementó el tramo de 0.00 a 30.00 m. no existiendo necesidad de tubo de ademe.

Las pruebas de permeabilidad efectuadas fueron un total de 3, todas de tipo Lugeon, realizadas desde 10.00 a 35.00 m. El tramo de 10.00 a 15.00 m. no se determinó analíticamente.

Los resultados señalan características de las rocas en el tramo inicial como permeable y el resto como impermeable.

De los 5.00 a 25.00 m la pizarra, probablemente alterada, se

muestra permeable mientras el resto, hasta los 50.00 m. es impermeable.

SONDEO IX

Localización: margen derecha.

Elevación: 1817.50 m.s.n.m.

Profundidad: 80.00 m.

Diámetro de Perforación: NW (88.9 mm.) y NQ (69.9 mm.)

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	44.20	Arenisca metamorfofizada alterada.
44.20	57.70	Pizarra y esquisto.
57.70	65.00	Arenisca metamorfofizada y esquisto.
65.00	66.50	Pizarra.
66.50	68.00	Arenisca metamorfofizada y esquisto.
68.00	71.50	Esquisto y pizarra
71.50	74.00	Arenisca metamorfofizada.
74.00	77.00	Esquisto y pizarra.
77.00	80.00	Arenisca metamorfofizada y esquisto.

La recuperación de las muestras de roca se realizó en núcleos y en recortes (muestras de canal), de éste último tipo, se obtuvo el tramo de 0.00 a 3.00 m., mientras el resto fue del primer tipo. El promedio de recuperación de la columna litoestratigráfica del sondeo correspondió a 56%. El índice de calidad de roca fue mala debido a que se reportó un valor de 40%.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta los 41.00 m. Se registraron pérdidas de circulación parcial y/o total de agua de perforación a los 12.70, 15.00, 22.50 y 25.20 m. No -

existieron derrumbes dentro de la pared del pozo, sin embargo, se cementó el tramo de 0.00 a 37.00 m. Se colocó tubo de ademe (NW)- en el tramo de 0.00 a 21.50 m.

Las pruebas de permeabilidad efectuadas fueron 7, de las cuales - sólo una, la primera fue del tipo Lefranc, correspondiendo al tipo Lugeon, lógicamente al resto de ellas. El tramo en el cual fueron practicadas estas pruebas, correspondió de los 20.00 hasta los -- 80.00 m. La interpretación de los resultados de las mismas, señalan un carácter impermeable, con algunas pequeñas excepciones de la columna de roca probada.

El tramo de 0.00 a 44.20 m constituido por arenisca metamorfozada se presenta en el rango poco permeable, mientras de los 44.20 a-- 80.00 m. la secuencia de pizarras y areniscas metamorfozadas son impermeables con pequeños horizontes permeables y poco permeables debidos seguramente a discontinuidades y alteraciones.

Se puede concluir de acuerdo a los resultados obtenidos mediante las exploraciones directas y a los objetivos trazados en el estudio, que la permeabilidad de las formaciones rocosas que conforman el marco geológico del área de interés, es variable. Los materiales epiclásticos de la Formación Cuernavaca, según los resultados de permeabilidad, demuestran en general un rango de poco permeable presentando horizontes permeables constituidos por arenas en forma de lentes, capas o estratos, los cuales pueden ser continuos o con un comportamiento de cuña. Se presentan también dentro de esta unid ad litológica, horizontes impermeables conformados por tobas limo arcillosas, o simplemente por arcillas o limos semiconsolidados y medianamente cementados. El índice de calidad de roca (R.Q.D), así como la recuperación, ambas malas, demuestran que esta formación no es sana ni competente.

En cuanto a la permeabilidad del Esquisto Taxco, constituido por-

una interestratificación de esquistos, areniscas metamorfozadas y pizarras, se puede asegurar que presentan un comportamiento impermeable. En cuanto a su calidad de materiales, éstos son los que presentan mejores condiciones, aunque habrá de preocuparse por pequeñas alteraciones superficiales del orden de 10.00 m como máximo.

III.2 GEOFISICA

Como ya se ha establecido en capítulos anteriores, el estudio geofísico tuvo el objetivo principal de correlacionar sus resultados a los obtenidos de la exploración directa, realizada mediante 9 perforaciones, en una sección localizada en el área del vaso del Proyecto Tepexitla, misma que se efectuó para investigar el eje de la boquilla denominado Almoloya en 1977.

En base a lo anterior fue implementado el estudio geofísico de resistividad para conocer las características geológicas-geofísicas de la zona donde se habrá de implantar la cortina y el vaso Tepexitla. Para ello se realizaron 32 sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) con una abertura máxima de electrodos que logró una profundidad de exploración de ± 500.0 m. El arreglo electrónico utilizado fue el de tipo Schlumberger.

La distribución de los 32 S.E.V. fue planeada con el fin de evidenciar el comportamiento del contacto entre la Formación Cuernavaca y el Esquisto Taxco, así como determinar la continuidad de diversos horizontes, principalmente arenosos, dentro la secuencia de los materiales clásticos de la Formación Cuernavaca. Estos parámetros a investigar se presentan únicamente sobre la margen izquierda, por lo cual se realizaron con estos 32 S.E.V., un total de 11 secciones geoelectricas (de I a XI) (ver Plano No. 3), en la

zona que comprende la planicie y el talud sobre esta margen; sin embargo, no se excluyó de investigación el área de la margen derecha, misma que mediante las secciones Nos. VII y IX, en la porción final del embalse, fue explorada.

Las secciones geofísicas fueron proyectadas con una distribución en forma perpendicular al cauce del arroyo Almoloya, excepto las secciones N^{os}. X y XI que son paralelas a la dirección del mismo.

La sección No. VI, fué fundamental y sirvió como base en la interpretación geofísica del proyecto, en virtud de que se encuentra muy cerca al lugar donde se realizaron las exploraciones directas (perforaciones), permitiendo así calibrar los resultados de los sondeos eléctricos verticales y de las perforaciones.

Las secciones Nos. X y XI son también importantes, ya que permitieron visualizar un campo regional de comportamiento resistivo y complementar los resultados de las secciones anteriores a ellas.

El estudio geofísico de resistividad demuestra que el rango en el cual este parámetro varía, queda comprendido entre 4 y 1000 ohmiosmetro. La variación de la resistividad ha generado 3 grandes grupos o unidades (1, 2 y 3), con características propias de composición, espesor, permeabilidad y profundidad, mismas que a continuación se describe secuencialmente, de la más superficial a la más profunda.

La Unidad No. 1, se divide en cuatro subunidades, la 1-a, 1-b, 1-c y 1-d, también con características muy particulares, pero interdependientes para conformar un sólo paquete resistivo, cuyo espesor promedio es de 150 m. pudiendo alcanzar hasta los 200 m de potencia.

Unidad 1-a

El rango de resistividad evidenciado por esta unidad está comprendido entre 4 y 97 ohmios-metro. Se encuentra en todas y cada una de las secciones geoelectricas, presentandose como la ca pa más superficial con un espesor promedio de 10.0 m, teniendo variaciones importantes localmente. El tipo de material que representa es una secuencia de suelos arcillosos, boleos incluidos en una matriz areno-arcillosa y horizontes delgados de arenas fi nas a medianas. Debido al valor óhmico evidenciado, se puede inferir un valor de permeabilidad alto para este tipo de material. Esta unidad se indica mediante U_{1-a} en el Plano No. 3.

Unidad 1-b

Los valores resistivos de esta unidad varían entre 15 y 300 --- ohmios-metro. El espesor promedio aproximado es de 30.0 m y se encuentra a una profundidad promedio de 40.0 m a partir de la - superficie natural del terreno. Este paquete resistivo se en--- cuentra en todos y cada una de las secciones geoelectricas, con una característica muy particular, lo que habla de los materiales que la conforman. Su forma de acuñarse en ciertas zonas se debe a su gran contenido de arenas gruesas, arenas interestratificadas con horizontes limosos y en menor proporción gravas y boleos en una matriz esencialmente arenosa. Las arenas deben encontrarse poco o nulamente compactas y cementadas. El valor óhmico de esta unidad sugiere que el rango de la permeabilidad es alto. En el Plano No. 3 se representa a este material con U_{1-b} .

Unidad 1-c

La siguiente unidad presenta los valores de resistividad más -- heterogéneos dentro de la secuencia, debido probablemente a diferencias en compactación, cementación o contenido de arcillas

o quizá por la presencia del nivel de aguas freáticas. Esta observación es válida también para la unidad 1-b, ya que por su contenido de arena puede presentar flujos o niveles de agua. Los valores de resistividad varían entre 12 y 1000 ohmios-metro. Tiene un espesor de por lo menos 30.0 m. encontrándose su base a una profundidad promedio de 70.0 a 80.0 m. pudiendo presentar variaciones locales muy importantes, inclusive llega a no presentarse dentro de la secuencia y faltar en grandes longitudes. Los materiales que puede estar conformando son boleos y gravas incluidas en una matriz areno-limosa, lentes de arena gruesa y horizontes de arena fina de carácter pumfítico.

Las secciones en donde llega a faltar son las Nos. II, VII y VIII. La permeabilidad de estos materiales es alta según los valores resistivos obtenidos. En el Plano No. 3 está representada como U_{1-c} .

Unidad 1-d

Este paquete resistivo corresponde a la base de la unidad número 1. Los rangos resistivos varían entre los 30 y 400 ohmios-metro, mismos que indican un valor de permeabilidad entre media y alta. Esta unidad es susceptible de acuñaamiento, pudiendo presentar divergencias en su espesor. Los materiales a los que se puede asociar son los siguientes: limos, lentes de arena y horizontes limo-arcillosos. Estos materiales presentan un grado de compactación, consolidación y permeabilidad variable. Es importante hacer notar que en la sección geoelectrica No. V, esta unidad presenta un espesor que no pudo ser estimado por este método, ocasionado probablemente a la existencia de diversos fallamientos o debido a que a profundidad, se interpretó la presencia de un cuerpo, - posiblemente de carácter intrusivo, que afectó el valor de resistividad obtenido. Dentro del Plano No. 3, esta unidad se designó

mediante U_{1-d} .

Unidad 2

La unidad No. 2 corresponde al basamento resistivo en las secciones geoelectricas interpretadas. Su rango de resistividad varia entre 37 a 1000 ohmios-metro, predominando este ultimo valor y correspondiendo los valores mas bajos a un mal estado de sanidad de la roca. Este paquete se encuentra en todas y - cada una de las secciones geoelectricas y nos proporciona una idea del comportamiento de dicho basamento a lo largo y ancho de la zona estudiada. Podemos observar principalmente en las secciones Nos. X y XI, que esta unidad se extiende desde el eje de la boquilla hasta la zona final del embalse, asi como a todo lo ancho del vaso. Su comportamiento de norte a sur se ha interpretado como el de un antiguo valle de forma concava que fue rellenado por material mas joven de la Unidad No. 1. Sin embargo, en la zona del S.E.V. No. 11, existe una cierta duda en cuanto a su distribucion y actitud, en virtud de que imprevistamente se divide para permitir la intrusion de la Unidad No. 3. El material que constituye a la Unidad No. 2 son rocas metamorficas deformadas y alteradas. Segun - el valor ohmico obtenido, estas rocas presentan un valor de permeabilidad de medio a bajo. En el Plano No. 3 se representa mediante el simbolo U_2 .

Unidad 3

El rango de resistividad evidenciada por esta unidad varia entre 35 y 375 ohmios-metro. Las secciones de interes son: la - No. I, correspondiendo a la zona del eje de la boquilla, en la cual el empotramiento derecho esta constituido por un Por-

fido Riolítico, que marcó la pauta de correlación resistiva al obtener un rango de resistividad comprendido entre 12 y 375 --ohmios-metro, correspondiendo los valores más bajos de resistividad a zonas mayormente alteradas. El poder medir directamente sus características geoléctricas pudo, como ya se ha mencionado, tomar como base en la interpretación de las secciones Nos. IV, VI, X y XI. Todas estas secciones presentan una ubicación común, como puede observarse en el Plano No. 3, encontrándose localizadas en un punto intermedio de la zona del vaso. A profundidad es muy probable la presencia de un cuerpo ígneo intrusivo hipabisal con características muy similares a las presentadas en el cuerpo que aflora sobre la margen derecha en la sección No. I. Esta profundidad podría variar en un rango de los 200 a 300 m. La diferencia entre las unidades Nos. 2 y 3 es muy evidente, ya que de una profundidad menor, con valores resistivos que van de los 37 a 1000 ohmios-metro, éste último como valor predominante, se penetra en una unidad con valores promedio más bajos del orden de los 40 ohmios-metro. Los valores óhmicos evidenciados demuestran probablemente una permeabilidad de media a baja, teniendo que considerar las zonas alteradas y sanas como variaciones resistivas muy marcadas.

Recapitulando, tenemos que concluir, de acuerdo a los resultados obtenidos por el estudio geofísico de resistividad eléctrica, así como de su correlación y verificación, con la información evidenciada en las perforaciones, lo siguiente:

- 1.- La Unidad No. 1 con sus subíndices a, b, c y d, corresponden a los materiales epiclásticos de la Formación Cuernavaca, misma que relleno el antiguo valle o la topografía senil antecedente formada por el basamento metamórfico. Sus irregularidades se deben a la heterogeneidad del basamento o a la superficie, también irregular, del cuerpo intrusivo existente a profundidad.

Tiene, sin embargo de éstas irregularidades, un espesor -- promedio de 150 m. pudiendo alcanzar los 200 o más metros de potencia. La permeabilidad interpretada se consideró como alta.

- 2.- La unidad No. 2, corresponde al Esquisto Taxco, el cual posiblemente constituya un piso de forma cóncava estando evidenciado por sus afloramientos en las faldas de la Sierra de Tepextitla y del Cerro de "La Catarina". Su permeabilidad se interpretó en un rango que varía de media a baja.
- 3.- Un Pórfido Riolítico representa a la Unidad No. 3, además de constituir el Cerro de la "Piedra Parada", mismo que actuará como el empotramiento derecho de la cortina Tepextitla.

Los rangos resistivos evidenciaron una gran variabilidad, - misma que se atribuye a la gran alteración del cuerpo intrusivo.

La permeabilidad interpretada con los valores óhmicos obtenidos varió entre las categorías de media a baja, lo que significa que es una roca poco permeable hasta impermeable.

III.3 CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS DE LAS ROCAS

Los capítulos III.1 y III.2, trataron de las exploraciones directas e indirectas, perforaciones con obtención de núcleos y - el estudio geofísico de resistividad, respectivamente, los cuales ayudaron a evidenciar, conjuntamente con el levantamiento - geológico regional algunas características físicas y mecánicas de las unidades litoestratigráficas que conforman la boquilla y el vaso Tepextitla.

Mediante las perforaciones, se conocieron los rangos de permeabilidad, así como la calidad de las rocas que fueron atravesadas: en este estudio se concluyó, de una manera cualitativa, - que los taludes constituidos por la Formación Cuernavaca eran inestables y altamente permeables. Sin embargo, el capítulo - No. III.1, demuestra que ésta formación se encuentra dentro - de la categoría de permeabilidad poco permeable (10^{-5} cm/s).

Para determinar cuantitativamente la estabilidad de los taludes, sus factores de seguridad, y las propiedades índice y mecánicas de los materiales de la margen izquierda del arroyo - Almoloya, se realizaron diversos ensayos de laboratorio a 21 muestras inalteradas procedentes de pozos a cielo abierto --- (P.C.A.), efectuados a lo largo de esta margen (Plano No. 4). De las 21 excavaciones sólo 3 (P.C.A.-9,13 y 14) se deben considerar con las características propias de pozos a cielo abierto, o sea, excavaciones de 1.5 x 1.5 m. de sección y hasta 5 m. de profundidad abiertas en escombros o depósitos de talud, no encontrando roca. Las 18 restantes, se realizaron en zonas acantiladas como "nichos" o aberturas horizontales de sección variable y con 1.0 m. de profundidad hasta alcanzar roca sana. - Estos "nichos" se desarrollaron en las paredes de los escarpes que caracterizan a la unidad clástica correspondiente a la Formación Cuernavaca.

Las muestras inalteradas fueron tomadas orientadas y con las precauciones para procurar que éstas llegasen al laboratorio - en las mismas condiciones en que se encontraron en el terreno*. Una muestra inalterada es un cubo de 0.30 m. por lado, protegida por un recubrimiento de parafina y brea.

Las propiedades índice y mecánicas, así como ciertas características obtenidas para cada muestra, fueron:

- 1.- Profundidad de la muestra con respecto al terreno natural.

* La clasificación de las 21 muestras se efectuó con la nomenclatura T-1, T-2, T-3, etc., de acuerdo al número de P.C.A. de donde de provenía. Por ejemplo, la muestra T-1 procedió del P.C.A.-1.

- 2.- Densidad del material.
- 3.- Análisis Granulométrico.
- 4.- Límites de Consistencia.
- 5.- Clasificación S.U.C.S.
- 6.- Permeabilidad.
- 7.- Esfuerzo Cortante.

1. Profundidad de la muestra (metros).

La profundidad de las muestras obtenidas, como ya se dijo es variable, debido a las condiciones topográficas del terreno, y fue desde 1.4 hasta 40.0 m. Esta profundidad es muy importante ya que representa o puede darnos una idea de la presión confinante in-situ a la cual se encuentra sometida la muestra y por lo tanto su contenido de agua, su comportamiento a recibir car gas y su compactación.

2.- Densidad de Sólidos.

Se define como la densidad de fase sólida de un suelo, la rela ción entre el peso de los sólidos y el volumen de agua que desalojan a la temperatura ambiente.

La densidad de sólidos (Ss), se obtiene a partir de la fórmula:

$$Ss = \frac{Ws \cdot K}{WmW + Ws - WmWS}$$

donde:

Ws = Peso del suelo seco

K = Densidad del agua a t°

WmW = Peso del matraz + agua a t°

WmWS = Peso del matraz + agua + muestra a t°

El promedio general de la densidad de los sólidos de las 21 -

muestras fue de 2.503 gr/cm^3 .

De las muestras clasificadas como limos (T-4, T-6, T-14, T-17 y T-23), ya sea de baja o alta compresibilidad, el promedio de su densidad fue de 2.427 gr/cm^3 .

Las arenas con o sin finos (T-1 y T-15), tuvieron un promedio de densidad de 2.571 gr/cm^3 .

El promedio de densidades fue de 2.608 gr/cm^3 para las arcillas de baja compresibilidad (T-3 y T-5).

Por último, las muestras de material no plástico (arenas y limos), promediaron 2.529 gr/cm^3 de densidad de sólidos. Estas muestras fueron (T-2, T-7, T-9, T-10, T-11, T-12, T-13, T-16, T-18 y T-21). Las muestras T-8 y T-20 que no tienen una clasificación S.U.C.S., ni límites de consistencia, presentaron -- 2.364 y 2.425 gr/cm^3 respectivamente.

3. Análisis Granulométrico

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

Para obtener la granulometría de un suelo se puede emplear el análisis por mallas, el cual se concreta a segregar el suelo mediante una serie de mallas que definen el tamaño de la partícula o bien, el método del hidrómetro (densímetro).

En el análisis granulométrico de las 21 muestras inalteradas de suelo se utilizó el análisis por mallas para la totalidad de las muestras.

Los resultados obtenidos fueron: el porcentaje de gravas fue de

0.0% en todas las muestras obtenidas sobre la margen izquierda, exceptuando la T-2 cercana al eje de la boquilla que tuvo 1.4% y la T-15, en la parte final del vaso, con 4.1%. Sobre la margen derecha, también en la porción final del embalse, el T-18 registró 2.1% de contenidos de gravas.

Por otro lado, el contenido porcentual de arena, tanto sobre margen izquierda como derecha, varía de 2.0% a 95.4%. Se pudo observar que en las muestras estudiadas esta arena es un material no importante como constituyente, exceptuando algunos horizontes conformados en su totalidad por arenas bien graduadas limpias de finos. Es necesario señalar que en la proximidad de la cortina se detectaron horizontes de este tipo especialmente a la cota 1730.

El análisis granulométrico nos proporcionó una variación porcentual de contenido de finos (limos y arcillas) entre 3.4% y 98.0%. Este elemento es el más importante dentro de las muestras ensayadas, dando la pauta para la clasificación de los suelos existentes en el área de estudio.

Se puede observar en el "Resumen de Características" (Tabla No. 1), que únicamente se obtuvieron el coeficiente de uniformidad (Cu) y el de curvatura (Cc), con el fin de facilitar la clasificación del material en el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S.), en la muestra T-1, teniendo valores de 5.6 y 1.9 respectivamente. Estos valores indican que el material ensayado es una arena bien graduada y limpia de finos.

Se puede concluir del análisis granulométrico realizado que las granulometrías evidenciadas presentan gran variedad, predominando 2 tipos de suelos: los limosos con arenas finas y las arcillas de baja plasticidad.

4. Límites de Consistencia.

Antes de presentar las variaciones de estos límites es necesario dar una pequeña introducción de los conceptos elementales para su definición:

Las propiedades de un suelo formado por partículas muy finas, como una arcilla, dependen en gran parte de su contenido de agua, la cual modifica las fuerzas de interacción entre partículas y, por tanto, influye sobre el comportamiento del material. Un elevado contenido de agua corresponde a una separación promedio alta entre partículas y a una resistencia baja al esfuerzo cortante. Al disminuir el contenido de agua, la resistencia aumenta hasta alcanzar un estado plástico en que el material es fácilmente moldeable; posteriormente, el suelo llega a adquirir características de un sólido, pudiendo resistir esfuerzos de compresión y tensión.

A. Atterberg marcó las fronteras de los 4 estados en que pueden presentarse los materiales muy finos: para ello estableció los límites siguientes: líquido, plástico y el de concentración. El primero es la frontera entre el estado líquido y el plástico; el segundo, entre el plástico y el semisólido; el tercero separa el estado semisólido del sólido. A estos límites se les llama de consistencia.

El límite líquido (L.L) es el contenido de agua (expresado como porcentaje del peso seco) que debe tener un suelo remoldeado para que una muestra en la que se haya practicado una ranura de dimensiones normalizadas se cierre, sin resbalar en su apoyo, al someterla a un impacto de 25 golpes bien definidos.

El límite plástico (L.P.) es el contenido de agua con el que

un rollo de 3.2 mm. de diámetro formado con el suelo al rodarlo, con la palma de la mano, sobre una superficie plana, se rompe o agrieta en fragmentos de tamaño definido.

La diferencia entre el líquido y el plástico se llama índice de plásticidad (Ip), y mide el intervalo de contenido de agua en el cual el suelo es plástico.

El índice de escurrimiento (If), que aparece en la Tabla No.1 se define como la pendiente de la curva de fluidez, y es igual a la variación del contenido de agua correspondiente a un ciclo de la escala logarítmica.

Una vez conocidos éstos conceptos podemos decir que en general en la totalidad de las muestras, el límite líquido (L.L.) tuvo una variación desde 30% hasta 77%. Mientras el plástico (L.P.) varió desde 19% hasta 48.8%.

Sobre la margen izquierda en las muestras T-1 a la T-6, extraídas de los P.C.A., 1 al 6, excavados en las inmediaciones de la boquilla, se observaron índices de plásticidad que variaron de 12% a 45%, con excepción de la T-2, que no es plástica. Los materiales restantes de esta margen, en la porción media y final del embalse, resultaron no plásticos, excluyendo las muestras T-14, T-15 y T-23, cuyo índice de plásticidad varía de -- 9.3 a 24.2%. Las de la margen derecha resultaron no plásticas, presentando únicamente la muestra T-17 un índice de plásticidad de 40.92%.

5. Clasificación S.U.C.S.

En la naturaleza, los suelos rara vez existen separados en forma de grava, arena, limo, arcilla o materia orgánica; generalmente se encuentran mezclados en proporciones variables. Apesar de que la mayor parte de las clasificaciones de suelo -

se hacen a simple vista y mediante ciertas pruebas manuales, - el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, tiene en cuenta la manera de clasificar con precisión un suelo por medio de pruebas de laboratorio que consisten en análisis mecánicos y - determinación de los límites de consistencia. Las clasificaciones de laboratorio se efectúan sobre muestras representativas de suelos que han sido sujetas a pruebas de resistencia al esfuerzo cortante, compresibilidad y permeabilidad.

La curva granulométrica se usó para clasificar el suelo como - grueso o fino. Dentro de los grupos de grava y arena, los suelos que presentaron menos del 5% de partículas menores de la - malla No. 200 (0.074 mm) se consideraron limpios y se clasificaron como bien o mal graduados, por medio de sus coeficientes de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc): GW y GP (para gravas), y SW y SP (para arenas). Las gravas o arenas sucias fueron aquellas que presentaron más del 12% de finos y se clasificaron como limosas (GM o SM) o arcillosas (GC o SC), según los resultados de las pruebas de límites de consistencia, al vaciarlas en la gráfica de plasticidad. Los finos limosos fueron aquellos - que tuvieron un índice de plasticidad menor de 4%. Los finos - arcillosos fueron aquellos que su índice de plasticidad fue mayor de 7%.

Debido a que ninguna de las muestras ensayadas tuvo un contenido orgánico o inorgánico, ésta clasificación se omite presentando - en la bibliografía el texto Manual de Mecánica de Suelos, editado por la S.A.R.H., en 1970, donde podrá ser consultada ampliamente.

Las clasificaciones S.U.C.S. de las 21 muestras inalteradas en base a lo anterior, fueron las siguientes:

Muestra

Clasificación

T-1

SW Arena bien graduada limpia de finos.

<u>Muestra</u>	<u>Clasificación</u>
T-2	Material no plástico
T-3	CL Arcilla de baja compresibilidad
T-4	ML Limo de baja compresibilidad.
T-5	CL Arcilla de baja compresibilidad.
T-6	MH Limo de alta compresibilidad.
T-7	Material no plástico.
T-8	Material no plástico
T-9	Material no plástico
T-10	Material no plástico
T-11	Material no plástico
T-12	Material no plástico
T-13	Material no plástico
T-14	MH Limo de alta compresibilidad
T-15	SC Arena con finos plásticos
T-16	Material no plástico
T-17	MH Limo de alta compresibilidad
T-18	Material no plástico
T-20	Material no plástico
T-21	Material no plástico
T-23	MH Limo de alta compresibilidad.

Nota. El material que se especifica como "Material no plástico", es el material compuesto por arenas y/o limos exclusivamente, y que en el análisis granulométrico su fracción de finos no "pasó" la malla No. 200.

6. Permeabilidad

El flujo de agua a través de los suelos está dado por la ley de Darcy:

$$Q = KiA$$

donde

Q = gasto que pasa a través de una muestra de sección transversal.

K = coeficiente de permeabilidad en cm/seg.

i = gradiente hidráulico.

A = superficie de la sección transversal en cm^2 .

El coeficiente de permeabilidad es la velocidad del agua a través del suelo cuando está sujeto a un gradiente hidráulico unitario, este puede determinarse en laboratorio mediante procedimientos directos e indirectos.

Dentro del ensayo de las 21 muestras inalteradas obtenidas en el estudio, únicamente fue evidenciado mediante el método directo de permeámetro de carga variable el valor de 9.5×10^{-4} para la muestra T-1, constituida por una arena bien graduada limpia de finos. Este valor de coeficiente de permeabilidad pone en evidencia la alta permeabilidad de los horizontes arenosos muy comunes dentro de la secuencia de materiales epiclásticos de la Formación Cuernavaca.

7. Esfuerzo Cortante.

El análisis de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos muestreados en el proyecto, se llevó a cabo mediante las pruebas de Compresión Triaxial confinadas y sin confinar.

Las pruebas de consolidación se realizaron con objeto de obtener información sobre la magnitud de las compresiones totales que pueden presentarse bajo distintas cargas y la evolución con el tiempo de la compresión sufrida por el suelo bajo una carga determinada. La relación entre reducciones de relación de vacíos y presiones efectivas aplicadas, obtenida durante la prueba, permite estimar los asentamientos totales que pueden esperarse y la segunda prevee la evolución de los asentamientos con el tiempo.

Las pruebas de compresión triaxial se ensayaron para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia de los suelos. Estas pruebas consistieron en aplicar presiones laterales y axiales diferentes a un espécimen cilíndrico, y estudiar su comportamiento.

La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos dependió en suelos gruesos; de la compacidad, la forma de los granos y de la granulometría. En cohesivos (limos y arcillas) los factores que afectaron su resistencia tuvieron dos enfoques: el primero consistió en considerar que la resistencia depende esencialmente del esfuerzo efectivo, de la trayectoria de esfuerzos, y de la velocidad de deformación. - El segundo enfoque expresa el hecho experimental de que la resistencia de un suelo cohesivo que se deforma a volumen constante depende principalmente de su historia previa de carga, de la trayectoria de esfuerzos y de la velocidad de deformación, siendo el primer factor el más importante. La ley de resistencia se expresa entonces en términos de esfuerzos totales, es decir:

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

donde

s = resistencia al esfuerzo cortante en el plano de falla

σ = esfuerzo normal total sobre el plano considerado.

c = cohesión aparente

ϕ = ángulo de fricción aparente

En este caso c y ϕ no son propiedades del material, sino función de sus características, de la historia de carga previa, y de las condiciones de carga y de drenaje.

Las pruebas triaxiales se realizaron en 2 etapas: consoli-

dación y ruptura. La primera consistió en aplicar a un espécimen cilíndrico una presión hidrostática. Durante la segunda etapa, el espécimen se llevó a la falla por carga -- (prueba de compresión) o descarga vertical (prueba de extensión), manteniendo constante la presión confinante.

Las pruebas triaxiales se clasificaron en función de las condiciones de drenaje durante las 2 etapas de la prueba. Debido a estas condiciones ajustables al problema del estudio Tepextitla las pruebas utilizadas para las muestras inalteradas fueron:

1. No consolidadas-no drenadas (R._{sat}). Se impide el drenaje durante las dos etapas de la prueba. Efectuadas a las muestras T-1 (1 pba.), T-2 (1 pba.), T-3 (2 pbas.), T-5 (1 pba.), T-9 (1 pba.) y T-20 (1 pba.).
2. Consolidadas-no drenadas (R.C.sat). Se permite el drenaje durante la primera etapa solamente. Efectuada a las muestras T-8 (1 pba.) y T-20 (1 pba.)

Cada prueba se realizó en 3 o 4 especímenes bajo presiones confinantes distintas. La representación de los resultados en un diagrama de Mohr está constituida por una serie de círculos, cuya envolvente permite obtener los parámetros del material estudiado en el intervalo de esfuerzos considerado.

Las pruebas no consolidadas-no drenadas permitieron determinar la resistencia de las arcillas saturadas sometidas a cargas o descargas aplicadas a una velocidad tal que no hubo disipación de las presiones de poro generadas.

Las pruebas consolidadas-no drenadas se realizaron saturando previamente la muestra: reproduciendo las condiciones de inmersión del estrato al llenarse la presa en proyecto. La saturación permite que la segunda etapa de la prueba se

desarrolle a volumen constante facilitando la medición de las presiones de poro. Tal estado se logra aplicando una - contrapresión al fluido intersticial del material, con el fin de comprimir o disolver el aire no disuelto.

La determinación de los parámetros que aparecen en la --- Tabla No. 1, "Resumen de Características", en la columna correspondiente a Esfuerzo Cortante y que sirven para el - cálculo de coeficientes en el caso de consolidación unidi- mensional, y para la ejecución de las pruebas triaxiales, se calculan de la manera que aparece en el anexo denomina- do "Anexo Esfuerzo Cortante".

De acuerdo a los parámetros: contenido de agua (w_i), rela- ción de vacíos (e), grado de saturación (Gw_i), pesos volu- métricos ($\gamma_d, \gamma_m, \gamma_{sat}$) y en base a los resultados de la laboratorio, se graficaron deformaciones contra esfuerzos, - obteniendo de esta manera una diversidad de curvas que se emplearon en la elaboración de los círculos de Mohr que -- conforman una línea de deformación de la que se obtuvo los parámetros ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (c).

Con estos datos y cálculos se concluyó que la Resistencia al Esfuerzo Cortante a lo largo de la margen izquierda cons- tituida por la Formación Cuernavaca, varía de acuerdo a las expresiones siguientes:

$$s = 15 + \sigma \operatorname{tag} 10^\circ \text{ Ton/m}^2$$

a

$$s = 25 + \sigma \operatorname{tag} 48^\circ \text{ Ton/m}^2$$

Esto es evidente ya que la Formación Cuernavaca está com- puesta por una litología también variada, donde existen a- renas bien graduadas limpias de finos, arcillas de baja com- presibilidad y limos de baja y alta compresibilidad.

DE CARACTERISTICAS

FRENABILIDAD Sec. cm./seg.	ESFUERZO CORTANTE														NOTAS				
	W %		e		Gw %		PESOS VOLUMETRICOS						D	C		v	W	ESTANDAR	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIALES			FINALES									
							F ₁ Ton/cm ²	F ₂ Ton/cm ²	F ₃ Ton/cm ²	F ₄ Ton/cm ²	F ₅ Ton/cm ²	F ₆ Ton/cm ²	F ₇ Ton/cm ²	F ₈ Ton/cm ²					
2.14						1.452	1.493	1.896							21.5	13.0			
2.30		0.768				1.459	1.481	1.894							19.5	37.2			
17.30	35.1	1.054	0.975	7.7	7.4	1.259	1.479	1.772	1.909	1.768	1.803			48*	25.0				
8.3		0.767		21.1		1.454	1.545	1.868							37.4	74.7			
4.6	16.9	0.709	0.709	16.1	60.8	1.306	1.576	1.919	1.500	1.761	1.920			29.2*	25.3			W = 4.66% Arena fino med. d. y grueso color verde claro	
35.03		1.274		78.7		1.146	1.547	1.706							23.3	32.6			W = 1.55.43%
29.0		1.134		86.6		1.221	1.575	1.792							24.5	48.9			
22.8	36.4	1.064	1.069	60.0	98.4	1.237	1.572	1.760	1.213	1.704	1.759			23*	19.0				
32.4	46.4	1.258	1.298	67.2	95.4	1.154	1.528	1.711	1.154	1.688	1.711			0*	25.2				
11.90	32.1	1.015	1.015	29.6	82.9	1.297	1.446	1.800	1.296	1.713	1.800			30*	36.1				W = 22.63 % W = 1.28.36 % W = 28.45 %
8.6		1.215		16.7		1.067	1.159	1.616							81.1	23.2			W = 22.45% Limo con arena fino color café claro
4.0		1.151		8.2		1.089	1.143	1.634							34.9	103.8			W = 1.5.10 %
27.7	48.3	1.083	1.028	37.9	100.0	1.134	1.448	1.654	1.185	1.729	1.729			12*	21.5				
23.9	56.3	1.460	1.460	41.6	78.0	1.032	1.278	1.625	1.040	1.625	1.626			10*	19.0				
14.8		1.338		26.8		1.058	1.215	1.641							24.8	49.3			W = 1.75.4 %
13.6		1.368		25.2		1.071	1.217	1.649							37.1	74.2			
15.5	30.6	1.268	1.239	30.6	100.0	1.119	1.292	1.618	1.139	1.715	1.715			18*	21.0				W = 16.34% Limo con arena fino color café oscuro W = 18% Limo con arena fino color café W = 3.32% Limo promedio de plástico color café oscuro W = 12.35% Arena fino y medio con hasta 10% plástico color café oscuro W = 17.82 % W = 25.53 % W = 24.53% Limo no plástico color café oscuro W = 37.48% Limo alto-plástico color café claro W = 3.5% Arena fino medio plástico color café claro W = 5.17 %
6.2		0.917		16.4		1.265	1.344	1.743							27.1	34.2			
9.4		0.825		37.8		1.329	1.454	1.781							50.5	101.1			
4.9	32.8	0.894	0.894	13.3	89.1	1.281	1.344	1.752	1.280	1.760	1.752			23*	10.0				
22.3	41.3	1.031	0.981	49.4	79.8	1.194	1.463	1.702	1.224	1.729	1.715			43*	18.0				W = 18.70% Limo promedio color café oscuro W = 37.99% Limo plástico de color café oscuro

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
 SISTEMA DECENTRALIZADO DEL SIJO DE INGENIEROS PROFESIONALES
 EN LA CUENCA DEL ALTO VALLEY DE MEXICO

**RESUMEN DE CARACTERISTICAS
 FISICAS Y MECANICAS**

UNAM - 1980

El Factor de Seguridad del talud (Fs), se calculó mediante la expresión siguiente:

$$F_s = \frac{M_r}{M_n}$$

donde

M_r = momento resistente

M_n = momento motor

Por otra parte, la falla inminente implica:

$$M_r = M_n \text{ (punto de ruptura).}$$

De lo anterior,

si, $F_s > 1.0$ (con coeficiente sísmico) \Rightarrow Talud estable.

y si, $F_s > 1.5$ (sin coeficiente sísmico) \Rightarrow Talud estable.

Los factores de seguridad mínimos obtenidos de los análisis arriba mencionados son los siguientes:

<u>SECCION</u>	<u>Fs mínimo con</u> <u>coeficiente sísmico</u>	<u>Fs mínimo sin</u> <u>coeficiente sísmico</u>
P.C.A-1	0.403	0.44
P.C.A-2	0.719	0.87
P.C.A-3	0.721	0.93
P.C.A-4	0.908	1.23
P.C.A-5	0.851	1.05
P.C.A-6	0.722	0.94
P.C.A-8	0.800	0.93

De lo anterior se puede concluir que la margen izquierda, en su parte superior constituida por la Formación Cuernava ca al saturarse el material tendrá problemas de estabilidad; siendo la zona más crítica la correspondiente al po-

zo a cielo abierto (P.C.A.) número 1, que es la sección de altura máxima y la más cercana de donde se pretende empujar la futura cortina.

III.4 GEOLOGIA

Dentro del marco geológico en el que se encuentra el Proyecto Tepextitla se presentan 3 unidades litoestratigráficas: el Esquisto Taxco, la Riolita Tilzapotla, la Formación Cuernavaca, además de un cuerpo ígneo intrusivo. Las descripciones litológicas regionales de cada una de ellas, -- han sido tratadas dentro del Capítulo II.4, correspondiente a Estratigrafía. En consecuencia, la descripción que a continuación se detalla para las zonas en las cuales habrá de implantarse el eje de la cortina, la zona de embalse, así como las obras auxiliares, se hacen excluyendo definición, expresión fisiográfica, edad y correlación; sin embargo en las formaciones en que se consideró pertinente la mención de alguna de ellas, se efectuó para que sirviese para una visualización más amplia.

III.4.1 GEOLOGIA DE LA BOQUILLA

La boquilla Tepextitla topográficamente es asimétrica, con pendientes mayores en la margen izquierda, del orden de -- 0.25:1, mientras la derecha tiene 2:1. En su parte más baja presenta la típica forma de "V", preservandose ésta en la margen izquierda hasta aproximadamente la cota 1725, en donde cambia drásticamente a escarpes verticales. Sobre la margen derecha esta forma típica se conserva hasta aproximadamente la cota 1650 donde la pendiente cambia a 1:1 (ver sección transversal A-A', en el Plano No. 5).

El cauce se encuentra a una elevación de 1600 m.s.n.m., -- presentando una amplitud en la zona del eje de \pm 20.0 m.

Para una altura máxima de proyecto de 200.0 m. tendrá un desarrollo de corona de aproximadamente 600.0 m. (Fotografía No. 5).

En la margen izquierda aflora la serie metamórfica del Esquisto Taxco que consiste de una secuencia de rocas pelíticas, psamíticas y metavolcánicas, principalmente de pizarras negras con intercalaciones de areniscas metamorfizadas y esquistos. Estas rocas se encuentran cubiertas discordantemente por depósitos de la Formación Cuernavaca, constituidos por tobas limo-arcillo-arenosas y conglomerados.

En la margen derecha aflora también el conjunto metamórfico descrito anteriormente, aunque a diferencia de la margen izquierda, éste se encuentra intrusionado por una roca ígnea clasificada como Porfido Riolítico.

La secuencia metamórfica en ambas margenes tiene las siguientes características: las pizarras negras son las más antiguas de la secuencia encontrándose en la parte baja del cauce y consistiendo de lutitas carbonosas metamorfizadas de color negro, que intemperizan a café claro, su textura es fina, presenta lustre vítreo y contiene vetillas de cuarzo de hasta 0.10 m. de espesor. Su foliación es ondulada y paralela a sus planos de estratificación original. Sus estratos tienen espesores delgados de 0.05 a 0.3 m.

Interestratificadas con estas rocas, se presentan areniscas metamorfizadas de color gris con tonalidades de café amarillento y verde claro, su textura es gruesa y presenta cuarzo en forma de bandas y vetas. Sus estratos son delgados y medianos alcanzando los 0.5 m. de espesor. En algunos afloramientos

ramientos se observa la estructura de "boudinage" o salchicha y en general manifiestan una foliación incipiente menor a la de la pizarra. (Fotografía No.6) (Análisis Petrográficos Nos. 1 y 2).

Cubriendo a la interestratificación de pizarras y areniscas metamorfizadas, se encuentran depósitos de esquistos de sericita y cuarzo, y de clorita cuya coloración es café claro amarillento, ocre y verdoso, intemperizando a café claro, - su textura es gruesa con foliación burda siguiendo los planos de depósito original, son de lustre vítreo y su tacto es untuoso por la sericita. Su estratificación es muy delgada presentando micropliegues. Esta roca es sumamente alterable y físil, encontrándose cortada por vetillas de --- cuarzo cuyo espesor puede ser de 0.20 m. (Fotografía No.7) (Análisis Petrográfico No.3).

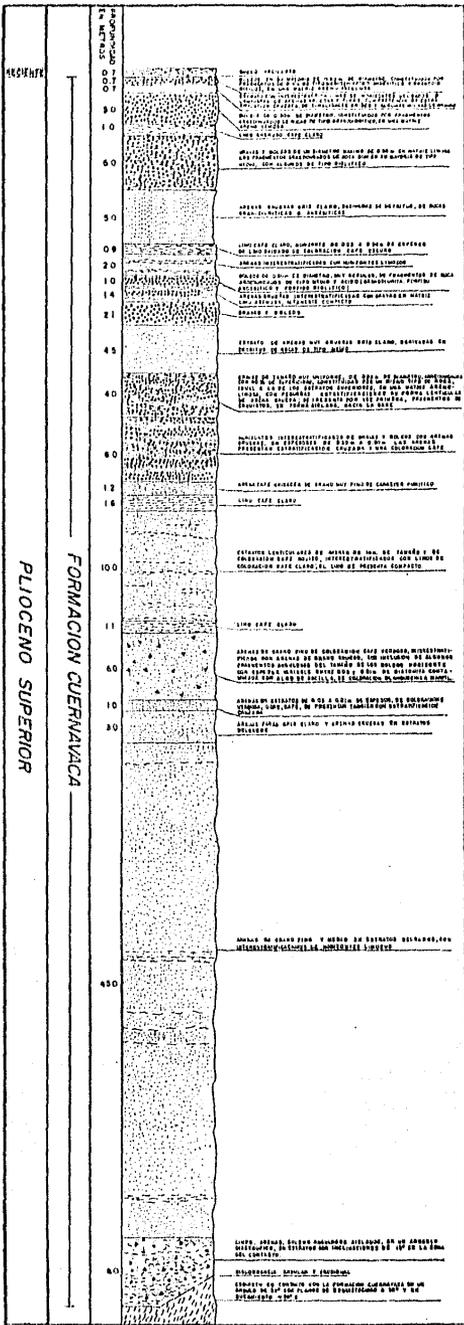
El Esquisto Taxco presenta una foliación general con inclinación que varía entre 10° y 70° con rumbos entre NE y NW, predominando este último. Las rocas de esta unidad se encuentran afectadas por intemperismo superficial, gran fracturamiento y alteración variable que forma una "costra" que puede alcanzar un espesor de aproximadamente 10 a 20 m., - como se demostró en las perforaciones Nos. III, IV, V, VI, VII, VIII y IX. Estos parámetros disminuyen conforme se -- gana profundidad dentro del macizo rocoso.

El contacto en la margen izquierda entre el Esquisto Taxco y la Formación Cuernavaca se localiza en la cota \pm 1700, en contrándose parcialmente cubierto por depósitos coluviales originados por esta última. Este contacto, como fue eviden ciado por el estudio de geofísica de resistividad (Sección No.V) y por las perforaciones III y IV, presenta una incli nación hacia el norte de unos 50° , penetrando en el talud, no siendo detectado a mayor profundidad.

Sobre la margen derecha, la cota \pm 1650 marca el contacto entre el Esquistos Taxco y la roca ígnea intrusiva ácida.

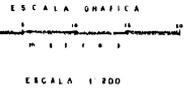
La composición litológica de la Formación Cuernavaca es muy variada (Figura No.12); está constituida en su parte superior por un conglomerado cuyos fragmentos de roca de tipo andesítico y granodiorítico e inclusive riolítico presentan diámetros que varían entre 0.30 a 1.0 m. siendo arredondados con 90% de esfericidad. Estos detritos están empacados en una matriz areno-arcillo-limosa, clasificados deficientemente y presentando un color café claro amarillento a blanquizo, el color de intemperismo es café oscuro a negro, la textura es clástica. Sus estratos presentan espesores de 2 a 3 m. Este conglomerado se presenta compacto aunque fuertemente afectado por intemperismo. Su permeabilidad puede correlacionarse con la obtenida en los sondeos Nos. I, II, III y IV, la cual resultó poco permeable a impermeable. Interestratificado con este conglomerado se encuentra un horizonte de toba limo-arenosa de color café claro. (Fotografía No.8).

Subyaciendo a estas rocas se encuentran una secuencia de tobas arenosas, limosas y pequeños horizontes de aglomerados. Las primeras contienen arenas gruesas de color gris claro derivadas de detritos de rocas granodioríticas, que presentan estratificación cruzada, ocasionalmente se encuentran horizontes de gravas en matriz limo-arenosa alternando con éstos. Los limos son de color café claro cuyos estratos son de 0.03 a 0.30 m. de espesor. Existen capas de limo oxidado cuya coloración es café oscuro a rojizo. Los aglomerados están compuestos de boleos muy regulares de 0.20 m. de diámetro, cuyos fragmentos de tipo ácido son arredondados. La matriz que engloba a sus componentes es arenosa-arcillosa y sus estratos presentan espesores de 1.0 m.



RESUMEN

FORMACION CUERNAVACA
PLIOCENO SUPERIOR



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

ESTADIA MECANICO DEL M.O. DENOMINADO TEPETITLA
TALA CUERNAVACA DEL MEXICO, EN LA NEBLA

**SECCION LITOLOGICA DE
LA FORMACION CUERNAVACA**

ESTADIA MECANICO DEL M.O. DENOMINADO TEPETITLA
TALA CUERNAVACA DEL MEXICO, EN LA NEBLA

La parte media de la formación consiste de un conglomerado de características muy similares al del superior consistiendo en gravas y boleos de composición andesítico y granodiorítico con tamaños que varían de 0.05 a 0.4 m. arredondados con 90% de esfericidad, aunque de clasificación deficiente, englobadas en una matriz areno-limosa, con pequeñas interestratificaciones en forma lenticular de arena gruesa; se presenta por primera vez, fragmentos de esquistos en forma aislada, hacia la base. La coloración general de esta roca es café claro intemperizando a café oscuro. (Fotografía No.9).

La porción inferior consiste de una secuencia de arenas y limos ya sea interestratificados o formando estratos lenticulares de uno o de otro. Los estratos presentan espesores de 1.0 hasta inclusive 20.0 m. Aquí las arenas son de grano fino a grueso siendo su clasificación buena, su coloración es café grisácea, ferdosa y rojiza. Su estratificación cruzada es característica pudiendose encontrar entre ésta algunos fragmentos angulosos del tamaño de las gravas. Los limos son de color café claro con horizontes de 0.03 a 0.3 m. de espesor, estos limos se presentan compactos aunque alterados exhibiendo intemperismo diferencial. (Fotografía No.10) (Análisis Petrográfico No.4).

Afectando a la totalidad de la formación, en la zona del eje de la boquilla, se presentan fracturas de tensión verticales con un rumbo $N45^{\circ}W$, 90° , de unos 70.0 m. de altura y 4.0 m. de ancho, aunque cerrandose a rumbo y distribuidas a los lados del eje. Cabe aclarar que este fracturamiento sólo se presenta con estas dimensiones en esta área, no habiendose detectado en el embalse. (Fotografía No.11).

Otro tipo de fracturas también de tensión se encuentran en la parte limítrofe de la meseta y el acantilado, en la por

ción superior de la margen izquierda, con una orientación - N35°E, y con desniveles de 5.0 m. y un ancho de 5.0 m. como máximo, cerrandose también a rumbo, originandose principalmente a consecuencia de la erosión y el intemperismo de los materiales areno-arcillosos y limosos que subyacen a los -- conglomerados compactos, los cuales fallan por gravedad dejando una especie de terrazas escalonadas.

La totalidad de las capas que constituyen a esta formación presentan una estratificación que puede considerarse como - horizontal, sin embargo existe una pequeña inclinación hacia el sur de 1° a 3°.

Aflorando sobre la margen derecha a partir aproximadamente de la cota 1650 e intrusionando al Esquisto Taxco se presenta un cuerpo ígneo clasificado como un tronco félsico de tipo Porfido Riolítico (Fotografía No.3)(Análisis Petrográfico No.5), de color gris claro a rosado intemperizando a un color café oscuro, presenta un intemperismo tipo exfoliación propio de las rocas graníticas. El fracturamiento de - este cuerpo tiene una orientación preferencial N40°E, 60° N (Fotografía No.12), sin embargo en el Plano No.5, se muestra una rosa de fracturas que indica las orientaciones que tienen los sistemas de fracturamiento presentes. El segundo -- sistema tiene un rumbo N50°-55°W. Un tercer sistema de menor magnitud, presenta rumbos al N30°W. En ciertas zonas dentro del cuerpo intrusivo se presentan relictos de rocas de composición similar (Fotografía No.13). La textura de esta --- roca es porfídica siendo su estructura masiva, densa y compacta. Se presentan zonas y bolsas con una gran alteración pudiendo alcanzar hasta 100.0 m. de profundidad y 1.0 Ha. - de superficie, siendo evidenciadas estas dimensiones por el estudio geofísico de resistividad principalmente mediante - la sección No.I. Dentro de la zona de la boquilla en lo que pudiera ser el eje de la cortina se presenta una bolsa de -

este tipo que cubre parcialmente la zona del contacto entre este cuerpo y la roca subyacente, o sea, el esquisto de clorita perteneciente al Esquisto Taxco.

III.4.2 GEOLOGIA DEL VASO.

El valle labrado por el arroyo Almoloya presenta dos orientaciones preferenciales dentro del proyecto: la primera desde la porción final del embalse hasta la parte media del mismo, siguiendo un rumbo NW-SE; la segunda desde este último lugar hasta la zona de la boquilla en forma semi-cóncava, cuyo rumbo es casi E-W (Plana No.5)

El punto máximo de inundación en la parte final del vaso está dado por la cota 1800, mientras el punto más bajo en el cauce en el sitio de la boquilla es de 1600 m.s.n.m. Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, el basamento estratigráfico de la zona donde se encuentra situado el proyecto, es el Esquisto Taxco, siendo ocupadas las cimas altas topográficas por rocas ígneas extrusivas de la Riolita Tilzapotla (sección C-C', en el Plano No.5), o por el cuerpo ígneo hipabisal representado por el Pórfido Riolítico que constituye el cerro de la Piedra Parada con 2000 m.s.n.m.

De acuerdo al marco geológico local, la litología del vaso - la podemos, al igual que su orientación, dividir en 2 zonas: una de la parte media hacia el final del vaso y otra de esta parte media hasta el sitio de la futura cortina. Como se ve esta división se hace de acuerdo a las rocas que quedarán -- inundadas por las aguas en el momento de máximo embalse (N.A. M.E.).

La primera zona se encuentra constituida por rocas ígneas ex

trusivas, metamórficas y sedimentarias, correspondientes a la Rioluta Tilzapótlá, Esquisto Taxco y Formación Cuernavaca. Sobre la margen derecha la distribución de estas unidades litoestratigráficas es muy desigual. La Rioluta Tizapótlá presenta un solo afloramiento en esta primera zona, representado por una toba de grano fino, bien cementada de color rosado claro y estructura masiva, la seudoestratificación, donde puede ser apreciada, es delgada a media con capas de 0.10 a 0.30 m. de espesor, esta toba constituye el cerro "El Idolo", cuya elevación es de 2000 m.s.n.m. Sobre el costado nororiental de este cerro, aproximadamente en el Km. No. 22 de la carretera Almoloya de Alquisiras-Puente -- Los Sabinos, se encuentra una brecha tobácea riolítica o dacítica (?), débilmente cementada de grano grueso de color café rojizo oscuro, con fragmentos hasta de 0.30 m. de diámetro. Existe en este afloramiento inestabilidad de la ladera, lo que a causado un serio problema para el mantenimiento de la carretera; lo anterior es ocasionado por el intemperismo diferencial, y porque al erosionarse las porciones débiles de grano fino, dejan grandes "costras" que debido a la acción de la gravedad desarrollan movimientos rápidos arrastrando grandes masas de material. En el Plano No.5, esta zona se representa como una área punteada densamente, definiéndola como zona de alteración.

El Esquisto Taxco presenta una distribución bastante amplia en los cauces de los arroyos La Soledad, Campanario y Florido, estando constituidos éstos, por afloramientos de esquistos de sericita y clorita, así como por interestratificación de areniscas metamorfizadas y pizarras, cuya descripción litológica es similar a la establecida para las rocas en el sitio de la boquilla. Un pequeño afloramiento de esta unidad constituye una pequeña loma de no más de 20.0 m. de altura que atraviesa la carretera Almoloya de Alquisiras-Puente Los Sabinos en el Km. 20.5 en la desviación hacia el poblado de

Tizates, encontrándose compuesto por esquistos de clorita de color café claro a verde, cuya orientación de foliación es - $N72^{\circ}W$, $36^{\circ}N$, con estratos delgados de 0.20 m. de espesor y - presencia de vetillas de cuarzo.

La margen izquierda, de la primera zona que hemos establecido para describir la geología del vaso, a diferencia de su - contraparte, es totalmente homogénea en su litología, encontrándose compuesta por rocas sedimentarias de origen aluvial. La Formación Cuernavaca forma mesetas cuyos taludes se encuentran tendidos, aunque generalmente se presentan los escarpes característicos de su expresión fisiográfica particular. La litología de estas mesetas es idéntica a la apreciada en la porción superior de la margen izquierda en el sitio de la boquilla, descripción mostrada en párrafos anteriores.

En las inmediaciones del Puente Los Sabinos, recorriendo 0.5 km. sobre la carretera que va hacia Ixtapan de la Sal, se observaron, a mano izquierda, al pie de los escarpes de las mesetas constituidas por rocas de la Formación Cuernavaca, grandes masas que fueron desprendidas mediante fallas de talud de tipo circular. Esta teoría se fundamenta en la posición que guardan los estratos de tobas, cuyo depósito original sabemos que fue muy cercano a la horizontal, sin embargo estos cuerpos presentan una orientación hacia el NE e inclinaciones de 30° a 45° hacia el NW. En el Plano No.5 esta zona se representa con una simbología especial que significa deslizamientos escalonados..

Esta primera zona presenta, en todo el desarrollo del cauce depósitos de aluvión cuyo espesor presenta una potencia pequeña y no muy amplia distribución.

La segunda zona del vaso que quedará inundada contempla rocas metamórficas y sedimentarias exclusivamente.

Las rocas metamórficas presentes son las pertenecientes al Esquisto Taxco que afloran sobre ambos márgenes del arroyo, la derecha está constituida en su totalidad por este tipo - de litología siendo interrumpida únicamente por material -- brechoide de la Riolita Tilzapotla en una pequeña zona localizada a unos 800 m. del Puente Los Sabinos siguiendo el camino que se dirige hacia Zacualpan (Fotografía No.14). A -- partir del mencionado puente hacia aguas abajo, el Esquisto Taxco presenta texturas, coloraciones y durezas que varían notablemente en cortas distancias.

Sobre la margen derecha en el sitio del puente, se presenta un afloramiento de arenisca metamorfizada, cloritizada, altamente cohesiva, dura y muy competente, con laminillas de foliación menores a 0.01 m. de espesor, de coloración verde claro y motas grises, interestratificadas con esquistos de sericita y clorita; ocasionalmente éstas rocas incluyen lentes y bandas de caliza marmorizadas.

Hacia aguas abajo, aproximadamente a 2.5 km. se observa un afloramiento de esquistos de clorita de coloración gris, de textura fina, untuoso y lustroso, con planos de foliación - delgada, poco duro, físil y con fracturas paralelas a los - planos de esquistocidad.

Las pizarras se observan en ambos márgenes en la porción - baja del cauce, presentandose un afloramiento de pizarras carbonosas en la porción cercana al puente, exactamente a 500 m. hacia aguas abajo, donde años atrás fue ubicado el Proyecto Almoloya. (Fotografía No.15).

Cabe hacer mención que existe una zona ubicada 2 km. aguas arriba del sitio de la boquilla, en la cual el Esquisto Taxco se presenta ocupando casi la totalidad de la margen izquierda siendo esta área la elegida por el Ing. Mario Veytia para establecer la cortina denominada Almoloya II.

La margen izquierda está constituida en su totalidad, excepto en el área antes señalada, por la Formación Cuernavaca, cuya descripción ya ha sido establecida.

III:5 GEOLOGIA DE LAS OBRAS AUXILIARES.

III.5.1 Vertedor de Excedencias.

La obra de excedencias se encontrará implantada sobre la margen derecha, proyectándose instalar el canal de llamada, sobre la cota 1749.50, presentando en su porción más baja una cubeta deflectora cuya elevación será de 1650 m.s.n.m. Según la litología evidenciada, la totalidad del desarrollo de la obra de excedencias (canal de llamada, vertedor, zonas de compuertas, canal de descarga y cubeta deflectora), estará ubicada en el Pórfido Riolítico, mismo en el que se empotrará el costado derecho de la cortina, y de acuerdo al estudio geofísico de resistividad y al levantamiento geológico de semidetalle demostró categorías de permeabilidad que varían de media a baja, con espaciamiento de fracturas de 3 m. no continuas cerrándose a profundidad; se considera con una clase de roca buena. Para consideraciones de excavación se considera estable con una muy pobre sobreexcavación y con un nulo contenido de agua intersticial.

Dado que la ubicación del eje de la cortina respecto a la obra de excedencias no sobrepasa unas cuantas decenas de metros, es obvio que la litología particular de esta roca no difiera mucho de la presentada cuando se describió en la boquilla.

Es importante marcar nuevamente la existencia de una zona irregular de alteración localizada sobre el Pórfido Riolítico

co, entre la cota 1750 y la 1825, que debido a su posición afectará una zona del canal de descarga en la porción en - que se presenta un talud de 0.001. La resolución a este problema se propone en el Capítulo IV "Recomendaciones".

Otro punto en el que puede esperarse cierto problema durante la construcción, será el área que alberga a la cubeta deflectora, debido a que la cota 1650, donde esta se encuentra también marca el contacto litológico entre el Esquisto Taxco y el Pórfido Riolítico. En esta zona de aproximadamente 5000 m² de área, se presenta una incipiente alteración, en ambas rocas, que presumiblemente, según los estudios geofísicos desa parece a escasos 10.0 m. de profundidad.

III.5.2 Obra de Desvío y Obra de Toma.

Por encontrarse ambas obras sobre la margen izquierda y siendo que uno de los túneles de desvío servirá como obra de toma baja, han sido agrupadas para su descripción geológica en este subcapítulo.

La obra de desvío será del tipo de 2 túneles, con una longitud de 937.50 m. cada uno. La elevación del umbral es de 1615 m.s.n.m., sobre el arroyo Almoloya, mientras la salida se encontrara a la cota 1580, desembocando en el arroyo Meyuca.

La obra de toma se divide en dos: la toma baja y la alta. La obra de toma baja será la que aproveche el túnel derecho No. 2, de la obra de desvío. La elevación del umbral esta proyectada a la cota 1660, mientras la descarga a la 1580. Esta obra está constituida por una torre de 5.0 m. de diámetro y - con una inclinación de aproximadamente 35°, situada en el tajo de entrada al túnel; y por un túnel de concreto con igual

diámetro con una pendiente de 1:0. La obra de toma alta tiene una cota en el umbral de 1702, mientras su salida, consiste en un salto de ski, que se presenta a la elevación de --- 1659.35 m.s.n.m. Esta obra la componen una torre de sección circular de 3.0 m. de diámetro, un túnel de igual diámetro - en el cual se ligan la estructura de compuertas y una lumbrera, por último una cubeta deflectora.

La geología de la margen izquierda donde se encuentra cada una de estas obras se compone exclusivamente del Esquisto -- Taxco constituido por una secuencia de areniscas metamorfolizadas y lutitas pizarrosas; las primeras son de grano medio y subanguloso, presentando color gris oscuro e intemperizando a café oscuro, sus estratos son de delgados a medianos con 0.30 m. de espesor máximo. En esta zona las areniscas presentan en algunos lugares la estructura de "boudinage". Las lutitas metamorfolizadas son de color gris oscuro intemperizando a café oscuro, su textura es pizarrosa, su estructura masiva y sus estratos son delgados de aproximadamente 0.10 m. de espesor. Esta secuencia esta cruzada por vetillas de cuarzo de espesor máximo de 0.06 a 0.08 m. La orientación preferencial en la zona de las obras de desvío y toma es de N20°E, con inclinaciones de 30°N.

Dando que todas estas obras son subterráneas, implica que los problemas ingenieriles que pueden ser esperados, principalmente en las rocas del Esquisto Taxco, son considerables y de gran importancia para el buen desarrollo del proyecto.

Debido a lo anterior, las consideraciones técnicas siguientes son de gran relevancia:

La secuencia de areniscas y lutitas metamorfolizadas donde han de ser implantadas estas obras, no presentan discontinuidades del tipo de las fallas, tampoco se observaron flujos de agua tales como manantiales. De acuerdo a los resultados de las -

perforaciones Nos. V, VI, VII, VIII y IX, realizadas en rocas similares, las características de índice de calidad de la roca y recuperación son buenos, lo que habla de una roca sana y competente, únicamente un pequeño espesor superficial de - aproximadamente 15 a 20 m. de profundidad se encuentra alterado y fracturado, sin embargo, estas fracturas se encuentran rellenas del propio material arcilloso de alteración, lo que las hace impermeables. Se considera que durante la excavación de los túneles de desvío, así como de las obras de toma, éstos se desarrollarán con secciones limpias, presentandose -- con sobreexcavación exclusivamente en los portales de entrada de los mismos. La roca, debido a su estructura será fácilmente excavada, excluyendo a las vetillas de cuarzo de dimensiones considerables o bien a cierto tipo de cuarcitas que puedan presentarse. De acuerdo con observaciones realizadas en los afloramientos que se encuentran en la margen derecha sobre la carretera, principalmente durante la temporada de lluvias, existe la posibilidad de que puedan presentarse desprendimientos de pequeños volúmenes de roca; sin embargo, estos movimientos de masa, fueron en roca alterada y fracturada, por lo que puede esperarse que estos problemas existan - en los portales de entrada y salida de los túneles, mismos - que necesitarán de algún tipo de soporte o únicamente concreto lanzado para evitar el desprendimiento de éstas masas. En los puntos donde exista una predominancia de lutitas será - necesario la colocación de marcos metálicos.

Como la totalidad de los túneles se desarrollará en roca metamórfica existe la posibilidad de encontrar dificultades - en la parte más profunda de éstos, donde la roca, por su origen, liberará presiones dilatándose.

III.6 BANCOS DE MATERIALES

Dado que el Proyecto Tepexitla se ha diseñado mediante una -

estructura deformable, cuya cortina es del tipo de materiales graduados, es decir, una estructura compuesta por un corazón impermeable, materiales permeables (grava y arena), así como por materiales de enrocamiento, se procedió a localizar y seleccionar los materiales que técnica y económicamente fueran adecuados para la construcción de la cortina de la Presa Tepehtitla.

De acuerdo con el marco geológico descrito en capítulos antecedentes se pueden hacer las siguientes consideraciones en relación con los bancos de materiales:

La Formación Cuernavaca, por su naturaleza granular integrada a base de detritos volcánicos que constituye los terrenos planos cercanos al sitio de la cortina, podría pensarse fuera propicia para aportar el material arcilloso que formaría el núcleo impermeable de la cortina, sin embargo, por la propia génesis de esta formación se tienen conglomerados, areniscas y tobas areno-arcillosas, principalmente en zonas de fácil acceso, que son materiales granulares carentes de la porción fina que interesa.

El suelo de las mesetas y valles circundantes al proyecto -- tiene un espesor promedio de 0.40 m. estando formado por materiales arcillo-arenosos de color café oscuro. Por esta razón se estima que la obtención del material impermeable será el principal problema a resolver.

De acuerdo a los análisis granulométricos realizados en los materiales de la porción basal de la Formación Cuernavaca, se evidenció la predominancia de tobas limo-arcillosas que podrían en un momento dado aportar el elemento fino para el corazón impermeable, siempre y cuando existiera un banco accesible y con volúmenes apropiados.

Los materiales superficiales e intermedios de esta formación

son predominantemente arenosos, inclusive existen sitios donde se explotan como bancos para la obtención de arena, no obstante pueden localizarse zonas donde la arena se encuentra con cierta cantidad de finos plásticos, que hacen se pueda emplear este tipo de material arenoso, no sin antes efectuar su estudio para determinar su comportamiento hidráulico.

Los valles de las corrientes superficiales de la zona como se mencionó en su oportunidad, son de tipo epigenético, es decir, labrados por la erosión, con cauces muy encajonados en forma de "V". Esta condición nos señala que dichos escurremientos tienen una alta capacidad para erosionar y consecuentemente sus aluviones son de escaso espesor, como se demostró mediante la perforación No. VII, con una pequeña cantidad de material con tamaño de grava, arena y finos. Formaciones de suelos tales como terrazas fluviales, donde se puedan obtener estos tipos de material, prácticamente no existen.

Los materiales de naturaleza rocosa que existen en la región, están representados por esquistos y rocas ígneas de composición riolítica.

Los esquistos que en términos generales están representados por rocas metavolcánicas y metasedimentarias, se encuentran con un cierto grado de alteración y por tratarse de una roca con estructura foliada son poco competentes para constituir bancos de roca, en cambio pueden ser sitios favorables para conseguir suelos residuales de tipo arcilloso que se necesitan para formar el elemento impermeable de la cortina.

La roca ígnea de composición riolítica, litológicamente resulta ser adecuada para formar los enrocamientos puesto que en ciertos lugares no presenta avanzado grado de alteración y los fragmentos líticos que proporcionará tendrán buenas características de dureza, abrasión y alterabilidad.

Para localizar los bancos o sitios de donde se obtendrán los materiales para la construcción de la cortina, se realizaron varios recorridos terrestres por zonas carcanas al sitio, apoyándose en el plano geológico previamente elaborado; de esta manera se seleccionaron los siguientes bancos:

Banco El Despoblado	Material impermeable
Banco Zacualpan	Material impermeable
Banco Despoblado II	Material permeable
Banco Piedra Parada	Material enrocamiento y rezaga.

En el Plano No. 6, se muestra la localización de los bancos - que por su cercanía y calidad del material, son los más viables para su empleo.

A continuación se describirán las características físicas de los bancos.

III.6.1 BANCOS DE MATERIAL IMPERMEABLE

BANCO EL DESPOBLADO

Este banco de material impermeable se localiza a la altura del km. 3+000 del camino de terracería que conduce a la población llamada El Despoblado, tomando como origen del cadenamamiento el entronque con la carretera estatal Zacualpan-Almoloya de Alquisiras, el cual a su vez se encuentra a escasos metros del sitio llamado Piedra Parada.

La zona que se propone para la obtención de material se localiza a ambos lados del camino de terracería, en los terrenos sensiblemente planos que no están dedicados a la agricultura.

El terreno se ubica dentro de la Formación Cuernavaca, y con

secuente^{mente} está constituido por materiales aluviales de - naturaleza clástica. Su estratigrafía es uniforme, superficialmente presentando una cobertura de suelo con espesor reducido comprendido entre 0.20 y 0.40 m. formado por una arcilla arenosa café oscuro, de consistencia poco firme y medianamente plástica.

Este material constituye el suelo agrícola del terreno. Subyaciendo a la cobertura de suelo agrícola se tiene un material predominantemente arenoso, se trata de un suelo aluvial formado por una arena arcillo-limosa en estado compacto a - muy compacto.

El volumen de material presumiblemente aprovechable es de - $2.4 \times 10^6 \text{ m}^3$.

De acuerdo con la información anterior este material puede emplearse para la construcción del corazón impermeable de la presa, sin embargo por su carácter granular poco cohesivo, - se requiere de un mayor reconocimiento en relación a sus propiedades hidráulicas.

Debido al porcentaje de material fino es adecuado, este material, para la formación del núcleo impermeable.

El banco presenta características físicas apropiadas para una explotación a gran escala, se trata de un terreno de gran extensión, con poco espesor de despalme y distancia de acarreo mínima. Por otro lado, se tiene que el terreno en la mayor parte no está dedicado a la agricultura.

El único inconveniente que se le puede señalar es la alta - compactación del material arenoso ya que obliga a efectuar - procedimientos de disgregado.

BANCO ZACUALPAN

El banco Zacualpan se localiza sobre la carretera que conduce al poblado del mismo nombre, a la altura del km. 29+000 tomando como origen la población de Almoloya de Alquisiras.

El banco está formado por un esquisto muy alterado, el cual a degenerado a una arcilla café de mediana plásticidad y con sistencia poco firme.

Por tratarse de un suelo residual, seguramente presentará esta banco variación en cuanto a espesor explotable y aún en las características del material arcilloso, puesto que el in temperismo no actúa con la misma intensidad y uniformidad.

El volumen aprovechable de material es mayor de $0.5 \times 10^6 \text{ m}^3$.

De acuerdo con los recorridos de campo el sitio ofrece condiciones físicas adecuadas para la obtención del material impermeable, tratandose de un terreno de gran extensión, de espesor aprovechable medio, con distancia de acarreo mínima y presentando una sola desventaja, la configuración montañosa del terreno que dificultaría su explotación. Por otro lado, debido a que el terreno se encuentra arbolado, se necesitará realizar un desmonte considerable.

III.6.2 BANCO DE MATERIAL PERMEABLE

BANCO DESPOBLADO II

Este banco se localiza en la margen derecha del arroyo Pilca ya a la altura del km. 7+000 del camino de terracería que conduce al poblado denominado El Despoblado, tomando como origen del cadenamamiento el entronque con la carretera estatal

Zacualpan-Almoloya de Alquisiras, el cual se encuentra a escasos metros del sitio llamado Piedra Parada. Sobre la margen izquierda actualmente se lleva la explotación de un banco con iguales características que el propuesto, en el cual se obtiene una arena volcánica empleada en la región para la elaboración de concreto.

La superficie del banco es mayor de 25 Ha. con un espesor aprovechable de 4.0 m. calculandose su volumen explotable, mayor a $1 \times 10^6 \text{ m}^3$. La distancia de acarreo sería aproximadamente de 10 km.

El material del banco consiste de una arena de grano medio poco limoso que se encuentra en estado de poco a medianamente compacto. Ocasionalmente se encuentran fragmentos de roca aislada y grava, la cual obligaría a efectuar cribado.

El material arenoso que proporcionaría el banco Despoblado II, puede emplearse en mezclas en la formación de filtros o zonas permeables de la presa.

III.6.3 BANCO DE ROCA

BANCO PIEDRA PARADA

El banco para enrocamiento se localiza en la porción sureste del cerro de la Piedra Parada. El acceso al banco se realiza de igual forma que la indicada para llegar a la boquilla, es decir, por la carretera estatal Zacualpan-Almoloya de Alquisiras.

Las características físicas que presenta el banco son las siguientes: presenta una superficie mayor de 25 Ha., el espesor

de despilme será nulo requiriendo únicamente desmonte y limpia, el espesor aprovechable será mayor de 10.0 m. y la distancia de acarreo sería mínima.

Los resultados obtenidos del recorrido de campo, así como los estudios petrográficos, permiten afirmar que la roca superficial constituyente del cerro de la Piedra Parada es un Pórfido Riolítico de color café claro a crema, poco alterado en algunos sitios, aunque en otros se presente alterado y fracturado. Si se desea una clasificación litológica más rigurosa, en el anexo petrográfico se presenta el análisis realizado. (Análisis Petrográfico No.5)

De acuerdo a lo anterior, la roca que forma el cerro de la Piedra Parada reúne las características físicas para emplearse como enrocamiento. Por las condiciones de fracturamiento que tiene el macizo rocoso se podrán obtener bloques de gran tamaño (mayor a 1 m³). Sin embargo, a pesar de que los afloramientos y el panorama geológico indican un gran volumen de material, antes de iniciar su explotación es recomendable efectuar exploración directa con máquina perforadora para conocer la variación litológica, calidad de roca y principalmente las zonas de alteración, respecto a la profundidad.

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en la información precedente y de acuerdo a los alcances de los estudios efectuados, se pueden generar las conclusiones y recomendaciones siguientes:

CONCLUSIONES

1. El marco geológico que rodea al Proyecto Tepextitla - lo constituyen 4 unidades litológicas: rocas metamórficas del Esquisto Taxco, rocas ígneas extrusivas de la Riolita Tilzapotla, rocas sedimentarias de origen continental de la Formación Cuernavaca y una roca ígnea hipabisal clasificada como Pórfido Riolíptico.

2. El Esquisto Taxco es la unidad más antigua y forma el basamento de la región, consistiendo de una secuencia -- de esquistos de sericita, esquistos de clorita, pizarras negras, areniscas y lutitas metamorfizadas, presentando todo el conjunto, un metamorfismo de grado bajo y foliación secundaria produciendo finas ondulaciones.

La Riolita Tilzapotla está constituida por una brecha - tobácea riolíptica pobremente cementada, con fragmentos - hasta de 0.30 m de diámetro.

La Formación Cuernavaca, formada por sedimentos epiclás- ticos, constituida por una sucesión de capas de aglomera- dos y conglomerados, que se depositaron alternando con - tobas e intercalaciones de limo-arena, arcilla y arenas. Por último, la roca ígnea hipabisal, compuesta de Pórfido Riolíptico, forma un tronco que intrusionó a las rocas me

metamórficas del Esquisto Taxco, exclusivamente.

3. El Esquisto Taxco se presenta sobre toda la margen de recha del arroyo Almoloya, sobreyacido en partes por la Riolita Tilzapotla y en otras por la Formación Cuernavaca. El techo estructural de este complejo metamórfico es variable ya que aflora tanto en los cauces de los arroyos como en las elevaciones cercanas a los 2000 m.s.n.m. Además su estructura, evidenciada por las perforaciones y el estudio de geofísica, demuestra que tiene una forma cóncava, la cual formaba un antiguo valle que posteriormente fue rellenado por la Formación Cuernavaca más reciente. La Riolita Tilzapotla es importante geotécnicamente en la porción media y final del embalse, donde constituye lomeríos y cerros fuertemente erosionados. Formando grandes y extensas mesetas, que constituyen la totalidad de la margen izquierda, se encuentra la Formación Cuernavaca, cuyos depósitos rellenaron los bajos topográficos del basamento. Estas mesetas presentan barrancas que se alargan por erosión remontante.

Boquilla

4. La boquilla Tepexitla topográficamente se presenta asimétrica con pendientes mayores en la margen izquierda. Litológicamente se encuentra conformada en su cauce por una secuencia de pizarras negras interestratificadas con areniscas metamorfizadas. Estas rocas se encuentran cubiertas, en ambos márgenes, por esquistos de clorita y sericita a la cota \pm 1700. Esta secuencia metamórfica pertenece al Esquisto Taxco que en términos generales y de acuerdo con los estudios de geofísica de resistividad, y perforación con recuperación de núcleos, presenta características geotécnicas de permeabilidad comprendida en el rango de impermeable (10^{-6} cm/s), el índice de

calidad de roca (75 a 90%), así como su recuperación (80%) son buenas, lo que implica una sanidad y competencia excelentes, considerandose estable y con un grado de alteración relativamente bajo, siendo aceptable para soportar el tipo de obra a realizar.

5. En la margen izquierda sobreyaciendo al Esquisto Taxco en contacto erosional se encuentra la Formación Cuernavaca cuyos elementos clásticos se incluyen en las categorías de permeabilidad poco permeables (10^{-5} cm/s) y permeables -- (10^{-4} cm/s), predominando la primera de ellas, mientras la segunda es exclusiva de los horizontes arenosos de espesor variable. Su índice de calidad de roca (50 a 75%) y recuperación (75%) son de regulares a buenas.

Por otra parte, mediante el estudio de las características físicas y macánicas de las rocas implementado en las paredes de los acantilados que forman esta unidad, se demostró mediante ensayos de laboratorio (respuesta al esfuerzo cortante) que la margen izquierda, en su parte superior al saturarse tendrá problemas de inestabilidad siendo la zona más crítica, la correspondiente al empotramiento de la cortina.

Estructuralmente el área inmediata cercana al sitio de la cortina presenta fracturas verticales del tipo de tensión que propiciarán el aumento de probabilidad de inestabilidad del talud. En general los estratos de la Formación Cuernavaca son casi horizontales aunque presentan una leve inclinación de 1° a 3° hacia el norte. El contacto entre la Formación Cuernavaca suprayacente y el Esquisto Taxco infrayacente, presenta una pendiente dirigida hacia el embalse con desniveles de 100 m. en una longitud promedio de 2000 m., entre las cotas 1750 y 1650.

6. Sobre la margen derecha el Pórfido Riolfítico aflora a partir de la cota \dagger 1700, presentando según sus valores de resistividad un rango de permeabilidad que varía de poco permeable a impermeable, considerandose sana y competente

Únicamente existirá un problema de alteración en la zona - donde quedará implantado el canal de descarga del vertedor. Estructuralmente el Pórfido Riolítico presenta una exfoliación típica de las rocas ácidas. Su fracturamiento, originado por un enfriamiento lento, demuestra una orientación preferencial NE-SW, el cual no causará problema alguno para las obras proyectadas en él, dado que el relleno de las mismas consiste en finas arcillas que lo hacen impermeable.

Vaso

7. El embalse de la Presa Tepextitla tiene una longitud - aproximada de 12 km. a la cota 1800; presenta dos orientaciones: una NNW-SSE y otra E-W.

8. Se encuentra conformado por rocas del Esquisto Taxco, Formación Cuernavaca y Riolita Tilzapotla. La primera se considera en términos generales, como impermeable (0-3 U.L.), sana y competente, siendo excelente para servir - como vaso de almacenamiento. La segunda evidenció ser poco permeable (10^{-5} cm/s), probabilidad alta de ser inestable al saturarse (Factor de Seguridad < 1) y una sanidad y competencia de regular a mala, siendo la formación geotécnicamente más problemática. La última se considera impermeable, inestable y regularmente sana, pero al estar subyacida por la roca impermeable del conjunto metamórfico, al saturarse no presentará problema constructivo, -- además, por su posición topográfica queda excluida de -- gran parte de la zona del embalse.

9. Las zonas de alteración y fracturamiento localizadas en el área de estudio, no tendrán problema de ser resueltas, ya que mediante métodos de limpieza, inyección o desmonte e inclusive llevando el fracturamiento a fallar - hasta un estado de reposo, se eliminarán las zonas más críticas de este tipo.

10. Los sitios propuestos para la obtención de los materiales de construcción (bancos de materiales) son los que -- presentan mayor ventaja en cuanto a su condición física, - propiedades de los suelos y la distancia mínima de acarreo.

11. De las conclusiones anteriores y conforme al alcance de los estudios, se puede resolver, que:

- a.- No es factible la realización del Proyecto, considerando la cota de embalse máxima proyectada a --- 1800 m.s.n.m. , debido a la probabilidad muy alta de inestabilidad de la Formación Cuernavaca cuyo - espesor es de ± 100 m a lo largo de la primera mitad del embalse.
- b.- Si se pensara en que fuese factible el proyecto a ésta cota, habrá que considerar un programa de tratamiento de impermeabilización y consolidación de la Formación Cuernavaca en la zona inmediata al - embalse, lo cual sería económicamente incosteable.
- c.- Si la cortina se reduce en su altura hasta la cota 1700, o sea una cortina de 100 m, la factibilidad de construcción de la presa es mayor, sin embargo la capacidad de almacenamiento se reduciría de -- $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ a $42 \times 10^6 \text{ m}^3$.
- d.- Evaluando los fines que se persiguen al realizar el Proyecto, resultan no congruentes con la reducción de almacenamiento.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones se enfocan mediante dos alternativas, que dependerán de la altura de la cortina del Proyecto.

El grado de factibilidad que puede obtenerse, con la rea-

lización de los estudios propuestos, puede mejorar notablemente para la segunda alternativa, pudiéndose decidir esto según los lineamientos económicos para la realización del Proyecto.

7ª Alternativa

Considerar que la altura de la cortina llegue a unos metros antes del contacto entre la Formación Cuernavaca y - el Esquisto Taxco aproximadamente a la cota ± 1700 , con el objeto de no afectar los depósitos de la primera.

2ª Alternativa.

En este caso la altura de cortina alcanza la cota máxima-1800, cubriendo el nivel de aguas máximas de embalse a la Formación Cuernavaca, en más de 100 m de espesor.

En ambas alternativas se recomienda:

Perforación.

Realizar un programa de seis sondeos exploratorios, en diámetro NQ(69.9 mm), con recuperación de núcleos, ubicados - sobre el eje de la cortina.

Margen Derecha

1. El cauce, exploración vertical a 60.0 m de profundidad
2. En la cota 1650, exploración inclinada 30° con respecto a la vertical a 80.0 m de profundidad.
3. En la cota 1700, exploración inclinada 30° con respecto a la vertical a 110.0 m de profundidad.
4. En la cota 1800, exploración inclinada 30° con respecto a la vertical a 160.0 m de profundidad.

Estos sondeos están diseñados para detectar volumétrica-- mente la zona de alteración profunda-del macizo rocoso in trusivo, además de conocer con exactitud la calidad de la roca, los espesores y las condiciones de los materiales en la zona de contacto entre el Esquisto Taxco y el intrusi- vo.

Margen Izquierda

1. En la cota 1700, exploración vertical a 50.0 m de pro- fundidad.
2. En la cota 1650, exploración vertical a 50.0 m de pro- fundidad.

El objetivo será determinar las características, en ésta zona, de permeabilidad y calidad de roca del Esquisto Tax co.

Pruebas de Permeabilidad

Dentro de las perforaciones exploratorias se programará la realización de pruebas de permeabilidad, tanto de tipo Lugeon como Lefranc, en tramos de prueba de 5.0 m de lon- gitud.

Pruebas de Laboratorio

A las muestras obtenidas de la perforación, se recomienda realizar las siguientes determinaciones a diversas profun- didades.

Resistencia a la compresión simple.

a.1 Para materiales metamórficos, con aplicación de -- fuerzas paralelas a la foliación y perpendiculares a la misma

a.2 En materiales ígneos, en especímenes sanos, alterados y fracturados.

b. Prueba brasileña, con especímenes y materiales en las mismas condiciones anteriores.

c. Determinaciones de densidad, permeabilidad, peso volumétrico, etc., para poderlos aplicar y correlacionar con los datos de geofísica y perforación actuales y obtener factores de seguridad en la estabilidad de sus taludes.

Para la 2a. alternativa se recomienda, adicionalmente, lo siguiente:

Perforación

Realizar por lo menos un sondeo a la cota 1825 en la porción más alta de la margen izquierda con profundidad de 150 m., sobre la traza del eje de la cortina, con objeto de determinar con exactitud la inclinación del contacto entre el Esquisto Taxco y la Formación Cuernavaca, la permeabilidad y condiciones de sanidad de las rocas en este punto.

Efectuar un programa de 5 perforaciones exploratorias verticales con muestreador tipo Shelby o Dennison dentro de la explanada del poblado de Llano Grande (Plano No.5), - hasta alcanzar la profundidad de la cota 1690.

Los objetivos buscados con éste programa son los siguientes:

- a. Detectar un horizonte dentro de la Formación Cuernavaca, que pueda ser correlacionable en todos estos sondeos para determinar la inclinación de los estratos de dicha formación y verificar si es efectivamente hacia el sur.

- b. Aprovechar la perforación, para la instalación de piezómetros en cada uno de ellos, a profundidad de 100.,50 y 25 m respectivamente, con el objeto de - conocer el flujo de agua a través de los diferentes materiales, conforme se llene el embalse detro de la Formación Cuernavaca.

Bancos de Nivel

Instalación de 4 bancos de nivel con objeto de verificar si existe algún tipo de desplazamiento horizontal cuando ocurra algún fenómeno sísmico, así como para determinar-- el comportamiento de la Formación Cuernavaca en estado -- seco y saturado. La ubicación de los mismos se indica en el Plano No. 5.

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

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

CAMPA F, CAMPOS M, FLORES R, OVIEDO R.

"La Secuencia Mesozoica Volcánico Sedimentaria Metamor
fizada de Ixtapan de la Sal, Méx.- Teloloapan, Gro".

Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XXXV: 7-28

México 1974

CAMPA F.

"La Evolución Tectónica de la Tierra Caliente, Gro".

Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XXXIX, No. 2: 52-64

México, 1978

CAMPA F., FLORES R., RAMIREZ J., CONEY P.J.

"Terrenos Tectonoestratigráficos de la Sierra Madre del
Sur, Región Comprendida entre los Estados de Guerrero,
Michoacán, México y Morelos".

V Convención Nacional de la Sociedad Geológica Mex.

México, 1980.

COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO.

"Estudio Geológico Superficial a Detalle de la Boquilla
y Vaso Denominado Almoloya".

México, 1977.

COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO.

"Estudio de Prefactibilidad para el Aprovechamiento de
los Recursos de la Cuenca del Río Amacuzac"

México, 1979.

COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO

"Estudio Geológico de los Proyectos Almoloya II, Edo.-
de Méx., y Chontalcuatlán, Edo. de Gro".

México, 1981.

COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO

"Estudio Geológico-Geofísico de la Boquilla y Vaso
Tepextitla, Edo. de Méx., Cuenca del Alto Amacuzac".

México, 1984.

COMISION DE ESTUDIOS DEL TERRITORIO NACIONAL.

Carta Topográfica "Ixtapan de la Sal (E-14-A-57)",

Esc. 1:50 000.

México, 1979.

de CSERNA Z., FRIES C., RINCON C., WESTLEY H., SOLORIO J.
SCHMITTER E.

"Edad Precámbrica Tardía del Esquisto Taxco, Edo. de Gro.".

Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr. Vol. XXVI, No. 4-6: 183-193.

México, 1974.

de CSERNA Z., FRIES C., RINCON C., WESTLEY H., SOLORIO J.
SCHMITTER E.

"Nuevos Datos Geocronométricos Paleozoicos del Sur de México".

Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr. Vol. XXVI, No. 4-6.

México, 1974.

de CSERNA Z., FRIES C., RINCON C., WESTLEY H., SOLORIO J.
SCHMITTER E.

"Datos Geocronométricos Terciarios de los Edos. de Méx., Mor.
y Gro.".

Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr. Vol. XXVI, No. 4-6

México, 1974.

de CSERNA Z., PALACIOS M., PANTOJA J.

"Relaciones de Facies de las Rocas Cretácicas en el Noroeste de
Gro. y en Areas Colindantes de Méx. y Mich.".

Instituto de Geología, UNAM , Vol. II

México, 1978.

de CSERNA Z., FRIES C.

Hoja Taxco con Resumen de Geología, Edos. de Gro., Méx. y Mor.
Instituto de Geología, UNAM.
México, 1981.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, SECRETARIA DE AGRICULTURA
Y RECURSOS HIDRAULICOS, GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO.

Cutzamala, 1a. Etapa. Folleto.
México, 1982.

FRIES C.

"Geología del Estado de Morelos y Partes Adyacentes de Méx. y
Gro., Región Centro-Meridional de México".

Boletín No. 60, Instituto de Geología, UNAM.
México, 1960.

JUAREZ A., MORENO S.

"Geología y Yacimientos Minerales del Distrito de Taxco, Gro."

Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM.
México, 1977.

KRYNINE D.P., JUDD W.

Principios de Geología y Geotécnia para Ingenieros.
Omega. Barcelona, 1975.

LOPEZ R.E.

Geología de México.
Tomo III, 3a. edición.
México, 1983.

ONTIVEROS T.G.

"Estudio Estratigráfico de la Porción Noroccidental de la Cuenca
Morelos-Guerrero".

Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr. Vol. XXV, Nos. 4-6
México, 1973.

PÉREZ F.

"Estudio Geológico-Minero del Área de Zacualpan, Edo. de Méx."

Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM.

México, 1982.

PRIETO R., ROSAS J.L.

"Exploraciones Geológicas para Obras de Ingeniería Civil".

Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM.

México, 1978.

RAISZ E.

Landforms of México: Cambridge, Mass.

Mapa, escala aprox. 1:3' 000 000

1959

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

Manual de Mecánica de Suelos

México, 1970.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

Actualización al Boletín Hidrológico No. 47. Región Hidrológica

No. 18 (Parcial). Cuenca del Río Amacuzac.

Tomo III

México, 1981.

SECRETARÍA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO

Carta Fisiográfica de México, Esc. 1:1' 000 000

México, 1981.

SECRETARÍA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO

Geología de la República Mexicana

México, 1982.

WILLIAMS H., TURNER F., GILBERT C.

Petrografía

C.E.C.S.A.

México, 1980

A N E X O

E S F U E R Z O

C O R T A N T E

La determinación de los parámetros que a continuación se describe sirve como complemento de la Tabla No.1 "Resumen de Características", y sirven para el cálculo de los coeficientes en el caso de consolidación unidimensional, y para la ejecución de las pruebas triaxiales.

1. Contenido de Agua (w).

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

donde

W_w = peso del agua

W_s = peso de los sólidos

Está relacionado con la resistencia a la compresión simple. El cálculo del contenido de agua se efectúa antes y después de la prueba triaxial, realizando una verificación adicional mediante el contenido de agua de la muestra testigo.

2. Relación de vacíos (e)

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

donde

V_v = volumen de vacíos

V_s = volumen de sólidos

Por otra parte:

$$V_s = \frac{W_s}{S_s} ; \quad V_v = V_t - V_s$$

donde

S_s = densidad de sólidos

V_t = volumen total de la muestra

3. Grado de Saturación (G_w)

$$G_w (\%) = \frac{W_w}{V_v} \times 100$$

Se efectúa antes y después de la prueba triaxial.

4. Pesos Volumétricos.

$$\gamma'_m = \frac{W_m}{V_m} \quad (\text{peso volumétrico de la muestra})$$

donde

W_m = peso de la muestra

V_m = volumen de la muestra

Entre mayor γ'_m , implica mayor resistencia. Para calcular γ'_d (peso volumétrico seco) y γ'_{sat} (peso volumétrico saturado) se procede de igual forma.

5. El Angulo de Fricción ϕ (en grados) y el valor de la Cohesión (ton/m^2), son dos de los parámetros que se obtienen mediante la representación del círculo de Mohr. No obstante ésta última, - puede calcularse mediante:

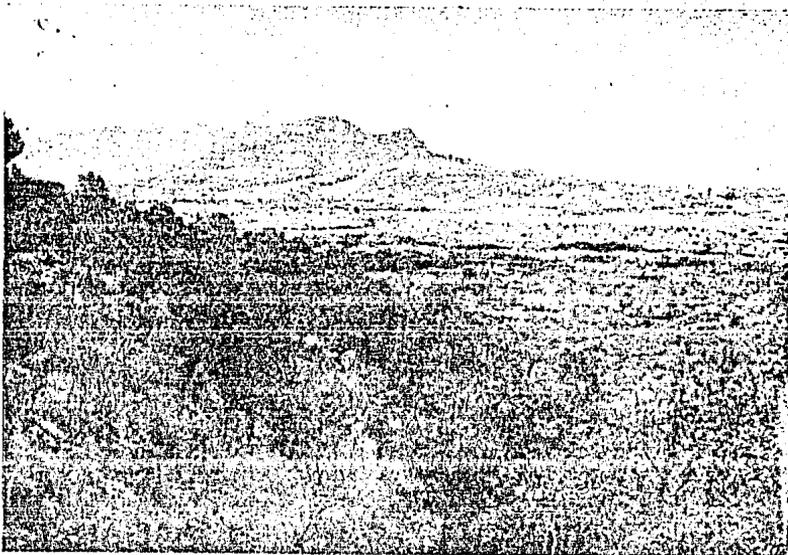
$$c = \frac{q_u}{2}$$

donde

q_u = Compresión Simple

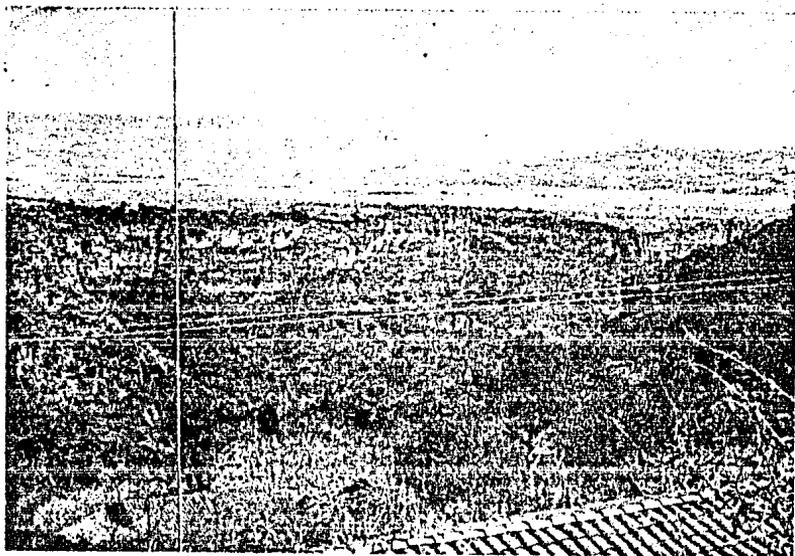
ANEXO

FOTOGRAFICO



FOTOGRAFIA No. 1

Panorámica de la Sierra "La Catarina", que ejemplifica con sus 2 000 m.s.n.m., la topoforma "Gran Sierra Compleja con cañadas". Esta sierra la constituye roca de tipo riolítico (Riolita Tilzapotla).



FOTOGRAFIA No. 2

Los materiales epiclásticos rellenaron los antiguos valles formados por la topografía madura. En ésta panorámica se muestra la topoforma "mesetas con cañadas" representada - por una gran meseta de varios cientos de metros de longitud, al fondo se presenta una sierra de más de 2 000 m de altitud.



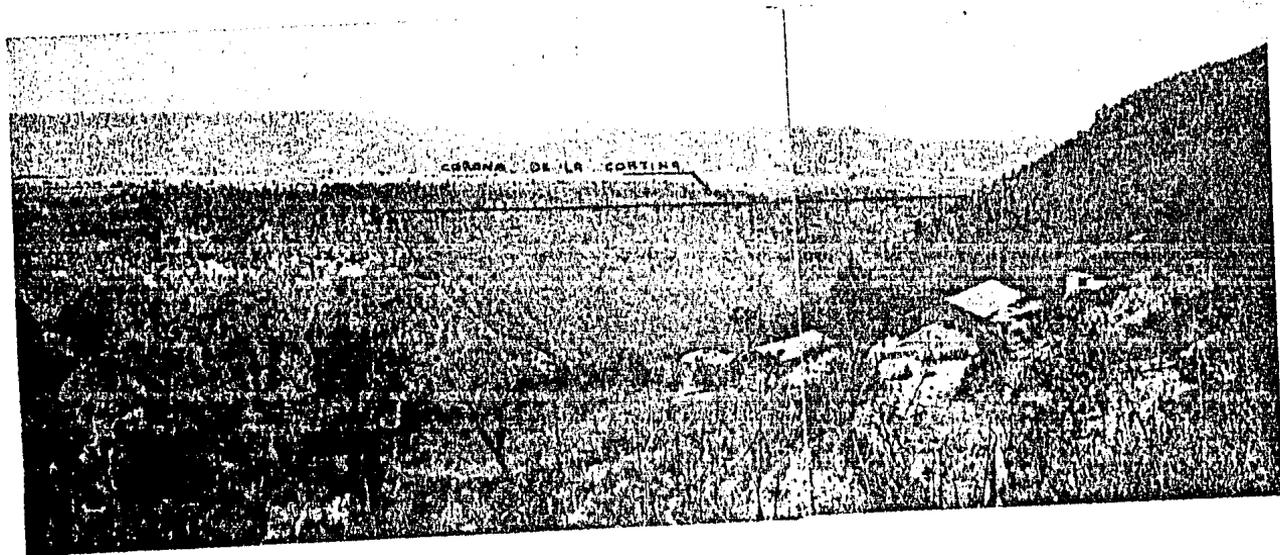
FOTOGRAFIA No. 3

Topoforma "valle con laderas tendidas". La parte profunda de este valle presenta la forma de "V", mientras en la margen izquierda se presentan escarpes casi verticales. La margen derecha tiene laderas tendidas, siendo coronadas ambas, por planicies.



FOTOGRAFIA No. 4

Panorámica del Cerro de Piedra Parada en el cual su flanco norte servirá como empotramiento derecho de la cortina. Como puede observarse es un cerro semiredondo, cortado por fracturas (porción derecha) y cuya altura máxima alcanza los - 2 000 m.s.n.m.



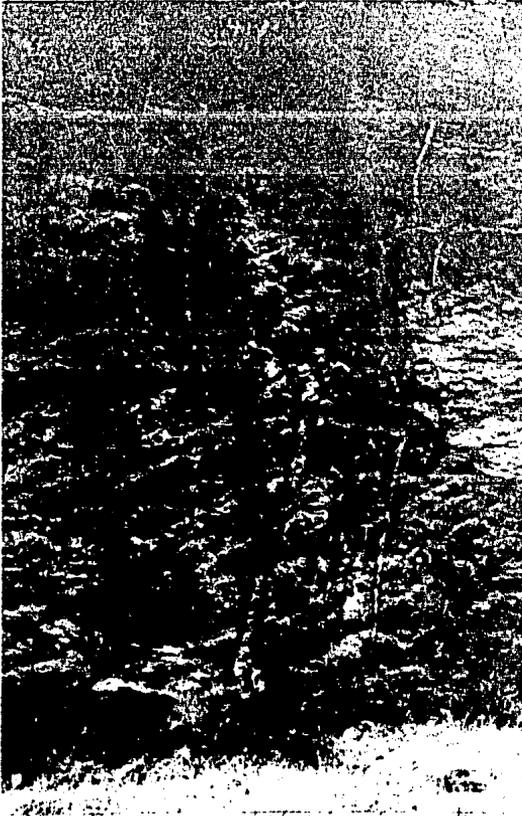
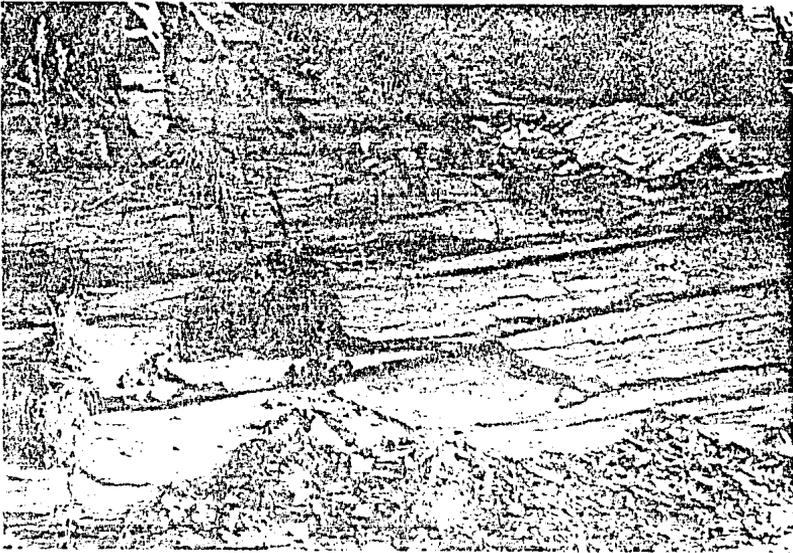
FOTOGRAFIA No. 5

Panorámica de la boquilla tomada viendo hacia aguas abajo. A la derecha el Pórfido Riolítico del Cerro de la Piedra Parada y a la izquierda la meseta constituida por materiales clásticos de la Formación -- Cuernavaca.



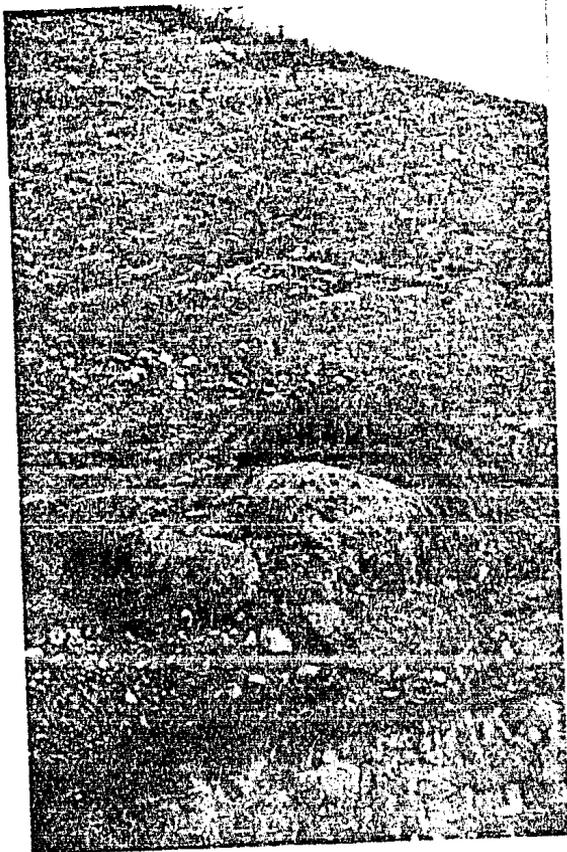
FOTOGRAFIA No. 6

Interestratificación de pizarras negras y areniscas metamorfizadas pertenecientes al Esquisto Taxco. Las areniscas se presentan como capas uniformes o bien como horizontes lenticulares, en algunos casos se observan en ellas la estructura de "boudinage".



FOTOGRAFIA No. 7

Dos aspectos de los esquistos de sericita y clorita pertenecientes al Esquistado laxco. La toma izquierda se efectuó paralela a la dirección de los planos de foliación y la de la parte superior perpendicular a ellos. En estas exposiciones, se puede observar la alteración y fisibilidad de estas rocas.



FOTOGRAFIA No. 8

Aspecto de la parte superior de la Formación Cuernavaca constituida por un conglomerado - cuyos fragmentos presentan diámetros desde - 0.30 a 1.0 m, englobados en una matriz areno - arcillosa-limosa. Interstratificadas con - éste, se encuentran horizontes delgados de - tobas limo-arenosas.



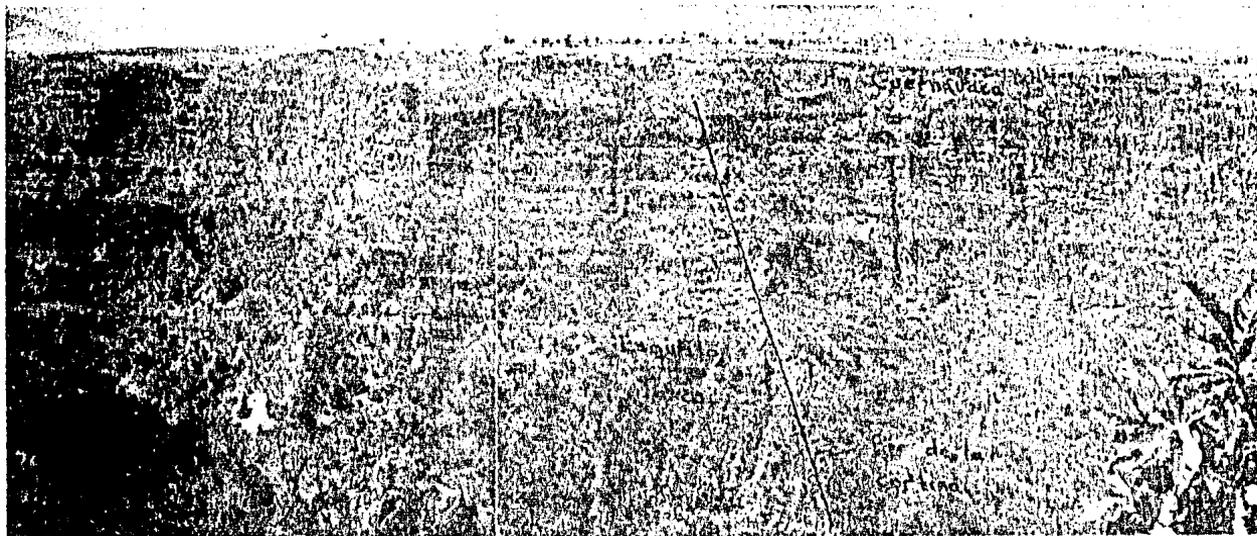
FOTOGRAFIA No. 9

Aspecto de la porción media de la Formación - Cuernavaca, cuyo conglomerado es similar al de la parte superior, diferenciándose de aquel - por una reducción en el diámetro de sus compo nentes y un aumento en el contenido de lentes y horizontes arenosos.



FOTOGRAFIA No. 10

Parte inferior de la Formación Cuernavaca compuesta por una secuencia de arenas y limos interestratificados, presentando en algunos sitios un intemperismo diferencial.



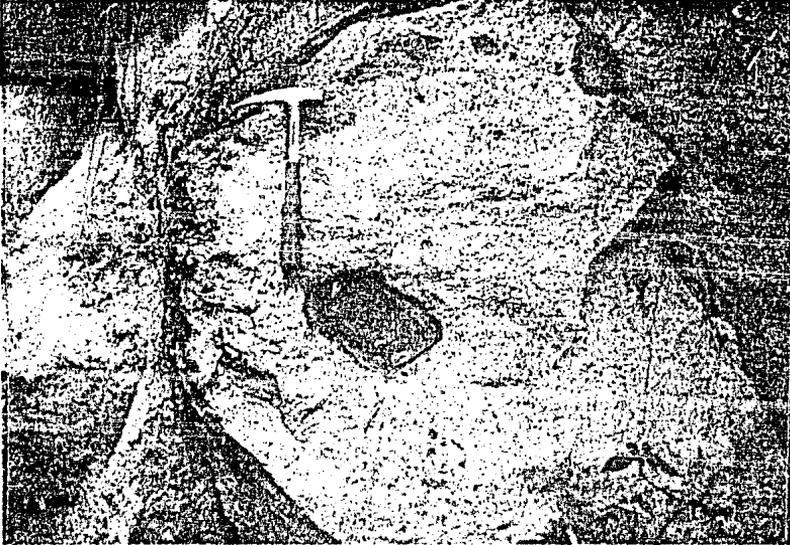
FOTOGRAFIA No. 11

Vista del empotramiento izquierdo de la cortina, el cual está flanqueado por grandes fracturas verticales.



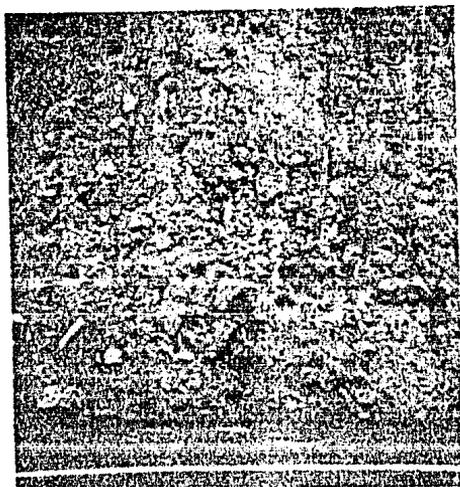
FOTOGRAFIA No. 12

Comportamiento preferencial del fracturamiento expuesto por el Pórfido Riólítico que constituye el empotramiento derecho de la cortina.



FOTOGRAFIA No. 13

En ciertas zonas dentro del Pórfido Riofítico se presentan un tipo de relictos o "xenolitos" de tamaños y composición diversa.



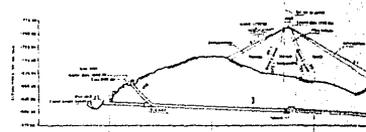
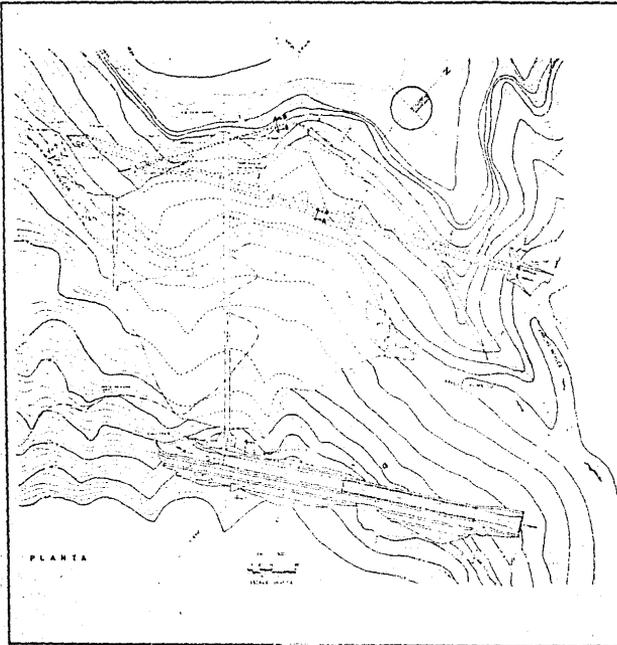
FOTOGRAFIA No. 14

Brecha tobácea riolítica de la Riolita
Tilzapotla, localizada a 800 m del puen
te Los Sabinos hacia Zacualpan.



FOTOGRAFIA No. 15

Pizarras carbonosas negras en el cauce Arroyo Almoloya, este afloramiento se localiza a escasos 100 m aguas abajo del Puente Los Sabinos.



PERFIL POR EL EJE DE LA TOMA BAJA



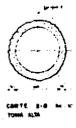
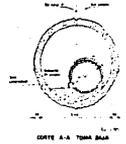
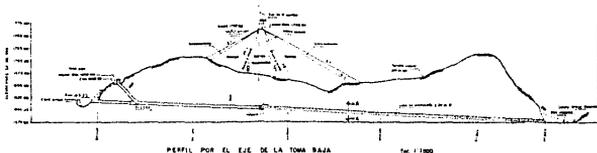
PERFIL POR EL EJE DE TOMA ALTA



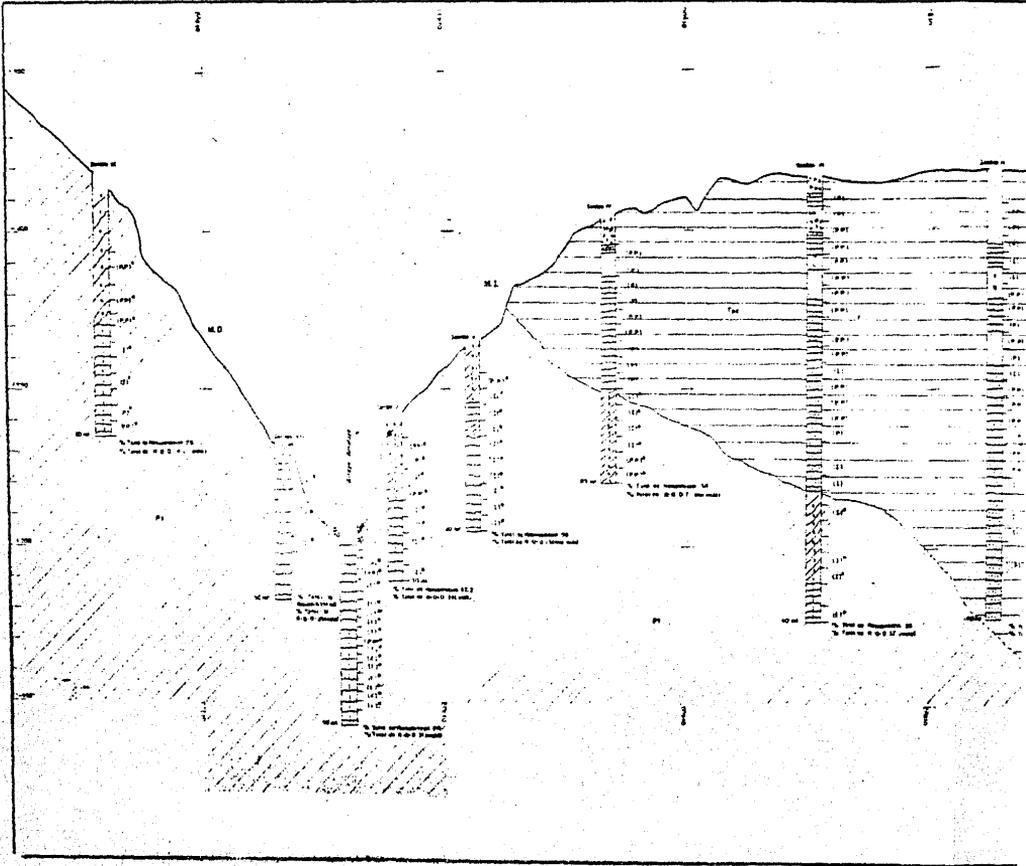
PERFIL POR EL EJE DEL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS

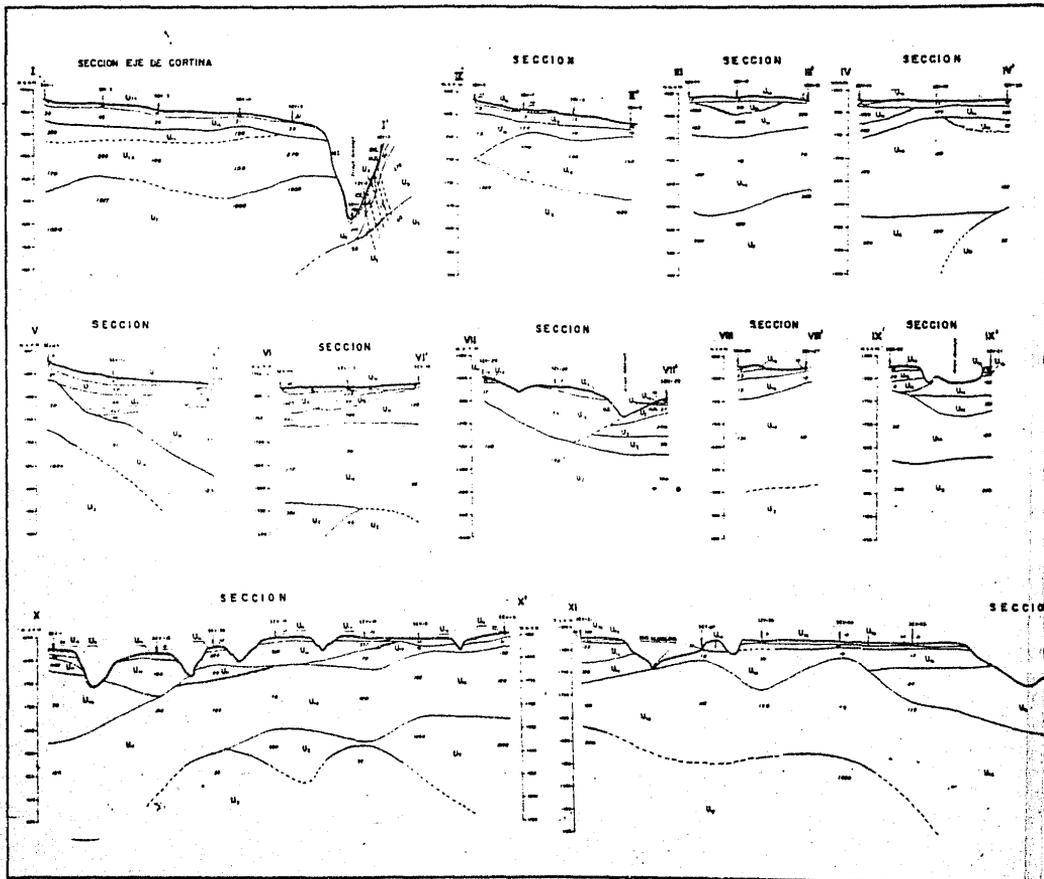


SECCION TRANSVERSA DE LA COSTA



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 DISEÑO DE UN DAMA DE TIPO GRAVITACIONAL EN LA CUENCA DEL ALTO AHOQUILADO DE MEXICO
 ESQUEMA GENERAL
 PRUEBA TEPEXTITLA

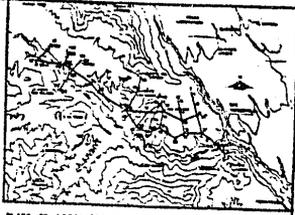




SECCION

SECCION

SECCION



ESC. 1:10,000

SECCION

SECCION

SECCION

- U₁ ...
- U₂ ...
- U₃ ...
- U₄ ...
- U₅ ...
- U₆ ...

LEGENDA

- ...
- ...
- ...
- ...

ESCALA 1:10,000



ESCALA 1:10,000

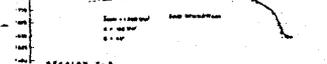
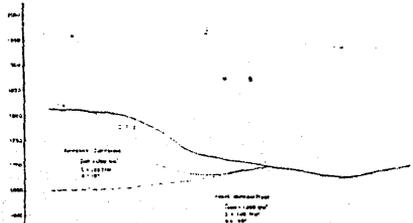
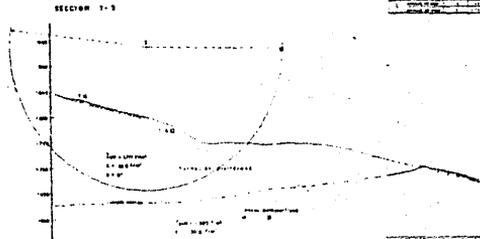
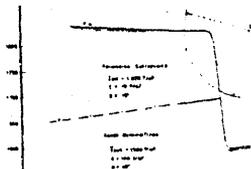


XI

SECCION

XI

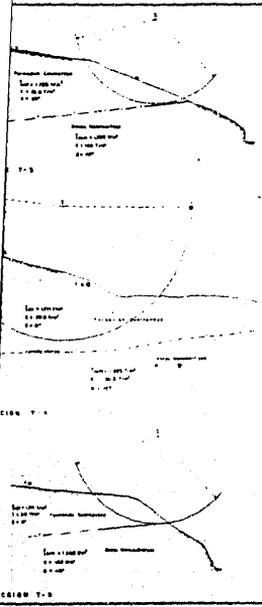
UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
 Estudios geofísicos del área comprendida por el...
 del sistema de agua subterránea, con el objeto
**SECCIONES GEOLÓGICAS
 DE RESISTIVIDAD**
 del profesor Juan... / Marzo de 19...



Station	Subsidence	Water Table
100	0.00	100.00
150	0.00	100.00
200	0.00	100.00

Station	Subsidence	Water Table
100	0.00	100.00
150	0.00	100.00
200	0.00	100.00

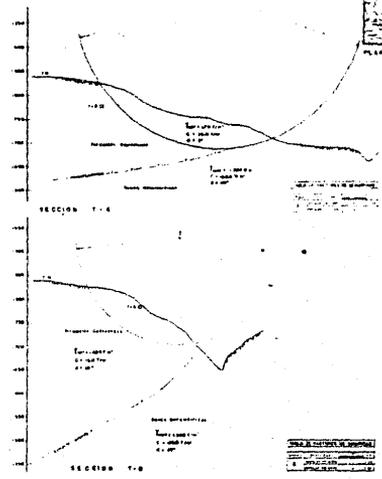
Station	Subsidence	Water Table
100	0.00	100.00
150	0.00	100.00
200	0.00	100.00



SECCION T-3
 Escala: 1:1000
 1. MANTO DE ARENA Y GRAVA
 2. ESTRATO DE ARENA Y GRAVA

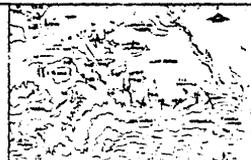
SECCION T-4
 Escala: 1:1000
 1. MANTO DE ARENA Y GRAVA
 2. ESTRATO DE ARENA Y GRAVA

SECCION T-5
 Escala: 1:1000
 1. MANTO DE ARENA Y GRAVA
 2. ESTRATO DE ARENA Y GRAVA



SECCION T-6

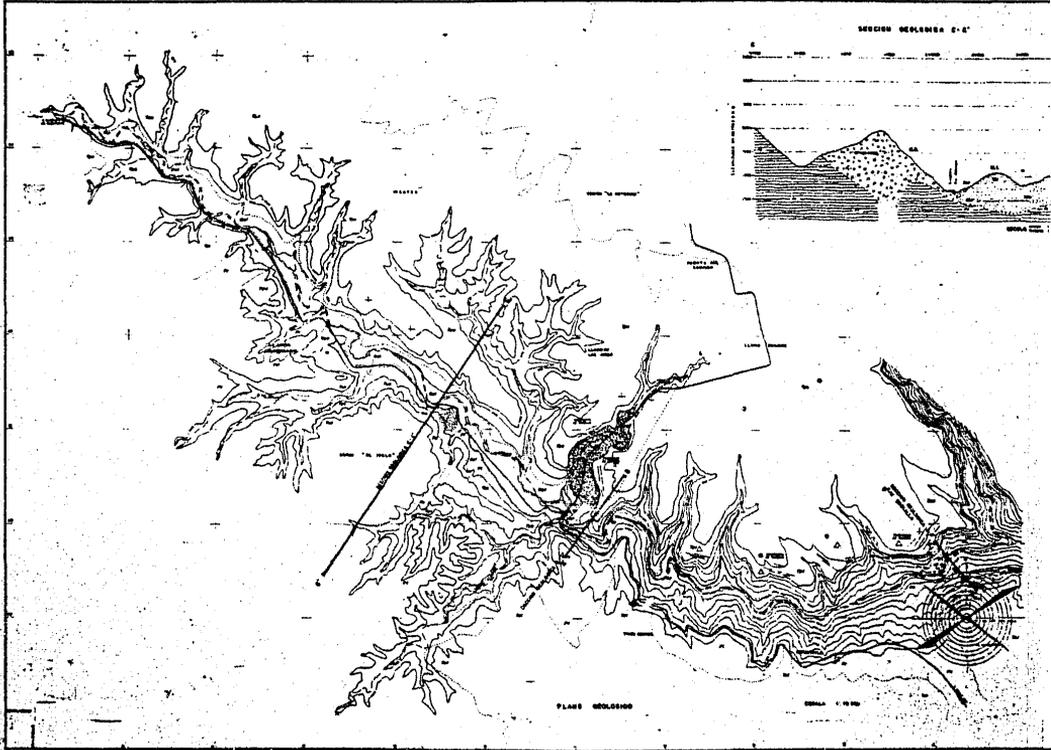
SECCION T-7



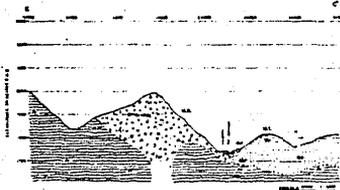
PLANO DE LOCALIZACION ESC 1:5000

NOTAS
 1. Este estudio se realizó en el mes de mayo del 2010.
 2. Se utilizó el método de secciones transversales para determinar el tipo de suelo.
 3. Se tomaron 5 secciones transversales en el área de estudio.
SIMBOLOGIA
 --- Manto de arena y grava
 --- Estrato de arena y grava
 --- Límite superior del manto de arena y grava
 --- Límite inferior del manto de arena y grava

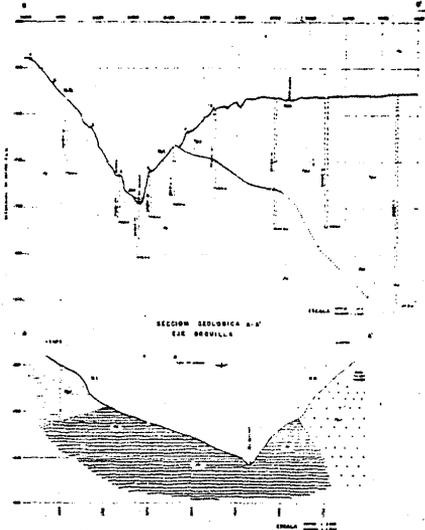
UNAM INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
INIA INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
INIA INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
INIA INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS



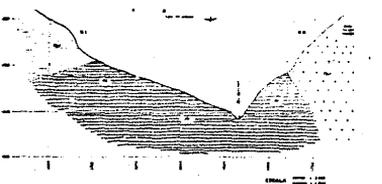
SECCION GEOLÓGICA C-C'



SECCION GEOLÓGICA B-B'



SECCION GEOLÓGICA A-A'



- APLICACION**
- 1. Estudios de ingeniería
 - 2. Estudios de exploración
 - 3. Estudios de explotación
 - 4. Estudios de conservación
 - 5. Estudios de restauración
 - 6. Estudios de protección
 - 7. Estudios de planificación
 - 8. Estudios de zonificación
 - 9. Estudios de ordenamiento
 - 10. Estudios de desarrollo
 - 11. Estudios de investigación
 - 12. Estudios de docencia
 - 13. Estudios de divulgación
 - 14. Estudios de cooperación
 - 15. Estudios de intercambio
 - 16. Estudios de colaboración
 - 17. Estudios de asociación
 - 18. Estudios de integración
 - 19. Estudios de armonización
 - 20. Estudios de conciliación
 - 21. Estudios de mediación
 - 22. Estudios de conciliación
 - 23. Estudios de mediación
 - 24. Estudios de conciliación
 - 25. Estudios de mediación

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERIA
 PLANO GEOLÓGICO
 METREROS VONKARLAD
 ESCALA 1:5000

ANEXO

PETROGRAFICO

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

"ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEXTITLA EN
LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO"

LUIS ARTURO TAPIA CRESPO

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS GENERALES

LAMINA No. 1

LOCALIDAD: BOQUILLA TEPEXTITLA, Arroyo Almoloya, Méx.

II. ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: gris oscuro

ESTRUCTURA: compacta, foliada.

TEXTURA: idioblástica, cristalina fina.

La roca presenta un color de intemperismo café claro a oscuro. Presenta una estructura compacta y densa, - sus constituyentes son equigranulares dificultandose el reconocimiento de algunos de los minerales; unica mente sobresalen al observador pequeños manchones os curos que corresponden al material bituminoso.

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: esquistosa (foliada)

MINERALOGIA: min. esenciales: plagioclasas

sericita

min. arcillosos

min. secundario: calcita

materia bituminosa

RELACION ENTRE MINERALES: La roca presenta un bandea miento muy fino de los siguientes minerales:

Cuarzo en cristales anedrales muy pequeños, orientados generalmente de acuerdo al bandeamiento de la roca e inter calados con las plagioclasas. Estas presentan una altera-

ción fuerte a sericita cuyas laminillas siguen la orientación preferencial mencionada.

Los minerales arcillosos se presentan abundantemente y se encuentran disseminados en toda la roca, algunas veces se presentan como alteración de los feldespatos.

La calcita se observa en agregados cristalinos anedrales sin ninguna relación aparente con la lineación general de la roca.

El material bituminoso ocurre en finas bandas intercaladas paralelas a toda la roca.

IV. CLASIFICACION: Pizarra

V. ORIGEN: Metamorfismo Regional

Clase Química: Pelítica Facies: Esquisto Verde.

VI. NOTAS: fecha de recolección: abril/85'

"ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEXITLA EN
LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO"

LUIS ARTURO TAPIA CRESPO

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS GENERALES

LAMINA No. 2

LOCALIDAD: BOQUILLA TEPEXITLA, Arroyo Almoloya, Méx.

II. ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: café claro a oscuro con tonalidades verdosas

ESTRUCTURA: compacta, equigranular.

TEXTURA: clástica, cristalina

La roca presenta un color de intemperismo pardo, sus minerales observables a simple vista son el cuarzo y las plagioclasas que son idioblásticas, los cuales junto con los demás componentes están en aparente cohesión gracias a un tipo de cementante arcilloso.

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: epiclástica-psamítica

MINERALOGIA: min. esenciales: cuarzo

andesina-oligoclasa

serícita

min. accesorios: hematita

limonita

dolomita

apatita

magnetita

matriz: min. arcillosos

RELACION ENTRE MINERALES: La muestra presenta un agregado de cristales anedrales de cuarzo asociados con

pequeños intercrecimientos cuarzo-feldespáticos con un bandeamiento generalizado.

Las plagioclasas presentes son del tipo intermedio (andesina-oligoclasa) se encuentran en cristales angulosos diseminados y alterados a sericita o a minerales arcillosos.

La apatita y la magnetita se encuentran asimismo en pequeños cristales anedrales diseminados en toda la roca

La calcita se presenta en cristales anedrales y algunas veces reemplazando a los feldespatos. También se observan cristales euedrales de dolomita en toda la roca.

La epidota, de la misma manera, se encuentra alterando a las plagioclasas.

La roca en general, presenta una fuerte silisificación oscureciendo en forma parcial el origen de la misma.

La hematita y la limonita ocurren en finas vetillas que siguen la orientación general de la roca.

IV. CLASIFICACION: Arenisca metamorfizada

V. ORIGEN: Sedimentario con metamorfismo y alteración hidrotermal.

VI. NOTAS: fecha de recolección: abril/'85"

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

"ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEXTITLA EN
LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO"

LUIS ARTURO TAPIA CRESPO

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS GENERALES

LAMINA No. 3

LOCALIDAD: VASO TEPEXTITLA, Arroyo Almoloya, Méx.

II. ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: gris oscuro con tonalidades de café oscuro

ESTRUCTURA: compacta, foliada.

TEXTURA: clástica, pizarrosa.

La roca se presenta con un color amarillento-verdoso de intemperismo. Se encuentra atravesada por vetillas de cuarzo lechoso perpendiculares a la foliación. Los cristales son visibles, siendo los que resaltan más el cuarzo y las plagioclasa.

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: esquistosa

MINERALOGIA: min. esenciales: cuarzo

plagioclasas

sericita

min. secundarios: hematita

limonita

min. arcillosos

apatita

RELACION ENTRE MINERALES: La muestra presenta un fino bandeamiento en donde se alternan los siguientes minerales: cuarzo, en finos cristales anedrales orientados paralelamente a las bandas mencionadas; plagio-

clases alteradas en cristales anedrales con la misma orientación general de la roca; abundante sericita que se presenta en finas laminillas y ocurren en bandas - paralelas a la orientación general de la roca.

Así mismo, las plagioclasas presentan una alteración a min. arcillosos en toda la roca.

La hematita y la limonita se presentan en finas vetillas, algunas veces atravesando la estructura bandeada de la roca y otras se encuentra ocupando finas cavidades lo cual sugiere un origen secundario de éste.

La apatita se encuentra en cristales anedrales y - subedrales diseminados en toda la roca.

IV. CLASIFICACION: Esquisto de Sericita

V. ORIGEN: Metamorfismo Regional

Clase Química: Pelítica Facies: Esquisto Verde.

VI. NOTAS: fecha de recolección: abril/85'

"ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEXITLA EN
LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO"

LUIS ARTURO TAPIA CRESPO

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS GENERALES

LAMINA No. 4

LOCALIDAD: VASO TEPEXITLA, Arroyo Almoloya, Méx.

II. ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: café amarillento claro

ESTRUCTURA: compacta

TEXTURA: clástica

La roca tiene evidencias de intemperismo debido a un color café oscuro sobre sus superficies. Es fácilmente disgregable debido a la ausencia de una compactación aceptable. Sus constituyentes son visibles teniendo un tamaño homogéneo de los cuales el cuarzo y los feldespatos son los mas sobresalientes.

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: piroclástica-epiclástica

MINERALOGIA: min. arcillosos

vidrio

cuarzo

feldespatos

hematita

limonita

RELACION ENTRE MINERALES: La roca está constituida por un fino agregado de clásticos de vidrio volcánico y fragmentos de cuarzo y feldespatos con minerales arci-

llosos intersticiales. Contiene, igualmente pequeñas cantidades de hematita y limonita.

IV. CLASIFICACION: Toba Arcillosa

V. ORIGEN: Sedimentario continental.

VI. NOTAS: fecha de recolección: abril/85'.

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

"ESTUDIO GEOTECNICO DEL SITIO DENOMINADO TEPEXTITLA EN
LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC, EDO. DE MEXICO"

LUIS ARTURO TAPIA CRESPO

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS GENERALES

LAMINA No. 5

LOCALIDAD: BOQUILLA TEPEXTITLA, Arroyo Almoloya, Méx.

II. ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: gris claro a oscuro

ESTRUCTURA: compacta, inequigranular.

TEXTURA: porfídica

La roca presenta un color de intemperismo gris verdoso, así como un color rosado en ciertas porciones. El afloramiento donde fué tomada esta muestra presentaba exfoliación típica de las rocas ácidas. El cuarzo y los feldespatos potásicos son los más sobresalientes y -- constituyen los porfidoblástos que emergen de la matriz cristalina.

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: porfídica

MINERALOGIA: min. esenciales: cuarzo

sanidino

feldespato alcalino

min. accesorios: oligoclasa

biotita

hematita

matriz: cristobalita

tridimita

RELACION ENTRE MINERALES: Roca constituida por -

mesostasis microcristalina, con base en cristales de cuarzo subedrales muy finos y ocasionalmente con algunos intercrecimientos de feldespato alcalino, en la - que se insertan fenocristales subedrales y fuertemenete corroidos de cuarzo, todos con efectos de extinción - ondulatoria y en menor cantidad, fenocristales idiomorfos de feldespato potásico, concretamente sanidino, algunos de los cuales muestran un estado avanzado de alteración por lo que constituyen verdaderos pseudomorfos. Ocasionalmente se ven algunos cristales muy fracturados de plagioclasas sódicas, especialmente oligoclasa, así como algunos cristales automorfos de mica variedad biotita.

Por reflexión se observan óxidos de hierro, especialmente hematita en su variedad ocre.

Como matriz se advierten la cristobalita y la tridimita.

IV. CLASIFICACION: Pórfido Riolítico.

V. ORIGEN: Roca ígnea intrusiva, hipabissal.

VI. NOTAS: fecha de recolección: abril/85'.