

8
E. G. G.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO GEOTECNICO DEL PROYECTO
"CHONTALCUATLAN" UBICADO SOBRE EL RIO
DEL MISMO NOMBRE EN EL ESTADO DE
GUERRERO**

T B S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO**

**P R E S E N T A:
ORLANDO JAIMES MARTINEZ**

MEXICO, D. F.

1985.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

		Pag.
CAPITULO I	INTRODUCCION	
I.1	Generalidades	1
I.2	Antecedentes del Area	3
I.3	Método de Trabajo	6
I.4	Descripción del Proyecto	8
CAPITULO II	GEOGRAFIA GENERAL	
II.1	Localización	12
II.2	Clima, Flora y Fauna	13
II.3	Población y Cultura	16
CAPITULO III	FISIOGRAFIA	
III.1	Provincia Fisiográfica	18
III.2	Geomorfología	19
III.3	Hidrografía	21
CAPITULO IV	GEOLOGIA GENERAL	
IV.1	Estratigrafía	24
IV.1.1	Descripción de Formaciones	24
IV.2	Tectónica y Geología Histórica	44
IV.2.1	Tectónica Regional	44
IV.2.2	Tectónica Local	48
IV.2.3	Geología Histórica	50
CAPITULO V	ESTUDIOS DE APOYO	
V.1	Geofísica	55
V.2	Perforaciones	59

CAPITULO VI	DESCRIPCION GEOTECNICA DEL SITIO	
VI.1	Levantamiento Geológico de Detalle	79
VI.1.1	Geología de la Boquilla	79
VI.1.2	Geología del Vaso	84
VI.2	Obras Auxiliares	90
VI.2.1	Túnel de Desvío y Obra de Toma	90
VI.2.2	Vertedor de Excedencias	93
VI.3	Bancos de Material	94

CAPITULO VII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
	Conclusiones	101
	Recomendaciones	104
	BIBLIOGRAFIA	107
	ANEXO PETROGRAFICO	

RELACION DE PLANOS

Plano No. 1	Esquema General de la Presa.
Plano No. 2	Perfiles Geofísicos de Resistividad.
Plano No. 3	Plano Geológico Superficial.
Plano No. 4	Exploraciones de la Boquilla.
Plano No. 5	Exploraciones del Vaso.
Plano No. 6	Perfil de Variaciones de Permeabilidad y Calidad de Roca en la Boquilla.
Plano No. 7	Perfil de Variaciones de Permeabilidad y Calidad de Roca en el Vaso.
Plano No. 8	Localización de Bancos de Material.

CAPITULO I INTRODUCCION

I.1 GENERALIDADES

La población mundial crece constantemente y la demanda de agua para satisfacer todos los usos (doméstico, agrícola, industrial y servicios) aumenta considerablemente; este problema es más grave y evidente en las grandes urbes del mundo, y el área metropolitana de la ciudad de México es un claro ejemplo de ello.

"Desde épocas antiguas la ciudad de México se abasteció por medio de manantiales cercanos a ella. A mediados del siglo pasado se inició la perforación de pozos, método de extracción que rápidamente se populariza y cuya consecuencia fue el abatimiento de los acuíferos y la desaparición de los manantiales." (Folleto SARH-CAVM, 1982).

Fue en la década de los años 30s. que se considera por primera vez la idea de importar agua de las cuencas colindantes a la de México, iniciándose en 1941 la perforación de pozos en la cuenca del Lerma, siendo estas aguas conducidas a la ciudad de México por medio de tuberías y de un túnel que atraviesa la Sierra de las Cruces, la cual divide las cuencas del Lerma y de México; no obstante se siguieron explotando los pozos existentes e incrementó la construcción de captaciones de este tipo en la cuenca de México.

"Hacia 1950 la dotación de agua potable al D.F. era teóricamente aceptable; sin embargo el crecimiento demográfico continuaba y el número de pozos dentro del Valle de México también seguía creciendo, lo que provocó que la ciudad se hundiera a un ritmo de 50 cm por año, ocasionándose fracturas en las cimentaciones de los edificios, en las banquetas y en el sistema de drenaje." (SARH, et. al., 1982, p.12).

A principios de 1972 el problema del abastecimiento de agua era crítico. El área metropolitana de la ciudad ya no se limitaba en el D.F., había que considerar a los municipios colindantes pertenecientes al Estado de México, pero que se encontraban formando un todo conurbano con la ciudad de México. Las soluciones basadas en perforación de pozos locales para el D.F. y cada uno de estos municipios, no eran aceptables por los hundimientos que provocarían.

Sin embargo, mientras se desarrollaban los proyectos ejecutivos que permitieran conducir agua desde cuencas vecinas, se resolvió el problema de abastecimiento mediante un plan denominado de Acción Inmediata, mediante el cual se han logrado aprovechar los acuíferos de la cuenca de México en zonas alejadas al área urbana, o bien donde el subsuelo basáltico soporta las extracciones sin provocar hundimientos de consideración, medida que hasta la fecha viene cubriendo parcialmente los requerimientos.

"Actualmente el acuífero del Valle de México sigue siendo el principal abastecedor de agua potable para el área metropolitana, explotado también para usos agrícolas dentro del valle; pero mientras la recarga natural del acuífero es del orden de 700 millones de m^3 al año, la extracción rebasa los 1 500 millones, es decir que existe una sobreexplotación de más del 100%, lo cual ocasiona que el hundimiento de la ciudad en lo que va del presente siglo, en algunos lugares alcance hasta los 9 m." (SARH, op. cit.; p.14).

"Otros abastecedores importantes son los acuíferos de los Valles de Toluca e Ixtlahuaca, los cuales presentan una sobreexplotación similar a la del Valle de México, puesto que la extracción total es del orden de 625 millones de m^3 por año aproximadamente, mientras que su recarga natural se estima en 375 millones." (Folleto SARH-CAVM, 1982).

Resultados de estudios estadísticos arrojan que la

dotación promedio de agua requerida por cada habitante en la ciudad, considerando los tres grandes grupos de consumo ya mencionados, es de 360 litros diarios que se convierten en $6\ 120\ 000\ m^3$ al día para los 17 millones de habitantes de la ciudad; asimismo, el abastecimiento total en el año 2 000 deberá oscilar entre $88\ m^3$ por segundo para 20 millones de habitantes y $119\ m^3$ por segundo para 29, dependiendo del crecimiento demográfico que se tenga.

Por todo lo anterior, la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM) al tener como principal función abastecer de agua potable al D.F., considerando además de los requerimientos actuales las necesidades futuras, se ha abocado al estudio de las cuencas vecinas a la de México.

El presente trabajo esta basado en los estudios que para tal fin la CAVM ha venido realizando en la cuenca del Alto Amacuzac, de la cual el proyecto "Chontalcuatlán", objeto del mismo, forma parte, pretendiéndose que lo aquí expuesto ayude a comprender el panorama geológico de la zona, para definir la factibilidad de almacenamiento hidráulico de esta obra, considerada en el esquema de aprovechamiento de los recursos hidrológicos del alto río Amacuzac y sus afluentes.

Las apreciaciones, conclusiones y recomendaciones de este trabajo, no necesariamente corresponden con el criterio utilizado por la CAVM para definir la factibilidad del proyecto.

I.2 ANTECEDENTES DEL AREA

Numerosos trabajos de reconocimiento e investigación geológica se han realizado en y a proximidad de la zona donde se ubica el proyecto, destacándose, por el interés que revisten, los llevados a cabo por los autores que a continuación se mencionan.

"Se tiene conocimiento de que los primeros datos geológicos publicados por un investigador mexicano son los de M. Bárcena que en el año de 1874 da a conocer su trabajo realizado en la región de Cacahuamilpa; J. Campa en 1923 publica un estudio sobre el distrito de Taxco, y en 1944 F. Muehlerried da a conocer los resultados de sus investigaciones en la región de Cacahuamilpa. Resultados de la primeras investigaciones espeleológicas modernas de esta misma región fueron dados a conocer por J. Bretz en 1955." (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p.7).

En ocasión de la celebración de la 20a. Sesión del Congreso Geológico Internacional, en el año de 1956 "varias excursiones geológicas pasaron por Taxco, correspondiéndole a C. Fries la preparación de las partes geológicas de los libros guías de estas excursiones. En 1960 el mismo C. Fries publica un estudio más amplio sobre la geología del Estado de Morelos y áreas contiguas, abarcando la geología del área de Taxco y sus alrededores." (Z. de Cserna y C. Fries op. cit.)

En 1968, con motivo de la reunión anual de la Sociedad Geológica de América, Z. de Cserna preparó el libro-guía de la excursión geológica que pasó por la región comprendida entre Taxco y Tenancingo. "Para 1971 quedaron publicados los resultados de los estudios espeleológicos de F. Bonet que venía realizando en la región de Cacahuamilpa y áreas adyacentes. Asimismo, geólogos de Petroleos Mexicanos llevaron a cabo estudios en la parte noroccidental de Morelos-Guerrero aproximadamente desde 1970; los resultados de estos estudios fueron publicados por G. Ontiveros en 1973." (Z. de Cserna y C. Fries, op. cit.).

Gran aportación ha sido la de F. Campa a quien en 1974 la Sociedad Geológica Mexicana le publica el resultado de su trabajo donde define la secuencia mesozoica vulcano-sedimentaria metamorfozada entre Ixtapan de la Sal, Mex., y Teoloapan, Gro., así como la que en ocasión de la IV Conven-

ción Geológica Nacional en 1978, da a conocer, referente a sus investigaciones sobre la evolución tectónica de la Tierra Caliente, Gro.

El Instituto de Geología de la UNAM, dentro de la Serie de Cartas Geológicas de México, publica la Hoja Taxco donde se incluye un resumen geológico de la zona que cubre dicha hoja en los Estados de Guerrero, México y Morelos, preparado por Z. de Cserna y C. Fries (op. cit.).

En 1978 la Comisión Federal de Electricidad, como parte del reconocimiento de la cuenca del Alto Amacuzac, realiza el estudio de la boquilla "Piedras Negras" en el río Chontalcuatlán, localizada aproximadamente 3 Km aguas arriba del sitio del proyecto; el programa de exploración consistió en perforaciones con recuperación de núcleos, con los cuales se conocieron las condiciones físicas y de permeabilidad que presentan las rocas de la boquilla, concluyéndose que geológicamente las condiciones son favorables para llevar a cabo la obra pretendida.

Como resultado de un reconocimiento geológico realizado sobre el mismo río, en 1979 la compañía Proyectos Intual, S.A., recomienda a la CAVM el estudio detallado de un nuevo sitio, localizado 5.5 KM aguas abajo de la boquilla estudiada por la Comisión Federal de Electricidad.

En 1981 la CAVM a través del Ing. Mario Veytia, realiza un estudio geológico superficial sobre el río Chontalcuatlán con el objeto de definir las alternativas de captación, considerándose al sitio que hoy constituye el proyecto "Chontalcuatlán", el que mejores condiciones topográficas y geológicas presentaba.

A principio de 1982 la Dirección General de Estudios y Evaluación de la CAVM, lleva a cabo el estudio geológico superficial a detalle de éste y otros proyectos considerados en la parte centro-sur de la cuenca del Alto Amacuzac, y durante los meses de marzo a junio del mismo año, en coordinación con la Subdirección de Geología de la SARH, realiza un estudio por medio de perforaciones con recuperación de núcleos sobre la boquilla y parte del vaso "Chontalcuatlán".

Todos los trabajos citados han aportado información valiosa sobre la estructura, estratigrafía y tectónica del área que incluye la zona del presente estudio.

I.3 METODO DE TRABAJO

La manera en que se llevó a cabo la realización de este estudio, se dividió en 3 etapas, dos de ellas en gabinete y una intermedia de trabajo en campo. Se describe a continuación el desarrollo de cada una de ellas.

La primera parte del trabajo en gabinete correspondió a la investigación preliminar, consistente en la recopilación y análisis de la información antecedente, geológica y de caracter general, referida a la zona de estudio. Posteriormente se elaboró un plano fotogeológico regional producto de la interpretación de fotografías aéreas escala 1:20,000, obtenidas de un vuelo realizado para la CAVM en 1982, identificándose sobre ellas las unidades litoestratigráficas y características geoestructurales de la rocas aflorantes.

El trabajo de campo consistió en la realización de un levantamiento geológico superficial de detalle en la boquilla y vaso, tomando como base el plano fotogeológico preliminar donde fueron programados los recorridos terrestres de verificación. El levantamiento de detalle sirvió para de-

finir lo siguiente.

- . Litología, sus características texturales, posición estratigráfica y su distribución.
- . Grado de erosión de las diferentes unidades de roca y su relación con los movimientos en masa del terreno (estabilidad de taludes).
- . Presencia de estructuras geológicas tales como pliegues, fallas, fracturas, estratificación, así como rumbo y echado de los planos que los representan.
- . Identificación de los posibles bancos de material.

No se excavaron pozos a cielo abierto o trincheras, por lo que la inspección geológica se limitó a la observación directa de los afloramientos de roca o de cortes naturales que presentara el terreno. Las características señaladas se fueron vaciando en planos topográficos escala 1:10 000, contándose además con el auxilio de las fotografías aéreas, brújula, altímetro, lupa y cinta métrica, principalmente.

El levantamiento geológico de detalle se realizó simultáneamente a la etapa de exploración mediante perforaciones con recuperación de núcleos, llevadas a cabo sobre la boquilla y parte del vaso. Estas exploraciones geológicas directas fueron programadas después de un estudio geofísico de resistividad realizado aproximadamente trece meses antes, con el cual se obtuvo una primera información de la posible estructura del subsuelo, y al levantamiento a detalle que se ejecutaba.

Los resultados obtenidos en la etapa que se describe permitieron conocer los espesores de la capa de suelo en cada uno de los sitios perforados, del material de acarreo en el cauce y el de cada una de las unidades de roca cortadas, así como su distribución, clasificación, textura, estructura, porosidad, permeabilidad, fracturamiento, alteración y

profundidad a la que se encuentra la roca sana y el nivel de aguas freáticas; así mismo se evaluó la recuperación obtenida y el índice de calidad de la roca (ICR).

La descripción de los núcleos recuperados se realizó conforme fueron obtenidos, la mayor parte durante la etapa de campo y el resto en la segunda parte de trabajo en gabinete.

La segunda parte del trabajo de gabinete consistió en, además de finalizar la descripción de los núcleos, la elaboración de los perfiles geológicos correspondientes, realización de estudios petrográficos a algunos de los núcleos recuperados y muestras de superficie, análisis e interpretación de los datos obtenidos durante las dos etapas de trabajo antecedentes, así como la realización del presente texto, donde se presentan los resultados del estudio.

I.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En el análisis de prefactibilidad para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la cuenca alta del río Amacuzac, la CAVM plantea dos esquemas para la construcción de la presa almacenadora que nos ocupa.

En la primera, la altura de la cortina es de 122 m y en la segunda de 172, dependiendo de las características de los otros proyectos que conforman el sistema, pero en ambas se considera una sección de materiales graduados.

De acuerdo a lo anterior, el nivel máximo de embalse estaría comprendido entre las cotas 1 250 y 1 300. Sin embargo, para fines del presente estudio, la investigación de de-

sarrolló considerando la primera alternativa, por ser la que a juicio nuestro presenta mejores características topográficas y geológicas.

El embalse que se generará tendrá una orientación noroeste, con una longitud de 10.5 Km y anchura de 1 Km en la zona de la boquilla. Otros datos generales del proyecto son los siguientes.

Altura de la cortina	122 m
Elevación del cauce	1 128 msnm
Elevación de la corona	1 250 msnm
Elevación de embalse (NAME)	1 247 msnm
Longitud del vaso	10.5 Km
Longitud de la cortina	335 m
Area de inundación	440 Ha
Capacidad de almacenaje	180 x 10 ⁶ m ³

Estas características son el resultado de tomar en cuenta los siguientes datos relativos a la cuenca.

Escurrimiento medio anual.....	379.7 x 10 ⁶ m ³
Gasto medio anual	12.04 m ³ /seg
Avenida máxima considerada	1 100 m ³ /seg

El vertedor de excedencias quedaría alojado en la margen izquierda; dado el problema que representa la topografía y el desnivel entre el umbral de la estructura y la elevación del cauce, se piensa que sobre esta ladera estará mejor ubicado. En primera instancia se ha proyectado con compuertas para aprovechar al máximo los escurrimientos de la cuenca y aumentar la capacidad de almacenamiento. Se locali-

za al extremo de la cortina y está formado por un canal de llamada, un vertedor de cresta controlada, una zona de compuertas y un canal de descarga, al final del cual se localiza una cubeta defleitora. Fue proyectado para resistir la avenida máxima. La longitud de la cresta es de 20 m partida en dos tramos de 10 m cada uno, teniendo el primero una pendiente de 0.001 y el segundo de 0.33. La elevación del canal de llamada es de 1 235 msnm, mientras que la descarga se hará a la elevación 1 137 msnm. (Plano No. 1).

La obra de desvío se alojaría en la margen derecha y consiste de dos túneles de 5 m de diámetro y una longitud de 590 m cada uno. La estructura tiene un gasto máximo de diseño de $400 \text{ m}^3/\text{seg}$ y las elevaciones en el umbral y la salida son de 1 136 y 1 127 msnm, respectivamente.

La obra de toma está planeada en dos partes: obra de toma alta y obra de toma baja.

La obra de toma baja fue diseñada para aprovechar uno de los túneles de desvío y servirá de desagüe de fondo para hacer que la presa se llene poco a poco, ya que de hacerlo en forma acelerada, podría afectarse la cortina. Además la toma baja permitirá conducir el agua a la planta de bombeo, que se estima quedará ubicada aguas abajo de la presa. Esta toma se localiza en la ladera derecha y está formada por una torre, un túnel de 5 m de diámetro, pendiente de 0.015, longitud de 590 m y una tubería en cuyo inicio tiene una válvula esférica para regular el gasto. Su gasto de diseño es de $13 \text{ m}^3/\text{seg}$ y la elevación del umbral es de 1 160 msnm.

La obra de toma alta tiene como función, una una primera etapa, también evitar que el llenado de la presa sea acelerado, así como captar el agua en los niveles altos del vaso. Se localiza en la ladera derecha y se forma de una to-

rre, un túnel de 5 m de diámetro, pendiente de 0.012 y longitud de 442 m, una lumbrera donde se alojan las compuertas deslizantes y un canal de descarga con una cubeta deflectora al final. Su gasto de diseño es de $28 \text{ m}^3/\text{seg}$ y la elevación del umbral es de 1 190 msnm. (Plano No. 1)

Aunque el proyecto está programado como una presa de almacenamiento cuya principal finalidad es coadyuvar en el abastecimiento de agua potable al área metropolitana de la ciudad de México, no deben dejarse de considerar los beneficios económicos y sociales que representaría su construcción para las poblaciones circunvecinas, que entre otros podrían mencionarse el control de avenidas, desarrollo de actividades piscícolas, conservación del suelo y agua, así como actividades turísticas en general.

CAPITULO II

GEOGRAFIA GENERAL

II.1 LOCALIZACION

La boquilla de la presa "Chontalcuatlán" se encuentra ubicada sobre el río del mismo nombre en el norte del Estado de Guerrero, a 22 Km al sureste de Ixtapan de la Sal, Méx., y 14 Km al noreste de Taxco, Gro., medidas las distancias en línea recta.

Geográficamente puede ser localizada de acuerdo a las siguientes coordenadas, tomadas de la carta topográfica Taxco (E-14-A-68), escala 1:50 000, impresa por DETENAL en 1977.

18°41' 13"	latitud norte
99°34' 51"	longitud oeste

Localmente se ubica 2.5 Km al oeste del poblado El Mogote, Gro., y 4.5 Km aguas abajo de la confluencia del arroyo Salado con el río Chontalcuatlán. Se puede llegar al área de estudio de dos maneras por medio de carreteras pavimentadas.

Considerando a la ciudad de México como punto de partida, la primer forma es tomando la carretera a la ciudad de Toluca, con 67 Km de distancia; llegando a este sitio se continúa por la carretera federal No. 55 hasta el poblado de El Mogote, pasando por Tenango de Arista, Tenancingo, Ixtapan de la Sal y Tonicato, todos en el Estado de México. Siguiendo esta carretera, aproximadamente 1 Km antes de llegar a El Mogote, se encuentra la planicie que los habitantes del lugar llaman del Sol, de la cual parte un camino real que te-

niendo un desarrollo de 2 Km conduce exactamente al sitio de la boquilla, por la margen izquierda

La otra ruta es partiendo de la ciudad de México a Puente de Ixtla, pasando por la ciudad de Cuernavaca siguiendo la carretera de cuota No. 95 con desarrollo de 133 Km. Llegando a Puente de Ixtla, 2.5 Km más adelante se toma la desviación a Michapa, recorriendo a partir de este sitio 13.4 Km por la carretera federal No. 166, hasta las grutas de Cacahuamilpa, donde se toma la carretera federal No. 55 para llegar a El Mogote después de 9 Km. (Fig.No. 1).

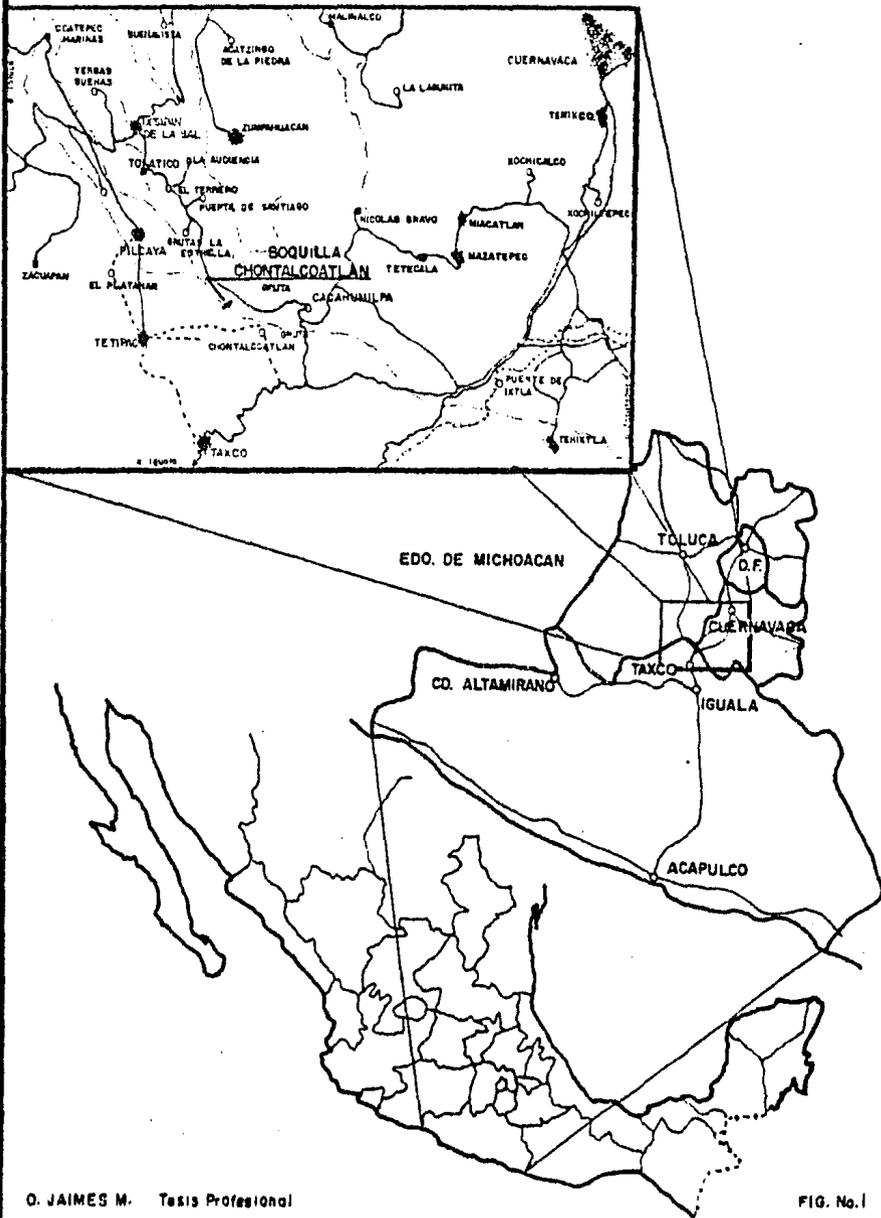
II.2 CLIMA, FLORA Y FAUNA

El clima de la región presenta pocas variaciones y según la clasificación de Koppen, modificada por E. García en 1973 (SPP, 1981, p.78), de manera general corresponde al grupo de climas cálidos, subgrupo de los climas cálidos A, siendo los más representativos los siguientes.

- .Aw₁ (w) tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano; su humedad es la media de los cálidos subhúmedos.
- .Aw₀ (w) tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano; es el menos húmedo de los cálidos subhúmedos.
- .A(c)w₂ (w) tipo semicálido subhúmedo con lluvias en verano; es el más húmedo de los semicálidos subhúmedos.
- .A(c)w₁ (w) tipo semicálido subhúmedo con lluvias en verano; su humedad es la media de los cálidos subhúmedos.

El porcentaje de lluvias en invierno en todos los tipos es menor a los 5 mm.

CROQUIS DE LOCALIZACION



La estación climatológica y pluviométrica más cercana se encuentra en la ciudad de Taxco, donde se han registrado los datos que se mencionan a continuación.

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, presentándose la temporada de lluvias generalmente de junio a septiembre. La precipitación mínima es durante el mes de marzo con 4.1 mm y la máxima en el mes de junio con 308 mm.

La vegetación predominante en esta parte del Estado de Guerrero corresponde a los grupos que se describen en seguida, cuya distribución depende de la altitud y cantidad de precipitación en la zona.

El bosque de pino-encino y oyamel se encuentra distribuido en la región de las montañas colindantes, siendo el bosque de pino el de mayor importancia, seguido por el de encino y oyamel en menor escala. Los encinos generalmente se encuentran entremezclados y distribuidos tanto en los bosques de clima frío, como en los de clima cálido propio de la región.

Con el nombre de selva baja caducifolia* se designa a las especies cuya altura promedio es de 10 m con emergentes hasta de 15 m de alto. Se desarrollan en las laderas y terrenos pedregosos con suelos someros y arenosos o arcillosos con buen drenaje superficial, siendo las características más importantes de este grupo que más del 75% de los árboles tiran las hojas en la época más seca del año.

(*) caducifolia, término clasificatorio que considera la persistencia o caducidad de las hojas.

Los matorrales subtropicales se desarrollan en la zona de transición entre la selva baja caducifolia, los bosques de clima frío templado y los matorrales de clima más seco. La mayor parte de las plantas que los constituyen, pierden su follaje durante un período prolongado del año.

El matorral submontano se encuentra generalmente entre los límites de matorrales áridos, bosques de encino y la selva baja caducifolia.

Poco abundante es el grupo de matorrales crasicaule** donde se incluyen a las cactáceas que forman las nopaleras y se distribuyen principalmente en las partes más secas.

La fauna constituye un aspecto muy importante dentro del Estado de Guerrero. En las áreas en donde ésta se distribuye, su papel funcional consiste en la intervención dentro de procesos tales como la polinización, fructificación, floración, descomposición de los detritos y consumo de plantas verdes, así como en la productividad y circulación mineral del suelo. Se menciona a continuación la que se considera como aquella fauna que ecológica y económicamente guarda una mayor relación con los asentamientos humanos.

Dentro de los mamíferos destacan el tlacuache, tejón, armadillo y en menor proporción el leoncillo, tigrillo y venado. Existen abundantes reptiles como la víbora de cascabel y la iguana, ésta última muy característica de la región. Del grupo de las aves se pueden mencionar a la paloma de alas blancas, tordo, codorniz, gallareta, pato tepalcate y la golondrina.

(**) crasicaule se refiere al tipo de vegetación comestible o capaz de almacenar agua.

II.3 POBLACION Y CULTURA

Son varios los poblados que por su proximidad a la zona del proyecto, fueron considerados para obtener la información sobre aspectos sociales y económicos existentes. Para tal efecto se consultaron las publicaciones de la Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, referidas a estos aspectos. Los datos, aún cuando se restringen a las poblaciones más próximas, son un reflejo de las condiciones sociodemográficas y económicas de toda la región.

Los poblados considerados son los siguientes: El Mogote, Piedras Negras, Chontalcuatlán, Pezuapa, Los Llanitos, Uvalar, Tecuinapa, Cuitlapa, Chimaltitlán y Amaltitlán, todos en el Estado de Guerrero pertenecientes al municipio de Pilcaya, compuesto en su totalidad por 21 localidades.

Resultados preliminares del X Censo de Población y Vivienda de 1980, registra que el municipio de Pilcaya cuenta con una población total de 9 040 habitantes, de los cuales el 55% es menor de 19 años, mientras que el 74% de la población mayor de 6 años, sabe leer y escribir. La población económicamente activa esta compuesta por 3 069 personas, es decir el 34% del total de la población. La distribución de la población de acuerdo a las diferentes ocupaciones es la siguiente.

. agricultura, ganadería, caza, etc.	67.0%
. servicios comunales	4.5%
. comercio	3.5%
. industrias manufactureras	2.5%
. construcción	1.0%
. transporte, almacenamiento	1.0%
. electricidad, gas y agua	0.5%

. diferentes actividades en forma permanente 20.0%

No existe en todo el municipio ningún hospital o clínica, a excepción de la cabecera municipal donde prestan sus servicios dos médicos generales; los centros de atención médica más próximos se localizan en Tonicato e Ixtapan de la Sal.

Todas las poblaciones del municipio cuentan con energía eléctrica; servicio telefónico solamente en las poblaciones del Estado de México mencionadas anteriormente.

La mayor parte de las localidades que forman el municipio cuentan con escuelas primarias, no siendo mayor a 2 Km la separación entre un pueblo con escuela y otro sin ella; las secundarias se encuentran solamente en Chontalcuatlán, El Mogote, Piedras Negras y Pilcaya, centros de población que por su ubicación, número de habitantes y por consecuencia mayor movimiento comercial, son consideradas como los más importantes del municipio.

CAPITULO III FISIOGRAFIA

III.1 PROVINCIA FISIOGRAFICA

De acuerdo a la clasificación propuesta por E. Raisz (1959), fisiográficamente el sitio del proyecto se encuentra localizado en la provincia llamada Sierra Madre del Sur, dentro de la subprovincia Cuenca del Balsas-Mezcala, muy cerca del límite septentrional con la provincia del Eje Neovolcánico. (Fig. No. 2).

La Cuenca del Balsas-Mezcala esta orientada este-oeste y presenta una estructura muy complicada; mide aproximadamente 100 Km de norte a sur. Paulatinamente va sufriendo un ensanchamiento hacia el este, donde limita con la Meseta de Oaxaca, no reconociéndose una separación repentina con ésta; al sur limita con la Vertiente Sur, que al igual que la Meseta de Oaxaca, es subprovincia de la Sierra Madre del Sur, mientras que al norte y este limita con la pendiente austral del Eje Neovolcánico.

La subprovincia Cuenca del Balsas-Mezcala se caracteriza por estar bien disectada por corrientes con dirección noroeste-sureste, desagüe que se efectúa a través de los ríos que le dan nombre a la cuenca, Balsas y Mezcala, el primero de los cuales desemboca en el Océano Pacífico, en los límites de los Estados de Michoacán y Guerrero.

En esta cuenca afloran rocas que varían en edad desde el Precámbrico hasta el Reciente; los metasedimentos Paleozoicos conforman el basamento, mientras que los sedimentos Mesozoicos, que son predominantes, están frecuentemente plegados y afallados. También se ven diseminadas rocas volcánicas, tales como andesitas y varios tipos de riolitas y basaltos que surgieron a través de las rocas sedimentarias

formando a veces estas rocas volcánicas grandes serranías.

III.2 GEOMORFOLOGIA

Geomorfológicamente el área de estudio se presenta como un conjunto de mesetas formadas por los sedimentos clásicos plio-pleistocénicos de la Formación Cuernavaca, depositados sobre unidades estratigráficas más antiguas, en este caso rocas pertenecientes al Grupo Balsas, dando lugar a la formación de extensos terrenos planos, alargados y en ocasiones ligeramente inclinados, los cuales se encuentran orientados de acuerdo al patrón estructural de la zona, del noroeste hacia el sureste, siendo característicos en ellos los bordes que presentan grandes escarpes y pendientes fuertes.

Durante el proceso formacional de estas grandes llanuras aluviales fue sepultada gran parte de la topografía antigua, provocando que los cerros y serranías más elevados quedaran en forma de islotes, siendo notable la diferencia de densidad y profundidad de la disección entre éstos y el terreno más joven que los rodea, como por ejemplo los cerros Ojo de Agua, El Zapote y el Remate, al noroeste del poblado El Mogote.

Estas mesetas son rasgos topográficos de origen sedimentario construccional y dada su constitución (poco resistentes), han sido fuertemente atacadas por los procesos erosivos, destacándose por su importancia la acción ejercida por las corrientes superficiales, que forman llan angostos y profundos cañones con paredes verticales, teniendo como claro ejemplo de ellas, las cuencas de los ríos Chontalcuatlán y San Jerónimo, y hacia aguas arriba los ríos Malina y Almo-

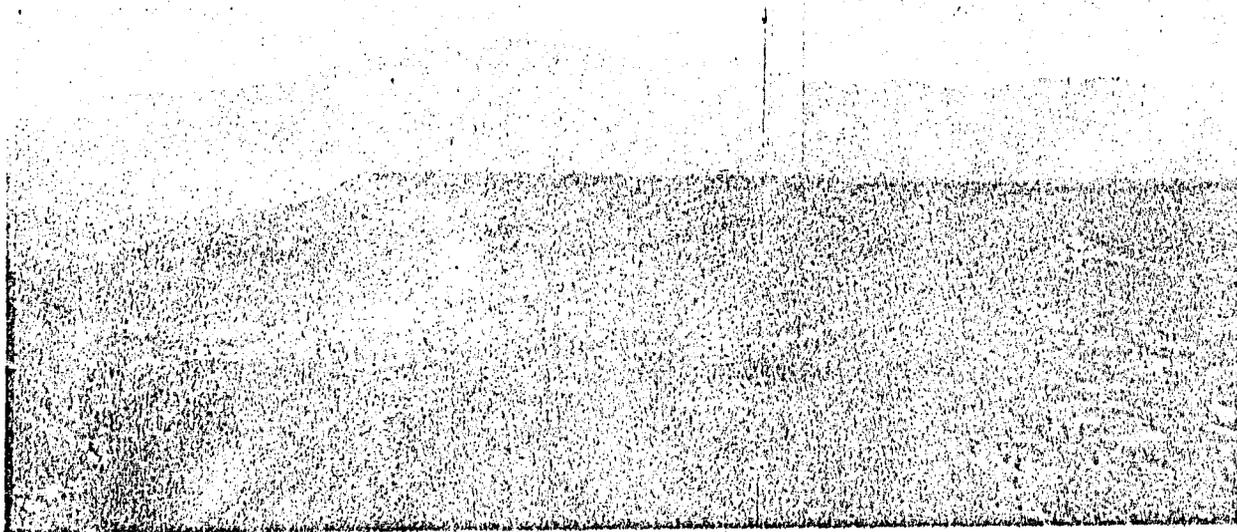
loya. (Fotografía No. 1).

El río Chontalcuatlán recibe suministro de los abundantes manantiales que hay en la zona, los cuales normalmente aparecen en el contacto entre el Grupo Balsas y la Formación Cuernavaca, y no obstante que se trata de una corriente de régimen permanente, está muy lejos de alcanzar su nivel base de erosión, apreciación basada en la estrechez de su valle, indicativa de la fuerte erosión vertical que ejerce, más importante que la horizontal; asimismo, los barrancos se encuentran en una fase de erosión remontante, rasgo que puede ser reconocido por la fragmentación que presentan las mesetas, principalmente hacia aguas arriba.

De menor importancia, pero también presentes, son los depósitos gravitacionales, es decir, la acumulación de detritos que se desprenden por gravedad y que forman depósitos al pie de las laderas, siendo más evidente este fenómeno en la margen izquierda del río, donde las pendientes varían entre 35 y 50°.

La parte más alta de las mesetas se encuentra generalmente a 1 500 msnm, existiendo desniveles hasta de 375 m entre el cauce, labrado en conglomerados y andesitas del Grupo Balsas y la cima de ellas.

Otros rasgos importantes del relieve de la región son de origen volcánico, presentándose hacia la porción sur del área, la Sierra de Taxco, constituida por una serie de mesetas originadas por derrames lávicos riolíticos que llegan a presentar bordes acantilados en los cuales se observan diaclasas columnares que dan lugar a estructuras columnares. Localmente se encuentran sobre el Grupo Balsas y su drenaje es menos denso y profundo que el desarrollado en las mesetas de la Formación Cuernavaca. La Sierra de Taxco presenta las mayores elevaciones del área, con altitudes promedio de 2 300 m, destacándose entre ellas de del cerro



FOTOGRAFIA No. 1

Panorámica tomada desde la margen derecha hacia aguas abajo, donde se observa en el extremo inferior izquierdo, parte de la Boquilla "Chontalcuatlán" en el río del mismo nombre, labrada totalmente en conglomerados del Grupo Balsas, el cual aparece en todo el primer plano de la fotografía; en el centro se observa el contacto con la Formación Cuernavaca, la cual da lugar a las mesetas características de la región, como la que se muestra. Al fondo los cerros altos de la Sierra de Taxco que corresponden a la Riolita Tilzapotla.

Huixteco con 2 510 m.

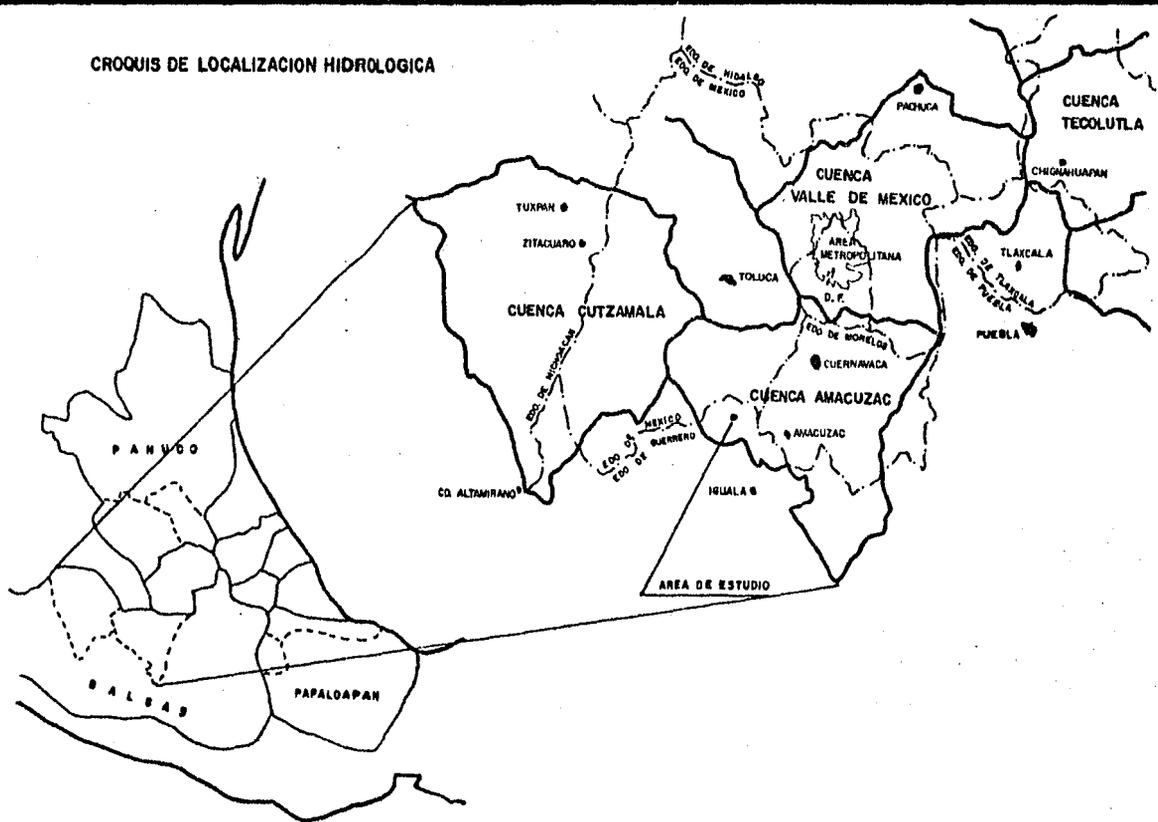
"Las sierras y serranías al NNE, E y SE de formas redondeadas, están constituidas principalmente por calizas de estratos gruesos y masivos, alcanzando en el NNE una altitud promedio de 1 800 m, mientras que hacia el SE aumentan hasta alcanzar unos 2 200 m en el E y SE de Taxco". (Z. de Cserna y C. Fries, 1981, p. 10). Estas sierras corresponden a pliegues anticlinales y los valles formados entre ellos, con sinclinales, también orientados del NW hacia el SE. El drenaje sobre los anticlinales es de tipo dendrítico con alto grado de disección, mientras que en los sinclinales, dado que se desarrollan en lutitas o calizas arcillosa, el grado de disección es más avanzado; también es característico de estas sierras el paisaje kárstico, definido por sumideros como los que hacen desaparecer los ríos Chontalcuatlán y San Jerónimo, e innumerables dolinas que en ocasiones llegan a constituir depósitos naturales de agua.

III.3 HIDROGRAFIA

Hidrológicamente el río Chontalcuatlán se encuentra localizado en la subcuenca del río Amacuzac, perteneciente ésta a la gran cuenca del río Balsas. (Fig. No. 3)

El río Chontalcuatlán viene siendo afluente derecho del río Balsas y propiamente se origina en las faldas del volcán Nevado de Toluca, parte sur, recibiendo diferentes nombres durante su curso (Texcaltitlán, Almoloya, Salado, etc.), hasta que junto con el río San Jerónimo y con el nom-

CROQUIS DE LOCALIZACION HIDROLOGICA



bre de Chontalcuatlán, se vuelve río subterráneo, aproximadamente 4 Km al SE y 3.5 Km al NE del poblado El Mogote, respectivamente, entrando por separado en túneles disueltos en caliza.

En general la hidrología de la zona se encuentra controlada por estos dos ríos, teniendo ambos, como ya se mencionó, la característica de volverse ríos subterráneos que luego emergen juntos, abajo de las grutas de Cacahuamilpa, siendo de este punto en adelante que recibe el nombre de río Amacuzac. Un rasgo muy importante de la red hidrográfica es la presencia de elementos criptorréicos en los terrenos formados por las calizas cretácicas, de tal forma que los ríos Chontalcuatlán y San Jerónimo constituyen una subcuenca criptorréica.

"El río Chontalcuatlán y sus afluentes se encuentran en una etapa de acción erosiva vertical, al igual que los ríos Meyuca, Tanancingo, San Jerónimo y Sultepec, también pertenecientes a la red hidrográfica del río Amacuzac, reconocida por que tienen sus cauces sinuosos através de meandros encajonados y carecen por completo de llanuras de inundación." (C. Fries y Z. de Cserna, 1981, p.8).

La cuenca del río Chontalcuatlán, fisiográficamente puede ser dividida en tres partes. La parte alta corresponde propiamente al volcán Nevado de Toluca, donde se sobrepasan los 4 000 msnm; aquí el drenaje es radial y tiene numerosas ramificaciones, descendiendo rápidamente con fuerte pendiente hasta la cota 2 500, a partir de donde se considera empieza la parte media. Ahora el rumbo general de los escurrimientos es al SE, caracterizándose esta parte media por tener un relieve en forma de mesetas (descritas en la parte de geografía de este capítulo), terminando esta parte al llegar a la elevación de 1 500 msnm. Después el río cambia su curso rápidamente, se desarrolla en un corto tramo y entra en el

sumidero.

El sistema de drenaje que se ha establecido es del tipo subparalelo y los valles tienen una orientación NW-SE; los cauces que forman la corriente principal y sus afluentes son del tipo consecuente, es decir que siguen su curso debido principalmente a la diferencia de elevación, y subsecuentes las que vienen a integrarse transversalmente a la corriente principal.

CAPITULO IV GEOLOGIA GENERAL

IV.1 ESTRATIGRAFIA

El estudio geológico realizado y la información del mismo tipo existente de las áreas aledañas, permitieron reconocer la secuencia estratigráfica de la región, misma que se conforma de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de origen marino y continental que varían en edad del Jurásico Tardío (?) al Reciente.

La mayor parte de las unidades estratigráficas fue definida formalmente por C. Fries (1960) encontrándose las lo calidades tipo, cercanas a las ciudades de Taxco y Cuernavaca.

La unidad litológica que por su distribución dentro del proyecto tiene mayor importancia, la constituye el Grupo Balsas, puesto que la bocuilla y el vaso de almacenamiento en toda su extensión, quedan incluidos en rocas de este grupo.

Sin embargo, en este capítulo se describirán, además del Grupo Balsas las formaciones más antiguas y las que lo sobreyacen, aún cuando no estén aflorando en el área de estudio para tener una visión más amplia del marco geológico de la re gión.

Todas las formaciones, sus edades respectivas y correlación estratigráfica, se muestran en la figura No. 4.

IV.1.2 DESCRIPCION DE FORMACIONES

ERA MESOZOICA

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

ERA	SISTEMA	SERIE	PISO EUROPEO	EDAD M.A.	ZONA DE ESTUDIO	MORELOS MÓRTE (1)		DISTRITO DE TAXCO(2)	HUETAMO MICH.(3)	
						PPG GR. COMANT. SIB	ALU. VION			
CENOZOICO	Cuaternario	Reciente			ALUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION		
		Pleistoceno			FORMACION CUERNAVACA	FORMACION CUERNAVACA				
		Plioceno				FORMACION CUERNAVACA				
		Mioceno				FORMACION TEPICTLAN			SERIE VOLCANICA CHARAONAHUANGO	
		Oligoceno			R. TILTEAPOTLA	R. TILTEAPOTLA	R. TILTEAPOTLA			
		Eoceno			GRUPO SALDAS	GRUPO SALDAS	GRUPO SALDAS	GRUPO SALDAS		
		Paleoceno								
MESOZOICO	Cretácico	Superior	MAESTRICHTIANO	83						
			CAMPANIANO	78						
			SANTONIANO	84	FORMACION MISCALA	FORMACION MISCALA	FORMACION MISCALA	FORMACION MISCALA	FORMACION MAL PASO	
			CONTOCIANO	90						
			TURGONIANO	90						
		CENOMANIANO	110							
		ALBIANO	120	FORMACION MORELOS	FORMACION MORELOS	FORMACION MORELOS	FORMACION MORELOS			
		APTIANO			FORMACION TEOCALCO			FORMACION SAN LUCAS		
		NEOCOMIANO	130							
		Tridáico								
Paleozoico	Superior									
	Medio									
	Inferior			181						
Triásico	Superior			200						
	Medio									
	Inferior			230						
Paleozoico	NO DIFERENCIADO			300			ROSAVERDE TAXCO VIEJO			
	PRECAMBRICO			740			ROSAVERDE TAXCO			
				800						

- (1) C. Fries, 1962
- (2) A. Juárez, S. Moreno, 1977
- (3) A. Pantoja, 1959

No depósito
 No aflora

SISTEMA JURASICO

ROCAVERDE TAXCO VIEJO

DEFINICION. El nombre de Rocaverde Taxco Viejo fue propuesto por C. Fries en 1960 (op. cit., p. 35) para las rocas que afloran "sobre la falda situada directamente al oriente del pueblo de Taxco Viejo", consistentes en una interestratificación de tobas, brechas y en menor cantidad, corrientes lávicas andesíticas, ligeramente metamorfizadas. F. Campa et. al. (1974), considera que estas rocas forman parte de una secuencia volcánico-sedimentaria metamorfizada que se encuentra aflorando desde Ixtapan de la Sal a Teloloapan.

DISTRIBUCION. Los afloramientos más cercanos a la zona del proyecto se encuentran aproximadamente a 14 Km al NW, en las inmediaciones de Tonatico, precisamente en la Sierra de Ixtapan-Tonatico. No afloran en la boquilla ni en el vaso; tampoco fueron cortadas con las exploraciones directas.

LITOLOGIA Y ESPESOR. Este conjunto metamórfico está constituido por una alternancia de rocas volcánicas, esencialmente andesíticas, y sedimentarias clásticas principalmente, afectadas por un metamorfismo incipiente. "Aún cuando el grado de metamorfismo ha producido el conjunto de minerales de clorita-calcita-cuarzo, correspondientes a la facies de esquisto verde, es tan bajo que se preservan las texturas y estratificación originales." (F. Campa et. al., 1980, p. 8).

"Las rocas metavolcánicas de esta unidad son principalmente tobas y andesitas, aún cuando se han identificado algunos derrames que podrían ser basaltos. El color de estas rocas es gris mediano a oscuro con distintas tonalidades de verde, debido a la presencia de clorita y epidota". (C. Fries y Z. de Cserna, 1981, p. 14).

"Las rocas metasedimentarias reportadas en la secuen

cia corresponden a lutitas y areniscas (grauvacas y cuarcitas) principalmente, con foliación muy fina, paralela a la estratificación y con pliegues diversos." (F. Campa, et. al., 1974, p. 7).

Los afloramientos de estas rocas más cercanos al proyecto, se encuentran a lo largo de la carretera Ixtapan de la Sal-Cacahuamilpa, aproximadamente a 2 Km de Tonatico, correspondiendo a un lahar de color gris-pardo rojizo en donde los clastos quedan rodeados por una matriz tobácea, distinguiéndose una foliación incipiente. Los clastos presentan una textu-porfídica con fenocristales de plagioclasa muy alterados, así como ferromagnesianos muy alterados a hematita y limonita.

El espesor propuesto por C. Fries para la Rocaverde Taxco Viejo es de 100 m. (op. cit., p. 35); Z. de Cserna supone que el espesor máximo aproximado de la unidad es de unos 400 m. (op. cit., p. 14), mientras que F. Campa et. al. (op. cit., p. 9) considera que el espesor representativo de toda la secuencia volcánico-sedimentaria es de 2 000 m.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS. Descansa discordantemente sobre el Esquisto Taxco (op. cit., p. 15) y subyace en igual forma a sedimentos del Cretácico Inferior: Formaciones Acahuizotla, Acuitlapán y Morelos.

EDAD Y CORRELACION. Utilizando un criterio estratigráfico, C. Fries (op. cit., p. 36) le asigna una edad del "Triásico Superior en virtud de que descansa sobre el Esquisto Taxco y generalmente esta cubierta por la Formación Acahuizotla del Oxfordiano, además de considerarlos fósiles marinos del Triásico tardío que C. Burckhardt encontró en rocas verdes similares en el Estado de Zacatecas".

F. Campa et. al. (1974) encontró entre los sedimentos más finos de la secuencia referida, varios ejemplares de

amonitas clasificadas como Wichmanniceras sp y Microcanthoceras sp del Titoniano superior, Dufrenoya sp y Parahoplites cuya distribución estratigráfica corresponde al Aptiano, y Hamites sp del Aptiano-Albiano, atribuyéndole al conjunto metamórfico una edad que oscila entre el Jurásico superior al Cretácico inferior (Albiano inferior).

G. Ontiveros (1973, p. 200), ya había considerado asignarle a la Rocaverde Taxco Viejo, "una edad precretácica, en virtud de haber encontrado en el área de Taxco Viejo, que los sedimentos arcillo-calcáreos supuestos por C. Fries de edad Jurásico superior, corresponden al Cretácico inferior."

Su más cercanas correlaciones litoestratigráficas corresponden a los campos mineros de Campo Morado y Rey de la Plata; en la región de Placeres del Oro, Gro., y Zitácuaro, Mich., han sido descritas rocas volcánicas verdes muy semejantes a las de la Rocaverde Taxco Viejo.

ORIGEN. De acuerdo con F. Campa, esta acumulación marino-volcánica, "probablemente fue originada en el mar marginal de un arco volcánico insular, activo durante el Jurásico tardío-Cretácico temprano." (1980, p.10).

SISTEMA CRETACICO

FORMACION MORELOS

DEFINICION.C. Fries (1960, p. 44) llamó Formación Morelos a una potente sucesión de calizas y dolomías de edad Albiano-Cenomaniano que afloran en el Estado de Morelos y los Estados contiguos de México y Guerrero, considerando como localidad tipo los afloramientos del primero.

DISTRIBUCION. Al igual que la Rocaverde Taxco Viejo, esta formación no cuenta con alforamientos en la boquilla ni en el vaso del proyecto, pero no pueden dejarse de mencionar las calizas que se encuentran cercanas al mismo, al NE y E en la Sierra de San Gaspar-Cacahuamilpa, un poco más al SE las que afloran en las proximidades de Acuitlapán, Acamixtla y Taxco, así como las que constituyen los cerros Ojo de Agua, El Zapote y El Remate, 7 Km al NW del proyecto, además de los afloramientos en el flanco oriental de la Sierra Ixtapan-Tonatico.

LITOLOGIA Y ESPESOR. Se presenta como una interstratificación de calizas y dolomías, en estratos gruesos a masivos con un color de intemperismo gris-pardo amarillento.

De acuerdo a la clasificación de Grabau, las calizas varían en su textura de calcilutitas, calcarenitas hasta calcirruditas, mientras que para las dolomías han sido reportadas texturas de biogénica cristalina de grano medio a totalmente cristalinas.

La formación presenta cantidades variables de lentes y nódulos de pedernal. Por lo general la parte superior tiene mayor contenido de fósiles que la inferior (C. Fries, op. cit.): rudistas (Toucasia, caprinidos), gasterópodos (Acteonella sp, Nerinea sp) y otros pelecípodos son característicos en los estratos de caliza, mientras que en las dolomías la ausencia de fósiles reconocibles, es notable. Otro rasgo distintivo de la formación lo constituye la karsiticidad que afecta a las rocas, de manera tan importante, que desarrollan espectaculares grutas como las de Cacahuamilpa y La Estrella.

En la región, el espesor de la formación es variable; en el área de Taxco, cerca del poblado Acuitlapán, a

floran sus contactos inferior y superior, midiéndose un espesor de 800 m; G. Ontiveros (1973), midió un espesor de 1 130 m en el flanco occidental de la Sierra de Chilacachapa, localidad donde también afloran la base y la cima, mientras que en la parte central del Estado de Morelos, puede asignársele un espesor de cuando menos 500 m. Se considera que estas variaciones en su espesor se deben al acuñaamiento que sufre la formación. (C. Fries y Z. de Cserna, 1981, p.18).

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS. En el área de Taxco la Formación Morelos sobreyace discordantemente al Esquisto Taxco, o bien concordantemente a la Formación Acahuizotla del Cretácico Inferior, mientras que esta cubierta discordantemente por la Formación Mezcala del Cretácico Superior.

EDAD Y CORRELACION. La abundancia de microfósiles, generalmente de la familia de los miliólidos, así como la presencia de algunos rudistas, comúnmente en la parte superior de la formación, permiten asignarle una edad Albiano-Cenomaniano; C. Fries (1960, p.55), en su famosa publicación regional, cita gran variedad de macro y microfósiles, recolectados por él y otros autores al oriente y sur de Cuernavaca, asignándole también a esta unidad una edad del Albiano tardío al Cenomaniano. Es correlacionable lito y bioestratigráficamente con la Formación El Doctor de los Estados de Hidalgo y Querétaro, la Formación El Abra de las plataformas de Valles-San Luis Potosí y Faja de Oro, la Formación Viesca de la plataforma de Coahuila, con la Formación Tamaulipas Inferior en los Estados de Hidalgo, Veracruz y Tamaulipas, así como la Caliza Aurora y parte de la Formación Cuesta del Cura del noreste de México.

ORIGEN. DE acuerdo con C. Fries (op. cit., p.51) y otros autores, esta unidad marca el límite de una tierra

emergida durante el tiempo de su depósito, a la que llamó paleopenínsula de Taxco-Zitácuaro, y que los acuñamientos de esta formación en las cercanías de Taxco, marcan el borde suroriental de dicha península, la cual se extiende al noroeste por los Estados de México y Michoacán. El tipo de sedimentación se debe a la precipitación de carbonato de calcio en un ambiente de plataforma somera, sin aporte de terrígenos, con mares abiertos de aguas cálidas.

FORMACION MEZCALA

DEFINICION. C. Fries (1960, p. 72) propone el nombre de Formación Mezcala para la sucesión de capas interstratificadas de arenisca, limolita y lutitas calcáreas con escasas lentes de caliza clástica, que yace sobre la Formación Cuautla al sureste de Iguala. El nombre lo refiere tanto al pueblo como al río situado cerca del Km 220 de la carretera México-Acapulco; la localidad tipo fue escogida a lo largo del río Balsas o Mezcala, un poco al oriente del puente de la carretera, por que en dicha localidad las capas parecen ser las menos plegadas y más accesibles de la extensa región en que afloran.

DISTRIBUCION. Los afloramientos de esta formación más cercanos a la zona de estudio se localizan en la Sierra de San Gaspar-Cacahuamilpa, cercanos al pueblo de Cacahuamilpa. Es característico que se encuentren formando valles desarrollados sobre los sinclinales del área.

LITOLOGIA Y ESPESOR. En la región del valle del río Amacuzac, son reconocidos tres miembros de esta formación. La parte basal consiste de lutitas y limolitas calcá-

reas de colores gris oscuro a negro, las cuales están interes-
 tratificadas con intervalos delgados de arenisca calcárea,
 siendo los estratos de delgados a laminares. Sobreyaciendo a
 esta parte basal calcárea se encuentra una alternancia rítmi-
 ca de lutitas, limolitas y areniscas tipo grauvacas de colo-
 res gris oscuro y gris verdoso. Las areniscas de grano grue-
 so y conglomerados se observan en la parte superior de la for-
 mación, siendo los clastos que las constituyen, de carbonato
 y rocas ígneas.

Debido a su naturaleza y posición estructural, re-
 sulta muy difícil conocer el espesor real de esta Formación,
 sin embargo C. Fries (op. cit.) realizó unos cálculos de medi-
 ción en la localidad tipo, empleando brújula, y tomando en -
 consideración los cambios de estratificación, infiere que el
 espesor de la formación es de por lo menos 1220 m.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS. Generalmente cubre dis-
 cordantemente a los sedimentos calcáreos de la Formación More-
 los y subyace en discordancia angular a los sedimentos terci-
 rios continentales de Grupo Balsas y la Formación Cuernavaca.

En las inmediaciones de Taxco cubre en discordancia
 al Esquisto Taxco y la Formación Morelos, mientras que los se-
 dimentos terciarios e ignímbritas la sobreyacen en discordan-
 cia angular. En la región de Cacahuamilpa, la Formación Mez-
 cala cubre discordantemente a la Formación Morelos y no se
 tiene conocimiento de la unidad a la que se encuentra subya-
 ciendo.

EDAD Y CORRELACION. De acuerdo a los fósiles reco-
 lectados por C. Fries pertenecientes al grupo de los Amonoi-
 dea y Pelecypoda, cuya clasificación fue hecha por C. Imlay

(en C. Fries, 1960, p. 84) como Barrioceras sp e Inoceramus sp pertenecientes al Coniaciano Inferior, representan la parte inferior y media de la formación.

Los datos paleontológicos reportados por G. Ontiveros (1973, p. 222) corroboran la edad Turoniana de la parte inferior de esta formación, tal como había sido considerada por C. Fries, autor que le asigna una edad que varía del Turoniano Superior al Campaniano.

Se correlaciona con la Formación Malpaso de la región de Huetamo, Mich., con la Lutita Méndez en los Estados de Hidalgo, Querétaro y la Costa del Golfo de México, y con las Formaciones Agua Nueva y San Felipe de la Sierra Madre Oriental.

ORIGEN. La Formación Mezcala corresponde a sedimentos tipo flysch e "indican un depósito en cuencas marginales de profundidades moderadas, originadas a fines del Turoniano, al iniciarse las primeras pulsaciones de la Orogenia Larámdide. Las partes positivas al arosionarse aportaron gran cantidad de depósitos terrígenos que rellenaron estas cuencas, dando como resultado una alternancia cíclica de areniscas y lutitas." (G. Ontiveros, op.cit., p. 223).

ERA CENOZOICA

SISTEMA TERCIARIO

GRUPO BALSAS

DEFINICION. El nombre de Grupo Balsas fue propuesto por C. Fries (1960, p. 91) para un grupo de rocas que comprende una gran variedad de tipos litológicos que se presentan en la cuenca del río Balsas-Mezcala. El grupo incluye rocas tan diversas como son yesos, caliza lacustre, conglomerado calizo, conglomerado volcánico, arenisca tobácea, limolita tobácea y lutitas, así como brechas y tobas volcánicas y corrientes lávicas interestratificadas.

DISTRIBUCION. En cuanto a distribución, el Grupo Balsas es el más importante del proyecto, ya que la boquilla se encuentra labrada en rocas de este grupo y el vaso en toda su extensión se incluye también en el mismo. Además se encuentra ampliamente distribuido en la región; gran parte del río Chontalcuatlán desarrolla su cauce en estas rocas, e importantes afloramientos se localizan en el área de las poblaciones Tetipac y Taxco, así como más al oriente entre los poblados de Huajintlán y Santa Fé.

LITOLOGIA Y ESPESOR. Litológicamente el Grupo Balsas, en el área de estudio, está constituido por los siguientes tipos de rocas.

Un conglomerado que presenta tres variantes en su composición. La primera, donde predominan los fragmentos de rocas ígneas emplazados en una matriz de grano fino, limolítica o arcillosa. La composición de los fragmentos es principalmente basáltica, aún cuando pueden encontrarse algunos de tipo andesítico, generalmente alterados pero no lo suficiente para borrar por completo su textura y mineralogía original. Es precisamente la alteración de los ferromagnesianos a hematita, lo que le imparte el color pardo rojizo característico del conglomerado. En algunas partes la matriz se encuentra notablemente silicificada. (Análisis Petrográfico, Lámina No. 3).

El otro tipo de conglomerado está constituido por fragmentos en igual proporción, de rocas ígneas y carbonatadas; fragmentos de andesitas, basaltos, calizas y dolomitas están unidos por una matriz arcillosa y a veces limonítica (Análisis Petrográfico, Lámina No. 1). También el color rojizo es predominante en esta variedad.

Los dos tipos de conglomerado descritos hasta ahora son los más abundantes en la boquilla y el vaso, representando aproximadamente el 80% de todas las rocas presentes.

La última variante, la constituye un conglomerado formado principalmente por clastos de rocas calcáreas cementadas con calcita, reconociéndose ocasionalmente algunos granos de cuarzo y feldespatos en muy poca proporción. (Análisis Petrográfico, Lámina No. 4). Como la mayor parte de sus componentes son fragmentos de calizas, la roca adquiere un color gris claro, contrastante con la coloración rojiza dominante en los dos tipos anteriores.

En los tres casos la roca es muy compacta, variando los fragmentos en forma de angular a bien redondeada, y en tamaño, desde unos cuantos milímetros hasta 30 cm.

También se encontraron interestratificadas con el conglomerado, capas de arenisca y limolita. Las areniscas han sido clasificadas como arcosas (Análisis Petrográfico, Lámina No. 2), y tienen sus afloramientos más grandes en la zona del vaso, lo mismo que las limolitas; hacer la diferenciación entre estos dos tipos de rocas, megascópicamente puede resultar difícil dado que la arenisca es de grano fino, lo cual la hace fácilmente confundible con una limolita. El cemento de estas rocas es hematita que viene a darles un tono rojo oscuro, coloración semejante a la de los conglomerados.

De la misma manera, forman parte del grupo, los va
rios afloramientos de basaltos que fueron mapeados en la par
te noroccidental del vaso; son rocas que intemperizan a color
gris rojizo, de textura porfídica, matriz afanítica con feno
cristales de ferromagnesianos, alterados a hematita lo cual
les proporciona el tono rojizo que presentan. Estudios petro
gráficos realizados a ejemplares de estas rocas, permiten
clasificarlas como basaltos de olivino. (Análisis Petrográfi
co, Lámina No. 6).

Es frecuente encontrar en los basaltos, pequeños
diques de una roca ígnea intermedia (?) que presenta una
fuerte alteración a hematita, los ferromagnesianos, y a cal
cita, los faldespatos, lo cual aún en lámina delgada, hace
difícil su clasificación precisa. Por su textura y modo de
emplazamiento, contrastan notablemente con los basaltos enca
jonantes; los diques son de color café rojizo, textura afani
tica, muy compactos, de espesor variable, no mayor a 15 cm,
generalmente presentando hacia sus bordes, bandas de calcedo
nia.

Los basaltos se consideran como las rocas más anti
guas del Grupo Balsas sobre las que se depositaron los mate
riales sedimentarios, puesto que el conglomerado incluye
clastos de dichos basaltos, los cuales conservan sus caracte
rísticas texturales en mayor o menor grado, pero siempre es
posible su identificación.

Con la exploración IV de la boquilla, sobre unas
andesitas de carácter intrusivo, fue atravesado un intervalo
de 7 m de lutitas color negro, que presentan una incipiente
foliación, adquiriendo por esto un aspecto pizarroso.

Tanto el conjunto de pequeños diques emplazados en
los basaltos, como la textura ligeramente pizarrosa de las
lutitas en la boquilla, es probable que sean consecuencia de

la intrusión de andesita que fue detectada superficialmente en la parte media del vaso, y a profundidad en la boquilla.

Otras rocas que también se consideran dentro del Grupo Balsas, están representadas por los afloramientos de caliza de forma lenticular que se encuentran en la zona de la boquilla; estas calizas son de color gris oscuro, compactas, de textura microcristalina, con diseminaciones de minerales arcillosos, hematita y limonita.

En la zona de la boquilla, el conglomerado presenta un aspecto tan masivo que difícilmente puede ser distinguida la estratificación, sin embargo, a la cota 1 225 en la margen izquierda, se identificaron capas gruesas de conglomerados inclinadas hacia la ladera, lo cual junto con la posición que guardan las calizas de esta margen, implica que el conglomerado tenga una orientación de NW-SE con inclinación de 30° al este; hacia la parte media y terminal del embalse, es posible identificar capas gruesas, también orientadas hacia el NW con echados variables entre 20 y 30° al este.

Considerando como la base del grupo, el derrame de basaltos que afloran en la parte terminal del vaso y la profundidad de las exploraciones en la boquilla, no es aventurado pensar que en esta zona el espesor del Grupo Balsas sea cerca de 320 m. C. Fries (op. cit.), opina que el espesor del grupo es muy variable, pudiendo alcanzar 2 000 ó 2 500 m; F. Campa et. al. (1980) cree que 500 m pudiera ser un espesor representativo.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS. En la zona de estudio no aflora la roca que la subyace, encontrándose cubierta mediante una superficie de tipo erosional, por la Formación Cuernavaca en la margen derecha principalmente, y por la Rio lita Tilzapotla hacia el sur. Sin embargo en otras partes de la región descansa, con discordancia angular y erosional en-

cima de rocas más antiguas, desde el Esquistos Taxco del Paleozoico hasta la Formación Mezcala del Cretácico Superior. Otras rocas que pueden sobreyacer al Grupo Balsas, son la Formación Tepoztlán y la Andesita Zempoala.

EDAD Y CORRELACION. Dado que sus condiciones de depósito fueron muy semejantes a las del Conglomerado Rojo de Guanajuato, en el cual se encontraron fósiles de posible edad Eoceno Superior u Oligoceno Inferior, así como por relaciones estratigráficas, tradicionalmente se le ha asignado una edad que va del Eoceno tardío al Oligoceno temprano. Sin embargo, Z. de Cserna et. al. (1981, p.22) considera que la base del Grupo Balsas en la región de Taxco, bien pudiera representar al Maestrichtiano y la superior no ser mucho más joven que el Eoceno temprano-medio, lo cual obligaría a hacer una reevaluación en su correlación.

El Grupo Balsas se ha correlacionado con el Conglomerado El Morro del Estado de Hidalgo, El Conglomerado Rojo de Guanajuato en el estado del mismo nombre, así como con la Formación Yanhuitlán del NW de Oaxaca.

ORIGEN. El Grupo Balsas representa un depósito continental de tipo molasa, resultado del período tafrogénico (disipación de esfuerzos), posterior a la fase compresiva de la Orogenia Larámide, acumulándose en fosas tectónicas consecuentes del fallamiento normal característico en esa etapa.

RIOLITA TILZAPOTLA

DEFINICION. El nombre de Riolita Tilzapotla fue propuesto por C. Fries (1960, p. 104), para designar los extensos afloramientos de brecha tobácea riolítica, situados en las cercanías de Tilzapotla, población que se localiza al sur del lago Tequesquitengo y al NW del pueblo de Amacuzac.

DISTRIBUCION. Los afloramientos más cercanos de la Riolita Tilzapotla se ubican en las parte más altas de los cerros que se encuentran al sur y SW, los cuales forman parte de la Sierra de Taxco, como en los cerros Los Cuates y El Huixteco. No aparece en el vaso ni la boquilla, quedando topográficamente muy por arriba del embalse.

LITOLOGIA Y ESPESOR. La siguiente descripción corresponde a las riolitas que se encuentran al norte de Taxco, en la sierra del mismo nombre.

"La unidad está formada por gruesos derrames de ignimbritas, brechas y derrames de composición félsica, color gris claro con ligero tinte rojizo. En la parte inferior presenta aproximadamente 50 m de derrames vítreos (al norte del poblado de Acamixtla), de composición semejante, color negro que intemperiza en amarillo rosáceo y que localmente es llamada "piedra pez". Las rocas volcánicas observadas al microscopio se presentan algunas veces como porfídicas en una matriz criptocristalina de composición félsica; los microfenocristales son de cuarzo, algunas veces sanidina y oligoclasa, su textura es fluidal y se les ha clasificado como riolitas fluidales desvitrificadas y riocitas desvitrificadas. Las ignimbritas se presentan con fragmentos alargados de vidrio que han sufrido una completa desvitrificación." (A. Juárez y S. Moreno, 1977, p.43).

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS. Generalmente descansa sobre las rocas del Grupo Balsas, aunque también se ha cartografiado directamente en forma discordante, encima de las Formaciones Mezcala o Morelos. A su vez se encuentra cubierta discordantemente por rocas volcánicas más recientes o bien por la Formación Cuernavaca del Plio-Pleistoceno.

EDAD Y CORRELACION. Una muestra de circones autigénicos concentrados de la parte inferior de esta unidad litoestratigráfica, procedente de las cercanías de Teacalco, al NE de Taxco, analizada por el método de plomo-alfa, arrojó una edad radiométrica de $26 \pm$ m.a., correspondiente al Oligoceno tardío. (C. Fries, 1960, p.107).

En varias regiones de la cuenca del Balsas-Mezcala son comunes las rocas riolíticas correlacionables con la Riolita Tilzapotla.

ORIGEN. "Estas rocas se originaron de un proceso tectonomagmático íntimamente relacionado con el desarrollo de la Faja Tectónica Mexicana, anterior y totalmente independiente del que originó las rocas que constituyen el Eje Neovolcánico." (Z. de Cserna *et. al.*, 1981, p.24).

SISTEMA CUATERNARIO

FORMACION CUERNAVACA

DEFINICION. C. Fries (1960, p.119) propone el nombre de Formación Cuernavaca para los sedimentos clásticos transportados por agua, bien expuestos y muy extensos, depositados en la cuenca hidrográfica del río Amacuzac y sus afluentes.

DISTRIBUCION. Se encuentra ampliamente distribuida en el área del proyecto, sobre todo en la margen izquierda a lo largo de todo el vaso, observándose también algunos remanentes de esta formación en la margen derecha, próximos a la boquilla.

LITOLOGIA Y ESPESOR. La constitución litológica de la Formación Cuernavaca es variada en extremo. En la zona de estudio se compone de cantos rodados, guijarros y arenas empacadas en arcilla y/o arena; los fragmentos líticos son de tipo andesítico y basáltico, principalmente, presentando las capas una estratificación irregular de espesor variable. Hacia la parte superior de la formación es reconocible la presencia de conglomerado con cantos más grandes, así como intervalos de arenas y material tobáceo con buena estratificación.

Como es una formación esencialmente granular, poco compacta, es característico que permita el desarrollo de corrientes encajonadas en forma de V y gargantas profundas, con desniveles de hasta 200 m, como en los proyectos La Concepción y Tepextitla, 14 y 18 Km aguas arriba del proyecto, respectivamente.

Esta formación alcanza un espesor de más de 400 m en el Estado de Morelos; en el área de estudio el espesor de la unidad solo alcanza 150 m.

RELACIONES ESTRATIGRAFICAS. Descansa discordantemente encima de la Riolita Tilzapotla, o bien, de igual forma, sobre las rocas del Grupo BALSAS. C. Fries (op. cit.) indica que la unidad inmediata suprayacente es el Grupo Chichinautzin, descansando discordantemente sobre la Formación Cuernavaca.

EDAD Y CORRELACION. Por sus relaciones estratigráficas, C. Fries (op. cit.), le asigna una edad del Plioceno tardío al Pleistoceno temprano, siendo correlacionable con la Formación Chilpancingo del centro oriente de Guerrero y con la Formación Tarango de la cuenca de México.

ORIGEN. " Se piensa que la formación se depositó

principalmente en forma de abanicos aluviales coalescentes por medio de corrientes originadas en terrenos elevados, donde existían grandes cantidades de detritos volcánicos relativamente poco consolidados y muy susceptibles a la erosión. Los depósitos más masivos probablemente fueron emplazados como lahares (corrientes de lodo volcánico)." (C. Fries, 1960, p. 123).

ALUVION

Se designa con este nombre a los depósitos no consolidados más grandes que varían desde fragmentos angulosos y gruesos, hasta limo y arcilla a lo largo del cauce, así como materiales poco o nada consolidados de arena, limo y arcilla en pequeñas depresiones.

Estos depósitos cubren extensiones relativamente reducidas en la cuenca del río Chontalcuatlán, presentando un espesor en la zona de la boquilla, menor a 10 m.

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

Las rocas ígneas intrusivas que se muestran en el plano geológico anexo (Plano No. 3), son o se consideran indudablemente más recientes que el Terciario temprano, ya que se alojan en conglomerados del Grupo Balsas del Eoceno-Oligoceno, y no se observó que cortaran la Formación Cuernavaca de edad plio-pleistocénica, que los sobreyace.

Se trata de un tronco de composición andesítica que cuenta con dos afloramientos en la parte media del vaso,

aproximadamente a 1.2 y 2.4 Km de la boquilla. El más proximo a la boquilla es el más importante por sus dimensiones, ya que aflora a lo largo de 500 m en el cauce del río, llegando hasta la cota 1 225.

El segundo afloramiento lo constituye un pequeño cerro en la margen derecha que tiene una longitud máxima de 300 m aproximadamente y altura no mayor de 40 m.

Megascópicamente el intrusivo se presenta como una roca de color gris verdoso dominante, con variaciones locales a pardo rojizo, muy dura, textura porfídica con matriz fanerítica, distinguiéndose algunos fenocristales de ferromagnesianos y en menor proporción de cuarzo. En lámina delgada se observó que mineralógicamente está constituida en su mayor parte por andesina y en cantidad menor por augita, apatito y cuarzo, lo cual permite clasificar a la roca como una andesita de augita. A lo largo de todo el afloramiento pueden ser reconocidas ligeras variaciones en su textura, volviéndose en ocasiones de grano más fino, pero siempre de caracter porfídico.

Es característico que presente abundante xenolitos de composición más alcalina (sienitas), los cuales varían en tamaño desde unos cuantos milímetros, hasta 30 cm aproximadamente.

El intrusivo presenta un sistema de fracturamiento en dos direcciones, el primero muy marcado, tiene una orientación NW 60°SE y es vertical, impartiendo a la roca un cierto aspecto columnar, mientras que el segundo, menos claro, es prácticamente perpendicular al primero. Las fracturas sin embargo, no influyen para que la roca pierda consistencia.

El caracter intrusivo de la andesita es evidente en el flanco oriental del afloramiento mayor, donde claramente se observa como la roca ígnea se introduce en el conglomerado, produciendo en éste, en la zona de contacto, una dureza mayor a la que en general presentan los conglomerados del sitio, seguramente originada por una silicificación posterior.

El segundo afloramiento, aún cuando está bien delimitado, su relación con la roca encajonante no se observa tan claramente como en el caso anterior, puesto que se encuentra cubierto por una capa de suelo que enmascara el contacto pero sus características texturales son semejantes a la andesita anterior.

El intrusivo también fue cortado con la exploración No. IV de la boquilla, después de 97 m de rocas del Grupo Balsas, en un total de 53 m, sin alcanzar la base de la roca ígneas. El efecto más notable que se observa en la roca encajonante de la intrusión, es el ligero metamorfismo e intenso fracturamiento de un horizonte de lutitas que se encuentran sobre el intrusivo.

Una muestra examinada en lámina delgada del intrusivo (Análisis Petrográfico, Lámina No. 5) a 105 m de profundidad, lo describe como una roca de textura porfídica seriada, donde la matriz está constituida en su mayor parte por plagioclasas intermedias y algo de ferromagnesianos, con algunos fenocristales de cuarzo, por lo que ha sido clasificada como una andesita de augita. Esta clasificación coincide con las características de la andesita intrusiva que aflora en el vaso, por lo que se considera que constituyen un mismo cuerpo intrusivo.

IV.2 TECTONICA Y GEOLOGIA HISTORICA

IV.2.1 TECTONICA REGIONAL

En sus diferentes estudios regionales, F. Campa et. al. (1974, 1978, 1980), ha analizado las distintas fases de deformación a las que se han visto sujetas las rocas de la región, de igual forma que se analizan las formaciones en la estratigrafía, es decir, de la más antigua a la más reciente.

La autora referida parte de la base que los sedimentos mesozoicos descansan discordantemente sobre un basamento paleozoico o precámbrico que no aflora en el área de estudio, pero que es válido inferir al considerar el desarrollo de una plataforma arrecifal en este sitio.

Asimismo, esta autora cree que durante el Cretácico Inferior las secuencias estratigráficas se fueron individualizando hasta corresponder a dominios paleogeográficos opuestos. "Hasta el Albiano prevalecieron condiciones de vulcanismo andesítico en el occidente de esta porción de México, asociado a la subducción del fondo oceánico, en oposición a una sedimentación calcárea en el oriente" (F. Campa, 1978, p. 57), de tal forma que al término del Cretácico Inferior (Albiano), en el área de Huetamo-Coyuca, y a principios del Cretácico Superior en la de Morelos-Guerrero, culmina el desarrollo de la plataforma, en oposición a los depósitos volcánicos y volcanoclásticos interestratificados con terrígenos y calizas que caracterizan la zona más occidental. En otras palabras, una zona externa y una zona interna. (op. cit., p.61).

"De esta manera se desarrollan dos dominios paleogeográficos, que son opuestos en sus facies pero paralelos

en tiempo: un dominio de plataforma oriental externo y un dominio interno de arco insular-mar marginal". (op. cit., p. 58).

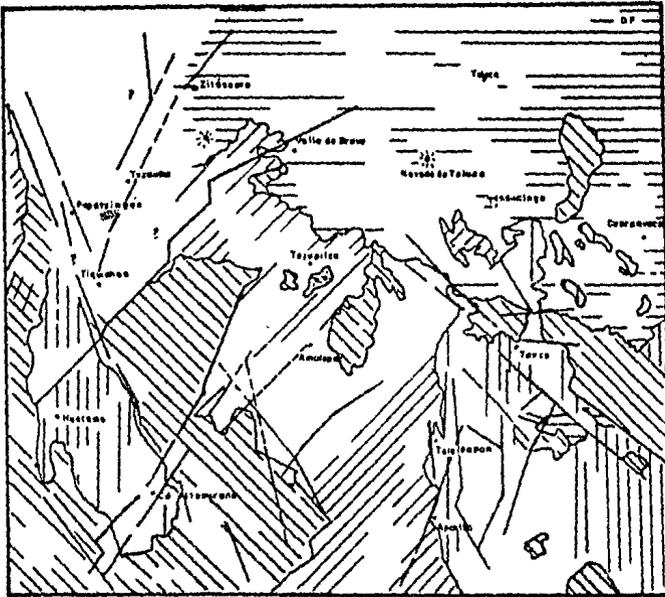
Según F. Campa et. al. la zona externa corresponde a la región de Morelos-Guerrero, mientras que la secuencia volcánico-sedimentaria metamorfozada correspondiente al dominio de arco insular-mar marginal de la zona interna, se encuentra ahora emplazada en la región de Teloloapan-Arcelia-Tejupilco. La zona de Huetamo-Coyuca, representa la transición entre estos dos dominios. (op. cit., p.61-62) (Figura No. 5).

Z. de Cserna (citado por SPP, 1982, p.62) considera "que las rocas volcánicas del área de Teloloapan-Arcelia, más que formar la secuencia volcánico-sedimentaria del arco insular-mar marginal, sugerida por F. Campa et. al., pertenecen a una etapa volcánica Cenomaniana-Turoniana, o bien al basamento de rocas volcánicas antiguas, todo esto en un modo paleogeográfico que no muestra mayores complicaciones tectónicas".

El mismo autor (ibid) opina que "la ausencia de caliza de plataforma en la Formación Morelos, al poniente de Teloloapan, se debe a un cambio de facies por la presencia de una cuenca en este sitio durante el Albiano-Cenomaniano."

"Durante el Cretácico Superior hasta el Paleoceno, en la región oriental continúa la sedimentación marina con el depósito de un flysch que rellena la cuenca finalmente (Formación Mezcala), mientras que en la región occidental no hay ningún depósito, y en la zona de transición se depositan capas rojas de ambiente continental marginal. Esto evidencia que la región occidental sufre una gran deformación durante

**Mapa Tectónico de la Región comprendida entre la Cd. de México,
Zitácuaro, Mich., Iguala, Gro., Huasteco, Mich.**



- 
 Plio-Cuaternario, sin deformación compresional
- 
 Eoceno-Oligoceno-Mioceno, D. deformación tectónica
- 
 Cretácico Inferior-Jurásico Superior, zona entera
E. deformación paleozoa
- 
 Cretácico Inferior-Jurásico Superior, zona lateral
E. deformación sinemática

Tamaño de Escala, 1:50,000

el Cenomaniano, que hace que el dominio interno sufra plegamiento y metamorfismo regional, se efectúe la intrusión de masas graníticas y la zona de transición emerja definitivamente hasta nuestros días." (F. Campa, 1978, p.58).

Entonces, "la primera fase de deformación compresional se llevó a cabo durante el Cenomaniano y su manifestación más clara es el metamorfismo que plegó y folió la secuencia volcánico-sedimentaria que se había depositado hasta el Albiano, y que ahora se encuentra en la parte central." (op. cit., p.60). "Esta deformación compresional tiene polaridad manifiesta de occidente a oriente." (op. cit., p.63).

Por lo tanto, "las estructuras más antiguas de la región son necesariamente aquellas que van asociadas al metamorfismo. La secuencia volcánico-sedimentaria presenta como rasgo distintivo la foliación y los pliegues de estilo diverso; la foliación afecta todos los relictos de las estructuras originales y aunque no logra borrarlos debido a que el metamorfismo es débil (facies de esquisto verde), aplasta los componentes y recristaliza a minerales nuevos propiamente metamórficos: clorita, mica blanca, epidota, granate." (op. cit., p. 60).

Al término del Cretácico e inicio del Terciario, durante el Paleoceno, "ocurrió la deformación compresional que dió origen a la formación de grandes estructuras anticlinales y sinclinales que afectan a los depósitos de la plataforma, mismos que tienen una tendencia a recostarse hacia el oriente." (ibid.).

F. Campa, (op. cit., p. 59) considera que en este tiempo además de la formación del sistema de pliegues anticlinales y sinclinales, la deformación compresional super-

puesta a la del Cenomaniano, "provoca la aloctonfa y corrimiento de los depósitos del dominio interno sobre la plataforma hasta su emplazamiento actual". La misma autora opina que la polaridad de la deformación Paleocena es de oriente a occidente y que en la región de transición de Michoacán y Guerrero, continuaba el depósito de capas rojas continentales.

"En el intervalo Eoceno-Oligoceno toda la región emerge en definitiva hasta nuestros días y tiene una historia común: un intenso fallamiento normal acompañado de sedimentación clástica continental sobre las partes bajas de la nueva topografía." (SPP, 1982, p.60).

"Estos depósitos fueron seguidos por importantes emisiones volcánicas silícicas que formaron la cubierta ignimbrítica del área de Taxco." (*ibid*).

Según F. Campa (1978, p.62), una tercera fase de deformación compresional, superpuesta a las dos anteriores ocurre a fines del Mioceno, y está evidenciada "por las posiciones anormalmente elevadas del metamórfico conjuntamente con otras unidades litoestratigráficas pre-miocénicas y que conforman combamientos amplios." "A esta fase corresponde la formación del gran anticlinal Tzitzio-Tiquicheo del SE de Michoacán que incluye sedimentos continentales del Terciario Inferior." (SPP, 1982, p.66).

"La tercera fase marca, a su vez, el final de la deformación esencialmente compresional y sirve de paso a la deformación extensional que sigue activa hasta nuestros días." (F. Campa, 1978, p.63). Esta deformación neotectónica produce las primeras fosas: desde el Plioceno hasta el Reciente se producen movimientos tensionales principalmente, que provocan un fallamiento normal y sistemas de diaclasas y el relleno

posterior de las fosas." Las fosas más características se observan en las mesetas del Valle de Ixtapan de la Sal: la de Coatepec Harinas-Pilcaya, Ixtapan de la Sal-El Mogote, Villa Guerrero-Zumpahuacán, rellenos epiclásticos de la Formación Cuernavaca con una orientación NW-SE." (op. cit.). Asimismo comienza el vulcanismo básico-andesítico-basáltico hasta llegar a nuestros días con la formación de conos y coladas de material volcánico que también ha conformado el Eje Neovolcánico, y que cubre al conjunto de rocas y sus deformaciones compresionales superpuestas." (op. cit., p.64).

IV.2.2 TECTONICA LOCAL

La cuenca del río Chontalcuatlán en el área de estudio representa una fosa tectónica probablemente post-miocénica, rodeada de norte a SE por cerros de composición calcárea pertenecientes a la Formación Morelos, al sur y SW por la sierra riolítica de Taxco y hacia el NE por las rocas metamórficas de la Sierra de Ixtapan-Tonatico. Esta depresión fue rellena por sedimentos clásticos plio-pleistocénicos de la Formación Cuernavaca.

En el capítulo de estratigrafía ya se ha mencionado que las rocas aflorantes en la boquilla y vaso del proyecto son de edad terciaria y cuaternaria, y que los afloramientos más próximos de rocas cretácicas, se encuentran a 2 Km aguas abajo y 7.5Km aguas arriba, respectivamente, mientras que las metamórficas, aproximadamente 14 Km hacia el NW.

Las rocas del área de estudio no se encuentran afectadas por alguna estructura mayor, anticlinales o sinclinales reconocibles, aún cuando las capas del Grupo Balsas presentan

inclinaciones variables, no mayores de 30° dirigidas al este, y que de acuerdo con F. Campa, (1980, p.17) representan la evidencia de un probable combamiento a fines del Mioceno.

Otras estructuras observadas, también importantes, corresponden a dos grandes fracturas de caracter regional, de nominadas Tecuinapa y Cuítlapa, las cuales atraviesan perpendicularmente el embalse hacia la parte media y terminal del vaso. Estas fracturas tienen una dirección de NE 15° SW y NE 40° SE respectivamente, y se presume que pueden corresponder a zonas de fallamiento, pero debido al enmascaramiento que produce la Formación Cuernavaca, que fue depositada posteriormente, no se pudo lograr una definición más precisa de estas estructuras. Sin embargo, de una u otra forma, al encontrarse cubierta por una formación de caracter granular, poco compacta, es casi seguro que se encuentren rellenas de material arcilloso.

Existen también algunas fallas locales o deslizamientos de bloques relativamente grandes, ocasionados por la inestabilidad de los mismos, por lo que no se les puede atribuir a movimientos de origen tectónico. Estos bloques se encuentran actualmente estables por lo que se considera que no tienen efectos negativos en la construcción de la obra. Claro ejemplo de ello es el sistema de pequeñas fallas normales localizadas a 3.5 Km aguas arriba de la boquilla, sobre la margen izquierda, a la altura del poblado Piedras Negras, las cuales tienen una orientación de 54° al NW y fuerte inclinación, variable de 73° a 80° hacia el SW. Estas fallas afectan solamente a conglomerados del Grupo Balsas, encontrándose selladas por arcillas del mismo grupo, o provenientes del desgaste de la Formación Cuernavaca suprayacente.

Asimismo se observaron algunas zonas de fractura-

miento menor distribuidas en forma irregular en toda el área. Las fracturas son debidas a esfuerzos de tensión originados por la pérdida de humedad de las rocas, afectando tanto al Grupo Balsas como a la Formación Cuernavaca, considerándose de poca importancia puesto que tienen poco alcance a profundidad. Así, las fracturas menores pueden ser agrupadas en dos sistemas principales cuyas orientaciones son NE 60°SW y NW 75°SE, con longitudes que van desde unas cuantas decenas hasta varios cientos de metros.

Del mismo modo, las rocas de la Riolita Tilzapotla, poco relevantes para el proyecto, puesto que topográficamente se encuentran por arriba del embalse, presentan algunas zonas de fractura debidas a la contracción por enfriamiento que llegan a separar bloques de diversos tamaños, en general de varias decenas de metros cúbicos.

En forma semejante a la Riolita Tilzapotla, la Formación Cuernavaca queda bastante arriba del nivel máximo de embalse, por lo tanto las estructuras que presenta, no afectarán mayormente al proyecto. Puede decirse que dicha unidad está afectada por un sistema de fracturamiento vertical no muy intenso, originado por la pérdida de humedad de los materiales; no se descarta la posibilidad de fracturas debidas a movimientos corticales, ya que esta formación fue depositada durante el Terciario Superior (Plió-Pleistoceno), tiempo en el cual todavía se registraron algunos movimientos tectónicos importantes, de caracter tensional principalmente, así como a la posible influencia del vulcanismo que dió origen al Eje Neovolcánico.

IV.2.3 GEOLOGIA HISTORICA

La plataforma de Morelos-Guerrero se caracteriza por el depósito de sedimentos marinos mesozoicos que cubren un rango cronoestratigráfico que abarca desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior. Esta secuencia descansa sobre un basamento metamórfico precámbrico, representado aparentemente por el Esquisto Taxco que subyace a las metalavas andesíticas de la Rocaverde Taxco Viejo. (SPP, 1982, p.59).

De acuerdo con C. Fries (1960, p.160), estas rocas formaron una paleopenínsula que se hundió y emergió a través de la historia geológica regional, actuando como control estructural en la sedimentación de la plataforma.

F. Campa (citado en SPP, 1982, p.59) "encuentra mucha semejanza entre las rocas del Esquisto Taxco descritas por C. Fries y las rocas volcánico-sedimentarias del Cretácico Inferior que afloran al occidente de Teloloapan, por lo que la edad del Esquisto Taxco pudiera no ser precámbrica, y en ese caso esta unidad no formaría parte del basamento metamórfico sobre el que evolucionó la secuencia sedimentaria mesozoica" de la zona externa.

"El primer evento registrado en la región es el depósito de lavas, brechas y tobas riolíticas con materiales clásticos interestratificados que indicarían continuas regresiones y transgresiones, formando actualmente el Esquisto Taxco. Estas rocas se acumularon en fechas desconocidas, probablemente en la segunda mitad del Paleozoico; fueron sujetas a deformación y metamorfismo, y más tarde a erosión." (C. Fries, 1960, p.160).

"Encima del esquisto erosionado fueron depositadas las rocas andesíticas de la Rocaverde Taxco Viejo, probablemente en la segunda mitad del Triásico. Las rocas volcánicas

verdes parecen haber sido plegadas y metamorfizadas ligeramente antes del depósito de la siguiente unidad estratigráfica" (ibid).

El siguiente evento geológico está representado por un largo hiato de erosión o no depósito, " y no es sino hasta el Jurásico Superior (Oxfordiano) cuando acaece la primera transgresión mesozoica en el sur de México, evidenciada por los sedimentos pelíticos de ambiente marino de la Formación Acahuizotla, los que debieron haberse acumulado en una superficie irregular." (Z. de Cserna, 1965, p.57).

Se cree que después del depósito de la Formación Acahuizotla pudo haber algo de plegamiento débil o de combamiento, seguido de una fuerte actividad erosiva que atacó los sedimentos de la formación, de tal forma que solo quedaron remanentes muy delgados y aislados debajo de la formación suprayacente inmediata. (C. Fries, 1960, p. 160).

Durante el Neocomiano probablemente se inicia la transgresión cretácica, originándose los depósitos pelíticos marinos de la Formación Acuitlapán. (op. cit.).

En el transcurso del depósito de la Formación Acuitlapán "el caracter de los sedimentos fue predominantemente arcilloso, pues los terrigenos derivan del Esquistos Taxco, pero a medida que la erosión nivelaba las tierras próximas, disminuía la sedimentación pelítica, de modo que ya para el Aptiano, dominan los sedimentos calcáreos de caracter nerítico de la Formación Xochicalco." (F. Bonet, 1971, p.18).

"Posteriormente al depósito de la Formación Xochicalco ocurrió en la región un levantamiento que dió origen a la paleopenínsula de Taxco y un hiato largo, aunque de dura-

ción desconocida, ocurrieron entre el depósito de la caliza Xochicalco y el de la Formación Morelos suprayacente, evidenciada por la discordancia que pone en contacto a la primera con diferentes horizontes de la segunda." (SPP, 1982, p.59).

Es hasta el Albiano Superior que continúa la transgresión, "evidenciada por el tipo de sedimentación calcárea de ambiente somero, que da lugar en algunas partes al desarrollo de biostromas con rudistas de carácter subarrecifal, quedando entre ellas espacios neríticos, clásicos de la Formación Morelos." (F. Bonet, 1971, p.19), la cual durante su depósito bordeaba a la paleopenínsula antes citada, la que se extendía con rumbo al NW por los Estados de México y Michoacán. "El relieve de la superficie pre-Morelos fue considerable y la formación no llegó a cubrir completamente la papeopenínsula de Taxco." (C. Fries, 1960, p.161).

Posteriormente al depósito de esta formación, "en la postrimería del Cenomaniano, los mares se retiraron, debido a levantamientos producidos quizá por el emplazamiento de varios troncos graníticos que intrusionan a las Formaciones Xochicalco y Morelos, con la erosión diferencial en la cima de ésta última" (SPP, 1982, p.59), sobre la que se depositó, a principios del Turoniano, la Formación Cuautla.

Después de esta regresión, el mar volvió a ocupar prácticamente las mismas áreas, originando que desde finales del Turoniano, principios del Coniaciano se marque un cambio drástico en la sedimentación de la Plataforma Morelos-Guerrero. (C. Fries, 1960, p.161). Se interrumpe la sedimentación de la caliza, iniciándose el depósito de lodo, limo, arena y conglomerado de grano fino, sedimentos de naturaleza clástica, tipo flysch, que ahora constituyen la Formación Mezcala,

"como resultado del levantamiento de gran parte de las zonas volcánico-sedimentarias ubicadas en la región occidental de esta región de México." (SPP, 1982, p.59).

"Al término del Cretácico e inicio del Terciario, ocurrieron las deformaciones compresionales que dan como resultado la formación de un sistema de pliegues anticlinales y sinclinales." (op. cit., p.60).

"Después del período de compresión, la descompresión subsecuente (tafrogenia), ocasionó el descenso vertical 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), cuya acumulación y conservación fue facilitándose en parte por el fallamiento penecontemporáneo y en parte por el fallamiento posterior al depósito del Grupo Balsas del Eoceno-Oligoceno. El depósito de materiales conglomeráticos fue contemporáneo de algunos derrames lávicos de basalto y andesita incluidos en el mismo grupo." (SPP, 1982, p.60).

Estos depósitos fueron seguidos por importantes emisiones volcánicas silíceas correspondientes a la Riolita Tilzapotla y por los depósitos volcanoclásticos y volcánicos de la Formación Tepoztlán.

Hacia el final del Plioceno se renovó el fallamiento y comenzó el depósito de material epiclástico de la Formación Cuernavaca. Finalmente la extravasación de las lavas del Grupo Chichinautzin debió haberse iniciado hacia el final del Plioceno y particularmente durante el Pleistoceno, a causa de las fallas laterales profundas de la corteza que definen la zona Neovolcánica. (C. Fries, 1960, p.163-164).

CAPITULO V ESTUDIOS DE APOYO

V.1 GEOFISICA

El primer tipo de investigación realizado en el proyecto, fue de caracter indirecto, por medio de exploraciones geofísicas eléctricas de resistividad, obteniéndose de esta forma un primer conocimiento de las características geológicas que el terreno podía presentar a profundidad.

En la zona de la boquilla se realizaron ocho perfiles geofísicos con un total de 29 sondeos eléctricos resistivos verticales, de los cuales 22 de ellos son de corto alcance y los 7 restantes se hicieron más profundos. (Plano No. 2).

Sobre el perfil P1, que corresponde al eje de la boquilla, se hicieron 8 sondeos eléctricos de los cuales uno (el punto No. 103), se investigó doble (normal y paralelo a la dirección del cauce). La profundidad teórica de investigación fue de 520 m para el punto 101 y entre 100 y 108 m para los 7 restantes.

Los otros 7 perfiles se ejecutaron en forma perpendicular al eje de la boquilla. Los perfiles P2, P3 y P4 están localizados sobre la margen izquierda, variando la profundidad de exploración entre 120 y 520 m. El perfil P5 se localiza en el cauce del río con una profundidad teórica de 120 m. Los perfiles P6, P7 y P8 se localizan sobre la margen derecha del río, alcanzando una profundidad de investigación de 100 a 120 m.

Para todo el estudio se empleó el sistema Wenner en el desplazamiento de los electrodos.

El estudio geofísico realizado pone en evidencia resistividades que varían entre 10 y 200 ohmios-metro, que pueden corresponder a los cuatro grandes grupos que a continuación se describen.

GRUPO I

Las resistividades del presente grupo se localizan a la vertical del perfil P2. Pueden asociarse con una alternancia de estratos constituidos por materiales granulares de compactación y/o cementación ligeramente variable, generalmente buena. Los valores resistivos son comprendidos entre 90 y 280 ohmios-metro. Se indican en el Plano No. 2 por un ascariado espaciado e inclinado hacia la derecha. Tiene un espesor de por lo menos 280 m, con la posibilidad de ser mayor. Teniendo en cuenta el valor óhmico alto y la verticalidad de los cantiles en esta zona, parece ser que estos materiales tengan una baja permeabilidad.

GRUPO II

Las resistividades que forman este grupo se indican en el Plano No. 2 por un ascariado horizontal, interesan los perfiles P1 y P3 a P8, y representan prácticamente toda el área que pudiera ocupar la boquilla en proyecto. Los valores varían entre 10 y 200 ohmios-metro, siendo las resistividades comprendidas entre 30 y 90 ohmios-metro las que más área ocupan. Deben corresponder con materiales granulares (arena, gravas, boleos y fragmentos) empacados a veces en matriz arcillosa para los valores bajos (inferiores a 20 ohmios-metro). Para los valores intermedios, comprendidos entre 25 y 50 ohmios-metros, estos horizontes deberían presentarse algo compactos y/o cementados a veces.

Tienen un espesor de unos 30 m en la margen izquierda entre los perfiles P3 y P4, mientras que en el fondo

de la barranca y en margen derecha tienen un espesor mayor de 50 m, que es la profundidad alcanzada por el estudio.

Como se indica en párrafos anteriores, se trata de un conjunto de materiales de compactación variable y por consecuencia de permeabilidad también variable, generalmente entre media, para los valores resistivos intermedios, y menor para las resistividades bajas (por causa de matriz arcillosa) y altas (por el relativamente alto grado de compactación y/o cementación).

GRUPO III

Las resistividades que interesan este grupo se asocian de tal forma que parecen servir de base a la de los materiales de los grupos I y II. En este grupo se deben considerar a ámbas margenes por separado.

La margen izquierda, tal como se puede observar en el Plano No. 2, presenta resistividades con valores altos, casi todas superiores a 400 ohmios-metros. Deberían corresponder con una formación rocosa de tipo calcáreo (?). Se identifica bien en el perfil P1, entre los puntos 101 a 103 y en los perfiles P2, P3 y P4. A partir del punto 103 parecen desaparecer en profundidad o por lo menos pudieran encontrarse a mayor profundidad que la investigada.

En margen derecha, estos valores se presentan en forma más errática, pero muy probablemente no corresponden al mismo tipo de roca que en la margen izquierda.

Por otro lado, los valores de este grupo no se detectan en el fondo de la barranca.

GRUPO IV

Las resistividades que forman este grupo son de poca extensión y se localizan en el cauce del río. Tienen valores comprendidos entre 20 y 50 ohmios-metro. Corresponden con los materiales acarreados, en un espesor inferior a los 10 m. Son altamente permeables.

Existe en toda el área investigada una capa superficial que varía entre 1 y 2 m de espesor que corresponde a la zona meteorizada.

El estudio geofísico conjuntamente con la exploración geológica superficial, sirvieron para planear la subsecuente etapa de exploración subterránea con recuperación de núcleos, misma que permitió conocer de forma directa las características físicas de las rocas a profundidad, por lo que es conveniente hacer las siguientes aclaraciones respecto a los resultados obtenidos del estudio geofísico.

1. Las rocas de los grupos I, II y III pertenecen al Grupo Balsas y las variaciones de permeabilidad están consignadas en el inciso V.2 de este mismo capítulo. El posible fondo rocoso (Grupo III) es en realidad el mismo conglomerado Balsas, en ámbas margenes, pero muy compacto, de ahí que se hayan registrado altos valores de resistividad.
2. En el extremo izquierdo del perfil P1, así como a lo largo de todo el perfil P2, aproximadamente a la cota 1 350, se localiza el contacto del Grupo Balsas con la Formación Cuernavaca, constituida por tobas arenosas, arenas, limos y conglomerados poco compactos, siendo una de sus características principales, la alta permeabilidad que presenta, por lo que no es posible con-

siderar a las rocas de esta formación dentro del grupo I.

V.2 PERFORACIONES

Para conocer el espesor de los depósitos de aluvión en el cauce del río, del talud expuesto en las laderas, y lo más importante, las condiciones geológicas y físicas de las rocas en el subsuelo de la boquilla y el vaso, se programaron 9 barrenos verticales con recuperación de núcleos.

Sobre el eje de la boquilla se llevaron a cabo 7 exploraciones y 2 más en el vaso, a una profundidad promedio de 120.30 m, sumando un total de 1 038.50 m perforados, de los cuales 20 m se perforaron en roca suelta y 1 018.50 m en roca fija, con una longitud recuperada de 927.35 m, dando un promedio general de recuperación de núcleos de 87.20%. El índice de calidad de la roca es de 79.16% lo que significa buena calidad.

La ubicación y profundidad precisa de cada exploración se indican en el Plano No. 4. Las perforaciones se efectuaron con barril doble giratorio operando en diámetro NQ con máquinas Long Year 34.

Es importante aclarar que se registraron pérdidas totales y parciales del fluido de perforación en todos los sondeos, excepto en el número IX, localizándose la mayoría de estas pérdidas sobre la margen izquierda, además de tramos cementados en la mayor parte de las exploraciones, a excepción de las perforaciones IV y VII.

A medida que los barrenos se iban profundizando, se realizaban pruebas de permeabilidad tipo Lefranc y Lugeon, de acuerdo a las condiciones físicas de las rocas que se estuvieran probando. Las Lefranc variaron de altamente permeables (10^{-1} cm/seg) a poco permeables (10^{-5} cm/seg). Los ensayos Lugeon se comportaron impermeables con 0.0 Unidades Lugeon (U.L.) a altamente permeables con 61.5 U.L., además de presentarse 9 tramos no determinados analíticamente (NDA). Los resultados en general indican rocas impermeables con presiones hasta de 20.0 Kg/cm^2 .

Todos los datos mencionados anteriormente se agrupan en los perfiles individuales de cada exploración, los cuales se encuentran inmediatamente después de la descripción de cada sondeo.

En esta parte es conveniente señalar los rangos que fueron utilizados para hacer la clasificación de calidad y permeabilidad de las rocas.

INDICE DE CALIDAD DE ROCA (ICR)

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

PERMEABILIDAD PRUEBA LUGEON

de 0	a	3 U.L.	impermeable
" 3	a	11 "	poco permeable
" 11	a	25 "	permeable
" 25	en adelante		muy permeable

PERMEABILIDAD PRUEBA LEFRANC

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

Se describe a continuación la litología simplificada que se identificó a las diferentes profundidades de cada sondeo, así como su desarrollo específico.

EXPLORACION I

Estación 0 + 005

Elevación 1 296.00

Profundidad 150.00 m

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	5.00	Depósitos de talud.
5.00	7.00	Muestra de canal de conglomerado polimíctico.
7.00	8.00	Fragmentos de conglomerado polimíctico.
8.00	14.00	Arenisca de grano fino, fracturada.
14.00	18.60	Conglomerado calcáreo, fracturado.
18.60	20.00	Muestra de canal de conglomerado calcáreo.
20.00	22.50	Fragmentos de conglomerado calcáreo.
22.50	31.50	Conglomerado polimíctico, fracturado.
31.50	32.50	Fragmentos de conglomerado calcáreo.
32.50	37.00	Conglomerado polimíctico, fracturado.
37.00	40.00	Conglomerado polimíctico, sano.
40.00	75.00	Conglomerado polimíctico, fracturado.
75.00	117.00	Conglomerado polimíctico, sano.
117.00	150.00	Conglomerado ígneo, sano.

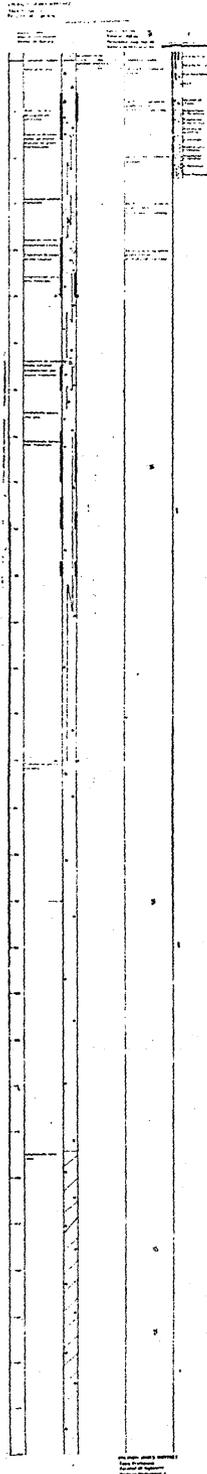
El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta 90.00 m. El tubo de ademe se profundizó a 25.00 m. Se registró pérdida parcial del agua de enjuague de 6.00 a 8.00 de 18.60 a 22.50, de 32.50 a 35.00 y de 46.50 a 48.00 m. Se registró pérdida total del agua de enjuague de 3.00 a 6.00, de 22.50 a 25.00, de 39.40 a 45.00, de 48.00 a 50.00 y de 53.50 a 55.00 m. Se cementó el tramo de 25.00 a 75.00 m. El promedio de recuperación de las muestras extraídas fue de 81.15%* con una longitud recuperada de 117.67 m. El índice de calidad de la roca (ICR) es regular, con 65.53%. (Perfil No. 1).

Se realizaron 29 pruebas de permeabilidad, 4 de tipo Lefranc y 25 de tipo Lugeon, con 2 tramos no probados, de 0.00 a 5.00 y de 10.00 a 15.00 m de profundidad, en el primero por existir pérdida total del agua de enjuague y en el segundo por presentarse caídos. Los resultados de estas pruebas indican que las rocas se comportan de permeables a impermeables.

De manera general se puede decir que hasta los 55.00 m de profundidad, la columna es permeable soportando una presión máxima de 6.70 Kg/cm^2 ; a partir de esa profundidad y hasta donde termina el sondeo, las rocas son impermeables, variando su rango de permeabilidad de 0.00 a 2.20 U.L., soportando presiones máximas comprendidas entre 13.60 y 20.00 Kg/cm^2 , presentando una zona poco permeable localizada entre los 105.00 y 110.00 m.

De lo anterior podemos concluir que desde la superficie y hasta los 55.00 m de profundidad, el conglomerado es permeable debido al fracturamiento que presenta, y que desde esta profundidad a los 150.00 m, se encuentra sano y por lo tanto es impermeable.

(*) Para el cálculo del porcentaje de recuperación se descontará la parte correspondiente a la porción de relleno o depósito de talud, considerando únicamente roca.



EXPLORACION II

Estación 0 + 090

Elevación 1 243.00

Profundidad 91.00 m

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	4.00	Fragmentos de conglomerado polimictico.
4.00	6.00	Muestra de canal de conglomerado polimictico.
6.00	15.80	Fragmentos de conglomerado polimictico.
15.80	78.00	Conglomerado polimictico, fracturado.
78.00	87.00	Conglomerado polimictico, sano.
87.00	91.00	Conglomerado polimictico, fracturado.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta 67.00 m. El tubo de ademe se profundizó a 30.00 m. Se registró pérdida parcial del agua de enjuague de 2.50 a 5.00, de 20.00 a 23.50, de 37.00 a 40.00, de 46.20 a 50.00, de 55.00 a 58.00 y de 64.00 a 75.00 m. Se registró pérdida total de 5.00 a 19.00, de 23.50 a 35.00 y de 40.00 a 46.20 m. Se cementó el tramo de 15.00 a 25.00 y de 30.00 a 75.00 m. El promedio de recuperación de las muestras extraídas fue de 61.65%, con una longitud recuperada de 56.02 m. El índice de calidad de roca (ICR) es malo, con 39.60%. (perfil No. 2).

Se realizaron 15 pruebas de permeabilidad, 1 de tipo Lefranc y 14 de tipo Lugeon, con 4 tramos no probados por existir pérdida total del agua de enjuague, de 0.00 a 15.00 y de 25.00 a 30.00 m de profundidad. Los resultados de estas pruebas indican que las rocas se comportan de muy permeables a impermeables.

En este caso las rocas permeables se presentan desde la superficie hasta una profundidad de 75.00 m, variando su rango de permeabilidad de 10.00 a 39.00 U.L., soportando presiones máximas comprendidas entre 1.60 y 7.10 Kg/cm², con algunas intercalaciones poco importantes de rocas poco permeables e impermeables de los 45.00 a los 55.00 y de 65.00 a 70.00 m.

A partir de los 75.00 m de profundidad y hasta donde termina el sondeo, las rocas se comportan impermeables, variando su rango de permeabilidad de 0.00 a 3.00 U.L., soportando presiones máximas comprendidas entre 10.00 y 11.60 Kg/cm².

De lo anterior se deduce que el espesor de rocas permeables corresponde al conglomerado con fracturamiento, mismo que a partir de los 78.00 m se presenta sano y por lo tanto impermeable.

EXPLORACION III

Estación 0 + 175

Elevación 1 174.50

Profundidad 107.00 m

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	2.50	Muestra de canal de conglomerado ígneo.
2.50	33.00	Conglomerado ígneo, fracturado.
33.00	59.00	Conglomerado polimíctico, fracturado.
59.00	64.00	Conglomerado ígneo, fracturado.
64.00	68.50	Conglomerado polimíctico, fracturado.
68.50	78.00	Conglomerado ígneo, sano.
78.00	85.00	Conglomerado polimíctico, sano.
85.00	94.00	Conglomerado ígneo, sano.
94.00	107.00	Conglomerado calcáreo, sano.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta 50.00 m. El tubo de ademe se profundizó a 28.00 m. Se registró pérdida parcial del agua de enjuague de 52.00 a 62.00 y de 67.00 a 72.00 m. Se registró pérdida total del agua de enjuague de 6.00 a 17.00, de 20.50 a 25.00, de 27.00 a 52.00 y de 62.00 a 67.00. Se cementó el tramo de 27.00 a 43.00 m y de 48.00 a 57.00 m. El promedio de recuperación de las muestras extraídas fue de 69.27%, con una longitud recuperada de 74.12 m. El índice de calidad de la roca (ICR) es regular con 55.36%. (Perfil No. 3).

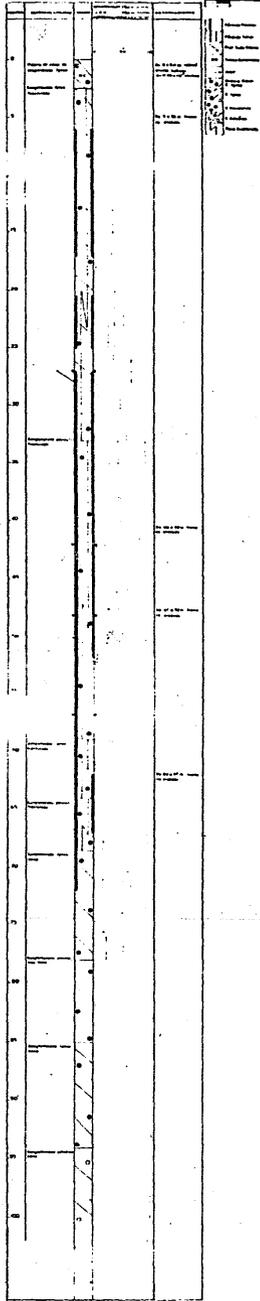
Se realizaron 13 pruebas de permeabilidad, 1 de tipo Lefranc y 12 de tipo Lugeon, con 9 tramos no probados por existir pérdida total del agua de enjuague de 5.00 a 35.00,

de 40.00 a 42.00, de 47.00 a 52.00 y de 62.00 a 67.00 m de profundidad. Los resultados de las pruebas de permeabilidad arrojan que desde la superficie hasta los 72.00 m se tienen problemas de permeabilidad: las rocas varían su rango de 15.40 a 18.00 U.L., soportando presiones máximas comprendidas entre 4.70 y 5.80 Kg/cm², lo que permite clasificarlas como permeables.

A partir de los 72.00 m de profundidad y hasta el fondo del sondeo, a 107 m, las rocas son impermeables, variando su rango de permeabilidad de 0.00 a 3.46 U.L., soportando presiones máximas comprendidas entre 9.00 y 10.00 Kg/cm².

Los tramos no probados y los altos valores de permeabilidad corresponden al conglomerado fracturado, el cual a partir de los 72.00 m se encuentra sano y es impermeable.

SECTION 10
PART 1
CONCRETE
REINFORCED CONCRETE



SECTION 10
PART 1
CONCRETE
REINFORCED CONCRETE

EXPLORACION IV

Estación 0 + 260

Elevación 1 118.50

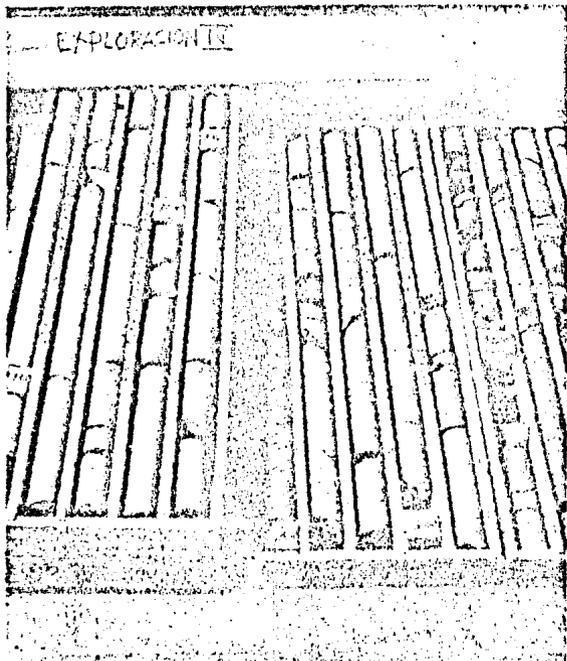
Profundidad 150.00 m

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	9.00	Depósitos aluviales.
9.00	15.00	Conglomerado polimíctico, fracturado.
15.00	35.00	Conglomerado polimíctico, sano.
35.00	71.20	Conglomerado ígneo, sano.
71.20	90.00	Conglomerado calcáreo, sano.
90.00	97.00	Lutita negra, fracturada. (Fotografía No.2)
97.00	150.00	Andesita, sana.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió hasta 0.90 m. El tubo de ademe se profundizó a 9.40 m. Se registró pérdida parcial del agua de enjuague de 6.00 a 7.50 m. Se registró pérdida total del agua de enjuague de 7.50 a 10.00 y de 14.80 a 17.50 m. El promedio de recuperación de las muestras extraídas fue de 97.07%, con una longitud recuperada de 136.87 m. El índice de calidad de roca (ICR) es excelente con 94.86%. (Perfil No. 4).

Se realizaron 27 pruebas de permeabilidad, 1 de tipo Lefranc y 26 de tipo Lugeon, con 2 tramos no probados, de 0.00 a 10.00 m, el primero por presentarse caídos y el segundo por registrarse pérdida total del agua de enjuague, dos tramos no determinados analíticamente por ser altamente permeables, de 10.00 a 20.00 m.

En este sondeo los problemas de permeabilidad se presentan desde la superficie hasta los 20.00 m de profundidad, debidos principalmente a que los primeros 10 m son depósitos aluviales y en los 10 restantes al fracturamiento del conglomerado. A partir de esta profundidad y durante los



FOTOGRAFIA No. 2

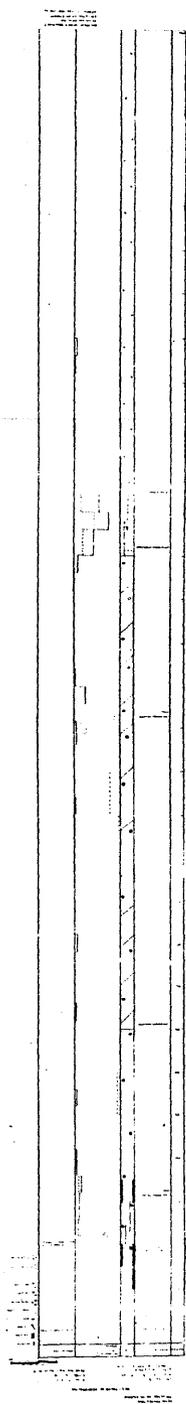
Núcleos recuperados en la exploración IV de la boquilla en el intervalo de 79 a 93 m de profundidad. Obsérvese que hasta los 90 m la recuperación fue muy cercana al 100% y la calidad de la roca es excelente, mientras que a partir de esa profundidad se recuperó una roca sumamente fracturada (lutita negra).



FOTOGRAFIA No. 3

90 a 97 m de profundidad se cortó una secuencia de lutitas negras bastante fracturadas, y a partir de esa profundidad, 53 m de andesita intrusiva. Nótese el gran contraste de calidad entre estos dos tipos de roca.

130 m siguientes, la columna se comporta de manera impermeable, variando su rango de permeabilidad de 0.00 a 1.00 U.L., soportando presiones máximas comprendidas entre 9.20 y 10.00 Kg/cm², con una zona poco permeable localizada de los 25.00 a los 30.00 m, registrándose 7.20 U.L., y otra zona permeable entre 60.00 y 65.00 m, con 21.00 U.L., correspondiendo esta zona a un horizonte arenoso y poco compacto del conglomerado.



EXPLORACION V

Estación 0 + 345

Elevación 1 164.50

Profundidad 120.00 m

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	0.50	Depósitos de talud.
0.50	10.00	Conglomerado polimíctico, alterado.
10.00	40.00	Conglomerado polimíctico, fracturado.
40.00	80.00	Conglomerado polimíctico, sano.
80.00	120.00	Conglomerado ígneo, sano.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió a 48.00 m. El tubo de ademe se profundizó a 9.00. Se registró pérdida total del agua de enjuague de 47.00 a 50.00 m. Se cementó el tramo de 15.00 a 40.00 m. El promedio de recuperación de las muestras extraídas fue de 97.15%, con una longitud de 116.10 m. El índice de calidad de roca (ICR) es excelente con 94.90%. (Perfil No. 5).

Se realizaron 19 pruebas de permeabilidad tipo Lu-geon con 3 tramos no probados por presentarse caídos, de 0.00 a 10.00 y de 35.00 a 40.00 m de profundidad, y un tramo no probado por registrarse pérdida total del agua de enjuague, de 45.00 a 50.00 m. Los resultados de estas pruebas arrojan que el comportamiento de las rocas varía de altamente permeables hasta impermeables.

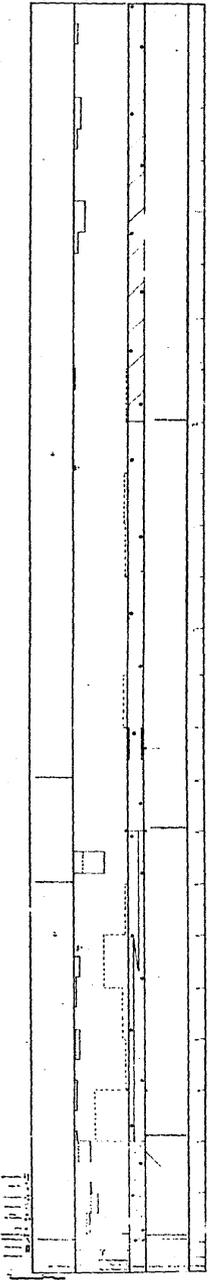
De lo anterior, en forma general se puede concluir que este sondeo registra fuertes problemas de permeabilidad desde la superficie hasta los 15.00 m de profundidad, donde se encuentran las zonas altamente permeables, las cua

les corresponden a los sitios donde se presenta alterado y fracturado el conglomerado.

Después de los 15.00 y hasta los 55.00 m de profundidad, se distingue una zona predominantemente poco permeable cuyo rango de permeabilidad varía entre 4.60 y 10.80 U.L., que corresponde a una parte del conglomerado menos fracturado que la parte superior, llegando a soportar presiones máximas comprendidas entre 6.10 y 13.10 Kg/cm².

A partir de esta profundidad y hasta el fondo del sondeo, la roca se encuentra sana y es impermeable, variando su rango de 0.00 a 4.00 U.L., soportando presiones máximas variables entre 13.60 y 20.00 Kg/cm².

Figure 1.1
Plan View of the
Structure



Scale: 1/4" = 1'-0"

Architect: [Name]
Date: [Date]
Project: [Project Name]

EXPLORACION VI

Estación 0 + 430

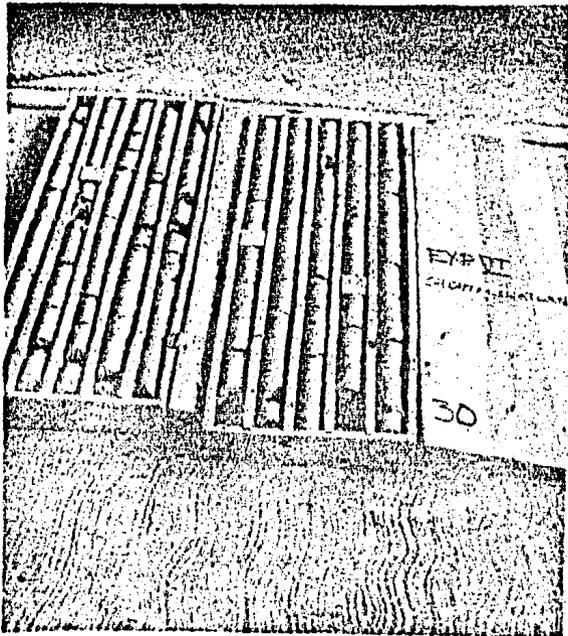
Elevación 1 259.00

Profundidad 143.00 m

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	4.00	Depósitos de talud.
4.00	9.00	Fragmentos de conglomerado polimictico.
9.00	16.00	Conglomerado polimictico, fracturado.
16.00	19.00	Arenisca de grano fino, fracturada.
19.00	84.00	Conglomerado polimictico, sano.
84.00	86.00	Arenisca de grano fino, sana.
86.00	88.50	Conglomerado ígneo, sano.
88.50	106.00	Conglomerado calcáreo, sano.
106.00	109.00	Arenisca de grano fino, sana.
109.00	118.00	Conglomerado calcáreo, sano.
118.00	123.50	Arenisca de grano fino, sana.
123.50	143.00	Conglomerado polimictico, sano. (Fotografía No. 4)

El nivel del espejo de agua de prueba descendió a 68.00 m. El tubo de ademe se profundizó a 9.50 m. Se registró pérdida total del agua de enjuague de 1.50 a 19.50 m. Se cementó el tramo de 9.50 a 19.50, de 67.00 a 72.00 y de 92.00 a 93.00 m. El promedio de recuperación de las muestras extraídas fue de 95.69%, con una longitud recuperada de 133.01 m. El índice de calidad de roca (ICR) es excelente con 93.50%. (Perfil No. 6).

Se realizaron 24 pruebas Lugeon con 3 tramos no probados por registrarse pérdida total del agua de enjuague, de 0.00 a 14.50 m, un tramo no determinado analíticamente de 14.50 a 19.50 por ser altamente permeable, y 2 tramos sin

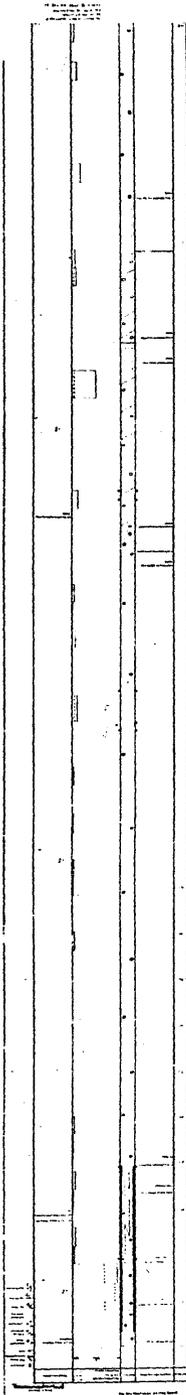


FOTOGRAFIA No. 4

Núcleos recuperados en la exploración VI de la boquilla, en el intervalo de 26 a 35 m de profundidad, correspondientes a conglomerado polimíctico bastante compacto. La recuperación fue del 100% y se puede observar que la calidad de la roca es excelente.

prueba por presentarse caídos, de 19.50 a 20.00 y de 90.00 a 93.00 m.

De lo anterior se hace evidente que los problemas de permeabilidad se presentan en los primeros 20 m de profundidad, debidos principalmente a los depósitos de talud y fracturamiento del conglomerado. Después de esta profundidad las rocas se presentan sanas e impermeables, con un valor de permeabilidad de 0.00 U.L., soportando presiones máximas comprendidas entre 8.20 y 17.80 Kg/cm².



Small text at the bottom of the drawing, likely a title block or technical specifications, including fields for drawing number, date, and author.

EXPLORACION VII

Estación 0 + 150

Elevación 1 312.50

Profundidad 150.00 m

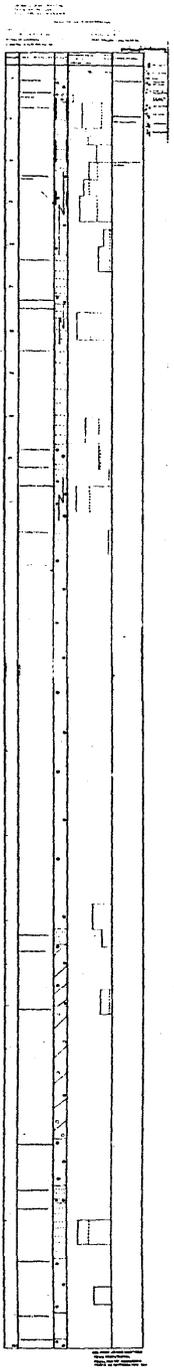
Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	1.50	Depósitos de talud.
1.50	3.00	Fragmentos de conglomerado polimíctico.
3.00	11.00	Arenisca de grano fino, sana.
11.00	21.00	Conglomerado polimíctico, fracturado.
21.00	26.00	Arenisca de grano fino, sana.
26.00	27.00	Conglomerado polimíctico, sano.
27.00	31.50	Arenisca de grano fino, fracturada.
31.50	43.50	Arenisca de grano fino, sana.
43.50	45.00	Conglomerado polimíctico, sano.
45.00	47.00	Arenisca de grano, sana.
47.00	52.00	Conglomerado polimíctico, fracturado.
52.00	56.00	Arenisca de grano fino, sana.
56.00	101.00	Conglomerado polimíctico, sano.
101.00	102.75	Arenisca de grano fino, sana,
102.75	110.00	Conglomerado ígneo, sano.
110.00	125.50	Conglomerado calcáreo, sano.
125.50	131.00	Conglomerado polimíctico, sano.
131.00	132.50	Arenisca de grano fino, sana.
132.50	133.00	Conglomerado polimíctico, sano.
133.00	139.50	Arenisca de grano fino, sana.
139.50	146.00	Conglomerado polimíctico, sano.
146.00	149.00	Arenisca de grano fino, sana.
149.00	150.00	Conglomerado polimíctico, sano.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió a

58.00 m. El tubo de ademe se profundizó a 15.00 m. Se registró pérdida total del agua de enjuague de 2.50 a 5.00, de 8.50 a 10.00 y de 13.50 a 15.00 m. El promedio de recuperación de las muestras extraídas fue de 91.78% con una longitud recuperada de 136.29 m. El índice de calidad de la roca (ICR) es bueno con 84.26%. (Perfil No. 7).

Se realizaron 29 pruebas de permeabilidad de tipo LUgeon con 2 tramos no probados, por registrarse pérdida total del agua de enjuague, de 0.00 a 5.00 y de 10.00 a 15.50 m, y un tramo no determinado analíticamente por ser altamente permeable, de 5.00 a 10.00 m. Los resultados de estas pruebas permiten clasificar a las rocas de la columna de altamente permeables a impermeables.

Las rocas permeables se limitan a los primeros 15.50 m de profundidad, donde se llegan a presentar tramos altamente permeables, y corresponden a los depósitos de talud y areniscas poco consolidadas. Inmediatamente después y hasta el fondo del sondeo, las rocas se presentan sanas y tienen un comportamiento impermeables, donde se incluyen diferentes horizontes de conglomerado ígneo, calcáreo, polimíctico y areniscas; su rango de permeabilidad varía de 0.00 a 0.40 U.L., soportando presiones máximas comprendidas entre 4.70 y 18.60 Kg/cm².



EXPLORACION VIII

Estación 1 + 150 m aguas arriba del eje

Elevación 1 140.00

Profundidad 80.00 m

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	29.50	Arenisca de grano fino, fracturada.
29.50	36.00	Conglomerado polimíctico, sano.
36.00	37.70	Arenisca de grano fino, sana.
37.70	44.50	Conglomerado ígneo, sano.
44.50	54.00	Arenisca de grano fino, sana.
54.00	62.00	Conglomerado polimíctico, sano.
62.00	65.00	Arenisca de grano fino, sana.
65.00	80.00	Conglomerado polimíctico, sano.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió a 1.00 m. Se registró pérdida parcial del agua de enjuague de 6.10 a 21.40 m. Se registró pérdida total del agua de enjuague de 39.60 a 40.00 m. Se cementó el tramo de 0.00 a 40.00 m. El promedio de recuperación de las muestras extraídas fue de 96.93%, con una longitud recuperada de 77.54 m. El índice de calidad de roca (ICR) es excelente con 96.29%. (Perfil No. 8).

Se realizaron 11 pruebas de permeabilidad de tipo Lugeon con 1 tramo no probado por presentarse caídos, de 0.00 a 1.00 m de profundidad y 5 tramos no determinados analíticamente por tratarse de zonas altamente permeables, de 1.00 a 20.00 y de 35.00 a 40.00 m. Los resultados de estas pruebas arrojan que la columna está compuesta por rocas altamente permeables a impermeables.

Se nota claramente que la zona con problemas de

permeabilidad es la de los primeros 20 m de profundidad, clasificada como altamente permeable y corresponde a una potente secuencia de areniscas poco compactas y fracturadas. Los 60 m restantes de la perforación, pueden considerarse como impermeables e incluyen diferentes horizontes de conglomerado y areniscas, variando su rango de permeabilidad de 0.00 a 2.60 U.L., soportando presiones máximas comprendidas entre 6.30 y 10.00 Kg/cm², con una zona poco permeable localizada entre los 20.00 y 25.00 m de profundidad, y otra altamente permeable de 35.00 a 40.00 m.

DR. JUAN J. MARTINEZ
New York
Presented in Spanish

RESEARCH IN PROGRESS

Abstract: This is a preliminary report on the
results of a study of the
effect of the
of the
of the

DR. JUAN J. MARTINEZ
New York
Presented in Spanish
Research in Progress

EXPLORACION IX

Estación 1 + 850 m aguas arriba del eje

Elevación 1 150.00

Profundidad 92.50 m

Profundidad en metros		Litología
de	a	
0.00	1.50	Conglomerado polimíctico, alterado.
1.50	11.50	Fragmentos de conglomerado polimíctico.
11.50	12.00	Muestra de canal de conglomerado polimíctico.
12.00	14.50	Fragmentos de conglomerado polimíctico.
14.50	17.00	Conglomerado calcáreo, fracturado.
17.00	21.00	Fragmentos de conglomerado polimíctico.
21.00	42.50	Conglomerado ígneo, fracturado.
42.50	70.00	Conglomerado ígneo, sano.
70.00	92.50	Conglomerado polimíctico, fracturado.

El nivel del espejo de agua de prueba descendió a 3.15 m. El tubo de ademe se profundizó a 12.50 m. Se cementó el tramo de 0.00 a 3.00 y de 12.50 a 22.50 m. El promedio de recuperación de las muestras extraídas fue de 86.19% con una longitud recuperada de 79.73 m. El índice de calidad de roca (ICR) es bueno con 78.12%. (Perfil No. 9).

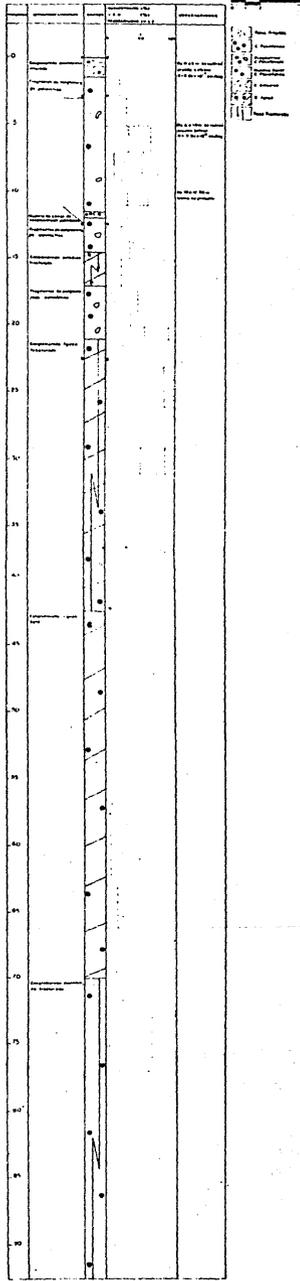
Se realizaron 18 pruebas de permeabilidad, 2 de tipo Lefranc y 16 de tipo Lugeon, con un tramo sin prueba por presentarse caídos, de 10.00 a 12.50 m de profundidad. Los resultados de estas pruebas arrojan que las rocas tienen un comportamiento de permeables a impermeables.

La zona permeable ocupa desde la superficie hasta los 17.50 m de profundidad y es debida al fracturamiento que presentan las unidades de conglomerado polimíctico y calcáreo que son cortadas.

Inmediatamente después, hacia abajo y durante los 75 m de perforación restantes, las rocas tienen un comportamiento impermeable, variando su rango de permeabilidad de 0.00 a 0.40 U.L., soportando presiones máximas de 5.50 a 8.60 Kg/cm² y corresponden principalmente con conglomerado ígneo y conglomerado polimíctico, reconociéndose una zona permeable entre los 62.50 y 72.50 m de profundidad, debido a que se ha ce más intenso el fracturamiento en el conglomerado ígneo.

ANEXO 2005 S.M. 2005
 Tipo: Proyecto
 Fecha de la Memoria

ESTACION: 1+000.00 - 1+000.00
 Sección: 1+000.00 - 1+000.00
 Puntos de Interés: 1+000.00 - 1+000.00



ANEXO 2005 S.M. 2005
 Tipo: Proyecto
 Fecha de la Memoria
 Puntos de Interés

CAPITULO VI DESCRIPCION GEOTECNICA DEL SITIO

VI.1 LEVANTAMIENTO GEOLOGICO DE DETALLE

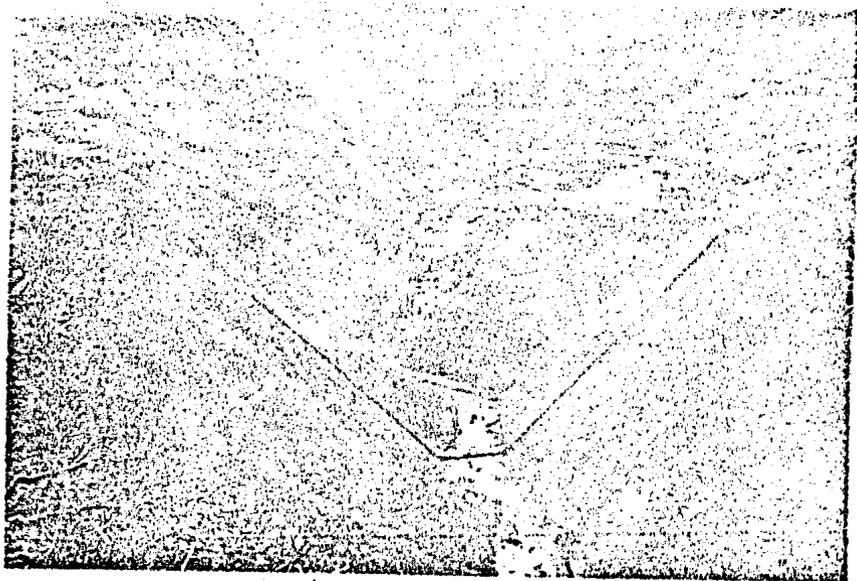
VI.1.1 GEOLOGIA DE LA BOQUILLA

Topográficamente la boquilla se presenta casi simétrica, en forma típica de V de un valle epigenético, con laderas de fuerte pendiente, 35° en la margen derecha y 40° en la margen izquierda, teniendo una amplitud de 335 m para una altura de 122 m a la cota 1 250. (Fotografía No. 5)

El río ha labrado su cauce erosionando los depósitos clásticos de las formaciones geológicas ahí presentes, de tal forma que con los sondeos directos realizados a lo largo del eje de la boquilla, se detectó que aparece una secuencia muy gruesa de rocas del Grupo Balsas, reconociéndose tres modalidades principales del mismo. La característica más importante de estos conglomerados es su alto grado de cementación, a base de un cementante hematítico de color rojizo, y por otro lado, la forma de los fragmentos líticos que se encuentran parcial o totalmente redondeados. Dado su alto grado de litificación, el Grupo Balsas, es el que está actualmente deteniendo la erosión del río. (Fotografía No. 6)

El conglomerado fue cortado en todas las exploraciones, encontrándose sano o fracturado y superficialmente intemperizado, cubierto por escasos depósitos de talud en las laderas y de acarreo en el cauce.

La primera de las tres unidades identificadas en el Grupo Balsas, es aquella donde el conglomerado está constituido por fragmentos de rocas ígneas de diferente naturaleza, basaltos y andesitas principalmente, al cual se le nombra como conglomerado ígneo (Análisis Petrográfico, Lámina No. 3). En la otra predominan completamente guijarros y mata



FOTOGRAFIA No. 5

Panorámica de la Boquilla "Chontalcuatlán" vista hacia aguas abajo. Se forma por dos cerros de conglomerado rojo pertenecientes al Grupo Balsas. En primer plano se observa la forma casi simétrica del estrechamiento y el carácter masivo del conglomerado con inclinación de 40° hacia la ladera. Al fondo los depósitos clásticos horizontales de la Formación Cuernavaca sobre el Grupo Balsas.



FOTOGRAFIA No. 6

Aspecto superficial del conglomerado en la boquilla, donde los clastos oscuros corresponden con rocas ígneas (andesitas y basaltos) y los más claros con rocas carbonatadas (calizas) incluidos en una matriz limo-arenosa de color rojizo. Nótese el aspecto brechoide de la roca y el alto grado de compactación.

tenas de caliza cementados con calcita y algo de matriz arcillosa, variedad del conglomerado denominado calcáreo (Análisis petrográfico, Lámina No.4). El nombre de conglomerado polimíctico fue utilizado para designar a los espesores donde se identificaron tanto fragmentos de rocas ígneas como de calizas (Análisis Petrográfico, Lámina No. 1).

Asimismo, intercalada dentro del conglomerado, en forma de lentes y en parte formando unidades mayores, se observa limolita roja que a su vez presenta transiciones, variando de una textura arcillosa a una arenosa, siendo de 16.5 m el máximo espesor cortado en la exploración VII.

Una roca ígnea de tipo andesítico se encuentra intrusionando a los conglomerados en la boquilla, a una profundidad de 97 m a partir del cauce. La andesita es de color gris verdoso, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos, matriz microcristalina de composición intermedia, con magnetita y calcita relleno de fracturas (Análisis Petrográfico, Lámina No.5). Se cortaron 53 m de esta unidad en la exploración IV, sin alcanzar la base de la roca.

Yaciendo sobre el Grupo Balsas y a una elevación aproximadamente de 1 350 msnm, en la margen izquierda se encuentran materiales correlacionables con la Formación Cuernavaca, que se distingue por presentar únicamente fragmentos líticos de origen ígneo, predominantemente de naturaleza andesítica, empacados en una matriz limo-arenosa de color café claro con tonalidades amarillentas y con fragmentos más redondeados que la formación subyacente.

Con el mapeo geológico se detectó que en la margen izquierda de la boquilla y a la elevación de 1 300 msnm,

existen algunos pequeños afloramientos de caliza de estratificación gruesa con echado de 30° hacia la ladera (NE); de la misma manera, en la margen derecha también se detectaron rasgos que podrían corresponder a otro afloramiento de caliza, de mayor extensión, pero con características semejantes al de la margen izquierda, a la elevación de 1 325 msnm, muy por arriba del nivel máximo de embalse considerado.

Con una primera idea se pensó que estas calizas podrían ser relictos de la Formación Morelos, cabalgante sobre los depósitos continentales del Grupo Balsas y de esta forma ser clara evidencia del cabalgamiento de rocas calizas cretácicas que han sido transportadas sobre conglomerados terciarios, mismo que ha sido postulado por varios autores, sobre todo en la región del Balsas. Sin embargo, los afloramientos de caliza, más que estar sobre el conglomerado se encuentran incluidos dentro del mismo en forma de lentes, por lo que finalmente se consideró que forman parte del Grupo Balsas y que podrían corresponder a los lentes calcáreos que C. Fries y Z. de Cserna (1980) reportan dentro de los conglomerados, y aparecen como Ca en el plano No. 3.

De una u otra forma, dada la extensión de los afloramientos y su elevación respecto al nivel máximo de embalse, las calizas son realmente de poca importancia para el proyecto, además de que por su posición, en un caso extremo, no formarían conductos de salida del agua hacia fuera del vaso.

La cortina de la presa afectará exclusivamente laderas naturales formadas por conglomerados, los cuales en este sitio no presentan signos de inestabilidad. Se conoce que el perfil de alteración es reducido puesto que superficialmente los afloramientos se presentan con poca alteración y con las perforaciones, solamente en la No. V fueron cortados 10 m de roca alterada.

En base a los resultados de las perforaciones, pudo ser elaborado el perfil geológico de la boquilla, además de permitir conocer el comportamiento geotécnico de las rocas que la conforman. Así, a continuación se hace la descripción geotécnica del sitio.

En el cauce y margen derecha, el conglomerado está cubierto por 9 m de depósitos de acarreo y una costra que no sobrepasa los 4 m de espesor de depósitos de talud, respectivamente. Los conglomerados se presentan fracturados en los primeros 5 m del sondeo IV que corta este material, 40 del sondeo V y 20 del sondeo VI, que son justamente las zonas donde se registraron los más altos valores de permeabilidad en esta ladera, por lo que se entiende que el horizonte permeable sobre la margen derecha es de carácter secundario, debido al fracturamiento de la roca. Se infiere que este horizonte a partir del cauce y hasta la parte media de la ladera, llega a profundizar unos 40 m desde el terreno natural; a partir de este sitio y al llegar casi a la cima, el horizonte va disminuyendo paulatinamente su profundidad hasta llegar a ser solamente 10 m en el sondeo VII.

Sin embargo, exceptuando la capa de roca más superficial, donde la calidad es mala, el índice de calidad de la roca en dicho horizonte, varía de buena a excelente, lo cual nos da idea de que el fracturamiento produce bloques de tamaño más o menos grande (longitudes mayores de 10 cm) y no pequeños fragmentos o astillas de roca, que para este caso, puede considerarse como una situación favorable.

Una vez pasando el tramo permeable, las características físicas del conglomerado y su comportamiento, son aceptables. No está fracturado y prácticamente es totalmente impermeable, a no ser por alguno que otro tramo aislado que se pueda presentar poco permeable e incluso permeable (sondeo

IV, prof. 60 m; sondeo V, prof. 70 m), pero sin conexión alguna que permita llegar a constituir algún horizonte con problemas de permeabilidad como en el caso anterior.

El índice de calidad de la roca puede considerarse de manera general como excelente, lo cual además de estar acorde con las características descritas, nos permite decir que conforme se incrementa la profundidad, el conglomerado se encuentra más sano.

En el sondeo del cauce (IV), después de haberse perforado cerca de 97 m de aluvi6n, conglomerados y lutitas, fueron trabajados 53 m de rocas andesíticas, las cuales no presentan problemas ni de permeabilidad ni de calidad, puesto que los resultados de las pruebas arrojan que son totalmente impermeables y de excelente calidad. Por la profundidad a la que se encuentran y la competencia de las rocas encima de ellas, se considera que no tienen mayor injerencia dentro del proyecto en esta zona.

En oposici6n a los buenos resultados obtenidos en el cauce y margen derecha, se tienen los de la margen izquierda. Los dep6sitos de talud cubren solo una pequeña parte del conglomerado, limitándose a la parte superior de la ladera y en el resto de ella se encuentran expuestos. En esta margen se tiene un horizonte permeable que se profundiza demasiado, con lo cual resulta de un espesor bastante considerable. Los problemas de permeabilidad se detectaron a lo largo de los primeros 75 m del sondeo I, en casi toda la longitud del sondeo II y durante 45 m del sondeo III después de pasar 30 m de roca sana pero también permeable.

La zona donde se profundiza más el tramo permeable es la que rodea la exploraci6n III donde llega alcanzar cer-

ca de 80 m a partir del terreno natural, y no obstante que tiende a disminuir hacia la parte superior de la ladera, su espesor no es menor de los 60 m registrados en el sondeo I.

La calidad de la roca en el horizonte permeable de finido por las 3 profundidades conocidas, varía de muy mala a regular, con lo cual es evidente que a semejanza con la margen derecha, la permeabilidad del conglomerado en la ladera izquierda se debe al fracturamiento que presentan, aunque difieren en la calidad de roca, pues mientras en la derecha varía de buena a excelente, en la izquierda es muy mala a regular.

Asimismo, después de pasar esta zona crítica, prácticamente no se tienen más problemas, pues el conglomerado no presenta fracturas, la permeabilidad se reduce notablemente hasta llegar a ser impermeable o poco permeable, y su calidad de manera general puede considerarse excelente.

No puede pasar inadvertida la relación directa que para las dos margenes existe entre el fracturamiento, la permeabilidad y la calidad de la roca.

VI.1.2 GEOLOGIA DEL VASO

El vaso Chontalcuatlán es extenso y de forma irregular, con una longitud aproximada de 10.50 Km, bifurcándose poco después de la parte media y tiene una amplitud máxima de 1 Km, precisamente en la parte donde se bifurca, quedando incluido completamente en rocas del Grupo Balsas, ya que el contacto con la formación sobreyacente (Cuernavaca), en la zona del vaso se encuentra a una elevación comprendida entre las cotas 1 325 y 1 350, por lo que el nivel máximo de embal

no llegará a estos materiales.

Con el objeto de determinar el estado físico de las rocas y su permeabilidad se programaron 2 exploraciones en el vaso, localizadas a 1 + 150 m (exploración VIII) y 1 + 850 (exploración IX), aguas arriba del eje. (Plano No. 3).

Con los sondeos realizados y la geología superficial se logró determinar que la roca más antigua presente en el vaso, son los basaltos de color café rojizo, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos, ligeramente vesiculares y muy compactos. Se encuentran importantes afloramientos de esta roca en la bifurcación del vaso sobre ambos márgenes, los cuales por su extensión es posible mapearlos por separado, aunque para fines de nomenclatura se incluyan dentro del Grupo Balsas, de tal forma que representan la base del mismo.

A 1.2 y 2.4 Km aguas arriba del eje, afloran unas andesitas que se encuentran intrusionando al conglomerado, abarcando una extensión de 500 m un afloramiento, y 300 m otro. La andesita es texturalmente semejante a la andesita detectada a profundidad en la boquilla, de color gris verdoso, textura porfídica, con matriz fanerítica y muy compacta. El afloramiento más grande tiene una altura aproximada de 80 m sobre el cauce del río, mientras que el pequeño apenas sobrepasa los 40 m a partir del terreno natural. (Fotografías Nos. 7, 8, 9, 10 y 11).

Los conglomerados son las rocas dominantes en el vaso, siendo sus características similares a las del conglomerado de la boquilla; también fueron identificadas las 3 unidades que presenta ya descritas, conglomerado ígneo, calcáreo y polimíctico, reconociéndose una importante variación tanto lateral como verticalmente, consistente en el aumento de material clástico limoarenoso, como pudo ser constatado con las exploraciones VIII y IX. Es por esta razón que superficialmente



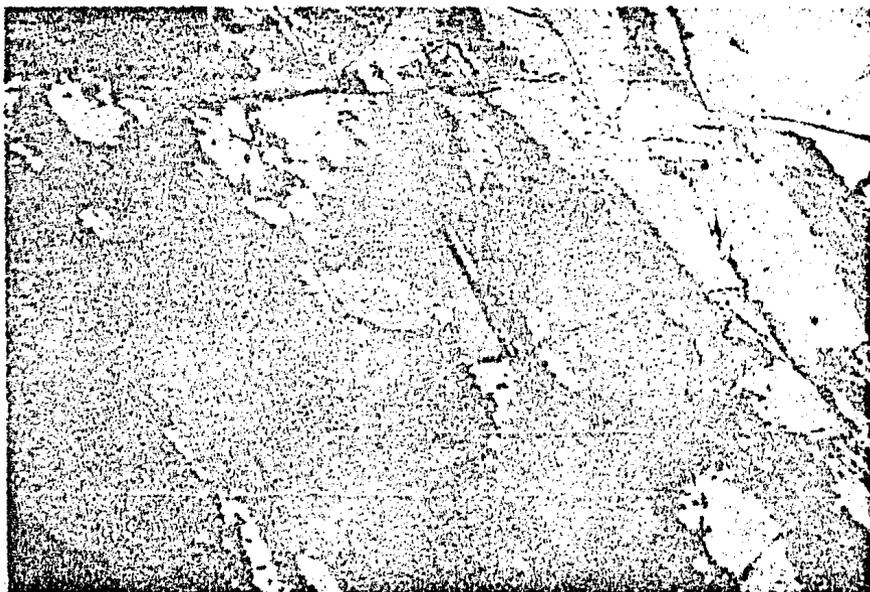
FOTOGRAFIA No. 7

Intrusivo de andesita que se aloja en conglomerados del Grupo Balsas, detectado aproximadamente en la parte media del Vaso "Contalcuatlán".



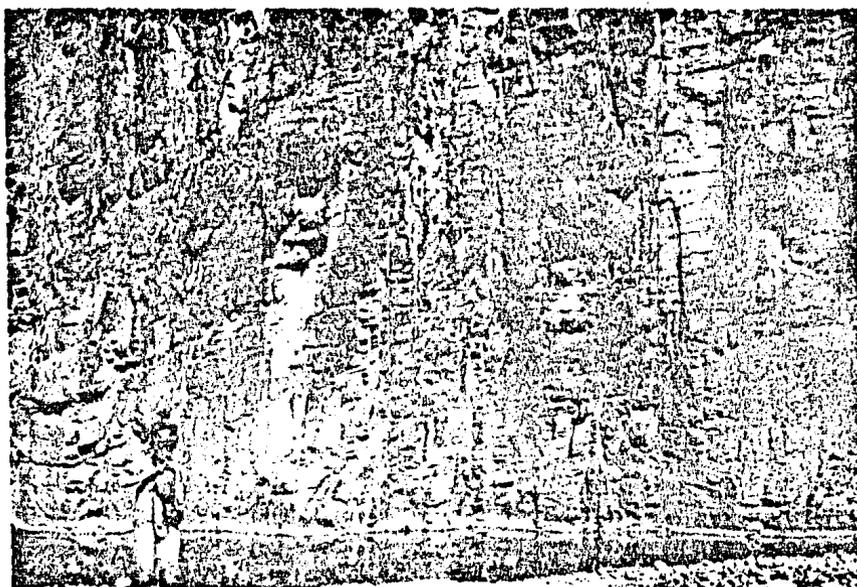
FOTOGRAFIA No. 8

Acercamiento al flanco oriental del intrusivo detectado en la parte central del vaso; se observa claramente como la roca ignea (andesita) se introduce en el conglomerado del Grupo Balsas.



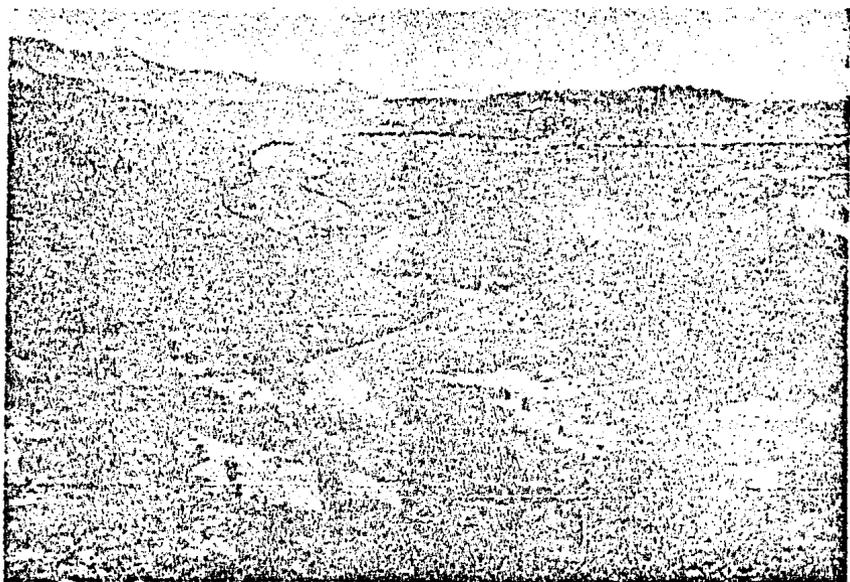
FOTOGRAFIA No. 9

La andesita intrusiva presenta gran cantidad de xenolitos como el que se muestra en la fotografía, los cuales son de composición sienítica.



FOTOGRAFIA No. 10

Fracturamiento en la andesita intrusiva del vaso; el sistema de fracturas verticales es el más marcado y le da a la roca un cierto aspecto columnar, mientras que otro, menos marcado es casi perpendicular al primero.



FOTOGRAFIA No.11

Panorámica del vaso tomada desde el poblado Piedras Negras hacia aguas arriba, donde puede verse la bifurcación del almacenamiento. En la parte central de la fotografía, a lo largo del cauce se observan pequeños cerros de basalto (Ba) los cuales se consideran como la roca más antigua del área de estudio. Sobre los basaltos, los conglomerados y areniscas (Cg-Ar) del Grupo Balsas. En el extremo superior derecho, las capas horizontales con paredes verticales de la Formación Cuernavaca (Tpc).

se presentan algunas zonas muy intemperizadas y poco compactas, sobre todo en la parte media hacia atrás del vaso.

Al igual que en las regiones adyacentes a la estudiada, el Grupo Balsas no está afectado por pliegues que pudieran estar formando estructuras anticlinales o sinclinales, producto de esfuerzos de compresión por movimientos tectónicos importantes. Sin embargo, las rocas de este grupo se presentan en toda el área con inclinaciones suaves y moderadas, variando los echados de las capas entre 20 y 30° hacia el NE, frecuentemente presentando carácter masivo que hace difícil observar su inclinación.

La inclinación que presentan las rocas puede ser atribuida a combamientos de carácter regional ocurridos a fines del Mioceno, posteriores a la deformación compresional.

Las rocas del Grupo Balsas están afectadas por 2 fracturas de carácter regional, aproximadamente a 4 y 4.5 Km aguas arriba de la boquilla. La primera de ellas, llamada Tecui napa por su proximidad al poblado del mismo nombre, se calcula que tiene una longitud próxima a los 6.5 Km; del mismo modo, la segunda fractura denominada Cuitlapa, pudiera tener una longitud de 4.4 Km.

Dada la posición y lejanía de estas estructuras con respecto a la boquilla, no es aventurado pensar que no tendrán influencia negativa en la estabilidad de la cortina ni constituyen vías de fuga, puesto que lo más seguro es que se encuentren selladas con arcilla, como lo demuestran los resultados de la exploración IX, próxima a la fractura de Tecuinapa.

Existen también pequeñas fallas normales, cuya longitud no excede los 150 m, formando escalonamientos dentro del conglomerado; un pequeño sistema de fallas como estas, fueron detectadas en la margen izquierda, entre las fracturas de

Tecuinapa y Cuitlapa, presentándose actualmente como bloques estables.

Los materiales constituyentes de la Formación Cuernavaca se encuentran sobreyaciendo en discordancia angular a los del Grupo Balsas y están representados predominantemente por areniscas tobáceas y conglomerados que tienen escasa cementación; esta formación aflora a lo largo de toda la margen izquierda, dando forma a la meseta de esta margen, muy características de la región, así como en la margen derecha, donde se aprecian pequeñas mesetas desmembradas, relictos de una de mayor tamaño.

En los grandes cortes naturales que presenta el cañón, pudo ser reconocido que hacia la cima de la formación son abundantes los clastos ígneos redondeados, los cuales disminuyen hacia la parte inferior, donde predominan los materiales más finos. En ambos casos, el grado de cementación es variable sin llegar a ser bueno y la alteración las hace aún más debiles.

La Formación Cuernavaca está afectada por un sistema de fracturamiento vertical o de tensión, debido principalmente a la pérdida de humedad de las rocas. También es un rasgo distintivo de la formación, dadas sus características, las fallas de tipo circular o de deslizamiento, como la que se encuentra sobre la margen izquierda aproximadamente 600 m aguas abajo de la boquilla, la cual se prolonga unos 700 m; es de traza curva da con orientación NW-SE, y resulta claro ejemplo de este tipo de fallamiento. Aunque a lo largo del vaso no existen otros deslizamientos similares, no se descarta la posibilidad de que los materiales puedan fallar, tomando como base las pruebas de mecánica de suelos realizadas por la CAVM en materiales del mismo tipo para otros proyectos de la región, las cuales concluyen que la formación es potencialmente inestable.

Generalmente el contacto entre el Grupo Balsas y la Formación Cuernavaca se reconoce por el cambio de pendiente en el terreno, sitios donde se acumulan los depósitos de talud, resultado del desgaste de la segunda formación, los cuales no tienen gran desarrollo, pero no pueden quedar sin mención.

Justamente en la línea de contacto entre las formaciones mencionadas, aparecen los manantiales de la región, que son muy abundantes y que habla de la aceptable permeabilidad del Grupo Balsas. En la zona de estudio fueron reconocidos los siguientes, la mayor parte de ellos sobre la margen derecha. Un conjunto de pequeños manantiales en el poblado de Cuitlapa, distantes del NAME 1 Km en línea recta y 1.5 Km del cauce, 120 m arriba del embalse. Otros manantiales más próximos al vaso son los que se encuentran en el poblado Uvalar con elevación de 75 m con respecto al NAME, distantes 600 m del mismo. El último manantial reconocido se encuentra en la margen izquierda, 800 m aguas abajo de la boquilla en la cota 1 330. Todos los manantiales conservan su gasto, dependiendo de la temporada, siendo los principales abastecedores de agua a los poblados mencionados.

Los depósitos de origen aluvial están representados por cantos rodados de forma arredondada o subangular, como gravas y arenas, material de acarreo de la corriente del río Chontalcuatlán. En toda la zona del vaso, a lo largo del cauce, el aluvión tiene una extensión reducida, no siendo más de 100 m en las partes más amplias del mismo; muy probablemente su espesor no exceda de 10 m como en la zona de la boquilla. Los 2 sondeos realizados en la zona del vaso más próxima a la boquilla, se perforaron en el cauce directamente sobre roca, por lo que el espesor del aluvión en estos sitios es mínimo.

El aluvión se forma por fragmentos de tamaño medio de 0.30 m existiendo fragmentos de 0.50 m, principalmente de andesita, basalto, riolita y esquisto. Aguas abajo del eje, aproximadamente 500 m, hay en el cauce grandes bloques de caliza (mayores de 2 m) que provienen de los afloramientos de esta ro-

ca que existen o existieron en las dos margenes.

Aunque el vaso no fue explorado directamente en toda su extensión, los resultados de las 2 perforaciones realizadas, permiten tener una idea muy aproximada de la constitución y el comportamiento geotécnico de las rocas que servirían de embalse para la presa, mismos que a continuación se refieren.

De cierto modo, en el vaso sucede lo mismo que en la boquilla, se tiene una permeabilidad de la roca, en la mayor parte de tipo secundario, debido al fracturamiento de la misma. La exploración VIII, que es la más próxima a la boquilla, desde la superficie corta una gruesa secuencia de areniscas de grano fino, mismas que a lo largo de los 30 m atravesados se encuentran muy fracturadas, lo cual las hace sumamente permeables. Al pasar este grueso paquete de areniscas, se presenta una alternancia entre conglomerado ígneo y polimíctico con espesores de areniscas de menor tamaño que el anterior, conjunto de rocas que de manera general tienen un comportamiento impermeable.

El sondeo IX se desarrolló totalmente en una alternancia entre conglomerado ígneo y polimíctico, fracturados desde los 23 m hasta la parte media del sondeo, así como en los últimos 22 m del mismo. Son rocas permeables desde la superficie hasta los 17.5 m y de los 62 a los 72 m; es importante hacer notar que en este caso los tramos fracturados no registran altos valores de permeabilidad, los cuales se presentan en las partes del conglomerados poco compactas.

Respecto a la calidad de la roca, solamente los primeros 20 m del sondeo IX son de muy mala calidad, pero la totalidad de las exploraciones VIII y IX, pese al fracturamiento de la areniscas y el conglomerado, y la poca compactación en algunas partes de éste último, fueron perforadas en rocas de excelente calidad.

VI.2 OBRAS AUXILIARES

En esta parte del capítulo se hará la descripción de las condiciones geológicas esperadas para los sitios donde quedarán ubicadas las obras auxiliares, tomando en consideración el levantamiento geológico superficial, así como los resultados de las exploraciones directas en la boquilla, extrapolando los datos a los sitios de interés.

En virtud de que las características geotécnicas son diferentes para cada margen y la similitud del tipo de obras emplazadas en ellas, se ha considerado conveniente, para hacer la descripción correspondiente, agrupar las estructuras auxiliares por su ubicación. En la margen izquierda se construirán los túneles de desvío, uno de los cuales posteriormente tendrá funciones de obra de toma baja, así como la obra de toma alta, mientras que en la margen derecha estará localizado el vertedor de excedencias.

De tal forma tenemos lo siguiente.

VI.2.1 TUNEL DE DESVIO Y OBRA DE TOMA

Estas obras están localizadas en la margen derecha, en posición casi perpendicular al eje de la cortina, teniendo en común que tanto los túneles de desvío, como la mayor parte de la obra de toma alta, se diseñaron como construcciones subterráneas.

Mediante la exploración superficial se determinó que esta parte de la margen derecha donde se planea la construcción de las estructuras, está constituida por conglomerado de tipo polimíctico principalmente, presentándose a profundidad,

variedades ígnea y calcárea del mismo conglomerado, según los núcleos recuperados en la boquilla, siendo siempre dominante el tipo polimíctico.

Los túneles de desvío tienen una longitud de 590 m con orientación de NW 30°SE; las elevaciones de los portales de entrada y salida son 1 136 y 1 127 msnm respectivamente, por lo que entre estos 2 puntos habrá un desnivel de 9 m.

Superficialmente en esta margen no se observó que la roca estuviera fracturada, prevaleciendo esta condición también a profundidad, pero existe una zona que corresponde a la parte media de los túneles, donde es posible que la roca sí esté fracturada. En virtud de que los túneles tienen su desarrollo por abajo del NAF, lo más probable es que al excavar la zona con fracturamiento, haya percolación de agua, en cantidades poco significativas o que no tendrán mayor interferencia en el desarrollo de los trabajos.

También se sabe que la roca es de excelente calidad, por lo que la mayor parte de la excavación se hará con sección limpia, exceptuando la posible zona crítica en la mitad de los túneles, donde el fracturamiento puede provocar una ligera sobree excavación. Por otro lado, dada la composición del conglomerado, que en el área de estudio se presenta muy compacto, la excavación deberá ser relativamente fácil, puesto que no se trata de una roca con gran contenido de cuarzo ni de materiales sueltos, casos extremos que en determinado momento podrían hacer lenta la perforación.

Se descarta la posibilidad de que existan desprendimientos de grandes volúmenes de roca, ya que el alto grado de compactación y la buena calidad de la roca, hacen remota la posibilidad de desprendimientos de este orden. En la zona de fracturas se piensa que éstas son menores y no llegan a delimitar bloques de roca de tamaño considerable, por lo que tampoco representa una zona potencial de grandes desprendimientos.

Para los portales de entrada y salida de los túneles de desvío, se deberán tomar en cuenta los depósitos de taldud, muy poco o nada consolidados, los cuales estarán presentes durante los 10 ó 15 m máximo, en el principio y fin de la obra.

La ausencia de manantiales termales dentro del área de estudio, así como la relativa escasa profundidad del piso del túnel respecto a la parte más elevada de la superficie, descartan la posibilidad de que existan temperaturas elevadas durante la excavación; de la misma forma, por no tratarse de rocas cuyo origen sea orgánico, los gases tóxicos dentro del túnel no deberán estar presentes.

Otra estructura emplazada en esta margen es la obra de toma alta, que guarda una posición casi paralela con los túneles de desvío, y como ellos está proyectada en una parte como obra subterránea, a lo largo de 442 m, mientras que en los últimos 110 m como canal.

El portal de entrada del túnel estará a la elevación 1 190 msnm y la salida a los 1 185 msnm (desnivel de 5 m), sitio desde donde, por gravedad, el canal hará la descarga en la cota 1 122.

A diferencia de la toma baja, el túnel de la toma alta tendrá su desarrollo totalmente por arriba del NAF; para esta parte, el conglomerado casi no está fracturado y es de excelente calidad, lo cual reduce grandemente la posible existencia de agua durante la excavación.

Como la roca es sana, no deberán presentarse desprendimientos; a semejanza con la obra de toma baja, deberá ser fácilmente excavada, sin posibilidad de tener elevadas temperaturas y gases tóxicos durante su excavación. Asimismo, los materiales no consolidados se limitan a las zonas de entrada y salida, no debiendo afectar más de 10 m de longitud a cada lado del túnel.

La parte de la toma alta que tiene desarrollo de canal, también quedará emplazada sobre conglomerados, estando prácticamente al nivel del terreno natural, o sea que la extracción de material a lo largo de la obra, no excede de 2 ó 3 m de profundidad a partir de dicha superficie (Plano No. 1).

Esto indica que el volúmen de material por extraer no será una cantidad importante que pueda tener utilidad en la construcción del proyecto, agregando a esto la seguridad de que el material de despalme, corresponderá a depósitos de talud o a la corteza de intemperismo.

De igual forma, es seguro que no se alcanzará el NAF durante los trabajos, puesto que su profundidad varía entre 50 y 68 m. Por otro lado, la exploración superficial no identificó indicios de que existieran fenómenos de geodinámica externa (movimientos de tierras), por lo que después de la excavación, seguramente el talud será estable.

VI.2.2 VERTEADOR DE EXCEDENCIAS

Está ubicado en la margen izquierda, a un lado de la cortina, diseñado como canal, dividiéndose en 2 partes principales; la primera en cuyo inicio se encuentra la zona de compuertas, tiene una pendiente de 0.001 y la segunda tiene pendiente de 0.33.

Los sondeos hechos en la boquilla indican que esta margen es problemática en cuanto a permeabilidad, la cual tiene como causa identificada, el fracturamiento de la roca principalmente, cuya calidad apenas es regular.

El vertedor tendrá emplazamiento sobre conglomerados de constitución semejante a los de la margen derecha, pre-

sentándose superficialmente más alterados y fracturados que aquellos.

El material por extraer representa una cantidad considerable, ascendiendo a casi 400 000 m³, ya que en la parte inicial del canal deberán despalmarse entre 12 y 13 m de roca a partir del terreno natural. Aún cuando es importante la cantidad de material a extraer, es probable que muy poco o nada pueda utilizarse en construcción, dada su constitución, fracturamiento y mala calidad.

En este caso el fracturamiento resulta una característica favorable para los trabajos de extracción; el manto frático no será alcanzado durante los trabajos de despalme, puesto que su profundidad está cerca de los 50 m.

Seguramente después de extraído el material superficial, la estabilidad del talud será buena, puesto que no se reconocen a lo largo de toda la margen, deslizamientos importantes en este tipo de rocas; sin embargo, no debe dejarse de considerar el fracturamiento de la roca que en determinado momento pudiera inducir la falla del talud, sobre todo en condiciones de saturación.

VI.3 BANCOS DE MATERIAL

De acuerdo al panorama geológico descrito en capítulos anteriores, se pueden hacer las siguientes consideraciones en relación con los bancos de material. (Plano No. 8).

El material arcilloso para formar el núcleo impermeable, generalmente se localiza en zonas planas donde existen materiales finos aluviales; sin embargo en este caso se

tiene que los terrenos planos aledaños al sitio de la boquilla corresponden a la Formación Cuernavaca que como ya se mencionó está integrada a base de clastos volcánicos que han alcanzado un cierto grado de litificación; pero en general son de naturaleza granular, es decir que se tienen conglomerados, areniscas y tobas areno-arcillosas.

Los materiales superficiales de la Formación Cuernavaca son predominantemente arenosos, inclusive hay sitios donde se explotan como bancos de arena, no obstante se pueden localizar zonas donde la arena se encuentre con cierta cantidad de finos plásticos que hagan se pueda emplear este tipo de material arenoso no sin antes efectuar un estudio para determinar su comportamiento hidráulico.

Por lo anterior se estima que la obtención de material impermeable será el principal problema a resolver.

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

La roca ígnea de composición riolítica, litológicamente resulta ser adecuada para formar los enrocamientos, puesto que no presentan avanzado grado de alteración y los fragmentos líticos que proporcionará, pueden tener 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 cercanas al sitio, con apoyo del mapa fotogeológico previamente elaborado, de tal forma que se seleccionaron los siguientes bancos:

Banco Piedras Negras	Material Impermeable
Banco Chontalcuatlán	Material Impermeable
Banco El Panteón	Material Impermeable
Banco El Mogote	Material para Filtro y <u>En</u> rocamiento
Banco Chontalcuatlán	Material para Filtro y <u>En</u> rocamiento

En el plano No. 8 se muestra la localización de los bancos que por su cercanía y calidad de material se consideraran los más viables para ser utilizados.

BANCO PIEDRAS NEGRAS (MATERIAL IMPERMEABLE)

Este banco de material impermeable se localiza a la izquierda y a la altura del Km 13 + 000 de la carretera Tonatico-Cacahuamilpa, tomando como origen del cadenamamiento el primer poblado. La zona que se propone para la obtención del material, son terrenos planos que están dedicados actualmente a la agricultura.

El suelo que forma al terreno es de origen aluvial formado superficialmente por una arcilla de color gris obscuro, que constituye el terreno agrícola y tiene un espesor aproximado de 0.75 m. Un rasgo distintivo en esta capa de suelo es el intenso agrietado por secado. Abajo de esta capa se encuentra otra de características muy semejantes, diferenciándose solo por el color, presentando tonalidades más claras, de aproximadamente 1.25 m de espesor. Volúmen de material aprovechable, estimado en 1 000 000 de m³.

Los suelos parecen poco estables y la susceptibilidad al agrietado podrían hacerlos no adecuados para formar el núcleo impermeable de la cortina; no obstante pueden emplearse si se cuida la forma de su colocación, principalmente en su compactación; debe considerarse que debido a la al-

tura de la presa, los esfuerzos que se generen en el núcleo impermeable sean altos, los cuales contrarestarán los posibles cambios de volumen del material debidos a las variaciones de humedad.

Por otro lado, las características físicas que presenta el banco, son favorables para la explotación de material impermeable, puesto que se tiene una distancia de acarreo pequeña y fácil acceso entre el banco y el sitio de la cortina.

BANCO CHONTALCUATLAN (MATERIAL IMPERMEABLE)

El banco Chontalcuatlán se localiza sobre el camino de terracería que conduce a la población del mismo nombre, a la altura del Km 5 + 000, tomando como origen el entronque con la carretera Amacuzac-Taxco, el cual se encuentra en el Km 3 + 000 de la bifurcación a las grutas de Cacahuamilpa.

El banco está formado por un suelo residual producto de la intemperización de una toba riolítica de color rojizo. La configuración topográfica del banco corresponde a un cerro que tiene un avanzado perfil de meteorización. El material arcilloso que se propone como material impermeable constituye el espesor de suelo residual, de aproximadamente 3.5 m.

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

En la zona del banco existen otros sitios que pueden proporcionar un suelo similar; sin embargo el banco en

cuestión constituye un amplio depósito factible de ser explotado con eficiencia, puesto que en los cortes que presenta el camino se observan espesores de suelo mayores a 4 m.

BANCO EL PANTEON (MATERIAL IMPERMEABLE)

El banco denominado el Panteón por estar cerca del cementerio del pueblo Pezuapa, está formado igualmente por un depósito de suelo residual proveniente de la intemperización de una toba riolítica. Se localiza a 1 Km después de la población Chontalcuatlán y su acceso se realiza por el mismo camino de terracería. El recorrido que se tiene que hacer desde el entronque con la carretera Amacuzac-Taxco, es de 8 Km.

El banco está formado por una arcilla rojiza y prácticamente se puede decir que no hay material grueso del tamaño de arena y grava. Presenta características muy semejantes al banco Chontalcuatlán, pudiendo decir a nivel preliminar que este tipo de suelo debe preferirse para la construcción de elementos impermeables, puesto que seguramente presentan características mecánicas e hidráulicas aceptables para formar el núcleo impermeable.

El banco presenta como desventaja física el reducido volumen de material que se puede obtener, dada la magnitud de material que se requiere, estimada en $800\ 000\ m^3$ de material impermeable.

BANCO UVALAR (MATERIAL PARA FILTRO Y ENROCAMIENTO)

Este banco se localiza en la margen derecha de la boquilla, aproximadamente a 1 Km del poblado Uvalar sobre la vereda que va hacia El Mogote, y escasos 300 m de la boquilla.

El banco está constituido por calizas pertenecientes al Grupo Balsas, presentando una textura microcristalina y estratificación gruesa. Dada la extensión del afloramiento y su proximidad a la zona de la boquilla, se considera como un banco inmejorable para la obtención de filtros y enrocamiento.

BANCO EL MOGOTE (MATERIAL PARA FILTRO Y ENROCAMIENTO)

Este banco se localiza a la altura del Km 9 + 000 de la carretera No. 55 que conduce a Ixtapan de la Sal, en su tramo Grutas de Cacahuamilpa-Tonatico, tomando como origen el entronque de esta carretera con la carretera federal México-Taxco.

El terreno del banco es una parte del flanco suroccidental del cerro La Corona, que es una formación geológica constituida por una caliza arrecifal perteneciente a la Formación Morelos.

La roca que forma el banco se clasifica como una caliza gris que presenta zonas dolomitizadas; en el sitio se observa con una estratificación gruesa, por lo cual puede esperarse que se obtengan fragmentos de tamaño medio a grande.

El banco presenta buenas características para ser explotado: acceso expedito y gran volumen de explotación, ideal para obtener material de filtro y enrocamiento, o bien para grava y arena mediante trituración.

BANCO CHONTALCUATLAN (MATERIAL PARA FILTRO Y ENROCAMIENTO)

Este banco se localiza al oriente de la población Chontalcuatlán, a 1 Km aproximadamente. El acceso se puede

realizar por el camino de terracería que conduce a dicho poblado tras de recorrer 6 Km a partir del entronque con la carretera Amacuzac-Taxco.

El banco lo forma la ladera de un cerro constituido por una roca ígnea de composición riolítica perteneciente a la Riolita Tilzapotla; es de color rosado a rojizo y se presenta fracturada con un bajo grado de alteración.

Se considera que la toba riolítica del banco es cuestión, al igual que otros afloramientos que se presentan en la zona, dada la poca alteración superficial detectada, puede usarse con éxito en la formación de zonas de enrocamiento y filtro, aunque para confirmar esta idea será necesario hacer las pruebas de laboratorio referentes a su alterabilidad y sanidad.

Las desventajas que presentan los sitios aludidos y en menor grado el banco propuesto, radican en que se tratan de sitios ubicados en una zona con población dispersa, por lo que existirán problemas de afectaciones.

MATERIAL EXCAVADO EN TUNELES DE DESVIO (FILTROS Y ENROCAMIENTO)

El volumen de material que será extraído durante la excavación de los túneles de desvío, seguramente se tratará de conglomerados del Grupo Balsas, con características de alteración y calidad de roca adecuadas para poder utilizarse como materiales de filtro y enrocamiento, y de esta manera aprovechar este material para el cual, de otra manera, habría que transportar a otro sitio.

CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo con la información precedente y el alcance de los estudios realizados a la fecha, se puede concluir lo siguiente.

1. El área objeto del presente estudio está constituida por rocas correspondientes a la unidad litológica denominada Grupo Balsas. Tanto la cortina como el vaso de almacenamiento de la presa quedarán alojados por completo en rocas de este grupo.
2. La litología dominante de esta unidad la constituyen conglomerados reconocibles en 3 variantes: ígneo, calcáreo y polimíctico, siendo este último el más abundante de los 3 tipos. En menor proporción el Grupo Balsas se compone de areniscas de grano fino, limolitas y corrientes lávicas de composición basáltica.
3. Los conglomerados del Grupo Balsas están intrusionados por un tronco de composición andesítica que aflora aproximadamente en la parte media del vaso, y que también fue detectado a profundidad en la boquilla.
4. Los módulos de calizas interestratificadas en el conglomerado que aparecen en las partes altas de ambos márgenes en la boquilla, se consideran como manifestaciones locales de poca profundidad y extensión, y dada su elevación, poco importantes en el comportamiento mecánico e hidráulico de la boquilla.

5. Otro grupo de rocas presentes en la zona estudiada, lo constituyen los depósitos clásticos de la Formación Cuernavaca, cuyo contacto discordante con el Grupo Balsas subyacente varía entre las cotas 1 325 y 1 350, encontrándose principalmente en la margen izquierda, así como algunos remanentes en la derecha. La Formación Cuernavaca se compone predominantemente de areniscas tobáceas y conglomerados que tienen escasa cementación, por lo que se trata de materiales semiconsolidados y deleznable. Estos materiales son de menor calidad que los correspondientes al Grupo Balsas y quedan topográficamente por arriba del embalse.

6. Estructuralmente hablando, las rocas del Grupo Balsas presentan una inclinación suave a moderada en la posición de los estratos, los cuales muchas veces no son reconocibles dado su dominante aspecto masivo, así como una intensidad baja a media en el grado de fracturamiento, debidas a combamientos de caracter regional ocurridos a fines del Mioceno. Solo se detectaron dos fracturas de mayor importancia que se denominaron Cuítlapa y Tecuinapa, por su magnitud, asociadas tectónicamente a dicho evento, ya que tienen algunos Km de longitud.

7. Por otro lado, la Formación Cuernavaca se encuentra en capas sensiblemente horizontales, dando forma a las mesetas características de la región, también afectadas por un grado de fracturamiento medio a bajo de poca profundidad, debido principalmente a esfuerzos de tensión originados por la pérdida de humedad.

BOQUILLA

8. La boquilla Chontalcuatlán desde el punto de vista topográfico puede considerarse como casi simétrica, presentando condiciones geotécnicas diferentes para cada margen.

9. En el cauce y margen derecha, el conglomerado está cubierto por 9 m de aluvión y menos de 4 de depósitos de talud, respectivamente.

10. En la margen derecha se presenta un horizonte permeable que puede llegar a profundizar hasta 40 m a partir del terreno natural, ocasionado por el fracturamiento del conglomerado en esta zona. La calidad de la roca en este tramo varía de buena a excelente.

11. En la ladera derecha conforme se incrementa la profundidad, el conglomerado está menos fracturado, de tal forma que después de los primeros 40 m, las rocas prácticamente son totalmente impermeables y de excelente calidad.

12. La margen izquierda presenta un horizonte permeable de espesor considerable que puede llegar hasta 75 m, donde la calidad de la roca varía de muy mala a regular. Después de este tramo problemático, la permeabilidad se reduce notablemente y la calidad de las rocas puede considerarse de manera general como excelente.

VASO

13. El vaso Chontalcuatlán es extenso y de forma irregular, aproximadamente de 10.5 Km de longitud. Es casi seguro que las fracturas identificadas en esta zona, no tengan influencia negativa para el proyecto, como lo demuestran los resultados de las exploraciones directas, realizadas a proximidad.

14. Los primeros metros de roca se encuentran fracturados, lo cual las hace sumamente permeables,

para después tener un comportamiento impermeable y ser de excelente calidad.

15. Por las características descritas, los materiales conglomeráticos del Grupo Balsas que aparecen en las zonas de la boquilla y vaso, son rocas competentes para la construcción de la presa, aún cuando será necesario realizar algún tratamiento impermeabilizador en la boquilla.

16. Las obras auxiliares distribuidas convenientemente en ambos márgenes también tendrán su desarrollo en conglomerado, y de igual forma deberán tener un comportamiento competente para la construcción de dichas estructuras.

17. Los bancos o sitios de donde se obtendrán los materiales para la construcción de la cortina, están próximos al proyecto, constituidos por suelos de origen residual para el material impermeable y de calizas de la Formación Morelos y riolitas de la Riolita Tilzapotla, para el filtro y enrocamiento.

RECOMENDACIONES

Es recomendable que el sondeo II se prolongue cuando menos 50 m más, o bien hasta encontrar roca sana e impermeable, para conocer exactamente el espesor del horizonte crítico, formado por rocas sumamente fracturadas y permeables que afectan este margen.

También se propone la ejecución de 2 sondeos con recuperación de núcleos en el margen derecha (Plano No. 1). El primero deberá estar a la elevación de la corona, 1 250 msnm, con la profundidad necesaria para alcanzar 10 ó 15 m más abajo de la rasante del túnel de la toma alta.

El segundo quedaría ubicado un poco aguas abajo, también a la cota 1 250, con una profundidad aproximada de 125 m, con la que se alcanzarán 10 m más abajo de la rasante de toma baja.

Es recomendable la realización de cuando menos dos socavones en cada una de las laderas de la boquilla para conocer en forma precisa, las características físicas de las rocas, y de esta manera, con el de la margen derecha, determinar las condiciones de tuneleo en la construcción de la obra de desvío.

En la margen derecha uno de los socavones quedaría sobre la cota 1 190, teniendo un desarrollo horizontal de aproximadamente 100 m, hasta interceptar con la obra de toma alta. El segundo socavón se recomienda a la elevación 1 150 msnm, para definir con precisión la longitud horizontal que presenta la zona fracturada y permeable de esta ladera, pudiendo tener un desarrollo de 50 m.

Sobre la margen izquierda, el primer socavón se propone a la elevación del cauce, sobre la cota 1 125, pues se piensa que en esta parte se puede determinar con exactitud la distancia horizontal de roca fracturada y por consiguiente permeables; el socavón se realizaría en esta misma margen, también horizontal, sobre la cota 1 250 para determinar las condiciones de resistencia de la roca en la zona que serían los apoyos altos de la cortina.

Por lo anterior, a medida que se construyan los socavones, se deberá realizar una toma de muestras, por ejemplo cada 50 m, para realizarles diferentes pruebas en el laboratorio de mecánica de rocas (resistencia al esfuerzo cortante, intemperismo acelerado, compresión) que nos proporcionen datos respecto a la

resistencia de las mismas, así como realizar pruebas in situ.

Es conveniente realizar trincheras y pozos a cielo abierto, en la zona del vaso, para verificar la amplitud, constitución, y de ser posible, espesor del material de relleno de las dos grandes fracturas detectadas, así como para observar la relación del intrusivo con la roca encajonante en el afloramiento más pequeño de los dos mapeados en el vaso.

Se recomienda, de igual forma, investigar cual debe ser el tratamiento de impermeabilización que es necesario aplicar en la zona de la boquilla, principalmente a las rocas fracturadas de la margen izquierda.

Por último, deberá realizarse estudios de detalle (exploración de campo y ensayos de laboratorio), que permitan cuantificar y conocer de manera precisa, la calidad y volumen disponible de los materiales de construcción.

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 Metamorfizada
 de Ixtapan de la Sal, Méx.- Teololoapan, Gro".
Bol. Soc. Geol. Méx. Tomo XXXV: 7-28
 México 1974

CAMPA F.
 "La Evolución Tectónica de la Tierra Caliente, Gro".
Bol. Soc. Geol. Méx. 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 Mexicana
 México, 1980

Clark S.
Structure of the Earth
 Prentice-Hall Inc.
 New Jersey, 1971

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
Estudios Básicos para Definir la Factibilidad de Almacenamiento
Hidráulico del Sistema Alto Amacuzac.
 México, 1983

COMISION DE ESTUDIOS DEL TERRITORIO NACIONAL
Carta Topográfica "Taxco (E-14-A-68)" Esc. 1:50 000
 México, 1977

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

Estudio Geológico y de Pruebas de Permeabilidad de la Boquilla "Piedras Negras" en el Río Chontalcuatlán, Municipio de Pilcaya, Edo. de Gro".

México, 1978

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

"Libreto Guía de la Excursión Geológica a la Parte Central de la Cuenca del Alto Balsas, Edos. de Gro. y Pue."

III Reunión Nacional de Geotecnia y Geotermita

México, 1980

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

El Redescubrimiento de la Tierra

México, 1982

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

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

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

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. Méx. Geol. Petr. Vol. XXVI, No. 4-6

México, 1974

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

"Datos Geocrométricos Terciarios de los Edo. de Méx., Mor. y Gro."

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

México, 1974

de CSERNA Z., FRIES C.

Hoja Taxco con Resumen de la Geología, Edo. 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, la. Etapa

Folleto

México, 1982

EDWARDS J.

"Estudio Sobre Algunos de los Conglomerados Rojos del Terciario Inferior del Centro de México"

XX Congreso Geológico Internacional

México, 1956

FRIES C.

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

Bol. 60 Instituto de Geología, UNAM

México, 1960

HEINRICH E. W.

Petrografía Microscópica

2a. Ed. Omega

Barcelona, 1980

JUAREZ A., MORENO S.

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

Tesis Profesional Facultad de Ingeniería, UNAM

México, 1977

KERR P.J.

Optical Mineralogy

Mc. Graw Hill Book Co

1959

KRYNINE D.P.

Principios de Geología y Geotécnica para Ingenieros

4a. Edición Omega

Barcelona, 1975

LOPEZ R. E.

Carta Geológica del Edo. de Gro.

Esc. 1:500 000

2a. Ed. Instituto de Geología, UNAM

México, 1980

LOPEZ R. E.

Geología de México

Tomo III 3a. Ed.

México, 1983

LUGO H. J.

"La Geomorfología y sus Aplicaciones en la Ingeniería Civil"
Memoria de la 2a. Reunión Nacional de Intercambio Técnico de
 Geología y Geotecnia.

Tuxtla Gutiérrez, Chis., 1978

MATTAUER M.

Las Deformaciones de los Materiales de la Corteza Terrestre
 Omega

Barcelona, 1976

ONTIVEROS T. G.

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

Bol. Asoc. Méx., Geol. Petr. Vol. XXV, Nos. 4-6

México, 1973

PETTIJHON F.J.

Sedimentary Rocks

Third Edition

Harper and Row Publishers

New York, 1975

PRESS F., SIEVER R.

Earth

Second Edition

Freeman

1978

PRIETO R., ROSAS J. L.

"Exploraciones Geológicas para Obras de Ingeniería Civil"

Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM

México, 1978

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO

Atlas Nacional del Medio Físico

México, 1981

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO

"Uso del Suelo"

Guías para la Interpretación de Cartografía

México, 1981

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO
Geología de la República Mexicana
México 1982

SELECCIONES DE SCIENTIFIC AMERICAN
Deriva Continental y Tectónica de Placas
2a. Ed. H. Blume Ediciones
España, 1981

TURNER F. J., VERHOOGEN J.
Petrología Ignea y Metamórfica
3a. Ed. Omega
Barcelona, 1978

WYLLIE P.J.
The Dynamic Earth
John Wiley and Sons Inc.
1971

ORLANDO JAIMES MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

ANALISIS PETROGRAFICO

LAMINA No. 1

LOCALIDAD: Boquilla Chontalcuatlán, río Chontalcuatlán, Gro.

I ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: pardo rojizo con gris claro y verde

ESTRUCTURA: compacta inequigranular

TEXTURA: brechoide

La roca está constituida por fragmentos en igual proporción de rocas andesíticas, basálticas y calizas principalmente, incluidos en una matriz limolítica de color café rojizo. La variedad de tamaños de los constituyentes incluye desde granos individuales observables a simple vista, hasta fragmentos de roca de 3 cm aproximadamente; los de roca ígnea varían en forma de angulosos a subangulares, mientras que los de caliza van de subangulosos a subredondeados.

II DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: epiclástica bimodal

MINERALOGIA: fragmentos de roca: andesita cloritizada
caliza fosilífera
caliza dolomítica

minerales: cuarzo

feldespatos

matriz: minerales arcillosos
dolomita

cementante: hematita

RELACIONES ENTRE MINERALES: la roca se presenta formada esencialmente por un agregado de diversos fragmentos bastante angulosos de rocas cementados por hematita.

Algunos de los fragmentos de andesita se encuentran fuertemente cloritizados, no obstante se puede distinguir en ellos su textura pilotaxítica original, mientras que en otros, los minerales ferromagnesianos están totalmente alterados a hematita, conservándose solamente los cristales de plagioclasas. Se distinguen fragmentos de caliza con abundantes fósiles, algunos parcialmente reemplazados por dolomita, incluidos en una matriz de espatita. También se presentan fragmentos de caliza con textura microscritalina en los cuales no se observaron fósiles, con abundantes fracturas rellenas de dolomita; en algunas partes estos fragmentos tienen reemplazamiento por calcedonia.

III CLASIFICACION: ortoconglomerado petromictico.

IV NOTAS: el ejemplar corresponde a la exploración IV, profundidad de 25 m. Fecha de recolección: marzo/83.

ORLANDO JAIMES MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

ANALISIS PETROGRAFICO

LAMINA No. 2

LOCALIDAD: Vaso Chontalcuatlán, río Chontalcuatlán, Gro.

I ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: pardo rojizo

ESTRUCTURA: compacta equigranular

TEXTURA: clástica

La roca está constituida por un agregado bastante compacto y homogéneo de arena fina, cuyos granos son observables a simple vista, sobresaliendo algunos de cuarzo, así como fragmentos angulosos de rocas andesíticas en tamaño hasta de 5 mm, quedando bastante separados un fragmentos de otro. Presenta rellenas de calcita.

II DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: granular psamítica

MINERALOGIA: minerales: cuarzo

feldespatos

fragmentos de roca: andesita

caliza

matriz: minerales arcillosos

cementante: hematita

RELACIONES ENTRE MINERALES: la roca se presenta formada por un agregado de granos cuya forma varía de angulosos a subangulosos, principalmente de cuarzo y feldespatos. Los feldespatos son potásicos, generalmente alterados a arcillas y sericita.

Los fragmentos de roca contrastan notablemente por su tamaño con los otros constituyentes de la roca, lo que le imprime un carácter conglomerático; dada la alteración que presentan los fragmentos de andesita, muchas veces sus límites son difusos, lo cual no impide reconocer relictos de su textura porfídica original.

La matriz está constituida por arcillas cementadas con hematita, originada de la alteración de los minerales ferromagnesianos.

III CLASIFICACION: arcosa

IV NOTAS: el ejemplar corresponde a la exploración VIII, profundidad de 25 m. Fecha de recolección: junio/83.

ORLANDO JAIMES MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

ANALISIS PETROGRAFICO

LAMINA No. 3

LOCALIDAD: Boquilla Chontalcuatlán, río Chontalcuatlán, Gro.

I ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: gris y rojo oscuro

ESTRUCTURA: compacta

TEXTURA: brechoide

La roca se presenta constituida por un agregado bastante compacto de fragmentos de roca predominantemente de tipo basáltico y andesítico. Estos fragmentos tienen forma variable de angular a subangular y tamaño desde arenas hasta 3 cm los más grandes; se presentan alterados. También se reconocen pequeños granos individuales de cuarzo anhedral. Los constituyentes se encuentran mal seleccionados y están incluidos en una matriz limolítica de color rojo oscuro.

II DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: epiclástica bimodal

MINERALOGIA: fragmentos de roca: basalto
andesita

minerales: cuarzo
feldespatos

matriz: minerales arcillosos, silisificada
cementante: hematita

RELACIONES ENTRE MINERALES: el ejemplar se presenta formado esencialmente por un agregado de fragmentos de rocas ígneas incluidos en una matriz de arcillas, la cual se encuentra notablemente silicificada.

Los fragmentos de roca se encuentran bastante alterados, pero aún así en algunos es posible distinguir relictos de su textura pilotaxítica original; en general los ferromagnesianos están rotos y alterados a hematita y clorita, de la misma forma que los fenocristales de plagioclasas a arcillas y sericita.

También es posible observar en la matriz cristales anhedrales de cuarzo y plagioclasas.

Los elementos se encuentran incluidos en una matriz de arcillas. La calcita se encuentra rellenando las microfracturas de la roca.

III CLASIFICACION: ortoconglomerado polimíctico

IV NOTAS: el ejemplar corresponde a la exploración IV, profundidad de 60 m. Fecha de recolección: abril/83

ORLANDO JAIMES MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

ANALISIS PETROGRAFICO

LAMINA No. 4

LOCALIDAD: Boquilla Chontalcuatlán, río Chontalcuatlán, Gro.

I ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: gris claro con gris oscuro

ESTRUCTURA: compacta

TEXTURA: conglomerática

La roca está constituida por un agregado de fragmentos de roca calcárea, variables en forma de subangulares a redondeados, cementados por calcita; es muy abundante la cantidad de pirita en la roca. Presenta fracturas rellenas de calcita.

II DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA:

MINERALOGIA: cementante: calcita

matriz: cuarzo

minerales arcillosos

RELACIONES ENTRE MINERALES: la roca se presenta constituida por un agregado de cristales de calcita (espatita), reconociéndose como matriz en poca proporción, cuarzo subhedral tamaño arena, así como minerales arcillosos (diseminaciones).

III CLASIFICACION: caliza espatítica (fragmento)

IV NOTAS: en la lámina delgada solamente se aprecia lo que puede ser un solo fragmento de caliza, pero la muestra de mano presentase como un conglomerado calcáreo; el ejemplar contiene en gran cantidad pirita diseminada, lo cual indica que fue depositada en un ambiente reductor. La roca corresponde a la exploración IV, profundidad de 75 m. Fecha de recolección: abril/83.

ORLANDO JAIMES MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

ANALISIS PETROGRAFICO

LAMINA No. 5

LOCALIDAD: Boquilla Chontalcutlán, río Chontalcutlán. Gro.

I ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: gris verdoso

ESTRUCTURA: compacta

TEXTURA: porfídica holocristalina

Se trata de una roca muy compacta de matriz de grano fino donde quedan incluidos fenocristales de anfíboles y piroxenos de forma euhedral y cuarzo anhedral, principalmente.

II DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: holocristalina pilotaxítica

MINERALOGIA: minerales esenciales: plagioclasa andesina

minerales accesorios: augita

apatito

cuarzo

opacos

minerales secundarios: clorita

esfena

sericita

calcita

RELACIONES ENTRE MINERALES: la muestra se presenta con textura porfídica seriada, donde la matriz está constituida en su mayor parte por plagioclasa de composición intermedia de formas subhedrales y euhedrales, en algunas partes notablemente orientadas, originando de esta forma la textura pilotaxítica. Se presentan también fenocristales de plagioclasas zonados.

Los cristales de piroxeno son de forma tabular, en muchos casos alterados en sus bordes.

El cuarzo es escaso, presentándose como fenocristales anhedrales; en la matriz se encuentran cristales idiomórficos de apatito. Es notable la gran alteración a clorita que presenta la roca. La calcita rellena huecos de la muestra.

III CLASIFICACION. andesita de augita

IV NOTAS: el ejemplar corresponde a la exploración IV, profundidad de 105 m. fecha de recolección: abril/83.

ORLANDO JAIMES MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

ANALISIS PETROGRAFICO

LAMINA No. 6

LOCALIDAD: Vaso Chontalcuatlán, río Chontalcuatlán, Gro.

I ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: gris pardo-rojizo

ESTRUCTURA: compacta, ligeramente vesicular

TEXTURA: porfídica con matriz afanítica

La roca es muy compacta, los ferromagnesianos encuentran en forma de fenocristales de forma subhedral, alterados a hematita, lo cual le da el tono rojizo a la roca. Las pocas vesículas que presenta se encuentran rellenas de calcita.

II DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: holocristalina intergranular

MINERALOGIA: minerales esenciales: plagioclasa labradorita

minerales accesorios: olivino

augita

apatito

opacos

minerales secundarios: hematita

clorita

RELACIONES ENTRE MINERALES: la muestra presenta una textura porfídica seriada, donde la matriz está constituida en su mayor parte por plagioclasas de composición cálcica de formas subhedrales y euhedrales, distinguiéndose entre éstas, granos de olivino. La augita es generalmente de forma subhedral y casi todos sus cristales presentan alteración en sus bordes a clorita o hematita, la cual se presenta relleno de pequeñas fracturas.

III CLASIFICACION: basalto de olivino

IV NOTAS: el ejemplar corresponde a los afloramientos de la parte noroccidental del vaso. Fecha de recolección: marzo/85.

ORLANDO JAIMES MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

ANALISIS PETROGRAFICO

LAMINA No. 7

LOCALIDAD: Vaso Chontalcuatlán, río Chontalcuatlán, Gro.

I ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: gris verdoso

ESTRUCTURA: compacta

TEXTURA: fanerítica

Se trata de una roca muy compacta donde se distinguen cristales de feldespatos, anfíboles, piroxenos y cuarzo en poca proporción. Es observable una orientación en los cristales, principalmente de los feldespatos.

II DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: holocristalina pilotaxítica

MINERALOGIA: minerales esenciales: plagioclasa andesina

minerales accesorios: augita

apatito

cuarzo

opacos

minerales secundarios: clorita

serícita

calcita

minerales arcillosos

RELACIONES ENTRE MINERALES: la muestra presenta una textura intergranular donde la matriz está constituida en su mayor parte por plagioclasas de composición intermedia que varían en forma de subhedral a euhedral, visiblemente orientadas, con lo cual se origina la textura pilotaxítica de la roca.

Los ferromagnesianos son de forma tabular con alteración a hematita en sus bordes que también puede ser clorita. La clorita se encuentra como alteración de los ferromagnesianos principalmente lo cual le proporciona el color verdoso a la muestra. Los feldespatos se encuentran alterados a arcillas.

III CLASIFICACION: andesita de augita

IV NOTAS: el ejemplar corresponde a los afloramientos de la parte media del vaso. fecha de recolección: marzo/85.

ORLANDO JAIMES MARTINEZ

TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

ANALISIS PETROGRAFICO

LAMINA No. 7

LOCALIDAD: Vaso Chontalcuatlán, río Chontalcuatlán, Gro.

I ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: gris verdoso
ESTRUCTURA: compacta
TEXTURA: fanerítica

Se trata de una roca muy compacta donde se distinguen cristales de feldespatos, anfíboles, piroxenos y cuarzo en poca proporción. Es observable una orientación en los cristales, principalmente de los feldespatos.

II DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: holocristalina pilotaxítica
MINERALOGIA: minerales esenciales: plagioclasa andesina
 minerales accesorios: augita
 apatito
 cuarzo
 opacos
 minerales secundarios: clorita
 sericita
 calcita
 minerales arcillosos

RELACIONES ENTRE MINERALES: la muestra presenta una textura intergranular donde la matriz está constituida en su mayor parte por plagioclasas de composición intermedia que varían en forma de subhedral a euhedral, visiblemente orientadas, con lo cual se origina la textura pilotaxítica de la roca.

Los ferromagnesianos son de forma tabular con alteración a hematita en sus bordes que también puede ser clorita. La clorita se encuentra como alteración de los ferromagnesianos principalmente lo cual le proporciona el color verdoso a la muestra. Los feldespatos se encuentran alterados a arcillas.

III CLASIFICACION: andesita de augita

IV NOTAS: el ejemplar corresponde a los afloramientos de la parte media del vaso. fecha de recolección: marzo/85.

ORLANDO JAIMES MARTINEZ

TESISI PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

ANALISIS PETROGRAFICO

LAMINA No. 8

LOCALIDAD: Vaso Chontalcuatlán, río Chontalcuatlán, Gro.

I ASPECTO MEGASCOPICO

COLOR: blanco con gris-verdoso

ESTRUCTURA: compacta

TEXTURA: fanerítica de grano grueso

La muestra es un xenolito incluido en roca andesítica, en el cual se observan claramente cristales de feldespatos y anfiboles principalmente.

II DESCRIPCION MICROSCOPICA

TEXTURA: porfídica holocristalina

MINERALOGIA: minerales esenciales: feldespato potásico

minerales accesorios: biotita

hornblenda

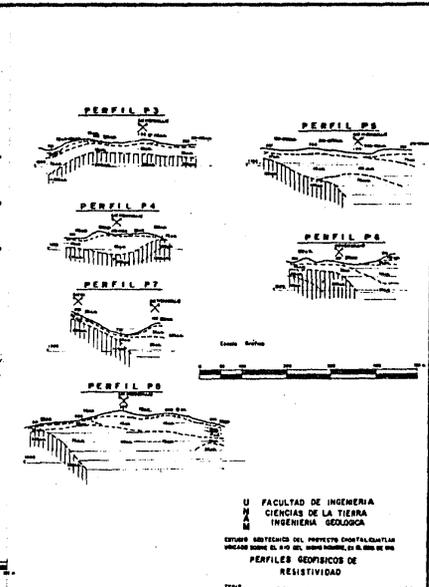
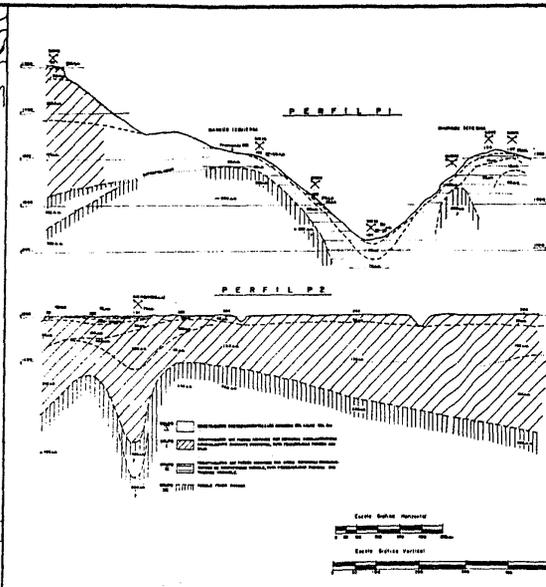
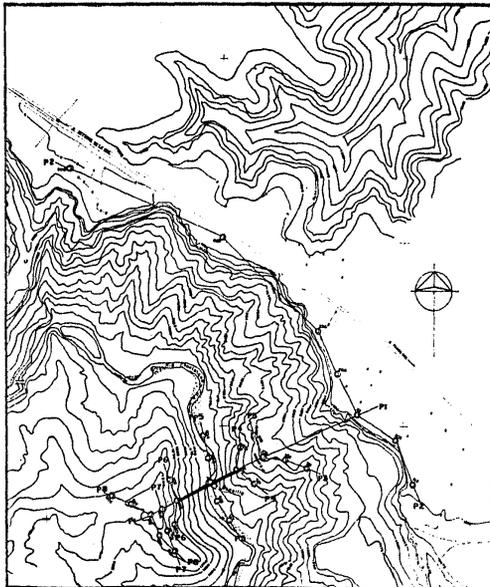
apatito

minerales secundarios: clorita

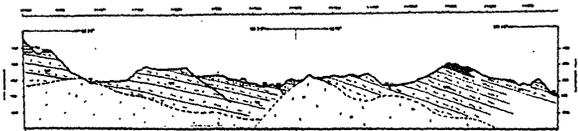
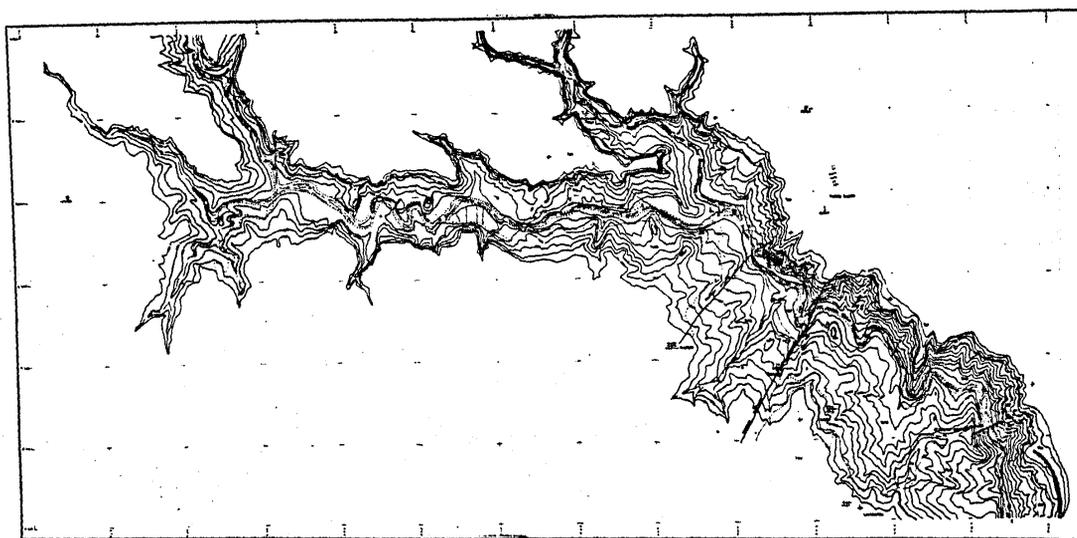
La roca se presenta con una aspecto bastante triturado o molido, de tal forma que los feldespatos están rotos, a veces con extinción ondulante y otras más como astillas, constituyendo de esta forma, la matriz de la roca. Además de algunos feldespatos, otros minerales que se presentan como fenocristales son los de hornblenda, notablemente alterados a sus bordes.

III CLASIFICACION: sienita

IV NOTAS: el ejemplar corresponde a un xenolito incluido en rocas andesíticas de la parte media del vaso. Fecha de recolección: marzo/85.



U. FACULTAD DE INGENIERIA
 CIENCIAS DE LA TIERRA
 INGENIERIA GEOLOGICA
 CENTRO ADIUTIVO DEL PROYECTO COPIACAMILLAS
 UBICADO ENTRE EL S. 10 DE 100, 10000 N. Y EL S. 1000 DE 100
 PERFILES GEOPHISICOS DE
 RESISTIVIDAD
 1951
 ORLANDO JAIMES MARTINEZ



LEYENDA

COLUMA ESTADÍSTICA

10	100
20	200
30	300
40	400
50	500
60	600
70	700
80	800
90	900
100	1000

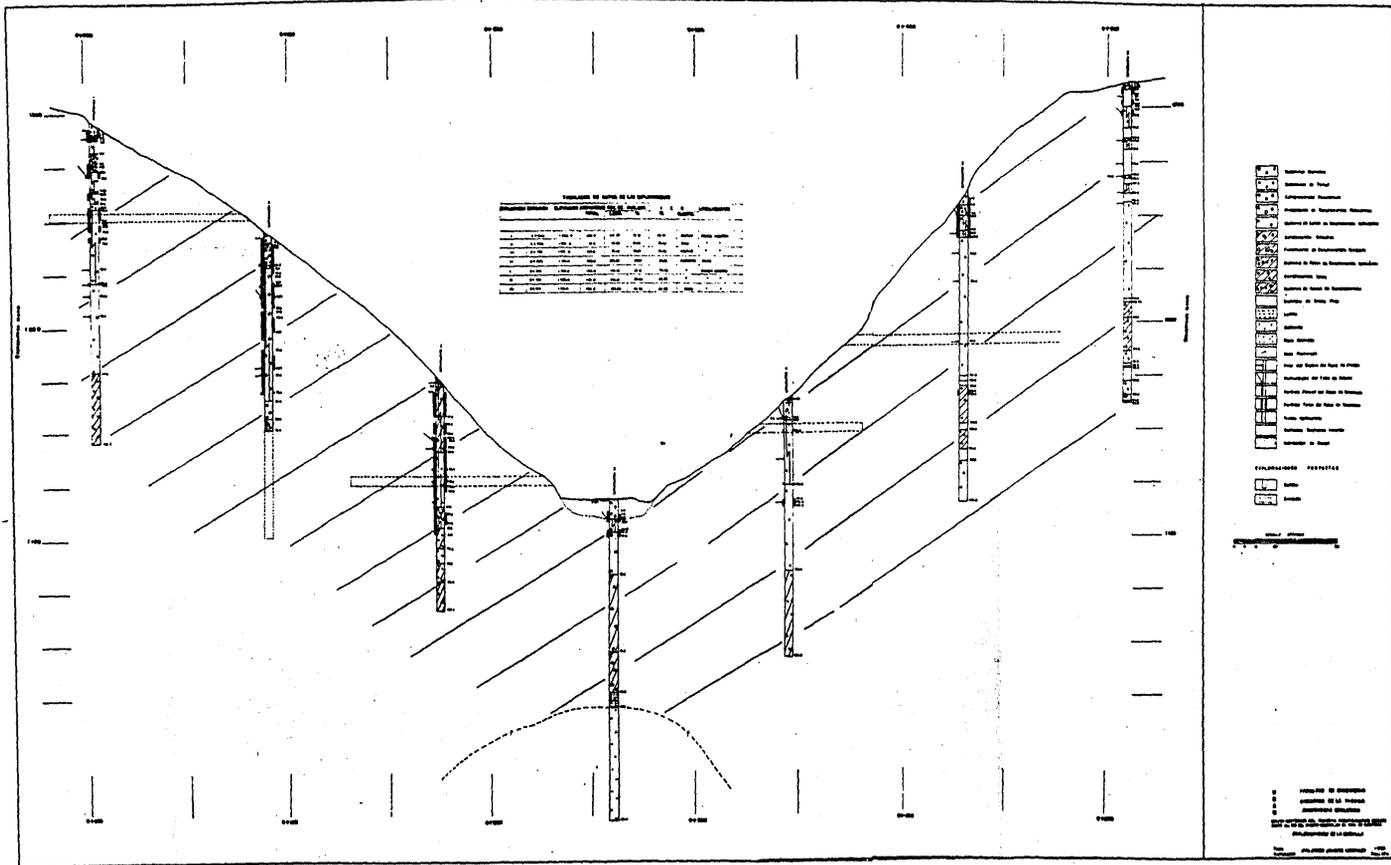
SÍMBOLOS GEOLÓGICOS

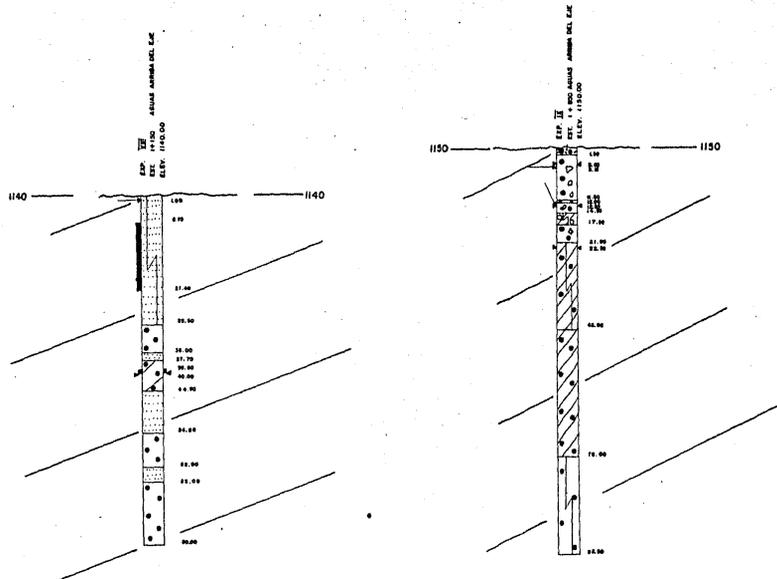
Terrazas antiguas	—
Formación Llanura de las	—
Llanura de las	—
Formación	—
Formación	—
Formación	—

SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

Monte	—

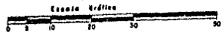
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
 CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
 INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
 CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
 INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
 CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS





LEYENDA

- Conglomerado Polimítico
- Fragmentos de Conglomerado Polimítico
- Muestra de Canal de Conglomerado Polimítico
- Conglomerado Calcáreo
- Fragmentos de Conglomerado Calcáreo
- Muestra de Canal de Conglomerado Calcáreo
- Conglomerado Igneo
- Arenisca de Grano Fino
- Roca Alterada
- Roca Fracturada
- Nivel de Espesa de Agua de Prueba
- Profundidad del Tubo de Adama
- Pérdida Parcial del Agua de Enjuague
- Pérdida Total del Agua de Enjuague
- Tramo Compactado
- Inclinación de las Capas

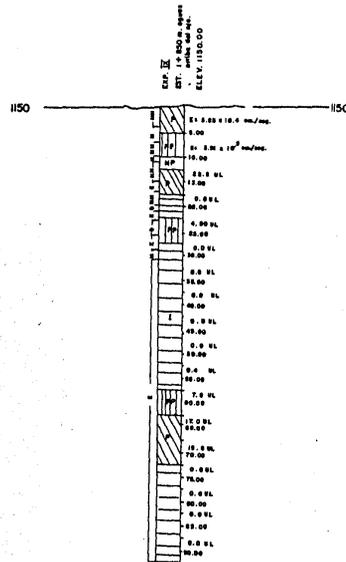
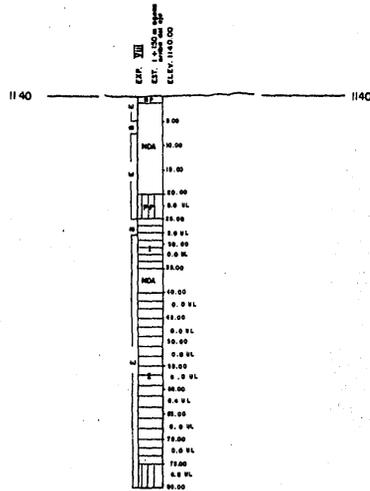


EXPLORACION Nº	ESTACION	ELEVACION	PROFUNDIDAD		COMPOSICION DE MUESTRAS		INDICE DE CALIDAD DE MUESTRAS		LOCALIZACION
			TOTAL	LONGITUD	%	%	%	CLASIFICACION	
VII	1150.00	90.00	77.34	66.31	86.25	Estéril	Voto		
	1130.00	82.50	79.73	66.19	78.12	Buena	Voto		

U FACULTAD DE INGENIERIA
 N CIENCIAS DE LA TIERRA
 A INGENIERIA GEOLÓGICA
 M

ESTUDIOS DE SISTEMAS DEL PROYECTO QUINTACENTILAN
 UNIDAD 10000 EL NO. DEL MUNICIPIO, NIVEL 100 DE M.D.

EXPLORACION DEL VASO



LEYENDA

LITOLOGIA

- Depósito Aluviales
- Depósito de Talud
- Conglomerado
- Andesita

PERMEABILIDAD

- Profundidad-Unidades de Permeabilidad
- No Probado
- No Determinado Analíticamente
- Roca Impermeable
($0.00 < k < 1.0$ U.L.)
- Roca Poco Permeable
($1.0 < k < 10.0$ U.L.)
- Roca Permeable
($10.0 < k < 100.0$ U.L.)
- Roca muy Permeable
($k > 100.0$ U.L. en adelante)

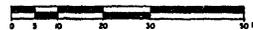
INDICE DE CALIDAD DE ROCA

- MM Muy Mala
- M Mala
- R Regular
- B Bueno
- E Excelente

SIMBOLOGIA GEOLOGICA

- Contacto Geológico
- Contacto Geológico Inferido

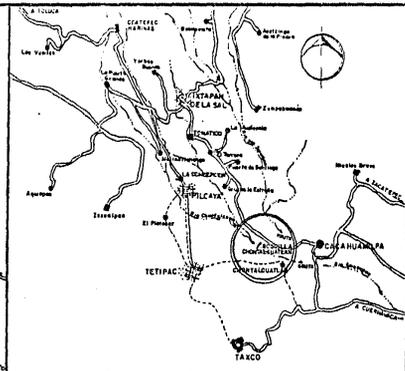
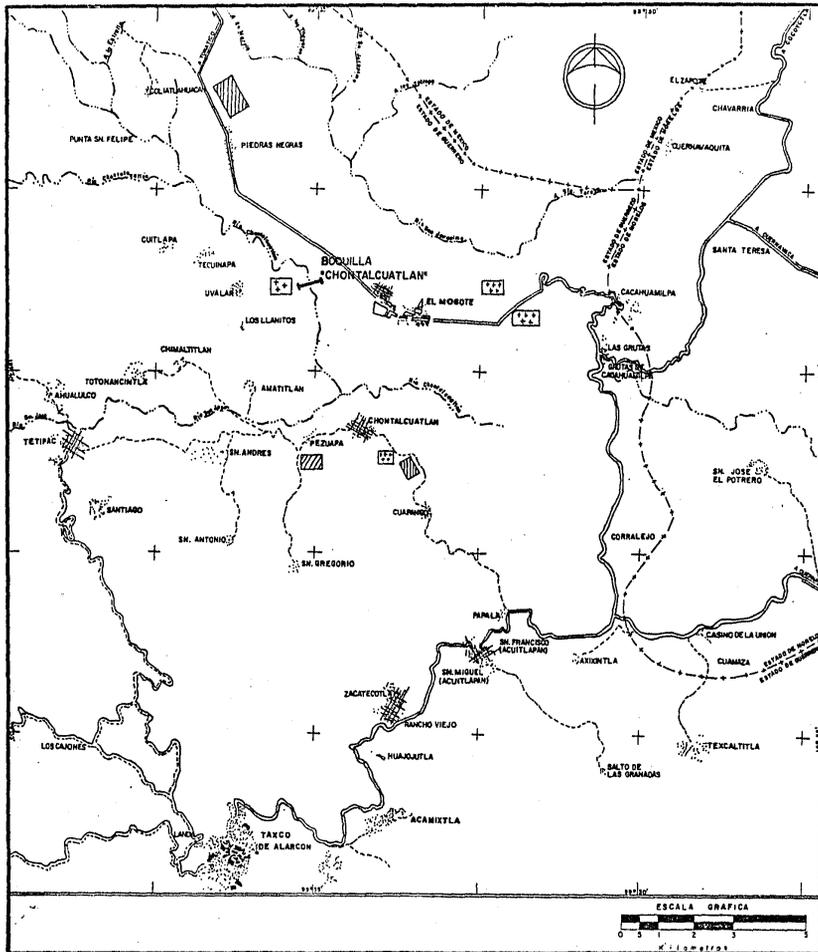
ESCALA GRAFICA



FACULTAD DE INGENIERIA
CIENCIAS DE LA TIERRA
INGENIERIA GEOLOGICA
ESTUDIO GEOTECNICO DEL PROYECTO CHONTALCUATLAN
UBICADO SOBRE EL RIO DEL MEMO HOMBRE, DEL EDO. DE GTO.

PERFIL DE VARIACIONES DE PER-
MEABILIDAD Y CALIDAD DE ROCA EN EL VASO

TESIS
PROFESIONAL ORLANDO JAINES MARTINEZ. 1995
PLANO NRO 1



CROQUIS DE LOCALIZACION

SIMBOLOGIA DE LA PLANTA Y EL CROQUIS

CAMINO PAVIMENTADO	
CAMINO DE TERRACERIA	
DRECHA	
LIMITE DE ESTADO	
BOQUILLA	
RIO O ARROYO	
CIUDAD	
POBLADO IMPORTANTE	
POBLADO SECUNDARIO	
BANCO DE MATERIAL IMPERMEABLE	
BANCO DE ROCA	

UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 CIENCIAS DE LA TIERRA
 INGENIERIA GEOLOGICA
 ESTUDIOS GEOTECNICOS DEL PROYECTO CHONTALCUATLAN
 UBICADOS SOBRE EL RIO DEL MISMO NOMBRE, EN EL EDO DE OAX.
 LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIAL
 TESIS PROFESIONAL *Orlando Jaimes Martinez* 1983
 PLANO No. 8



Mis amigos Consuelo Moreno y Gustavo Rodríguez, colaboraron en el dibujo de figuras y planos.

Gracias

Beatriz y Jesús y Arturo por bajar y subir.

Orlando