

22  
2-cj



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO GEOLOGICO PREELIMINAR PARA EL PROYECTO DE  
PRESA "AYEHUALCO TEMEZONTLA" MPIO. PANOTLA, TLAX.

## T E S I S

Que para obtener el Título de  
INGENIERO GEOLOGO  
p r e s e n t a

**OSCAR RAMIREZ ROJAS**

Director de tesis: Ing. Héctor Luis Macías González



México, D. F.

1986



## **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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección  
60-I-63

Señor RAMIREZ ROJAS OSCAR.  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. Ing.- Héctor Luis Macías González, para que lo desarrolle como tesis - para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOLOGO.

"ESTUDIO GEOLOGICO PRELIMINAR PARA EL PROYECTO DE PRESA  
"AYEHUALCO-TEMEZONTLA" MPIO. PANOTLA, TLAX."

RESUMEN.

- I INTRODUCCION.
  - II GENERALIDADES.
  - III GEOLOGIA REGIONAL.
  - IV GEOLOGIA DEL SITIO DEL PROYECTO.
  - V EXPLORACION DE LA BOQUILLA Y EL VASO.
  - VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

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

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., Febrero 26 de 1986.  
EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascoón Chávez

## RESUMEN

Mediante la construcción de una presa de almacenamiento se pretende aprovechar los escurrimientos del arroyo Huexoxuca para mejorar el servicio de agua potable a los poblados - San Francisco Témexontla, San Mateo Huexoyucan y San Tadeo Huiloapan en el estado de Tlaxcala.

El sitio de la presa se localiza en las cercanías de la ciudad de Tlaxcala, en la provincia fisiográfica conocida como "Eje Neovoicánico". Las rocas que se presentan en la zona son de tipo piroclástico y basáltico de edad cuaternaria.

La boquilla se exploró mediante cinco perforaciones de tipo rotatorio con recuperación de núcleos y pruebas de permeabilidad, mientras que en el vaso se efectuó un sondeo adicional. De acuerdo con los resultados de las exploraciones se concluye que el principal problema de la presa en proyecto será el de la permeabilidad de los materiales tanto en la boquilla como en el vaso, pues el basalto presenta una permeabilidad promedio de  $1.5 \times 10^{-4}$  cm/seg (muy permeable) y las tobas de  $3.35 \times 10^{-5}$  cm/seg (permeables). Se espera que el mismo material de azolve contribuya a impermeabilizar el terreno. No se recomienda un tratamiento de impermeabilización porque incrementaría considerablemente el costo total de la obra, que por su pequeña magnitud parece no ser justificable.

por el tipo de rocas que se presentan en la zona, se propone una cortina de tierra y enrocamiento para dar peso y estabilidad a la estructura, mejorando en la medida de lo posible las condiciones de permeabilidad en la boquilla. Asimismo se propone una serie de medidas para disminuir los efectos de la erosión en los materiales piroclásticos.

Finalmente se mencionan las razones por las que el autor considera al sitio propuesto como inadecuado para la construcción de una presa de almacenamiento.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

1.1 Aclaraciones.

1.2 Alcance y limitaciones del trabajo.

1.3 Antecedentes.

1.4 Objetivo del trabajo.

1.5 Método de trabajo.

1.6 Características del proyecto.

## 1.1 Aclaraciones.

durante la prestación del servicio social en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el autor tuvo la oportunidad de colaborar en los trabajos de investigación preliminar para el proyecto de presa "Ayenualco-Temezontla" ubicado en el estado de Tlaxcala. Una vez cubierto el requisito de seis meses de trabajo dentro de la Institución, la Subdirección de Investigación y Desarrollo Experimental (S.I.D.E.) de la mencionada Secretaría, autorizó mediante el oficio No. 604 del 4 de septiembre de 1985, la consulta de la información disponible referente al proyecto citado con objeto de facilitar la elaboración de la presente tesis.

Entre los requisitos para que fuera otorgada dicha autorización pueden mencionarse la cita de documentos consultados en los archivos de la S.I.D.E., el compromiso de donar un ejemplar de esta tesis a la biblioteca de la Subdirección, y sobre todo, dejar constancia de que LOS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DEL PRESENTE TRABAJO SON DE LA EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL AUTOR Y EN NINGÚN CASO, INSTITUCIONAL.

## 1.2 Alcance y limitaciones del trabajo.

Al momento de escribir estas líneas, el estado de avance de la investigación en el sitio del proyecto, se encuentra en una etapa de prefactibilidad. De acuerdo con esto el enfoque de este trabajo estará dirigido hacia la cobertura de todos aquellos aspectos que se determinan en un estudio de investigación preliminar, por lo que la cartografía y la sección geológica que acompañan este texto no suministrarán información propia de un levantamiento geológico a detalle.

Cabe hacer notar que hasta la fecha no se cuenta con estudio fotogeológico ni con base topográfica a escala conveniente del vaso, por lo que se compensará esta carencia con

material fotográfico y un croquis geológico de dicha zona.

### 1.3 Antecedentes.

Los habitantes de los poblados San Francisco Temezontia, San Tadeo Huiloapan y San Mateo Huexoyucan en el estado de Tlaxcala, han solicitado a la delegación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos (S.A.R.H.) en la entidad, la construcción de una presa de almacenamiento con objeto de mejorar el abastecimiento de agua a las mencionadas poblaciones. Una vez turnada la petición a las autoridades competentes, se procedió a investigar la posibilidad de efectuar la obra.

El resultado de esas investigaciones dió lugar a la decisión de llevar adelante los estudios de prefactibilidad para la construcción de la presa, en vista de que en las cercanías de San Francisco Temezontia se localiza una barranca, la cual presenta un estrechamiento que puede servir para desplantar la cortina. De acuerdo con lo anterior, la S.I.D.E. envió personal y maquinaria para dar comienzo a la exploración del sitio propuesto y contar con datos sobre las características geológicas de la zona que pudieran ser de utilidad para el diseño de la obra.

Para tal efecto se han realizado cinco exploraciones en la boquilla y una sola en el área del vaso, todas con recuperación de núcleos y pruebas de permeabilidad tanto de tipo Lujeon como Ferranc. Además de efectuar la descripción y clasificación de las muestras de núcleo recuperadas de las perforaciones, se llevó a cabo el reconocimiento preliminar del terreno con objeto de identificar la litología aflorante, sus relaciones estratigráficas y el comportamiento de sus contactos.

por otra parte, los trabajos previos relacionados con el área son de tipo regional y se refieren básicamente al Eje - Neovolcánico y sus características tanto químicas como fisiográficas así como al problema de su origen. Tal es el caso de un trabajo titulado "El Eje Neovolcánico Transmexicano" elaborado por Demant, Mauvois y Silva en 1976 con motivo del III - Congreso Latinoamericano de Geología, en el que definen cinco focos principales de vulcanismo dentro del Eje siendo uno de ellos el valle de Puebla.

Otro trabajo que se considera importante en el marco geológico regional de la zona que nos ocupa es el titulado "The Mexican Volcanic Belt: Structure and Tectonics", en donde Mooser (1972) propone un patrón tectónico para los volcanes - Popocatepetl y Malinche comprendiendo también el valle de Puebla y áreas aledañas, según el cual el vulcanismo de esta parte de nuestro país así como algunas características del relieve en la zona de la ciudad de Tlaxcala estarían controlados por una serie de fallas tanto de tipo normal como inverso. - A partir del estudio de la cartografía existente de la región así como de observaciones de campo, se puede concluir que es probable que al menos las fallas denominadas "Tlaxcala" y - "Tetletlahuca" (sic), sean efectivamente elementos que han contribuido a la conformación de al menos una parte del relieve al Oeste del volcán la Malinche (ver figura 6).

Finalmente existe un estudio geohidrológico regional elaborado en 1973 para la entonces Secretaría de Recursos Hídricos (op. cit.), sobre la cuenca del río Sahuapán (región - del Alto Atoyac) en donde se establece la estratigrafía de la zona, se estudian sus condiciones hidrológicas, se evalúan - sus recursos geohidrológicos y se determina el comportamiento de las líneas de flujo para las unidades acuíferas así como - su recarga y drenaje, mediante estudios geoquímicos y aforo de los principales ríos que se encuentran en el área.



#### 1.4 Objetivo del trabajo.

La finalidad de este estudio acerca del proyecto de presa "Ayehualco-Temezontla" es presentar de manera clara y objetiva la información geológica necesaria en una etapa de investigación preliminar para la construcción de una presa de almacenamiento. Asimismo, mediante la elaboración de esta tesis se intenta presentar un documento que por su estructura, desarrollo y características pueda ser sujeto de examen profesional.

Para el cumplimiento del objetivo propuesto, este trabajo consta de un texto acompañado de ilustraciones, plano y sección geológica así como seis perfiles geotécnicos de barrenos. Finalmente se ofrece una interpretación de los datos y se formulan conclusiones y recomendaciones que se espera, puedan contribuir a adecuar el diseño de la obra a las características topográficas y geológicas del terreno.

#### 1.5 Método de trabajo.

Las etapas de investigación para un proyecto de presa podrían resumirse como sigue:

1. Investigación preliminar; comprende los estudios de gran visión y prefactibilidad.
2. Investigación a detalle; también llamada estudio de factibilidad.
3. Investigación durante y después de la construcción.

Como ya se mencionó, al momento de elaborar la presente tesis los trabajos de exploración en el sitio del proyecto "Ayehualco-Temezontla" se encuentran en una etapa de prefactibilidad, de manera que se ha considerado conveniente que la estructura de este trabajo se apege al orden recomendado pa-

ra la elaboración de un estudio de estas características. En síntesis, para elaborar el presente trabajo se siguieron los siguientes pasos:

- a) Investigación y análisis bibliográficos. Se consultaron libros, boletines e informes técnicos que de una u otra forma se relacionaran con el tema a tratar o bien, que aportaran datos sobre el sitio del proyecto.
- b) Ubicación del proyecto en un marco geológico regional. Se recabaron datos fisiográficos, hidrográficos, orográficos y geológicos mediante el estudio de cartas topográficas y geológicas así como de trabajos previos en el área de estudio. Las cartas utilizadas son editadas por la Dirección General de Geografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática a escala 1 : 50,000.
- c) Visitas al sitio del proyecto. Con el fin de determinar las estructuras presentes en el área, verificar las condiciones de los afloramientos, su litología, etc.
- d) Elaboración de un plano geológico con su correspondiente sección y de perfiles geotécnicos de los barrenos con los datos de campo. Durante el desempeño del Servicio Social, el autor tuvo la oportunidad de colaborar en los trabajos de clasificación de material rocoso en muestras de núcleo, cálculo de porcentajes de recuperación, índices de calidad de roca, así como en el cálculo de permeabilidades a partir de los registros de las pruebas efectuadas en los barrenos de exploración, para posteriormente elaborar los perfiles geotécnicos individuales de los barrenos y finalmente, vaciar toda la información anterior en un perfil del eje de la boquilla incluido en esta tesis.
- e) Integración e interpretación de datos. Con el fin de llegar a conclusiones que ayuden a decidir si se efectuará la construcción de la presa en el sitio propuesto y en tal ca

so, que su diseño y operación sean los más adecuados para satisfacer las necesidades de los pobladores del lugar.

A continuación se enlistan los requisitos que debe reunir un sitio que se pretenda usar para la construcción de una presa según Krynine y Juca (1957). Este listado servirá para compararlo con los resultados de los trabajos de exploración, de manera que pueda determinarse si el sitio del proyecto cumple con las especificaciones requeridas para este tipo de obras o bien, si se requiere algún tipo de tratamiento del terreno ya sea en la zona del vaso o de la boquilla.

1. La roca debe ser sana y resistente a las fuerzas estáticas y dinámicas esperadas, incluyendo terremotos.
2. Las pendientes del valle deberán ser estables cuando el vaso esté lleno, este requisito también se aplica a los apoyos de la cortina.
3. En un sitio para presa no deberá haber zonas susceptibles de deslizar por inestabilidad de taludes, especialmente en el caso de presas de gravedad.
4. La roca del sitio debe ser de una sola clasificación geológica en la medida de lo posible, a fin de evitar variaciones en el valor del módulo de elasticidad.
5. El sitio y las paredes del embalse deben ser impermeables. Debe tenerse en mente que para el caso de presas para el control de avenidas, son permisibles considerables pérdidas de agua del embalse con tal que la estabilidad de la presa no se afecte.
6. Las rocas en el sitio deben ser resistentes a la disolución, erosión, alteración y otros efectos perjudiciales tales como expansión y contracción debidas a la ganancia

y pérdida de calor así como a la acción de las heladas.

7. Las rocas del área que drena hacia el reservorio deben ser resistentes a la erosión, de tal manera que no sea probable que aporten grandes cantidades de sedimentos -- que tiendan a azochar el vaso y por tanto, a disminuir el periodo de vida útil de la obra.
8. En el caso de presas de arco la topografía y las características estructurales de la roca en los apoyos de la cortina deben ser favorables para resistir los empujes y garantizar la estabilidad de la cortina.
9. Las condiciones geológicas y topográficas del terreno deben permitir una localización favorable del vertedor, túnel de aerivación, casa de máquinas, obra de toma, etc.
10. La localización de bancos de materiales debe estar a una distancia del sitio del proyecto tal que no se eleven los costos por transporte de una manera significativa.

para cada alternativa debe determinarse la existencia de ferrocarriles, carreteras y canales que deban ser reubicados, evaluarse la posibilidad de construir caminos de acceso así como se debe atender el problema de reubicación de poblados e indemnizaciones a los dueños de terrenos que vayan a ser inundados. También se debe prestar atención a la resistencia de las rocas ubicadas inmediatamente aguas abajo de la cortina, teniendo en cuenta el efecto erosivo de las aguas descargadas por el vertedor y otros accesorios.

para cada alternativa también se debe estimar la cantidad de perforaciones, el material por remover, etc. Estas serían las condiciones ideales que cabría esperar en un sitio para presa, lo cual no quiere decir que si una o varias no se encuentran el sitio deba desecharse.

## 1.6 Características del proyecto.

La zona del proyecto se encuentra ubicada en la parte alta de una meseta situada al NW de la ciudad de Tlaxcala y se pretende aprovechar el escurrimiento de un área de pequeños lomeríos, de tal manera que la cortina quedaría desplantada - sobre el arroyo que corre a lo largo de una pequeña barranca de nombre Huexoxuca, lugar en donde se encuentra un estrechamiento que ha sido propuesto como eje de boquilla. Esta presenta una sección asimétrica con una pendiente mayor en la - margen izquierda que en la derecha (a la altura de la boquilla), probablemente debida a la diferente resistencia a la - erosión de los materiales en ambas márgenes (basaltos y rocas piroclásticas). A continuación se presenta un resumen del estudio hidrológico preliminar.<sup>1</sup>

Proyecto: Ayehualco-Temezontla.

Municipio: Panotla.

Estado: Tlaxcala.

1. Área de la cuenca	7.5 Km <sup>2</sup>
2. precipitación media anual en la cuenca	820 mm
3. Coeficiente de escurrimiento	14.4
4. Volumen total de almacenamiento	600 000 m <sup>3</sup>
5. Capacidad de azolves	50 000 m <sup>3</sup>
6. Volumen útil	550 000 m <sup>3</sup>
7. Elevación de la corona	2 462.60 m.s.n.m.
8. Longitud de la corona	60 m
9. Ancho de la corona	2.5 m
10. Altura máxima de la cortina	24.5 m
11. Elevación nivel de aguas máximas	2 460.90 m.s.n.m.
12. Elevación nivel de aguas máximas extraordinarias	2 461.62 m.s.n.m.
13. Elevación capacidad de azolves	2 453.00 m.s.n.m.
14. Gasto normal de la obra de toma	70 l.p.s

<sup>1</sup> proporcionado por la Residencia General de la S.A.R.H. en el estado de Tlaxcala.

15. Longitud de la cresta vertedora		30 m
16. Carga sobre el vertedor avenida de retorno		
50 años		0.72 m
17. Elevación cresta vertedora avenida		
100 años		0.87 m
18. Volumen medio de precipitación anual	6 150 000.00	m <sup>3</sup>
19. Escurrimiento medio anual	885 600.00	m <sup>3</sup>
Demanda máxima mensual	58 500.00	m <sup>3</sup>
Habitantes beneficiados	13 000	

Este es el resumen de los datos relativos al proyecto -  
"Ayehualco-Temezontia" hasta el 26 de septiembre de 1985.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES

- 2.1 Localización.
- 2.2 vías de comunicación.
- 2.3 población y cultura.
- 2.4 Economía de la zona.
- 2.5 Afectaciones.
- 2.6 clima y vegetación.

## 2.1 Localización.

El estado de Tlaxcala se localiza en la parte centro-sur oriente de la República Mexicana entre los paralelos  $19^{\circ} 06'$  y  $19^{\circ} 44'$  de latitud Norte y entre los meridianos  $99^{\circ} 43'$  y  $97^{\circ} 37'$  de longitud Oeste ocupando parte de la provincia fisiográfica denominada "Eje Neovolcánico". Se sitúa en la parte central de la zona que forman los estados de Puebla, Morelos, México y el D.F., siendo el más pequeño en superficie de todas las entidades federativas con excepción del D.F. y mostrando una superficie de  $3\ 914\ \text{km}^2$  equivalente al 0.2% del Territorio Nacional. Sus límites son al Sur, Este y Noreste con el estado de Puebla, al Norte el estado de Hidalgo y al Oeste el estado de México.

El sitio del proyecto se encuentra aproximadamente a 7 - km al Noroeste de la ciudad de Tlaxcala y a 1 km al Nor-Noroeste del poblado de San Francisco Temezontla, del cual toma su nombre. Las coordenadas geográficas de la cortina según la carta geológica publicada por la Dirección General de Geografía (INEGI, 1984 a) son las siguientes:

$19^{\circ} 22' 00''$  latitud Norte

$98^{\circ} 17' 17''$  longitud Oeste

2 442 m.s.n.m. en el cauce del arroyo Huexoxuca.

Para llegar al lugar del proyecto se parte de la ciudad de Tlaxcala por la carretera a San Martín Texmelucan hasta llegar al entronque localizado en las afueras del poblado de Panotla (cabecera municipal), aproximadamente a 3 km de la capital del estado. Continuando por la derecha se recorre un tramo de aproximadamente 1 km llegando a una desviación también a la derecha que conduce a San Francisco Temezontla con un recorrido aproximado de 4 km. Finalmente se llega a pie hasta el eje de la boquilla por una vereda que conduce a San Mateo Huexoyucan (ver figuras de localización).



Figura 1 Localización del Proyecto "Aguascal-Temesantla"

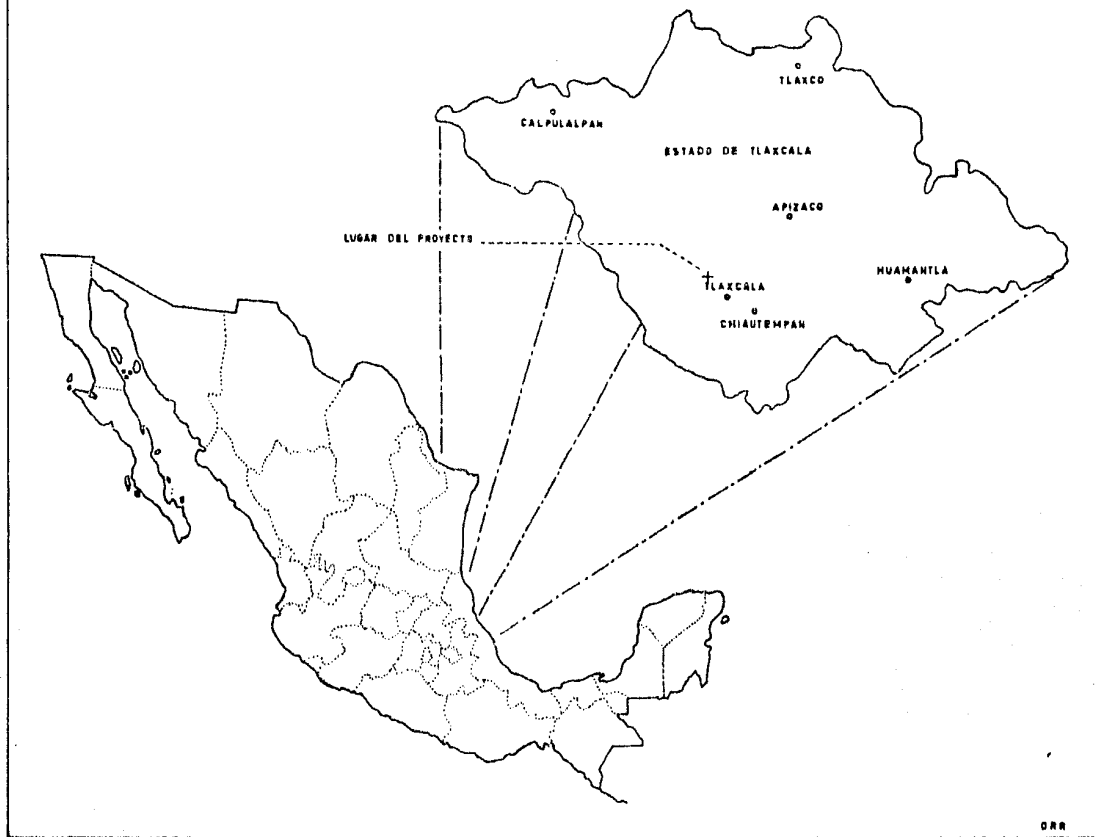
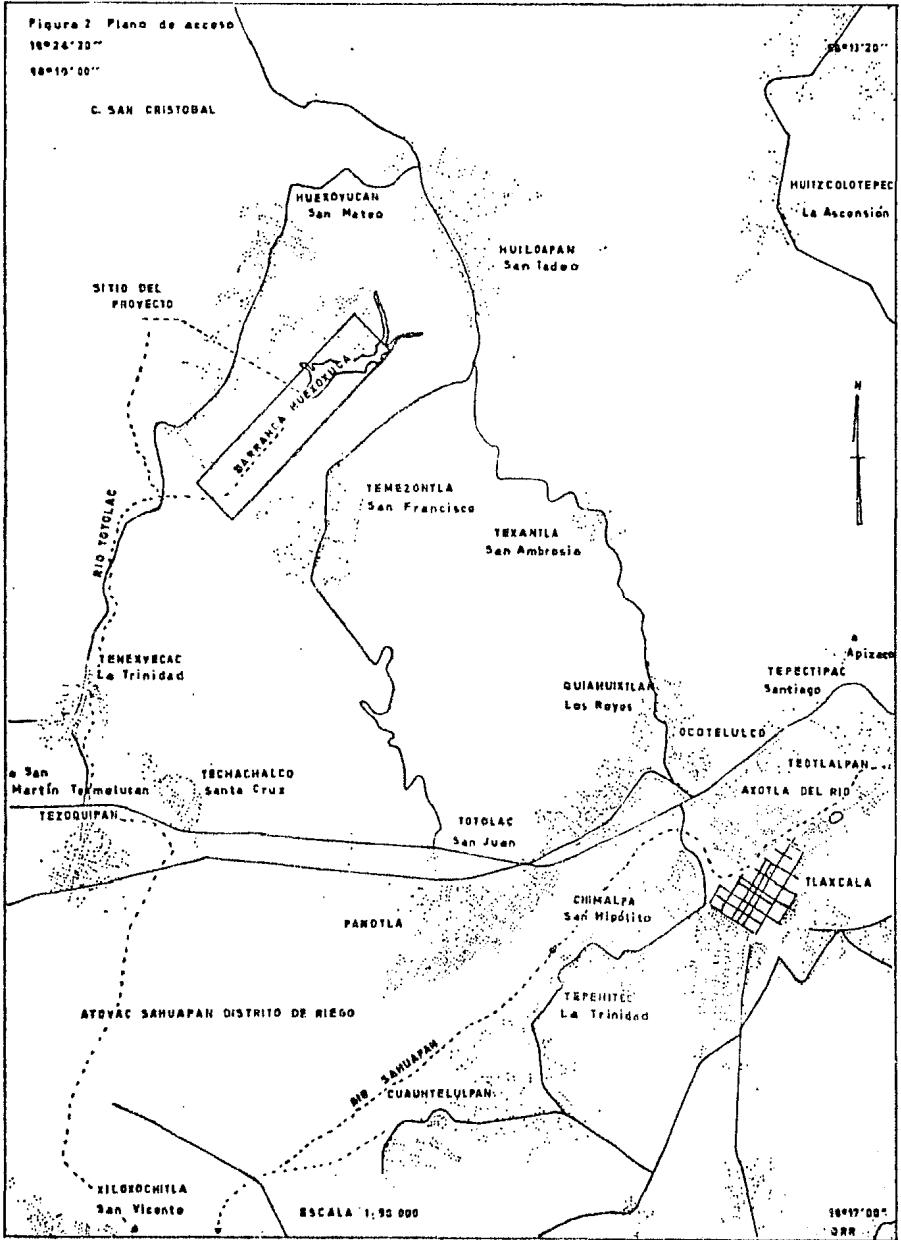


Figura 2 Plano de acceso  
 18°24'20"  
 98°19'00"



## 2.2 Vías de comunicación.

San Francisco Temezontla se encuentra comunicado por medio de caminos de terracería que entroncan con la carretera - Tlaxcala-San Martín Texmelucan a la altura de los poblados de Tenexyecac, Ocotelulco y Totolac. Este último está siendo pavimentado, por lo que próximamente será transitable en cualquier época del año, pues en temporada de lluvias el terreno se vuelve resbaladizo dificultando el acceso al poblado. Estos caminos continúan hacia San Tadeo Huiloapan y San Mateo - Huexoyucan siguiendo hacia el Norte hasta entroncar con la carretera Apan-Apizaco.

Tanto San Francisco Temezontla como San Tadeo Huiloapan y San Mateo Huexoyucan cuentan con telefonía rural. Los servicios telegráfico y postal se proporcionan en San Nicolás Panotla, cabecera municipal. Desde las ciudades de Tlaxcala y Huamantla difunden dos estaciones radiofónicas de AM y desde Apizaco una de FM. En cuanto a ondas de TV, se captan a través de estaciones repetidoras fuera de la entidad. Tlaxcala transmite la señal de TV de la República Mexicana y se enlaza durante parte de su programación con el Centro Regional de Producción de T.R.M. en el estado.

## 2.3 población y cultura.

El sitio del proyecto de presa "Ayehualco-Temezontla" -- se encuentra ubicado en terrenos pertenecientes al municipio de San Nicolás Panotla, el cual cuenta con una población (según el censo de 1980) de 13 763 habitantes distribuidos en -- nueve localidades de la siguiente manera;

3 de entre	100 y	499 habitantes	
4 "	"	1 000 y 1 999	"
1 "	"	2 000 y 2 499	"
1 "	"	2 500 y 4 999	"

En lo referente a población indígena, el municipio de San Nicolás panotla cuenta con 201 personas de origen náhuatl, 44 totonacas, 15 otomíes y algunos tarascos y huastecos. La educación en San Francisco Temezontla se imparte a niveles -- primaria (2 planteles) y secundaria (1 plantel). Para estu -- dios a nivel más avanzado se cuenta en la ciudad de Tlaxcala con la Escuela Normal Superior, el Centro de Estudios Científicos y Técnicos de Tlaxcala, el Centro de Capacitación para el Trabajo No. 29, el Centro CONASUPO de Capacitación, algunas escuelas de nivel medio superior y en Apizaco, el Instituto Tecnológico de Apizaco.

#### 2.4 Economía de la zona.

La principal actividad económica en la zona de San Francisco Temezontla es la agricultura, cuyos principales productos son el maíz, el frijol y la alfalfa. En esta población -- prácticamente no se cuenta con infraestructura hidráulica, pero la cabecera municipal (San Nicolás panotla) resulta beneficiada por el distrito de Riego No. 56 "Atoyac-Sanjuan". La ganadería también ocupa un lugar entre las actividades económicas de la zona. Principalmente se cría ganado bovino, equino y caprino.

por otra parte, en las cercanías de la zona se realiza -- la piscicultura, tanto en las presas El Sol y La Luna (8 Km -- al Norte del sitio del proyecto), como en la laguna de Acuitlapico (aproximadamente a 10 Km al Sureste).

con respecto a la industria extractiva, se cuenta con -- explotación de calcita (variedad tiza) aproximadamente a 1 Km al Norte de San Mateo Huexoyucan. Finalmente en cuanto al sector eléctrico, la zona se encuentra totalmente electrificada.

## 2.5 Afectaciones.

La construcción de la presa puede perjudicar en cierta medida a los habitantes de la zona en el aspecto económico, pues al afectarse no menos de 40 terrenos de cultivo que quedarán inundados por el embalse, disminuirán los ingresos de muchas familias principalmente de San Mateo Huexoyucan, población a la cual pertenece la mayoría de las tierras que se verán afectadas por la presa. Ahora bien, debido a la naturaleza deleznable de las tobas de la zona del vaso es de esperarse gran cantidad de azolves, por lo que a la vuelta de pocos años, cuando termine el periodo de vida útil de la presa (aproximadamente 15 años), la zona del vaso podría proveer de excelentes terrenos para el cultivo.

Por otro lado, el hecho mismo de la construcción de la presa podría abrir fuentes de trabajo temporales para los habitantes de los poblados cercanos, lo que en parte compensaría la falta de ingresos provenientes de la agricultura.

## 2.6 Clima y vegetación.

A nivel general el clima del estado de Tlaxcala es templado, moderadamente húmedo con lluvias en verano, excepto en la cumbre del volcán de La Malinche, en donde es frío y llueve con más abundancia. Durante el invierno, en muchas ocasiones hiela en casi todo el estado. Por lo común, los días son frescos en la mañana y templados al mediodía, descendiendo la temperatura por la tarde. De junio a septiembre llueve con abundancia, mientras que de noviembre a marzo escasea la lluvia y se secan tierras y arroyos. El sitio del estado donde llueve más es en La Malinche, asimismo este volcán está situado en el punto donde se verifica el mayor número de granizadas al año en todo el país. Por el contrario, en los llanos del Norte y los de Huamantla es donde llueve menos y el clima es seco.

para el área del proyecto de presa "Ajehualco-Temezontla" la estación climatológica más cercana es la denominada "Tlaxcala", con clave 29-014 y coordenadas  $19^{\circ} 19'$  latitud Norte,  $98^{\circ} 14'$  longitud Oeste y 2 552 m.s.n.m. para esta estación -- climatológica la temperatura media anual promedio durante 35 años de observaciones ha sido de  $16.2^{\circ} \text{C}$  y la precipitación media anual promedio durante 34 años ha sido de 802.3 mm.

De acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García de Miranda para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana (1973), el tipo de clima que se presenta en la estación climatológica "Tlaxcala" es:

$C(w_1) w b_1 b$

donde

Cw se refiere a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad cálida del año, esto es en verano y otoño, que en el mes más seco). Otras características de este tipo de clima son: temperatura media para el mes más frío entre  $-3^{\circ} \text{C}$  y  $18^{\circ} \text{C}$ , precipitación del mes más seco menor de 40 mm e invierno seco no riguroso.

$(w_1)$  significa que el porcentaje de lluvia invernal es menor que el 5% de la anual. El subíndice 1 indica que el cociente P/T (donde P es la precipitación anual en mm y T es la temperatura media anual en  $^{\circ} \text{C}$ ) se halla comprendido entre 43.2 y 55.0, lo que corresponde al subtipo intermedio de los climas subhúmedos.

b indica que el verano es fresco y largo, lo que implica un periodo de 4 meses con temperatura mayor a  $10^{\circ} \text{C}$ , así como una temperatura media del mes más cálido de entre  $6.5^{\circ} \text{C}$  y  $22^{\circ} \text{C}$ . Asimismo, indica que la temperatura media anual queda comprendida entre  $12^{\circ} \text{C}$  y  $18^{\circ} \text{C}$ .

i se refiere a climas isotermales, lo que implica una oscilación térmica anual de la temperatura media mensual menor a  $5^{\circ}$  C es decir, no es extremo.

g indica que la temperatura máxima anual se presenta con anterioridad al solsticio de verano (21 de junio).

Resumiendo, podemos decir que el clima de la zona que nos ocupa corresponde a un temperano subhúmedo intermedio e isotermal, con lluvias en verano.

por otra parte, la vegetación que se presenta en el área comprende principalmente perenifóreas mesófitas tales como pinos, oyameles, algunos árboles frutales como el tejocote y el nogal, así como algunas xerófitas tales como el maguey y el nopal.

## CAPITULO III

### GEOLOGIA REGIONAL

3.1 fisiografía.

3.2 geomorfología.

3.3 Estratigrafía.

3.4 Geología Histórica y Tectónica.

3.5 sismicidad.



### 5.1 fisiografía.

El estado de Tlaxcala se encuentra totalmente comprendido en la provincia fisiográfica denominada "Eje Neovolcánico Transmexicano". Esta provincia es una franja de rocas volcánicas de edad Cenozoica que atraviesa el país aproximadamente de Este a Oeste a la altura del paralelo 19° Norte. Las rocas más abundantes en esta provincia son las andesitas, por lo que muchos autores se inclinan a pensar que nos encontramos ante rocas de tipo calco-alcalino, lo que parece ser confirmado por los resultados de análisis químicos realizados por muchos investigadores.

De acuerdo con Demant, Mauvois y Silva (1976), el Eje Neovolcánico es una de las cuatro provincias magmáticas de México, presentando cada una de ellas una evolución distinta en el tiempo. Estas cuatro provincias serían las siguientes:

- provincia de la Sierra Madre Occidental.
- Provincia Californiana.
- provincia Oriental.
- Eje Neovolcánico.

siguiendo con Demant (et. al. op. cit.), "el Eje Neovolcánico corresponde a una estructura volcánica plio-cuaternaria, que se sobrepone por su orientación particular Este-Oeste a las estructuras más antiguas. Se encuentra ubicado entre el Altiplano Central al Norte, las ignimbritas de la provincia Occidental al Oeste, la Sierra Madre Oriental al Este, al sur la cuenca terciaria del río Balsas y el basamento que constituye la Sierra Madre del Sur."

"por lo general la orientación Este-Oeste que aparece a gran escala no es válida cuando se considera con más detalle la localización particular del vulcanismo plio-cuaternario. Se pueden delimitar así cinco focos principales de este vulcanismo del Eje Neovolcánico;

- a) Graben Chapala-Tepic.
- b) Graben de Colima.
- c) vulcanismo en el estado de Michoacán.
- d) Los valles de México, Toluca y Puebla.
- e) Extremo Oriental del Eje Neovolcánico Transmexicano.

De estos cinco focos principales de actividad, sólo nos ocuparemos de los dos últimos. "Entre el valle de México y el de Puebla se interpone la Sierra Nevada, formada de Norte a Sur por el cerro Tláloc, el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl . . . Estos volcanes se formaron al finalizar el plioceno, el más reciente es el Popocatepetl que aún tiene una leve actividad fumarólica observable en el cráter. Niveles de pómez, cenizas y derrames recientes confirman una actividad histórica (sic). La última erupción descrita fue en 1920."

"El volcán La Malinche, al Este de Puebla, se presenta muy aislado en medio de la depresión del valle de Puebla, es una estructura muy amplia con un diámetro de 30 km en la base parcialmente destruido en su parte central. La actividad volcánica desarrollada en el Eje Neovolcánico Transmexicano termina al Este de La Malinche, en un pequeño graben de dirección Norte-Sur, limitado al Este por la cadena pico de Orizaba-Cofre de Perote, el primero con 5 675 m y cuya última erupción reportada se desarrolló en el año de 1566. Desde esta fecha permanece en una fase de quietud."

"Al pie de esta gran cadena se localiza la planicie de Tepeyanalco, con sus pequeños conos, conos y lagos de cráteres (Alchichica, Pue.) En el límite con el Altiplano al Norte se localiza la caldera de Teziutlán, Pue. estructura con 30 km de diámetro." (Demant et. al. 1976).

Finalmente, se transcriben las características del Eje Neovolcánico a juicio del mismo Demant y colaboradores:

- a) "Secuencia de andesitas-dacitas-ricilitas de tipo calco - alcalino, predominando rocas con 56% a 62% de sílice. Gunn y Mooser (1970) interpretan este vulcanismo como ligado a una zona de subducción y consideran que los - magmas se originaron a partir de material del manto superior, mientras que Kegeles (1972), hace generar - (sic) estos magmas en la corteza."
- b) "Abundancia de material ácido (más del 70% de  $SiO_2$ ) en - la parte norte del Eje, en general bajo la forma de emi siones ignimbríticas o domos riolíticos. Este material resulta de fenómenos de fusión de corteza."
- c) "Presencia de lavas de composición que varía desde basál tica hasta andesítico-basáltica (desde 48% de  $SiO_2$  has- ta 54%), caracterizadas por valores elevados en hierro, magnesio y calcio, pero con porcentajes de  $Al_2O_3$  bastan te bajos (15% a 17%). por esa razón no se los clasifica como basaltos aluminosos, que en general se encuentran en las secuencias calco-alcalinas."

"En conclusión, el vulcanismo plio-cuaternalio del Eje - Neovolcánico parece influenciado por los movimientos de la placa de Cocos y la del Caribe" (Pernant et. al. 1976). Este investigador se refiere específicamente a los movimientos con vergentes que existen entre las placas mencionadas.

con respecto a la litología del estado de Tlaxcala, pre- domina principalmente el vulcanismo basáltico-andesítico del plio-cuaternalio junto con una secuencia detrítica continen- tal de edad Eoceno-Oligoceno. Este tipo de rocas confiere al paisaje rasgos característicos de los terrenos de la parte - oriental del Eje Neovolcánico, esto es grandes elevaciones - montañosas entre las que se desarrollan algunas cuencas lacus- tres interrumpidas ocasionalmente por mesetas que correspon- den a derrames de rocas basálticas.

De acuerdo con los datos disponibles sobre el estado de Tlaxcala, éste tiene una altura media de 2 600 m.s.n.m. Las zonas montañosas, algunas con más de 3 000 m.s.n.m. son: al Norte, la sierra de Tlaxco, cuya extensión aproximada es de 80 km, oscilando su altitud entre los 2 800 y 3 000 m.s.n.m., en ésta se encuentra el peñón del Rosario con 3 418 m.s.n.m. Al Oeste se encuentra la prolongación de la sierra Nevada con una longitud aproximada en el estado de 20 km y una altitud promedio de 3 000 m.s.n.m. Este macizo montañoso se une en forma perpendicular con la sierra de Tlaxcala, que posee una longitud de 40 km, uniéndose a su vez con el cerro denominado Cuatlapanga. Hacia el Noroeste se localiza la sierra de la Caldera. Al Sureste se localiza el volcán La Malinche con una altitud de 4 460 m.s.n.m., cuyos flancos se encuentran interrumpidos por elevaciones aisladas como son los cerros Cuatlapanga y Jalapazco. Los flancos de las sierras están cortados por profundas barrancas y en general presentan intensa erosión. El valle de Tlaxcala drena hacia el sur, conectándose con el valle de Puebla.

La zona que nos ocupa queda comprendida en la Región Hidrológica No. 18 parcial, o del Ato Balsas (excluyendo al río Amacuzac). De acuerdo con el Atlas del Agua de la República Mexicana (S.R.H. 1976), las características principales de esta región hidrológica son las siguientes: ubicada entre los paralelos 17° y 20° Norte y los meridianos 97° 30' y 100° Oeste. Comprende una pequeña parte del extremo noroeste del estado de Veracruz, el estado de Puebla casi en su totalidad, el extremo norte del estado de Oaxaca, el extremo noreste del estado de Guerrero, el estado de Morelos en su totalidad, la mayor parte del estado de Tlaxcala y los valles de Puebla y Valsequillo.

La región hidrológica tiene una forma muy irregular, la cual puede asemejarse burdamente a un cuadrilátero cuyas di-



**PROVINCIAS FISIOGRAFICAS**

- I PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA
- II DESIERTO SONORENSE
- III SIERRA MADRE OCCIDENTAL
- IV SIERRAS Y LLANOS DEL NORTE Y SIERRA MADRE ORIENTAL
- V GRAN LLANURA DE NORTEAMERICA
- VII LLANURA COSTERA DEL PACIFICO
- VIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE
- IX MESA DEL CENTRO
- X SJE NEOVOLCANICO
- XI PENINSULA DE YUCATAN
- XII SIERRA MADRE DEL SUR
- XIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR
- XIV SIERRAS DE CHIAPAS
- XV CORDILLERA CENTROAMERICANA

Figura 1 Mapa Fisiográfico de la República Mexicana INEGI(1986 b)

mensiones aproximadas son: longitud máxima en dirección Norte-sur, 280 km; longitud mínima en la misma dirección, 173 km; longitud máxima en dirección Este-Oeste, 281 km; longitud mínima en esta dirección, 197 km. El área total de la región hidrográfica es de 40 938.6 km<sup>2</sup>, de los cuales 703.8 km<sup>2</sup> corresponden al estado de Veracruz; 19 343.7 km<sup>2</sup> al estado de Puebla; 2 952.6 km<sup>2</sup> al estado de Tlaxcala; 8 681.1 km<sup>2</sup> al estado de Oaxaca; 8 435.9 km<sup>2</sup> a Guerrero; 642.5 km<sup>2</sup> a Morelos y 179 km<sup>2</sup> al estado de México.

La cuenca del Alto Balsas comprende la llamada "Región del Atoyac", la cual se divide en las zonas del Alto y Bajo Atoyac, siendo la zona alta la que comprende el área de Puebla, Atlixco y Tlaxcala. Como ya se ha mencionado, los ríos Atoyac y Sahuapan son los principales en el estado de Tlaxcala. El río Sahuapan nace en la vertiente sur de la sierra de Tlaxco en el Norte del estado, desciende por las laldas de los cerros Huilacapitzo y Lacapitzo, a continuación sigue hacia el suroeste hasta Atlangatepec en donde se forma el embalse de la presa de Atlanga. Después, el río corre hacia el sur este hasta llegar a Apizaco para dirigirse al sur y posteriormente al oeste. A la altura de la ciudad de Tlaxcala, el río describe una amplia curva que finaliza en la confluencia con el río Atoyac a unos 10 km al Norte de la ciudad de Puebla. Sus principales afluentes son los ríos Apizaco, Totolac y Cañada de la Caldera. Cabe hacer notar que el arroyo que será represado en el proyecto "Ayehualco-Temezontla" es un afluente del río Totolac.

El río Atoyac se forma en la vertiente oriental de la sierra Nevada, en las estribaciones del Iztaccíhuatl. Entra al estado de Tlaxcala por el municipio de Lardizábal, aumentando su caudal al recibir como afluentes principales a los ríos Atotonilco, Ajejela y Sahuapan. Después de recorrer la parte sureste del estado de Tlaxcala, sirve como límite con -

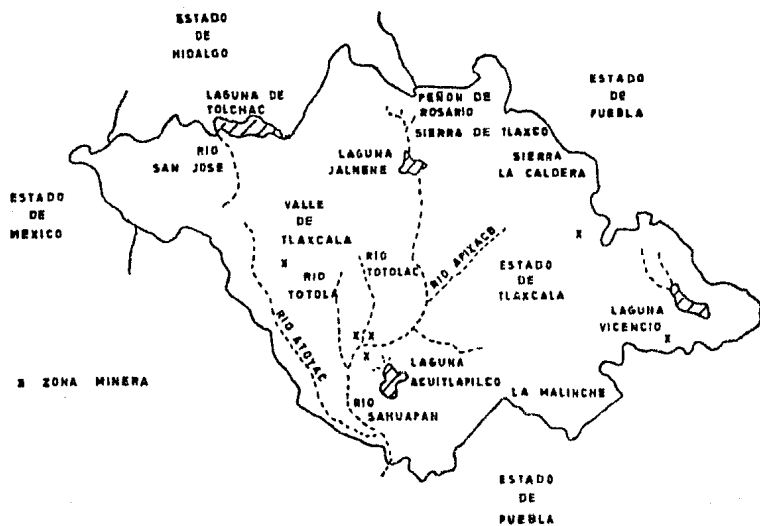


Figura 4 Hidrografia y Orografia del Estado de Tlaxcala PRI (1979)

el estado de Puebla. Pasa al estado de Guerrero en donde toma los nombres de Mezcala, Balsas y Zacatula antes de desembocar al océano pacífico.

En el Noroeste de Tlaxcala, los ríos Amajac y San José - desaguan en la región de los Llanos de Apan. Encontrándose además en la porción oriental, en el valle de Huamantla, varias corrientes temporales de corto curso. Las lagunas más importantes en el estado son las de Acuitlapitico (al Sur de Tlaxcala, con 100 hectáreas de extensión y cuyas aguas se utilizan para el riego mediante pequeños canales que van a Tepexpanco); otras lagunas de importancia son Vicencio, Tolchac, Jalnene y Tetla. Las principales presas del estado de Tlaxcala son: San José Atlangatepec, Recova, Lázaro Cárdenas y el Muerto. De menor importancia son las de El Sol y La Luna, Tenexcac y Tchalote.

En cuanto a los tipos de drenaje que se presentan en las cercanías del proyecto "Ayenualco-Temezontla", tenemos hacia el Oeste gran cantidad de elevaciones de mediana altura (menos de 2 800 m.s.n.m.) de origen volcánico, redondeados y con drenaje radial, por ejemplo el cerro Totolqueme al Norte de San Martín Texmelucan, Puebla. Al Este, en donde se encuentra el volcán La Malinche, también se presenta el drenaje de tipo radial. En el resto de la zona el drenaje es de tipo rectangular, el cual aprovecha los patrones de fracturamiento de las rocas que se presentan en el área para desarrollarse.

### 3.2 Geomorfología.

Tomando en cuenta que los procesos endógenos (formadores del relieve) que han actuado en la zona más recientemente son de tipo magmático, no es de sorprender que haya una predominancia de formas volcánicas, representadas tanto por conos como por derrames de lava y presencia de depósitos piroclásticos, de manera que en términos generales, el paisaje es el ca



racterístico del Eje Neovolcánico es decir, grandes cadenas - montañosas de origen volcánico, presencia de grandes estratovolcanes (Iztaccíhuatl y la Malinche) y algunas cuencas lacustres (valle de Puebla). Aunado a los procesos magmáticos, en la generación del relieve también ha intervenido el tectonismo aunque en menor medida, como lo demuestra la presencia de algunas fallas en las cercanías del proyecto (ver figura 6). De acuerdo con lo anterior, se puede decir que los procesos endógenos han generado formas volcánicas y disyuntivas.

por otro lado, los procesos exógenos (modeladores del relieve) han actuado principalmente en los aspectos de intemperismo y erosión, ya que las principales formas acumulativas del área se encuentran algunos kilómetros hacia el sur del proyecto, es decir en el valle de Puebla. Tomando en cuenta el clima y la topografía, vemos que el principal agente modificador del relieve es el agua superficial, lo que favorece el desarrollo de la forma erosiva correspondiente, es decir valles, los cuales aprovechan el fracturamiento de las rocas presentes en el área para formarse.

por otra parte, sabiendo que el relieve ha sido generado por actividad volcánica cuya edad difícilmente se remontaría más allá del pleistoceno, cabe esperar un aspecto juvenil del paisaje, esto es relieve elevado, valles en forma de "V" y predominancia de procesos erosivos sobre acumulativos, lo cual corresponde con lo observado en el terreno mismo. Cabe señalar que hay zonas que presentan mayor densidad de talwegs como es el caso de lugares en donde predomina el material piroclástico, que por su menor resistencia a la erosión con respecto a los derrames de lava también presentes en la zona, -- tienden a favorecer el desarrollo de un drenaje más denso. De manera general se puede decir que los factores que regulan la disección del relieve en la zona del proyecto son los siguientes: pendiente del terreno, estructura de las rocas presentes en el área, presencia de fracturas, resistencia de las rocas

a la erosión y al intemperismo, así como las condiciones de permeabilidad de las mismas.

Ahora bien, la presencia de algunos circos de erosión y el hecho de que aguas arriba de la boquilla el arroyo Huxoxuca no presenta una pendiente fuerte en su recorrido aunado a que el barranco del mismo nombre por donde corre, en algunos sitios tiene una anchura considerable y en parte tiene un perfil semejante al de las corrientes maduras (amplio en la zona del cauce debido al predominio de la erosión lateral sobre la vertical), nos lleva a pensar que el mencionado arroyo puede estar entrando en una etapa de juventud tardía (al menos aguas arriba de la boquilla) dentro de ciclo geomorfológico de Davis. No obstante, en líneas generales y en vista de que las laderas del barranco Huxoxuca presentan en perfil una forma convexa, se podría pensar que hasta la fecha el tectonismo ha actuado en mayor proporción que la denudación, de manera que se puede pensar que la zona experimenta un levantamiento general.

En menor escala, el relieve es modificado (a nivel local) por procesos de carácter gravitacional, fenómenos que quedan de manifiesto por la presencia de algunos materiales de carácter arcilloso que por la disposición en el terreno dan la impresión de haber experimentado un transporte por escurrimiento a corta distancia (material aluvial).

En resumen, en las cercanías del proyecto "Ayehualco-Tepezontla" se presentan formas volcánicas (conos y coladas de lava), disyuntivas (fallas), erosivas (valles) y acumulativas (pequeñas terrazas en el cauce del arroyo Huxoxuca). Estas últimas son de tipo aparejado y su presencia puede explicarse como una respuesta de la corriente a un descenso en su nivel de base como resultado del levantamiento general de la zona.



Fig. 5-a. Vista de la coquilia aproximadamente a 200 m aguas abajo. Se aprecia una colada de basalto en la parte superior izquierda. En primer plano, suelos y material deluvial.



Fig. 5-b. Efectos de la erosión en limos y arenas aproximadamente a 1.5 km aguas abajo del eje de la coquilia. Al fondo el Iztaccinuatl.

### 3.3 Estratigrafía.

para la elaboración de este subcapítulo se consultó un estudio geohidrológico efectuado a nivel regional en los valles de Puebla y del río Sahuapan en el año de 1973, para la dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos. En este estudio se define la estratigrafía del área que nos ocupa. No se transcribe la descripción de todas las unidades mencionadas en dicho informe, porque algunas de ellas no aparecen en las cercanías del proyecto. De acuerdo con el estudio de 1973, la columna estratigráfica en los valles de Puebla y del río Sahuapan sería la siguiente:

- a) Depósitos Fluviales (Qf)
- b) Cuaternario Depósitos Aluviales (Qal)
- c) Cuaternario Continental (Qc)
- d) Terciario Cuaternario Basáltico (TQbs)
- e) Terciario Superior Aluvial (Tsab)
- f) Terciario Superior Lacustre (Tsl)
- g) Terciario Volcánico Andesítico-Basáltico (Tvab)
- h) Terciario Conglomerado Calizo (Tcc)
- i) Cretácico Superior Calizas (Ksc)" (S.R.H., 1973)

De estas unidades la más antigua consiste en calizas microcristalinas con nódulos y bandas de pedernal negro, las cuales se han correlacionado con la Formación Maltrata. En forma discordante sobre la anterior unidad, descansa un conglomerado de clastos de caliza y pedernal negro con mala clasificación, en matriz arenosa de carbonatos y pedernal. Por otra parte, la unidad andesítica-basáltica (Tvab) se encuentra formando parte de muchas elevaciones volcánicas, entre ellas el volcán La Malinche formado por andesitas de textura y color variables entre afanítica y porfirítica y de gris claro a gris oscuro, respectivamente.

A continuación se presenta la descripción del Terciario Superior Lacustre (Tsl), tal como se hizo en 1973:

"Esta unidad tiene su mejor exposición en la parte central del área, al Norte de la carretera Tlaxcala-San Martín Texmelucan, ocupando principalmente el flanco sur del cerro el Águila. Su composición es una alternancia de arenas y limos en forma de lentes; los limos se presentan bien consolidados, mientras que las lentes arenosas se presentan casi sin ninguna consolidación. Esta unidad, en conjunto, presenta un color que varía del gris al verde claro; su parte superior se encuentra cubierta por arenas y tobas recientes, pero por los perfiles de pozos perforados dentro del valle de Puebla, se sabe que descansan sobre rocas andesíticas."

"Siguiendo el camino que va de la carretera Tlaxcala-San Martín Texmelucan hacia San Francisco Temezontla, puede observarse una sección de esta unidad formada de una alternancia de lentes de limos y arenas; los limos son de color blanco lechoso y probablemente contengan carbonato de calcio o de magnesio; las arenas son de color gris claro a café claro, de grano fino, bien redondeadas. El espesor de las lentes varía desde los 10 cm hasta los 60 cm predominando las de 40 cm de espesor. Hacia la parte baja de la sección se observa el predominio de las lentes de limos, mientras que hacia la parte superior las de arenas. Esta unidad se encuentra cubierta discordantemente por arenas de origen continental, tobas y derrames de basalto." (S.R.H., 1973, op. cit.) Esta unidad se presenta aproximadamente a 100 m aguas abajo del eje de la boquilla, por lo que se ha considerado importante transcribir su descripción original, en el próximo capítulo se volverá a mencionar esta unidad.

El Terciario Superior Aluvial (Tsab) consiste en una alternancia de gravas, arenas y tobas pobremente consolidadas. "Esta unidad cubre a las rocas andesíticas del Iztaccíhuatl y La Malinche en forma discordante, y probablemente llegue a

interdigitar-se lateralmente hacia el valle con los depósitos lacustres ya mencionados, aunque esto no se pudo verificar - debido a que en el valle la unidad se encuentra cubierta por arenas y material tobáceo reciente. . . A un material semejante al de esta unidad, localizado en el lado oeste del Itzaccihuatl, se le ha dado la denominación de Formación Tarango ('Mooser 1960') con una edad del Terciario Superior, por lo que dicha unidad puede correlacionarse con la formación -- Tarango tanto en edad como en la similitud de los materiales componentes." (S.R.H., 1973, op. cit.)

Otra unidad que aflora en las cercanías del sitio del - proyecto es la denominada Terciario Cuaternario Basáltico (TQ bs), consistiendo principalmente de basaltos con poca variación en textura, composición y estructura, es decir, coladas de basalto afanítico de olivino. "dentro de esta unidad se incluyen tanto los derrames como los conos de basalto que se encuentran distribuidos en toda el área de estudio, los que cubren en forma discordante a las rocas andesíticas, al conglomerado calizo, a los sedimentos lacustres y a los depósitos - aluviales del Terciario superior."

"Interdigitados con arenas aluviales y tobas arenosas se observan derrames de basalto al Norte de San Nicolás Panotla, como el que aflora por la brecha que va hacia San Francisco - Temezontla al Norte de la carretera Tlaxcala-San Martín Texmelucan. Estos derrames tienen un espesor aproximado de 4 m y cubren, en forma discordante, a los depósitos lacustres, encontrándose a su vez, cubiertos por tobas arenosas." (S.R.H., 1973, op. cit.)

Otra unidad que se presenta en el sitio del proyecto es la que se denomina Cuaternario Continental (qc), comprendiendo gravas, limos y arcillas, así como tobas y algunos derrames de basalto. "Las principales variaciones se presentan entre los afloramientos que se encuentran al Norte de Tlaxcala,

en San Nicolás Panotia y en San Martín Texmelucan, en donde la unidad está formada principalmente por tobos de color café amarillento claro, interdigitadas con pequeños derrames de basalto, depósitos de arcillas, limos, arenas gruesas y finas de origen aluvial." (S.R.H., 1973). En la zona de la boquilla se presenta un terrame de basalto y un depósito piroclástico que en opinión del autor, pertenecen a esta unidad, cada su posición estratigráfica (sobreyacen a los depósitos lacustres) y la similitud de los materiales con los que se mencionan en la descripción anterior.

Las dos últimas unidades consisten en gravas, arenas, limos y arcillas, la extensión de sus afloramientos en las cercanías del proyecto no es muy grande, por lo que no se amplía el comentario sobre ellas.

### 3.4 Geología Histórica y Tectónica.

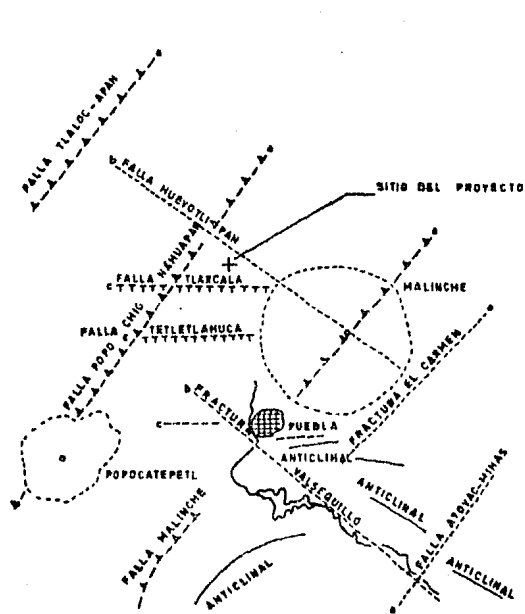
De acuerdo con la columna estratigráfica regional expuesta, la cual comprende edades que van del Cretácico superior al reciente, se puede deducir que esta zona se encontraba sumergida en aguas marinas para fines del Cretácico, lo que dio lugar al depósito de carbonatos. Al finalizar el Cretácico tuvo lugar una regresión marina que propició el depósito de arcillas en la cima de las rocas carbonatadas para pasar durante el Terciario temprano a condiciones ambientales diferentes. En este momento las rocas calcáreas se ven expuestas a la erosión lo que da lugar al depósito de la unidad denominada "conglomerado calizo". Durante el Terciario la región continúa experimentando un levantamiento general que poco a poco va incrementando la altitud sobre el nivel del mar de la zona.

Para el Terciario superior comienza la actividad del Eje Neovolcánico, al mismo tiempo que se desarrolla un sistema de fracturas regionales de dirección Noreste-Suroeste que favorece la ascensión de magmas y la formación de grandes estructu-

ras volcánicas como la Malinche (Mooser, 1972). Cabe la posibilidad de que sobre una de estas fracturas se haya desarrollado la barranca Huexoxuca en vista de su marcada alineación Noreste-Suroeste. Es posible que las emisiones de lava mencionadas anteriormente hayan formado una cuenca lacustre por interrupción del antiguo nivel de drenaje, en la que se depositarían los sedimentos de edad Terciario Superior correspondientes a ese ambiente. Al mismo tiempo se verificaba la erosión de las rocas volcánicas ya existentes en el área, formando los depósitos aluviales que se han correlacionado con la Formación Tarango, a la vez que tenía lugar una emisión de cenizas volcánicas que hoy en día aparecen contaminando los materiales de origen continental.

Para finales del Terciario y principios del Cuaternario, se desarrollan nuevos sistemas de fracturas regionales en direcciones Noroeste-Sureste y Este-Oeste, algunas de las cuales presentan movimiento relativo de un lado con respecto al otro y son por lo tanto, importantes fallas que según Mooser (1972, op. cit.) determinan el patrón tectónico del valle de Puebla y zonas adyacentes (ver figura 6). En esta misma época tiene lugar la emisión de grandes derrames de basalto, los cuales alteran la topografía existente formando mesetas y grandes montañas volcánicas, tales como la Sierra de Tlaxco - al mismo tiempo que continúa el depósito de material piroclástico. Posteriormente ya en pleno Cuaternario continúa la actividad volcánica en toda la zona, evidenciada por grandes extensiones de terreno cubiertas por materiales piroclásticos a veces de considerable espesor y por material basáltico, todo ello en el marco de una tectónica distensiva y un levantamiento regional que es posible que continúe hasta nuestros días, dada la edad de las fallas cercanas al sitio del proyecto así como la presencia de pequeñas terrazas en el cauce del arroyo Huexoxuca.





EDAD RELATIVA DEL PALLAMIENTO

- a ACTIVA HASTA EL MIOCENO INFERIOR
- b MIOCENO-PLIOCENO
- c PLIOCENO CUATERNARIO

Figura 8 Patrón Tectónico Para Los Volcanes Popocatepetl y Malinche

Según Moser y Swale (1958-1972)

La columna estratigráfica queda completada por algunos depósitos de carácter aluvial producto de la erosión de las rocas aflorantes en el área. Algunas de estas unidades pudieran ser correlacionables con las formaciones Tacubaya, Becerra y con la serie Chichinautzin de la cuenca del valle de México tomando en cuenta las edades de estas últimas, es decir Plioceno-Pleistoceno, tanto para formaciones Becerra y Tacubaya (C.F.E., 1979), como para la serie Chichinautzin (Mooser, 1975 en INEGI 1984 b, op. cit.)

Como ya se mencionó, Mooser (1972) ha presentado un esquema que muestra el patrón tectónico para la zona de los volcanes popocatepetl y Malinche. Una reproducción de este croquis se anexa en el presente trabajo (figura 6), en él se puede ver la interpretación que Mooser da a una serie de lineamientos observables a través de esta parte del Eje Neovolcánico entre los que se cuentan una gran falla cuya traza puede seguirse desde las proximidades de Chilpancingo hasta el estado de Puebla llamada "Falla Malinche", de edad Mioceno inferior y dirección aproximada Noreste-Suroeste, en cuya intersección con otra falla de orientación aproximada Noroeste-Sureste, denominada "Hueyotlipan" de edad Mioceno-Plioceno, quedaría ubicado el volcán La Malinche. Asimismo el volcán popocatepetl también estaría localizado sobre una falla paralela a la "Falla Malinche" y de una edad similar, denominada "Falla popocatepetl-Chignahuapan".

Estas fallas pueden haber actuado como zonas de debilidad que facilitarían la ascensión de magmas que originaron estos grandes estratovolcanes. Queda por explicar el origen de las fallas mencionadas, pues Mooser no plantea claramente la génesis de estas fallas de tipo inverso en el marco tectónico de fines del Terciario y principios del Cuaternario.

por otra parte y para esta misma época, el desarrollo de una tectónica distensiva que se manifiesta por medio de un fa

llamamiento de tipo normal hacia las cercanías de la ciudad de Tlaxcala con orientación Este-Oeste, parece ajustarse al modelo propuesto por Mooser (1972, op. cit.) Además, en la zona del proyecto es posible observar patrones de fracturamiento con direcciones preferenciales Noreste-Suroeste, Noroeste-sureste, Este-Oeste y aún Norte-sur.

En particular, las fallas "Tlaxcala" y "Tetletlahuca" (sic) (figura 6) pudieran haber provocado la formación de un bloque hundido en la zona del valle de Puebla. Esta afirmación queda sujeta a comprobación pues únicamente se hace tratando de explicar la presencia de grandes espesores de sedimentos lacustres en la zona al Norte y Noroeste de la ciudad de Tlaxcala a más de 100 m por arriba del actual nivel de base, es decir la planicie localizada al sur del sitio del proyecto. La presencia de estos sedimentos (en algunos lugares con espesor superior a 100 m), así como la extensión de sus afloramientos, nos lleva a pensar en la existencia de un lago de edad Mioceno-plioceno en el actual valle de Puebla que tal vez haya desaparecido por la apertura de un drenaje que pudiera ser el actual río Atoyac, de tal forma que en nuestros días sólo sobrevive un pequeño remanente, la laguna de Acuitlapilco, al sur de la ciudad de Tlaxcala.

Todo lo anterior nos lleva a suponer que al menos la parte norte del valle de Puebla constituye un bloque fallado en el plio-cuaternario. Para comprender mejor la tectónica del área podría ser de gran utilidad el estudio geológico de la parte alta del río Atoyac para determinar su origen, edad y evolución y por lo tanto, decidir si pudo haber drenado una cuenca lacustre en la zona de Puebla y Tlaxcala. Desde luego estas presunciones quedan abiertas a la crítica y el autor está en disposición de reconsiderar sus puntos de vista a la luz de nuevas investigaciones sobre el área.

### 3.5 Sismicidad.

El estado de Tlaxcala se encuentra totalmente comprendido en la zona penesísmica de la República Mexicana, lo que significa que los sismos originados en ella son poco frecuentes. En la zona penesísmica o de sismicidad media se registra un promedio de menos de 30 sismos mensuales. De acuerdo con Esteva (1964), los tiempos de recurrencia en años para la zona de sismicidad que nos ocupa son los siguientes:

Intensidad	Tiempo de recurrencia (años)
IV	1.1
V	3
VI	9
VII	26
VIII	73
IX	208

Esto indica que para la zona penesísmica de la República Mexicana hay que esperar 208 años (en promedio) para que tenga lugar un sismo de grado IX en la escala Mercalli, con las demás intensidades se procede de manera similar.

De un total de 831 movimientos sísmicos registrados en estaciones del servicio sismológico Nacional que se encuentran relativamente cercanas a la zona del proyecto (estaciones Tlamacas, Texcoco, Tlaxcala y Tonantzintla) cuyos datos fueron recopilados por el autor, y que tuvieron lugar durante el periodo comprendido entre enero de 1973 y el tercer trimestre de 1983, así como el primer trimestre de 1984 y los 5 temblores más importantes de septiembre de 1985, se puede decir que la mayoría de estos movimientos tiene su origen en la costa occidental de la República, estando relacionados con el proceso de subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa Norteamericana.

Las principales zonas emisoras de sismos registrados por las estaciones arriba mencionadas son las costas de Jalisco,

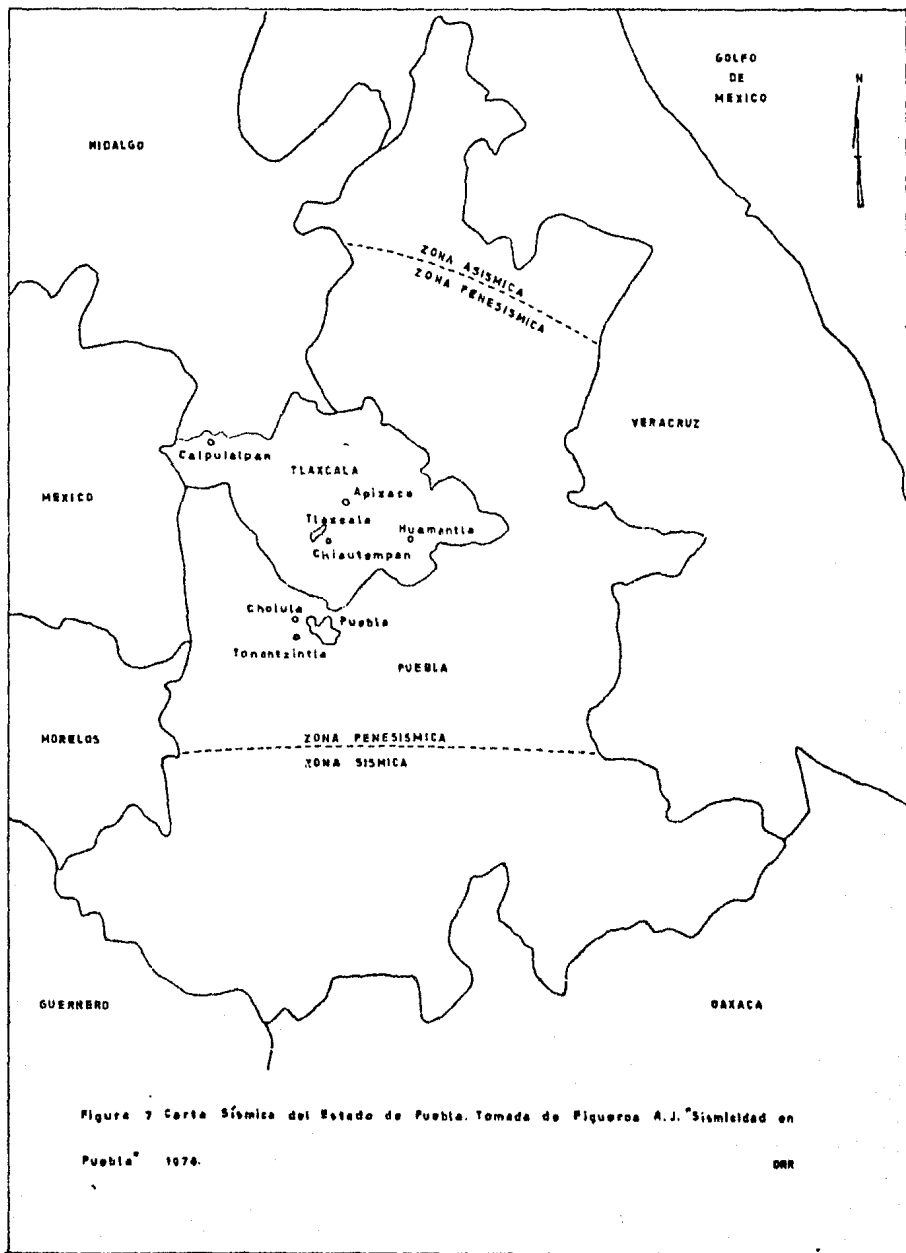


Figura 7 Carta Sísmica del Estado de Puebla. Tomada de Figueroa A.J. "Sísmicidad en Puebla" 1970.

DRR

Guerrero y Michoacán, el Istmo y el Golfo de Tehuantepec, la región del Alto Balsas, la zona cercana a las ciudades de Taxco e Iguala, el Eje Neovolcánico en sus porciones central y oriental, la costa veracruzana, el estado de Oaxaca, y en menor medida los estados de Hidalgo, Guanajuato, Querétaro, Chiapas, así como la región de la península de Baja California.

De los 831 sismos mencionados, 149 tuvieron una profundidad de foco de menos de 20 km, 494 tuvieron una profundidad de foco de entre 20 y 33 km, 11 cuyo foco se situó entre 33 y 40 km, finalmente 177 tuvieron su origen a más de 40 km de profundidad. Esto indica que la mayoría de los movimientos que han afectado la zona en los últimos 10 a 12 años han sido relativamente someros. A continuación se presentan los datos de los epicentros más cercanos a la zona del proyecto, mismos que se representan en la figura 8, se anotan las coordenadas del epicentro, la profundidad de foco en kilómetros y la magnitud calculada para ondas p (no en todos los casos se cuenta con este último dato) en la escala de Richter. Este último califica de importantes a los terremotos de entre 7.0 y 8.0 grados y de grandes a los superiores a 8.0. Cada grado representa una magnitud 10 veces superior al precedente. Por ejemplo, 7.5 es 10 veces mayor a 6.5 y 8.5 es 100 veces más fuerte que 6.5.

1.	19° 26' 24"	Lat. N,	98° 53' 24"	Long. W,	9 Km,	3.7 Richter
2.	19° 24' 36"	"	98° 53' 24"	"	9 "	2.0 "
3.	19° 30' 00"	"	98° 54' 00"	"	8 "	2.2 "
4.	19° 29' 24"	"	98° 54' 36"	"	8 "	1.9 "
5.	19° 34' 12"	"	98° 54' 00"	"	8 "	2.3 "
6.	19° 22' 48"	"	98° 54' 36"	"	8 "	"
7.	19° 35' 24"	"	98° 48' 36"	"	2 "	"
8.	19° 39' 36"	"	98° 48' 36"	"	2 "	"
9.	19° 00' 00"	"	98° 33' 36"	"	2 "	"

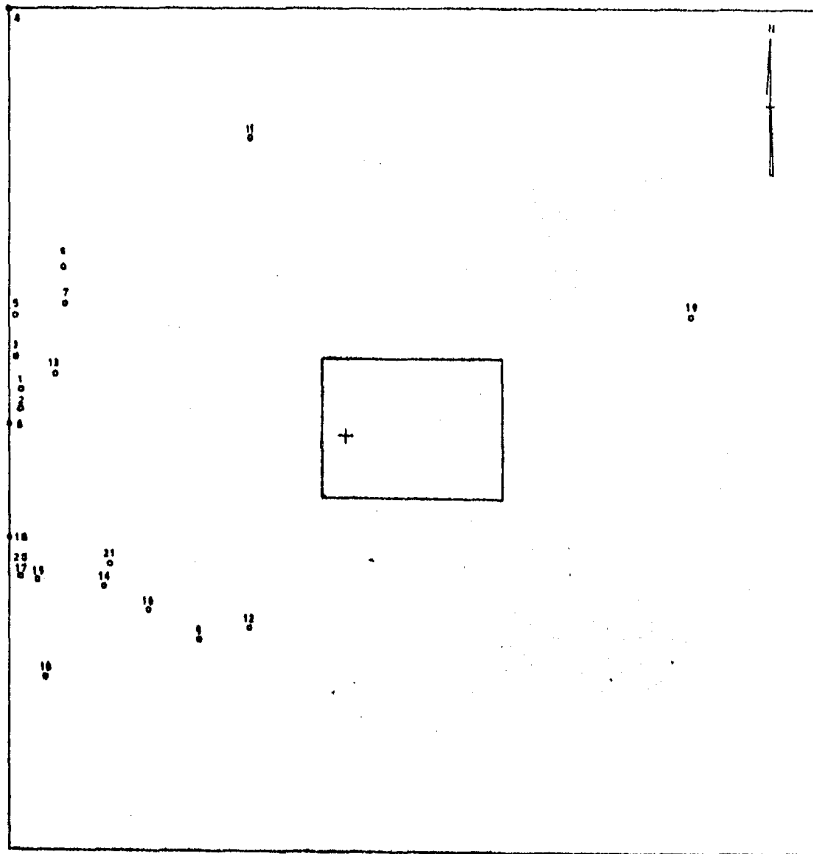


Figura 8 Localización de los epicentros más cercanos a la zona del proyecto "Aychualco-Temezontla" según datos del Servicio Sismológico Nacional del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Los datos de profundidad de foco y magnitud se encuentran en el texto. Las coordenadas extremas son las siguientes:  $18^{\circ}37'20''07''$  Latitud N,  $07^{\circ}24'28''54''$  Longitud W.

El recuadro representa el área abarcada por la carta geológica E34823 a escala 1:50000 de la Dirección General de Geografía. La cruz señala la futura localización de la cartina del proyecto Aychualco - Temezontla.

10.18° 55' 48"	Lat. N,	98° 51' 00"	Long. W,	5	Km
11.19° 53' 24"	"	98° 28' 12"	"	5	"
12.19° 01' 12"	"	98° 28' 12"	"	15	"
13.19° 28' 12"	"	98° 49' 48"	"	9	"
14.19° 05' 24"	"	98° 44' 24"	"	9	"
15.19° 06' 00"	"	98° 51' 36"	"	15	"
16.19° 03' 00"	"	98° 39' 36"	"	9	"
17.19° 06' 36"	"	98° 53' 24"	"	9	"
18.19° 10' 48"	"	98° 54' 36"	"	9	"
19.19° 34' 12"	"	97° 38' 24"	"	9	"
20.19° 06' 36"	"	98° 53' 24"	"	9	"
21.19° 07' 48"	"	98° 43' 48"	"	33	"

En la figura 8 se han localizado estos epicentros y se ha marcado el área que cubre la carta geológica de la Dirección General de Geografía con clave de identificación El4B33 "Tlaxcala", así como la situación dentro de esta área del proyecto que nos ocupa con fines ilustrativos. En esta figura que representa un sector cuadrangular de 1.5° de lado a escala aproximada 1 : 810 000, se aprecia que el epicentro más cercano a la zona de interés es el marcado con el número 12, quedando ubicado aproximadamente a 42 km de la cortina en dirección SW 28°. Este sismo tuvo lugar el 29 de julio de 1983 y fue registrado en la estación sismológica ubicada en Texcoco. Edo. de Méx.

por otra parte, se cuenta también con información macrosísmica de los movimientos telúricos de mayor importancia ocurridos en nuestro país en el lapso de tiempo investigado. Cabe hacer notar que la mayoría de temblores analizados han sido registrados en la estación sismológica de Tonantzintla, Puebla, localizada al sur de la ciudad de Cholula con coordenadas 19° 01' 15.6", latitud Norte; 98° 18' 28.8" longitud Oeste y 2 005 m.s.n.m. de acuerdo con el Boletín Sismológico del Servicio Sismológico Nacional, lo que la ubica a menos de 40 km al sur de la cortina del proyecto.



Los eventos sísmicos de mayor importancia desde 1973 a la fecha tanto por su intensidad como por el área afectada son los siguientes:

- Enero 22 de 1973,  $19^{\circ} 26' 24''$  latitud Norte,  $98^{\circ} 53' 24''$  longitud Oeste, 9 km (profundidad de foco), 3.7<sup>o</sup> Richter (magnitud local calculada con sismógrafo Wood Anderson de Tacubaya). Sentido en Tlaxcala con intensidad II Mercalli. Este temblor tuvo su epicentro en el área del lago de Texcoco y es el de mayor magnitud en el valle de México.
- Enero 30 de 1973,  $18^{\circ} 16' 12''$  latitud N,  $102^{\circ} 52' 48''$  longitud W, 43 km, 7.5<sup>o</sup> Richter, originado frente a la costa de Michoacán. Sentido en Tlaxcala con intensidad IV Mercalli (ver figura 9).
- Julio 16 de 1973,  $17^{\circ} 07' 12''$  latitud N,  $100^{\circ} 54' 36''$  longitud W, 5.6 (ondas P), 5.7 (ondas S), 44 km, origen en el estado de Guerrero. Efectos apreciables en un radio de más de 400 km. Sentido en Tlaxcala con intensidad III Mercalli.
- Agosto 28 de 1973,  $18^{\circ} 17' 24''$  latitud N,  $96^{\circ} 27' 00''$  longitud W, 84 km, 6.8 Richter (P), originado en los límites entre Veracruz y Oaxaca. Grandes daños en estos estados y en el de Puebla. Efectos máximos: grietas en las fachadas de la sierra de Orizaba, derrumbes, asentamientos, destrucción de casas de mediana calidad y cuarteaduras (grietas en la corona) en la presa Miguel Alemán. Los daños se relacionaron con la naturaleza de los materiales empleados, el diseño y la pobreza de los morteros. En algunos lugares se escucharon ruidos subterráneos. Cerca de la zona epicentral la intensidad fue VIII Mercalli. En Oaxaca los acelerógrafos marcaron 0.21 g (ver figura 10).
- Junio 7 de 1976,  $17^{\circ} 05' 24''$  latitud N,  $100^{\circ} 51' 00''$  longitud W, 20 km, 6.3<sup>o</sup> Richter (magnitud local en Tacuba -

Figura 3

ISOSISTAS DEL TERREMOTO DEL 30 DE ENERO DE 1973

EPICENTRO: 19.27 LAT N 102.68 LONG W 43 KM PROF

MAGNITUD 7.5 RICHTER INTENSIDADES MERCALLI

Según Jiménez E. (1973) (a)

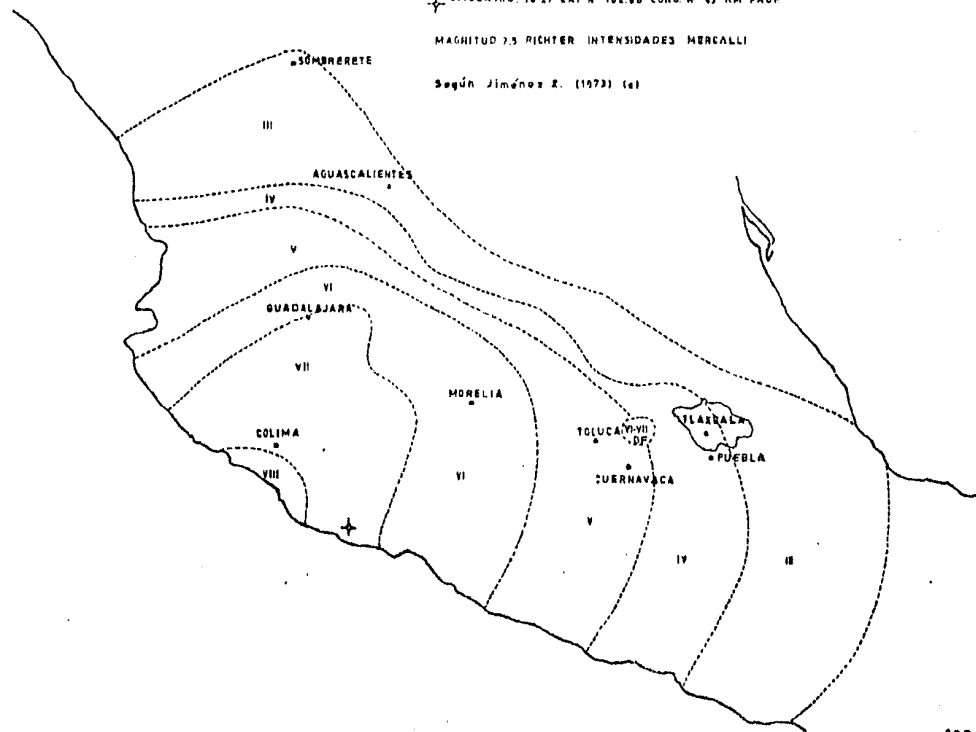
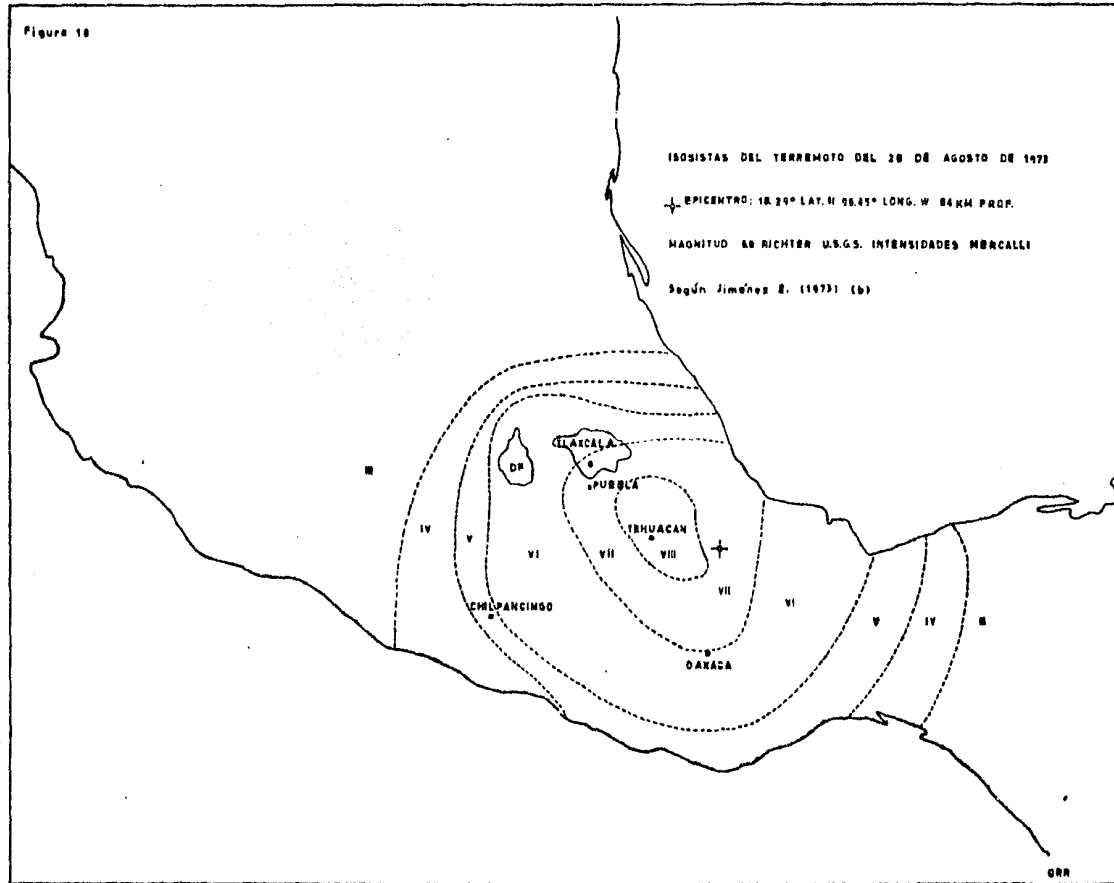


Figura 16



- ya). Originado en el estado de Guerrero. sentido en el -  
D.F. con intensidad IV a V Mercalli. Daños ligeros en -  
Tehuacán, Puebla.
- Marzo 19 de 1978,  $15^{\circ} 59' 24''$  latitud N,  $100^{\circ} 53' 24''$   
longitud W, 33 km. sentido en Puebla con intensidad III  
Mercalli.
  - Noviembre 29 de 1978,  $15^{\circ} 51' 36''$  latitud N,  $96^{\circ} 38' 24''$   
longitud W, 33 km, 7.8 (P), 6.5 (S). Localizado frente a  
la costa de Oaxaca. sentido en la ciudad de Puebla con -  
intensidad de V a VII Mercalli.
  - Enero 26 de 1979,  $16^{\circ} 54' 00''$  latitud N,  $102^{\circ} 03' 36''$  --  
longitud W, 33 km, 5.9 (P), 6.5 (S), 6.3 (magnitud local  
según los sismógrafos de Tacubaya, los otros datos son  
del U.S.G.S.) sentido en el D.F. con intensidad de IV a  
V en la escala Mercalli.
  - Marzo 14 de 1979,  $17^{\circ} 29' 24''$  latitud N,  $101^{\circ} 15' 36''$   
longitud W, 28 km, 6.4 (P), 7.6 (S) (U.S.G.S.), 7.0 (mag  
nitud local en Tacubaya) en escala Richter. sentido fuer  
te en la ciudad de Puebla, en el D.F. tuvo intensidad de  
VI en escala Mercalli.
  - Octubre 24 de 1980,  $18^{\circ} 01' 48''$  latitud N,  $98^{\circ} 17' 24''$   
longitud W, 70 km, 6.6 (P), 7.0 (S), 6.4 (magnitud local  
en Tacubaya). Localizado en los límites entre Puebla y  
Morelos, este movimiento fue sentido con una duración -  
extremadamente larga en la ciudad de México. destructor  
en los estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero. En Huajuá  
pan de León Oaxaca, el 90% de las construcciones fueron  
dañadas y muchas de ellas fueron destruidas. Daños mode  
rados en Acatlán, Puebla. De la figura 11 se concluye -  
que el temblor se sintió en un área de aproximadamente  
400 000 km<sup>2</sup>. El área de intensidad VIII estimada en

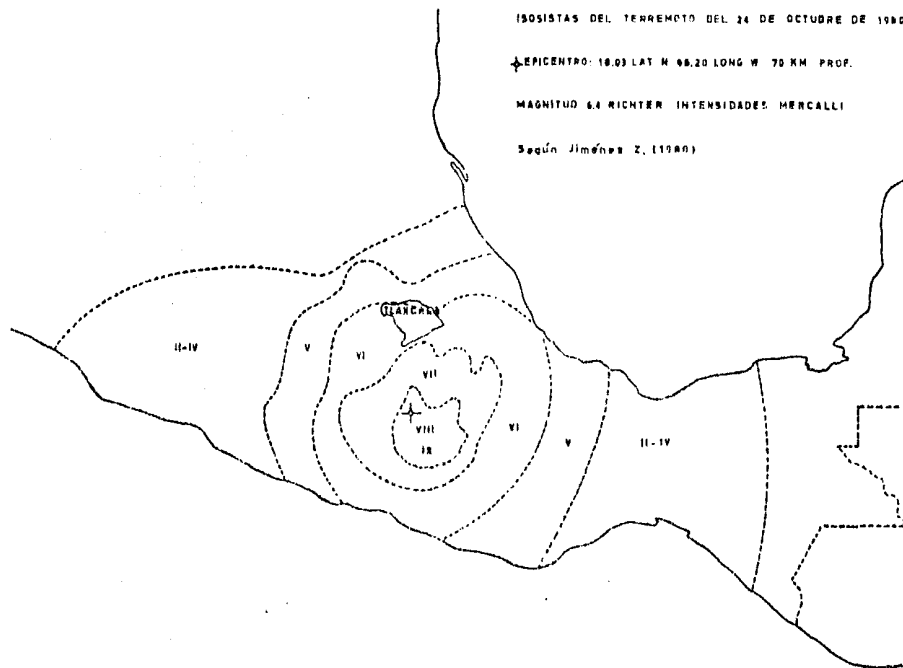
Figura 11

ISOSISTAS DEL TERREMOTO DEL 24 DE OCTUBRE DE 1980

⊕ EPICENTRO: 18.03 LAT N 98.20 LONG W 70 KM PROF.

MAGNITUD 6.4 RICHTER INTENSIDADES MERCALLI

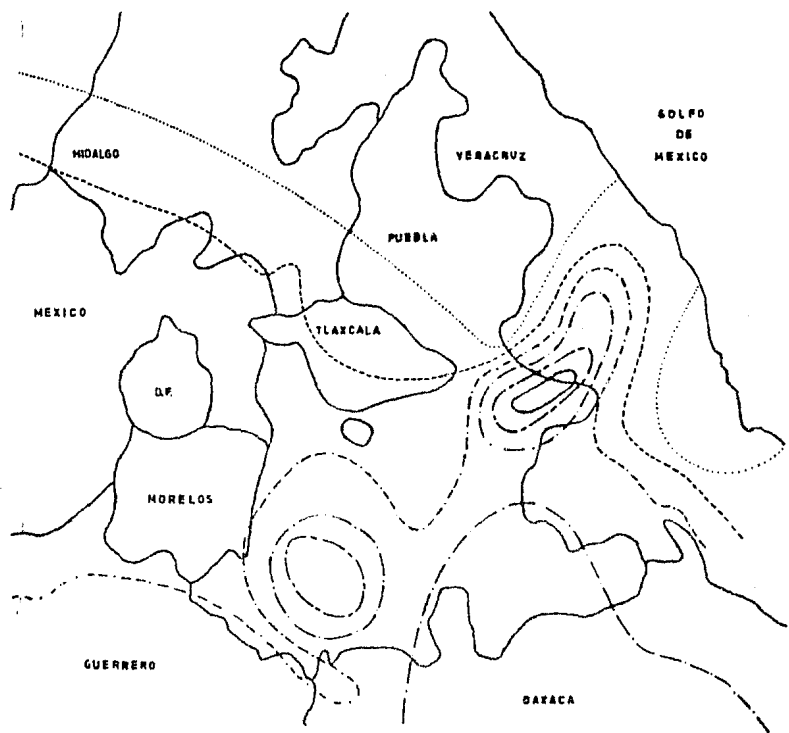
Según Jiménez Z. (1980)



9 000 km<sup>2</sup> está situada en los límites entre los estados de Puebla, Oaxaca y Guerrero. La máxima intensidad (IX), se manifestó en la zona de Huajuapán de León, Oaxaca.

Los máximos daños observados fueron desplomes completos de casas y edificios generalmente de pobre calidad de construcción, daños en edificios antiguos, derrumbes en algunos cerros y taludes de los caminos, fisuras en las secciones de terraplén de las carreteras fueron frecuentes en la zona epicentral (información obtenida del comentario hecho por Zenón Jiménez en el Boletín Sismológico del último trimestre de 1980 acerca de este terremoto).

- Octubre 25 de 1981, 17° 52' 48" latitud N, 102° 09' 00" longitud W, 14 Km, 6.1 (P), 7.3 (S), localizado frente a las costas de Guerrero y Michoacán. Sentido en el D.F. con intensidad de VI Mercalli. Se produjeron algunos derrumbes y suspensión del fluido eléctrico. En Oaxaca se sintió moderado.
- Junio 7 de 1982, 16° 10' 48" latitud N, 98° 21' 36" longitud W, 18 Km, 5.9 (P), 6.9 (S). Localizado cerca de las costas de Guerrero y Oaxaca. Sentido en el D.F. con intensidad de V a VI y en Puebla con intensidad de IV a VI. Sentido fuerte en Jojutla, Morelos.
- Junio 7 de 1982, 16° 15' 36" latitud N, 98° 30' 36" longitud W, 24 Km, 6.3 (P), 7.0 (S) Richter. Localizado cerca de las costas de Guerrero y Oaxaca. Sentido en el D.F. con intensidad de V a VI y en la ciudad de Puebla con IV a V Mercalli.
- Septiembre 19 de 1985, 17° 34' 12" latitud N, 102° 26' - 24" longitud W, 8.1 Richter (U.S.G.S.) Localizado frente a la desembocadura del río Balsas. Sentido en el D.F. con intensidad VIII Mercalli. Grandes daños en esta ciudad.



Signos Convencionales	Mercalli (Año de 1931)
.....	V
-----	VI
-----	VII
-----	VIII
-----	IX
-----	X



Figura 12 Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el estado de Puebla. Según Figueroa A.J. Instituto de Ingeniería UNAM 1969.

en Figueroa A.J. 1974

dad y en algunas poblaciones del estado de Jalisco. Sentido fuerte en Tlaxcala, Guerrero, Michoacán, Morelos, - México, Puebla, Oaxaca y Jalisco. De acuerdo con el boletín de prensa # 10 del 20 de septiembre de 1985 emitido por el Servicio Sismológico Nacional, dependiente del Instituto de Geofísica de la U.N.A.M., las aceleraciones del suelo en el D.F. rebasaron los valores observados en 1957, al tiempo que se observó un movimiento armónico inusitado. Las réplicas de este movimiento telúrico registradas hasta el 1 de octubre de 1985 fueron 73, según datos del boletín de prensa # 14 del Servicio Sismológico Nacional.

- Septiembre 20 de 1985,  $17^{\circ} 24' 00''$  latitud N,  $102^{\circ} 00' 00''$  longitud W, 7.3 escala Richter, localizado a 370 km al SW de la ciudad de México, sentido en esta ciudad con intensidad VI en escala Mercalli. Es la réplica principal del sismo del 19 de septiembre, la cual causó gran alarma pero pocos daños. Otras réplicas tuvieron lugar los días 25 y 27 (2) del mismo mes observándose intensidades de III y IV en escala Mercalli.

De acuerdo con la información macrosísmica del estado de Puebla publicada por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. (Figueroa, 1974), los sismos más energéticos registrados en el estado y zonas aledañas han sido los siguientes: - el del 30 de enero de 1973, de  $7.5^{\circ}$  Richter, y el del 28 de agosto de 1973 de  $6.8^{\circ}$  Richter. Este movimiento afectó a muchas poblaciones en el estado de Tlaxcala en donde fue sentido con una intensidad de VII en escala Mercalli, resultando afectadas principalmente las poblaciones de Calpulalpan, Santa Ana Chiautempan, Apizaco (agrupadas en carreteras y daños en líneas telefónicas y telegráficas) y Tlaxcala. Otras poblaciones afectadas en los estados vecinos de Puebla y Veracruz fueron San Martín Texmelucan, Pue., Tonantzintla, Ciudad Alemán, Cholula y Puebla en el mismo estado. Mientras --



que en estas poblaciones se observaron efectos atribuibles a una intensidad VII Mercalli, en Orizaba, Córdoba y Tehuacán - se observaron efectos que corresponden a una intensidad VIII Mercalli, tales como daños generalizados en edificios, disminución de caudal en manantiales y derrumbes en carreteras.

En vista de los datos disponibles sobre sismicidad en -- el área del proyecto, una estimación razonable del mayor sismo que se pueda esperar en dicha área sería: 7.5<sup>0</sup> Richter, -- intensidad VII Mercalli.

Por otra parte, durante el desarrollo de los trabajos de campo para la elaboración de la presente tesis, el autor visitó las presas denominadas El Sol y La Luna ubicadas aproximadamente a 8 km al Norte del sitio del proyecto "Ayhualco-Temezontla" con el objeto de averiguar si se presentaron problemas relacionados con el terremoto del 19 de septiembre de 1985. Por lo que se pudo observar en esta visita no hubo efectos apreciables ni en la cortina (de tierra y enrocamiento), ni en los vasos respectivos, por lo que es de esperarse que la presa en proyecto resista un movimiento de características similares al citado.

Es posible que sea más de temer el efecto que pudiera tener un sismo originado en las cercanías de la zona del proyecto, tal como la región del Alto Atoyac, la cual tiene una fuerte actividad sísmica, que el que se pudiera producir por sismos originados en la costa occidental de nuestro país.

## CAPITULO IV

### GEOLOGÍA DEL SITIO DEL PROYECTO

4.1 descripción de la boquilla y el vaso.

4.2 Litología.

4.3 Discontinuidades.

4.4 Aspectos geohidrológicos.

#### 4.1 Descripción de la boquilla y el vaso.

La boquilla del proyecto se forma en un estrechamiento de la barranca Huexoxuca causado por el emplazamiento de un derrame de basalto, el cual se deslizó por la margen derecha desde su punto de emisión localizado aproximadamente a 4 km al Noroeste del sitio del proyecto, en los alrededores del cerro San Cristóbal (visible en la carta geológica 1: 50,000 "Tlaxcala", E14B33) cerca de San Mateo Huexoyucan, para posteriormente chocar (el derrame de basalto) con la margen izquierda y cambiar su dirección de flujo aprovechando la pendiente del arroyo. Esto nos lleva a pensar que el derrame es muy reciente y que el arroyo ya existía cuando tuvo lugar la erupción. Es posible que al momento de emplazarse la colada de basalto haya represado al arroyo, pero éste debió erosionar la roca que obstruía el paso, tal vez como resultado de un levantamiento general de la zona que pudo ser responsable de un rejuvenecimiento de la corriente y por lo tanto, de un incremento de su capacidad erosiva, hasta formar el estrechamiento que será aprovechado para desplantar la cortina.

En la misma margen derecha y en la parte baja de la margen izquierda se presentan algunos afloramientos de una brecha compuesta por fragmentos de basalto con diferentes grados de cementación de acuerdo a su vez, al grado de intemperismo a que la roca haya sido sometida. En el plano titulado "Geología de la boquilla" se puede apreciar la distribución de esta roca (brecha basáltica:br). Es muy probable que se trate de un autobrechamiento en la colada de basalto, pues se presenta en los frentes de la colada, en su parte inferior y en el cuerpo mismo del derrame (ver sección geotécnica).

La margen izquierda está formada en su mayor parte por material piroclástico aunque aguas abajo de la zona de la boquilla se encuentran rocas depositadas en un ambiente lacustre contaminadas con material piroclástico. Se trata de una

secuencia de arenas y limos intercalados con estratos de caliza así como los ya mencionados materiales piroclásticos.

En la zona de la boquilla se encuentran expuestas tobas de carácter vitrocrystalino, en parte alteradas de manera que se aprecia material limo-arenoso procedente de las mismas tobas. Es posible diferenciar dos eventos de emisión en esta secuencia. El primero identificado en el plano geológico de la boquilla con las rocas denominadas "Toba inferior" (Tbi), que se caracteriza tanto por presentar una coloración clara y estratificación horizontal. El segundo también formado por tobas, pero de color amarillento y tendiendo más bien a depositarse siguiendo las pendientes del terreno, aunque en parte también presentan estratificación horizontal. Esta roca se identifica en el plano geológico como "Toba superior" (Tbs). Cabe hacer notar que el basalto se emplazó después del depósito de la "Toba inferior" y antes de la "Toba superior", por lo que ésta es la roca más reciente.

En la zona del eje de la boquilla y por varios metros - aguas abajo, el arroyo Huxoxuca corre sobre rocas basálticas presentando muy poco material aluvial, el cual únicamente se deposita en los pocos lugares donde la corriente pierde velocidad por las características topográficas del cauce. Como se puede apreciar en el plano geológico de la boquilla, hacia aguas arriba el material aluvial se distribuye a lo largo del curso del arroyo. En tanto que en la planicie de inundación se aprecian algunas terrazas que en su parte superior presentan una cubierta de suelo.

Aproximadamente a 10 metros aguas abajo del eje de la boquilla sobre la margen izquierda, se encuentra material tobáceo que ha sido transportado desde su posición inicial arriba en la ladera hasta su posición actual. En vista del carácter muy local de este transporte se le ha denominado "material de aluvial (Q del)". Adyacentes a este material aparecen nueva -

mente los suelos.

por otra parte la boquilla tiene pendientes variables en ambas márgenes siendo más pronunciada la izquierda. De acuerdo a los datos del proyecto la corona tendrá una longitud de 60 m y se ubicará entre las estaciones 0 + 036 y 0 + 096 (ver perfil geotécnico), lo que implica que la cortina quedará desplantada casi en su totalidad en roca basáltica por lo que la estabilidad de la cortina se verá favorecida, pues al estar cimentada sobre un mismo tipo de roca es poco probable que se presenten grandes variaciones en las propiedades mecánicas del macizo con la posible excepción de la permeabilidad, pues debido a la presencia de brecha en la colada así como al fracturamiento del macizo, es de esperar que ocurran filtraciones tal como se desprende de los resultados de las pruebas de permeabilidad (ver perfil geotécnico). También deben esperarse algunos problemas en la parte de la cortina que quedaría ubicada sobre la brecha (margen izquierda), pues es muy probable que sus propiedades mecánicas no sean tan buenas como las del basalto de manera que será indispensable remover este mate - rial para aprovechar la roca basáltica que se encuentra deba - jo.

por lo que respecta al vaso, éste es de forma eminente - mente alargada, bifurcada en su parte alta siguiendo la configuración topográfica de la barranca Huexoxuca a la altura de la cota 2 460 m.s.n.m. Sus dimensiones son las siguientes: - 1.6 km de largo en su ramificación norte (medidos a partir de la cortina), 1.4 km en su ramificación este y 500 m en su parte más ancha. Al momento de elaborar la presente tesis no se cuenta con plano del vaso, el cual está formado por tobas de carácter variable entre vítreas y vitrocristalinas con distintos grados de alteración, las cuales presentan algunos horizontes arenosos que favorecen el flujo de agua subterránea y dan lugar a la aparición de manantiales en los puntos onde - intersectan la pendiente del terreno.

Éstos proveen al arroyo de su flujo base pues a partir de los lugares en donde se encuentran estos manantiales el arroyo lleva agua permanentemente, no así en zonas situadas aguas arriba de los manantiales, en donde el arroyo es intermitente. Hacia la barranca Huexoxuca convergen algunas pequeñas cañadas y numerosos talwegs mostrando en general un patrón de arenaje rectangular. A lo largo del cauce se encuentran algunas pequeñas terrazas aluviales depositadas en épocas de crecidas así como por la migración de la corriente dentro de la planicie de inundación.

Respecto a las laceras del vaso, tienen una pendiente variable, pero en general es más pronunciada en la margen izquierda. Durante una visita de inspección realizada en la zona del vaso, se confirmó lo que ya se había observado al estudiar los núcleos recuperados en las perforaciones, esto es -- que el material piroclástico fino adquiere, por un lado, mayor cohesión cuando se encuentra húmedo y por otro, al aumentar la humedad aumenta la plasticidad. Esta última propiedad del material piroclástico del vaso puede dar lugar a un deslizamiento en un momento dado. Durante la visita también se observó que las zonas más erosionadas son las que están desprotegidas por la vegetación. Además, se puede observar que el tipo de falla característico de estas tobas es el circular.

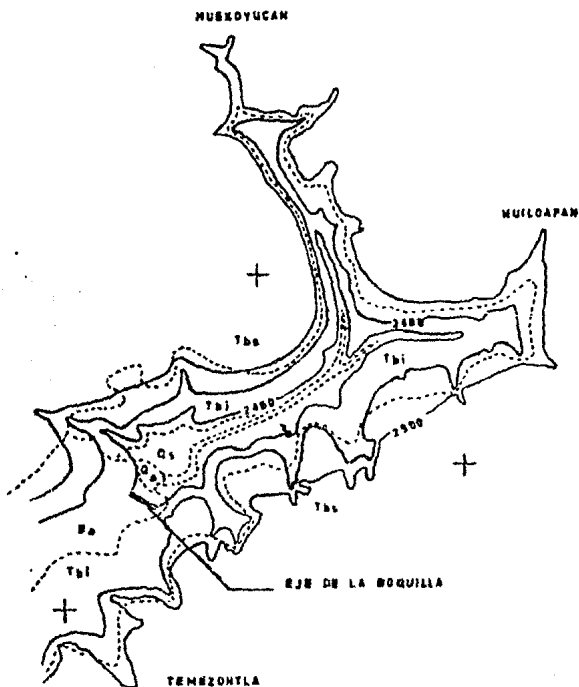
Por las razones anteriores es recomendable que una vez que se tenga una base topográfica a escala adecuada de la zona del vaso se localicen zonas que presenten posibilidades de convertirse en inestables, que se diseñen bordos que protejan el terreno contra la erosión producida por el oleaje (en caso de ser necesario), así como reforestar los lugares más expuestos a la erosión del viento y la lluvia, proporcionando al terreno una cubierta vegetal protectora, a la vez que disminuiría la cantidad de azolves en el vaso.



Fig. 13-a. Vista del vaso hacia su margen derecha tomada desde la boquilla. En primer plano se aprecian bloques de basalto, suelos y la toba interior. Al fondo, esta misma unidad y el poblado de San Mateo Huexoyucan.



Fig. 13-b. Vista del vaso hacia su margen izquierda. En primer plano suelos y aluviones. Al fondo, tobas sup. e inf.



Qa CUATERNARIO ALUVIAL

Qs CUATERNARIO SUELO

Tbs CUATERNARIO CONTINENTAL TOBA SUPERIOR

Pa CUATERNARIO CONTINENTAL BASALTO

Tbi CUATERNARIO CONTINENTAL TOBA INFERIOR

--- CONTACTO GEOLOGICO

+ ESTRATIFICACION HORIZONTAL

FIGURA 14 CRÓQUIS MOSTRANDO LA DISTRIBUCION DE LAS ROCAS EN LA ZONA DEL VASO



## 4.2 Litología.

Como ya se mencionó, las rocas que afloran en el sitio del proyecto son de origen volcánico. Tanto el basalto como las tobas superior e inferior se han ubicado dentro de la unidad Cuaternario continental (QC). A partir de las muestras de núcleo recuperadas de las perforaciones se hizo un examen petrográfico del basalto, no así de la toba, en vista de que al perder humedad el material, pierde a su vez consistencia y es difícil elaborar una lámina delgada. Los resultados fueron los siguientes: de una muestra tomada en el sondeo II, se observó que está compuesta esencialmente por plagioclasa cálcica (Bitownita) en un 70%, de olivino como mineral accesorio en un 22% y de hematita en un 8% como mineral secundario. La roca tiene textura traquítica, en donde se aprecia claramente el bandeamiento fluidal de la pasta de microlitos de plagioclasa, habiéndose clasificado como basalto de olivino.

Megascópicamente, el basalto se presenta lajeado, con textura afanítica, color rojizo a gris y presencia de algunos líticos (fragmentos de rocas piroclásticas). Ya se ha mencionado que tiene estructura de colada. Se hicieron otras dos láminas delgadas sobre muestras del sondeo IV, la primera tomada a 0.80 m de profundidad y cuya composición fue: 74% de plagioclasa (Labradorita-Bitownita), 14% de olivino y 12% de hematita. La segunda muestra, tomada a 20 m de profundidad reveló un 77% de plagioclasa (Labradorita-Bitownita), 21% de olivino y 2% de hematita. En ambas muestras la textura es traquítica y su clasificación es basalto de olivino.

Por otra parte, la permeabilidad promedio de esta roca - de acuerdo a las pruebas en los sondeos exploratorios en la boquilla es de  $1.5 \times 10^{-4}$  cm/seg, por lo que se considera muy permeable. Es importante hacer notar que únicamente fue posible llevar a cabo una prueba de tipo Lugeon en el sondeo IV y en toda la boquilla, porque en ningún otro sitio se alcanzó -

la presión de prueba ( $10 \text{ Kg/cm}^2$ ) además de que por ejemplo, en el sondeo V no fue posible recuperar el empaque y por tanto, no se realizaron más pruebas.

por lo que respecta a las tobas, megascópicamente es posible observar que las rocas de esta clase están compuestas principalmente de material vítreo, mostrando algunos pequeños cristales de plagioclasa. Los porcentajes de estos constituyentes varían entre un 10% a un 30% de cristales, por lo que la clasificación de estas rocas varía entre tobas vítreas y vitrocristalinas. En ciertos lugares estas rocas presentan variación en sus constituyentes y se clasifican como tobas líticas.

De acuerdo con la carta geológica editada por el INEGI (1984 a), se trata de tobas andesíticas por lo que su clasificación completa sería tobas vítreas o vitrocristalinas andesíticas. Como estructuras presentan estratificación horizontal y además estratificación cruzada en pequeña escala. Se piensa que se trata de un depósito de tipo "ash fall" o de caída libre, pues presenta las características descritas por Petti - John (1975) para este tipo de depósitos, es decir, buena clasificación (en su mayor parte, las tobas del lugar presentan partículas de tamaños propios de los limos y las arcillas), así como estratificación bien definida cubriendo grandes extensiones de terreno.

La toba inferior es una roca de color variable entre el blanco y tonos de amarillo y verde, mostrando un desmenuzamiento extremo en sus constituyentes, de manera que está formada en su mayor parte por polvo de vidrio, por lo que se le considera una textura vitroclástica. En ciertos lugares presenta horizontes limosos y arenosos así como algunas inclusiones de líticos y zonas con vesículas. Todo el material se presenta estratificado horizontalmente y en general es muy delez

nable.

La toba superior es diferenciable de la inferior tanto por su coloración diferente (anaranjado-amarillento) como por el hecho de que no siempre presenta estratificación horizontal, sino que en ciertos lugares tiende a depositarse siguiendo la configuración del terreno que presentaba la toba inferior cuando ocurrió el emplazamiento de la toba superior. Esto se observa en lugares con pendiente muy pronunciada, sobre todo aguas abajo de la boquilla, mientras que aguas arriba de la misma la toba inferior no había sido muy erosionada, por lo que la toba superior tiende a depositarse siguiendo la estratificación horizontal de la primera.

En general la toba superior tiene características similares a la inferior es decir, se trata de una toba vítrea de textura vitroclástica, la cual probablemente se deba a una eyección violenta que desmenuzó casi por completo sus constituyentes. También presenta horizontes limosos y arenosos, siendo en general de naturaleza coqueznable.

De acuerdo con la carta geológica INEGI (1984 a, op. cit.) son rocas de composición andesítica. Las pruebas efectuadas en los sondeos exploratorios dieron como resultado una permeabilidad promedio para la toba inferior de  $3.35 \times 10^{-5}$  cm/seg (permeable). No se llevaron a cabo pruebas Lugeon pues no fue posible alcanzar la presión de  $10 \text{ kg/cm}^2$ .

Una parte del material de estas tobas al desprenderse de la ladera en donde se encontraba y resbalar pendiente abajo, tal vez por efecto de un reblandecimiento a causa de las lluvias, dió lugar a la aparición del material deluvial que se encuentra a pocos metros aguas abajo del eje de la boquilla. Esto indica que las tobas se erosionan fácilmente por lo que será necesario reforestar las laderas de la barranca para disminuir la aportación de azolves hacia el vaso.

En general el grado de intemperismo de las tobas es variable entre rocas altamente intemperizadas (más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado formando un suelo); y material completamente intemperizado (todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado formando un suelo, la estructura original está en gran parte intacta). por lo que respecta al basalto, su grado de intemperismo varía entre roca fresca (no hay signo visible de material rocoso intemperizado) y roca ligeramente intemperizada (decoloración en algunas zonas), (Int. Soc. Rock Mech. 1978). No obstante puede ser recomendable llevar a cabo pruebas de alteración y alterabilidad, en vista de que se observa en las tobas el inicio de un proceso de argilización, en tanto que el basalto muestra cierto grado de oxidación, sobre todo en los lugares más expuestos a la acción del agua como son las zonas de autobrechamiento y los frentes de la colada.

con respecto a la resistencia a la compresión simple, es de esperarse un valor alto para el basalto (de 2 000 a 3 500  $\text{Kg/cm}^2$  en promedio, de acuerdo con Puig, J.B. 1970), el cual según criterios de la sociedad internacional de mecánica de rocas (1978, op. cit.) puede considerarse como una roca muy fuerte (se requieren varios golpes de martillo para fracturarlo), no así en las tobas que son rocas muy débiles (se desmenuzan al golpe del martillo y pueden penetrarse con un cuchillo).

#### 4.3 Discontinuidades.

En el sitio del proyecto y concretamente en la roca basáltica, se han encontrado seis familias de fracturas principales que se han distinguido por números. A continuación se hace una descripción de cada familia.

1.  $977^{\circ}$  W:  $35^{\circ}$  se trata de fracturas con morfología de caras variable desde lisas unas hasta rugosas otras, imbr

cidas, algunas cerradas, otras abiertas, estas últimas - con una distancia entre caras de 2 a 5 cm (muy amplias), así como rellenas de material limoso y en un caso, con fragmentos de basalto de tamaño variable entre 0.5 cm y 1 cm en su dimensión mayor. En las fracturas abiertas no se observa presencia de agua. Esta familia tiene un espaciamiento promedio de entre 20 cm y 30 cm (moderadamente espaciadas). La familia se clasifica como persistente ya que profundiza en el macizo rocoso y no se aprecia su terminación. Es la familia predominante en el material basáltico, tanto que le da un aspecto lajeado.

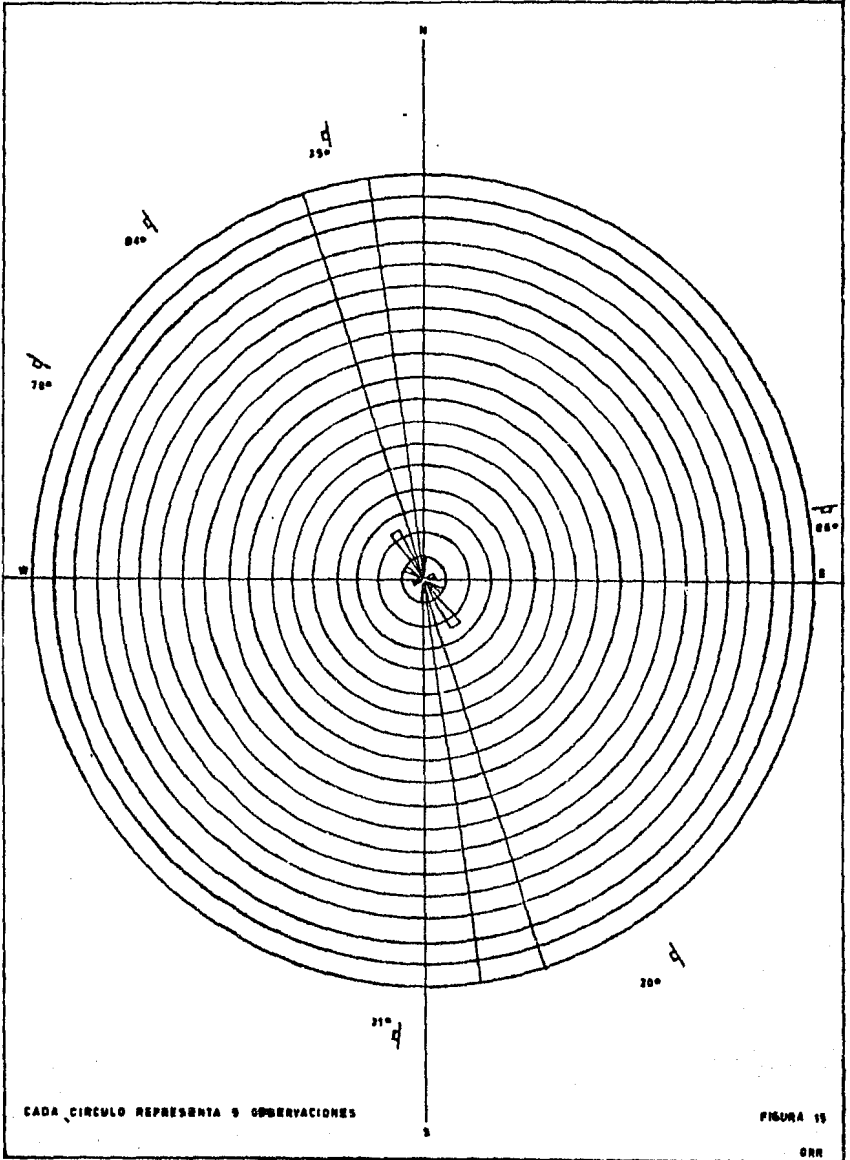
2. S 10° E: 86° fracturas con caras rugosas, imbricadas, se paración entre caras de entre 2 cm y 5 cm (muy amplias), rellenas de material limoso. No se observa presencia de agua. El espaciamiento promedio entre las fracturas de esta familia es de 1 m y en la práctica varía de 0.5 m a 2 m (moderada a ampliamente espaciadas). Se trata de una familia persistente.
3. S 55° W: 20° fracturas con caras rugosas, imbricadas, cerradas, con espaciamiento promedio de 0.90 m y en la práctica, variable de 0.20 m a 1.5 m (moderada a ampliamente espaciadas). Es una familia persistente.
4. S 28° W: 70° fracturas rugosas, imbricadas, con apertura de 5 cm en promedio (muy abiertas) y en la práctica variable entre 1 cm y 10 cm. Algunas fracturas están rellenas con gravas de aproximadamente 0.5 cm en su dimensión mayor. No hay presencia de agua. El espaciamiento promedio es de 70 cm (ampliamente espaciadas). Se trata de una familia persistente.
5. N 87° W: 31° fracturas con caras rugosas, imbricadas, con separación entre las caras variable entre 2 cm y 3 cm, rellenas con material limoso. por su separación en -

tre caras se clasifican como muy abiertas. No se observa presencia de agua. El espaciamiento promedio entre fracturas es de 0.90 m y en la práctica varía entre 0.20 m y 1.5 m (moderada a ampliamente espaciadas). Es una familia persistente.

6. S 51° W; 84° fracturas con caras lisas, separación entre caras de 2 cm a 3 cm (muy amplias), rellenas con material limoso y no se observa presencia de agua. Espaciamiento de 0.5 m (ampliamente espaciadas). Se trata de una familia subpersistente a no persistente. Los criterios sobre espaciamiento y apertura de las fracturas son los que recomienda la Soc. Int. Mec. Rocas (1978).

La inspección del macizo rocoso se realizó sobre una distancia base de aproximadamente 62 m, dividida en tramos de 38 m, 9 m, 7 m y 6 m. El cálculo de espaciamiento promedio se efectuó tomando en cuenta la longitud de un tramo de muestreo considerada conveniente para tal efecto. Junto con las familias de fracturas ya descritas, se encontraron fracturas con orientación azarosa que no se consideran importantes. En la figura 15 se presenta el número de fracturas observadas de cada familia. Las tobas del sitio del proyecto no presentan un patrón de fracturamiento regular. En el plano titulado "Geología de la boquilla" se presentan algunos ejemplos de las familias de fracturas, así como de algunas otras con orientación azarosa. No se levantó la totalidad de las fracturas existentes en el macizo, ya que un levantamiento de esas características queda fuera de los alcances y objetivos del presente trabajo.

En lo que respecta a otro tipo de discontinuidades tales como fallas, no se han observado ni en la zona de la boquilla ni en el vaso, no obstante aproximadamente a 2 km aguas abajo del eje de la boquilla se localiza una falla de tipo normal que afecta a rocas basálticas, por lo que el movimiento debe



haber ocurrido en el Reciente, pero no parece haber evidencia de que esta falla pudiera estar todavía en actividad, tal como roturas en el terreno cercano al plano de falla o afectación de aluviones. La traza del plano de falla tiene orientación variable, una medición de su rumbo y echado dió como resultado S 56° W: 86°. Considerando estos datos no es probable que esta falla afecte de alguna manera a la cortina.

#### 4.4 Aspectos geohidrológicos.

El arroyo Huexoxuca es un afluente del río Totolac, que a su vez desagua sobre la margen derecha del río Sahuapan - aproximadamente a la altura del poblado San Pamián Texoloc a poco más de 4 km al suroeste de San Nicolás Panotia. El área donde queda ubicado el proyecto pertenece a la subcuenca baja del río Sahuapan (S.R.H., 1973). En las cercanías del proyecto se encuentran tres unidades catalogadas como acuíferas: - Terciario superior lacustre (Tsl), Terciario-Cuaternario basáltico (TQbs) y Cuaternario continental (Qc).

La primera se encuentra cubriendo gran parte de las elevaciones montañosas al norte de la carretera San Martín Texmelucan-Tlaxcala consistiendo de una secuencia limo-arenosa con horizontes de caliza que se encuentra contaminada con material piroclástico. Esta unidad también aflora aproximadamente a 200 m aguas abajo del eje de la boquilla, sobre una pequeña cañada hacia la margen izquierda del cauce y es posible que aflore a lo largo del arroyo y de los talwegs subsidiarios a mayor distancia aguas abajo del eje de la boquilla.

La unidad TQbs aflora a ambos lados del camino que une San Francisco Temezontla con la carretera San Martín Texmelucan-Tlaxcala cerca de la cima de las montañas que se levantan al norte de la carretera mencionada. Consiste en un derrame de basalto de olivino de textura afanítica, color pardo grisáceo y espesor aproximado de 2 m en su frente.



La unidad que se encuentra expuesta justamente en el sitio del proyecto y consiste en tobas vítreas, vitrocrystalinas y líticas de composición andesítica. Sobre las tobas se encuentra un derrame de basalto de olivino con textura afanítica que presenta autobreccamiento en algunos lugares. Tanto el material piróclástico como los sedimentos lacustres pueden retener el agua, en tanto que los derrames de basalto, en vista de no ser porosos, servirían únicamente para dirigir el agua infiltrada hacia las rocas inferiores (S.R.H., 1973 op. cit.)

Como ya se vió, el vaso está constituido en su mayor parte por tobas con algunos horizontes de material arenoso. Estos horizontes sirven para almacenar el agua de las precipitaciones pluviales, de tal manera que cuando estos estratos tienen una ligera pendiente hacia la barranca Huxoxuca (básicamente por la margen izquierda), el agua que ceden constituye el flujo base del arroyo. Es interesante hacer notar que este aporte de agua proviene casi exclusivamente de los estratos arenosos de la margen izquierda. Esto puede verse al hecho de que hacia el parteaguas de dicha margen se encuentra una zona boscosa que puede ser en cierta medida, responsable del almacenamiento de agua cediéndola paulatinamente hacia el subsuelo, en donde se establecen las líneas de flujo siguiendo los estratos arenosos de la toba, hasta intersectar la barranca Huxoxuca en donde el continuo goteo del agua que regresa al terreno forma el arroyo del mismo nombre.

Por esta razón y a manera de posibilidad, se puede pensar que nos encontramos frente a un nivel epifreático que da lugar a un fenómeno similar al conocido como "presencia de aguas colgadas". Cabe señalar que la intersección de este nivel epifreático con la superficie del terreno ocurre en distintos lugares, y que en cada uno de éstos se manifiesta una zona de humedad permanente, de manera que si individualmente estas resurgencias no presentan un gran caudal, en conjunto -

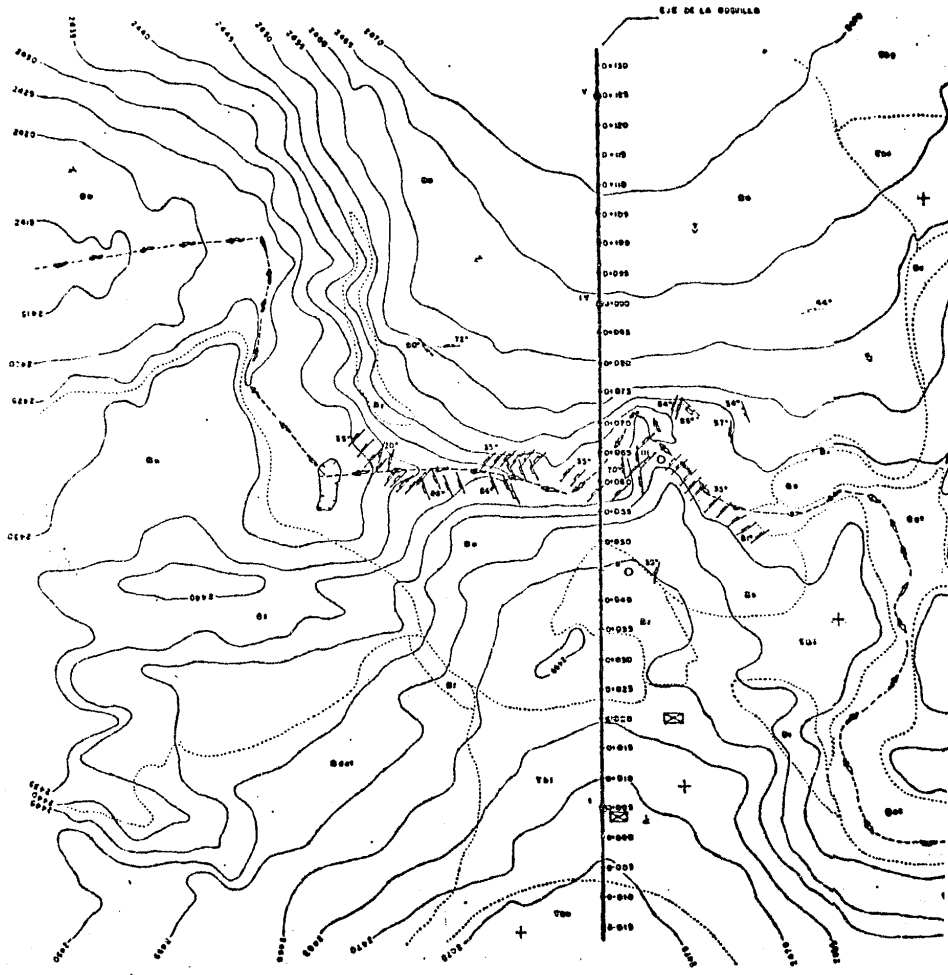
bastan para mantener el flujo base del arroyo Huexoxuca.

En vista de esta condición y a partir del hecho de que únicamente se reportó la presencia de un saturado nivel freático a 4 m de profundidad en el sondeo III, no se propone ninguna configuración del nivel freático principal en el subsuelo. Para efectuarla con un grado aceptable de confianza se podrían profundizar los sondeos adyacentes al III, buscando cuidadosamente la zona de saturación, o bien corriendo una sección geoelectrica a lo largo del eje de la boquilla.

De acuerdo con estudios geomorfológicos hechos por J.R.H. en 1973 (op. cit.), la principal fuente de recarga de los acuíferos en la zona que nos ocupa es la precipitación pluvial, constituyendo también una recarga (aunque en menor medida), el agua que se usa para fines domésticos y de riego en los poblados de las cercanías, la cual posteriormente regresa al terreno y en cierta medida contamina tanto a los acuíferos como a los ríos. Tal es el caso del arroyo Huexoxuca, cuyas aguas se enturbian en las horas de mayor demanda del líquido en los poblados que lo rodean, pues una vez que el agua ha sido usada se vierte en el arroyo o se infiltra hacia el subsuelo, de tal forma que a pesar de infiltrarse en cierta medida en las capas por donde va pasando, aparece turbia en el momento de surgir a la superficie.

Por todo lo anterior, cabe la posibilidad de que si se lleva a cabo la construcción de la presa, las aguas del embalse se contaminen si el agua de desecho de los poblados cercanos no se canaliza a otro lugar para impedir a la vez, que se siga contaminando el acuífero, cuya importancia es grande para los pobladores de la zona pues de él obtienen actualmente el agua para consumo humano, siendo ésta la descarga principal del acuífero.

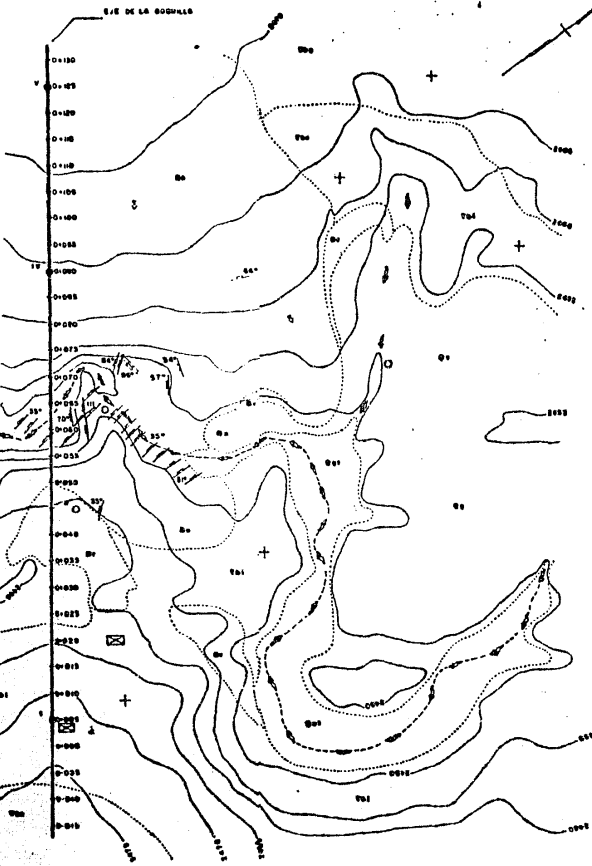
19°21'54" Lat N  
90°17'22" Long W



19°21'55" Lat N  
90°17'45" Long W

19° 21' 00" Lat N  
98° 17' 00" Long W

EJE DE LA BOHOLLA



### LEYENDA

- C1 Cretácico Superior
- C2 Cretácico Inferior
- C3 Cretácico Medio
- T1 Terciario Superior
- T2 Terciario Inferior
- T3 Terciario Medio

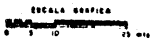
#### SIMBOLOGÍA GEOLOGICA

- Cretácico superior
- Dirección de flujo del magma
- Extrusivos volcánicos
- Ruptura y estado de fractura

#### SIMBOLOGÍA TOPOGRAFICA

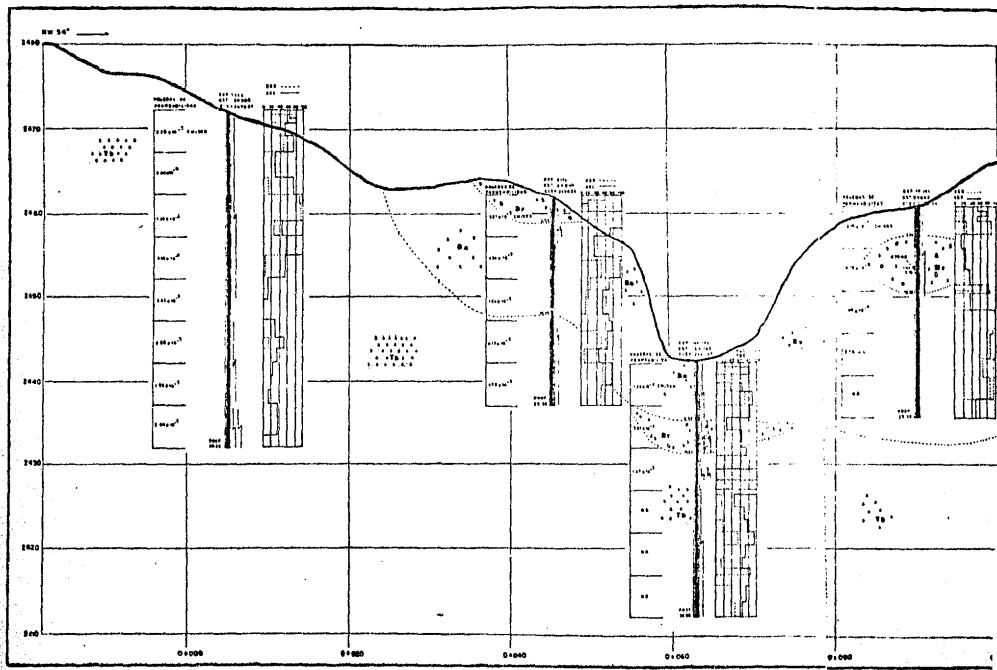
- Cerro de nivel
- Barro
- Pedregal o roca suelta
- Colección
- Riacho
- Desfiladero del terreno

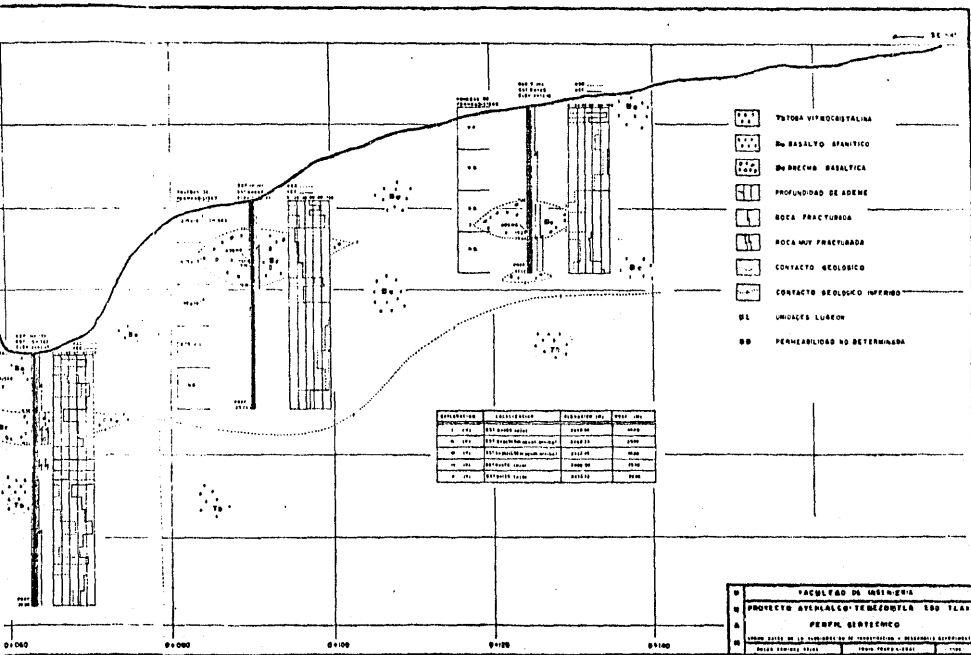
Distancia Magnética 0°15' Este  
 Escala gráfica entre curvas de nivel 500 mts.  
 Contorno cada 20 m



19° 21' 00" Lat N  
98° 17' 00" Long W

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES	
PUNTO AVANZADO TECNOLÓGICO EN LAS	
CIENCIAS DE LA BOHOLLA	
CALLE CALLES 2011 TEL 0152 2222 2222	





EXPLORACION	LOCALIZACION	ALCANTAR (m)	PROF. (m)
1	ESTACION 1000	1000	1000
2	ESTACION 1000	1000	1000
3	ESTACION 1000	1000	1000
4	ESTACION 1000	1000	1000
5	ESTACION 1000	1000	1000
6	ESTACION 1000	1000	1000

B FACULTAD DE INGENIERIA  
 M PROYECTO ATYALCALCO-TEZEMOCILLA EDO TLAX  
 A PERFM. GEOTECNICO  
 D LUNDA 2010 DE LA UNIVERSIDAD DE GUATEMALA - GUATEMALA GUATEMALA  
 MEXICO 2010-2011

## CAPITULO V

### EXPLORACION DE LA BOQUILLA Y EL VASO

- 5.1 Resultados de la exploración por medio de sondeos.
- 5.2 Materiales para construcción.
- 5.3 perfiles geotécnicos individuales de los sondeos.

### 5.1 Resultados de la exploración por medio de sondeos.

El programa de barrenación comprendía originalmente 5 - sondeos en la boquilla, 3 verticales y 2 inclinados, así como otros tres sondeos en el vaso. Posteriormente se decidió que las 5 exploraciones en el eje de la boquilla serían verticales y se redujo a una sola exploración en el vaso. De acuerdo también con el programa original, se perforarían 25 m en cada sondeo, pero después se pensó que sería conveniente profundizar algunos de ellos tales como el I y el III para conocer mejor las características del material de la boquilla. - por lo que finalmente, los sondeos quedaron identificados por número progresivo a partir de la margen izquierda, distribuyéndose 2 en cada margen y uno en el cauce del arroyo. El sondeo VI (vaso) queda ubicado aproximadamente a 1 m del cauce del arroyo, sobre la margen derecha y a poco más de 200 m - aguas arriba del eje de la boquilla.

Las perforaciones se realizaron con una máquina perforadora "Long Year 34" provista de bomba "Moyno", todas las exploraciones se efectuaron con broca de diamante a diámetro NQ (0.076 m) exceptuando el sondeo I que fue perforado con broca de tungsteno. En todos los sondeos se recuperaron núcleos y se efectuaron pruebas de permeabilidad (en el sondeo V no se pudo determinar el valor de esta propiedad, porque el empaque necesario para aislar la cámara filtrante se atascó en el barrenado y no fue posible recuperarlo). Se procedió a calcular los porcentajes de recuperación y el índice de calidad de roca (RQD). Los resultados se muestran en los perfiles geotécnicos individuales que se anexan en el presente capítulo y también se representan en la sección geotécnica a lo largo del eje de la boquilla.

Los resultados de las pruebas de permeabilidad se presentan en casi todos los casos en cm/seg, dado que sólo en una - ocasión fue posible alcanzar la presión suficiente para efec-



tuar una prueba Lugeon ( $10 \text{ Kg/cm}^2$ ). En todo caso siempre es posible hacer una conversión entre unidades Lugeon y cm/seg usando el siguiente factor: 1 unidad Lugeon equivale aproximadamente a  $1.3 \times 10^{-5}$  cm/seg.

En cuanto a la permeabilidad se refiere las rocas se comportaron de la siguiente manera: en el sondeo I la toba es permeable; en el sondeo II la brecha basáltica, la toba vitro cristalina y el basalto son permeables; en el sondeo III el basalto y la brecha correspondiente son muy permeables y la toba es permeable en el tramo probado; en el sondeo IV el basalto se comportó de impermeable a muy permeable; en el sondeo V no se determinó la permeabilidad del material, pero es de esperarse un comportamiento similar al mostrado en el sondeo IV. Finalmente, en el sondeo VI el material se comportó de manera permeable, pero debido a la cercanía del sondeo al cauce del arroyo es posible que los valores encontrados no sean los más representativos del comportamiento del vaso en general, pues es sabido que en sitios cercanos a las corrientes de agua la permeabilidad es mayor que en otros lugares. Por eso puede ser recomendable efectuar sondeos adicionales en el vaso y obtener valores de permeabilidad más representativos (ver perfiles geotécnicos individuales).

De acuerdo a las pruebas de permeabilidad se puede decir que la boquilla es permeable y es de esperar que el vaso también lo sea (se observan manantiales en las tobas que lo forman tanto aguas arriba como aguas abajo). Una posible solución al problema de la permeabilidad en la boquilla podría ser la construcción de una pantalla de impermeabilización. No obstante, en el caso de presas pequeñas como la que nos ocupa la construcción de tal pantalla eleva el costo de la obra, por lo que no sería recomendable hacerlo. Por otra parte se conocen casos de presas que teniendo originalmente fugas de agua fueron impermeabilizándose con el mismo material de azo<sup>l</sup>ve acumulado al paso del tiempo, de tal forma que teniendo en

cuenta el tipo de roca presente en el sitio del proyecto "Ayuntamiento-Temezontla", cabe la posibilidad de que se presente un efecto similar que ayude a disminuir las pérdidas de agua que pudieran presentarse. Los valores de permeabilidad promedio para cada barrenos son los siguientes:

SONDEO	PERMEABILIDAD (cm/se <sub>g</sub> )	CLASIFICACION
I	$4.64 \times 10^{-5}$	permeable
II	$5.30 \times 10^{-5}$	permeable
III	$5.85 \times 10^{-4}$	muy permeable
IV	$1.41 \times 10^{-4}$	muy permeable
V	No determinada	
VI	$1.15 \times 10^{-2}$	muy permeable

por lo que respecta a la calidad de la roca, en el sondeo I la toba es en general de mala calidad; en el sondeo II la toba se comporta como roca de regular a muy mala calidad al igual que el basalto, mientras que la brecha basáltica es de mala a muy mala calidad. En el sondeo III esta roca presentó el mismo comportamiento, el del basalto varía de muy malo a regular y el de la toba es de muy malo a bueno. En el sondeo IV la brecha sigue siendo de muy mala calidad, el basalto va de excelente a profundidad hasta muy malo superficialmente para el sondeo V el basalto varía en calidad de muy mala a buena, mientras que la brecha continúa de mala a muy mala. En el sondeo VI (vaso), la toba se comporta entre muy mala y regular. Esta clasificación del material rocoso se basa en los valores reportados de índice de calidad de roca (RQD). Los promedios de índice de calidad de roca y porcentaje de recuperación para cada barrenos son los siguientes:

SONDEO	RQD	REC	CLASIFICACION	RQD
I	21%	48%	muy malo	
II	21%	66%	muy malo	
III	13%	67%	muy malo	
IV	31%	63%	malo	
V	29%	72%	malo	

SONDEO	RQD	REC	CLASIFICACION	RQD
VI	21%	65%		muy malo

En resumen la calidad de la roca tanto en el vaso como en la boquilla ueja mucho que desear. Una recomendación pertinente en caso de seguir adelante con la construcción de la presa, puede ser que estructuras tales como el vertedor ueben quedar desplantadas sobre la margen derecha donde se encuentra la roca basáltica, para evitar que experimenten los inconvenientes de situarse en rocas débiles como las tobas del lugar.

El grado de fracturamiento de las rocas del sitio del proyecto puede observarse en los perfiles geotécnicos individuales de los barrenos, tanto por los valores de RQD como por los del criterio siguiente: roca muy fracturada 10 o más fracturas por metro recuperado; roca fracturada, entre 5 y 10 fracturas por metro; roca poco fracturada, menos de 5 fracturas por metro.

Adicionalmente se han practicado dos pozos a cielo abierto, ambos en la margen izquierda y con el fin de verificar las características del material piroclástico en la zona de la boquilla.

## 5.2 Materiales para construcción.

Dadas las características geológicas del sitio del proyecto así como el tipo de presa requerido (almacenamiento), y teniendo en cuenta la clase de materiales presentes en el área, lo más recomendable desde el punto de vista del autor sería que la cortina se construyera de tierra y enrocamiento, en vista de que las rocas piroclásticas y basálticas de las cercanías podrían usarse en la construcción de una obra de esta naturaleza.

Se considera que otro tipo de cortina tal como sería el caso de obras de materiales cementados, puede elevar el costo de la construcción en forma significativa. No se recomienda que sea únicamente de tierra porque la adición de una capa de enrocamiento puede aumentar considerablemente la estabilidad de la cortina. Por otro lado, no se recomienda una cortina de materiales graduados porque en las cercanías del sitio del proyecto no se cuenta con cantidades considerables de grava.

Se pueden usar como bancos de material las zonas en donde las tobas estén más alteradas aprovechando los materiales arcillosos resultado de la mencionada alteración. Para ello se ubicarían los sitios de más fácil acceso con objeto de explotar con la mayor facilidad posible los materiales limosos y arcillosos que pueden servir para construir el núcleo impermeable de la cortina.

Una obra de esta naturaleza puede construirse empleando trabajadores de la localidad, con lo que se abrirían fuentes de trabajo provisionales. En cuanto a material para enrocamiento, puede usarse el basalto que se encuentra en el sitio del proyecto, el cual es una roca densa y apta para ese propósito. El bloque promedio de este material tendría dimensiones aproximadas de 1.5 m x 1.0 m x 0.5 m en base a lo observado en los afloramientos, pues no fue posible realizar las medidas de espaciamiento entre fracturas en tres direcciones -- perpendiculares entre sí, ya que no se tiene una exposición clara del macizo rocoso en todas direcciones, pues la vegetación y los materiales derivados del intemperismo de las tobas no permiten observar las fracturas en ciertas zonas del macizo rocoso.

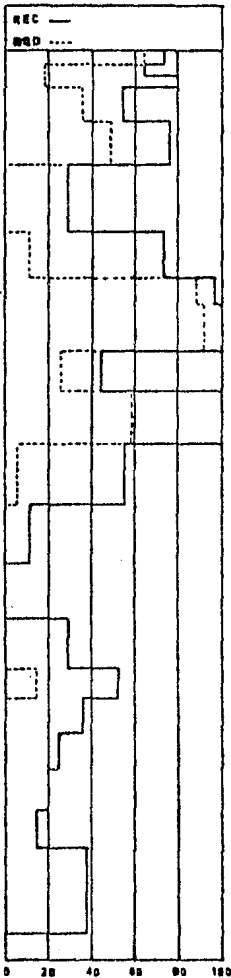
### 5.3 perfiles geotécnicos individuales de los sondeos.

EXP I (V)  
EST 0+005  
ELEV

PORCENTAJE DE RECUPERACION  
INDICE DE CALIDAD DE ROCA

PRUEBAS DE  
PERMEABILIDAD  
(CM/SEG)

DESCRIPCION LITOLOGICA



TOBA VITROCRIHALINA FACILMENTE DISREGABLE CON ALTO GRADO DE ALTERACION
TOBA DE GRANO FINO CON ALTO GRADO DE ALTERACION Y COLOR VARIABLE
TOBA VITROCRIHALINA ALTERADA
TOBA BRECHOIDE EN MATRIZ ARCILLO-ARENOSA
TOBA VITROCRIHALINA FACILMENTE DISREGABLE
MATERIAL ARENOSO
TOBA VITROCRIHALINA FACILMENTE DISREGABLE ALTO GRADO DE ALTERACION Y COLOR VARIABLE



TOBA DE GRANO  
FINO



TOBA BRECHOIDE EN  
MATRIZ ARCILLO-ARENOSA



ROCA MUY FRACTURADA



TOBA VITROCRIHALINA



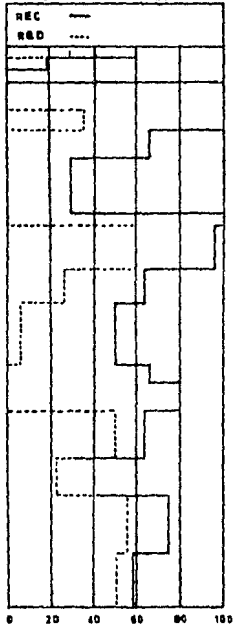
ROCA FRACTURADA

ESCALA VERTICAL 1:200

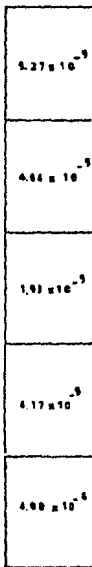
ESP1 (V)  
EST 9-0045  
ELEV



PORCENTAJE DE RECUPERACION  
INDICE DE CALIDAD DE ROCA



PRUBAS DE  
PERMEABILIDAD  
(CM/SEG)



DESCRIPCION LITOLOGICA

BRECHA BASALTICA CON DISTINTOS GRADOS DE ALTERACION
BASALTO DE TEXTURA AFANITICA CON HUELLAS DE OXIDACION
TOBA VITROCRIITALINA CON ALTO GRADO DE ALTERACION



BRECHA BASALTICA



ROCA MUY FRACTURADA



BASALTO AFANITICO

EXPLORACION REALIZADA A 5.00 M

AGUAS ARRIBA DEL EJE DE LA BORNILLA



TOBA VITROCRIITALINA

ESCALA VERTICAL 1:200



ROCA FRACTURADA

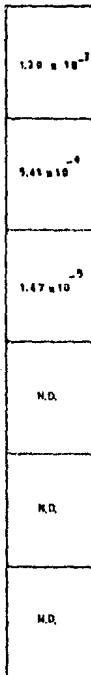
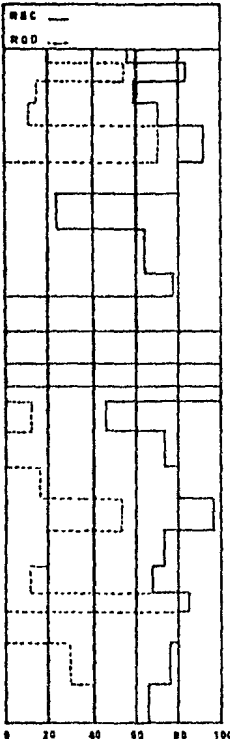
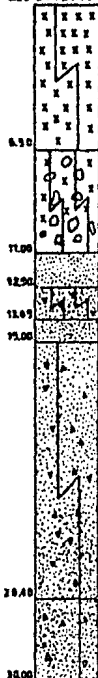
EXP III (V)  
EST 0-083  
ELEV

PORCENTAJE DE RECUPERACION  
INDICE DE CALIDAD DE ROCA

PRUEBAS DE  
PERMEABILIDAD  
(CM/SEG)

DESCRIPCION LITOLOGICA

020 2442.45



BASALTO DE TEXTURA AFANITICA CON HUELLAS DE OXIDACION
BRECHA BASALTICA CON HUELLAS DE OXIDACION
MATERIAL ARENOSO
TOBA VITROCRISTALINA
MATERIAL ARENOSO
TOBA VITROCRISTALINA ALTERADA
TOBA VITROCRISTALINA COHESIVA Y ALTERADA



BASALTO AFANITICO



ROCA FRACTURADA



BRECHA BASALTICA



ROCA MUY FRACTURADA



TOBA VITROCRISTALINA

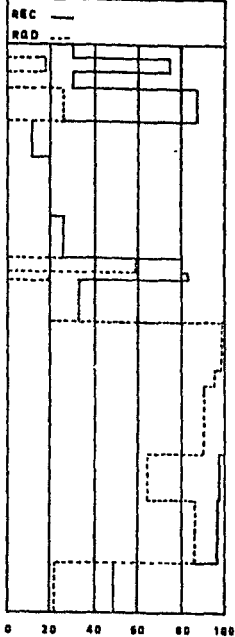
EXPLORACION REALIZADA A 050 M  
AGUAS ARRIBA DEL EJE DE LA SOQUILLA  
N.D. PERMEABILIDAD NO DETERMINADA  
ESCALA VERTICAL 1:200

EXP IV(V)  
EST 0-098

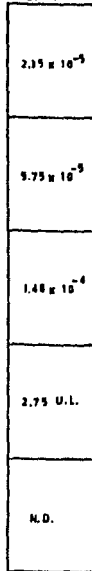
ELEV  
0.00 2490.04



PORCENTAJE DE RECUPERACION  
INDICE DE CALIDAD DE ROCA



PRUEBAS DE  
PERMEABILIDAD  
(CM/SEG)  
U. LUGERON



DESCRIPCION LITOLOGICA

BASALTO DE TEXTURA AFANITICA CON HUELLAS DE OXIDACION
BRECHA BASALTICA DE FACIL DISOCIACION CON HUELLAS DE OXIDACION
BASALTO DE TEXTURA AFANITICA CON HUELLAS DE OXIDACION



BASALTO AFANITICO



BRECHA BASALTICA



ROCA FRACTURADA



ROCA POCO FRACTURADA



PROFUNDIDAD DE ADEME

EXPLORACION EFECTUADA SOBRE EL EJE DE LA BORQUILLA

N.D. PERMEABILIDAD NO DETERMINADA

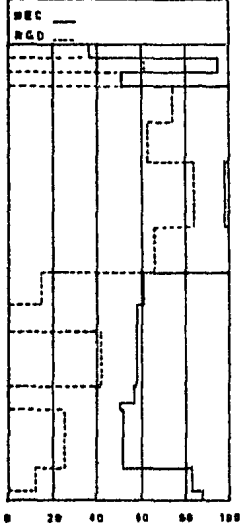
ESCALA VERTICAL 1:200



EXP V (V)  
 EST 80129  
 SLEV  
 899 3473.32

11.40  
 19.80  
 19.85  
 20.00

PORCENTAJE DE RECUPERACION  
 INDICE DE CALIDAD DE ROCA



PRUEBAS DE  
 PERMEABILIDAD  
 (CM/SEG)  
 U. LUGEM

N.D.
N.D.
N.D.
N.D.

DESCRIPCION LITOLOGICA

BASALTO DE TEXTURA AFANITICA CON HUELLAS DE OXIDACION
BRECHA BASALTICA CON HUELLAS DE OXIDACION
BASALTO DE TEXTURA AFANITICA CON HUELLAS DE OXIDACION



BASALTO AFANITICO



BRECHA BASALTICA



ROCA FRACTURADA



ROCA MUY FRACTURADA



PROFUNDIDAD DE ADEME

EXPLORACION EFECTUADA SOBRE EL EJE DE  
 LA BOQUILLA

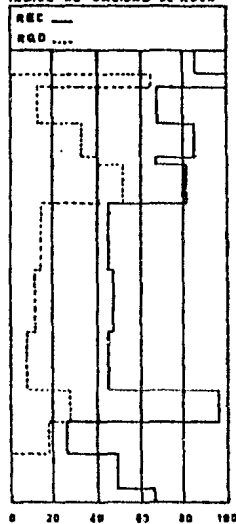
N.D. PERMEABILIDAD NO DETERMINADA

ESCALA VERTICAL 1:200

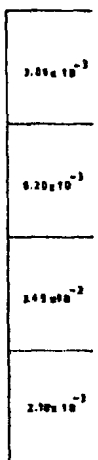
EXP VI (V)  
VASO



PORCENTAJE DE RECUPERACION  
INDICE DE CALIDAD DE ROCA



PRUEBAS DE  
PERMEABILIDAD  
(CM/SEG)



DESCRIPCION LITOLÓGICA

SUELO
TOBA VITROCISTALINA DE FACIL DISREGGACION CON VESICULAS
MATERIAL ARCILLO-ARENOSO
TOBA VITROCISTALINA MOSTRANDO TRAMOS CON DISREGGACION TOTAL
MATERIAL ARENOSO DISREGGADO EN PARTES
MATERIAL ARCILLOSO
TOBA VITROCISTALINA MOSTRANDO TRAMOS CON DISREGGACION TOTAL
MATERIAL ARENOSO



SUELO



MATERIAL ARENOSO DISREGGADO PRODUCTO DE ALTERACION DE TOBAS



TOBA VITROCISTALINA



ROCA FRACTURADA



MATERIAL ARCILLO-ARENOSO PRODUCTO DE ALTERACION DE TOBAS



ROCA MUY FRACTURADA



MATERIAL ARCILLOSO PRODUCTO DE ALTERACION DE TOBAS

ESCALA VERTICAL 1:300

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

de acuerdo con los resultados del presente estudio y regresando a la lista de requisitos que debe reunir un sitio para la construcción de una presa del capítulo I, se concluye:

1. Las rocas basálticas del sitio del proyecto no parecen tener problemas relacionados con su resistencia a fuerzas estáticas o dinámicas. por otra parte ya se ha mencionado que las tobas presentan cierta tendencia a la argilización, cuyo producto debe pertenecer al grupo de la montmorillonita, por lo tanto se trata de arcilla expansiva lo que implica que al quedar saturada por agua ejercerá una fuerza de tipo estático que en un momento dado podría poner en peligro la estabilidad de la cortina, sobre todo cuando la arcilla quede confinada entre otro tipo de materiales. Lo anterior indica que la ingeniería civil tendrá que tomar sus precauciones en este sentido. En cuanto a la resistencia de las tobas a fuerzas dinámicas, es conveniente recordar que ya existen otras presas en la zona que han resistido sismos tan enérgicos como los de septiembre de 1985.
2. En general las laderas del valle son estables, no obstante es posible que al llenarse el vaso el oleaje erosione la base de algunos taludes poniendo en peligro la estabilidad de los mismos, aunque dada la longitud del vaso no es de esperar un oleaje tan enérgico como para que suceda algo así, pero si se diera el caso se podrían construir muros de protección en los lugares afectados.
3. Actualmente en el sitio de la cortina parece existir un pequeño problema de inestabilidad en la margen izquierda, pues las rocas piroclásticas han alterado levemente la configuración del terreno aproximadamente a 10 m por arriba de la boquilla, pero no parece que pueda poner en peligro la futura cortina tanto por la pequeña magnitud del movimiento observado como por el hecho de que en ca-

so de producirse un deslizamiento de mayores proporciones, puede quedar detenido por un quiebre de pendiente que se localiza a una cota inferior a la del lugar donde se ha observado el fenómeno. por prevenir cualquier eventualidad a este respecto puede ser aconsejable desplazar el vertedor sobre la margen derecha, la cual no presenta estos problemas por estar desprovista de material piroclástico en el sitio de la boquilla.

4. La cortina quedaría ubicada en su mayor parte sobre rocas basálticas, con lo que no se tendrían variaciones bruscas en el valor del módulo de elasticidad.
5. De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas efectuadas en el sondeo VI, la permeabilidad en el vaso puede tener un valor alto probablemente debido al fracturamiento de las tobas, no obstante cabe la posibilidad de que también se deba a fenómenos de tubificación en el material piroclástico, propiciados tanto por la porosidad como por la remoción de material a lo largo de las líneas de flujo, dado que estas rocas (las tobas) en particular no han tenido tiempo para cementarse en vista de lo reciente de su emplazamiento. puede ser recomendable evaluar este fenómeno en pruebas de laboratorio, ya que las máximas presiones alcanzadas en los intentos de efectuar pruebas Lugeon en las tobas son del orden de los  $2.5 \text{ Kg/cm}^2$ , comparables a la carga que habrán de soportar por la presión hidrostática en el vaso.

por otra parte debe considerarse la posibilidad de que los valores de permeabilidad obtenidos del sondeo VI no sean representativos de la permeabilidad del vaso en su conjunto, en vista de la cercanía del sondeo al cauce del arroyo, así como por el hecho de que la prueba Lugeon a flujo variable descendente no es recomendable en materiales altamente permeables, por lo que se recomien-

- da efectuar nuevas pruebas en otros sitios dentro del vaso programándose a flujo constante en donde se prevea - que la permeabilidad es mayor a  $10^{-4}$  cm/seg, esta condición se da cuando el nivel del espejo del agua de prueba desciende rápidamente dentro del pozo.
6. Las rocas en el sitio del proyecto no son solubles, pero las rocas piroclásticas no son muy resistentes a la erosión ni a la alteración, por lo que se espera un aporte importante de azoives que pudiera disminuir el periodo de vida útil de la presa, pues las rocas del área que drena hacia el reservorio también son de origen piroclástico.
  7. Los bancos de materiales se tienen a corta distancia del sitio del proyecto, el basalto para el enrocamiento se tiene en la misma boquilla, mientras que los materiales para el corazón impermeable los proporcionarían bancos de materiales similares a los que se nayan usado en la construcción de las presas El Sol y La Luna, por lo que la S.A.R.H. tendría que investigar cuáles fueron esos bancos.
  8. En vista de que la cortina abarcará el terreno comprendido entre las estaciones 0 + 036 y 0 + 096 del cadenamiento efectuado sobre el eje de la boquilla puede ser recomendable remover la brecha basáltica que se encuentra en la margen izquierda entre las estaciones 0 + 035 y 0 + 050 con el fin de aprovechar el material basáltico que se encuentra debajo de la mencionada brecha para cimentar la cortina.
  9. En vista de que el caudal del arroyo Huxoxuca no es muy grande es factible que no se necesite una obra de desvío muy costosa para construir la presa. De acuerdo a lo observado en el terreno sería posible entubar el arroyo --

para permitir el paso del agua por la boquilla sin que - represente un inconveniente para el desarrollo de la obra. posteriormente el tubo usado para este efecto se re tiraría o clausuraría para permitir el llenado del embal se.

10. para definir correctamente la profundidad del nivel de - aguas freáticas a lo largo de la boquilla es recomenda - ble correr una sección geoelectrica que indique su confi guración en el subsuelo. Además, en el vaso se encuentra un pozo que abastece de agua al poblado de San Francisco Temezontla, el cual puede proporcionar información sobre el nivel freático principal en el vaso.
11. En caso de requerir información cuantitativa sobre el es tado que guardan las rocas del lugar se puede recurrir a las pruebas de alteración y alterabilidad específica de manera que se pueda tener una idea de la susceptibilidad de las rocas a la alteración.
12. Con el fin de completar el conocimiento de las propieda - des mecánicas del macizo rocoso es necesario llevar a ca bo pruebas de Mecánica de Rocas evaluando la resistencia y deformabilidad del material rocoso, para tener los ele mentos que permitan clasificar ingenierilmente las rocas del sitio del proyecto. Con los resultados de estas prue bas será posible usar la clasificación de Deere y Miller. De la misma manera se clasificará el macizo rocoso utili zando los criterios del mismo Deere, de Bieniawski o Bar ton, todos ellos de utilidad para la Ingeniería Civil.

Con respecto a las pruebas recomendadas se pueden - mencionar (para el laboratorio) las de resistencia a com presión simple, a compresión triaxial (que también sir ven para conocer el módulo de elasticidad y los pará metros de resistencia de las rocas, esto es la cohesión y

el ángulo de fricción interna); resistencia a la tensión (directa o indirecta) y al corte directo o doble. Para los ensayos "in situ" sería recomendable efectuar principalmente los de deformabilidad, ya sea mediante pruebas de placa o bien utilizando dilatómetros. Estas pruebas tendrían la ventaja de involucrar las discontinuidades del macizo rocoso aportando resultados más representativos de las condiciones reales del terreno que las pruebas de laboratorio.

13. De acuerdo con Attewell & Farmer (1976) y como datos ilustrativos se presentan a continuación los rangos aproximados de resistencia para los basaltos:

COMPRESION	TENSION	CORTANTE	(Kg/cm <sup>2</sup> )
1 500-3 000	100-300	200-600	

Es de esperar que las rocas basálticas en el sitio del proyecto tengan valores de resistencia comprendidos en los rangos citados, lo que las convertiría en excelentes rocas para desplantar la cortina. El hecho de que en la mayoría de las pruebas de permeabilidad tipo Lu-geon intentadas en este material no se haya alcanzado la presión de prueba especificada (10 Kg/cm<sup>2</sup>), puede deberse al fracturamiento del macizo rocoso en el caso del basalto o bien, a fenómenos de "tubificación" en las tobas por lo que sería recomendable evaluar este último fenómeno en laboratorio con el fin de encontrar la manera de evitar pérdidas de agua en el embalse. De esta manera vemos que la permeabilidad de los materiales de la boquilla y del vaso se constituye en el principal factor en contra de la construcción de la presa, pues ya se mencionó en otro lugar que para el caso de una obra tan pequeña como la proyectada, el tratamiento del macizo rocoso elevaría los costos de construcción.



14. Una de las características del material piroclástico de la zona del proyecto es la formación de fracturas profundas, lo que según Puig (1970) puede evitarse cubriendo la pendiente con pasto o con una capa gruesa de arena. El hecho de evitar estas fracturas puede ser importante para prevenir la aparición de zonas inestables en las tobas.
15. De acuerdo con el último autor citado, las tobas son malos materiales para la construcción de presas en vista de su tendencia al deslizamiento y de la pérdida de cohesión al intemperizarse. En vista de que la cuenca y el vaso en el proyecto están formados por materiales piroclásticos, es casi seguro que habrá un aporte considerable de azolves, que por un lado pueden ayudar a impermeabilizar tanto el vaso como la boquilla, pero por otro pueden disminuir el periodo de vida útil de la presa, de manera que es importante regular este aporte para lo cual Puig (1970, op. cit.) en su libro sobre Geología Aplicada a la Ingeniería Civil propone como soluciones la construcción de bordos a lo largo de las curvas de nivel del vaso para evitar la erosión por el oleaje, así como la construcción de pequeñas represas de material amontonado en los cauces de los arroyos para quitarle velocidad al agua y con ello, poder erosivo, al igual que la reforestación del terreno para evitar su denudación.

Desde el punto de vista geológico la presa en proyecto presentará principalmente problemas de permeabilidad, azolves y tal vez inestabilidad de taludes, pues tendrá la desventaja de que su vaso está formado exclusivamente por tobas, que son las rocas ígneas más desfavorables para la construcción de presas. La permeabilidad de la boquilla será sin duda el inconveniente más serio que presente el proyecto, pues ya se ha mencionado que en este caso en particular su solución puede elevar el costo de la obra en forma considerable.

De acuerdo con los resultados del presente estudio, el autor considera que el sitio propuesto para el proyecto de presa "Ayenualco-Temezontla" no es adecuado para la construcción de una obra de esta naturaleza, básicamente por la alta permeabilidad de los materiales que se presentan, la cual únicamente haría viable el proyecto en caso de que el escurrimiento medio anual en el arroyo rebasara por mucho la capacidad de almacenamiento del embalse. No siendo así (como se puede observar en el subcapítulo 1.º titulado "Características del proyecto"), pues el escurrimiento medio anual apenas excede en  $335\ 600\ m^3$  al volumen útil del vaso, es decir poco más de la mitad de este último, por lo que es de esperarse que con las pérdidas por infiltración, la presa en proyecto no se llene al menos hasta que el material de azoite impermeabilice en cierta medida el terreno. Además el agua infiltrada por la boquilla puede poner en peligro la estabilidad de la cortina al propiciar la expansión de las arcillas contenidas en las tobas.

por otra parte se debe considerar a las presas El Sol y La Luna como un antecedente que indica que obras de esta naturaleza pueden funcionar aceptablemente en litologías similares a la del sitio del proyecto, por lo que es importante conocer el tipo de cimentación empleada en la construcción de esas presas y aprovechar la experiencia a este respecto para decidir con mayores elementos de juicio si sería posible o no llevar a buen término el proyecto.

Los datos geológicos y geotécnicos aunados a la tecnología que pueda manejar la Ingeniería Civil, será lo que decida en última instancia si se sigue adelante con el proyecto o bien, se desecha definitivamente el sitio.

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

- Attewell, P. B. & Farmer, I. W., 1976. principles of Engineering Geology. Chapman and Hall, London. John Wiley & Sons Inc., New York, 1045 pp.
- C.F.E., 1979. Manual de diseño de Obras Civiles. Geotecnia B.1.3. Comisión Federal de Electricidad. Instituto de Investigaciones Eléctricas, México, 52 pp.
- Demant, A., Mauvois, R. y Silva, L., 1976. El Eje Neovolcánico Transmexicano. Excursión No. 4 del III Congreso Latinoamericano de Geología, México, 32 pp.
- Esteva, L., 1964. Regionalización sísmica de la República Mexicana. publicación No. 80 del Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 5 pp.
- Figueroa, A. J., 1974. sismicidad en Puebla. Macrosismo del 28 de agosto de 1973. publicación No. 343 del Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 58 pp.
- García de M. E., 1973. Modificaciones al sistema de Clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2a. Edición corregida y aumentada. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, 71 pp.
- INEGI, 1984 (a). Carta Geológica E14-B33 "Tlaxcala". Escala 1 : 50 000 primera impresión. Secretaría de programación y presupuesto. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Dirección General de Geografía, México.

- INEGI, 1984 (b). Geología de la República Mexicana. 2a. Edición (coedición) preparada por el Ing. Dante J. Morán Zente no. secretaría de programación y presupuesto. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, 88 pp.
  
- International Society for Rock Mechanics Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, 1978. Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. vol. 15 pp. 319-368. Pergamon Press Ltd. Great Britain.
  
- Jiménez, Z., 1973 (a). Macrosismo del 30 de enero de 1973. Boletín sismológico del Servicio Sismológico Nacional. Vol. 57 No. 1 pp. 55-56. Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México.
  
- Jiménez, Z., 1973 (b). Macrosismo del 28 de agosto de 1973. Boletín sismológico del Servicio Sismológico Nacional. Vol. 57 No. 3 pp. 41-44. Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México.
  
- Jiménez, Z., 1980. Macrosismo del 24 de octubre de 1980. Boletín sismológico del Servicio Sismológico Nacional. Vol. 64 No. 4 pp. 117-118. Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México.
  
- Krynine, D. P. and Judd, W. R., 1957. Principles of Engineering Geology and Geotechnics. International Student Edition. Mc. Graw Hill Book Company, Inc. New York-Tokio, 730 pp.
  
- Kooser, F., 1972. The Mexican Volcanic Belt: Structure and Tectonics. Geofísica Internacional. Vol. 12 No. 2 pp. 55-70 Unión Geofísica Mexicana. México.

- Pettijohn, F. J., 1975. Sedimentary Rocks. 3rd. Edition. Harper and Row publishers, Inc. New York, Evanston, San Francisco and London, 628 pp.
- PRI, 1975. Estado de Tlaxcala (Monografía). 1. Tlaxcala: -- condiciones económicas. 2. Tlaxcala: condiciones sociales. Partido Revolucionario Institucional. Instituto de Estudios Políticos, Económicos y Sociales. Coordinación General de - documentación y Análisis. México.
- Puig, J. B., 1970. Geología Aplicada a la Ingeniería Civil y Fotointerpretación. Editorial Litojuventud. México, 366 p.
- S.R.H., 1973. Estudio Geohidrológico preliminar de los va - lles de Puebla (Alto Atoyac), en el estado de Puebla y del Río Zahuapan (sic) (Alto Atoyac), en el estado de Tlaxcala. Tomo I Texto. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Construcción. Dirección General de Irrigación y - Control de Ríos. Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas. México, 225 pp.
- S.R.H., 1976. Atlas del Agua de la República Mexicana. Se - cretaría de Recursos Hidráulicos. México, 253 pp.
- servicio sismológico Nacional, 1973-1983. Boletín Sismológico co. vols. 57-68 (publicación trimestral). Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México.

#### O T R A S O B R A S C O N S U L T A D A S

- Kostenko, N. P., 1975. Geomorfología Estructural Aplicada. Resumen del curso dictado en septiembre de 1975. Universi - dad Nacional Autónoma de México, 130 pp.
- Lapedes, D. N., 1978. Mc. Graw Hill Encyclopedia of the Geo logical Sciences. Mc. Graw Hill, Inc. New York, 915 pp.

- Leet, L. D. y Judson, S., 1979. Fundamentos de Geología Física. Editorial Limusa. México, 450 pp.
- Leeget, R. F., 1939. Geology and Engineering. Mc. Graw Hill Book Company. New York and London, 650 pp.
- Maycotte, J. I., 1981. Geología y Geotecnia del proyecto Hidroeléctrico El Caracol, Guerrero. publicación 26 de la Comisión Federal de Electricidad. México, 146 pp.
- Sanders, J. E., 1981. principles of Physical Geology. John Wiley & Sons. New York, 624 pp.
- S.A.R.H., 1977. Manual para Proyectos de pequeñas Obras Hidráulicas para Riego y Abrevadero. Instructivo de Gabinete. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio - de postgraduados, Chapingo, México, 247 pp.
- S.A.R.H., 1985. Informe sobre los resultados de los trabajos de exploración y pruebas de permeabilidad del proyecto de presa "Avehualco-Temezontla", Estado de Tlaxcala. (inédito). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. subdirección de Investigación y Desarrollo Experimental. México.
- Schultz, J. & Cleaves, A., 1955. Geology in Engineering. - John Wiley & Sons Inc. Chapman and Hall. New York-London. 592 pp.
- S.P.P., 198?. X Censo General de población y Vivienda 1980 Estado de Tlaxcala. Vols. I y II, Tomo 29. secretaria de -- programación y presupuesto. Coordinación General de los Ser vicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México.

- S.R.H., 1971. Boletín Hidrológico No. 48. Región Hidrológica No. 18 parcial Cuenca de los Ríos Atoyac y Mixteco (Zona del Alto Balsas). Tomo 1. Secretaría de Recursos Hídricos. México.
- Williams, H., Turner, F. J. y Gilbert, Ch. H., 1968. petrografía. Introducción al estudio de las rocas en secciones delgadas. Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 430 pp.

### S I M B O L O S Y A B R E V I A T U R A S

- °C                    grado centígrado.
- cm                    centímetro.
- E                     Este.
- et. al.                y otros.
- Int. Soc. Rock Mech. Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.
- Kg                    kilogramo.
- Km                    kilómetro.
- l.p.s.                litros por segundo.
- m                     metro.
- mm                    milímetro.
- Mpio.                municipio.
- m.s.n.m.            metros sobre el nivel del mar.
- N                     Norte.
- op. cit.             obra citada.
- pp.                    páginas.
- pue.                  Puebla.
- S                     Sur.
- seg                    segundo.
- sic                    así.
- T.R.M.                Televisión de la República Mexicana.
- U.S.G.S.            Oficina de Información Geológica de los Estados Unidos de América.
- W                     Oeste.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS . . . . .	1
RESUMEN . . . . .	1
CAPITULO I	
INTRODUCCION . . . . .	2
1.1 Aclaraciones . . . . .	3
1.2 Alcance y limitaciones del trabajo . . . . .	3
1.3 Antecedentes . . . . .	4
1.4 Objetivo del trabajo . . . . .	6
1.5 Método de trabajo . . . . .	6
1.6 Características del proyecto . . . . .	10
CAPITULO II	
GENERALIDADES . . . . .	12
2.1 Localización . . . . .	13
2.2 Vías de comunicación . . . . .	16
2.3 Población y cultura . . . . .	16
2.4 Economía de la zona . . . . .	17
2.5 Afectaciones . . . . .	18
2.6 Clima y vegetación . . . . .	18
CAPITULO III	
GEOLOGIA REGIONAL . . . . .	21
3.1 Fisiografía . . . . .	22
3.2 Geomorfología . . . . .	29
3.3 Estratigrafía . . . . .	33
3.4 Geología Histórica y Tectónica . . . . .	36
3.5 Sismicidad . . . . .	41
CAPITULO IV	
GEOLOGIA DEL SITIO DEL PROYECTO . . . . .	55
4.1 Descripción de la boquilla y el vaso . . . . .	56
4.2 Litología . . . . .	62
4.3 Discontinuidades . . . . .	65
4.4 Aspectos Geohidrológicos . . . . .	69



CAPITULO V	
EXPLORACION DE LA BOQUILLA	
Y EL VASO . . . . . 72	
5.1	Resultados de la exploración por medio de sondeos . . . . . 73
5.2	Materiales para construcción . . . . . 76
5.3	perfiles geotécnicos individuales de los sondeos . . . . . 77
CAPITULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -	
. . . . . 84	
BIBLIOGRAFIA . . . . . 92	
SIMBOLOS Y ABREVIATURAS . . 96	
INDICE . . . . . 97	