

201
11

FACULTAD DE INGENIERIA
U. N. A. M.



ESTUDIO GEOLOGICO DE PREFACTIBILIDAD
PARA UNA PRESA DE RIEGO SOBRE EL RIO
MIXTECO EN LA ZONA DE ZOCOTEACA.
ESTADO DE OAXACA.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A N :
FRANCISCO J. GAMA MARTINEZ
CESAR GATICA HERNANDEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**ESTUDIO GEOLOGICO DE PREFACTIBILIDAD PARA UNA PRESA DE RIEGO
SOBRE EL RIO MIXTECO EN LA ZONA DE ZOCOTEACA, EDO. DE OAXACA**

INDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCION

1.1	RESUMEN	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.3	METODO DE TRABAJO	3
1.4	CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	4
1.4.1	LOCALIZACION Y ACCESO	4
1.4.2	CLIMA Y VEGETACION	5
1.4.3	POBLACION Y CULTURA	5
1.5	ESTUDIOS PREVIOS	6

CAPITULO 2. GEOLOGIA REGIONAL Y DEL VASO

2.1	FISIOGRAFIA	7
2.2	ESTRATIGRAFIA	10
2.2.1	ESTRATIGRAFIA REGIONAL	10
2.2.2	UNIDADES LITOLOGICAS EN LA ZONA DE LAS ALTERNATIVAS	13
2.3	GEOLOGIA HISTORICA Y TECTONICA	24
2.4	SISMICIDAD	26
2.5	ASPECTOS GEOTECNICOS EN LA ZONA DEL VASO	32

CAPITULO 3. GEOLOGIA DE LA BOQUILLA

3.1	GENERALIDADES	46
3.2	GEOLOGIA ESTRUCTURAL	47
3.2.1	DESCRIPCION DE FALLAS Y FRACTURAS	47
3.2.2	ANALISIS ESTEREOGRAFICO Y ESTADISTICO DE DISCONTINUIDADES	53

CAPITULO 4. GEOFISICA

4.1	GENERALIDADES	57
4.2	RESULTADOS	59

CAPITULO 5. GEOTECNIA

5.1	PRUEBAS DE LABORATORIO DE LA ROCA INTACTA	60
5.2	CLASIFICACION INGENIERIL DE LA ROCA INTACTA	62
5.3	CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO	63
5.4	ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	69
5.5	BANCOS DE MATERIAL	73

CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 78

BIBLIOGRAFIA

ANEXO DE PETROGRAFIA

CAPITULO 1 INTRODUCCION

1.1 RESUMEN

Por las necesidades de desarrollo agrícola en el noroeste del Estado de Oaxaca, se ha planeado la construcción de una presa sobre el Río Mixteco, cerca de la población de Zocoteaca al sur de Mariscala de Juárez, con el fin de aprovechar las aguas y convertir en una zona de cultivo por riego, apoyando con esto el desarrollo económico del lugar.

El Río Mixteco en el Estado de Oaxaca, es uno de los más importantes por su longitud y caudal de agua. El aprovechamiento más trascendente que se hace de este río, es a través de la Presa Yosocuta ubicada a una distancia de 45 Km en línea recta de este proyecto. Sin embargo, existe una serie de aprovechamientos menores a lo largo del río que desvían sus aguas para el riego de algunas zonas cercanas a su cauce, por ejemplo un canal que inicia a unos 500 m aguas arriba del pueblo de Zocoteaca, sobre la margen izquierda y que riega una pequeña zona ubicada en esa margen, aguas abajo del pueblo.

Con la construcción de la presa, se proyecta regar una superficie aproximada de 1800 Ha. En este proyecto se estudiaron seis alternativas para el emplazamiento de la boquilla, realizándose estudios detallados de geología y geofísica en la zona, con el fin de establecer la problemática específica de los diferentes sitios, y con ello definir la factibilidad de cada uno de los lugares.

Esta tesis ha sido dirigida al estudio de una sola de las alternativas propuestas (Alternativa B), por considerarla la más apropiada, por las características geológico - geotécnicas que la roca presenta, la cercanía a la zona de riego y a los bancos de materiales.

En este capítulo se darán los objetivos que se persiguen, las actividades realizadas en campo y en gabinete, el marco social y ambiental del lugar, así como una breve cita de los estudios que en la región se han hecho.

En el capítulo 2, se dará el marco geológico regional en que está localizada la zona de estudio, para posteriormente dar las características geológicas - geomecánicas de las diferentes unidades en que se dividió el macizo rocoso, así como las discontinuidades que lo afectan, haciéndose un breve análisis de éstas. Así mismo se hará un resumen de las características sísmicas de la zona.

En el capítulo 3, se presentará el análisis estructural detallado de la alternativa B.

En el capítulo 4, se presentarán los resultados obtenidos durante el estudio geofísico que se realizó tanto en la zona de la boquilla, como en los bancos de material.

En el capítulo 5 se realizó la integración de los datos de geología y geofísica, dando finalmente un significado geotécnico.

Las conclusiones y recomendaciones que surgieron del análisis, se presentan en el capítulo 6.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo general de los trabajos realizados, fué el de conocer con mayor detalle la geología y el comportamiento del macizo rocoso en la zona de la boquilla, así como de la zona del vaso, para determinar y delimitar las zonas con problemas geotécnicos.

Los objetivos particulares del Proyecto Zocoteaca son:

- Definir el marco geológico regional en el que está localizada la zona de estudio.
- Cartografiar las unidades litológicas presentes en el área del embalse y boquilla, así como definir las características geotécnicas de dichas unidades (calidad de roca, fracturamiento y relación estructural).
- Definir con detalle la posición de los contactos entre unidades litológicas y espesores en la zona del eje de la boquilla y el vaso.
- Proponer el marco geológico en la zona de la boquilla y embalse, para visualizar la problemática que puede tener la obra.
- Determinar el espesor de limpia (roca alterada y decomprimida o relleno en la zona del cauce) a lo largo del eje de la alternativa, así como la estabilidad de taludes, calidad del macizo rocoso tanto del vaso como de la boquilla.
- Ubicar y cuantificar el banco de material para enrocamiento, agregados para concreto y filtros.

1.3 METODO DE TRABAJO

A continuación se definen de manera resumida, las actividades realizadas durante el estudio del Proyecto Zocoteaca.

- Recopilación, selección y análisis de la información Geológica-Geotécnica, tanto de la zona del proyecto como regionalmente. En esta actividad se analizaron artículos publicados en diferentes revistas, planos geológicos y fotografías aéreas. Con la información recabada fué posible establecer el marco geológico regional.
- Reconocimiento geológico regional. Esta etapa consistió en ejecutar recorridos de campo de una zona de cerca de 3500km², con el fin de reconocer la estratigrafía del área y verificar el marco geológico regional propuesto con lo cual ha sido posible elaborar un plano geológico escala 1:200,000 (plano 1).
- Una vez que se definió el marco geológico regional y del vaso, se procedió al levantamiento geológico detallado en el área de la boquilla, poniendo especial atención a las características litológicas, estructurales y geotécnicas. Se elaboró un plano escala 1:7500 que presenta la geología de todas las alternativas, y otro a escala 1:1,000 de la boquilla (planos 2 y 3 respectivamente).
- Estudios geofísicos en la zona de la boquilla. Estos estudios se realizaron por medio de técnicas sísmicas de refracción.
- Finalmente, se efectuó un estudio de sísmica de refracción en el banco de enrocamiento, con la finalidad de conocer las características de: espesores de despalle y geometría, volumen y calidad; además se obtuvieron muestras de roca para los estudios de laboratorio.
- Estudios de Laboratorio. A las muestras de roca obtenidas, tanto en la boquilla como en el banco de enrocamiento se les envió al laboratorio para realizar estudios de mecánica de rocas, donde se sometieron a pruebas para determinar la resistencia, el peso específico seco y saturado, módulos elásticos dinámicos y estáticos, abrasión e intemperismo acelerado. Así mismo, se efectuó un análisis petrográfico donde se definió su microfracturamiento y clasificación petrográfica (anexo).
- Se efectuó una integración de la geología y la geofísica, donde se define el modelo geológico-geotécnico de la boquilla, clasificación geomecánica del macizo rocoso, la continuidad de las unidades litológicas en superficie como en el subsuelo, contactos litológicos, espesores de limpija, y definición de los problemas geotécnicos por alternativa. Posteriormente se realizó el dibujo de figuras y planos así como la redacción de los temas de la presente tesis.

1.4 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

En el Proyecto Zocateaca, se planea construir sobre el Rio Mixteco, una presa de tierra y enrocamiento con la cual se pretende desviar 2 m³/s para regar una superficie de 1800 Ha de tierra cultivable que beneficiará a varias poblaciones proximas a este proyecto.

Mediante este estudio geológico - geotécnico detallado, se seleccionó a la boquilla de la alternativa B como el sitio mas adecuado para la construcción de la presa, tomando en consideración que se encuentra cercana a la salida del cañon y a la zona de riego, además de que el macizo rocoso presenta buenas características geotécnicas, como se verá durante el desarrollo de esta tesis.

La zona de la boquilla de la alternativa B₁ se localiza a 1.5 Km aguas arriba del poblado de Zocateaca, la cual cuenta con un canal en la margen izquierda, por medio del cual se efectua un desvío parcial de agua del río y que solo beneficia a terrenos adyacentes a la ribera del río en esta misma margen; este canal de desvío se inicia a 500 m aguas arriba del poblado.

En base a las características topográficas y de abastecimiento de agua, la cortina tendría las siguientes características: una corona de 150 m de largo, 48 m de altura y la longitud del canal muerto de 500 m.

1.4.1 LOCALIZACION Y ACCESO

La zona de estudio del Proyecto Zocateaca se ubica en la porción NW del Estado de Oaxaca, al poniente SE de la Ciudad de Huajuapán de León (figura 1).

La ubicación de la zona de estudio está comprendida dentro de las coordenadas geográficas siguientes:

17° 44' - 17° 46' Latitud Norte

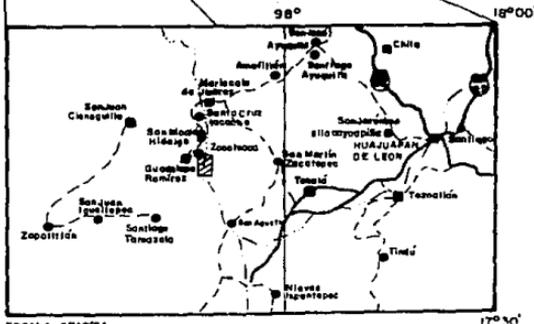
98° 08' - 98° 10' Longitud Oeste

El acceso al sitio del proyecto es a través de un camino de terracería en buen estado, que parte de la Ciudad de Huajuapán de León, y que pasa por Mariscala de Juárez, continua hacia el sur hasta antes de llegar a Guadalupe Ramirez en un poblado conocido como San Nicolás se desvía hacia el SE, por un camino en estado regular, hasta llegar al poblado de Zocateaca.

PLANO DE LOCALIZACION
 Proyecto Zocofesco

SIMBOLOGIA

-  CARRETERA FEDERAL
-  CAMINO PAVIMENTADO
-  CAMINO DE TERRACERIA
-  RIO
-  POBLACION IMPORTANTE
-  POBLACION
-  ZONA DE ESTUDIO



ESCALA GRAFICA
 0 5 10 20 40 Km

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

GAMA MARTINEZ PCD. JAVIER
 GATICA HERNANDEZ CESAR

FIGURA. 1

A partir de este sitio, se transita a través de una vereda angosta de aproximadamente 2.5 km de longitud que pasa por un lado de las alternativas A, B y C. Terminando el camino, se recorre a pie sobre la margen izquierda hacia aguas arriba del Río Mixteco para llegar a las alternativas D, E y F, que distan a 1, 4 y 6 kilómetros respectivamente del final de la vereda.

A las diferentes alternativas, se puede llegar a partir del camino descendiendo al cauce por diferentes veredas que llegan a las boquillas o a partir del cauce del río ya sea por Zocoteaca hacia aguas arriba o al final del camino de terracería hacia aguas abajo. En ambos casos, el río puede atravesarse sin problemas en época de estiaje. No obstante, vale la pena señalar que el Río Mixteco durante la época de lluvia es caudaloso y presenta sus máximas avenidas durante los meses de julio, agosto y septiembre dificultando o impidiendo el cruce a la margen derecha, por lo que, sólo es posible atravesarlo con algún tipo de embarcación o por un camino que va de Tonalá a San Jorge Nuchita. A través de este, se recorre a pie hacia aguas abajo una distancia de 15Km o por Mariscala a través de un camino que va a la presa El Encino y posteriormente a San Miguel de Carrizal, para después caminar 3 Km hacia la margen derecha del río y salir frente a Zocoteaca.

1.4.2 CLIMA Y VEGETACION

La región de estudio tiene alturas que varían de los 1100 a los 1350 m.s.n.m.

El clima en la región, según la clasificación de Koeppen, modificada por E. García, es templado, sub-húmedo, con lluvias escasas en verano, existiendo una precipitación media anual de 800 mm que se concentran principalmente durante los meses de junio a septiembre. En el resto del año el promedio es de 300 mm. Se considera que el clima en esta zona corresponde al más seco de los sub-húmedos. En esta región del Río Mixteco, la temperatura es cálida durante la mayor parte del año.

La vegetación que presenta, está compuesta por variedades de cactáceas, con predominancia de matorrales espinosos, arbustos de poca altura, mezquites y algunas especies de acacias; la vegetación es típica de climas templados semihúmedos.

1.4.3 POBLACION Y CULTURA

El Proyecto de Zocoteaca se ubica dentro del municipio de Santiago Tamazola, sin embargo, la Ciudad de Mariscala de Juárez corresponde a la población de mayor importancia y la más cercana, localizada a unos 14 Km al norte del proyecto. Esta población cuenta con servicios de electricidad, agua, teléfono, correo, médico y escuelas primaria y secundaria, además de una pista aérea en mal estado para avionetas.

Los poblados más cercanos al emplazamiento son Zocoteaca y Guadalupe Ramírez. La primera cuenta con un camino de terracería angosta que nos acerca mejor a las diferentes alternativas a excepción del banco de material al que es más fácil de llegar por Guadalupe Ramírez.

Zocoteaca es un poblado pequeño pero tiene servicio eléctrico y cuenta con un pozo cercano al río, para surtir a la población de agua potable.

Otros asentamientos cercanos al proyecto son Tacache de Mina, San Juan Trujano y San Nicolás. Todas estas poblaciones cuentan con servicio eléctrico y los servicios indispensables.

Desde el punto de vista de uso del suelo, e indemnización por afectación, las alternativas D, E, y F no representan problemas de este tipo ya que el río fluye a lo largo de un cañón estrecho donde no existen terrenos de cultivo.

En el caso de las alternativas A, B y C, será necesario realizar una nivelación topográfica con relación al poblado de Guadalupe Ramírez, ya que se podrían afectar algunos predios por las aguas del embalse.

1.5 ESTUDIOS PREVIOS

Hasta el momento no se han realizado estudios geológicos ni geotécnicos específicos sobre el Cañón de Zocoteaca donde se tienen contempladas las diferentes alternativas, no obstante, se cuenta con diferentes informes y artículos regionales.

Entre los trabajos más significativos están los siguientes:
Salas, G. P. (1949), Bosquejo Geológico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca.

Guzmán, E. J. (1950), Geología del Norte de Guerrero.

Rodríguez Torres R. (1970), Geología Metamórfica del Área de Acatlán, Estado de Puebla.

Ruiz Castellanos M. (1970), Reconocimiento geológico en el Área de Mariscala-Amatitlán, Estado de Puebla.

Ortega Gutiérrez F. (1978), Notas sobre la geología del área entre Santa Cruz y Ayuquila, Estados de Puebla y Oaxaca.

Ortega Gutiérrez F. (1978), Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca.

Mosquera Morillo y Meléndez del Pinal E. R. (1984), Exploración Geológica por Uranio del Distrito de Huajuapán de León, Oaxaca.

Flores de Dios González L. A. (1986), Estratigrafía de la Montaña de Guerrero en los límites con Puebla y Oaxaca.

CAPITULO 2 GEOLOGIA REGIONAL Y DEL VASO

2.1 FISIOGRAFIA

La región de estudio se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur (Raisz, 1964). Esta Provincia colinda al norte con el Eje Neovolcánico, al este con la Meseta de Oaxaca y al sur y oeste con el Océano Pacífico.

La Provincia Sierra Madre del Sur está a su vez dividida en cuatro subprovincias:

- 1.- Cuenca del Balsas
- 2.- Meseta del Norte
- 3.- Vertiente del Sur
- 4.- Planicie Costera

La región de estudio se localiza en el sector suroriente de la subprovincia Cuenca del Balsas, también conocida como Mixteca Alta.

Los rasgos orográficos en la zona de estudio, corresponden a: sierras alargadas en rocas sedimentarias del Mesozoico, sierras de formas arredondadas en las rocas metamórficas correspondientes al Complejo Acatlán, formas masivas y mesetas en las rocas volcánicas y volcanoclásticas del Terciario.

Las sierras largas se localizan en la porción oriental, meridional y occidental de la región de estudio (Plano 1). El drenaje en estas sierras es generalmente de tipo subparalelo con una orientación preferencial de los ríos principales NNE, NNW, teniendo fuertes cambios en su dirección para volverse E-W como el Río Mixteco aguas abajo de la Fresa Yosocuta, el Río Pueblo Viejo al SW de San José Chapultepec o el Río Salado al sur de Tonalá.

En las rocas metamórficas, la morfología de las sierras es arredondada simétrica, producto de la erosión de las rocas paleozoicas localizadas en la parte central (Plano 1) y que circunda en el área del Proyecto Zocateaca. En esta zona, el drenaje es de tipo radial, en ocasiones arborescente como al sur de Santiago Ayuquila en el Río Pueblo Viejo (Plano 1), aunque generalmente es un drenaje espaciado con dirección N-S ó E-W.

Por otro lado, las rocas volcánicas y vulcano-sedimentarias del Terciario afloran alrededor de las rocas metamórficas, en la zona central; las sierras son también alargadas con una morfología en general abrupta, presentando altos desniveles.

El Estado de Oaxaca cuenta con una red hidrográfica importante; la Cuenca del Río Balsas se origina en el noroeste del Estado de Oaxaca y en el suroeste del Estado de Puebla formada a su vez, por las cuencas de los Ríos Mixteco, Atoyac, Nexapa y Tlapaneco.

En la región de estudio, los ríos tienen un sentido de escurrimiento general al oeste.

El Río Mixteco es la corriente fluvial más importante de la zona, teniendo aguas arriba del Proyecto Zocateaca como afluentes mas caudalosos a los ríos Salado y Xatán. El Río Mixteco tiene una cuenca de 35,570 Km², y nace a una distancia de 18 Km al NW de Huajuapán de León.

El Río Mixteco en las cercanías de Huajuapán de León, fluye en dirección SSW, cambiando al SW en San Marcos, donde se une con el Río Salado y continúa hacia el oeste hasta San Jorge Nuchita, donde nuevamente cambia de dirección y se encañona hacia la zona del Proyecto Zocateaca para continuar hacia el norte, donde posteriormente se une con el Río Atoyac; de ahí en adelante, el río se conoce como Mexcala y después Balsas.

En la región, a excepción del Río Mixteco, Salado y Xatán, la mayoría de las corrientes son de flujo intermitente.

Agua arriba del Proyecto Zocateaca, el Río Mixteco cuenta con la Presa Yosocuta construida en el año de 1970 y localizada al sur de Huajuapán de León.

El Río Mixteco se encuentra aforado mediante una estación hidrométrica en el Puente de Mariscala de Juárez en donde los meses con más caudal son de junio a septiembre (25 m³/s), en tanto que el periodo de estiaje es en la temporada invernal, con un caudal promedio de 5 m³/s.

Particularmente el Río Mixteco en la zona de estudio se encuentra encauzado en un cañón estrecho de 17 Km de largo, que inicia desde el Valle San Jorge Nuchita y termina en el Valle de Zocateaca - Mariscala. El cañón tiene forma de "V", con pendientes en sus márgenes de 45 grados en promedio (alternativas A y C), aunque en ocasiones llega a tener 80 grados como en la (alternativa B) o ligeramente menor a este valor (alternativas D, E y F).

Estos márgenes son rectas, pero con drenajes espaciados y perfiles convexos; formas que son el producto de la erosión fluvial en rocas resistentes (esquistos, conglomerados y basaltos) en la que el Río Mixteco se ha mantenido en una etapa de erosión vertical mayor que la horizontal.

El cauce a lo largo del cañón muestra una forma meandriforme, que en algunos sitios, parece a punto de estrangularse, como al este del Cerro Tecomate y al oeste del Cerro Pochole; por lo que, el río presenta longitudes de avance cortas con respecto a la longitud del cauce.

La diferencia de altura entre el inicio del río en el Valle de San Jorge Nuchita (aguas arriba de las alternativas) hasta el inicio del Valle de Zocoteaca-Mariscalá es de 50 m, formando una pendiente del orden de 0.3 %.

Por otro lado, el cauce presenta cambios bruscos de dirección que llegan a ser de hasta 90 grados. Estas características, son el resultado de los sistemas de fallas y fracturas que afectan a la zona y que le han producido esa forma singular. Los arroyos que desembocan en el Río Mixteco, tienen un comportamiento similar, con tramos rectos y cambios de dirección a 90 grados (como en Cañada Grande y otros más). Generalmente, las direcciones de estas barrancas es posible proyectarlas en ambas márgenes del río, así como, en ambas vertientes de los parteaguas. Estos indicios confirman la idea de un control estructural de la red fluvial de la zona, por un sistema de fallas y fracturas cuya dirección preferencial es NE 45 grados y otro NW 30 grados menos desarrollada, cuando menos en la zona de estudio.

El Valle de San Jorge Nuchita está flanqueado por sierras con alturas de 500 m, sobre el nivel del río.

Para este valle, las sierras del lado de la margen izquierda tienen forma de prismas triangulares con sus cimas agudas, y una dirección de sus parteaguas de 5 a 20 grados hacia el NE; también hay formas dómicas con drenaje radial arborescente con altura máxima de 600 m sobre el nivel del río. Ambas geoformas son el resultado de los procesos erosivos sobre rocas de tipo sedimentario-ígneo en el primer caso y de tipo metamórfico para el segundo.

En la margen derecha, la serranía está caracterizada por la presencia de paredes con pendientes fuertes, seguidas de pequeñas mesas; es decir, conforme se asciende, la pendiente del terreno va disminuyendo, por lo tanto, se tienen cimas planas con ondas cañadas y un drenaje arborescente denso. Estas características podemos asociarlas a rocas metamórficas.

El Valle de Zocoteaca, al igual que el anterior empieza abruptamente a partir del cañón, el cual se abre con límites laterales escarpados.

En ambas márgenes, la morfología se caracteriza por tener cerros de cimas agudas con flancos asimétricos, una de pendiente más fuerte que la otra; como puede apreciarse en los cerros El Platanar, La Cruz, Las Coronillas, etc., característicos de rocas vulcano-sedimentarias.

En la margen derecha hacia el este, la topografía cambia a cerros alargados, intensamente erosionados (unidad metamórfica).

Las barrancas de esta margen tiene una orientación NE 14 grados y E-W y otra más dominante al norte de San Nicolás Hidalgo, con una dirección NW 45 grados en promedio.

El desnivel promedio de esta margen con respecto al nivel del río es de unos 400 m.

Por otro lado, la orientación de los parteaguas de la sierra de la margen izquierda, tienen una orientación N-S, con drenaje bien integrado de tipo subparalelo.

La orientación de las barrancas es producto de los sistemas de fallas y fracturas.

2.2 ESTRATIGRAFIA

2.2.1 ESTRATIGRAFIA REGIONAL

Las rocas de mayor distribución corresponden a las del Complejo Acatlán, Grupo Tecocoyunca, Formación Teposcolula y rocas ígneas terciarias asociadas a la Formación Huajuapán, y más localmente depósitos cuaternarios recientes (sedimentos continentales, materiales de acarreo, etc).

La descripción de las unidades se hace de la más antigua a la más joven. La tabla de correlación estratigráfica (figura 2), muestra la secuencia en que se pueden observar unidades correlacionables con las rocas que afloran en la zona.

El plano geológico general (plano 1), cubre un área de 3500 Km² donde se identificaron rocas metamórficas de facies esquistos verdes que forman el basamento de edad paleozoica; rocas marinas del Jurásico y Cretácico formadas por sedimentos clásticos y carbonatados y finalmente, rocas volcánicas y continentales del Terciario y Cuaternario.

COMPLEJO ACATLAN (P)

Esta unidad fue definida por Ordoñez (1906), dándole este nombre a una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas afectadas por dinamometamorfismo y que afloran en la zona centro sur del Estado de Puebla y noroeste del Estado de Oaxaca.

Las rocas que forman este Complejo son producto de un metamorfismo regional en facies esquistos verdes de "grauvacas, mármoles, areniscas y rocas ígneas intermedias y ácidas" (Ruiz, 1970), produciendo rocas del tipo: esquistos micáceos, augen-esquistos, y gneisses cuarzo feldespáticos.

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

ERA	PERIODO	EPOCA	TEZCATLAN-EL CONSUELO	MARISCAL-AMITILAN	PROYECTO	PROYECTO
			MORDUERA Y BLENDEZ 1968	MARCO RUIZ 1966	CHILISTLANHUACA, SAN RODRIGUEZ 1962	TEOATECA, ORAZCO SABA Y SATECA 1958
CENozoico	CUATERNARIO		ALUVION	ALUVION	ALUVION	ALUVION
	TERCIARIO		VOLCANICO	VOLCANICO	VOLCANICO	VOLCANICO
Mesozoico	CRETACICO	SUPERIOR	FM HUAJUAPAN	FM HUAJUAPAN	FM HUAJUAPAN	FM HUAJUAPAN
		INFERIOR	FM TEPOSCOLULA	FM MOHELOS	FM TEPOSCOLULA	
	JURASICO	SUPERIOR	FM SAN ISIDRO		FORMACION SAN ISIDRO	
		INFERIOR	GRUPO SABINAL			
	TRIASICO	SUPERIOR	CELIZA CON SIDRIS			
		INFERIOR	GRUPO TECCOYUNCA		GRUPO TECCOYUNCA	
	PERMIANICO	SUPERIOR	GRUPO CONSUELO			
		INFERIOR	ROCAS VOLCANICAS			
	Carbonifero	SUPERIOR				
		INFERIOR				
	Devonico	SUPERIOR				
		INFERIOR				
Silurico	SUPERIOR					
	INFERIOR					
Ordovico	SUPERIOR					
	INFERIOR					
Cambriaco	SUPERIOR					
	INFERIOR					

FIGURA 2

El Complejo Acatlán forma el basamento cristalino de la región de estudio, sobreyaciéndole unidades geológicas más jóvenes en forma discordante, como son las rocas del Jurásico (Grupo Tecocoyunca) o como las del Terciario (Formación Huajuapán). También se puede encontrar en contacto tectónico por falla (Plano 1).

Estas rocas afloran ampliamente en la región central de la zona de estudio; en el Proyecto Zocoteaca afloran particularmente en el área de las alternativas D, E y F.

La foliación que regionalmente se presenta, tiene una orientación preferencial NNW y NNE aunque localmente tenga variaciones drásticas como las encontradas en la zona del Proyecto. Se le ha asignado una edad de Paleozoico Inferior (Ortega, 1978).

GRUPO TECOCOYUNCA (J)

Con este nombre, Erben (1956) define a un conjunto de areniscas estratificadas de color gris, café rojizo y café amarillento de grano fino a medio y estratificación delgada a media, así como limolitas, lutitas y lodolitas siendo estas dos últimas ricas en carbón. Su contacto inferior es discordante con la unidad metamórfica, tiene un espesor que varía entre 50 y 120 metros (Silva-Pineda 1970). Se le ha definido una edad del Jurásico Inferior al Jurásico Medio, según fósiles descritos provenientes de este Grupo.

Estas rocas están distribuidas ampliamente en la región de Chilixtlahuaca, Tezoatlán, El Rosario, Ayuquila y San Martín. Forman dos franjas, una al oriente y otra al poniente con una orientación de sus estratos NNW con echados al este y al oeste respectivamente (Plano 1).

Este grupo es correlacionable con la Formación Tecomazuchil en Puebla, Formación Zorrillo en Oaxaca, y la Formación Todos Santos en la región del Istmo de Tehuantepec, Chiapas y Guatemala.

FORMACION SAN ISIDRO (K)

López Ticha (1970) reportó sobre el Río San Isidro, al SW de Tlaxiaco una secuencia eminentemente clástica que descansa discordantemente sobre el Grupo Sabinal y concordante a la Formación Teposcolula, otorgándole una edad Barremiano-Aptiano.

En el área de estudio, esta formación aflora al oeste de Huajuapán de León, donde se observó una secuencia de areniscas de color pardo rojizo y gris, de estratificación delgada y media, de grano fino que alterna con lutitas gris verdoso, laminares y limolitas con horizontes conglomeráticos.

Esta unidad alcanza un espesor promedio de 20 m (López Ticha, 1970), sobreyace discordantemente al Grupo Tecocoyunca y se encuentra en contacto concordante con la Formación Teposcolula.

Esta secuencia indica un ambiente de litoral que se intercala con depósitos continentales como producto de una regresión; es correlacionable con el miembro conglomerático de la Formación Zapotitlán del Grupo Puebla, expuesto en el SW de Puebla y NW de Oaxaca.

FORMACION TEPOSCOLULA (K)

Esta formación fue definida por Salas (1949) y redefinida por Fries (1970) como Formación Morelos. Está constituida por calizas de estratificación media a masiva de color crema y gris oscuro, con horizontes esporádicos de fósiles y localmente con abundante pedernal negro. Se le asigna una edad del Albiano-Cenomaniano.

El contacto inferior con el Grupo Tecocoyunca es transicional, aunque también se le puede hallar en contacto discordante o por falla con el Complejo Acatlán, como ocurre al norte del Carión de Tonalá (Mosquera y Meléndez, 1984) y en la zona de San Martín Zacatepec.

Esta formación es producto del depósito de carbonatos en un ambiente marino de cuenca; presenta un espesor promedio de 300 m. Sus mayores exposiciones se encuentran en la región de Tonalá, así como al NW de Huajuapán de León.

Es correlacionable con la Formación San Juan Raya en Puebla; regionalmente los estratos tienen un rumbo NNW y NNE y están plegados.

FORMACION HUAJUAPAN (T1)

Con este nombre designó Salas (1949) a unos conglomerados, brechas, areniscas y cenizas volcánicas cuya localidad está cercana a la ciudad de Huajuapán de León y que en la zona del Proyecto Zocoteaca descansan sobre el Paleozoico y en las cercanías del poblado de Chilixtlahuaca sobre rocas del Mesozoico.

Ruiz Castellanos (1970) define tres miembros diferentes dentro de esta formación y que de la base a la cima son:

Miembro Conglomerático: Este miembro consiste de un conglomerado rojizo bien consolidado, generalmente sin fragmentos de calizas y en cuya cima existen rocas epiclásticas así como derrames basálticos. Esta unidad a su vez, está formada por dos capas: la inferior, constituida de conglomerados rojos mal seleccionados y la superior, con clastos de lavas y tobas, mejor seleccionados. Ambas capas están unidas por una discordancia ligeramente angular.

Miembro de Rocas Volcánicas Intermedias y Básicas: Estas rocas están formadas por derrames de composición andesítica y basáltica cuyos mejores afloramientos se encuentran en la zona del proyecto.

Son de color gris oscuro, textura afanítica compacta y óxidos de cobre en las caras de las fracturas. Se ha observado que tanto el contacto inferior como el superior son concordantes.

Tanto las rocas del Miembro Conglomerático como las del Miembro Volcánico Intermedio se encuentran en la zona del proyecto.

Miembro Lacustre: Las rocas de este miembro consisten de lutitas, limolitas, areniscas y calizas lacustres, localizadas en la zona austral de la región, encontrándose al noreste de Zocoteaca las mejores exposiciones de este miembro.

También existen, pero en menor proporción tobas blancas silicificadas con nódulos y vetillas de ópalo y capas de yeso interestratificadas.

Esta secuencia se formó en un ambiente de cuenca cerrada, suficientemente saturada, con presencia de vulcanismo penecontemporáneo. Se le asigna una edad del Mioceno.

ROCAS VOLCANICAS ACIDAS E INTEREDIAS: (T5)

Son rocas piroclásticas y lavas de composición variable (andesítica-riolítica), con estructura fluidal localizadas principalmente hacia la parte norte del proyecto. Se le estima un espesor de 600m (Ruiz, 1970).

Las tobas son de textura psamítica, bien estratificadas, que define un ambiente de depósito acuático. Están ampliamente distribuidas en la zona norte de la región, sobreyaciendo a todas las unidades anteriores. Se le asigna una edad de Plioceno.

2.2.2 UNIDADES LITOLÓGICAS EN LA ZONA DE LAS ALTERNATIVAS

Como puede observarse en el plano 2, en la zona del cañón no afloran todas las unidades anteriormente descritas, apareciendo solo las rocas paleozoicas, terciarias y cuaternarias, no estando presentes las unidades mesozoicas. Esta ausencia la hemos atribuido a que la región es la parte central de un anticlinorio que fué erosionado durante el Terciario Temprano, desapareciendo las formaciones cretácicas para posteriormente dar paso a la depositación de la Formación Huajuapán.

La descripción de las unidades que afloran a lo largo del cañón se presentan en términos generales en el orden siguiente: Tipo de roca y clasificación, color, textura, composición, relación entre contactos, espesor, origen y edad; así como las características de porosidad, permeabilidad, dureza, estado de intemperismo y por último la descripción geotécnica básica (BGD).

COMPLEJO ACATLAN (P) (Paleozoico Inferior):

Esquistos y Gneisses (Esq)

Localmente representada por las Formaciones Cosoltepec y Chazumba (Ortega, 1978), formada por una intercalación de esquistos micáceos, augen-esquistos, gneiss y augen-gneiss diferenciándose los dos primeros de los siguientes por presentar planos de foliación bien definidos. La tabla siguiente determina algunas de sus características petrológicas.

Color	Clase textural	Clase química	Facies
verde	esquisto augen-esquisto	pelítica	esquistos verdes
gris- oscuro	gneiss augen-gneiss (con pliegues de arrastre)	cuarzo- feldespático	parte alta de esquistos verdes

Estas rocas están compuestas principalmente por cuarzo, feldespato, clorita y localmente con muscovita. Los cristales de cuarzo y feldespato llegan a medir hasta 6 cm de diámetro, con una burda orientación de su eje mayor en dirección de la foliación.

El contacto entre estas dos unidades es en ocasiones transicional y en algunas otras abrupta. Para fines prácticos no se cartografiaron como unidades independientes por el alto grado de plegamiento que presenta la secuencia, así como para la finalidad del proyecto, tienen en general, un comportamiento geotécnico similar.

El origen de esta unidad es definido por Ortega (1978) como: depósitos marinos de ambiente eugeosinclinal incluyendo elementos reconocibles de un complejo ofiolítico y cuyo metamorfismo es producto de la interacción de una placa continental contra una oceánica.

Se le asigna una edad de aproximadamente 500 millones de años según el método Plomo-Alfa (Fries, 1966) por lo que, se le considera del Paleozoico Temprano.

Esta unidad la encontramos aflorando a partir del eje D, hacia aguas arriba, a lo largo de todo el cañón.

Por otro lado, en cuanto a las características geotécnicas, estas rocas presentan una porosidad secundaria baja, producto de los sistemas de fracturamiento que la afectan (tres en la alternativa F y cuatro en la alternativa E), así como por los planos de foliación, que tienen una apertura cerrada. Se ha considerado como una roca muy compacta y dura. A esta unidad se le ha medido una resistencia a la compresión del orden de los 500 Kg/cm². El intemperismo que la afecta es débil, presenta un aspecto ligeramente descolorido, con una pequeña película de alteración.

La evaluación del macizo rocoso por medio del BGD, se presenta en la tabla 1 donde se muestran algunas de sus propiedades.

DESCRIPCION GEOTECNICA BASICA DE LA UNIDAD ESQ

UNIDAD	ESPESOR DE LA CAPA	INTERSECCION DE FRACTURAS	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL	ANGULO DE FRICCION DE LAS FRACTURAS	CLASIFICACION
Esq	MASIVA, EN OCAIONES MUY DELGADA	CERRADA	MEDIANAMENTE DURA A DURA	BAJO	L0,5 F4 R4,3 A4
	(L0,5)	(F4)	(R4,3)	(A4)	

Tabla 1

Rangos:

L0 = no estratificada o masiva

L5 = menor de 6 cm

F4 = 6 a 20 cm

R4,3 = 250 a 1000 Kg/cm²

A4 = 15 a 25 grados

Los resultados la definen como una roca con buenas características geotécnicas, aunque como más adelante se verá pueden existir zonas donde el material falle, por la posición de la foliación con respecto a los taludes.

FORMACION HUAJUAPAN (T) (Oligoceno - Mioceno)

En la zona de estudio a esta formación se le ha dividido en tres miembros (conglomerático, volcánico y lacustre) y estos a su vez en subunidades; tres para el primer miembro, tres para el segundo y uno para el último.

Miembro Conglomerático (Ta, Cg y An)

Está representado por tres subunidades litológicas diferentes que para efectos del estudio, se denominaron como Toba Arenosa (Ta) la inferior, Conglomerado (Cg) el siguiente y Andesita (An) la tercera (esta es un miembro intraformacional del Conglomerado).

Toba Arenosa (Ta) Se trata de una secuencia de areniscas de grano medio y conglomerados de tipo polimictico de color vino al fresco y pardo rojizo cuando se interperiza; presenta una mala selección, teniendo tamaños que van desde arenas medias hasta gravas gruesas (hasta 3 cm), aglutinados en una matriz arcillosa pobremente cementada con carbonatos.

Los clastos que lo forman son fragmentos de esquistos, tobas de composición andesítica y riolítica, así como fragmentos de cuarzo (muestra 3, anexo). Se caracteriza por presentar una estratificación gradada en estratos medianos, aunque tiene un aspecto masivo.

El contacto inferior de esta unidad con el Complejo Acatlán es por una discordancia angular.

En la zona de estudio se le estimó un espesor promedio de 110 m, aunque su espesor tiende a disminuir hacia aguas arriba.

Conglomerado (Cg) Se trata de un conglomerado polimictico pardo rojizo al fresco y gris rojo al intemperismo, color producto de la decoloración de la roca. Presenta una textura rudácea definida, mal clasificada, en tamaños que varían de 1 cm hasta 10 cm de diámetro, con fragmentos de forma cúbica bien redondeados, aglutinados en una matriz arcillosa y levemente cementados con carbonatos (muestras 4 y 5, anexo).

El conglomerado está compuesto por fragmentos de esquistos en un 30%, volcánicos en un 20% y de cuarzo ya sea metamórfico o volcánico en un 35%. Microscópicamente podemos definir que existen fragmentos de areniscas de grano fino así como de calizas micríticas, cuyos fragmentos no pudieron ser identificados macroscópicamente.

Los estratos son de gruesos a muy potentes, formándose en algunos casos, grietas abiertas entre los contactos.

El contacto inferior con la Toba Arenosa (Ta) es angular y erosional, con un ángulo de echado mayor para la Toba arenosa (45 grados) y mas suave para el conglomerado (35 grados).

Se presenta también una discordancia intraformacional en el conglomerado sin mostrar algún cambio en la forma de depósito de los materiales.

Andesita (An) En la parte superior media del cuerpo de conglomerado y en la zona de la alternativa D, se haya intercalada una colada andesítica (An) gris oscura al fresco y gris al intemperismo, con textura afanítica, compuesta principalmente por plagioclasas en una matriz pilotaxítica.

Aflora en ambos márgenes de la alternativa D formando una pared vertical.

Esta unidad se encuentra muy fracturada, con un sistema cerrado; formando bloques de forma tabular de 50 cm. de diámetro.

El brechamiento observado en lámina delgada (muestra 6, anexo) es el producido por los esfuerzos que actuaron sobre la roca, posiblemente por estar cerca de la falla Guadalupe Ramírez - Guadalupe Villahermosa - Tezoatlán así como por el hidrotermalismo singenético de tipo deutérico que se le observa.

El espesor estimado para el conglomerado es del orden de los 80 m mientras que para el derrame andesítico se le estimó en 3 m.

En base a lo observado en los conglomerados antes descritos, se les considera de origen continental de tipo fluvial, desarrollado en época de grandes avenidas que arrastraban fragmentos de las zonas altas, predominantemente del Complejo Acatlán, así como del material proveniente de un vulcanismo explosivo cercano a la región, depositando los fragmentos erosionados en esta zona. La presencia de fragmentos de areniscas y calizas son atribuidos al transporte desde fuentes más lejanas.

La presencia de las discordancias entre la toba arenosa (Ta) y el conglomerado (Cg), es producto de la deformación laramídica que se desarrolló durante el Oligoceno.

Por otro lado, dado lo restringido del derrame andesítico así como por el espesor, se subdividió con respecto a las unidades clásticas, y su análisis geomecánico se analizó separadamente; mientras la Toba Arenosa (Ta) y el Conglomerado (Cg) se les ha considerado como una sola unidad geotécnica, aunque litológicamente existan diferencias.

La porosidad de tipo primario se considera regular, aunque la de tipo secundario es más importante, producto de las discordancias y fracturas, ya que algunas son abiertas y por lo tanto, aumentan considerablemente esta propiedad (sobre todo en la zona de la alternativa D). Por otro lado, esta unidad tiene una dureza de media a alta y un grado de intemperismo de fresco a leve, notándose una ligera decoloración en la roca.

Los datos obtenidos en campo en base al BGD se presentan en la Tabla 2.

Andesita Basáltica (B2) Es una roca extrusiva de color gris oscuro al intemperismo y gris pardo oscuro al fresco con una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasas cuhbrales de uno o dos milímetros de largo y cristales de olivino alterados en su mayoría a idingsita. En un análisis petrográfico hecho con láminas delgadas (muestra 2, anexo), se pudo observar una textura pilotaxítica, que es muy común entre los basaltos y las andesitas, así como la predominancia de cristales de plagioclasas y en menor cantidad cristales de piroxenos, los cuales muestran un microfracturamiento en una o dos direcciones preferenciales, producido por los esfuerzos a los que se ha sometido, y que están asociados a la falla Guadalupe Ramirez - Guadalupe Villahermosa -Tezoatlan.

Su contacto inferior con el conglomerado es de tipo erosional y ligeramente angular, como se puede inferir por el echado de los estratos del conglomerado y la forma del contacto con esta unidad en la alternativa C.

Encontramos también que el contacto con las otras unidades litológicas puede ser de tipo tectónico, producto de fallas como la F XVIII, aguas arriba de la alternativa D y la F VI en la alternativa C.

A esta unidad se le ha estimado un espesor promedio de 150 m, aunque no se conoce con precisión.

Debido a la ausencia de elementos morfológicos que indiquen la existencia de aparatos volcánicos puntuales por donde pudiese haber salido este material, aunado a la historia geológica de la región en la que se presentan fracturas y fallas profundas, es posible que su origen haya sido por estas estructuras.

En cuanto a sus condiciones geotécnicas, esta subunidad tiene una porosidad secundaria producto de las fracturas que la afectan, aunque por las características que presenta la roca de silicificación, pueden implicar una permeabilidad moderada no importante para las exigencias de la presa.

En cuanto a las características de dureza se ha considerado como una roca muy dura, con una resistencia a la compresión simple de 944 Kg/cm².

Es una roca que aunque fracturada, sobre todo hacia la zona de las fallas VI y VIII, tiene un leve intemperismo, marcado por una ligera decoloración de la roca y una alteración asociada únicamente al olivino, pero en general con buenas condiciones.

Las características geomecánicas de esta unidad se sintetizan en la tabla 3.

DESCRIPCION GEOTECNICA BASICA DE LA UNIDAD B2

UNIDAD	ESPESOR DE LA CAPA	INTERSECCION DE FRACTURAS	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAIXIAL	ANGULO DE FRICCION DE LAS FRACTURAS	CLASIFICACION
B2	MASIVA	MUY SEPARADA, EN OCASIONES CERRADA	DURA	MODERADO	L0, F1,5 R4 A3
	(L0)	(F1,5)	R4	(A3)	

Tabla 3

Rangos:

- L0 = mayor a 200 cm
- F1 = mayor a 200 cm
- F5 = menor a 6 cm
- R4 = 500 a 1000 Kg/cm²
- A3 = 25 a 35 grados

Esta unidad aflora en la parte alta de la alternativa C y en toda la zona de la alternativa B, donde presenta condiciones geotécnicas muy buenas como se discutirá más adelante.

Toba Epiclástica (Te) Se trata de una litarenita, según la clasificación de Pettijohn modificada (1973). Es de color rojo al fresco y rojo óxido al intemperismo, con estratos de 10 a 30 cm con textura psamítica de grano medio, con fragmentos de rocas volcánicas (andesitas y basaltos principalmente), así como cristales de cuarzo en apariencia volcánico, ambos de forma esférica, subangulosos, mal clasificados y aglutinados en una matriz arcillosa, la cual forma un 10% del total de la roca, aparte de presentarse al igual que las unidades sedimentarias anteriores, ligeramente cementada con carbonatos.

El contacto inferior que esta unidad presenta con la Andesita Basáltica (B2) es concordante y brusco bien definido, aunque en ocasiones se pierde la traza, debido a la falla F VI, la cual parece haberla girado (al SW del Cerro Mogote) o definitivamente perderla, como al este de la Barranca Las Francas.

A esta roca se le estima un espesor de 70m.

Esta unidad fué el producto de una actividad volcanica acida e intermedia de tipo explosivo, provocando el aporte de gran cantidad de cuarzo y fragmentos de roca, los cuales fueron transportados por las corrientes fluviales y posiblemente también por viento desde una distancia no muy lejana, hasta llegar a un ambiente lagunar de aguas dulces que impidieron la precipitación de sales y la poca cementación del material recientemente depositado.

La permeabilidad que esta unidad presenta puede ser geomecánicamente más importante. La porosidad primaria debido al empaque que tienen sus elementos, es moderada pero aumenta por los planos de estratificación y las fracturas que la afectan. La resistencia de esta roca es de alrededor de 210 kg/cm² y es una roca con un grado moderado de intemperismo.

Andesita (B1) Roca volcánica de color gris verdoso oscuro al fresco y gris al intemperismo, con textura afanítica y masiva. Microscópicamente se puede observar la presencia de fenocristales de andesina embebidos en una matriz criptocristalina orientada por la presencia de clinopiroxenos y la poca presencia de óxidos de hierro (muestra 1, anexo). Se distingue de la composición de la unidad andesítica anterior (macroscópicamente), por la presencia de calcopirita rellenando cavidades y pequeñas fracturas, dándole un aspecto compacto a la roca. El origen de este mineral es de tipo singenético e hidrotermal, abundante en algunas zonas las que se distinguen por su color verde.

El contacto inferior de esta unidad con la Toba Epiclástica (Te) es abrupto y concordante, definiéndose en el campo por un brusco cambio en la pendiente del terreno, mientras que su contacto superior aunque se encontraba cubierto por aluvión, se define como concordante abrupto con la unidad de Toba Lacustre (Tl).

El espesor estimado para esta unidad es de 160 m.

Al igual que la Andesita Basáltica (B2), esta unidad debió tener un origen similar, es decir fue material emanado por fisuras profundas que afectaron a la secuencia preexistente y que debido a la erosión a que estuvo sometida la región, debió borrarse su punto de emisión.

En cuanto a sus propiedades ingenieriles, se puede decir que tiene una porosidad primaria nula ya que el fenómeno hidrotermal que la afectó, selló las oquedades existentes; aunque la porosidad secundaria originada por el fracturamiento en algunos sitios es regular. El espaciamiento es moderado y son fracturas comúnmente cerradas, dándole una permeabilidad baja. La roca presenta por otro lado, una resistencia a la compresión alta, con un intemperismo leve, haciéndola una roca compacta.

En la tabla 4 se presentan las características obtenidas por el BGD para esta unidad.

DESCRIPCION GEOTECNICA BASICA DE LA UNIDAD B1

UNIDAD	ESPESOR DE LA CAPA	INTERSECCION DE FRACTURAS	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAxIAL	ANGULO DE FRICCION DE LAS FRACTURAS	CLASIFICACION
B1	MASIVA	SEPARADA, EN OCASIONES CERRADA	DURA	MODERADO	L0, F2,4 R4 A3
	L0	F2,4	R4	A3	

Tabla 4

Rangos:

L0 = mayor a 200 cm

F2 = 60 a 200 cm

F4 = 6 a 20 cm

R4 = 500 a 1000 Kg/cm²

A3 = 25 grados a 35 grados

Miembro Toba Lacustre (T1)

Esta unidad está constituida principalmente por lutitas, limolitas y areniscas intercaladas, así como por calizas lacustres en colores café o gris de intemperismo amarillo. Es una roca con un contenido alto de matriz arcillosa, aumentando hacia su cima el contenido de esquistas de vidrio presente en horizontes de tobas vitreas.

El contacto inferior de esta unidad es concordante con el miembro volcánico inferior.

La estratificación, composición y demás características que presenta, es producto de un ambiente lagunar con un alto aporte de material ígneo y que indica, al igual que las unidades vulcano-sedimentarias anteriores, la actividad volcánica del Terciario que afectó a una zona muy extensa del Estado de Oaxaca.

Dado que esta unidad aflora aguas abajo y algo alejada de la alternativa A, la mención de estas unidades es solo por el interés geológico que esta pueda tener.

Aluvión (Qal)

Material de acarreo compuesto por fragmentos de esquistos, calizas, conglomerados, basalto y cuarzo metamórfico en tamaños que varían desde boleos hasta arenas finas. Localmente forma lentes de arenas finas, y no presenta materia orgánica. Hacia aguas abajo de la alternativa A, donde el Valle se ensancha forman una extensa terraza.

En datos obtenidos en laboratorio con muestras escogidas como representativas, se pudo definir la presencia de un 65% de gravas y un 30% de arenas, y en menor proporción boleos, clasificándose como una grava arenosa bien clasificada, con fragmentos de forma cúbica-tabular, mal empacados y sin cementante.

Este material tiende a tener espesores mayores hacia las alternativas de aguas abajo y conforme el valle se va ensanchando, según se puede observar en la tabla 5.

ESPESOR DE MATERIAL DE ACARREO EN LA ZONA DE LAS ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA	PROFUNDIDAD MAXIMA (m)	ANCHO EN LA ZONA (m)
A	20	85
B	16	45
C	12	87
D	10	37
E	5	26
F	5	45

Tabla 5

2.3 GEOLOGIA HISTORICA Y TECTONICA

Para el área de estudio, se considera como basamento cristalino a las rocas paleozoicas del Complejo Acatlán originado a partir de una secuencia eugeosinclinal, formada en una cuenca marina durante el Paleozoico Inferior (Ortega, 1975); Para el Paleozoico Superior, la Orogenia Apalachiana deforma y metamorfoza a esta secuencia provocando además una emersión del Territorio Mixteco. Las rocas constituyentes de este Complejo presentan un rumbo general de foliación NNW - SSE, sin embargo, en la porción SW del área tienen una variación con rumbo tendiente hacia ENE -WSW, esto posiblemente debido a la influencia ejercida sobre el área por la falla de transcurrancia Guadalupe Ramirez -Guadalupe Villahermosa - Tezoatlán.

Los pliegues en la foliación son generalmente isoclinales con planos axiales semiverticales, aunque localmente se puede encontrar horizontales, como se observo en distintos caminamientos durante el trabajo de campo y como es reportado por Ruiz C. (1970) en el estudio realizado por él en esta zona.

Durante el Triásico, la Región Mixteca - Oaxaqueña se mantuvo como un área continental (Cárdenas, 1966), así como gran parte del territorio nacional, por lo que la erosión y la actividad tectónica fueron los procesos geológicos dominantes; al finalizar la tectónica Apalachiana, se inicia en el Triásico, una fragmentación en bloques y la consiguiente apertura de fosas que afectan a las secuencias paleozoicas y precámbricas (Bazán, 1984).

Durante el Jurásico Inferior, el área de estudio se localiza dentro de una parte positiva, mientras las tierras de la Mixteca Alta forman parte de un ambiente palustre, producto de una gran transgresión regional de los mares hasta el Jurásico Medio.

A principio del Jurásico Tardío, el mar cubre la región completamente (Cserna, 1970); simultáneamente a esta transgresión, la cuenca sedimentaria Jurásica continuó hundiéndose aunque no de manera continua (Ferrusquia, 1970).

En el Cretácico Inferior, específicamente en el Neocomiano, la región permanece sumergida, de modo que las aguas marinas que la cubren son limitadas hacia el oriente por la Península de Oaxaca que es la única parte positiva mas próxima. Para el Albiano, una transgresión invade a esta península formando bancos arrecifales al oriente de ella y una barrera arrecifal al occidente que delimita a la Laguna Evaporítica de Tamazulapan en el Golfo de México.

Para el Cretácico Medio ocurre una transgresión máxima que cubre todas las partes positivas del área finalizando esta en el Cretácico Superior, época en la cual ocurre una emersión parcial en la región y un basculamiento hacia el oriente (Vieyra, 1977).

Descansando discordantemente sobre el Complejo Acatlan, se tiene la presencia de rocas del Jurásico (Grupo Tecocoyuncó) y del Cretácico (Formación Teposcolula) sobre las que se manifestaron los esfuerzos de la Orogenia Larámide (Cretácico Superior - Terciario), produciendo en el área un anticlinorio cuyos planos axiales debieron tener una orientación aproximada N - S, semejante a la orientación de las estructuras que afloran en la zona de Tonala, así como hacia San Juan Cieneguilla, al poniente del área de estudio afloran estratos inclinados hacia el oeste, mientras en la región comprendida entre Santiago Ayuquila y Huajuapán de León al NE, constituyen el otro flanco del anticlinorio con buzamiento hacia el este.

Al SE del área de estudio, entre Santo Domingo Tonala, San Marcos Arteaga y Yucufuti se tiene una serie de anticlinales cuyos planos axiales son aproximadamente paralelos y de dirección N - S con tendencia al NW - SE, que vienen a formar parte de la continuación del anticlinorio que debió existir y que se pierden al entrar al complejo metamórfico.

La ausencia de rocas jurásicas y cretácicas en las zonas centro y occidental del área se debe seguramente a que fueron erosionadas, quedando expuesto el Complejo Acatlan; dentro de la zona del Proyecto Zocoteaca y hacia el norte del área, se formó un graben en el que se depositó discordantemente la Formación Huajuapán sobre el complejo metamórfico.

A fines del Cretácico Superior y principios del Terciario, la Orogenia Larámide pliega y falla a las rocas mesozoicas, levantando la región, de tal manera que los agentes erosivos atacaban más fuerte; iniciándose una activa sedimentación de materiales clásticos, esto aunado a una actividad volcánica extensa con emisiones piroclásticas, formándose valles intermontanos y fosas tectónicas, estas últimas como resultado de la distensión post-orogénica, produciéndose el asolve de las cuencas mencionadas al concluir la fase tectónica (Paleoceno - Eoceno).

La actividad volcánica continuó durante el Oligoceno y principios del Mioceno, afectando la región y dejando como evidencias los depósitos de tobas, potentes cuerpos de rocas piroclásticas, derrames basálticos y cuerpos intrusivos. La actividad volcánica que culmina en el Terciario Superior rejuvenece fisiográficamente la región con sus depósitos, generando el relieve actual.

2.4 SISMICIDAD

La experiencia acumulada respecto a los efectos producidos por la sismicidad ha sido utilizada en el diseño de presas en México, con lo que se ha tenido un mejoramiento en la calidad de dichas obras, al reducir su costo de construcción y al aumentar su vida útil.

Aunque el registro sísmico no es lo suficientemente grande como se deseara, para el caso del Estado de Oaxaca, el Instituto de Ingeniería ha compilado los registros sísmicos desde 1920 a la fecha.

De los estudios realizados sobre efectos sísmicos en presas a inicios de los años sesentas, Reséndiz et al, 1975 realiza la siguiente tabla en que resume los principales mecanismos de daño o falla que pueden ser producto de los sismos (tabla 6).

EFFECTOS PRODUCIDOS POR SISMOS EN PRESAS

TIPO DE DAÑO	NUM. CASOS	FREC.REL. I	FREC.REL.PARCIAL I
1.- Deslizamiento o distorsión de la cimentación y/o del terraplén por esfuerzo cortante.	93	59.5	
2.- Agrietamiento.			
a. Transversal producto de asentamientos diferenciales	12		7.5
b. Transversal no producto de asentamientos diferenciales.	7		4.5
c. Longitudinal no atribuible a l.	3		2
SUBTOTAL	22		14

EFFECTOS PRODUCIDOS POR SISMOS EN PRESAS
(Continuación)

TIPO DE DAÑO	NUM. CASOS	FREC.REL. %	FREC.REL.PARCIAL %
3.- Pérdida de bordo libre por densificación del terraplén o de la cimentación.	9	6	
4.- Ruptura de conductos enterrados.	7	4.5	
5.- Corte del terraplén por falla geológica	4	2.5	
6.- Deslizamientos o derrumbes de laderas	3	2	
7.- Desbordamientos por oscilación del embalse	2	1.3	
8.- Cambio de nivel del vaso	1	0.7	
9.- Falla por mecanismos desconocidos	15	9.5	
Total de casos analizados	156	100.0	

Tabla 6

De aquí se desprende claramente el tipo de problemas que se pueden presentar en una presa por los efectos de un sismo, siendo el más común, el que se produce en la cortina.

La problemática surge entonces al tomar el valor del sismo con el que se proyectará la obra, en función también del tipo de presa, materiales usados, altura, lugar sobre el que se desplantará la cortina, la estabilidad de los materiales de las laderas, tanto del embalse como de la boquilla.

Los deslizamientos de masas (derrumbes, deslizamientos de tierra o bloques, etc.) pueden producir serios problemas cuando estos afectan alguna de las obras de la presa o si la cantidad y tamaño de estos desplazamientos son capaces de producir en el embalse olas que sobrepasen la corona de la cortina.

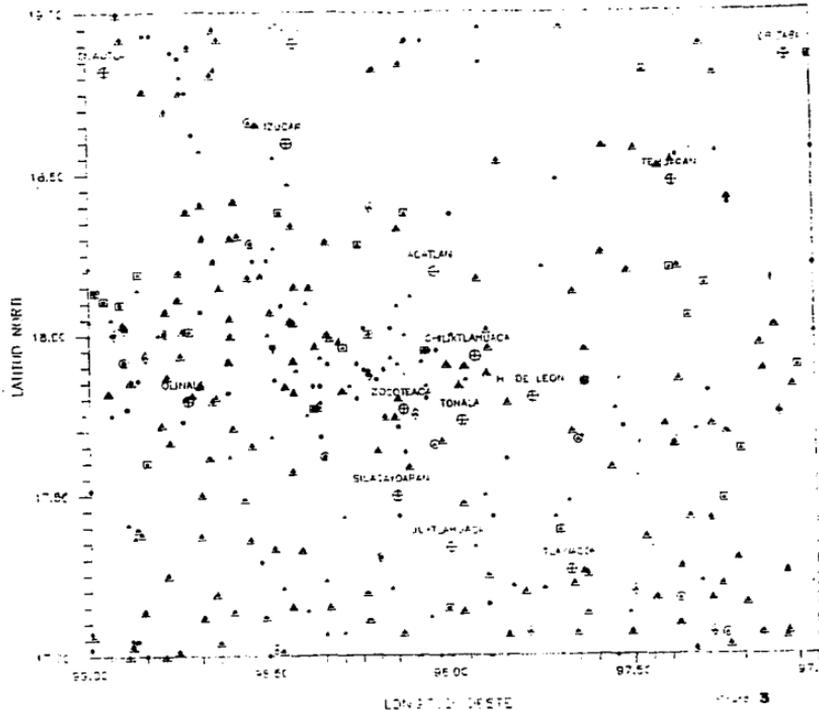
"Estos movimientos de grandes masas de suelo o roca son desencadenados por reducción de resistencia o por incremento de las fuerzas actuantes. Los sismos pueden ser agentes del primer fenómeno y siempre lo son del segundo." (Reséndiz et al, 1975).

Al Estado de Oaxaca se le ha considerado como una de las zonas con mayor riesgo sísmico, debido a que forma parte de la Trinchera Acapulco-Guatemala, lo cual hace que se registren continuamente una gran cantidad de sismos. "En el Estado de Oaxaca, la liberación total de energía debida a temblores ha tenido el valor más alto entre las zonas sísmicas de México" (Figueroa, 1975). Por otra parte, la información contenida en algunos trabajos sobre sismicidad en México prueban que los macrosismos destructores en el Estado desde tiempos remotos no han sido raros.

Para el presente trabajo se han tomado como referencia los datos que sobre sismos se tiene en el periodo de 1920 a 1981, en una área que comprende de 97 a 99 grados de longitud oeste y 17 a 19 grados de latitud norte (Catálogo Sismológico, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.) que comprende un área de 220 X 220 Km de lado. Del análisis realizado se desprende que la región tiene una actividad sísmica alta con epicentros que se localizan en las vecindades del proyecto y cuya profundidad focal es generalmente entre 20 y 50 Km. Sin embargo, existen otros someros del orden de 10 a 30 Km. La figura 3, muestra la distribución de los epicentros y en la cual se puede distinguir una concentración cercana al Proyecto de Zocoteaca así como un cierto alineamiento de sismos someros al sur de la orientación de la traza de la Falla Guadalupe Ramírez-Guadalupe Villahermosa-Tezoatlán.

El sismo de Huajuapán de León del 24 de octubre de 1980, con una magnitud de 7 en la escala de Richter y una intensidad de VIII grados en la escala de Mercalli (Figueroa 1975), ha sido el más importante registrado en los últimos años, el cual se ha relacionado a un fenómeno de fallamiento de la placa Pacífico mediana en base a mecanismos focales. Estos fallamientos normales, son debidos a esfuerzos que actúan a lo largo del eje de máxima tensión de la placa (Dean y Drakes 1978, Isacks y Molnar 1981).

Tomando en cuenta las estructuras geológicas expuestas en la región, y con la finalidad de determinar las aceleraciones y velocidad que estas pudieran generar, se aplicaron las ecuaciones empíricas de Esteve (1969) que a continuación se presentan:



PLANO DE LOCALIZACION DE EPICENTROS

PARA LA ZONA NW DEL ESTADO DE OAXACA

MAGNITUD RICHTER
(grados)

PROFUNDIDAD
(Kms)

POBLACION ☉

0-3 •

0-20 ○

○

3-6 *

20-50 △

△

6-9 -

50-80 □

□

80 ⊙

⊙

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
 GAMA MARTINEZ FCO JAVIER
 GATICA HERNANDEZ CESAR

$$a = 1230 (e^{0.8M}) ((R+25)^{-2})$$

$$v = 15 (e^M) (R+0.17 e^{0.59 M})^{-1.7}$$

Donde

M = magnitud Richter

R = distancia epifocal (Km)

a = aceleración (cm/seg²)

v = velocidad (cm/seg.)

En base a estas ecuaciones y de acuerdo al sismo ocurrido el 24 de octubre de 1980, cuya magnitud fue de 7.0 y que ocurrió a una distancia de 30 km al NW del Proyecto Zocoteaca, se calculo que para un sismo semejante se producirá una aceleración de 0.11g con una velocidad de 30 cm/seg.

El desplazamiento que un sismo de las anteriores características puede producir, se puede estimar utilizando la ecuación propuesta por Bonilla (1970):

$$\log D = (0.86 (\log L/1.60934)) - 0.976$$

Donde

D = desplazamiento (cm)

L = longitud de la traza de la falla (Km)

Para el presente estudio y considerando lo anteriormente descrito se analizaron 10 de las fallas más importantes y el riesgo que estas pudieran representar, dada la cercanía que estas tienen con el Proyecto (Tabla 7). Se calculó la magnitud por medio de la expresión propuesta por King y Knopff (1968) a partir del desplazamiento que se pudiera ocasionar. Esta expresión está dada por :

$$M = 1.4 + (\log (D^2)) / 1.9$$

Donde:

D = desplazamiento

M = magnitud Richter

RELACION DE CARACTERISTICAS SISMICAS

FALLA (PLANO)	LONGITUD (Km)	I DESPLAZAMIENTO (m) (BOQUILLA 1970)	II MAGNITUD (KING Y KNOFF) (1968)	III DISTANCIA AL SITIO (Km)	IV ACELERACION B (%) (CAMPBELL) (1981)
VI	36	1.53	7.15	0	0.53
VII	1.5	0.10	5.17	0	0.53
XVIII	2.0	0.13	5.36	0	0.53
XX	1.8	0.11	5.26	0	0.53
XXII	50	2.03	7.33	5	0.41
XXIII	8	0.42	6.21	33	0.062
XXIV	14	0.68	6.56	30	0.094
XXV	4	0.23	5.80	18	0.069
XXVI	13	0.64	6.52	36	0.074
XXVII	8	0.42	6.21	10	0.20

Tabla 7

La estimación de la aceleración máxima inducida por el fallamiento en el sitio del proyecto se obtuvo con la ecuación propuesta por Campbell (1981).

$$g = (0.0185 e^{** 1.29 M}) ((R+0.0147 (e^{** 0.732M}))^{***-1.75}$$

Donde:

- g = porcentaje de aceleración máxima inducida por un factor de seguridad de 0.147
- R = distancia a la boquilla en Km
- M = magnitud Richter.

De lo anterior se desprende que las magnitudes calculadas para el área fueron de 5.17 y las aceleraciones inducidas de 0.062 a 0.53% g.

El sitio queda comprendido en la zona III E que corresponde a la zona de menor frecuencia de sismos registrados en el Estado de Oaxaca (Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.), aunque se debe de tener en cuenta que también es una zona con sismos de magnitud elevada, como es el caso más reciente; el de Huajuapán de León.

Por todo lo anteriormente descrito se visualiza un alto costo de construcción para esta obra, ya que su diseño requerirá de un factor de seguridad sísmica alto, con una especial atención a daños atribuibles a deslizamientos o distorsiones por esfuerzo cortante en la cortina o cimentación, así como daños por agrietamiento transversal (de acuerdo con la tabla 6).

2.5 ASPECTOS GEOTECNICOS EN LA ZONA DEL VASO

Debido a que en la zona del vaso se presentan rocas metamórficas con estructura esquistosa, intensamente plegadas, cubiertas por una secuencia vulcano-sedimentaria del Terciario, descansando discordantemente sobre las anteriores y estas, afalladas y fracturadas, sugieren una evolución tectónica compleja, con diferentes fases orogénicas. Por otro lado, además de la actividad tectónica que ha sufrido esta región, durante el Terciario Inferior debió sufrir una erosión post-laramídica muy intensa, antes de extravasarse el miembro volcánico de la Formación Huajuapán, lo que puede explicar la ausencia de rocas mesozoicas, las que si aparecen regionalmente (plano 1).

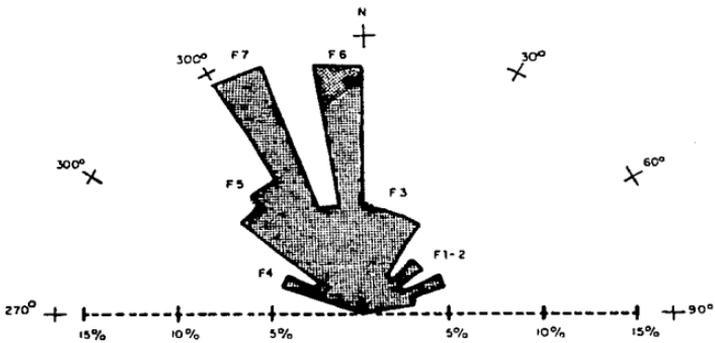
La zona del vaso se localiza sobre diferentes unidades litológicas de la Formación Huajuapán y del Complejo Acatlán, estando aguas abajo las rocas más jóvenes y hacia aguas arriba las más antiguas. Aguas abajo de la alternativa A, el cañón termina y se forma el valle de Zocoteaca - Mariscala donde afloran unas tobas lacustres que descansan sobre derrames basálticos.

A lo largo del cañón se observó una serie de fallas que afectan principalmente a las unidades de la Formación Huajuapán; esto ha dado como consecuencia que se pierda la continuidad litológica cercana a la zona de falla. Los planos de falla presentan superficies pulidas, estrias o en ocasiones una zona de cataclasis siendo muy claras y con poca erosión o alteración de estas.

Aunque se observaron estrias subverticales y diagonales, son más comunes las de orientación subhorizontal.

La falla más importante es la que se le ha nombrado como F VI y F VIII que a nivel regional comienza en la proximidad de Guadalupe Ramírez pasa cerca de Guadalupe Villahermosa y termina en la vecindad de Tezoatlán (plano 1), a esta falla se le estimó una longitud de 36 Km, sus características se definen en el capítulo siguiente.

Durante el estudio geológico regional se efectuó una medición sistemática de los alineamientos asociados a fallas y fracturas; esto se logró utilizando fotografías aéreas, información recabada de planos publicados y recorridos de campo. Los datos obtenidos se vaciaron en una roseta de frecuencias (figura 4), que indica la distribución y dirección preferencial de las discontinuidades.



ROSETA DE FALLAS Y FRACTURAS
 A NIVEL REGIONAL (100 datos)
 Zocotitlán, Oaxaca

FIGURA. 4

TESIS PROFESIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
 GAMA MARTINEZ FCO. JAVIER
 GATICA HERNANDEZ CESAR

Del análisis efectuado, se reconoció la existencia de seis sistemas. Se observó que dos familias están muy desarrolladas con un 15% de concentración; dos más de forma intermedia con un 9 a 7%; y finalmente dos familias con poco desarrollo con solo 5 a 4%. Las familias más comunes tienen un rumbo NNW y NNE.

Por otro lado, se realizó un levantamiento detallado de las discontinuidades a lo largo del cañón entre las alternativas A y F. Durante este levantamiento, además de obtener la orientación de las discontinuidades se recabaron algunas de las características siguientes:

1. Espaciamiento
2. Continuidad
3. Rugosidad de las paredes
4. Resistencia (valor estimado)
5. Apertura de las paredes
6. Material de relleno
7. Grado de intemperismo
8. Filtraciones
9. Forma de bloques
10. Tamaño de bloques

Los datos estructurales medidos en campo se vaciaron en diagramas estereográficos como proyecciones polares para su análisis.

Al comparar la roseta de frecuencias de las discontinuidades regionales (Figura 4) y los diagramas estereográficos se pudo observar que existe cierta congruencia entre los datos obtenidos regionalmente y los determinados localmente, sin embargo, existen también ciertas desviaciones.

Durante el análisis se observó la existencia de un total de nueve familias de discontinuidades representadas en el diagrama de polos de la figura 5: siete pertenecientes a fallas y fracturas, una a la estratificación y una más a la foliación. Sin embargo, existen variaciones en cuanto a la orientación de una misma familia dentro de una misma unidad litológica y/o margen.

Una vez identificado el número de familias y la orientación preferencial correspondiente, se determinaron las características particulares de cada una, a través de las tendencias centrales y sus desviaciones. Esto se realizó con la finalidad de saber de que manera podrían influir estas características, en el comportamiento del macizo rocoso en la zona del vaso.

En el plano 2 se muestra de manera integral, la cartografía geológica mostrando los rasgos más sobresalientes de las seis alternativas. También se han identificado las discontinuidades particulares asignándoles una numeración para su identificación. Un listado de estas fallas se presenta en la Tabla B, donde se indican algunas de sus características más sobresalientes.

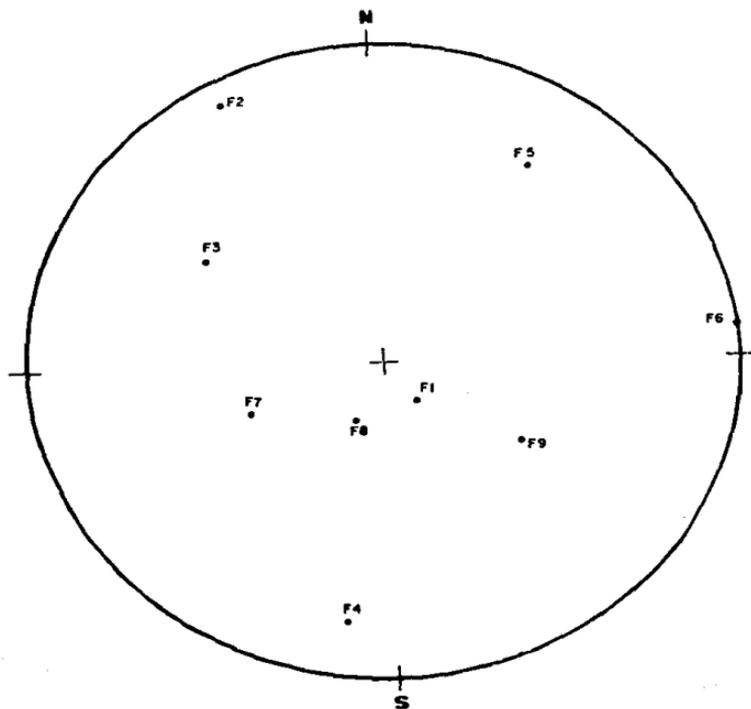


DIAGRAMA DE POLOS DE LAS NUEVE
FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES

F1	329°/18°	F6	264°/90°
F2	151°/86°	F7	066°/42°
F3	123°/69°	F8	024°/21°
F4	007°/79°	F9	303°/50°
F5	224°/74°		

FIGURA. 5

TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA UNAM

GAMA MARTINEZ MCO. JAVIER
GATICA HERNANDEZ CESAR

FALLA	ALTERNATIVA	UNIDADES QUE AFECTA	LONGITUD APROXIMADA	ORIENTACION (EN GRADOS)	DIRECCION DE DESPLAZAMIENTO EN BASE A ESTRIAS (PITCH)	ZONA AFECTADA, ESPESOR Y RELLENO	CLASIFICACION
I	A	B1	100m	230/80	NO SE TIENE	NO SE OBSERVA MATERIAL DE RELLENO	
II		B1	150m	725/90	NO SE TIENE	NO SE OBSERVA	
III	B	Te B2	200m	190/65	10 GRADOS SW	MATERIAL BIECHADO DE 1.5m DE ESPESOR	TRANSCURRENTE
IV	B	B2	170m	18/73	46 GRADOS NW	NO SE OBSERVA	TRANSVERSAL CON COMPONENTE DE ECHADO MAYOR QUE LA DE RUMBO.
V	B	B2	220m	125/75	0 GRADOS		TRANSCURRENTE
VI	B	B1 B2 Cg	36m	170/75	25 GRADOS SW	MATERIAL BIECHADO DE ESPESOR DE VARIAS DECENAS DE m.	TRANSCURRENTE
VII	C	Te	500m	3/77	76 GRADOS NE	OXIDIO DE FIERRO DE 0.5m DE ESPESOR	TRANSVERSAL CON COMPONENTE DE ECHADO MAYOR QUE LA DE RUMBO.
VIII	C	B2 Cg	1.5Km	175/79	15 GRADOS SW	NO SE OBSERVA	TRANSCURRENTE
IX		Te B2	350m	330/70	44 GRADOS NE	NO SE OBSERVA	TRANSVERSAL CON COMPONENTE DE RUMBO MAYOR QUE LA DE ECHADO
X	C	B2	300m	330/90	32 GRADOS NE	OXIDIO DE COBRE DE 1cm DE ESPESOR.	TRANSVERSAL

Tabla B

(Continúa tabla B)

FALLA	ALTERNATIVA	UNIDADES QUE AFECTA	LONGITUD APROXIMADA	ORIENTACION (GRADOS)	DIRECCION DE DESPLAZAMIENTO EN BASE A ESTRIAS (PITCH)	ZONA AFECTADA, ESPESOR Y RELLENO	CLASIFICACION
XI		B1 Cg	250m	20/60	41 GRADOS NW	NO SE OBSERVA	TRANSVERSAL CON COMPONENTE DE RUMBO MAYOR QUE LA DE ECHADO
XII	D	Cg	350m	140/38	NO SE TIENE	NO SE OBSERVA MATERIAL DE RELLENO	
XIII	D	Cg Ta	300m	202/40	NO SE TIENE	NO SE OBSERVA MATERIAL DE RELLENO	
XIV	D	B2 Cg	180m	110/26	NO SE TIENE	NO SE OBSERVA MATERIAL DE RELLENO	
XV		Te B2 A Cg	700m	223/45	47 GRADOS SE	NO SE OBSERVA	TRANSCURRENTTE
XVI		Te	130m	157/85	16 GRADOS SW	NO SE OBSERVA	TRANSCURRENTTE
XVII		Te B2 Cg	700m	335/43	43 GRADOS NE	NO SE OBSERVA	TRANSVERSAL CON COMPONENTE DE RUMBO MAYOR QUE LA DE ECHADO
XVIII	D	B2 Cg Ta Esq	2Km	150/90	45 GRADOS SW	NO SE OBSERVA	TRANSVERSAL CON COMPONENTE DE RUMBO MAYOR QUE LA DE ECHADO
XIX	D	Cg B2	650m	155/75	10 GRADOS SW	BRECHA CATA-CLASTICA DE 3m DE ESPESOR	TRANSCURRENTTE
XX		B2 Cg Esq	1.8Km	20/30	0 GRADOS	NO SE OBSERVA MATERIAL DE RELLENO	TRANSCURRENTTE
XXI		B2	400m	75/87	NO SE TIENE	NO SE OBSERVA MATERIAL DE RELLENO	

Las principales características geológico - geotécnicas que presenta el cañón de Zocoteaca son sus direcciones muy rectilíneas, con cambios bruscos de cerca de 90 grados por lo que se sugiere tenga un origen y desarrollo relacionado a los sistemas de discontinuidades, donde el poder erosivo del río actuó intensamente, dando la fisiografía actual. Al analizar la porción septentrional del cañón, el cauce se alinea en la dirección de la estructura F 53 (Plano 2). Superficialmente en la zona de las alternativas A y B y a lo largo de esta porción del cañón, no se observó indicio de este alineamiento, sin embargo, no se descarta que pueda estar cubierta por los materiales de acarreo del río. Este alineamiento forma parte de la familia de discontinuidades designada como F6, ampliamente desarrollada a nivel regional.

A medida que nos desplazamos hacia aguas arriba, después de la alternativa B, el cauce sufre un quiebre de casi 90 grados, como se puede apreciar en el Plano 2. De este lugar hacia aguas arriba, cruzando por la alternativa C, el cauce del río se alinea con la estructura designada como F VI y F VIII, que forman parte de la Falla Guadalupe Ramírez-Guadalupe Villahermosa-Tezoatlán.

A 1 Km aguas arriba de la alternativa C, el río vuelve a cambiar de dirección en un ángulo de 90 grados, cruzando este nuevo alineamiento a la alternativa D y a la que también se le asocia a la familia F6. Hasta este momento, todas las unidades se ubican en rocas del Terciario y de aquí hacia aguas arriba, comienzan a aflorar las rocas metamórficas del Complejo Acatlán. A una distancia de unos 800m y aguas arriba de la alternativa D, ya en la porción meridional del plano, el río nuevamente sufre un cambio, con una orientación asociada a la familia F7 para posteriormente cerca de la zona de la alternativa E presentar una dirección casi E-W asociada a la familia F4. Aguas arriba de la alternativa E (a unos 400 m) el cauce sufre otra desviación y se alinea con la familia F09 asociado a la foliación de las rocas. Al final de la zona del proyecto, una vez más, el río vuelve a sufrir otro cambio brusco, antes de la alternativa F para posteriormente seguir un alineamiento que pudiera estar asociado a la familia 6.

Por lo tanto, la posición que presenta el cauce del río a lo largo del cañón es probable que esté estructuralmente controlado por fallas y fracturas en el norte y centro, y fracturas y foliación en el sur.

Por otro lado, las alternativas localizadas en la secuencia vulcano-sedimentaria se encuentran dentro de un homoclinal fragmentado que por efectos de fallas se inclina hacia el NNW (alternativas A, B y C) y WNW (alternativa D). A excepción de este homoclinal, las rocas del Terciario no se observan plegadas, y solo las rocas metamórficas que forman el basamento en esta región, tienen la foliación plegada de forma isoclinal.

Las rocas metamórficas del Complejo Acatlán presentan una foliación muy desarrollada, cuya orientación general es de 703/50 grados (Familia 9) en la alternativa E. Esta dirección varía ligeramente con respecto a la alternativa F que es de 289/48 grados margen izquierda y de 315/55 grados en la margen derecha. El análisis de los diagramas estereográficos de foliación muestran una concentración de polos que define un eje cuya dirección es hacia el SW.

Entre las alternativas E y F, sobre la margen izquierda se ha observado una zona de derrumbes ocasionada por la dirección que presenta la foliación con respecto al talud del terreno. Este tipo de deslizamiento en estas rocas solo se ha observado en la margen izquierda y es atribuido al mecanismo de falla plana, aunque también se han observado algunas cuñas por la conjunción de la foliación y el fracturamiento.

La estratificación y pseudoestratificación están asociadas exclusivamente a cuatro unidades litológicas: Toba arenosa (Ta), Conglomerados (Cg), Toba epiclástica (Te) y Toba lacustre (Tl).

Se encontraron diversas discordancias entre las unidades litológicas, atribuidas a la tectónica de la zona. En los diversos caminamientos que se realizaron, se determinó que la unidad de toba arenosa descansa en discordancia angular muy marcada sobre el Complejo Acatlán; asimismo y en la alternativa D, se observa a los conglomerados descansando en discordancia angular con las tobas arenosas.

La toba arenosa y el conglomerado afloran en la alternativa D y presentan un rumbo de 330/35 grados. El echado entre estas dos unidades varía más de los 10 grados, por lo que se sugiere la existencia de una discordancia angular. En la alternativa C, los conglomerados afloran en la porción inferior y presentan una estratificación masiva con orientación 35/45 grados (familia E10).

A continuación, se hace un breve análisis de las características de las familias de discontinuidades más comunes que afectan a cada una de las zonas de alternativa de boquilla.

ZONA DE LA ALTERNATIVA A

La boquilla de la alternativa A corresponde al emplazamiento ubicado más aguas abajo y también el más cercano a la zona de riego, por lo que al principio del estudio resultó ser muy atractiva.

La boquilla está labrada en rocas andesíticas de buena calidad (B1), presenta una topografía asimétrica con una pendiente mayor en la margen izquierda que en la margen derecha; 200 m aguas arriba del eje de la boquilla se encuentra la unidad denominada toba epiclástica (Te), la cual presenta planos de estratificación bien definidos e inclinados hacia agua abajo (familia E8, 350/20), que corresponde a la discontinuidad de mayor

concentración y desarrollo en esta unidad; así como también ambas unidades se encuentran afectadas claramente por un sistema de fracturas de dirección NW-SE muy desarrollado.

En base al análisis estereográfico elaborado se determinó que en esta zona se presentan seis familias de discontinuidades que afectan a ambas márgenes, considerando a F1 como la más frecuente, seguida por F3, F4, F5, F6 y F7; F3 es la familia menos desarrollada en la margen derecha y F7 en la margen izquierda, aun cuando se considera importante por la posición que guarda con respecto a la dirección del talud de esta margen.

F1 = 005/23 GRADOS

F3 = 123/69 GRADOS

F4 = 017/72 GRADOS

F5 = 220/70 GRADOS

F6 = 263/90 GRADOS

F7 = 066/42 GRADOS

Al analizar la información de ambas márgenes, se observa compatibilidad y continuidad de las discontinuidades, existiendo solo desviación entre las familias F1 y F3.

El espaciamiento de cada familia se haya bien definido para cada una de ellas; cerrado en E8, amplio en F3 y muy amplio en F5, continuas y persistentes de 3 a 20 m, siendo F3 la que presenta un rango de persistencia de bajo a alto (1 a 20 m), siendo el más común el rango de 3 a 10 m; la rugosidad varía de ondulada a plana ambas rugosas; la apertura para F3 y F5 es cerrada en tanto que para E8 es ligeramente abierta, lo que produce problemas de inestabilidad al intersectarse con cualquiera de las otras familias que afectan el macizo rocoso.

En resumen las familias de discontinuidad que afectan esta zona, presentan las siguientes características:

- Espaciamiento - cerrado a muy amplio.
- Continuidad - continua.
- Rugosidad - ondulada o plana rugosa.
- Apertura - cerrada o abierta.
- Tamaño de bloques - variada.
- Forma - variada.

Por las características que la cortina debe de tener respecto al volumen de material de construcción y de limpia que requiere el sitio (alto costo de construcción) y la cantidad de familias de discontinuidades que afectan a esta zona, así como la permeabilidad y la baja resistencia a la compresión que presenta la unidad Te, son las principales causas por las que se descarta esta alternativa.

ZONA DE LA ALTERNATIVA B

La unidad B2 que aflora en este sitio muestra excelentes características en cuanto a resistencia y durabilidad de la roca.

El macizo rocoso está afectado por cinco familias de discontinuidades. Se determinó que para la margen izquierda las familias F2, F3, F4 y F5 corresponden a las principales; mientras que F1, F2, F4 y F5 lo son para la margen derecha.

Una descripción detallada de las características de las discontinuidades en esta zona se hace en el capítulo 3.

Al analizar con mayor detenimiento el plano geológico de este sitio (plano 3) se observa que las Fallas FV, FVI y FVIII se localizan cercanas al eje de la cortina, y forman parte de la Falla de Guadalupe Ramirez-Guadalupe Villermosa-Tezoatlán. Estas estructuras cruzan transversalmente al cauce. Cerca de las fallas, las rocas están trituradas formando un material cataclástico bien cementado por sílice.

ZONA DE LA ALTERNATIVA C

Esta alternativa se encuentra ubicada a una distancia de 2 Km del poblado de Zocoteaca, sobre la unidad de conglomerados (Cg) y la unidad de andesitas (B2). La unidad Cg aflora en la porción inferior de las laderas, en la zona del cauce en ambas márgenes y la segunda unidad muestra su contacto inferior por falla en la margen izquierda, a una altura de 70 m sobre el nivel del río.

El cauce sobre esta unidad se caracteriza por tener, una forma de "V" con pendientes asimétricas, siendo más suave la derecha con un ángulo de 25 grados en la porción inferior y semivertical en la porción superior por efecto de fallas.

En la margen izquierda, la pendiente se hace más abrupta teniendo un ángulo de 40 grados, aumentando a 70 grados.

Esta característica en la pendiente, es producto por un lado de la orientación que presenta la estratificación del conglomerado y la presencia de una familia de fracturas y fallas que pasan paralelamente al cauce del río.

En esta zona, las familias que mejor se desarrollan y que controlan las características del macizo rocoso son:

F3 = 119/58 GRADOS

F5 = 218/60 GRADOS

E9 = 316/31 GRADOS

El espaciamiento de cada familia se haya bien definido para cada una de ellas: cerrado en E9, amplio en F3 y muy amplio en F5, continuas y persistentes de 3 a 20 m, siendo F3 quien presenta un rango de persistencia muy variable de baja a alta (de 1 a 20m) siendo más común el rango de 3 a 10 m.

La rugosidad presente, varía de ondulada rugosa a plana rugosa; en tanto que la apertura para F3 y E9 es cerrada, mientras que para F5 es abierta, lo que produce problemas al intersectarse con cualquiera de las otras familias que afectan la roca; formándose bloques de tamaño variable desde muy grandes hasta muy pequeños con formas que varían desde masivas a irregulares.

Resumiendo, las familias de discontinuidades que afectan a esta zona presentan las siguientes características:

Espaciamiento	- cerrado a muy amplio.
Continuidad	- continua.
Persistencia	- 3 a 20 m.
Rugosidad	- ondulada rugosa o plana rugosa.
Apertura	- cerrada o abierta.
Tamaño de bloques	- variado.
Forma	- variado.

Se debe tomar en cuenta que esta zona es donde se localiza la falla FVI, la cual ha fracturado en forma intensa la roca que aquí aflora; así mismo, es importante considerar que la apertura en F3 y F5 es un parámetro a tomar en cuenta en el análisis de estabilidad de laderas ya que se pueden producir bloques de tamaño muy grande, que pueden producir problemas de seguridad durante la construcción de la obra.

A esta alternativa, por la inestabilidad de sus laderas, por las características de las discontinuidades y el espesor tan desarrollado de suelo y material de talud (con fragmentos de diferentes tamaños) que se ha estimado en 24 m, la hacen poco propicia para la construcción de la cortina en este sitio.

La margen izquierda se ve afectada por un par de fallas regionales F VI y F VIII, las cuales evidencian movimiento de tipo transcurrente, según se pudo observar por las estrias marcadas en los planos de falla.

Por lo fragmentado que se encontró a la roca y a los numerosos planos pulidos, así como una zona de brechamiento producto de la falla, se estima un movimiento considerable y donde la erosión ha actuado severamente, produciendo la gran cantidad de material de talud que abunda en toda esta zona del río; característica que no se presenta en las demás alternativas.

ZONA DE LA ALTERNATIVA "D"

Esta alternativa se localiza aproximadamente a 2.7 Km al SW del poblado San José Zocoteaca y 2 Km al SE de Guadalupe Ramírez.

La forma del cañón en la zona de esta alternativa es en "V" y asimétrica con pendientes en la margen izquierda de 57 grados y 48 grados en la margen derecha.

En esta alternativa, las unidades expuestas son las siguientes: materiales aluviales en el cauce, Conglomerados y Tobas arenosas en la porción inferior y andesitas en la parte media. Hacia aguas arriba del eje, a una distancia de 80 m aflora el basamento metamórfico a la altura del cauce.

Sobre la margen izquierda, desde el nivel del río hasta la cota 1100m, aflora la Toba Arenosa (Ta) perteneciente a la Formación Huajuapán. El contacto inferior con los esquistos y filitas del Complejo Acatlán se encuentra a unos 45 m de profundidad (estimado) por discordancia angular; contacto que aguas arriba sobre ambas márgenes se observó aflorando. El contacto superior se localiza cerca de la cota 1100 m y está también discordante con la unidad de conglomerados. En la margen derecha aflora desde el nivel del cauce hasta la cota 1140.

En esta alternativa, en la zona de la boquilla afloran distintas unidades litológicas de diferentes edades y orígenes, entre metamórficas, sedimentarias e ígneas. Las propiedades físicas y de discontinuidad de una a otra unidad varían, lo que ha hecho necesario dividir la zona en diferentes unidades geotécnicas haciendo muy heterogéneo el comportamiento mecánico del macizo rocoso.

La unidad más antigua que corresponde a los esquistos y que aflora aguas arriba del eje, presenta cuatro familias de fracturas, las cuatro bien definidas en la margen izquierda y solo dos en la margen derecha.

Sobre la margen izquierda se identificaron a las familias F2, F4 y F7.

Los esquistos presentan un desarrollo grande de la foliación, pudiéndose identificar tanto en campo como en los diagramas estereográficos, la intensidad en el plegamiento que presentan.

La discontinuidad principal que afecta a la unidad (Ta) corresponde a la estratificación (E10) con una orientación preferencial de 335/45 grados. Esta orientación se mantiene constante para ambas márgenes.

En cuanto a las fallas y fracturas en margen izquierda, destacan la F4 y F5 y en margen derecha las familias F2, F4, F5, y F7.

Sobre la margen izquierda se observó una falla subcontinua de 10 a 20 m con una superficie plana, lisa y con orientación de 335/45 grados. Se ha considerado de tipo normal donde el bloque NE cayó. Se encuentra desplazando el contacto de las tobas arenosas y los conglomerados.

En esta misma margen los conglomerados afloran ampliamente desde la cota 1100 hasta la cota 1145 en tanto en la margen derecha a los 1145 m y se extienden hacia arriba a más de 20 m. En ambas márgenes se distinguen las familias F1 y F7 y sobresalen las familias F2, F4 y F5, en la margen izquierda.

En cuanto a la estratificación que presenta el conglomerado, la orientación que tiene es de 330/35 grados, existiendo continuidad de esta estructura en ambas márgenes. El espesor de la estratificación es gruesa y se observó también que la orientación con las tobas arenosas es semejante variando en inclinación unos 10 grados por lo que se cree existe una discordancia entre estas dos unidades.

Coronando a los conglomerados aflora una unidad de andesitas (An) diferente a la unidad (B2). Las familias de discontinuidades que afectan a estas rocas en margen izquierda son: F1, F2, F4, F5, mientras que en margen derecha: F2, F4, F5 y F6.

En esta zona, dentro de las tres unidades geológico-geotécnicas diferenciadas que se pudieron observar en campo, se distinguieron las siguientes familias de discontinuidades con sus respectivas orientaciones:

F2 = 283/72	GRADOS
F3 = 125/79	GRADOS
F4 = 172/90	GRADOS
F5 = 207/75	GRADOS
F7 = 061/48	GRADOS
Fo9 = 303/50	GRADOS
E10 = 343/35	GRADOS

El espaciamiento entre estas familias es generalmente amplio (de 60 a 200 cm) aunque para F2 y F3 es de tipo moderado (de 20 a 60 cm); de continuas a subcontinuas y persistentes en el rango de 1 a 3m, aunque F4 y F5 se pueden presentar en longitudes mayores de 20m.

La rugosidad es típicamente ondulada rugosa para todas las familias, así como la apertura es generalmente cerrada; F5 y E10, en ocasiones abiertas sobre todo en afloramientos sobre el cauce, muy cerca de la línea propuesta como eje de la boquilla y en ambos márgenes; esto es producto de la acción erosiva del río sobre estas áreas de debilidad y dada la orientación de E10 (perpendicular al cauce del río) parece ser la más afectada, en tanto que F5 tiene una orientación similar a E10 pero con sentido opuesto.

El tamaño y la forma de los bloques producidos es muy variado formándose todo tipo de tamaños, desde pequeños hasta grandes; así como de formas muy variadas siendo tres, las típicas: masiva, tabular e irregular. Estas dos últimas características muestran el alto grado de afectación que esta unidad geotécnica presenta por influencia de las discontinuidades presentes.

Para concluir, las discontinuidades que afectan a esta unidad tienen:

- Espaciamiento - de 60 a 200 cm.
- Continuidad - continuas.
- Persistencia - de 1 a 3 m.
- Rugosidad - ondulada rugosa.
- Apertura - cerrada.
- Tamaño de bloques - variado.
- Forma - variado.

Tomando en consideración la heterogeneidad en las características del macizo rocoso, hace que esta alternativa sea poco atractiva para la construcción de la cortina.

ZONA DE LA ALTERNATIVA "E y F"

La alternativa E se localiza a una distancia de 5.5Km del pueblo de Zocoteaca siguiendo el cauce del río aguas arriba. La alternativa E al igual que la F, se encuentra ubicada sobre la unidad de esquistos del Complejo Acatlán.

En este lugar, el cañón, tiene forma de "V" con sus márgenes asimétricas, siendo más abrupta, la margen izquierda, inclinándose más a partir de los 20m del nivel del río con un valor promedio de 50 grados. La margen derecha tiene una pendiente de 45 grados durante los primeros 25 metros para posteriormente hacerse más suave (30 grados) al ir ascendiendo. Esta característica se presenta a lo largo de ambas márgenes en un tramo de casi un Km hacia aguas arriba de esta alternativa.

La foliación es la discontinuidad más desarrollada, con una dirección de 303/50 grados, homogénea en ambas márgenes. Se definió que la orientación de la foliación aguas arriba del eje, es paralela al rumbo del río, y aunada a la continuidad, espaciamiento y otras características han provocado una zona de inestabilidad, donde bloques de diferentes dimensiones fallan a través de planos conjugados por los sistemas F2 y F3.

La alternativa F se ubica a una distancia de 6 Km del poblado de Zocoteaca siguiendo el cauce del río, donde también afloran rocas metamórficas del Complejo Acatlán.

En este lugar, el río se caracteriza por tener una forma de "V" con sus márgenes simétricas y una pendiente de 50 grados haciéndose de 40 grados a una altura de 50 metros sobre el nivel del río.

Con los datos obtenidos en campo se construyeron diagramas estereográficos los cuales definen que el comportamiento estructural en ambas márgenes es similar.

En esta alternativa la discontinuidad más desarrollada corresponde también a la foliación, con una variación en su orientación de 289/48 grados en la margen izquierda a 315/55 grados en la margen derecha; existe una cierta desviación de una margen a otra, pero al superponerse los diagramas se puede observar una faja de polos que indican un plegamiento con buzamiento del eje hacia el SW.

En cuanto al fracturamiento las familias de F2, F5 y F7 son las mejor desarrolladas.

La margen izquierda puede llegar a presentar problemas de caídos por cuña, produciendo bloques de tamaño pequeño (10 a 30 cm de diámetro).

La alternativa F es la más alejada de la zona de riego, por lo tanto se requeriría una conducción superficial de aproximadamente 6 Km hasta el final del cañón; se ha pensado en la posibilidad de construir un túnel que atravesase el Cerro Solosuchil, con una longitud aproximada de 1.8 Km más 1.3 Km de conducción superficial hasta al final del cañón. Este túnel atravesaría principalmente esquistos y filitas del Complejo Acatlan en un 70 a 80% y el resto en conglomerados de la unidad Cg. La orientación de la foliación es favorable ya que corta normalmente al eje del túnel.

Las fallas determinadas como FXVIII y FXIX, atraviesan también normalmente al eje del túnel, pudiendo existir en el subsuelo zonas de cataclasis y debilidad a lo largo de estos tramos.

Por otro lado, se observó en campo y en las fotografías aéreas un lineamiento muy marcado a lo largo de un drenaje al que se le ha denominado como estructura f53. Esta estructura se alinea con la dirección del posible túnel.

En la zona del portal de salida se observó una zona de cataclasis que pudiera estar relacionada a f53 pero que también se asocian a la intersección de f50 y a todo el sistema de la Falla Guadalupe Ramírez-Guadalupe Villahermosa-Tezoatlán.

Ambas zonas se encuentran localizadas sobre una misma unidad litológica homogénea en sus características geotécnicas, así como las familias que la afectan. Las familias presentes en esta zona son las siguientes:

F2 = 139/54	GRADOS
F3 = 098/59	GRADOS
F4 = 194/81	GRADOS
F5 = 038/84	GRADOS
F7 = 061/43	GRADOS
Fo9 = 303/50	GRADOS

El espaciamiento que presentan las seis familias de discontinuidad es de cerrado a moderado (de 6 a 60 cm), aunque la foliación es extremadamente cerrada (de 2 a 6 cm) dada su génesis. Generalmente se presenta continua, a diferencia de las otras familias que varían de subcontinuas a continuas, en tanto que la persistencia es alta para Fo9, baja para F2, F3, F4 y F7 y muy baja para F5.

La apertura es cerrada a esporádicamente abierta para todas las familias; el tamaño de los bloques que se forman por la intersección de familias son de medianos a muy pequeños, con una forma generalmente tabular o irregular.

El comportamiento general de las características de las discontinuidades es muy homogénea en toda la unidad, tal como se presenta a continuación:

Espaciamiento	- 60 a 200 cm.
Continuidad	- subcontinuas a continuas.
Persistencia	- 1 a 3 m.
Rugosidad	- ondulada rugosa.
Apertura	- cerrada o abierta.
Tamaño de bloques	- pequeños.
Forma	- tabular o irregular.

Por todos los problemas que presentan estas alternativas respecto al emplazamiento de la obra, los problemas de inestabilidad en la zona de la alternativa E y la lejanía de los bancos de material, son causas por las cuales estos sitios se descartan.

Después de este análisis geotécnico en la zona del vaso, nos hemos avocado al estudio de la boquilla de la alternativa B por considerarla como la más apropiada, por presentar las mejores condiciones tanto por la buena calidad del macizo rocoso, cercanía con la zona de riego y con los bancos de material, así como por el reducido volumen de limpia y la localización para las obras complementarias que se requieren para llevar a cabo la obra en proyecto; por lo tanto, a partir del próximo capítulo esta tesis estará enfocada al estudio de esta boquilla.

Se realizó también, el análisis de las familias de fallas que afectan a la zona de estudio, con el fin de encontrar las relaciones geométricas entre los planos de fractura y las direcciones de esfuerzo que las produjeron. Para tal efecto, se parten de las siguientes premisas propuestas por Ragan (1973) y que parecen ajustarse al modelo geológico propuesto para la región:

- 1) La intersección de un par de fallas conjugadas definen la, orientación del esfuerzo σ_2 .
- 2) El ángulo agudo entre pares conjugados es σ_2 . La bisectriz σ_1 .
- 3) La dirección del desplazamiento neto está definida por la intersección del plano de falla con el plano determinado por σ_1 y σ_2 .
- 4) El sentido del desplazamiento neto es tal que la cuña del material que determina el ángulo agudo se mueve hacia adentro en la dirección de σ_1 (Figura 6).

Las direcciones de esfuerzo, fueron definidas en base al análisis estereográfico de un par de fallas conjugadas cuyas orientaciones son : $145 / 80$ y $007 / 72$ grados y que son correspondientes a las familias F2 y F4 respectivamente y de las premisas arriba descritas. De tal modo se obtuvo que las direcciones de esfuerzos compresionales son en la dirección NE - SW 80 grados en tanto que los esfuerzos tensionales tienen una dirección de NW - SE 10 grados, direcciones similares a las propuestas para las condiciones tectónicas de México por diferentes investigadores (figura 7), en la que se observa la elipse de esfuerzos que proponemos para el área de estudio, así como una clasificación de las estructuras producto de los esfuerzos que actúan sobre un paquete de rocas según Harding (1974) y la dirección de los esfuerzos según el criterio de Ragan (1973), con lo que se pretende definir el carácter de cada una de las familias de fracturas en la zona de estudio.

CLASIFICACION DINAMICA DE FALLAS
(Rogan, D., 1973)

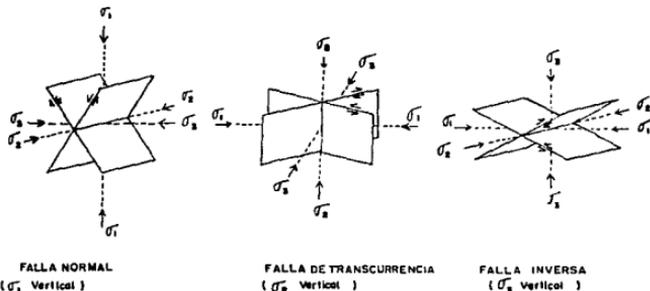
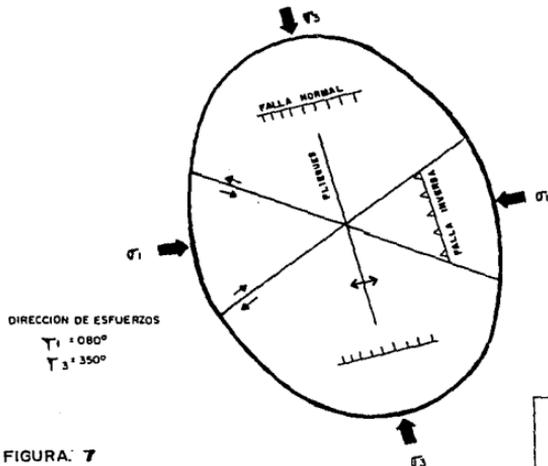


FIGURA. 6

ELIPSE DE ESFUERZOS PARA LA ZONA DEL PROYECTO



TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
RAMA MARTINEZ PCD. JAVIER
GATICA HERNANDEZ CESAR

CAPITULO 3 GEOLOGIA DE LA BOQUILLA

3.1 GENERALIDADES

Como se definió en el capítulo anterior, la alternativa B es la que reúne las mejores condiciones respecto a la calidad del macizo rocoso, estabilidad de laderas, volúmenes de limpia, cercanía con la zona de riego, etcétera, que la hacen la opción más atractiva, por eso en este capítulo se realizará una descripción detallada de las condiciones geológicas del sitio en donde se propone la construcción de la cortina que en el estudio original se le denominó Alternativa B, en la que aflora la unidad de andesita basáltica (B2).

La andesita basáltica (B2) es una roca de color pardo en superficie de intemperismo y de color gris oscuro al fresco, de textura porfídica, constituida por fenocristales de plagioclasas euhedrales de hasta 2mm de longitud y cristales de olivino alterados a idingsita.

Esta unidad presenta una porosidad secundaria producto de las fracturas que la afectan, pero debido a que la roca se encuentra altamente silicificada, esto puede implicar una permeabilidad moderada no importante para las condiciones que requiere la presa; de acuerdo a sus características de dureza, se le ha considerado como una roca muy dura con una resistencia a la compresión simple de 944 kg/cm²; presenta un leve intemperismo, marcado por una ligera decoloración de la roca y una alteración asociada únicamente al olivino rico en hierro, pero en general se presenta en buenas condiciones.

En el análisis petrográfico efectuado en lámina delgada (muestra 2, anexo), se determinó que la roca presenta textura pilotaxítica, con predominancia de cristales de plagioclasas y en menor cantidad cristales de piroxenos, los cuales muestran microfracturamiento en una o dos direcciones preferenciales, producido por los esfuerzos a los que se le ha sometido, estos asociados a la falla FVI.

A esta unidad se le ha estimado un espesor promedio de 150 m, aunque no se conoce con precisión; el contacto inferior con la unidad de conglomerados (Cg), la cual es de tipo erosional y angular, inferido por el echado de los estratos de conglomerados y la forma del contacto entre estas unidades observado en la zona de la alternativa C; el contacto superior con la unidad de toba epiclástica (Te) es concordante y brusco, definiéndose claramente en el campo y en fotografías aéreas por la expresión morfológica que tienen ambas unidades.

3.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

3.2.1 DESCRIPCION DE FALLAS Y FRACTURAS

La unidad B2 que aflora en este sitio, muestra excelentes características en cuanto a resistencia y durabilidad de la roca. En el plano 3 se presenta la cartografía realizada sobre esta alternativa identificándose las fallas y fracturas que afectan al macizo rocoso.

Al analizar con mayor detenimiento el plano geológico de este sitio se observa que las Fallas FV, FVI y FVIII se localizan cercanas al emplazamiento y forman parte de la Falla Guadalupe Ramírez-Guadalupe Villermosa-Tezoatlán. Estas estructuras cruzan transversalmente al cauce. Cerca de las fallas, las rocas están trituradas formando un material cataclástico bien cementado por sílice.

Hacia aguas abajo del eje, se presenta la falla FIII que está formando una zona potencialmente inestable por la inclinación del plano de falla y la pendiente del talud.

Se tienen dos tipos de fallas con diferente orientación que afectan a la zona de la boquilla: FIII, FV y FVI que son de movimiento lateral y la FIV de tipo compuesto; estas presentan material brechado cementado por sílice; tienen una longitud aproximada de 200 m a excepción de la FVI que tiene 36 km; estas fallas se caracterizan por presentar una dirección de desplazamiento evidenciada por estrías en sus paredes.

En cuanto al número de fracturas mayores de distinta orientación que afectan a la zona de la boquilla de esta alternativa, se consideran aproximadamente 12 con longitud variable entre 30 y 120 m, algunas rellenas con sílice y óxido de cobre y otras sin relleno; estas fracturas presentan en su mayoría una rugosidad entre sus paredes de tipo ondulada.

Las principales fallas y fracturas encontradas en esta zona, se presentan en el plano 3, las características generales de las mismas se incluyen en la tabla 8 descrita en el capítulo 2.5 y la tabla 9; una descripción más detallada de estas discontinuidades es la que a continuación se presenta:

FALLA FIII. Falla localizada 130 m aguas abajo del eje de la cortina, con una orientación de N80W, 65S grados, es de tipo transcurrente y con longitud aproximada de 140 m, aunque pudiese ser mayor debido que al entrar a la unidad Te la traza se pierde. Presenta estrías con un "pitch" de 10SW grados lo que confirma su movimiento con componente horizontal fuerte.

ALTERNATIVA B

FRACTURAS	ORIENTACION EN GRADOS	LONGITUD	UNIDADES QUE AFECTA	FAMILIA A LA QUE PERTENECE	RUGOSIDAD EN LAS PAREDES	RELLENO
f33 f34	40/40	30m	B2	NINGUNA	ONDULADA RUGOSA	SILICE
f35	210/75	40m	B2	5	ESCARPADA RUGOSA	NINGUNO
f36	105/60	15m	B2	4	ONDULADA RUGOSA	NINGUNO
f37	115/75	120m	B2	3	ONDULADA LISA	SILICE Y OXIDO DE COBRE
f38	120/65	105m	B2	3	ONDULADA LISA	SILICE Y OXIDO DE COBRE
f39	190/20	70m	B2	NINGUNA	ONDULADA LISA	NINGUNO
f40	205/20	65m	B2	NINGUNA	ONDULADA LISA	NINGUNO
f41	235/90	55m	B2	5	ONDULADA RUGOSA	NINGUNO
f42 f43	225/80	107m	B2	5	ONDULADA RUGOSA	SILICE Y OXIDO DE COBRE
f44	155/70	120m	B2	2	PLANA RUGOSA	NINGUNO
f50	155/90	940m	C ₉ , B2	NINGUNA	ONDULADA RUGOSA	NINGUNO
f53	065/73	1100m	Esq, B2	NINGUNA	ONDULADA RUGOSA	NINGUNO
f100	190/65	55m	B2, Te	5	ONDULADA RUGOSA	NINGUNO

Tabla 9

Su expresión morfológica es una discontinuidad que define el límite inferior de un bloque inestable que debe ser tomado en cuenta en etapas posteriores, en un análisis de estabilidad de taludes más detallado; asociada a esta falla existe una zona de brechamiento de aproximadamente 1.5 m de espesor, cementada por sílice.

FALLA FIV. Esta falla se localiza a una distancia aproximada de 150 m al occidente de la boquilla, se trata de una falla transcurrente de movimiento izquierdo de 170 m de longitud con una orientación S70E, 73N, presentando estrias con un "pitch" de 46 grados al NW.

Su expresión topográfica es un cambio de pendiente ligeramente suave, apenas perceptible en fotografías aéreas, afectando únicamente a la unidad B2 en la margen izquierda. Será necesario hacer un estudio a detalle, ya que podría afectar la cortina en caso de que su traza siguiera en esa dirección.

FALLA V. Falla localizada a aproximadamente 40 m aguas arriba de la cortina y atraviesa perpendicularmente el cauce del río, estimándosele en base a fotografías aéreas una longitud de 220 m; su orientación es hacia S35W, 75S y cuyo plano de falla muestra estrias con un pitch de 0 grados, es decir, con un movimiento netamente horizontal de sentido derecho. Su expresión topográfica es un alineamiento reconocible en campo fácilmente por la apertura que esta tiene de 5 a 10 cm, la cual se ha visto más acentuada por la acción erosiva del río. Esta falla la hemos definido como elemento de la falla FVI y debe ser tomada en cuenta para la estimación de la permeabilidad ya que aunque poco continua parece estar muy abierta.

FALLAS FVI Y FVIII. Fallas localizadas a 150 y 200 m de la cortina respectivamente, siguiendo en forma paralela el cauce del río en una longitud aproximada de 1200 m, aunque su traza, como se pudo observar en fotografías aéreas, tiene una longitud de 36 km siendo considerada como el elemento tectónico más importante en esta zona. Ambas son consideradas con un movimiento izquierdo algo enmascarado, ya que durante el trabajo de campo en algunos planos de falla, se piensa tuvo un movimiento derecho y en otras ocasiones de sentido izquierdo.

Por cuestiones geotécnicas, ambas fallas se localizaron en forma individual aunque éstas presentan características muy similares como se observa en la tabla B, así como los eventos que les dieron origen fueron los mismos. Es importante hacer notar que una falla de las magnitudes que tiene FVI, se presente como un elemento único, generalmente es un conjunto de fracturas que forman una zona de límites poco regulares.

Presenta una orientación de N35W, 75S grados, mostrando sobre su plano, estrias orientadas entre 17 y 25 SW grados evidenciando la componente horizontal tan fuerte que tiene.

Hacia el SW de la boquilla, cerca de Guadalupe Ramirez la falla cambia la dirección de su traza a S47W, la cual se puede seguir por el puerto de erosión que se extiende hasta el poblado de San Juan Trujano. En fotografías aéreas, el seguimiento de su traza resulta difícil cuando entra a la unidad metamórfica (debido al plegamiento que esta unidad muestra y a la reducción de la zona de falla) observándose nitidamente cuando entra a otra unidad litológica.

En la zona del proyecto, estas fallas cruzan a la unidad B2, formando paredes escarpadas con pendientes de casi 90 grados para posteriormente pasar a una pendiente de aproximadamente 50 grados correspondiente a la unidad C, poniendo en contacto tectónico a estas dos unidades, como se pudo observar en campo.

FRACTURAS f33 y f34. Sistemas de fracturas localizadas 120 m aguas abajo del eje, con una orientación N310W, 40E grados, ambas asociadas a la familia F7, presentando una apertura variable entre 0.1 y 0.25 mm y asociadas a ellas, pequeñas fracturas rellenas y cementadas por sílice; presentan una traza de longitud aproximada de 40 m; por encontrarse aguas abajo y lejos del eje de la cortina, los problemas que estas estructuras pueden ocasionar son mínimas.

FRACTURA f35. Fractura con orientación de N60W, 75S grados, localizada a una distancia aproximada de 50 m del eje de la boquilla sobre la cota 1160 m.s.n.m.; presenta una apertura A1 entre 0.1 y 0.5 mm y poco persistente (30 m).

Esta fractura se asocia a la falla FIV descrita anteriormente, guardando entre ellas cierto paralelismo; debido a las características que presenta aunadas al ángulo de inclinación del plano de falla (hacia dentro del macizo) no presentan problemas de infiltración o de inestabilidad en el macizo rocoso.

FRACTURA f36. Conjunto de fracturas con una orientación N75W, 36S grados correspondiente a la familia F5, con apertura variable entre 2.5 y 10 mm, esto es, muy abiertas, poco persistentes de aproximadamente 10 m, truncándose su traza al intersectarse con f34 (plano 2).

Estas fracturas no presentan problemas de inestabilidad en las laderas, dado el ángulo con el que se intersectan con f34 así como su poca persistencia.

FRACTURA f37. Fractura que atraviesa la zona del eje de la cortina entre las cotas 1130 y 1170 m.s.n.m., con orientación N25E, 70S grados correspondiente a la familia F3, con apertura variable entre 0.25 y 0.5 mm, rellena de sílice u óxido de cobre. Se encuentra únicamente representada en la margen izquierda; con una traza de longitud variable entre 80 y 140 m.

Esta fractura no presenta problema de permeabilidad, ya que como se observa en la sección geológica presente, esta se cierra a profundidad; los efectos de inestabilidad que puede ocasionar deben ser tomados en cuenta por tener su plano de falla en dirección del talud.

Asociada a esta fractura se encuentran dos fracturas más, localizadas a 60 m aguas abajo del eje de la cortina, con longitud aproximada de 30 m y localizadas en la zona cercana al cauce del río.

FRACTURAS f39 y f40. Ambas fracturas se localizan casi sobre el eje de la boquilla, la primera en la zona del cauce y la segunda a la altura de la cota 1180 m.s.n.m.; con orientación N08W, 20S grados, asociadas a la familia F5. A lo largo de su traza de aproximadamente 40 m, estas fracturas presentan una apertura variable entre 0.25 y 0.5 mm; por la orientación que presenta el plano hacia adentro del macizo rocoso, estas fracturas no causan problemas de inestabilidad en el talud ni de permeabilidad, ya que aunque se encuentran abiertas a profundidad éstas se cierran por su origen compresional, es importante hacer notar que estas fracturas interrumpen su traza al conectarse con las fracturas f37, lo que es indicativo de la edad relativa de las familias f3 y f5 (la primera originada antes que la segunda).

Esta misma margen presenta una zona de deslizamiento 140 m aguas abajo del eje de la cortina en la cota 1130 m.s.n.m. Esta zona corresponde a un bloque de medianas dimensiones (20 x 15 m) el cual se haya desprendido del macizo rocoso y en un estado inestable, por lo que se hace necesario tomarlo en cuenta en estudios detallados de estabilidad de taludes por razones de seguridad.

La margen derecha se haya afectada por una menor densidad de fracturamiento, aunque la longitud de las trazas de las fracturas son mayores.

FRACTURA f41. Fractura localizada sobre el eje de la cortina con una orientación N35W, 90 grados, correspondiente a la familia F5, de apertura cerrada, variable entre 0.25 y 0.5 mm a lo largo de su traza de 50 m de longitud.

La forma curva que presenta, es la respuesta morfológica de la fractura, ya que delimita un bloque del macizo rocoso. Por encontrarse a una altura de 60 m del cauce y por la inclinación que esta tiene, los problemas de permeabilidad o inestabilidad que puede producir son despreciables.

FRACTURAS f42,43. Sistema de fracturas localizadas a 30 m. aguas abajo del eje de la cortina, intersectándose entre las cotas 1160 y 1170 msnm; con una orientación N45W, 80S grados lo que las define como pertenecientes a la familia F5; presentan una apertura variable entre 0.5 y 2.5 mm en toda la longitud de su traza, lo que pudiera traer problemas de permeabilidad para la boquilla, siendo necesario un estudio más detallado para definir la posibilidad de un inyectado.

FRACTURA f44. Fractura localizada 70m aguas arriba del eje de la cortina; asociada a la falla FVI y únicamente representada en esta margen, tiene una orientación N75E, 70S grados perteneciente a la familia F2. Presenta una apertura variable entre 1 y 10 cm, sin relleno. Conforme se va internando al macizo rocoso esta se va cerrando; la apertura inicial que presenta es producto de la erosión de las aguas del río, formando en algunas partes fracturas con apertura de hasta 20 cm.

La longitud de su traza es de aproximadamente 110 m. Esta fractura debe ser estudiada detalladamente por la permeabilidad potencial que presenta. Aunque tiene una orientación paralela al eje de la cortina, los sistemas de fracturamiento menor pueden producir un flujo de dirección perpendicular al eje.

A 10 m aguas arriba del eje de la cortina existe una pequeña zona potencialmente inestable debido al alto fracturamiento que presenta esta zona, la cual no debe traer problemas mayores, ya que consideramos que la intensidad de su fracturamiento es local y somero.

FRACTURA f50. Fractura localizada a 380 m de la boquilla, con una traza de aproximadamente 940 m de longitud y una orientación N45E, 90 grados; su expresión morfológica es de una pared vertical con un desnivel de 90 m sobre la unidad B2.

Esta estructura debe ser tomada muy en cuenta en un análisis de taludes para etapas posteriores ya que durante el trabajo de campo, se pudo constatar la gran cantidad de material de derrumbe como resultado de la inestabilidad.

FRACTURA f53. Fractura localizada al sur de la boquilla con una longitud en su traza estimada en 1100 m, alineada en forma paralela al cauce en la zona de la alternativa D con una orientación N30W, 73E grados; aunque no se encontraron evidencias de movimiento, es importante hacer notar que forma un alineamiento bien definido desde la zona de la alternativa F, al sur del área de estudio, atravesando el Cerro Solozúchil el cual, se continúa a lo largo del cauce y atravesando perpendicularmente la cortina, traza que tal vez se encuentre enmascarada por la presencia del aluvión.

Esta estructura, aunque es la única de estas dimensiones encontrada en la zona con esta orientación, no se le debe restar importancia, haciéndose necesario un reconocimiento más a detalle para etapas posteriores.

Como se puede observar en el plano escala 1:1,000 de la zona de la boquilla, el fracturamiento de la unidad B2 es moderado, encontrándose más afectada la margen izquierda que la derecha.

Las fracturas son generalmente poco persistentes, con longitud media de 30 m y un ángulo de echado de sus planos generalmente de medio a alto (entre 40 y 90 grados) siendo más común el de 75 grados; las familias más desarrolladas son las correspondientes a F5 y F2.

FRACTURA f100. Fractura que se ha asociado a FIII localizada cerca del cauce a una distancia de 170 m aguas abajo del eje de la boquilla, con orientación N55W, 70S grados, correspondiente a la familia F5, con una apertura variable entre 0.1 y 0.25 mm y con una traza de longitud aproximada de 56 m.

Debido a la lejanía y a la orientación que presenta esta, no causa problemas de estabilidad.

3.2.2 ANALISIS ESTEREOGRAFICO Y ESTADISTICO DE DISCONTINUIDADES.

El comportamiento mecánico de un macizo rocoso esta definido principalmente por la presencia e interrelacion de las diferentes familias de discontinuidades que lo afectan, ya que reducen la resistencia del macizo rocoso, por lo tanto, es muy importante una descripción y análisis detallado de las características de estas discontinuidades.

En el siguiente análisis se representará gráficamente la información recabada en campo de las discontinuidades y que definen una serie de familias, como se puede observar en los diagramas estereográficos de cada margen y que afectan al macizo rocoso. Es conveniente representar en una misma gráfica las diferentes familias de discontinuidad con su respectiva característica a representar, y así poder observar la variación de cada una de estas, respecto a cada familia.

El macizo rocoso está afectado por seis familias de discontinuidades; sin embargo, las familias F1 y F3 se presentan únicamente en una de las márgenes, determinándose que para la margen izquierda las familias F2, F3, F4 y F5 son las más importantes, en tanto que para la margen derecha lo son las familias F1, F2, F4 y F5.

MARGEN IZQUIERDA.

En esta margen, las familias mejor desarrolladas son las siguientes:

F2 = 151/86 GRADOS

F3 = 123/69 GRADOS

F4 = 017/72 GRADOS

F5 = 224/74 GRADOS

Estas se hayan representadas en el diagrama de conteo de polos (figura 8); la figura 9 muestra la gráfica en por ciento de cada una de las características de las diferentes familias de discontinuidades de esta margen.

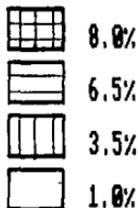
El espaciamiento que estas familias presentan varia de cerrado a amplio (de 6 a 200 cm), teniendo las familias F1, F2 y F4 un comportamiento más uniforme en su espaciamiento, en tanto que en F3 y F5 es menos uniforme, es decir, el espaciamiento entre miembros de la misma familia es muy variado.

La continuidad que estas familias presentan está comprendida entre subcontinua a continua con una persistencia marcada generalmente en dos máximos para cada familia, esto es, o son cortas (menor de 3 m) o son largas (20 m), a excepción de F5 que tiene un comportamiento más heterogéneo al tener una variación en su rango de 1 a 20 m.

ZOCOTEACA OAX.
ALTERNATIVA B

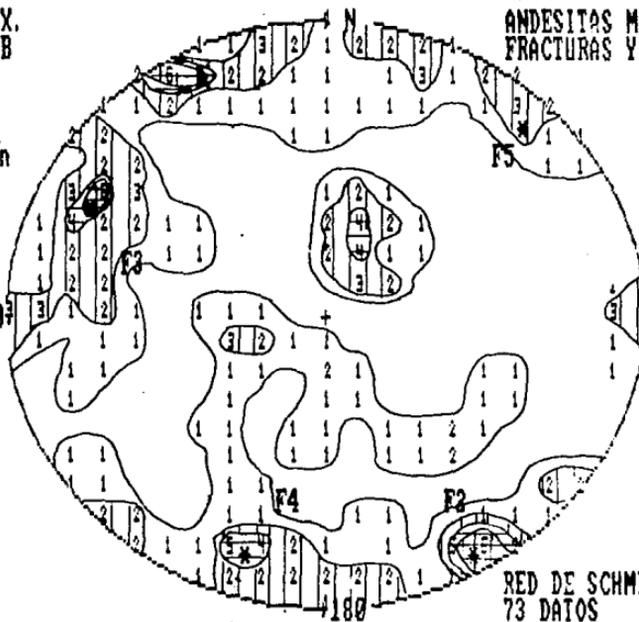
ANDESITAS M.I.
FRACTURAS Y FALLAS

Concentración



270°

190



FAMILIA

ORIENTACION

Dirección

Echado

Echado

F2	151°	86°
F3	123°	69°
F4	017°	72°
F5	224°	74°

RED DE SCHMIDT (H1)
73 DATOS

Figura. 8

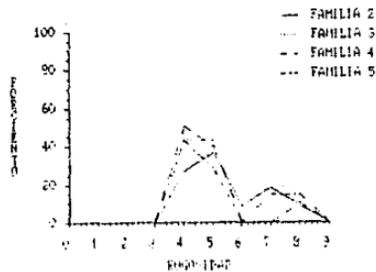
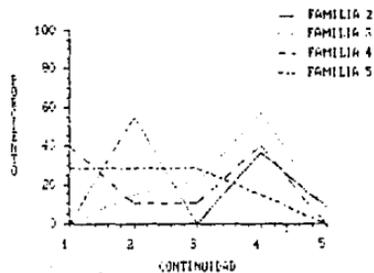
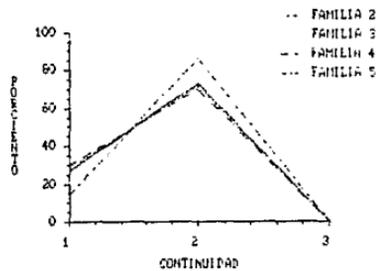
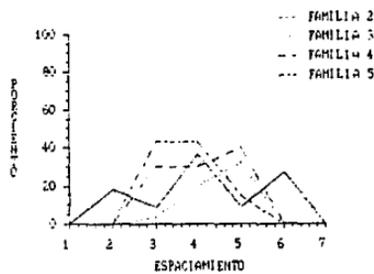
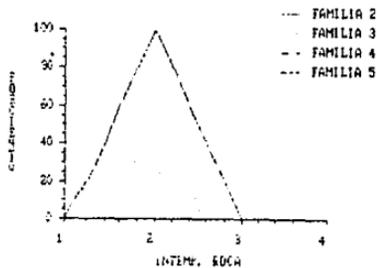
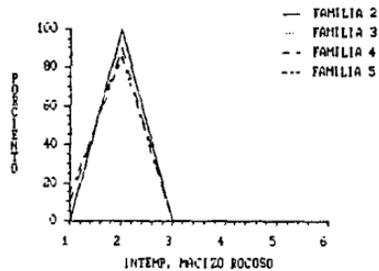
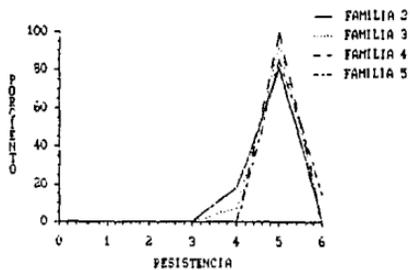
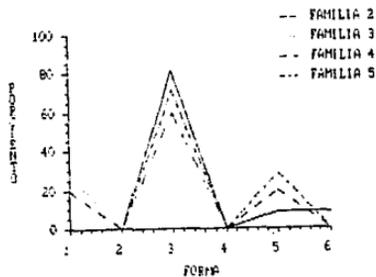
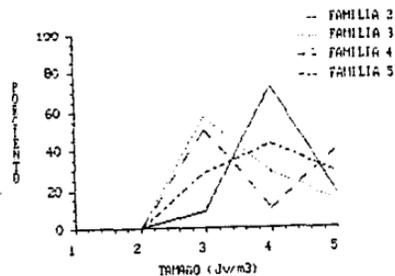
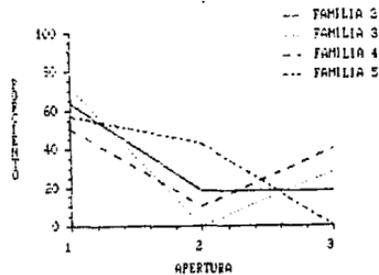


FIGURA. 9



TESIS PROFESIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
 BAMA MARTINEZ PCD JAVIER
 BATICA HERNANDEZ CEBAN

FIGURA. 9



TESIS PROFESIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA U N A M

BAMA MARTINEZ FCO JAVIER
 BATICA HERNANDEZ CESAR

FIGURA. 9

En cuanto a la rugosidad, todas las familias presentan una superficie ondulada rugosa-lisa a plana rugosa-lisa, siendo menos común ésta última.

La apertura presente es comúnmente cerrada y en pocas ocasiones abierta, a excepción de F3 y F4, las cuales tienen un mismo porcentaje. El tamaño de bloques que se forman por la intersección de fracturas, varía de mediano (de 3 a 10/m³) a muy pequeños (mayor de 30/m³), lo que produce bloques de tamaño variado en toda esta margen.

Las familias mejor representadas se caracterizan por tener:

- Espaciamiento - cerrado a amplio (6 a 200 cm).
- Continuidad - subcontinua a continua.
- Persistencia - 3 a 20 m.
- Rugosidad - ondulada rugosa-lisa a plana rugosa-lisa.
- Apertura - cerrada.
- Tamaño de bloques - mediano a pequeño.
- Forma - tabular a irregular.

MARGEN DERECHA. Las familias de discontinuidades que se presentan en esta zona son:

F1 = 325/18 grados

F2 = 154/75 grados

F4 = 007/79 grados

F5 = 224/74 grados

y cuya concentración, está representada en el diagrama de conteo de polos de esta margen (figura 10). La figura 11 muestra las características de las familias de esta margen en por ciento.

ZOCOTEACA OAX.
ALTERNATIVA B

ANDESITAS M.D.
FRACTURAS Y FALLAS

Concentracion



6%



4%

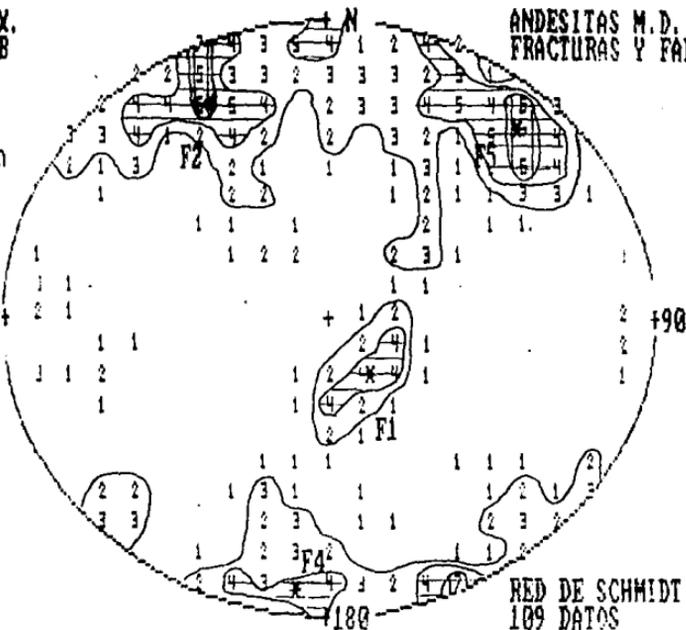


2%

270°

190

FAMILIA	ORIENTACION	
	Dirección	Echado
	Echado	
F1	325°	14°
F2	154°	75°
F4	007°	79°
F5	224°	74°



RED DE SCHMIDI (H1)
109 DATOS

Figura. 10

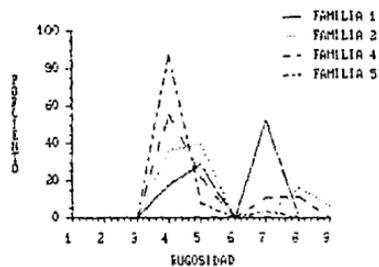
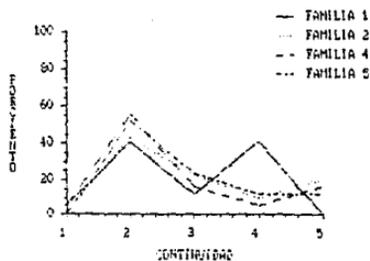
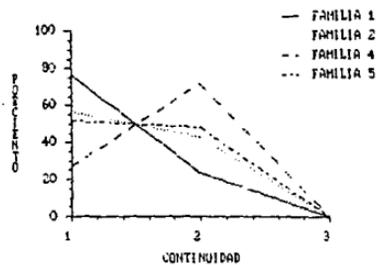
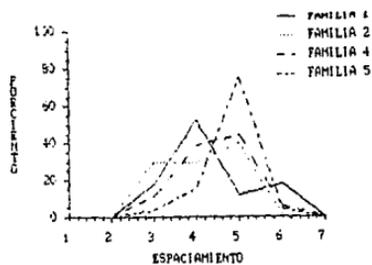
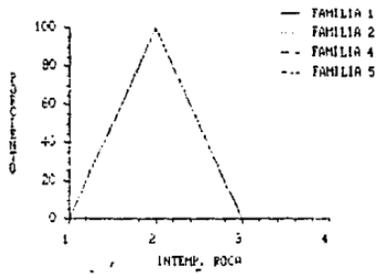
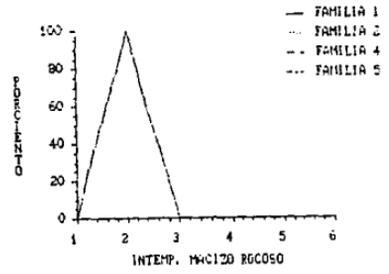
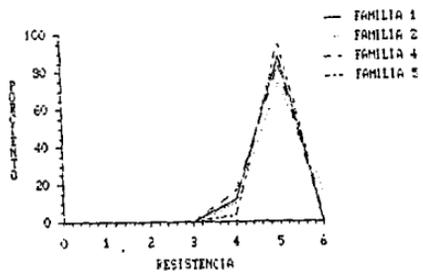
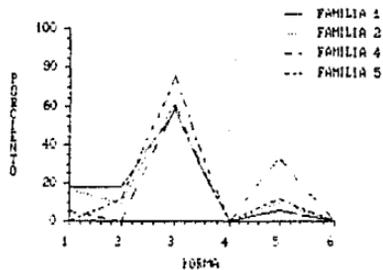
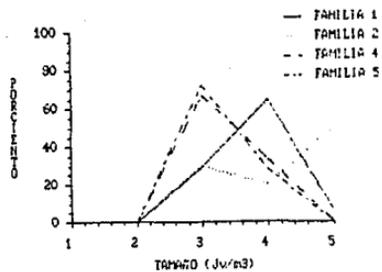
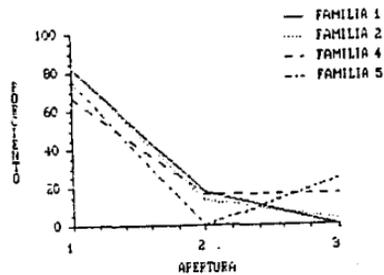


FIGURA. II



TESIS PROFESIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA DE H.A.M.
 RAMA MARTINEZ FLO JAVIER
 BATIA HERNANDEZ IZARR

FIGURA. II



TESIS PROFESIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA U N A M

BAMA MARTINEZ PGO JAVIER
 Batica HERNANDEZ CERAR

FIGURA. 11

El espaciamiento que presentan varia de moderado a muy amplio, con separación entre 0.40 y 3 m, siendo el mas común, entre todas las familias el amplio, que varia de 0.6 a 2 m; se presentan de continuas a subcontinuas, con excepción de F4 que generalmente se presenta subcontinua; la gráfica de persistencia presenta un máximo variable entre 1 y 3m para todas las familias, teniendo F1, F2 y F4 un máximo secundario.

Para F1, se trata de una grafica con dos máximos primarios en los rangos de 1 a 3 y 10 a 20m, en tanto que para F2, F4 y F5 se tiene un máximo secundario mayor de 40m, este máximo lo interpretamos como producto de la cercanía de la toma de datos a la falla FVI.

En cuanto a la rugosidad, la gráfica muestra dos tipos para todas las familias; una ondulada rugosa-lisa y otra plana rugosa-lisa aunque F1 su moda es plana rugosa, en tanto que la moda general para las demás familias es ondulada rugosa.

La apertura de las discontinuidades de las diferentes familias es cerrada, llegándose en raras ocasiones a presentarse abiertas como F5, pero eso resulta poco común. La forma de los bloques para las diferentes familias, son generalmente medianos (3 a 10 fracturas por m³), aunque para F2 el tamaño dominante es muy pequeño; para F1, el tamaño es pequeño, de forma tabular; menos comúnmente es la forma masiva o irregular.

En resumen, las familias que afectan a esta margen presentar generalmente dos máximos en las diferentes características de las discontinuidades, uno primario y otro secundario, característica que se asocia a los efectos de la falla transcurrente FVI; estos efectos disminuyen conforme nos alejamos de la zona de falla.

Finalmente se pueden caracterizar las discontinuidades que afectan al macizo rocoso como:

- Espaciamiento - 0.6 a 2m.
- Continuidad - continua.
- Persistencia - 1 a 3m.
- Rugosidad - ondulada rugosa a lisa.
- Apertura - cerrada.
- Tamaño de bloques - mediano a pequeño.
- Forma - tabular a irregular.

En resumen, para ambas márgenes, el comportamiento es diferente en el espaciamiento y persistencia de las familias que las afectan, siendo menos afectada la margen derecha que la izquierda.

Como se observa en las figuras anteriores, para ambas márgenes las familias presentan dos máximos en sus características que se pueden definir como primario y secundario, en función de la cantidad de datos que tiene cada familia. Este hecho lo atribuimos a la posición que guarda el punto de la toma de datos con respecto a la cercanía a la zona de falla FVI.

CAPITULO 4 GEOFISICA

4.1 GENERALIDADES

Este capítulo tiene como finalidad, mostrar de manera general el método geofísico empleado y los resultados obtenidos, para complementar el estudio geotécnico del proyecto (información obtenida de Geoproyectos, 1987). En el proyecto Zocoteaca se aplicó el método sísmico de refracción, el cual se basa en la transmisión de las ondas elásticas a través del medio que se desea estudiar. Este método se apoya en la teoría de la solución de la ecuación de onda, ya que ésta relaciona a la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas con las propiedades elásticas del subsuelo.

Empleando el método geofísico anterior, se planeó una serie de líneas de exploración, a fin de conocer características importantes del subsuelo a lo largo de la zona del eje de la boquilla, así como del banco de material.

Una vez procesada e interpretada la información de campo, se realizó una integración con la geología para cubrir los objetivos siguientes:

- a) Definir profundidades de limpia.
- b) Homogeneidad de las formaciones.
- c) Configurar el contacto roca-aluvión

La aplicación de los métodos de sismología tienen como finalidad definir el comportamiento elástico de los materiales del subsuelo a lo largo de cada línea de exploración sobre el eje de la boquilla.

La sismología de refracción es un método que consiste en la medición (en puntos conocidos a lo largo de la superficie del terreno) de los tiempos de tránsito de las ondas longitudinales o compresionales (ondas P) generadas mediante alguna fuente de energía.

La fuente de energía es usualmente una pequeña carga de explosivo; esta energía es detectada, amplificada y almacenada mediante un equipo especialmente diseñado para este propósito.

El momento de la explosión o sea el "tiempo cero" es almacenado en la memoria del equipo y posteriormente se registra en papel (sismograma) a fin de demostrar, los tiempos de arribo de las ondas elásticas.

La información de campo consiste en tiempos de tránsito y distancias, las cuales son procesadas para ser traducidas en términos de velocidades de capas y profundidades de contactos entre capas.

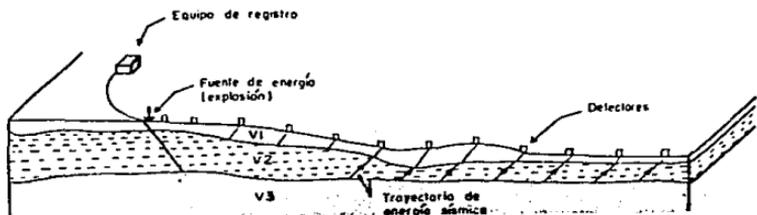
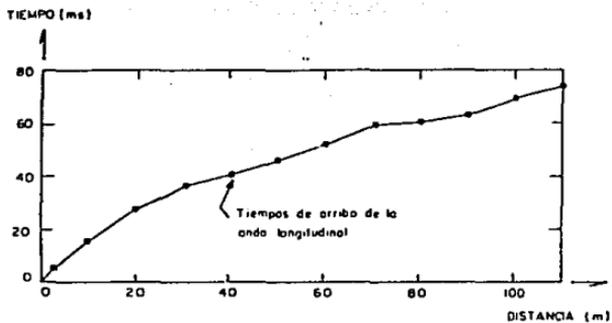
El dispositivo de campo anteriormente descrito se ilustra en la figura 12. Todas las mediciones son realizadas sobre la superficie del terreno y la estructura del subsuelo (capas refractoras), son inferidas de las técnicas de interpretación basadas en las leyes de propagación de energía.

La refracción o desviación angular que un pulso sísmico sufre cuando pasa de un material a otro, está fundamentado en las leyes de Snell y en el fenómeno de incidencia crítica.

Durante los trabajos de exploración, se realizaron tres disparos: dos cortos y uno central. Los disparos cortos se realizaron a 5m de longitud con respecto al geófono (detector) más cercano; por su parte, los disparos largos se ubicaron a 25 m del geófono más cercano y el disparo central se ubicó en la parte media del arreglo de detectores.

El equipo de medición empleado fue el siguiente:

- a) Sismógrafo portátil marca "Geometrics", tipo "señal mejorada", de 12 canales, modelo ES-1210F. Este equipo cuenta con las siguientes características:
 - Graficador electrosensitivo que imprime sismogramas sobre papel aluminio.
 - Monitor de tubo de rayos catódicos que despliega las señales sobre una pantalla a fin de optimizar la información directamente sobre ésta.
 - Filtros que permiten separar la señal del ruido.
 - Registro opcional para cinta digital magnética a fin de almacenar datos sísmicos en cintas de computadora.
- b) Detonador de dinamita que puede ser sincronizado con el sismógrafo.
- c) Juego de geófonos con bobina vertical.
- d) Juego de hidrófonos para trabajos sobre el cauce.
- e) Cable de conexión con diferentes entradas para cada detector.
- f) Batería de 12 volts para el sismógrafo.



(Tomado de Geoproyectos, 1987.)

$V3 > V2 > V1$ Velocidades de cada capa

FIGURA 12 ESTUDIO SISMICO DE REFRACCION

TESIS PROFESIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA UNAM
 GAMA MARTINEZ FCO. JAVIER
 GATICA HERNANDEZ CESAR

4.2 RESULTADOS

En el presente apartado se mostraran los resultados de la interpretación de datos geofísicos obtenidos. Principalmente se describirán los espesores y velocidades de los materiales en la alternativa B con el propósito de conocer los espesores de acarreo. En la alternativa B se realizaron ocho líneas sísmicas: tres longitudinales, tres transversales y dos diagonales al cauce, a partir de las cuales se obtuvieron tres unidades geosísmicas. Se definió una capa superficial de acarreos sueltos con un espesor que varía de 2 a 4 metros y velocidades bajas (300 a 890 m/s).

La segunda capa corresponde a acarreos más consolidados cuyo espesor a lo largo de las diferentes líneas varían de 5 a 14 metros con velocidades de 1800 a 2190 m/s.

Debajo de estos acarreos se determinaron velocidades de 2000 a 4000 m/s las que se atribuyen a la andesita B2.

Es importante hacer mención que en algunas secciones solo se interpretaron 2 capas (líneas 1, 3 y 8) y que por su corta longitud no permitió una mayor profundidad de investigación.

La tabla 10 y el plano 3, muestran los resultados descritos anteriormente.

Unidades Geosísmicas
Alternativa "B"

UNIDAD	VELOCIDAD (m/s)	ESPESOR (m)	TIPO DE MATERIAL
1	300 - 890	2 - 4	ACARREO SUELTO
2	1800 - 2190	5 - 14	ACARREO MAS COMPACTO
3	2200 - 4000	INDEFINIDO	ROCA ANDESITICA

Tabla 10

De los resultados así obtenidos, podemos decir que la profundidad de limpia es de 18m en el centro del cauce y hacia la margen izquierda, disminuyendo constantemente hacia la margen derecha (plano 3).

CAPITULO 5 GEOTECNIA

5.1 PRUEBAS DE LABORATORIO DE LA ROCA INTACTA

Con el fin de conocer el comportamiento del macizo rocoso, se programaron una serie de pruebas de laboratorio en muestras de roca (Geoproyectos, 1987), las cuales se trató fueran lo más representativas del macizo rocoso.

Las pruebas realizadas a las muestras consistieron en: cálculo del peso volumétrico, la resistencia a la compresión, abrasión, intemperismo acelerado y los módulos de elasticidad, así como una serie de análisis petrográficos.

A continuación se hace un pequeño resumen de cada una de las pruebas y su importancia en la definición del macizo rocoso.

- Peso Volumétrico

El peso volumétrico de una roca es el cociente del peso de la muestra entre el volumen que esta ocupa. Esta propiedad es básica para el cálculo de cargas y para estimar los efectos deformacionales que el macizo rocoso sufrirá, siendo uno de los factores que influye en el diseño de la obra civil.

- Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es una propiedad de suma importancia para conocer el comportamiento de la roca al verse sometida a esfuerzos compresionales, a parte de ser un elemento importante que ayuda a caracterizar el macizo rocoso.

Esta prueba se realizó a especímenes cilíndricos, con una relación de esbeltez (altura / diámetro) de dos.

Esta prueba se ejecuta aplicando cargas axiales en una sola dirección (sin confinamiento) a cada una de las muestras.

- Abrasión

La resistencia a la abrasión de un espécimen representa la pérdida de material al someterse a un proceso de desgaste físico durante un determinado tiempo; su valor esta dado en %.

Este tipo de prueba se aplica preferentemente al material que se usará como banco de material para conocer la calidad de este en función de su resistencia a la erosión. A esta prueba se sometieron muestras de andesita (B1).

- Intemperismo Acelerado

En la prueba de intemperismo acelerado se destaca la capacidad de la roca a resistir las acciones agresivas de tipo químico, a las cuales se verá expuesto el material. Esta prueba consiste en someter la muestra a una solución saturada de ácido sulfhídrico al 10% durante un determinado tiempo, cuantificándose al final el material perdido.

Al igual que la prueba anterior esta se realiza para bancos de material.

- Módulos de elasticidad

El módulo de elasticidad es importante para estimar la deformabilidad de los materiales al someterlos a un esfuerzo, sea este compresional o tensional. Los módulos fueron obtenidos a través de pruebas dinámicas de laboratorio, por medio de un equipo sónico, con el que se obtienen velocidades medias de ondas compresionales (V_p) y transversales (V_s), con las cuales es posible determinar: Módulo de Young, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez.

La tabla 11 presenta las propiedades físicas y mecánicas de la unidad B2.

RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE LA ROCA INTACTA

LITOLOGIA	D g/cm ³	Tc Kg/cm ²	Vp m/s	Vs m/s	E 5 10 Kg/cm ²
ANDESITA BA- SALTICA	2.63	944	6450	2200	1.5

Tabla 11

DONDE

- D = Peso Volumétrico Saturado
- Tc = Resistencia a la compresión
- Vp = Velocidad de la onda compresional
- Vs = Velocidad de la onda transversal
- E = Módulo de elasticidad

- Análisis petrográfico

Su importancia radica en proporcionar una primera zonificación con bases litológicas del macizo rocoso, además de la definición de las propiedades texturales y mineralógicas de los constituyentes de la roca, así como su interrelación; pudiéndose definir en ocasiones, microestructuras asociadas a grandes fenómenos (hidrotermalismo, fracturamiento, intemperismo, grado de cementación de la roca, etc). En el anexo se encuentran las descripciones petrográficas detalladas de las muestras analizadas.

5.2 CLASIFICACION INGENIERIL DE LA ROCA INTACTA

Para el presente trabajo, la clasificación ingenieril utilizada fue la propuesta por Deere y Miller (1962) la cual tiene gran aceptación por los resultados obtenidos de ella.

Por roca intacta se entiende, a la roca de la cual se pueden tomar muestras para su ensayo en laboratorio, las cuales no cuentan con estructuras a gran escala como pueden ser estratificación, fallas, fracturas, etc.

Las propiedades que esta clasificación utiliza son: la resistencia a la compresión simple y el módulo de elasticidad. Los valores utilizados en esta última propiedad son los obtenidos en laboratorio, en las pruebas de compresión simple y las pruebas sónicas.

Los resultados son representados en una gráfica bilogarítmica para su interpretación, utilizando las propiedades antes mencionadas (figura 13). Las categorías de resistencia se indican en la parte superior de la gráfica y el módulo relativo, se deduce de la posición respecto a las líneas diagonales.

En la tabla 12, se resumen las propiedades de la unidad andesítica B2, consideradas dentro de esta clasificación.

CLASIFICACION DE ROCA INTACTA (Según Deere y Miller 1966)

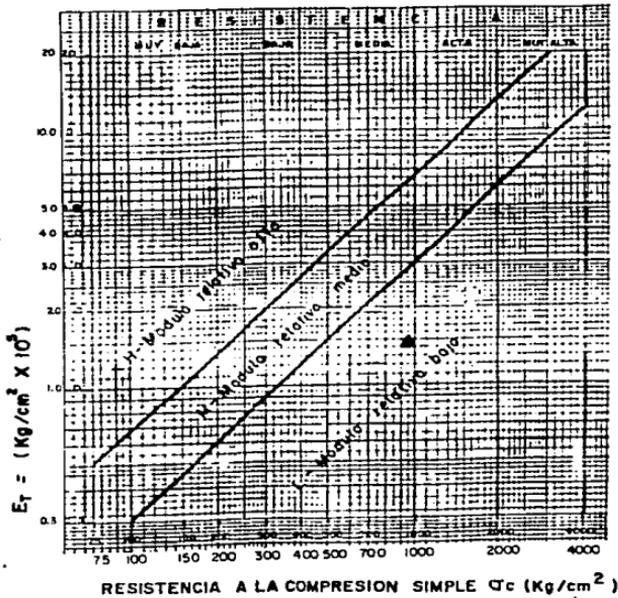


Figura. 13

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

GAMA MARTINEZ FCO. JAVIER
GARCIA HERNANDEZ CESAR

CLASIFICACION INGENIERIL DE LA ROCA INTACTA
(Según Deere y Miller, 1966)

LITOLOGIA	RESISTENCIA Kg/cm ²	DESCRIPCION	E Kg/cm ²	MODULO RELATIVO
ANDESITA	944.5	MEDIA A ALTA	50000	BAJO

Tabla 12

5.3 CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO

Una vez procesada la información geológica y geofísica obtenida en campo, se definió una sola clase de similar calidad para el macizo rocoso de la alternativa de boquilla.

Esta clasificación es el resultado de la integración obtenida a través de:

- La clasificación ingenieril de la roca intacta.
- Las clasificaciones geomecánicas para macizos rocosos propuestos por el NGI, y CSIR.
- La clasificación geotécnica básica (BGD).
- Estudios geofísicos.

EVALUACION DEL RQD.

El RQD o índice de calidad de la roca propuesto por Deere (1963), es un parámetro muy importante dada la información que sobre fracturamiento proporciona, así como, por su utilización en varias de las clasificaciones posteriores. Por no contar con perforaciones y los núcleos de rocas necesarios para evaluar este parámetro, su valor fue obtenido en forma indirecta mediante datos de campo, por medio del índice volumétrico de fracturas (Jv) por medio de la expresión:

$$RQD = 115 - 3.3 Jv$$

la cual fue propuesta por Palmstrom (1975) y reconocida por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1979) y que da una buena aproximación al valor real. El "Jv" corresponde al número de fracturas por metro cúbico, valor que se obtiene selectivamente por unidad de roca y unidad geotécnica.

Este índice se evaluó utilizando los promedios de intersección entre discontinuidades medidos en campo para el BGD y por medio del valor modal obtenido del espaciamiento registrado en la descripción cuantitativa de las discontinuidades.

Aunque los valores de RQD obtenidos para la unidad B2, alternativa B son bajos, no son el reflejo fiel de la unidad ya que por las observaciones hechas en campo, este valor pueda ser más alto, dadas las condiciones geológicas en que se haya enmarcada esta unidad.

La tabla 13 resume los valores de R.Q.D. para la unidad B2, estimados por medio de la expresión mencionada anteriormente; esta estimación se realizó para cada margen.

ESTIMACION DE R.Q.D. EN BASE A LOS DATOS SUPERFICIALES

MARGEN	LITOLOGIA	Jv	R.Q.D.	CALIDAD
B2 (MI)	ANDESITA BASALTICA (ZONA SANA)	16.4	61	REGULAR
B2 (MD)		15	66	REGULAR

Tabla 13

DESCRIPCION GEOTECNICA BASICA (BGD)

La descripción geotécnica básica (BGD) propuesta por la Comisión para la Clasificación de Rocas y Macizos Rocosos de la ISRM (1980), define 3 parámetros fundamentales para la descripción o zonificación de un macizo rocoso en base a su comportamiento.

Estas características están enmarcadas en:

- Nombre de la roca
- Dos características estructurales del macizo rocoso (espesor de capas e intersección de fracturas).
- Dos características mecánicas (resistencia a la compresión simple de la roca intacta y el ángulo de fricción de las fracturas).

Se hace la aclaración que el ángulo de fricción se definió indirectamente a través de los valores obtenidos por medio del RMR y por las observaciones hechas en campo.

La tabla 14 muestra a la unidad andesítica B2 zonificada en base al B.G.D.

**ZONIFICACION SEGUN LA DESCRIPCION GEOTECNICA
BASICA (BGD)**

LITOLOGIA	ESPOSOR DE LAS CAPAS	INTERSECC FRACT.	RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE	ANGULO DE FRICCION	SIMBOLOGIA
ANDESITA EN AMBAS MARGENES	MASTIVA	MUY SEPARADA, EN OCASIONES MUY CERRADA	DURA	MODERADA	LO F1,5 R4 A3
	LO	F1,5	R4	A3	

Tabla 14

CLASIFICACION NGI

La clasificación Ingenieril del "Norwegian Geotechnical Institute" (NGI) de macizos rocosos para el diseño de soporte de Túneles fue propuesta por Barton, Lien y Lunde (1974), definiendo el parámetro "Q", representativo de la calidad del macizo rocoso con relación a la estabilidad de túneles.

El valor de "Q" está en función de seis características que se identifican durante el levantamiento geotécnico. La expresión que define a "Q" es:

$$Q = (RQD/J_n) (J_r/J_a) (J_w/SRF)$$

DONDE:

RQD = Índice de calidad de la roca

J_n = Número de familias de discontinuidades

J_r = Valor de la rugosidad de las discontinuidades

J_a = Valor de la alteración de las discontinuidades

J_w = Factor de la relación de agua en discontinuidades

SRF = Factor de relación de esfuerzo

La tabla 15 resume los valores de "Q" obtenidos en base a la relación anterior, (los valores de RQD son los obtenidos en función del Jv como ya se explicó) y utilizando la tablas de conversión para Jn, Jr, Ja, Jw y SRF propuesta por Barton, las cuales están basadas en observaciones de campo y con las que se clasificó el macizo rocoso.

**CLASIFICACION GEOMECANICA
EN BASE A BARTON (NGI)**

LITOLOGIA	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	CALIDAD
ANDESITA	61	E	B	B	A	1.5	20	BUENO
BASALTICA	66	E	B	B	A	1.5	22	BUENO

Tabla 15

CLASIFICACION CSIR

La clasificación geomecánica de macizos rocosos propuesta por Bieniawski (1979) del Instituto de Investigaciones de Sudáfrica (CSIR) se evalúa a partir del índice RMR. Esta clasificación está basada en las características del macizo rocoso.

El índice RMR se calcula mediante 6 parámetros, 5 derivados de las características del macizo rocoso y el sexto asociado a un ajuste en base a la orientación de las discontinuidades, las cuales, en el mejor de los casos, sumarán 100 puntos.

La expresión que define el índice es:

$$RMR = A + B + C + D + E - F$$

Donde:

- A = Resistencia a la compresión simple ó índice de carga puntual.
 B = RQD (índice de calidad de la roca)
 C = Espaciamiento de discontinuidades
 D = Características de las discontinuidades
 E = Condiciones del agua subterránea
 F = Ajuste por orientación de las discontinuidades

Con esta clasificación, al igual que la anterior se pudo caracterizar de una forma más detallada al tomarse parámetros diferentes.

Los valores dobles indican los máximos y los mínimos existentes en algunos de los parámetros por presentarse variaciones en las propiedades del macizo rocoso.

La tabla 16, resume los valores del R.M.R. para la unidad B2, obtenidos en base a la expresión anterior.

CLASIFICACION GEOMECANICA EN BASE A BIENIASWKI (CSIR)

LITOLOGIA	RESISTENCIA	R.Q.D.	ESPACIAMIENTO	CARACT. DISCONTINUIDADES	FLUJO DE AGUA	AJUSTE	RMR (VALOR)	CLASE	CALIDAD
(MI)	7	13	20 A 25	20	8	-7	66 A	II	BUENA
ANDESITA B2							61		
(MD)	7	13	20 A 25	20	8	-7	66 A	II	BUENA
							61		

Tabla 16

CORRELACION DE CLASIFICACIONES

El resultado del analisis de las características del macizo rocoso se basó en el BGD, Q y RMR. Los dos últimos índices fueron calculados recíprocamente con la finalidad de definir la desviación de los valores obtenidos en base a la ecuación:

$$R.M.R. = 9 (\ln Q) + 44$$

En la figura 14 se observa una desviación mínima en los valores, definiéndose una confiabilidad del 90% para los datos obtenidos.

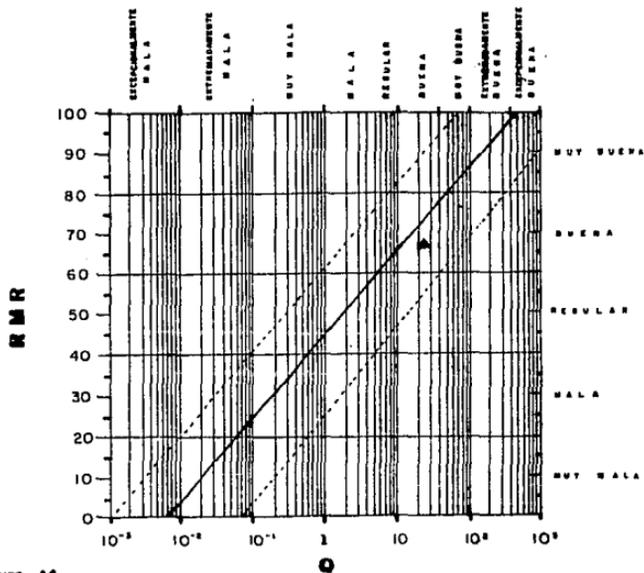
La tabla 17 es el resultado de la correlación de los diferentes índices obtenidos.

RESUMEN DE CLASIFICACION PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS UNIDADES GEOTECNICAS

LITOLOGIA	RMR	RMRf (Q)	Q	Qf (RMR)	CLASE RMR	CLASE Q	BGD*	CARACTERIZACION
(M1)	61 A 66	71	20	7 A 11	BUENA	- BUENA	L0 F1,5 R4 A3	BUENA A MUY BUENA
ANDESITA B2								BUENA
(M2)	61 A 66	72	22	7 A 11	BUENA	- BUENA	L0 F1,5 R4 A3	BUENA A MUY BUENA

Tabla 17

CORRELACION ENTRE EL INDICE ϕ Y RMR



Figuro. 14

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

SAMA MARTINEZ PCD. JAVIER
SANTICA HERNANDEZ CESAR

20

5.4 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Los estudios que a continuación se describen, están enfocados a evaluar la estabilidad de los taludes en la zona de la boquilla. Los análisis, se basan en los estudios estadístico-estructurales de las discontinuidades superficiales cartografiadas a lo largo de la zona de la alternativa.

El levantamiento estructural, consistió en obtener la inclinación y el acimut del echado de los planos estructurales, así como los principales rasgos geológicos y propiedades de las discontinuidades que influyen en la evaluación de la estabilidad. El diseño apropiado de un talud en roca, requiere de datos geológico-estructurales confiables, particularmente los referentes a las discontinuidades. Entre las diferentes propiedades que se obtuvieron de ellas, están: el espaciamiento entre los planos de discontinuidad, la rugosidad de las paredes de las fracturas, la continuidad de los planos estructurales que permiten determinar las posibles dimensiones de las cuñas formadas por la intersección de los planos estructurales; la apertura y el relleno de las fracturas, las cuales tienen una influencia preponderante en la estabilidad de las masas rocosas, análisis realizado en el capítulo 3.2.

Para estudiar la estabilidad de los taludes en los posibles cortes, se empleó el método de análisis cinemático, el cual es una técnica gráfica que permite evaluar la estabilidad de una manera preliminar; como herramientas se emplean las proyecciones estereográficas, algunos datos preliminares de resistencia y los aspectos geométricos de los taludes a estudiar. Parte fundamental de los análisis son los datos estructurales y su descripción cuantitativa ya analizada en capítulos anteriores.

Este análisis contempla la evaluación preliminar de la estabilidad, estudiando principalmente las relaciones geométricas de los cortes, en combinación con los rasgos estructurales como la orientación e inclinación de las discontinuidades; así como un ángulo de fricción que en este caso se consideró del orden de 30 grados.

5.4.1 ANALISIS CINEMATICO DE LA ALTERNATIVA DE BOQUILLA

El presente análisis tuvo como objetivo, el evaluar la estabilidad de posibles excavaciones como por ejemplo túneles de desvío, corte para vertedores y estabilidad de taludes en la boquilla.

En primer lugar se construyeron diagramas estereográficos mostrando la orientación preferencial de las familias de discontinuidad, proyectadas en forma de arcos para cada margen; así como la resistencia al corte de los planos de discontinuidad representados por el ángulo de fricción interna.

Al análisis llevado a cabo en los diagramas estereográficos, se definieron el vector de la dirección del echado y el echado de los planos de discontinuidad. Estos valores son de suma importancia ya que indica el ángulo de máxima pendiente permitido, en el caso que fuera mayor que el ángulo de fricción. La posición polar de los planos también se han definido ya que ayudan a identificar la inestabilidad por volteo.

Para que ocurra deslizamiento es necesario que exista la condición:

$$\text{PSI "f" mayor PSI "P" mayor FI}$$

Donde:

PSI f = Pendiente del talud

PSI p = Echado del plano de debilidad o falla

FI = Angulo de fricción

La intersección de los planos de discontinuidad se pueden también definir en los diagramas estereográficos correspondientes, indicando a la familia que pertenecen.

Del análisis de la tabla 18 se determino la figura 15, que define el ángulo máximo de seguridad en relación a la dirección de los cortes y las familias de discontinuidades que afectan. Por otro lado, también se indica el modo de falla que interviene para cada determinada dirección de los taludes. En base a esta tabla se define el ángulo máximo de seguridad de diseño recomendado para diferentes o posibles direcciones de corte. Este estudio ha permitido definir la estabilidad cinemática en base al concepto del cono truncado que mide intervalos de direcciones de cortes (en este caso a cada 15 grados), considerando todas las orientaciones posibles de los cortes a través de la alternativa de boquilla. Con este método se obtiene para cada talud la dirección y el ángulo máximo de corte con el cual se garantiza la estabilidad cinemática.

Con la ayuda de esta figura se ha visualizado en forma anticipada cuales serían los cortes con direcciones que podrían llegar a presentar los mayores problemas de estabilidad y de esta manera, diseñar las orientaciones e inclinaciones más convenientes; o bien enfocar estudios más detallados que permitan evaluar la estabilidad de ciertos taludes y el tratamiento del macizo rocoso.

ANALISIS CINEMATICO DE MAXIMO ANGULO DE SEGURIDAD

ALTERNATIVA B MI y MD

FAMILIA F1 = 325/18; F2 = 151/86; F3 = 123/69; F4 = 07/79; F5 = 224/74

RUMBO DE CORTE	DIRECCION DE LA INCLINACION DEL CORTE	ANALISIS DE FALLA											MODO DE FALLA	MAXIMO ANGULO DE SEGURIDAD DE DISEÑO DE TALUD
		PLANA			CURVA			VOLTEO						
		D2	D3	D4 D5	12, 3,4	13, 5	14, 5	N2	N3	N4	N5			
90	0	90	90	79	90	81	90	75	90	90	90	90	14,5	75
105	15	90	90	79	90	73	90	85	90	90	90	90	12,3,4	73
120	30	90	90	80	90	67	90	90	90	90	90	46	N5	46
135	45	90	85	81	90	64	90	90	90	90	90	46	N5	46
150	60	90	80	83	90	61	90	90	90	90	90	46	N5	46
165	75	90	75	86	90	61	90	90	90	90	90	90	12,3,4	61
180	90	88	72	88	90	64	86	90	90	90	90	90	12,3,4	64
195	105	88	70	90	90	67	77	90	90	90	90	90	12,3,4	67
210	120	87	69	90	90	73	71	90	90	90	90	90	13,5,03	71,69
225	135	87	69	90	90	81	67	90	90	90	90	90	13,5,03	69,67
240	150	86	70	90	86	83	63	90	90	90	90	90	13,5	63
255	165	87	72	90	82	90	61	90	90	90	90	90	13,5	61
270	180	87	75	90	79	90	63	90	90	90	42	90	13,5	63
285	195	88	80	90	77	90	67	90	90	90	42	90	13,5	67
300	210	88	85	90	75	90	71	90	90	90	42	90	13,5	71
315	225	90	90	90	74	90	77	90	90	90	90	90	13,5	77
330	240	90	90	90	75	90	86	60	90	90	90	90	14,5	60
345	255	90	90	90	75	90	90	60	90	90	90	90	14,5	60
360	270	90	90	88	79	90	90	56	90	90	90	90	14,5	56
15	285	90	90	86	82	90	90	54	90	53	90	90	14,5	54
30	300	90	90	83	86	90	90	54	90	52	90	90	14,5	54
45	315	90	90	81	90	90	90	56	35	53	90	90	14,5	56
60	330	90	90	80	90	90	90	60	35	90	90	90	14,5	60
75	345	90	90	79	90	85	90	66	36	90	90	90	14,5	66

Tabla 18

NOTA: MODO DE FALLA

D = PLANA
I = CURVA
N = VOLTEO

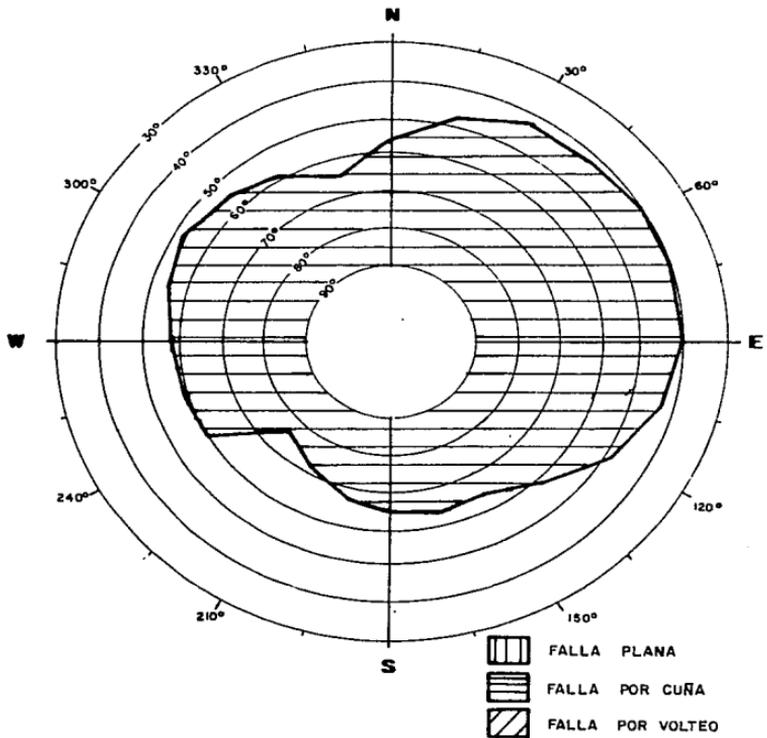


Figura. 18

Diagrama del cono truncado indicando el modo de falla y el ángulo máximo de seguridad según la dirección de la inclinación de la excavación.

TESIS PROFESIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA M.N.A.M.
 GAMA MARTINEZ FOD. JAVIER
 GATICA HERNANDEZ CESAR

En esta figura se ilustra también las direcciones del ángulo máximo de seguridad recomendado a consecuencia de la posición de las familias de discontinuidades determinadas que al conjugarse forman cuñas inestables o bien pueden dar lugar a desprendimiento de bloques por volteo o rotación, o deslizar como falla plana dada la inclinación y la salida de las discontinuidades hacia el talud o corte.

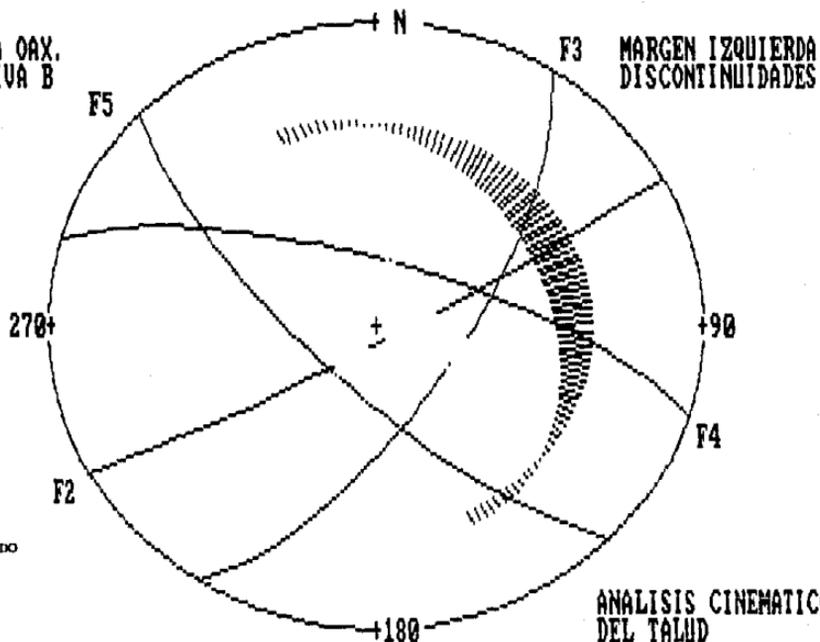
El macizo rocoso en esta alternativa está constituido por una andesita basáltica (B2) limitada aguas abajo por la toba epiclástica (Te) la cual presenta una estratificación delgada y que representa la discontinuidad más frecuente. En esta alternativa se observaron fallas que atraviesan el cauce del río aguas arriba. Se identificaron cinco familias de discontinuidad que se presentan en las figuras 16 y 17, para la margen izquierda y derecha, respectivamente.

Como puede observarse en la tabla 18, las familias F2, F3 y F6 pueden fallar por volteo pero dado el espaciamiento tan amplio que tienen estas familias (capítulo 3.2.2) se cree que el mecanismo para este tipo de falla en este sitio no se lleve a cabo, los valores siguientes aumentan considerablemente los rangos de estabilidad sobre todo en las direcciones NW, W y SW. Como se aprecia en la figura 15, a partir de la dirección 15 hasta 120 grados la estabilidad se reduce por efecto de cuñas que se formarían en excavaciones con pendientes de direcciones comprendidas en estos intervalos. Hacia la porción complementaria 120 hasta 240 grados la inclinación de los taludes pueden aumentarse hasta inclusive 78 grados en la dirección 225 a 315 grados. En la dirección 225 a 315 el ángulo de seguridad vuelve a disminuir en el orden de los 55 grados para posteriormente aumentar entre los 315 a los 15 grados de azimut.

Al analizar el talud de la margen izquierda se identifica a las familias F1, F2, F3, F4 y F5 como las que pudieran en un determinado momento, causar problemas de inestabilidad (figura 16).

Por otro lado, la familia F1 puede presentar problemas de inestabilidad por efectos de falla plana y también conjugarse con las familias F2, F3 y F4 respectivamente para formar cuñas que pudieran deslizar. Al comparar la figura 15 con la figura 16 se define también esta situación que indica un ángulo máximo de seguridad del orden de los 40 grados. Por otro lado, al comparar el ángulo del talud natural del terreno de la margen izquierda (41 grados) se observa una gran congruencia con el ángulo máximo de seguridad calculado. Para la margen derecha, por medio de la ilustración del cono truncado (figura 15), se observa que puede llegar a tener pendientes mayores (del orden de los 60 grados).

ZOCOTEACA OAX.
ALTERNATIVA B



FAMILIA	ORIENTACION	
	DIRECCION ECCADO	ECCADO
F2	051°	86°
F3	123°	69°
F4	017°	72°
F5	200°	74°

Nota : Angulo de Fricción = 30°
Talud = 065°/41°

ANALISIS CINEMATICO
DEL TALUD

FIGURA 16

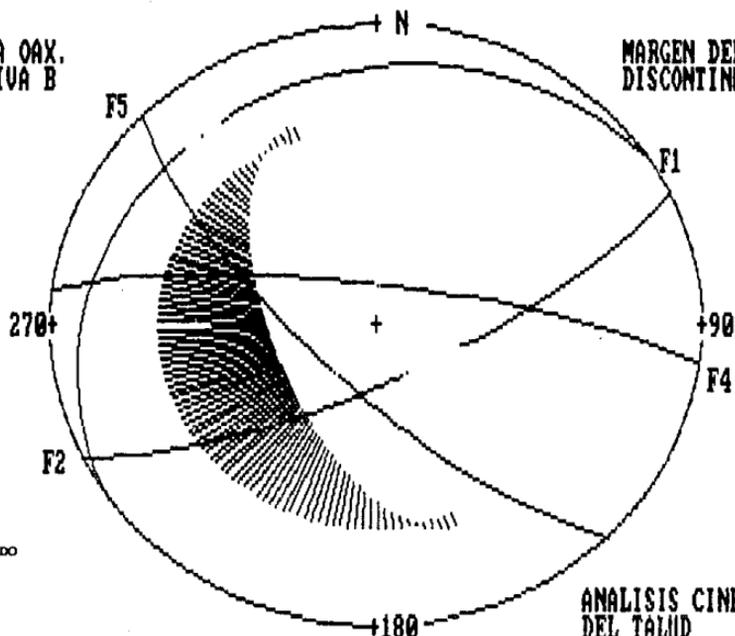
En efecto al analizar la figura 17 que muestra las familias de discontinuidades que afecta a la margen derecha, se observa que solo a través de las intersecciones de familias F4 y F5 se forman cuñas que pueden ser perjudiciales al talud en el caso que se rebasara el ángulo máximo de seguridad o de falla plana a través de la familia F5. Aguas abajo de esta alternativa existe un bloque afectado por la familia F5 que se le ha asociado este tipo de problemas y en el caso de aceptar esta alternativa sería necesario remover o tratar el macizo rocoso.

Por otro lado, la familia F5 podría presentar bloques aislados que fallarían por volteo, aunque por su espaciamiento separado se ve poco probable.

Al comparar la inclinación del talud natural (63 grados) con la información obtenida de la tabla 18 y la figura 17 se observa también una gran similitud con el ángulo máximo de seguridad obtenido que es del mismo orden.

ZOCOTEACA OAX.
ALTERNATIVA B

MARGEN DERECHA
DISCONTINUIDADES



FAMILIA	ORIENTACION	
	DIRECCION	ECHADO
F1	325°	18°
F2	154°	75°
F4	007°	79°
F5	224°	74°

Nota : Angulo de Fricción = 30°
Talud = 249°/63°

ANALISIS CINEMATICO
DEL TALUD

5.5 BANCOS DE MATERIAL

De las unidades litológicas que están expuestas en la zona de estudio, las rocas que presentan las mejores características por la calidad, volumen y ubicación para ser consideradas como fuente de material de enrocamiento, corresponde al basalto andesítico (banco 1). Como material para agregados, las gravas y arenas que se ubican en el cauce del río Mixteco a la altura del poblado de Zocoteaca, muestra buenas características (banco 2). Las arcillas como material impermeable son escasas. Además se realizó un estudio geosísmico con el objeto de conocer el contacto roca decomprimida, roca alterada y sana; más adelante se presentan los espesores correspondientes y la localidad de estos materiales desde el punto de vista geofísico. La tabla 19 muestra el volumen de estudios geosísmicos realizados al banco 1.

Volumen de estudios geosísmicos
sobre el banco de roca.

BANCO DE MATERIAL	LINEA	LONGITUD (m)
ANDESITA	1	200
B1	2	200

Tabla 19

BANCO DE ENROCAMIENTO

El banco de enrocamiento No. 1 se encuentra ubicado sobre un arroyo secundario afluente del Río Mixteco aguas abajo del poblado de Guadalupe Ramírez, a una distancia de 1.3 Km al NW de las Alternativas "C y D" (Plano 2). Se tiene acceso por este poblado y no representaría problema extender un camino corto del sitio a través del camino que da entrada a las alternativas.

Este banco está constituido por rocas ígneas de composición andesítica correspondientes a coladas del miembro volcánico de la Formación Huajuapán.

El color es gris oscuro y se encuentra más intemperizada que los conglomerados; la textura que esta roca tiene es pilotáutica, constituida principalmente por plagioclasas intermedias en una matriz criptocristalina y escasa clorita intersticial. Asimismo, a simple vista se observan vetillas de color rojo oscuro de óxidos de hierro cruzando en diversas direcciones y vetas de cuarzo (muestra 7, anexo).

El fracturamiento es denso y presenta tres direcciones preferenciales: F5 - 234/86 grados, F1- 032/14 grados, F4- 018/63 grados, son continuas y subcontinuas, con un espaciamiento moderado, la superficie de las discontinuidades son planas rugosas y onduladas rugosas y de apertura cerrada.

Esta roca es compacta y la matriz en la que están los cristales es de material criptocristalino.

Las fracturas presentan una película de óxido de cobre de color verde y también manchas rojas debido a oxidación. Por el estudio petrográfico se determinó que la roca está afectada por soluciones hidrotermales.

Para este banco se definieron tres unidades sísmicas: la primera corresponde a suelos con espesor de 1.5 a 3m y las velocidades de 280 a 390 m/s; la segunda con velocidades de 3370 a 4080 m/s cuyo espesor varía de 10 a 18 m y corresponde a una roca andesítica semicompacta; finalmente, la tercera unidad corresponde a una andesita compacta con velocidades altas (5000-5470 m/s) la cual muestra una excelente calidad para los fines que se persiguen.

La tabla 20 muestra los resultados anteriormente descritos.

Unidades Geosísmicas

UNIDAD	VELOCIDAD (m/s)	ESPESOR (m)	TIPO DE MATERIAL
1	280-390	1.5 - 3	SUELO
2	2370-4080	10 - 18	ANDESITA SEMICOMPACTA
3	5000-5470	INDEFINIDO	ANDESITA COMPACTA

Tabla 20

En las tablas siguientes, se presentan las características mecánicas de esta unidad (andesita B1), producto de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de intemperismo acelerado (tabla 21) y de desgaste de Los Angeles (tabla 22) usando varias mallas, así como otras características que son: forma y tamaño de los bloques, velocidad sísmica en campo y en laboratorio, densidad y resistencia a la compresión (Geoproyectos, 1987); esto ha permitido sacar algunas conclusiones acerca de las condiciones de este banco de enrocamiento, resumidos en la tabla 23.

Prueba de Intemperismo Acelerado

MALLAS	% RETENIDO	PESO MATERIAL EN Kg	PERDIDA EN 6"	PERDIDA EN 1"	PERDIDA EN 5 CICLOS
1 1/2 - 1"	60.6	1000	20	2	$\frac{60.6 \times 2}{100} = 1.2$
3/4" - 1/2"	39.4	650	50	7.7	$\frac{39.4 \times 7.7}{100} = 3.03$
		1650			4.23

Tabla 21

Prueba de desgaste Los Angeles

M A L L A S	PESO DEL MATERIAL Kg	MATERIAL PASA MALLA 12	DESGASTE %
1 1/2 - 1"	5.000		
1" - 3/4	5.000		
		1.800	
			18.0

Tabla 22

Nota: Número de esferas 12

**Características Mecánicas
(Andesita, B1).**

TAMAÑO Y FORMA DE BLOQUES	VELOCIDAD DE PROPAGACION ONDAS SISMICAS		DENSIDAD (g/cm3)	RESISTENCIA A LA COMPRESION Kg/cm2	RESISTENCIA AL INTemperismo	RESISTENCIA AL DESGASTE	COMENTARIOS
	m/s						
	CAMPO	LABORATORIO					
BLOQUES DE TAMAÑO MEDIANO A PEQUEÑOS, INDICE VOLUMETRICO DE JUNTAS Jv EN TRE 3 Y 10 MAYOR DE 30, DE FORMA FRAGMENTADA E IRREGULAR.	2370-4080 EN ANDESITA SEMICOMPACTA	4900	2.57	673.97	CON MALLAS 1 1/2" A 1/2" SE TIENE PERDIDAS DE 4.21; SE ESTA DENTRO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE 6% PARA ENROCAMIENTO (FOOKES Y POOLE, 1961), 18 % PARA AGREGADOS (ASTM 88) Y 12% PARA MAPOSTERIA S.C.T.)	CON MALLAS 1 1/2" A 3/4" SE TIENEN PERDIDAS DE 18.7 Y ESTA DENTRO DE LOS MAXIMOS PERMISIBLES DE 20% PARA ENROCAMIENTO (FOOKES Y POOLE 1961), 50% PARA AGREGADOS (ASTM 131) 50% PARA MAPOSTERIA (SCT)	ESTE MATERIAL EN SUS CARACTERISTICAS TANTO PARA RESISTENCIA AL INTemperismo COMO AL DESGASTE IA AL INTemperismo CUMPLE LAS CONDICIONES PERMISIBLES Y POR LO TANTO ES APTO PARA ENROCAMIENTO, AGREGADOS Y MAPOSTERIA.

Tabla 23

Se tiene un área de 30,000 m² y considerando un espesor mínimo de andesita compacta de 20m (según los datos sísmicos), se tendría un volumen de 600,000 m³. El espesor de despalle es de 1.5 a 3m con desarrollo de suelo, roca intemperizada y material rodado.

Dado que este material aflora desde el nivel del río hasta 40m hacia aguas arriba, sería recomendable que el frente de explotación se realizara a partir del río.

BANCO DE AGREGADOS

- BANCO 2 (GRAVAS Y ARENAS)

En el área de estudio especialmente en los sitios próximos al cauce del Río Mixteco, se encuentran amplias zonas de depósitos aluviales.

Por su cercanía y extensión se propone al banco localizado a 300m aguas abajo de la alternativa A.

El acceso se puede hacer en vehículo hasta el sitio mismo, desviándose del camino de terracería que une a Zocateca con la alternativa.

Las gravas y arenas están constituidas por rocas volcánicas de composición andesítica, basáltica y en menor proporción esquistos, conglomerados y calizas, los cuales se encuentran de redondeados a muy bien redondeados.

Según el estudio de granulometría por mallas, se obtuvo 63% de gravas, un 33% para arenas y un 3% de finos, por lo cual se ve la predominancia de agregados gruesos (Geoproyectos, 1987).

Por el tipo de roca que forma esta zona aluvial, se tiene que los minerales que componen los fragmentos no son reactivos para el cemento, a reserva de los esquistos que contienen algo de cuarzo.

La zona que se propone como Banco 2 tiene una longitud muy extensa de más de 500m por 100m de ancho mientras que la profundidad de los acarrees según la sísmica, se calcula del orden de 15m por lo cual, el volumen estimado para este banco es de 750,000m³.

Existen otros sitios en el río Mixteco, donde se puede explotar este material, como aguas abajo de la Alternativa "D" donde el curso del río cambia de dirección de norte a este, sin embargo, el volumen es menor.

Cabe hacer notar que las gravas tanto de la zona de limpia como de los bancos, puede utilizarse en los filtros de la cortina.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado del análisis realizado a lo largo de esta tesis, se desprenden las siguientes conclusiones:

- La secuencia estratigráfica para la región NW del Estado de Oaxaca, comienza con un basamento metamórfico de edad Paleozoico Tardío (Complejo Acatlán), posteriormente en discordancia angular se deposita una serie continental y marina de edad Jurásica al Terciario (Grupo Tecocoyunca, Formación San Isidro, Teposcolula y Huajuapán), secuencia coronada por rocas volcánicas del Terciario Superior y depósitos aluviales.
- El sismo de mayor magnitud en la región, ocurrió el 24 de octubre de 1980 con una magnitud de 7 en la escala de Richter y una intensidad de VIII en la escala de Mercalli. Su epicentro se localizó en la ciudad de Huajuapán de León.
- La zona de estudio se localiza en la parte central de un anticlinorio con su eje orientado N-S, el cual se erosionó en su núcleo dejando la zona, ausente de rocas mesozoicas y depositándose posteriormente, sobre el basamento metamórfico la secuencia terciaria.
- De la elipse de esfuerzos propuesta para la zona, se tiene que la orientación de los esfuerzos compresionales son en dirección NE 80 grados, mientras que los esfuerzos tensionales son en dirección NW 10 grados.
- La zona del proyecto se encuentra afectada por 9 sistemas de discontinuidades: 7 asociadas a fallas y fracturas, una a estratificación y una más a foliación.
- La principal estructura que afecta la zona de estudio, es una falla de transcurrencia sinistral y que por la concentración de focos sísmicos a lo largo de ella y observaciones de campo, se supone potencialmente activa.
- La alternativa que tiene mejores características (calidad del macizo rocoso, bajo volumen de obra, cercanía con la zona de riego y con los bancos de material, espesores reducidos de limpia, estabilidad de laderas, etcétera), es denominada alternativa B.
- Las principales estructuras que pueden afectar la alternativa de boquilla B son las denominadas fallas FVI y FVIII de dirección paralela a la cortina, así como la fractura f 53 la cual parece atravesarla perpendicularmente.
- Las familias de discontinuidades que afectan al macizo rocoso, presentan características que le confieren una permeabilidad baja y pocos problemas de inestabilidad.

- De los diferentes análisis y clasificaciones que se realizaron al macizo rocoso, se obtuvo un calificativo de bueno para este.
- De los bancos de material propuestos, estos presentan buena calidad y suficiente volumen; tanto el de enrocamiento como el de gravas y arenas, así como la cercanía a la zona de obra no pasa de los 2Km. La dificultad se presenta en el material de arcilla para la zona impermeable de la cortina, ya que se encuentra en volúmenes muy pequeños: en la zona de cultivo de los poblados de Zocoteaca (aguas abajo de la alternativa) y de Guadalupe Ramírez (aguas arriba de la alternativa).
- El sitio se localiza en una zona con alto riesgo sísmico, por lo que la construcción de la presa será altamente costosa, sin embargo, conociendo las necesidades de la región, esta obra debe llevarse a cabo.

De lo anterior se recomienda:

- Tomar muy en cuenta, que aún cuando el sitio está en una zona con sismos de menor frecuencia, estos llegan a ser de magnitudes altas, por lo que esto debe ser considerado en el diseño de la presa. Se recomienda que la obra sea de materiales graduados.
- Realizar estudios de sísmica de refracción en la zona de la alternativa de boquilla para definir características (existencia y/o continuidad) de la estructura f 53.
- Tres perforaciones a lo largo del eje de la boquilla para definir espesores totales de limpia (ver plano 3).
- Un estudio detallado de estabilidad para la unidad andesite B2 en la zona de la boquilla, así como para la unidad Te en caso de que se realice alguna obra sobre ella.
- Nivelación topográfica para definir zona de afectación de las aguas del embalse sobre todo para el poblado de Guadalupe Ramírez.
- Cuantificación del volumen de material arcilloso en la zona de Zocoteaca y Guadalupe Ramírez y en su caso, hacer un reconocimiento más regional para la localización de bancos de este material.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

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

Alencaster G. y Buitrón B. E., (1983). Fauna del Jurásico Superior de la Región de Petlalcingo, Estado de Puebla, Instituto de Geología, UNAM., Paleontología Mexicana Número 21.

Bazán S. y Bazán S.P., (1984). La Napa Precámbrica de la Carbonera durante la Orogenia Oaxaqueña. Resumen VII Convención Geológica Nacional, Sociedad Geológica Mexicana.

Bazán S. y Bazán S.P., (1986). El Complejo Acatlan, Prolongación Meridional del Geosinclinal Cordillerano. Resumen VII Convención Geológica Nacional, Sociedad Geológica Mexicana.

Bolt B.A., Lomnitz, C. and Mc Kevilly T.V., (1968). Sismological Evidence on the Tectonics of Central and Northern California and the Medocino Escarpement. Seismol. Soc. Amer. Bull., V. 58, p. 1725-1767.

Bonilla M., (1970). Surface Faulting and Related Effects, Cap. 3, Earthquake Engineering, R.L. Wiegel editor, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliff, N.J.

Cárdenas V.J., (1966). Contribucion al Conocimiento Geológico de la Mixteca Oaxaqueña: Minería y Metalurgia, México, No. 38, p. 15-107.

Commission on Classification of Rock and Rock Masses (ISRM) (1980). Basic Geotechnical Description (BGD) International Society for Rock Mechanics.

Commission on Testing Methods (ISRM) (1981). Rock Characterization Testing and Monitoring, Edited E.T. Brown International Society for Rock Mechanics, Pergamon Press.

Cserna Z., (1970). Reflexiones sobre algunos de los problemas de la Geología de la parte Centromeridional de México. Libro-Guía de la Excursión México, Oaxaca. Soc. Geol. Mex. México.

Dean B.W. y Drake Ch. H., (1978). Focal Mechanism Solutions and Tectonics of Middle America Arc. J. Geol. V. 86, III-128.

Deere D.V., (1968). Geological Considerations in Rock Mechanics in Engineering Practice, Ed. Stagg, K.G. y Zienkiewics, D.C., Wiley, New York, p. 1-20.

Erben H.K., (1956). Estratigrafía y Paleontología del Mesozoico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca y Guerrero, especialmente del Jurásico Inferior y Medio. Cong. Geol. Internacional. Session, México.

Esteva L., (1969). Seismic Risk and Seismic Design decisions. MIT Symposium on the Earthquake Resistant Design of Nuclear Reactors, Cambridge, Mass.

Exyco, S.A., (1977). Cuenca de Tlaxiaco, Oaxaca, Evaluación Económica Petrolera, Informe Interno, Petróleos Mexicanos.

Ferrusquia V.I. (1970). Geología del Área de Tamazulapañ-Teposcolula - Yuanhuatlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca. Libro-Guía de la Excursión México-Oaxaca Soc. Geol. Mex. México.

Figueroa J.A., (1975). Catálogo de sismos ocurridos en la República Mexicana, (1900-1974). Instituto de Ingeniería UNAM.

Flores de Dios González L., (1986). Estratigrafía de la Montaña de Guerrero en los límites con Puebla y Oaxaca. Tesis Profesional IPN.

Fries C. J.; Schlaeffer, C.J; Rincón - Orta, C., (1966). Nuevos Datos Geocronológicos del Complejo Oaxaqueño: Bol. Soc. Geol. Mexicana, t 29, n 1, p. 59 a 66.

García E. Climas de México. Inst. de Geografía. UNAM.

Geoproyectos, S.A. (1987). Estudios geológicos de los proyectos de Zocateca y Chilixtlahuaca, Oaxaca., Informe inédito.

Guzmán E.J., (1950). Geología del Noroeste de Guerrero, Asoc. Mexicana Geol. Petrol V2, N2.

Hoek E. and Bray J., (1978). Rock Slope Engineering, 3er. Ed., Institution of Mining and Metallurgy, London England, 308 p.

Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. Catálogo Sismológico

Isack B., y Molnar P., (1971). Distribution of Stress in the descending lithosphere from global Survey of focal-mechanism solutions of mantle earthquakes: Rev. Geophys. Space Phys, V. 9, p. 103-174.

King C.Y. and Knopff, L., (1968). Stress Drop in Earthquakes, Bul. Seismol. Soc. Am. 58, 249-261.

Mosquera M. y Melendez del P., (1984). Exploración Geológica por Uranio en el Distrito de Huajuapán de León, Oaxaca. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería. UNAM.

Ortega F., (1975). Notas preliminares sobre las eclogitas de Acatlán, Puebla: Bol. Soc. Geol. Mexicana, V. 35, p. 1-6

Ortega F., (1978a). Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca, Revista Instituto de Geología U.N.A.M Vol. 2, Núm 2.

Ortega F., (1978b). Geología del Contacto entre la Formación Acatlán Paleozoica y el Complejo Oaxaqueño Precámbrico al Oriente de Acatlán Estado de Puebla. Bol. Soc. Geol. Mexicana. V 39, p.27-28.

Raisz E., (1964). Landforms of México, Cambridge, Mass.

Ragan D.M., (1973). Structural Geology. 2nd. Ed., John Wiley and Sons.

Redpath B. B., (1974). Technical Report E-73-4 Seismic Refraction Exploration F., Engineering Site Investigations.

Reséndiz N.D., Marsal J.A., (1975). Presas de Tierra y Enrocamiento. 1a. ed. Ed. Limusa.

Rodríguez T. R., (1970). Geología Metamórfica del Area de Acatlán, Estado de Puebla, Libro-Guía de la Excursión México-Oaxaca, Sociedad Geológica Mexicana.

Ruiz C. M., (1970). Reconocimiento Geológico en el Area de Mariscala-Amatitlán, Estado de Oaxaca, Libro-Guía de la Excursión México-Oaxaca, Sociedad Geológica Mexicana.

Salas, G. P., (1949). Bosquejo Geológico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca, Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol. VI, N2.

Silva P. A., (1970). Plantas Fósiles del Jurásico Medio de la Region de Tezoatlán, Estado de Puebla, Libro-Guía de la Excursión México-Oaxaca, Sociedad Geológica Mexicana.

ANEXO DE PETROGRAFIA

I DATOS DE CAMPO

Muestra No: 1

Localidad: Alternativa A; Zocoteaca, Oax.

Descripción del afloramiento: Afloramiento escarpado y sobresaliente de andesita, con fracturamiento poco continuo, con algunas vetillas de sílice y tenuemente intemperizada.

II DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Gris claro

Estructura y Textura: Estructura masiva y textura afanítica

Minerales observables: Plagioclasas

III DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Pilotaxítica fina

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Plagioclasas intermedias
(andesina)

b) Minerales accesorios:

Firoxenos
Minerales opacos

e) Caracteres especiales:

la muestra está constituida por plagioclasas suborientadas con clorita intersticial.

c) Minerales secundarios:

Clorita
Oxido de hierro

d) Matriz o cementante:

IV ORIGEN DE LA ROCA

Ígneo extrusivo

V CLASIFICACION

Andesita

I DATOS DE CAMPO

Muestra No: 2

Localidad: Alternativa B; Zocoteaca, Oax.

Descripción del afloramiento: Afloramiento escarpado de andesita basáltica, ligeramente intemperizado, no se definen fracturas continuas, algunas rellenas con sílice y presenta un clivaje aparente.

II DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Gris claro

Estructura y Textura: Estructura masiva y textura porfídica

Minerales observables: Plagioclasas, y olivino oxidado

III DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Porfídica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Plagioclasas
(oligoclasa-andesina)

c) Minerales secundarios:

Clorita
Calcita
Óxidos de hierro

b) Minerales accesorios:

Clinopiroxenos
Olivino como relicto

d) Matriz o cementante:

Matriz de plagioclasas
con piroxenos alterada

e) Caracteres especiales:

Algunos cristales de plagioclasas presentan inclusiones concéntricas de material criptocristalino. A veces la calcita sigue estas zonas como alteración.
Las plagioclasas de la matriz aparentemente son más cálcicas.

IV ORIGEN DE LA ROCA

Igneo extrusivo afectado por soluciones hidrotermales

V CLASIFICACION

Andesita (basáltica) alterada

I DATOS DE CAMPO

Muestra No: 3.

Localidad: Alternativa D; Zocoteaca, Oax.

Descripción del afloramiento: Corresponde a una secuencia de tobás arenosas de estratificación masiva, no muy alterada ni intemperizada.

II DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Gris claro

Estructura y Textura: Estratificación masiva y textura de arena fina.

Minerales observables: Fragmentos de rocas y cuarzo.

III DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Arenosa muy fina

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Cuarzo
Feldespatos
Fragmentos de roca

c) Minerales secundarios:

Oxido de fierro

b) Minerales accesorios:

Biotita escasa
Clorita
Minerales opacos

d) Matriz o cementante:

Matriz criptocristalina
oxidada

e) Caracteres especiales:

Los fragmentos de roca están constituidos por rocas volcánicas, rocas criptocristalinas oxidadas, cuarcitas y calizas.

IV ORIGEN DE LA ROCA

Vulcano-sedimentaria

V CLASIFICACION

Arenisca tobácea oxidada

I DATOS DE CAMPO

Muestra No: 4

Localidad: Alternativa D; Zocoteaca, Gax.

Descripción del afloramiento: Presenta un fracturamiento separado irregular delimitando bloques masivos de mas de 1m de diámetro, roca sumamente compacta y densa, levemente intemperizada.

II DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Rojizo amarillento

Estructura y Textura: Estratificación masiva y gradada con textura de tamaño arena fina a guijarros.

Minerales observables: Fragmentos de rocas volcánicas ácidas e intermedias, esquistos y cuarzo lechoso en una matriz areno-arcillosa y un poco de calcita como cementante.

III DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Rudítica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Fragmentos de roca

b) Minerales accesorios:

Minerales opacos

e) Caracteres especiales:

Los fragmentos de roca están constituidos por andesitas porfíricas y oxidadas, rocas criptocristalinas devitrificadas y rocas cuarcíferas.

Los constituyentes presentan una capa de óxido de hierro indicando retrabajamiento.

c) Minerales secundarios:

Calcita
Clorita
Óxidos de hierro

d) Matriz o cementante:

Cementante de calcita
espática

IV ORIGEN DE LA ROCA

Sedimentario-detritico-químico

V CLASIFICACION

Conglomerado petromictico

I DATOS DE CAMPO

Muestra No: 5

Localidad: Alternativa D; Zocoteaca, Oax.

Descripción del afloramiento: La roca se observa sumamente compacta y densa, con fracturamiento separado, irregular delimitando bloques masivos mayores de 1m de diámetro, levemente intemperizada.

II DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Gris claro

Estructura y Textura: Estructura masiva y textura de arena fina a guijarros.

Minerales observables: Fragmentos de rocas volcánicas ácidas e intermedias, esquistos y cuarzo lechoso en una matriz areno-arcillosa y un poco de calcita como cementante.

III DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Epiclástica-ruditica

Mineralogía:

a) **Minerales esenciales:**

Fragmentos de roca
Cuarzo

c) **Minerales secundarios:**

b) **Minerales accesorios:**

d) **Matriz o cementante:**

Cementante de calcita
espática

e) **Caracteres especiales:**

Los fragmentos de roca están constituidos por rocas criptocristalinas volcánicas, areniscas finas, esquistos, andesitas alteradas, rocas oxidadas y calizas micríticas.

IV ORIGEN DE LA ROCA

Sedimentario-químico-detritico.

V CLASIFICACION

Conglomerado con matriz arenosa

I DATOS DE CAMPO

Muestra No: 6

Localidad: Alternativa D; Zocoteaca, Oax.

Descripción del afloramiento: Afloramiento extenso con evidencias de brechamiento.

II DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Gris claro

Estructura y Textura: Estructura masiva y textura afanítica

Minerales observables: Plagioclasas, y óxido de hierro

III DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Pilotaxítica, brechoide

Mineralogía:

a) **Minerales esenciales:**
Plagioclasas intermedias
(andesina)

c) **Minerales secundarios:**
Clorita
Calcita
Sílice
Óxidos de hierro

b) **Minerales accesorios:**
Apatita
Minerales opacos

d) **Matriz o cementante:**

e) **Caracteres especiales:**

IV ORIGEN DE LA ROCA

Igneo extrusivo afectado por cataclasis.

V CLASIFICACION

Andesita brechoide.

I DATOS DE CAMPO

Muestra No: 7

Localidad: Banco de material No. 1; Zocoteaca, Oax.

Descripción del afloramiento: Afloramiento débilmente intemperizado, con fracturamiento en varias direcciones algunas de ellas rellenas de óxido de cobre y sílice

II DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Café rojizo

Estructura y Textura: Estructura masiva y textura fanerítica

Minerales observables: Plagioclasas, piroxenos y óxido de hierro

III DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Pilotaxítica con trazos de fenocristales

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:
Plagioclasas intermedias
(andesina)

c) Minerales secundarios:
Clorita
Calcita escasa
Óxidos de hierro

b) Minerales accesorios:
Clinopiroxenos
Trazos de biotita
Apatita

d) Matriz o cementante:
Plagioclasas suborientadas con material criptocristalino y escasa clorita intersticial

e) Caracteres especiales:

Los cristales (sobre todo los piroxenos) se encuentran rotos; la clorita se presenta entre las microfracturas de los cristales, con una o dos orientaciones preferenciales.

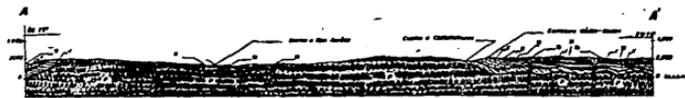
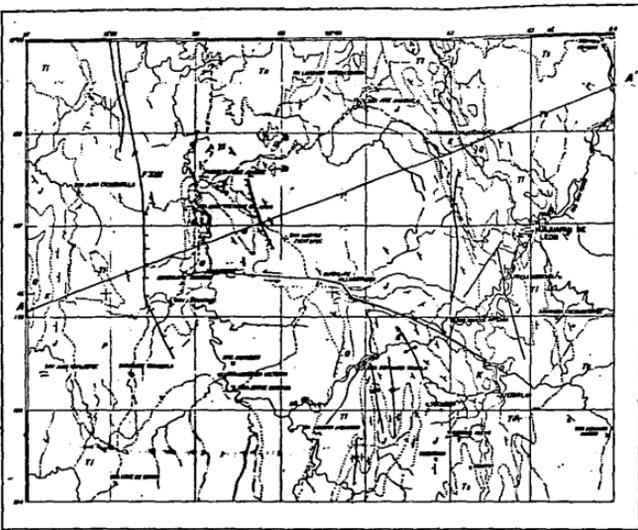
Presenta muy escasos fenocristales de plagioclasas y tienen inclusiones de material criptocristalino y piroxenos.

IV ORIGEN DE LA ROCA

Igneo extrusivo afectado por soluciones hidrotermales

V CLASIFICACION

Andesita



Escala: 1:50,000
 Hoja: 100
 E.S.C. 1960

LEYENDA

- CELOCOS**
- CERRO DE SAN MATEO
 - CERRO DE SAN MATEO
 - CERRO DE SAN MATEO
- MEDIDOS**
- CERRO DE SAN MATEO
 - CERRO DE SAN MATEO
- PALEOCOS**
- CERRO DE SAN MATEO

SIMBOLOGIA TOPOGRAFICA

- CERRO DE SAN MATEO

SIMBOLOGIA GEOLÓGICA

- CERRO DE SAN MATEO

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
PLANO GEOLOGICO REGIONAL
 FRANCISCO JAVIER GAMA MARTINEZ
 CESAR GARCIA HERRANDEZ
 FECHA: JULIO 1960 PLANO: 1

U
N
A
M

