

20123



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**“ESTUDIO GEOTECNICO DE LA BOQUILLA SANTIAGO,
MPIO. DE MIGUEL AUZA, ZAC.”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A :
MARIA ELENA PORCAYO SANTOS



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

CAPITULO	UNO	I N T R O D U C C I O N	PAGINA
1.1		ANTECEDENTES	1
1.1.1		Objetivos del trabajo	1
1.1.2		Método de Trabajo	2
1.2		GEOGRAFIA	3
1.2.1		Localización Geográfica	4
1.2.2		Vías de Acceso	4
1.2.3		Clima y Vegetación	4
1.2.4.		Fisiografía	5
CAPITULO	DOS	GEOLOGIA	
2.1		MARCO GEOLOGICO REGIONAL	6
2.1.1		Estratigrafía	6
2.1.2.		Geología Estructural y Tectónica	12
2.2		GEOLOGIA DEL VASO Y BOQUILLA	13
2.2.1		Estratigrafía	13
2.2.2		Geología Estructural	20
CAPITULO	TRES	PRUEBAS DE FERMEABILIDAD	
3.1		ANALISIS DE PERMEABILIDAD	26
CAPITULO	CUATRO	PRUEBAS DE LABORATORIO	
4.1		ANALISIS DE LABORATORIO	33
4.2		ESTABILIDAD DE LAS LADERAS	35

CAPITULO CINCO	GEOFISICA	
5.1	GEOSISMICA	37
5.2	GEOELECTRICA	39
5.3	INTEGRACION DE RESULTADOS	42
CAPITULO SEIS	INTEGRACION GEOLOGICA-GEOFISICA DE LA BOQUILLA	
6.1	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LAS UNIDADES	45
6.2	POSIBLES PROBLEMAS GEOTECNICOS	48
6.2.1	Filtraciones	48
6.2.2	Deformabilidad	49
CAPITULO SIETE	BANCOS DE MATERIALES	
7.1	BANCOS DE ENROCAMIENTO	51
7.1.1	Geología	52
7.2	ARENAS, GRAVAS Y ARCILLAS	53
CAPITULO OCHO	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
8.1	MODELO GEOLOGICO-GEOFISICO	54
8.2	FILTRACIONES	55
8.3	CONSOLIDACION	56
8.4	ESTABILIDAD	57
8.5	BANCOS DE MATERIALES	57
B I B L I O G R A F I A		58
PLANO 1	GEOLOGIA DE EMBALSE	
PLANO 2	GEOLOGIA DE LA BOQUILLA	
PLANO 3	SECCION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE LA BOQUILLA	

CAPITULO UNO

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Con la finalidad de apoyar a los agricultores zacatecanos, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ha aprobado la construcción del proyecto de presa "Santiago", Mpio. de Miguel Auza, Zac. Con el cual se embalsarán las aguas del río Santiago pretendiendo con esto el riego de 115 Hés.

El Proyecto Santiago ha sido estudiado desde 1973 mediante levantamientos geológicos en la boquilla, perforaciones con recuperación continua de núcleos y pruebas de permeabilidad, así como con pozos a cielo abierto. De estos estudios se ha concluido que se presentan cinco tipos de unidades litológicas en la zona de la boquilla, aflorando y en el subsuelo. La unidad más antigua, la Formación Caracol del Cretácico Superior constituida por lutitas y areniscas, no aflora sobre el eje, se localizó únicamente en el subsuelo. La siguiente unidad, la Formación Ahuichila constituida por un conglomerado calcáreo muy compacto y bien cementado, tampoco aflora y se cortó en 3 de las 4 perforaciones que alcanzaron a la Formación Caracol, sin embargo se considera por los resultados de exploraciones en otros sitios, que podría tener desarrollo de cavernas. La siguiente unidad, la Formación Vizcarra constituida aquí por tobas riolíticas y líticas muy compactas y de buena calidad, aflora en los extremos del eje de la cortina así como en la porción media. La cuarta unidad está formada por una colada lávica de basaltos de distribución reducida. Finalmente a la quinta unidad la constituyen materiales aluviales de una antigua terraza, finos y compactos. En los estudios mencionados no se han definido con detalle los contactos entre las diversas litologías, así como tampoco las características geotécnicas de las mismas.

1.1.1 Objetivos del Trabajo.

Los objetivos perseguidos para el Proyecto Santiago son:

- Conocer la estratigrafía regional del área y proponer un modelo geológico que permita establecer los procesos que motivaron la formación de la Boquilla Santiago e inferir la presencia de diversos materiales litológicos en el subsuelo.

- Cartografiar las unidades litológicas presentes en el área del embalse y boquilla, así como determinar las características geotécnicas de dichas unidades (calidad de roca, fracturamiento y relaciones estructurales).
- Definir con detalle la posición de los contactos entre unidades litológicas bajo el eje de la boquilla.
- Determinar el espesor de limpa (roca alterada y decomprimida o rellenos) a lo largo del eje de la cortina.
- En caso de estar presente en la boquilla definir el mecanismo de disolución de la Formación Ahuichila y su espesor.
- Ubicación y litología de los bancos de materiales de enrocamiento.

1.1.2 Método de Trabajo.

Las diversas actividades que se llevaron a cabo durante el desarrollo de los estudios en el Proyecto Santiago fueron las siguientes:

- Recopilación, selección y análisis de información geológico-geotécnica tanto del proyecto como de la región. En esta etapa se analizaron los informes técnicos de los estudios previos. Por otro lado, se estableció el marco geológico regional, obteniendo una cartografía geológica del área a escala 1:100,000 y litológica a escala 1:50,000.
- Reconocimiento geológico regional. Esta etapa consistió en efectuar recorridos en una amplia zona con el fin de reconocer la estratigrafía del área y definir un modelo geológico regional.
- Levantamiento geológico de la boquilla y vaso. Una vez establecido el modelo geológico regional y apoyados en la información previa del subsuelo, se realizó un levantamiento geológico detallado en el área de la boquilla y vaso. Asimismo se tomaron muestras de roca para su estudio en laboratorios.
- Reconocimiento geológico en los bancos de roca. En esta etapa se identificó la litología que se presenta en cada banco.
- Campaña de levantamientos geofísicos en la zona de la boquilla. Como apoyo a los levantamientos geológicos de la boquilla, se realizaron tendidos sísmicos sobre todo el eje de la cortina y dos más perpendiculares a dicho eje en la zona de un paleocauce, asimismo se realizaron 45 sondeos

eléctricos verticales, distribuidos en tres líneas de sección, una coincidente con el eje de la cortina y dos paralelas a la anterior, distantes 50m de la misma.

- Estudios de laboratorio. A las muestras de roca obtenidas de la boquilla, se les envió a laboratorios petrográficos y de mecánica de rocas. Según el caso se determinó su microfracturamiento y se clasificaron petrográficamente, o bien se obtuvo su densidad, porosidad, resistencia a la compresión simple, resistencia a la carga puntual y módulo de elasticidad estático.
- Integración geológico-geofísica. Previa interpretación de los resultados geofísicos se efectuó una integración de la geofísica con los levantamientos geológicos. De esta integración se definió la continuidad de las unidades litológicas en el subsuelo contactos litológicos y espesores de limpia.
- Informe técnico. Posteriormente se procedió al dibujo de Figuras y Planos, así como a la redacción del presente escrito.

1.2 GEOGRAFIA

CARACTERISTICAS GENERALES

Sobre el Río Santiago, afluente del Río Aguanaval, se han construido algunas obras hidráulicas, tanto dentro del Estado de Durango como el de Zacatecas. La Boquilla Santiago, sobre el río del mismo nombre, es uno más de los aprovechamientos que la S.A.R.H. tiene en proyecto, y su finalidad es la de incrementar el número de hectáreas de riego en el Municipio de Miguel Auza, Estado de Zacatecas.

Según el anteproyecto, dicha obra hidráulica presenta las siguientes características (Rodríguez, 1983).

Tipo de Cortina	Materiales Graduados
Longitud de la Corona	616 m
Altura	14 m
Capacidad	5'000,000 m3
Area de Beneficio	115 Has.

1.2.1 Localización Geográfica

La Boquilla Santiago se ubica al noroeste del Estado de Zacatecas, en su límite con el Estado de Durango (Figura 1.1); se encuentra a unos 220 Km al NW de la Ciudad de Zacatecas, Zac. y a unos 5 Km al Oeste de Miguel Auza, Zac. Sus coordenadas geográficas aproximadas tomadas de la carta topográfica G13-D75 de DIGDETENAL, son:

Latitud Norte	24° 17' 20"
Longitud W de Greenwich	103° 30' 30"

1.2.2 Vías de Acceso.

El acceso al sitio partiendo de la Ciudad de Zacatecas es como sigue: se toma la Carretera Federal 49, en su tramo Zacatecas-Torreón, hacia el Norte por un espacio de 210 Km hasta el entronque con la Carretera Estatal 17, que une a las Ciudades de Miguel Auza y Juan Aldama del Estado de Zacatecas; de dicho punto se continúa hacia el poniente por la citada carretera hasta llegar a Miguel Auza; en esta población se toma una terracería transitable en todo tiempo que hacia el poniente conduce a los poblados de San Marcos, Emiliano Zapata y Allende del Estado de Durango; luego de recorrer por este camino tan sólo unos 5 Km se llega a la Boquilla Santiago. (Figura 1.2)

1.2.3 Clima y Vegetación

El clima en la región, según la clasificación de Koeppen, modificada por E. García (DETENAL, 1970), es el más seco de los secos esteparios: BSo KW (w/c); el verano es cálido, su temperatura media anual oscila entre 12 y 18° centígrados, mientras que en el mes más caliente la temperatura es superior a los 18° centígrados. La precipitación media anual está en el rango de los 400mm.

La vegetación que se presenta es característica de las zonas semidesérticas (nopal, huizache, candelilla, uña de gato), sin embargo a lo largo de los escurrimientos principales y secundarios se observan zacatales y árboles de hojas perennes como los sabinos.

1.2.4 Fisiografía

Regionalmente el Área de trabajo se ubica en la porción noroccidental de la provincia fisiográfica de la Mesa Central (Raigz, 1964), próxima a su límite con la provincia de la Sierra Madre Occidental. Los rasgos topográficos que aquí la caracterizan son llanuras y valles extensos, con vegetación semidesértica, cubiertos a manera de rellenos por materiales Terciario-Cuaternarios constituidos por gravas, arenas y arcillas. Sus altitudes varían de 1900 a 2000 m.s.n.m.

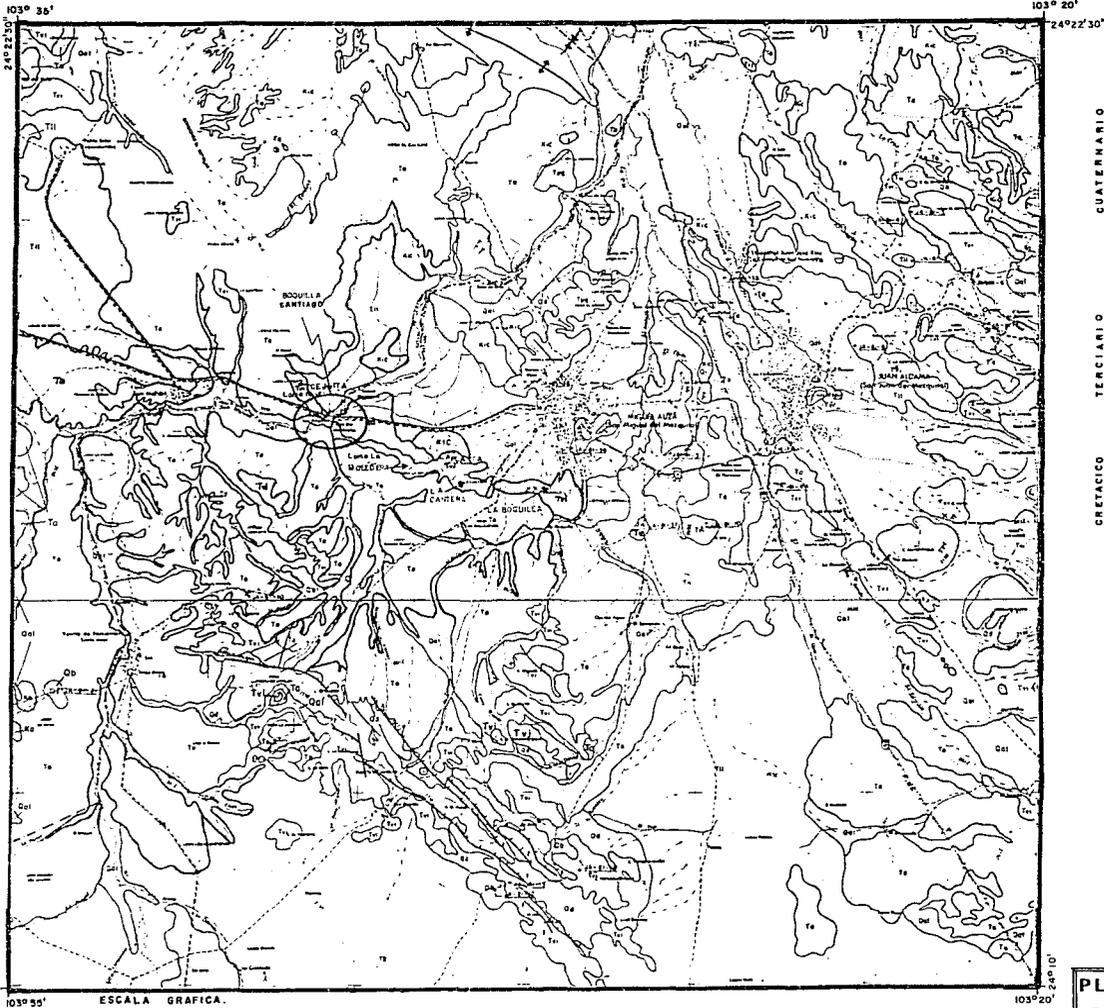
Contrastando con las partes planas se presentan una serie de cordones, pequeñas sierras y mesas formadas por rocas volcánicas (riolitas, ignimbritas, basaltos, andesitas y tobas), también del Terciario y Cuaternario. Las altitudes de las partes altas oscilan entre los 2200 y 2300 m.s.n.m. Asimismo se presentan lomeríos de muy suave pendiente formados por cuerpos intrusivos terciarios muy erosionados.

La Boquilla Santiago ha sido labrada por la erosión del Río Santiago sobre un cordón constituido por tobas riolítico-ignimbriticas. Dicho cordón se conforma por la alineación de algunos cerros y lomas conocidos como Cerro La Boquilla, Cerro La Cartera, Cerro La Flaca, Loma La Molcedera y Loma La Cojita; estas lomas y cerros tienen unas elevaciones de 30 a 100m sobre el nivel de los valles, muestran pendientes suaves y una ligera inclinación de unos 20° hacia el sur. La longitud del cordón es de unos 9 a 10 km y su orientación aproximada es de NW-SE.

Contrastando con el cordón se presentan valles conformados por arcillas y suelos vegetales, que cubren a diferentes materiales del Cretácico Superior y Terciario (lutitas, areniscas y conglomerados).

La zona de embalse está constituida por valles cortados por los ríos Santiago y Santa Cruz, y delimitados por lomeríos de suaves pendientes. Estos valles presentan suelos vegetales y rellenos recientes sobre antiguas terrazas aluviales.

El Río Santiago es de régimen permanente y vierte sus aguas al Río Aguaveal.

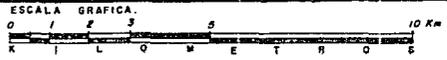


LEYENDA

- | | |
|-------------|---|
| CUATERNARIO | Qal Aluvion |
| | Qb Basaltos |
| | Qd Formación Duraznillo |
| TERCIARIO | Tll Formación Llanos |
| | Tvi Formación Vizcarra |
| | Ta Formación Ahuichila |
| | Tpg Pórfiro Granodiorítico |
| CRETACICO | Kic Formaciones Indidura y Caracol |
| | Ka Formación Aurora |

SIMBOLOGIA

- Carretera
- Terraceria
- Limite de Estados
- Contacto Geológico
- Anticlinal
- Sinclinal
- Falla normal



NOTA CARTOGRAFIA TOMADA DE EFITI, S.A. (1981)

**PLANO GEOLOGICO REGIONAL
PROYECTO SANTIAGO**

FIGURA No. 2.1

CAPITULO DOS

GEOLOGIA

2 GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL VASO Y BOQUILLA

A continuación se describe el marco geológico regional, atendiendo a la estratigrafía y a los rasgos estructurales predominantes y, posteriormente, se discuten las características geológicas locales, tanto de la zona del estrechamiento como del vaso de almacenamiento.

2.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL

En la zona límite entre las entidades de Zacatecas y Durango, aledaña a la población de Miguel Auza, se observa la presencia de rocas del Cretácico Superior al Cuaternario. Las litologías predominantes son conglomerados, ignimbritas, tobas ríolíticas, interestratificaciones de lutitas y arcillas; también se presentan, aunque con afloramientos reducidos, calizas, basaltos y cuerpos intrusivos ácidos. La mayor parte de las unidades litológicas se aprecian cubiertas, en mayor o menor grado, por gravas terciarias y aluvión cuaternario.

2.1.1 Estratigrafía

Las formaciones y unidades litológicas reconocidas y agrupadas de las más antiguas a las más jóvenes son las siguientes: Aurora y Caracol del Cretácico, Pórfido Granodiorítico, Ahuichila, Vizcarra y Los Llanos del Terciario, Grava Duraznillo, Basaltos y Aluvión del Cuaternario, mismas que muestran su distribución en el plano geológico regional a escala 1:100,000 de la Figura 2.1 (tomado de EFLISA, 1981), y se describen brevemente a continuación.

C R E T Á C I C O

- FORMACION AURORA

Calizas arrecifales y calcarenitas de color gris oscuro que intemperizan a tonos parduscos claros, moderadamente intemperizadas y duras. Se presenta en estratos medios a masivos muy fracturados. La roca es cristalina y microfossilífera, o bien, arenosa. Su espesor en el área no es completo, se reduce a unas cuantas decenas de metros. Su contacto inferior no se observa por estar cubierto, pero en zonas aledañas es transicional con la Formación La Peña; estas calizas se encuentran muy afectadas por fenómenos de erosión y disolución. Está cubierta discordantemente por las formaciones Ahuichila, Llanos o por aluvión.

Su distribución se reduce a pequeños afloramientos aledaños al camino que comunica las poblaciones de Ramón Corona y Veinte de Noviembre, donde aflora en lomas de pendiente muy suave.

Estas calizas tuvieron un ambiente de depósito de tipo arrecifal; se le correlaciona con la Formación Cuesta del Cura y según diversos autores su edad se restringe al Albiano Inferior y Medio del Cretácico.

- FORMACION CARACOL

Se constituye por interestratificaciones de lutitas y areniscas, así como por ocasionales calizas arcillosas de color gris claro, gris verdoso y pardo rojizo. Se presenta como una unidad moderadamente intemperizada y de suave a medianamente dura. Sus capas tienen un espesor que varía desde unos 2 hasta 30 ó 40cm, las areniscas son arcosas de grano fino y se muestran muy compactas, mientras que las lutitas son fisiles y quebradizas (astillosas).

Esta formación se encuentra intensamente deformada por plegamientos, por lo que su espesor no pudo ser estimado; sin embargo, Córdoba (1964) estima unos 300m para esta formación en el Área de Apizolaya, distante 150 Kms al oriente del Área estudiada.

El contacto inferior de esta formación es transicional con la Formación Indidura (constituida por caliza gris, interestratificada con lutita gris o verde olivo, en estratos doblados a medianos), y aunque en el plano regional de la figura 2.1 fueron cartografiadas en conjunto, (por EFITISA, 1981) la descripción de campo se aproxima más a la Formación Caracol que a la Indidura. Está cubierta discordantemente por las formaciones

Ahuichila, Vizcarra, Llanos o por aluvión. En algunos sitios la porción superior de esta formación está constituida por una brecha sedimentaria, de fragmentos de lutita rojiza empacados en una matriz carbonatada de color blanco sucio, la cual podría ser la base de la Formación Ahuichila.

La formación se encuentra en algunos valles y casi siempre semienmascarada por reducidos espesores de aluvión o de las formaciones Ahuichila y Los Llanos, por lo que si bien su distribución es amplia, sólo fue cartografiada regionalmente en algunos sitios dispersos.

Ledezma Guerrero (1981) así como otros autores sugieren que este tipo de litologías representan la base del flysch pelítico-arenoso que comenzó a depositarse a fines del Turoniano y que continuó durante el Cretácico Tardío. Se correlaciona con la base de la Formación Parras.

TERCIARIO

- PORFIDO GRANODIORITICO

Pórfido granodiorítico de color gris claro, que intemperiza a café claro medianamente intemperizado y moderadamente duro. Su textura es porfídica en muestras superficiales y de grano fino a medio, equigranular, en muestras profundas (provenientes de una mina); su estructura es masiva y compacta, la roca presenta intenso fracturamiento. El cuerpo intrusivo se localiza en las inmediaciones de Miguel Auza, con un afloramiento de unos 6 a 7 Km², su expresión fisiográfica es la de lomeríos con pendiente suave, lo que implica que ha sido fuertemente intemperizado y erosionado. Actualmente estas rocas muestran una cobertura de 1 a 3 m de aluvión reciente.

La intrusión granodiorítica afectó a las areniscas y lutitas de la Formación Caracol, ocasionando en éstas metamorfismo de contacto. Por relaciones estratigráficas se considera que su emplazamiento debió verificarse a finales del Cretácico o principios del Terciario.

- FORMACION AHUICHILA

Conglomerado calizo de color rojizo y gris claro, sano y muy duro. Se conforma de clastos subredondeados a redondeados de caliza, algunos con bandas de pedernal, mal clasificados, en tamaños de 1 a 40cm, pero predominando los fragmentos de 5 a 8cm, la matriz es de arenisca arcósica y calcárea bien cementada por

carbonato de calcio. Su espesor de alteración, según se observó en un banco de material, manifestado por la disolución de su cementante, no sobrepasa a un metro.

Estructuralmente conforma un depósito masivo, compacto y sin discontinuidades. Su espesor no se estimó, pero Rogers y otros (1961) midieron 280m en la zona de convergencia de los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas.

Sus contactos son discordantes, el inferior sobre la Formación Aurora o Caracol y el superior con las formaciones Vizcarra o Los Llanos.

Se distribuye ampliamente en toda la región, encontrándose en las partes topográficamente bajas y medias.

La Formación Ahuichila representa el típico depósito Molasse posterior a la deformación Laramidica y su edad corresponde al Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano (Rogers y otros, 1961).

- FORMACION VIZCARRA

Esta formación eminentemente volcánica, definida originalmente por Enciso (1968) para el Área de Cuencamé, Dgo., se constituye por rocas piroclásticas así como por derrames lávicos. A esta formación, en el área cartografiada regionalmente, se le identificaron cuatro unidades que, de la más antigua a la más joven son: toba escoriácea, basaltos, toba punitica y toba riolítica.

La toba escoriácea es de color rojizo, semicompacta, de baja densidad, muy porosa, fracturada, alterada y suave. Conformar la base de la Formación Vizcarra en esta área, su espesor es de unos 2 ó 3m y descansa sobre la Formación Ahuichila en contacto discordante. Esta unidad no se presenta en todos los sitios donde aflora la formación y, de hecho, sólo se observó en un sitio denominado Puerto San Nicolás, a unos 7 kms al sur de Miguel Auza, donde se cubre por la unidad basáltica.

La unidad basáltica se conforma por unas lavas de color gris obscuro que intemperiza a rojizo, alteradas y medianamente duras. Su estructura es tabular y la textura afanítica; el espesor de la colada es de unos 10 a 12m, su base se muestra intensamente fracturada, tiene caliche como relleno en las discontinuidades y su aspecto es brechoide. Esta colada lávica se identificó únicamente en dos sitios, en el Puerto San Nicolás, donde descansa sobre la unidad de toba escoriácea y se cubre por la toba riolítica, y en el sitio conocido como la Boquilla, a un Kilómetro al sur de Miguel Auza, donde su contacto inferior está cubierto y posiblemente descansa directamente sobre la Formación Ahuichila y subyace a la toba punitica en un contacto nítido.

La tercera unidad reconocida en la Formación Vizcarra es una toba pumítica de color gris claro y rosa pálido que intemperiza a blanco sucio, muy sana y suave a moderadamente dura. Se compone de una matriz vítrea muy porosa, aunque compacta, que engloba fragmentos de pómez y líticos. La roca está compacta y poco fracturada, su espesor es de unos 8 a 10m; descansa sobre la unidad basáltica de la misma formación o directamente sobre la Formación Ahuichila en contacto discordante; su contacto superior es con la unidad de toba riolítica. Esta unidad por ser suave, respecto a las que subyace y suprayace, normalmente se encuentra cubierta por materiales de talud y tan sólo se manifiesta claramente en algunos bancos de material, donde se cubre por unos centímetros de caliche.

La unidad superior es una toba riolítica, de color rosa y gris claro, ligeramente intemperizada y muy dura. Se compone de cristales de cuarzo y feldespatos potásico, así como por algunos fragmentos de pómez y líticos. La roca es de grano fino en la base y grueso en su cima, algunos de los fragmentos de pómez están alargados, por lo que podría tratarse de una ignimbrita; carece de estructuras de fluidez. La unidad está fracturada por sistemas verticales y uno subhorizontal, su espesor es variable pero se encuentra en el rango de los 10 a 20m. Su contacto inferior que normalmente se encuentra cubierto, es transicional a la toba pumítica, brusco con la unidad de basaltos o, bien, discordante con la Formación Ahuichila; le sobrayacen las formaciones Llanos e Duraznillo, así como pequeños espesores de aluviones. Esta unidad tiene una amplia distribución en el Área, es la única cartografiada, y topográficamente se presenta coronando lomeríos, a manera de crestones.

Según Enciso 1968 la Formación Vizcarra tiene una edad probable que abarca del Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano.

- FORMACION LOS LLANOS

Con este nombre se agrupan a depósitos continentales del Terciario Tardío-Cuaternario que afloran en gran parte del Área cartografiada como regional. Esta formación se constituye por gravas, arenas, arcillas y limos que en conjunto adquieren una tonalidad rojiza; los materiales gruesos se presentan en estado suelto, mientras que los finos están semiconsolidados. Los fragmentos de roca son principalmente de rocas ígneas extrusivas ácidas, aunque también los hay de calizas y areniscas; su forma es redondeada a subredondeada y su tamaño promedio es de grava. Esta formación incluye a los depósitos clásticos de planicie de erosión (pediment), que bordean a los cordones de la Formación Vizcarra. Esta unidad descansa discordantemente sobre todas las formaciones descritas anteriormente y se cubre por un reducido espesor de suelos vegetales, se encuentra en forma de lomas

bajas y planas, que corresponden a llanuras aluviales poco disectadas y en actual proceso de erosión; su espesor debe ser reducido y no sobrepasa a los 15 m.

Según Enciso (1968), quien definió a la Formación Los Llanos en el área de Cuencamé, Dgo., tiene una edad probable que abarca del Plioceno al Pleistoceno.

CUATERNARIO

- GRAVA DURAZNILLO

En esta región se han cartografiado a los conos aluviales cuaternarios con el nombre de Grava Duraznillo, se constituye por grava, arena y arcilla que se derivaron de los cordones y cerros circundantes; los fragmentos varían de angulares a subredondeados, generalmente sin clasificar ni consolidar; en algunos sitios se muestran ligeramente cementados por caliches. Se presenta cubriendo las partes bajas de los cordones ubicados al Sur y Oeste de Miguel Auza.

Según Enciso (1968), quien definió a la Formación Grava Duraznillo en la cercana área de Cuencamé, Dgo., estos depósitos señalan la terminación del último ciclo erosivo del Pleistoceno.

- BASALTOS

El basalto es gris oscuro que intemperiza a rojizo y negro, ligeramente intemperizado y muy duro. Su textura es porfídica con fenocristales de olivino e iddingsita de hasta 2cm; en las localidades de afloramiento observadas a inmediaciones de la boquilla la roca se muestra compacta, con 2 sistemas de fracturas verticales; en algunos sitios (cerca de 20 de Noviembre), presenta intemperismo esférico. Su espesor difiere de un afloramiento a otro, pero debe oscilar entre 5 y 20m. Se le localiza en varios sitios con afloramientos cartografiables en la proximidad del poblado Tierra Generosa, así como de los Campos Menonitas; también se tienen afloramientos reducidos de basaltos no cartografiables, sobre los escurrimientos principales (en las inmediaciones de 20 de Noviembre y de la Boquilla Santiago).

Morfológicamente se presentan como mesetas bajas muy planas. Su origen se debe relacionar a fisuras, pues no se presentan estructuras volcánicas. Por su posición estratigráfica y escasa alteración se les asignó una edad Reciente (Cuaternario).

- ALUVION

Los depósitos aluviales constan de gravas, arenas, arcillas y limos esparcidos principalmente sobre y a los lados de los escurrimientos principales. También incluye terrazas arcillosas con espesores de hasta unos 10 a 15m. Los materiales gruesos son de calizas o de rocas extrusivas y se encuentran en estado suelto; mientras que los finos se muestran semicompactos.

2.1.2 Geología Estructural y Tectónica

Regionalmente el Área estudiada ha sido afectada por varios fenómenos tectónicos que tuvieron lugar desde finales del Cretácico. De los más importantes, el primero de ellos, identificado como Revolución Laramide fue el responsable del levantamiento y plegamiento de las rocas marinas mesozoicas. En esta zona se manifiesta por la intensa deformación de la Formación Caracol, así como por la presencia de dos pequeños pliegues, anticlinal y sinclinal, ubicados al norte de Miguel Auza (Figura 2.1), dichas estructuras tienen una orientación NW-SE, sus ejes miden unos 7 Km y sus flancos tienen un echado suave, de 10 a 30°.

El siguiente evento tectónico-estructural que se presenta, fue el emplazamiento del pequeño cuerpo intrusivo aledaño a Miguel Auza, mismo que debió efectuarse en el Cretácico Tardío-Terciario Temprano. Este evento fue de menor importancia regional y tan sólo afectó, con su aureola de metamorfismo de contacto, a la Formación Caracol.

Una vez depositado el Molasse producto del máximo paroxismo de la Revolución Laramide, que corresponde a la Formación Ahuichila y depositada la Vizcarra, la región debió sufrir una tectónica distensiva, que motivó un afallamiento de tipo normal, con trazas de falla orientadas NW-SE y echados de las mismas hacia el NE, así como un basculamiento de unos 20 a 30° hacia el sur y surceste. Estos fenómenos dieron lugar a bloques, mismos que actualmente tienen la apariencia morfológica de cordones, donde la Formación Vizcarra corona con sus tobas riolíticas.

Como consecuencia, la posterior acción de los agentes erosivos sobre los cordones recién formados motivó la acumulación de materiales, en forma de abanicos aluviales y depósitos de talud al pie de los cordones.

Finalmente, la efusión de coladas lávicas cuaternarias constituye el último fenómeno tectónico-estructural importante en el Área. Se infiere que las coladas son producto de un vulcanismo emitido a través de fisuras, ya que en el Área no se identificaron las estructuras de emisión que correspondan a conos volcánicos.

2.2 GEOLOGIA DEL VASO Y BOQUILLA

La exploración geológico-geotécnica del vaso y la boquilla se efectuó mediante caminamientos y perforaciones.

En la zona de embalse se realizaron 3 perforaciones (no se logró obtener la información de estas perforaciones, tampoco la ubicación exacta), mientras que en la boquilla fueron 17, mismas que se complementaron con 4 pozos a cielo abierto.

La cartografía del área de embalse se presenta en el Plano 1, mientras que la cartografía detallada de la boquilla se presenta en el Plano 2. En ambos planos se muestra la posición del eje de la cortina y vertedor en proyecto. El Plano 1 también muestra la interpretación de las secciones geológicas del embalse y el Plano 3 la sección geológica de la boquilla incluyendo la exploración efectuada con barrenos y pozos a cielo abierto, así como información geotécnica de las perforaciones.

2.2.1 Estratigrafía

Las unidades litológicas que se presentan en esta área, tanto aflorando como en el subsuelo, son: Formación Caracol, Formación Ahuichila, Toba Pumítica (Formación Vizcarra), Toba Riolitica (Formación Vizcarra), Basaltos Cuaternarios, Terrazas Aluviales, Materiales de Talud, Acarreos y Suelos; algunas de estas unidades fueron descritas anteriormente, por lo que la descripción que a continuación se da de ellas atiende únicamente a las características particulares que presentan en esta zona.

- FORMACION CARACOL

Las areniscas y lutitas de la Formación Caracol no afloran en la zona de la boquilla y se presentan únicamente en el subsuelo donde se cortaron por las perforaciones III, VIII, X y XI. El sitio más próximo en que aflora dista unos 4 Km de la Boquilla, Santiago, hacia el Oriente por el camino que conduce a Miguel Auza, donde se muestran tanto en el valle como en la base del cordón mencionado en párrafos anteriores.

En dicho sitio se presentan las lutitas y areniscas como una unidad litológica de color rojizo y verdoso, poco fracturada, moderadamente dura y fresca. En la proximidad del cordón o lomerío alargado donde se ubica la boquilla, la porción superior de la Formación Caracol se presenta como una brecha de lutitas rojizas, empacadas por carbonato de calcio calichoso, muy compacta y dura, que por sus características litológicas se consideró como la base de la Formación Ahuichila; sin embargo

esta última Formación Ahuichila, aquí no se presenta con su litología clásica, manifestándose únicamente como brecha de lutitas.

En el subsuelo la Formación Caracol se cortó en cuatro distintas perforaciones con las siguientes características.

EXPLORACION	ESPESOR (m)	CARACTERISTICAS
III (de 24.00 a 26.00 m)	2.00	Arenisca café verdosa, muy compacta, poco fracturada. Recuperación de 100%
VIII (de 28.80 a 30.00 m)	1.20	Lutitas café rojizo, compactas, poco fracturadas. Recuperación del 75%.
X (de 24.75 a 30.00 m)	5.25	Lutitas café rojizo, compactas, poco fracturadas. Recuperación del 100%.
XI (de 19.00 a 26.00 m)	7.00	Lutitas café rojizo, fracturadas a poco fracturadas. Recuperación del 70%.

Las restantes exploraciones no alcanzaron a llegar a la Formación Caracol.

- FORMACION AHUICHILA

Los conglomerados calcáreos de la Formación Ahuichila, al igual que la Formación Caracol, no afloran en la zona de la boquilla y se presentan únicamente en el subsuelo donde se cortaron en las perforaciones III, X y XI. El sitio más próximo donde afloran estos conglomerados está en los alrededores del poblado de San Marcos a unos 4 Km de la Boquilla Santiago en dirección al W. En este lugar la unidad de roca se presenta bien cementada y compacta, sin discontinuidades, sana y dura; petrográficamente se clasificó como conglomerado polimictico arenoso calcáreo muy compacto, donde el contacto entre cemento y clastos es cerrado y no se le observaron poros; aunque se tiene el antecedente de que esta formación presenta, en algún lugar próximo a San Marcos, fenómenos de disolución en superficie y subsuelo.

En la porción Norte del cordón de las boquillas, sin embargo, se pudo observar que entre los materiales de talud se encuentran pequeños afloramientos de una brecha calichosa rojiza de lutitas. Este material se consideró como un horizonte transicional de la Formación Ahuichila, pues se conforma únicamente por clastos de la Formación Caracol, cementados por carbonato de calcio; dado que esta brecha tiene reducidos afloramientos, enmascarados por el talud, no pudo ser objeto de una detallada descripción.

En el subsuelo la Formación Ahuichila se cortó con las siguientes características:

EXPLORACION	ESPESOR (m)	CARACTERISTICAS
III	4.0 (de 20.00 a 24.00 m)	Conglomerado calcáreo, compacto, color rojizo, poco fracturado. Recuperación de 10 %.
X	3.0 (de 15.00 a 18.00 m)	Conglomerado calcáreo brechoide, compacto. Recuperación de 60 %.
	6.75 (de 18.00 a 24.75 m)	Conglomerado calcáreo de color blanquizco, ligeramente intemperizado, - compacto, poco fracturado. Recuperación entre 55 y 75%.
XI	3.0 (de 16.00 a 19.00 m)	Conglomerado calcáreo de color blanquizco, ligeramente alterado, muy fracturado. Recuperación de 22%.

En las demás exploraciones no se alcanzó a la Formación Ahuichila. En la exploración VIII se pasó directamente de las tobas riolíticas a la Formación Caracol.

- TOBA PUMITICA

La toba pumítica de la Formación Vizcarra tampoco aflora claramente en la zona de la boquilla y, aunque debe presentarse en el subsuelo, las descripciones litológicas de los barrenos perforados en la zona de la boquilla no detallan las características que permitirían separarla de la toba riolítica; excepto posiblemente para las exploraciones III, VI y VII.

El sitio más próximo a la boquilla en que aflora nitidamente la toba pumítica es en unos bancos de materiales abandonados, ubicados en la Loma La Moledera y dista unos 3 Km. En ese sitio se presentan como unas tobas de color gris claro, compactas, poco fracturadas, de textura porfídica con fenocristales de cuarzo y feldespato, también incluye fragmentos de líticos volcánicos y de pómez gris claro, la roca intacta se presenta suave y el macizo tiene caliche relleno de fracturas; el material que es obtenido de estos bancos fue utilizado para tallar filtros de agua ("destiladeras"), lo que da idea de una roca suave y semipermeable.

Más próximo a la boquilla, en la Loma La Cejita, se puede observar a la toba pumítica semicubierta por materiales de talud, aquí la roca se presenta como una toba gris claro o rosada, cubierta por una costra dura de caliche blanco que la enmascara.

Las características de la toba cortada en las exploraciones III, VI y VII, y que pudiera tratarse de la toba pumítica, son las siguientes:

EXPLORACION	ESPESOR	CARACTERISTICAS
III	9.90 m (de 10.10 a 20.00)	Toba riolítica de color gris, fracturada a muy fracturada. Su recuperación fue de 45% para sus primeros 4 m y de 90 a 94 % para el resto.
VI	5.00 m (de 15.00 a 20.00)	Toba riolítica de color gris, fracturada. Su recuperación fue del 90 al 96%.
VII	5.00 m (de 26.00 a 31.00)	Toba riolítica, compacta, poco fracturada. Su recuperación fue del 90 al 100%.

A pesar de haberse diferenciado la toba pumítica de la toba riolítica, la primera, por su reducido espesor se cartografió conjuntamente con la segunda. Asimismo, dado que las

descripciones de los barrenos no permiten su separación en todas las perforaciones, para la interpretación geológica de las secciones del embalse y boquilla (Planos 1 y 2) las dos unidades de tobas (pumítica y riolítica) se presentan como una sola unidad litológica.

- TOBA RIOLITICA

La toba riolítica, unidad superior de la Formación Vizcarra aflora ampliamente en el área coronando al Cordón de Las Boquillas; asimismo en la Boquilla Santiago aflora en ambas márgenes, así como en su porción central y fue cortada en todas las perforaciones realizadas, tanto en el eje como en el embalse.

En las lomas La Moledera y La Cejita se presentan como tobas de color rosa pálido y rosa claro, muy compactas, fracturadas y muy duras. La roca presenta abundantes fenocristales de cuarzo y feldespatos y escasos fragmentos de roca incluye algunos fragmentos de pómez gris claro, devitrificado y aplastado por el peso del material suprayacente.

Petrográficamente se clasificó como toba cristalovitrea Riolítica Vesicular (Ignimbrita), y se compone de esquirilas vitreas (46%), cuarzo (33%), sanidino (11%) y otros; su porosidad al microscopio se consideró de 3% y se compone básicamente de pequeñas vesículas elipsoidales, cuyo eje mayor mide de 0.5 a 6mm; el microfisuramiento que tiene es escaso, se presenta perpendicular a la pseudoestratificación, su largo varía de 0.052 a 0.088mm y se encuentran cerradas.

El fracturamiento que presenta es de 3 familias verticales, que se cierran a profundidad; no se muestran rellenos en las discontinuidades. El espesor que muestran en estos sitios es de unos 8m.

Sobre el eje de la boquilla, en la margen izquierda aflora desde el cadenamamiento -0+041.80 hasta el -0+005, en la porción central se presenta aproximadamente entre los cadenamientos 0+340 a 0+408, mientras que en la margen derecha se le encuentran desde el cadenamamiento 0+585 hasta 0+710; en estos sitios sus características litológicas son semejantes a las ya mencionadas. Tanto en la margen izquierda como en derecha se presenta como una roca fracturada, ligeramente intemperizada y muy dura, que se cubre por una reducida capa de suelos residuales entre los que sobresalen una gran cantidad de bloques en tamaños que varían de 0.1 a más de 1.5 metros cúbicos. En la porción central se presenta como una roca moderadamente intemperizada y menos dura que en los demás afloramientos, su fracturamiento es ligeramente mayor pero la alteración de la porción superficial de la roca

impide determinar sistemas de fracturamiento preferenciales. Se cubre por suelos residuales, materiales de talud y algunos bloques medianos (0.1 a 0.3 m³) de la misma roca.

En las 17 perforaciones de la boquilla se le cortó con diferentes espesores (desde 7.65m en II hasta 31m en VII) pero sólo en cuatro de las exploraciones se llegó a su contacto inferior; la III de margen izquierda, hasta 20m de columna perforada total, y las VIII, la X y la XI de margen derecha, con 28.80, 15.00 y 16.00m de columna perforada total.

En general, la toba riolítica que se cortó en las perforaciones del eje se presentó como una roca de fracturamiento y alteración variable, alternándose tramos sanos de alta recuperación con tramos alterados muy fracturados. El plano 3 (Sección Geológica-Geotécnica de la Boquilla) muestra entre otra información, la recuperación que se obtuvo en cada sondeo.

El contacto inferior de la toba riolítica es transicional con la toba pumítica y se mapearon en conjunto tanto en las plantas geológicas como en las secciones (Planos 1 y 3). Ambas unidades litológicas de la Formación Vizcarra descansan discordantemente sobre la Formación Ahuichila o directamente sobre la Formación Caracol. Les sobryace discordantemente una colada de basaltos, materiales aluviales, acarreos, o suelos residuales.

- BASALTOS

Se tiene un afloramiento muy pequeño de basaltos, no cartografiable a la escala utilizada en las inmediaciones del cadenamamiento 0+300. Se trata de un basalto gris oscuro a negro que intemperiza a gris claro, moderadamente intemperizado y compacto, aunque muy fracturado con rellenos de caliche entre las fracturas; su textura es afanítica, el peso específico alto, y se presenta como una colada de 7m de espesor como máximo; se cortó en las perforaciones exploratorias IV y V, donde se cubre por unos 60cm de suelos residuales, con espesor de 4.85 y 6.40m respectivamente.

Esta unidad de roca está cubierta por suelos residuales y vegetales, así como por talud, motivo por lo cual, aunado a sus pequeñas dimensiones (unos 6m² como máximo), no pudo ser descrita con detalle.

En el vaso se presentan también, sobre el Río Santa Cruz a unos escasos 45m de su confluencia con el Río Santiago, al cual le llega por su margen derecha a unos 60m del eje de la cortina proyectada. En dicho lugar se tienen dos pequeños afloramientos sobre el lecho del río de unos 50m de largo y separados por unos 35m; aquí su color es gris oscuro e intemperiza a café rojizo, y la textura es porfídica con fenocristales de olivino

idingsitizado en tamaño de hasta 2cm; la roca se muestra ligeramente intemperizada, compacta, poco fracturada; entre las fracturas que presenta se observan "lloraderos" de agua, por lo que se considera como una unidad permable; el fracturamiento que le afecta se presenta con dos sistemas verticales cerrados. A estos basaltos los cubren acarreos y terrazas aluviales, mientras que su contacto inferior, aunque cubierto, posiblemente sea discordante con la toba riolítica.

- TERRAZAS ALUVIALES

Las terrazas aluviales se encuentran flanqueando al Rio Santiago por ambos márgenes, desde la población de San Marcos hasta aguas abajo de la boquilla, a todo lo largo del área cartografiada. Se trata de materiales limo-arcillosos de color blancuzco y cremoso que se cubren casi por completo de suelos vegetales; sus mejores afloramientos se encuentran en recodos del río; donde éste ha erosionado las márgenes.

Las perforaciones efectuadas en la boquilla la encontraron tan sólo en margen izquierda (exploraciones I', II, II', III, IIIa y IV); en este lugar su espesor máximo lo cortó la exploración IIIa en el cadenamiento 0+200, con 11.90m. En general el material recuperado es arcillo-limoso, sin embargo en la base de la unidad y entre los cadenamientos 0+180 a 0+230 (exploraciones I', II', IIIa y IV) se encontraron escasos fragmentos subangulosos de caliza, basalto y toba riolítica; asimismo, entre los cadenamientos 0+215 a 0+230 (exploraciones II' y IV) los primeros 6m del material se caracterizan por un alto contenido de arenas y gravas.

- DEPOSITOS DE TALUD

Fragmentos de toba riolítica, empacados en una matriz arcillo-arenosa semicompacta, componen a los materiales de talud. Esta unidad litológica se presenta únicamente en las inmediaciones de las lomas y cordones. El tamaño de los fragmentos de roca es variable en promedio tienen 0.3m³, y oscila entre 0.1 y 1.5m³. El espesor de la unidad es reducido y no supera a los 3m.

- ACARREOS

Cubriendo el lecho de los escurrimientos principales, ríos, Santiago y Santa Cruz, se han acumulado arenas, gravas y bloques en tamaño de hasta unos 30 o 40cm de caliza, riolita, basalto, pedernal y arenisca.

Estos materiales se encuentran prácticamente sueltos y con espesores que varían de 0 a 6m. Las exploraciones de la boquilla que las cortaron fueron las II', IV, VIII y IX, estas dos últimas con 4.5 y 2.8m de espesor respectivamente.

- SUELOS

Los suelos que se presentan son arcillo-arenosos y contienen material orgánico, su color es rojizo, y cubren prácticamente a todas las unidades litológicas, con excepción de las partes altas de las lomas. En general su espesor es de unos 60cm y como máximo tienen 1.5m; ocasionalmente incluyen boleos y gravas. El uso que se les da es agrícola.

2.2.2 Geología Estructural

La boquilla Santiago se ubica sobre la alineación de varias lomas, con apariencia de cordón, donde coronan las tobas riolíticas de la Formación Vizcarra. La orientación de dicho cordón es NW-SE, misma que resulta ser similar a la de otros cordones, con las mismas características litológicas en la región (Figura 2.1).

Estas tobas presentan pseudoestratificación, con echado de unos 20°, que le da apariencia de basculamiento hacia el sur.

La zona de embalse se encuentra cubierta por suelos y terrazas aluviales recientes que enmascaran a las unidades litológicas sobre las que descansan. Sin embargo, conforme a la información del subsuelo obtenida de perforaciones exploratorias de la boquilla se interpretaron las secciones geológicas del vaso mostradas en el Plano 1.

De la interpretación de dichas secciones se desprende lo siguiente:

- El basamento en la zona de la boquilla lo conforma la Formación Caracol. Esta Formación se encuentra plegada, y antes de ser cubierta por la Formación Ahuichila, que le subyace, estuvo sujeta a erosión.
- Dado que en algunas perforaciones no se encontró a la Formación Ahuichila, pasándose directamente a la Formación Caracol, se infiere que la Formación Ahuichila, cubrió tan sólo parcialmente a la Formación Caracol con espesores variables.

La depositación de los productos volcánicos cubrió tanto a la Formación Caracol como a la Ahuichila, y el echado que muestra pseudostratificación implica un fenómeno tectónico post-Laramidico aunque de menor importancia.

Por otro lado, durante la etapa de reconocimiento geológico regional, así como de levantamientos detallados en la boquilla y bancos de roca se midieron las características y orientación de las discontinuidades que afectan a la toba riolítica, por ser las únicas unidades que presentan discontinuidades susceptibles de ser caracterizadas.

Del levantamiento regional se obtuvieron 64 datos; en la margen derecha 18 datos; en la margen izquierda se obtuvieron 85 datos y de un posible banco de roca se obtuvieron 107 datos, mismos que en conjunto suman 274 estructuras medidas y caracterizadas.

Entre las diferentes características que se obtuvieron de las discontinuidades se encuentran las siguientes:

- a) Definición del número de familias sistemáticas que presenta el macizo rocoso, su origen y orientación preferencial, así como las desviaciones que presenta.
- b) El espaciamiento nodal por familia y la desviación que presentan.
- c) La rugosidad de las paredes, misma que influye directamente en la resistencia al esfuerzo cortante.
- d) La continuidad o persistencia, la cual permite evaluar las dimensiones de los planos estructurales, posibles bloques y formación de cuñas.
- e) Apertura y relleno de las discontinuidades.

Durante el estudio que se realizó para determinar la orientación y el número de familias de discontinuidades, así como sus características ingenieriles, se observó que su comportamiento es constante tanto en la boquilla como regionalmente y en las zonas estudiadas para la evaluación de bancos de enrocamiento, los cuales se localizan en margen derecha y margen izquierda respectivamente.

Es por ello que aunque se realizaron programas estereográficos individuales para los márgenes en la zona de la boquilla, para un área considerada como regional a través del cordón que forman las lomas, La Boquilla, La Moledera y La Cojita (Figura 2.1), se

utilizaron los diagramas estereográficos integrados, tomando en cuenta que la mayor parte de los datos obtenidos, pertenecen a ambos márgenes y a un posible banco de enrocamiento con características similares a la margen izquierda y cercano a ésta, y, que para fines prácticos reúnen toda la información condensada y con menor desviación de la información (Figuras 2.2, 2.3, y 2.4).

Estos estereogramas presentan la posición de los polos de los planos de discontinuidades (Figura 2.2), la concentración y orientación preferencial de los polos agrupados en familias (Figura 2.3) y, finalmente la orientación preferencial de dichas familias de discontinuidades proyectadas como arcos (Figura 2.4).

De dichos estereogramas se establece que el macizo rocoso está afectado por seis familias de discontinuidades, de las cuales cinco están asociadas a fracturamiento y fallamiento (ALFA, BETA, GAMMA, DELTA Y EPSILON) y una de la pseudoestratificación (TETA).

La orientación preferencial de estas familias, así como la clasificación que se ha hecho de ellas se muestra en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Familia de Discontinuidades y Características

FAMILIA	O R I E N T A C I O N		CARACTERISTICAS
	DIRECCION DEL ECHADO (grados)	ECHADO (grados)	
ALFA	46	71	Primaria
BETA	118	82	Primaria
GAMMA	337	85	Secundaria
DELTA	358	77	Secundaria
EPSILON	89	90	Secundaria
TETA	209	20	Primaria

FAMILIA

ORIENTACION

Dirección echado Echado

46°	71°
118°	82°
337°	85°
358°	77°
89°	90°
209°	20°

q.s.s.u.b

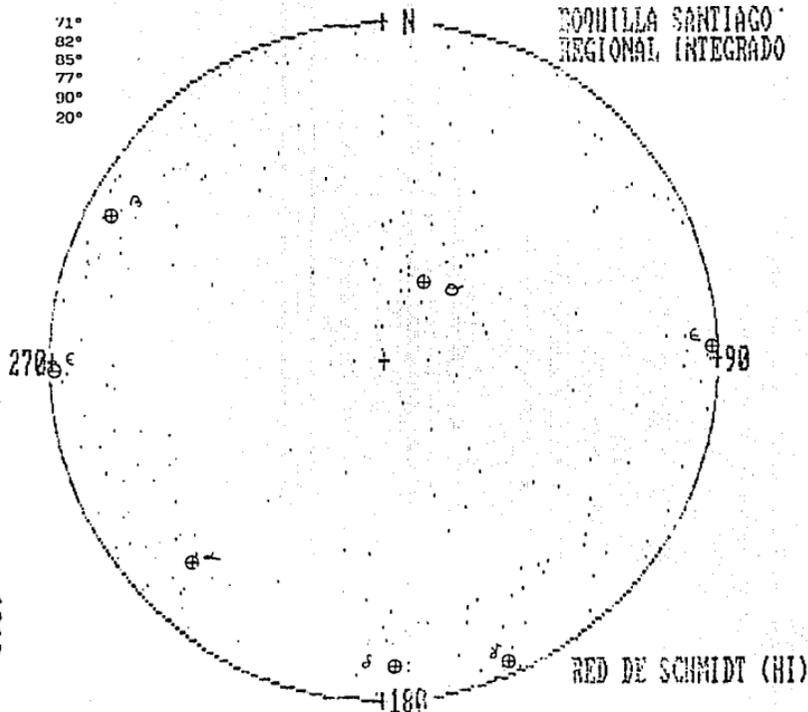


Fig: 2.2

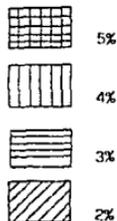
FAMILIA

ORIENTACION

Dirección echado Echado

q r s t u v	46°	71°
	118°	82°
	337°	85°
	358°	77°
	89°	90°
	209°	20°

CONCENTRACION



**FRACTURAS
274 DATOS**

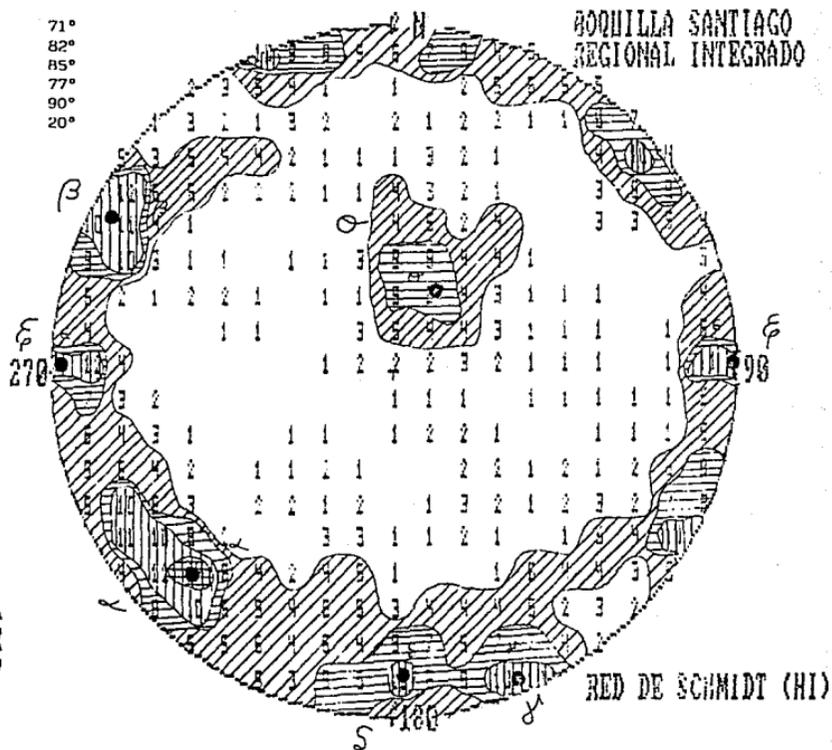


Fig:2.3

FAMILIA

2
A
x
s
e
Q

ORIENTACION	
Dirección	echado
46°	71°
118°	82°
337°	85°
358°	77°
89°	90°
209°	20°

DISCONTINUIDADES
274 DATOS

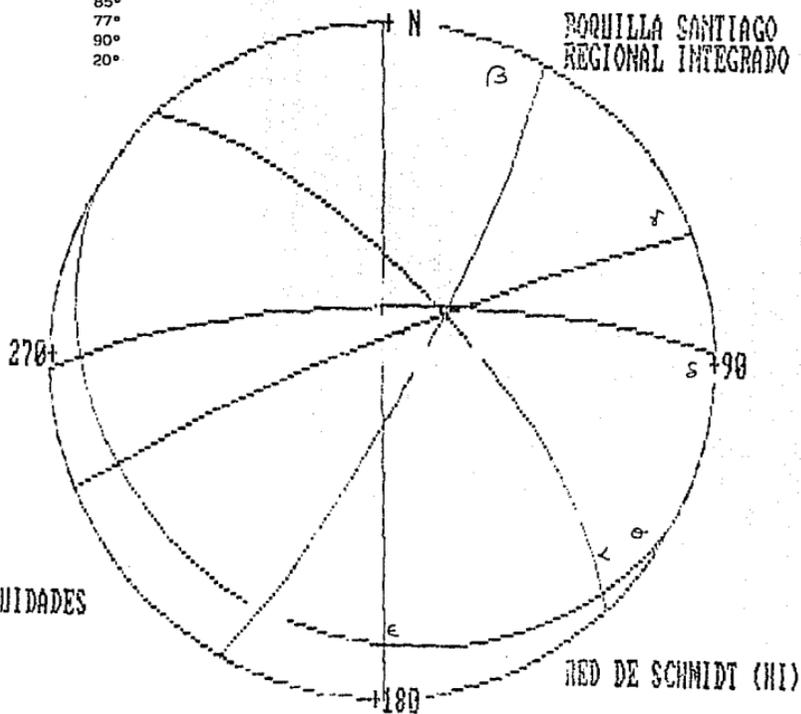


FIG: 2.4

El patrón de discontinuidades que se desarrolla se ha dividido en primarias y secundarias, tomando en cuenta tanto su mayor concentración en una orientación preferencial y las características observadas durante el reconocimiento geológico a detalle.

Las características que presenta cada sistema de fracturamiento se discuten a continuación:

- FAMILIA ALFA

La familia de fracturas ALFA es de tipo primario y la orientación preferencial de su echado es de 46° y su inclinación es de 71° . El espaciamiento que presenta es moderado a amplio (entre 20 y 200cm); las fracturas se muestran continuas a subcontinuas, observándose que en general su traza puede seguirse entre 1 y 3m; la rugosidad de sus paredes es rugosa plana y sus paredes se presentan muy duras; la apertura que presentan las fracturas es cerrada (menor a 0.5mm); finalmente las paredes se encuentran secas, sin evidencias de flujo de agua.

- FAMILIA BETA

La familia de fracturas BETA también es de tipo primario y la orientación preferencial de su echado es de 118° con inclinación de 82° . El espaciamiento que presentan sus discontinuidades es moderado a amplio (de 20 a 200cm); la continuidad que presentan es continua a subcontinua, y se observó que en general puede seguirse su traza entre 1 y 3m; la rugosidad de sus paredes es rugosa plana y sus paredes se presentan muy duras; la apertura que presentan es cerrada (menor a 0.5mm); y finalmente las paredes se encuentran secas, sin evidencias de flujo de agua.

- FAMILIA GAMMA

Esta familia de fractura es de tipo secundaria y tiene una orientación preferencial de su echado de 337° , con una intensidad de su inclinación de 85° . Presenta un espaciamiento moderado a amplio (entre 20 y 200cm) y una continuidad de subcontinua a continua, mientras que la traza de fracturas puede seguirse claramente entre 1 y 10m; la rugosidad de sus paredes en general es rugosa plana; las discontinuidades tienen paredes muy duras;

la apertura que se presenta es variable y se encuentra de cerrada a abierta (de menor a 0.5mm a mayor a 10mm); las paredes de las fracturas se muestran secas, sin evidencia de flujo de agua.

- FAMILIA DELTA

La familia de fracturas DELTA es de tipo secundario y tiene una orientación preferencial de su echado de 358° con una inclinación de 77° , presenta un espaciamiento moderado a amplio (entre 20 a 200cm) y una continuidad de subcontinua a continua, mientras que la traza de fractura puede seguirse claramente entre 1 y 10m la rugosidad de sus paredes en general es rugosa plana; las paredes de discontinuidades son muy duras, se muestran secas sin evidencia de flujo de agua y presenta una apertura cerrada a entre abierta (menor a 10mm).

- FAMILIA EPSILON

La familia de fracturas EPSILON es de tipo secundario y tiene una orientación preferencial de su echado de 85° con una inclinación de 90° (prácticamente vertical). Presenta un espaciamiento amplio (entre 60 y 200cm) y una continuidad subcontinua, mientras que la traza de fractura puede seguirse entre 1 y 10m; la rugosidad de sus paredes en general es rugosa plana a lisa plana, se muestran secas sin evidencia de flujo de agua y presentan una apertura cerrada a abierta (de menor a 0.5mm hasta mayor a 10mm).

- FAMILIA TETA

Finalmente la familia de discontinuidades TETA es de tipo primario y tiene una orientación preferencial de su echado de 209° con una inclinación de 20° , representa a la pseudoestratificación que afecta a la toba riolítica. Presenta un espaciamiento moderado (entre 20 y 60cm) y una continuidad de tipo subcontinua, la traza de discontinuidad puede seguirse entre 0.5 y 3m; la rugosidad de sus paredes varía de rugosa plana a lisa plana, éstas se muestran secas sin evidencia de flujo de agua y presentan una apertura cerrada a entre abierta (menor a 10mm).

Las características de los seis sistemas de discontinuidades se resumen a la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Resumen de los Sistemas de Discontinuidades

	ALFA	BETA	GAMA	DELTA	EPSILON	TETA
ORIENTACION	46-71	118-82	337-85	358-77	89-90	209-20
TIPO	Primaria	Primaria	Secundaria	Secundaria	Secundaria	Primaria
ESPACIAMIENTO	Moderado a Amplio (de 20 a 200cm)	Moderado a Amplio (de 20 a 200cm)	Moderado a Amplio (de 20 a 200cm)	Moderado a Amplio (de 20 a 200cm)	Amplio (60 a 200 cm)	Moderado (de 20 a 60 cm)
CONTINUIDAD	Continua a Subcontinua (entre 1 y 3 m)	Continua a Subcontinua (entre 1 y 2 m)	Continua a Subcontinua (entre 1 y 10 m)	Continua a Subcontinua (entre 1 y 10 m)	Subcontinua (entre 1 y 10 m)	Subcontinua (entre 0.5 y 1 m)
RUGOSIDAD	Rugosa plana	Rugosa plana	Rugosa plana	Rugosa plana	Rugosa plana a lisa plana	Rugosa plana lisa plana
DUREZA DE LAS PAREDES	Muy dura	Muy dura	Muy dura	Muy dura	Muy dura	Muy dura
APERTURA	Cerrada (menor a 0.5 m)	Cerrada (menor a 0.5 m)	Cerrada a abierta (de menor de 0.5 a mayor de 10 m)	Cerrada a entre abierta (menor a 10 m)	Cerrada a abierta (de menor de 0.3 a mayor de 10 m)	Cerrada a en' abierta (men' a 10 m)

Orientación en grados y definido a través de la dirección del techo y elgado.

CAPITULO TRES

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

3.1 ANALISIS DE PERMEABILIDAD

De las 15 perforaciones exploratorias efectuadas en la boquilla en 13 se realizaron pruebas de permeabilidad, tanto de tipo Lefranc, para los materiales granulares, como de tipo Lugeon, para las rocas compactas. En el perfil geotécnico del Plano 3 se muestra gráficamente los resultados obtenidos durante las pruebas de permeabilidad realizadas en cada perforación. En éste, a cada tramo probado se le clasificó como impermeable, poco permeable o muy permeable, conforme a los siguientes rangos:

PERMEABILIDAD LEFRANC (cm ³ /seg)	PERMEABILIDAD LUGEON (U. L.)	R A N G O
10 ** (-5) a 10 ** (-6)	0 - 5	Impermeable
10 ** (-4)	3 - 11	Poco permeable
10 ** (-3) a 10 ** (-2)	mayor a 11	Permeable a muy permeable

** : Elevado a

Las características generales de los resultados de permeabilidad obtenidos para cada una de las unidades litológicas se discuten a continuación:

- SUELOS Y MATERIALES DE TALUD

Dado que estas unidades son las más superficiales y se presentan con espesor reducido, de 1 a 2 m, carecen de importancia desde el punto de vista de su permeabilidad ya que deberán removerse totalmente.

- ACARREOS

Los acarreos fluviales fueron cortados por cuatro perforaciones en las que se efectuaron pruebas de permeabilidad. En las perforaciones VIII y IX se cortó sobre el actual cauce del río Santiago, aquí se obtuvieron las siguientes características:

EXPLORACION	TRAMO PROBADO (m)	TIPO DE PRUEBA (Lc: Lefranc) (Ln: Lugeon)	RESULTADO
VIII	0-5.00	Lc	Impermeable con 6.78×10^{-6} (-6) cm/s
IX	0-5.00 (acarreos 0-2.80)	Lc	Poco permeable con 1.32×10^{-5} (-5) cm/s

Por otro lado, el paleocauce interpretado en la margen izquierda se cortó con las exploraciones II' y IV, con las siguientes características:

EXPLORACION	TRAMO PROBADO (m)	TIPO DE PRUEBA (Lc: Lefranc) (Ln: Lugeon)	R E S U L T A D O
II'	0-3.00	Lc	Permeable con 3.00*10**(-4)cm/s
	4.50-7.50	Lc	Permeable con 2.93*10**(-4)cm/s
IV	0-5.00	Lc	Poco permeable con 7.14*10**(-5) cm/s
	5.00-10.00 (acarreos hasta 7.50)	Lc	Poco permeable con 2.05*10**(-5)cm/s

En general se puede considerar que los acarreos fluviales se comportan para fines prácticos como poco permeables.

- TERRAZAS ALUVIALES

Ubicadas en la margen izquierda las terrazas aluviales se cortaron por 5 exploraciones donde se realizaron pruebas de permeabilidad (I', II, II', III Y IV). Los resultados de las permeabilidades se resumen a continuación:

EXPLORACION	TRAMO PROBADO (m)	TIPO DE PRUEBA (Lc: Lefranc) (Ln: Lugeon)	R E S U L T A D O
I'	3.00- 6.00	Lc	Poco permeable con 2.35*10**(-5) cm/s
	6.00- 9.00	Lc	Poco permeable con 2.93*10**(-5) cm/s
	9.00-12.00	Lc	Poco permeable con 3.95*10**(-5) cm/s
II	0.00- 5.00	Lc	Poco permeable con 3.27*10**(-5) cm/s
	5.00-10.00	Lc	Poco permeable con 2.52*10**(-5) cm/s
II'	0.00- 3.00 (suelos hasta 0.60)	Lc	Fermeable con 3.00*10**(-4) cm/s
	4.50- 7.50	Lc	Fermeable con 2.93*10**(-4) cm/s
	7.50-10.50	Lc	Muy permeable con 2.98*10**(-3) cm/s
III	0.00- 5.00 (suelos hasta 0.60)	Lc	Poco permeable con 7.15*10**(-5) cm/s
	5.00-10.00	Lc	Poco permeable con 3.39*10**(-5) cm/s
IV	5.00-10.00 (acarrees hasta 7.50)	Lc	Poco permeable con 2.05*10**(-5) cm/s

En general los materiales limo-arcillosos, medianamente compactos, que conforman a las terrazas aluviales se comportaron como poco permeables.

- BASALTOS

Los basaltos, que se ubican hacia la porción central de la boquilla, fueron cortados únicamente en dos de las exploraciones (IV' y V), los resultados de las permeabilidades obtenidas se resumen a continuación:

EXPLORACION	TRAMO PROBADO (m)	TIPO DE PRUEBA (Lc: Lefranc) (Ln: Lugeon)	R E S U L T A D O
IV'	0.00- 3.00 (suelos hasta 0.60)	Lc	Poco permeable con $5.68 \times 10^{**}(-5)$ cm/s
	4.00- 7.00 (suelos hasta 5.45)	Lc	Altamente permeable
V	0.00- 5.00 (suelo hasta de 1.80)	Lc	Poco permeable con $4.59 \times 10^{**}(-5)$ cm/s
	5.00-10.00 (basaltos hasta de 7.80)	Lc	Poco permeable con $3.25 \times 10^{**}(-5)$ cm/s

Los basaltos, como consecuencia de su fracturamiento se comportaron poco permeables a altamente permeables en su contacto con la toba riolítica.

- TOBA RIOLITICA

Las tobas riolíticas fueron cortadas en todas la exploraciones directas que se efectuaron. Dado el alto número de pruebas que se realizaron, la gran mayoría de tipo Lugeon, no se describen cada

una de ellas y se remite al lector interesado al plano 3, donde para cada tramo probado se señala la presión máxima alcanzada durante la prueba.

Como se aprecia en el mencionado plano, tan sólo 9 tramos probados (de un total de 43, distribuidos en las 15 perforaciones) se alcanzó una presión de prueba de 10 kg/cm² y en la gran mayoría de ellas la presión crítica es del orden de los 4 kg/cm²; comportándose la roca en general como impermeable para bajas presiones durante las pruebas y altamente permeables a permeable por encima de ellas. Esta permeabilidad se debe al fracturamiento que afecta al macizo rocoso ya que la roca intacta se muestra sana muy compacta y no esta afectada por microfracturamiento.

- FORMACION AHUICHILA

Cortada únicamente por 3 de las perforaciones exploratorias (III, X y XI) la Formación Ahuichila tuvo el siguiente comportamiento durante las pruebas de permeabilidad:

EXPLORACION (m)	TRAMO PROBADO (Lc: Lefranc)	TIPO DE PRUEBA (Ln: Lugeon)	R E S U L T A D O
III	20.00-25.00 (F. Ahuichila de 20.00 a 24.00)	Ln	Impermeable con 0.0 U.L.
X	15.00-20.00	Ln	Impermeable con 0.0 U.L. hasta 6.2 kg/cm ² y permeable con 11.5 U.L. para mayor presión.
	20.00-25.00	Ln	Impermeable con 0.0 U.L.
XI	16.00-21.00 (F. Ahuichila de 16.00 a 19.00)	Ln	Impermeable con 0.0 U.L. hasta 4.6 kg/cm ² y muy permeable con 37.3 U.L. para mayor presión.

El conglomerado calcáreo de la Formación Ahuichila se comportó como impermeable con 0.0 U.L. para presiones de prueba por debajo de 4.6 Kg/cm² y permeable a muy permeable para presiones mayores.

- FORMACION CARACOL

Encontrada en cuatro de las perforaciones exploratorias (III, VIII, X y XI) las lutitas y areniscas de la Formación Caracol tuvieron el siguiente comportamiento durante las pruebas de permeabilidad:

EXPLORACION	TRAMO PROBADO (m)	TIPO DE PRUEBA (Lc: Lefranc) (Ln: Lugeon)	R E S U L T A D O
III	21.00-26.00 (F. Caracol desde 24.00)	Ln	Impermeable con 0.0 U.L.
VIII	25.00-30.00 (F. Caracol desde 29.00)	Ln	Impermeable con 0.0 U.L.
X	25.00-30.00	Ln	Impermeable con 0.0 U.L.
XI	16.00-21.00 (F. Caracol desde 19.00)	Ln	Impermeable con 0.0 U.L. hasta 4.6 kg/cm ² y muy permeable con 37.3 U.L. para mayor presión
	21.00-26.00	Ln	Impermeable con 0.0 U.L.

En general la Formación Caracol se comportó como una unidad impermeable, soportando la presión de prueba de 10 Kg/cm²

CAPITULO CUATRO

PRUEBAS DE LABORATORIO

4.1 ANALISIS DE LABORATORIO

Como complemento de los estudios efectuados en la Boquilla Santiago se tomaron muestras de rocas representativas de las unidades aflorantes (excepto a la Formación Ahuichila que no aflora y la muestra fue tomada de barrenos), a las cuales se les hicieron estudios en laboratorio, tanto petrográficos como pruebas para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Estas últimas pruebas sólo fueron hechas a las tobas riolíticas y basalto.

Los resultados de los estudios petrográficos, que incluye observaciones sobre el microfracturamiento, se incorporó a la descripción de las unidades litológicas del capítulo 2.2.1. misma que se resume a continuación:

La toba riolítica presenta características litológicas similares tanto en la margen izquierda como en la derecha y en el afloramiento en la parte media del eje de la cortina, tiene estructura piroclástica y textura soldada, se compone de esfirras vitreas (46%), cuarzo (33%), feldespatos potásico (11%) y otros (10%), su porosidad al microscopio es de 5%, presenta poros elipsoidales (vesicular) de 0.5 a 6 mm de longitud. Su matriz tiene escasas microfisuras las cuales son perpendiculares a su pseudoestratificación, su longitud es de unos 0.052 a 0.088 mm y se encuentran cerradas. Se le clasificó petrográficamente como TOBA CRISTALOVITREA RIOLITICA VESICULAR (IGNIMBRITO).

El basalto que se encuentra en la porción media del eje de la cortina es de color gris oscuro, macroscópicamente tiene textura porfídica con matriz afanítica, fracturado, con relleno de caliche en sus fracturas.

El estudio al microscopio indica una textura holocristalina porfídica la matriz se presenta con rellenos de calcita, con estructura masiva escasamente vesicular. Los minerales primarios que presentan son plagioclasa cálcica (71%) y piroxenos (17%), mientras que los minerales accesorios son magnetita (7%) y olivino (5%). Las plagioclasas muestran microfisuramiento escaso con espesor de 0.01 a 0.001 mm, con separación de unos 0.5 a 0.9

Finalmente, de la Formación Ahuichila se obtuvo una muestra de los núcleos recuperados durante la perforación exploratoria número XI del eje de la boquilla. Sus características petrográficas son las siguientes: Textura epiclástica y estructura estratificada; se compone de fenoclastos de tamaño que varía entre 5 y 65 mm, incluidos en una matriz arenosa de grano grueso constituida de líticos, cuarzo, pedernal, feldespatos y calcita; su cementante es de calcita espática, el contacto entre clastos es cerrado y no se observan poros. Se clasificó como CONGLOMERADO POLIMICTICO ARENOSO CALCAREO.

Los resultados de las pruebas para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades toba riolítica y basalto se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Resultados de las Pruebas de Laboratorio

U N I D A D LITOLÓGICA	POROSIDAD (%)	DENSIDAD EN SECO (g/cm ³)	DENSIDAD SATURADA (g/cm ³)	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (kg/cm ²)	INDICE DE CARGA PUNTUAL (kg/cm ²)	MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (kg/cm ² × 10 ¹⁴)
Toba riolítica				615.9	-	51.21
Margen izquierda	2.1	2.32	2.40			
Toba riolítica	8.7	2.27	2.40	633.6	-	57.60
Margen Derecha						
Toba riolítica	-	2.32	2.38	-	61.0	-
Parte Media						
Basalto	0.5	2.80	2.86	-	70.7	-

Estos datos obtenidos de las pruebas físicas y mecánicas, indican una porosidad muy baja para ambos tipos de roca.

La resistencia a la compresión simple así como el módulo de elasticidad se puede considerar como términos medios de acuerdo a la clasificación hecha por (DEERE Y MILLER, 1966)

Estos resultados de laboratorio, serán analizados más ampliamente en el capítulo VI, de Integración Geológica-Geofísica.

4.2 ESTABILIDAD EN LAS LADERAS

La estabilidad de las laderas en la zona del eje de la boquilla es de suma importancia en la construcción de la presa. Se requiere de un análisis detallado para poder cuantificar los problemas existentes en ellas; uno de estos análisis es el Método de Análisis Cinemático, que consta de una técnica gráfica que permite evaluar la estabilidad de los cortes, utilizando entre otras cosas, diagramas estereográficos, datos de resistencia y de orientación de cortes.

En este capítulo no se desarrollará con amplitud este método. La descripción hecha a continuación sobre la estabilidad de las laderas es en base al recorrido de geología superficial realizado.

En la margen derecha se forman las laderas con orientación diferente pero con inclinaciones muy suaves, una con dirección 102 grados y otra con 140 grados, sus inclinaciones varían entre 20 y 30 grados.

En la margen izquierda la inclinación de la ladera es más suave que en la margen derecha y presenta una orientación NW-SE.

Se tiene que tanto en margen derecha como en margen izquierda, las inclinaciones de las laderas son muy suaves y que la inestabilidad en ellas es poco probable.

Un aspecto importante para el análisis de estas laderas, es el hecho de que forman parte de las lomas en donde se obtuvo gran cantidad de datos de las discontinuidades que afectan al macizo rocoso. Esta información fue analizada en el inciso 2.2.2, en la que se establece que el macizo rocoso (representado por las tobas riolíticas) está afectado por seis familias de discontinuidades, que en la Figura 2.4 están proyectadas como grandes círculos.

Se tiene que la intersección de estas familias de discontinuidades forman cuñas que pueden afectar la estabilidad de las laderas.

Por lo que se refiere a la estabilidad en los cortes por realizar para el vertedor, el cual se encontrará en la margen derecha, conociendo la orientación e inclinación de estos cortes, se puede establecer la relación con las cuñas formadas por las familias de discontinuidades, y obtener la inclinación apropiada para asegurar una estabilidad, en los cortes.

CAPITULO CINCO

GEOFISICA

Como resultado de las perforaciones exploratorias realizadas sobre el eje de la cortina, surgió la necesidad de conocer en forma más detallada algunas características de las rocas, por lo que se programó un estudio de geofísica empleando los métodos de sísmología de refracción y eléctrico de resistividad.

En este apartado se tratarán los resultados obtenidos con cada una de las técnicas aplicadas.

5.1 GEOSISMICA.

Se realizaron 3 líneas de tendidos sísmicos, en la zona de la boquilla para definir:

- El contacto aluvión - roca.
- El espesor de roca alterada o suelta.
- El espesor de roca decomprimida.
- La velocidad de propagación en la roca sana.

Una de las líneas (A-A') se ubicó sobre el eje de la cortina, con una longitud de 795 m; las otras dos líneas (D-D' y E-E') se efectuaron de forma perpendicular a la primera, en los cadenamientos 0 + 230 y 0 + 150 respectivamente, con longitud de 160 m cada línea. La ubicación de estas líneas se muestra en el Plano 2.

Con la información obtenida de estas líneas de exploración sísmica, se formaron las curvas tiempo-distancia para cada tendido y se obtuvieron las velocidades de propagación de las ondas sísmicas.

Se logró definir cuatro diferentes unidades geosísmicas, las cuales presentan distintas características.

La primera unidad queda definida por velocidades bajas (160 a 220 m/s) y corresponde con la capa de terraza aluvial poco consolidada con suelo; su espesor varía de 3 a 5 metros y se extiende a lo largo de las tres líneas.

La segunda unidad muestra velocidades medias (1900 a 2300 m/s), se presenta únicamente en la margen derecha (línea A-A'), con espesores que van de 12 a 22 m. Corresponde con la toba riolítica muy fracturada.

La tercer unidad se caracteriza por velocidades medias (2400 a 3200 m/s) y representa a la toba riolítica que va de fracturada a poco fracturada. Esta unidad también incluye a una pequeña colada de basalto y a una parte muy compacta de la terraza aluvial, y dado que presentan velocidades similares a las de la toba riolítica, no se lograron diferenciar.

La cuarta unidad se asocia a un conglomerado calcáreo muy compacto, identificado como Formación Ahuichila, la cual tiene una velocidad alta (3500 m/s). Esta unidad sólo se logró identificar en la margen derecha (línea A-A').

Es importante recalcar que la terraza aluvial no fue diferenciada de la toba riolítica, por encontrarse muy compacta y presentar velocidades muy similares ambos materiales. El mismo caso se tiene con la colada de basalto.

Otro aspecto interesante, es que sólo fue posible identificar al conglomerado calcáreo en la línea A-A', en su parte derecha; por otra parte el contacto de la toba riolítica con las lutitas y areniscas de la Formación Caracol, no se logró definir debido a que los materiales sedimentarios de la Formación Caracol, presentan menor o igual velocidad que las tobas.

La Tabla S.1 resume los resultados geosísmicos obtenidos.

Tabla 5.1

Resumen de resultados geosismicos.
Proyecto Santiago, Zac.

UNIDAD	VELOCIDAD (m/s)	DESCRIPCION
I	160 - 220	Toba riolitica muy fracturada y alterada y/o terraza aluvial muy suelta y/o suelo.
II	1900 - 2300	Toba riolitica muy fracturada.
III	2400 - 3200	Toba riolitica que va de fracturada a poco fracturada, incluye roca basáltica y terraza aluvial muy compacta.
IV	3500	Conglomerado calcáreo muy compacto.

5.2 GEOELECTRICA

Para este proyecto se realizaron 45 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) distribuidos en tres líneas de sección, una coincidente con el eje de la boquilla (línea A-A'), donde se ubicaron 15 SEV y dos paralelas a la anterior (líneas B-B' y C-C'), también con 15 SEV cada línea. La ubicación de los sondeos y de las líneas se muestra en el Plano 2.

El objetivo de la exploración eléctrica fue el de definir:

- El contacto rocas volcánicas-rocas sedimentarias
- Zonas de fracturamiento o fallamiento
- El espesor de la Formación Ahuichila, así como posibles huecos o cavernas en ella.
- El nivel freático

Con los datos de resistividad aparente obtenidos en campo se construyeron curvas de resistividad aparente, las cuales se digitalizaron con el fin de procesarlas mediante computadora,

para obtener los espesores y resistividades del corte geoelectrico y con ellos formar perfiles electrostratigraficos para conocer el comportamiento electrico del subsuelo.

De los resultados obtenidos se pudo establecer seis unidades geoelectricas correspondientes a diferentes condiciones de los materiales.

La Unidad I, está a su vez dividida en dos subunidades; la primera (Ia) con resistividades de 70 a 640 ohm-m correspondiente a la toba riolitica fracturada y alterada con suelos; la segunda (Ib) presenta resistividades de 20 a 30 ohm-m, se atribuye a los depósitos aluviales.

El espesor de esta unidad oscila entre 2 y 9 m, extendiéndose a lo largo de todas las lineas.

La Unidad II, presenta resistividades de 10-145 ohm-m, se correlaciona con la terraza aluvial con suelo y su espesor varia entre 1 y 9 m.

La Unidad III, se caracteriza por tener resistividades de 120 a 380 ohm-m, se atribuye a una pequeña colada de roca basáltica que se encuentra muy fracturada. Se localiza únicamente entre los cadenamientos O+280 a O+340 de las lineas A-A' y C-C', alcanzando espesores de hasta 7 m.

La Unidad IV, se divide en dos subunidades: la primera (IVa) con resistividades de 5-115 ohm-m, atribuida a la toba riolitica que varia de fracturada-alterada a poco fracturada, los valores bajos de resistividad corresponden con las zonas donde la roca se encuentra más alterada y fracturada; la segunda subunidad (IVb), muestra valores de resistividad de 70 a 660 ohm-m, que se correlacionan con la toba riolitica muy fracturada.

La Unidad V, se detectó con resistividades de 20 a 30 ohm-m, valores asociados al conglomerado calcáreo de la Formación Ahuichila.

La Unidad VI, también se dividió en dos subunidades: la primera (VIa) caracterizada por resistividades de 5 a 30 ohm-m, correspondiente a las lutitas y areniscas de la Formación Caracol, con mayor contenido de material arcilloso; la segunda subunidad (VIb), presenta valores de resistividad de 30 a 140 ohm-m y se atribuye a la misma Formación Caracol, pero con mayor contenido de material arenoso.

Debe resaltarse que para el conglomerado calcáreo se tuvieron resistividades más bajas de las esperadas, esto puede explicarse porque se encuentre con espesor y extensión lateral reducidos, por lo que un estudio más detallado de esta formación no fue posible.

La diferencia de resistividades que presentaron tanto las tobas riolíticas como areniscas y lutitas determinaron el contacto entre rocas volcánicas-rocas sedimentarias.

La geoelectrica determinó diversos grados de fracturamiento sobre todo en las tobas riolíticas y basaltos.

El nivel freático no se encontró por eléctrica lo que sugiere mayor profundidad para localizarlo.

Cabe mencionar que algunas unidades a pesar de presentar el mismo rango de resistividades, difieren en la profundidad a la que se les encontró, así como en su litología, por lo cual se clasificaron independientemente.

En la Tabla 5.2 se resumen los resultados obtenidos con el método geoelectrico.

Tabla 5.2 Resumen de Resultados Geoelectricos Proyecto Santiago, Zac.

UNIDAD	RESISTIVIDAD ohm-m	TIPO DE MATERIAL
Ia	70-640	Toba riolitica muy fracturada y alterada con suelo.
Ib	20-30	Depósitos aluviales.
II	10-145	Terraza aluvial.
III	120-380	Basaltos fracturados.
IVa	5-115	Toba riolitica que varia de fracturada a poco fracturada.
IVb	70-660	Toba riolitica muy fracturada.
V	20-30	Conglomerado calcáreo.
VIa	5-30	Lutitas y areniscas.
VIb	30-140	Areniscas y lutitas.

5.3 INTEGRACION DE RESULTADOS

A partir de la información obtenida con el método sísmico y de la información obtenida con el método eléctrico se efectuó un análisis integral, el cual dió como resultado la existencia de seis unidades geofísicas con propiedades diferentes.

La Tabla 5.3 resume las características que presentan cada una de las unidades geofísicas encontradas. En el plano 3, se presenta la Sección Geológica-Geotécnica de la Boquilla con la información geofísica.

Tabla 5.3 Resúmen de Resultados Geofísicos Proyecto Santiago, Zac.

UNIDAD	ESPE- SOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	VELOCIDAD (m/s)	TIPO DE MATERIAL	CALIDAD
Ia	1	70-640	160-220	Toba riolítica muy fracturada y alterada y alterada con suelo	Mala
Ib	a	10-145	160-220	Terrazas aluviales y suelo	Mala
Ic	B	20-30	2400	Depósitos aluviales	Mala
II	1 a 7	10-145	2800-3200	Terraza aluvial	Regular
III	1 a 6	120-380	2400-3200	Basaltos fracturados	Regular
IVa	10 a	5-115	2400-3200	Toba riolítica que varía de fracturada a poco fracturada	Regular
IVb	70	70-660	2400-3200	Toba riolítica muy fracturada	Regular a mala
V	3 a 10	20-30	3500	Conglomerado calcáreo	Regular
VIa	-	5-30	----	Lutitas y areniscas	Regular
VIb	-	30-140	----	Areniscas y lutitas	Regular

Con los resultados obtenidos de esta integración realizada por los métodos geofísicos en el eje de la boquilla, se establece lo siguiente:

La Unidad I se caracteriza porque sus materiales están muy sueltos y se encuentran cubriendo a las demás unidades. Se subdividió por la diferencia presentada en sus resistividades y velocidades, dando así una diferencia en el tipo de material presente. La subunidad Ia se localiza en ambas márgenes, entre los cadenamientos 0+050 a 0+000 y 0+550 a 0+700, y en la parte central del eje entre los cadenamientos 0+250 a 0+280. La subunidad Ic se localiza entre los cadenamientos 0+470 a 0+550.

La Unidad II presenta el mismo rango de resistividad que la subunidad Ib pero difiere grandemente en sus velocidades por lo que se estableció su separación. La primera por sus velocidades se establece una terraza aluvial más compacta, detectándose en las cinco líneas de estudio, mientras que la segunda se considera como una terraza aluvial menos compacta asociada con suelo, encontrándose casi en todo el eje de la boquilla cubriendo a las demás unidades.

La Unidad III se localiza entre los cadenamientos 0+290 a 0+330, se socia a basaltos fracturados.

Para la Unidad IV se tiene que las resistividades bajas se asocian a las zonas donde se encuentran la roca fracturada y poco alterada, los valores altos de resistividad, se asocia a la roca fracturada, sin alteración y fracturas sin relleno.

Esta unidad se localizó a lo largo de las 5 líneas de estudio. Se debe considerar también la posibilidad de que en la subunidad IVa, los valores bajos de resistividad se asocian a la toba pumítica encontrada en los alrededores de la boquilla, la cual es más fácil de alterar a materiales arcillosos y que los valores medios de resistividad corresponden a la toba riolítica fracturada.

Los valores de resistividad obtenidos en la Unidad V fueron más bajos de los esperados, y sólo se detectaron en la margen derecha. La velocidad que presenta esta unidad indica que se encuentra compacta, se asoció al conglomerado calcáreo de la Formación Ahuichila, tomando en cuenta, la información obtenida por las perforaciones realizadas. Los valores bajos de resistividad pueden explicarse si la extensión lateral y el espesor que presenta esta unidad son pequeños.

La Unidad VI, correspondiente a la Formación Caracol, se subdividió de acuerdo a su contenido de material arcilloso y arenoso. Cabe mencionar que sólo por geoelectrónico se estableció el contacto entre esta Unidad con las tobas riolíticas de la Unidad IV, ya que por sísmica no se pudo determinar, al presenta velocidades similares ambas unidades.

Para determinar la calidad geofísica de los diversos tipos de material encontrados se tomó en cuenta, que a mayor velocidad de las ondas sísmicas, mayor es el grado de compactación de la roca, se tomó, como rango, medio de velocidades, entre 1900 a 2300 m/s. Estos datos de sísmica junto con los resultados de resistividades, teniendo un rango medio entre 70-640 ohm-m, así como información geológica tenida como antecedente, permitió determinar la calidad del material encontrado.

De estos estudios geofísicos se tiene que la Unidad I, constituida por depósitos aluviales, terrazas aluviales, suelo, toba riolítica muy alterada y fracturada, forma el material que es necesario remover en el eje de la boquilla.

CAPITULO SEIS

INTEGRACION GEOLOGICA - GEOFISICA DE LA BOQUILLA

6.1 CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LAS UNIDADES.

En función de la información obtenida de los estudios geológicos y geofísicos en la zona de la boquilla, se procedió a efectuar una integración de resultados. para cada unidad litológica que se presenta en la zona de la boquilla, en esta caracterización se analizó su distribución en el subsuelo, la calidad y comportamiento de la roca intacta y del macizo rocoso así como posibles variaciones laterales y la profundidad en sus propiedades.

- FORMACION CARACOL

Las lutitas y areniscas de la Formación Caracol tienen una amplia distribución a todo lo largo de la boquilla, ya que con los estudios geoeléctricos fue posible correlacionar con precisión el contacto de estas rocas con las tobas riolíticas subyacentes.

Su calidad geofísica es regular y presenta resistividades bajas de 5 a 30 ohm-m en su parte superior, indicando su carácter arcilloso e impermeable; lo cual se comprueba con las bajas permeabilidades de 0.0 U.L. para presiones de 5 a 10 kg/cm².

- FORMACION AHUICHILA

Los conglomerados calcárcos de esta formación fueron detectados en el subsuelo únicamente en tres perforaciones, mientras que con la información geofísica se infiere que lateralmente tienen distribución restringida, y un espesor pequeño. Por lo anterior no fue posible identificar plenamente sus características geotécnicas.

Esta roca tiene una matriz arenosa muy bien cementada por calcita, el contacto entre clastos es muy cerrado y prácticamente nula su porosidad. Asimismo estos conglomerados se consideran como materiales impermeables con 0.0 U.L., sin embargo con presiones mayores de 4.6 a 6.2 kg/cm² se presentaron fuertes destaponamientos.

La calidad geofísica de estas rocas es buena ya que tienen altos valores de velocidad (3,500 m/s) que indican un material muy compacto. Por otro lado los bajos rangos de resistividad que la ubicarían como una roca de regular a mala calidad, deben tomarse con reserva, ya que por su reducido espesor dichos valores se encuentran influenciados por las arcillas de la Formación Caracol.

- TOBAS RIOLITICAS

Las tobas se distribuyen en el subsuelo a todo lo largo del eje de la boquilla, su espesor de acuerdo a la información geoelectrica y perforaciones varia entre 20 y 55 m y cubren una topografía irregular y ondulante de las lutitas y areniscas de la Formación Caracol o localmente de la Formación Ahuichila.

La roca intacta está formada básicamente de vidrio (46%), cuarzo (33%) y feldespato potásico (11%); se encuentra compacta, con un microfracturamiento escaso y cerrado; su resistencia a la compresión, según Deere y Miller, es media (625 kg/cm²); el módulo de elasticidad (550 ton/cm²) indica que es una roca dura y de elevado módulo relativo (Deere y Miller, 1965), asimismo la velocidad de ondas primarias en roca indica un material compacto, de buena calidad (4,200 m/s).

El macizo rocoso está afectado por tres familias de fracturas principales (ALFA, BETA y TETA) y tres secundarias (GAMMA, DELTA y EPSILON); sus características generales son las siguientes: El espaciamiento varia de moderado a amplio, considerándose continuas a subcontinuas y con superficies rugosas y planas, muy duras; su apertura si varia de cerradas a abiertas y sin rellenos.

La calidad del macizo rocoso obtenido de los valores de RQD de los barrenos indica que es una roca de regular calidad. Asimismo los resultados geofísicos arrojan que la toba es en general de regular calidad. Sin embargo también se lograron diferenciar varias zonas de diverso grado de fracturamiento y alteración.

En la porción superficial de la margen derecha y en el afloramiento de la zona central se determinó que la roca es de mala calidad por estar intemperizada y decomprimida, además de estar más fracturada, presentando velocidades muy bajas (200 m/s).

Subyaciendo a esta toba riolitica es posible encontrar una toba de tipo pumítico, compacta, de baja dureza y poco fracturada; ésto se infiere puesto que en sitios cercanos a la boquilla se observó este cambio; sin embargo, en la zona de estudio los afloramientos están cubiertos por depósitos de talud y en los barrenos no se lograron diferenciar claramente su presencia.

La permeabilidad de estas rocas está controlada totalmente por su grado de fracturamiento, en general la roca es impermeable a bajas presiones (del orden de 4 kg/cm²), ya que a presiones mayores se tienen fuertes destapamientos que ocasionan una elevada permeabilidad.

-BASALTOS

Los basaltos detectados en las perforaciones IV' y V tienen un espesor reducido, del orden de 4 a 6 m, y extensión lateral pequeña (40 m), ya que son derrames recientes que cubrieron una antigua topografía. Se les localiza en las inmediaciones del cadenamamiento 0+300.

La roca se encuentra poco alterada y de alta resistencia, sin embargo está mucho muy fracturada. Los datos geofísicos la clasifican como de mala calidad. La permeabilidad resultó ser de poco permeable (5 x 10⁻⁵ cm/s) a altamente permeable en el contacto con la toba riolítica.

-TERRAZAS ALUVIALES

Con este nombre se incluyen a los materiales clásticos que forman el relleno de un antiguo cauce, se distribuye aproximadamente entre los cadenamamientos 0+030 a 0+245, con espesores del orden de 10 a 12 m.

Estos depósitos se encuentran formados por materiales limo-arcillosos con escasos fragmentos de rocas y medianamente compactos.

La información geofísica permitió diferenciar dos zonas con diferente calidad; la porción superior con un espesor de 2 a 3 m se encuentra poco compacta con velocidades muy bajas (160-220 m/s); mientras que la porción inferior es de mejor calidad, compacta, con velocidades medias (2,800 a 3,200 m/s) y además presentó consistencia firme con las pruebas de penetración estandar. Estos materiales se comportaron en general como poco permeables (3 x 10⁻⁵ cm/seg).

-ACARREOS FLUVIALES

Los materiales de acarreo del Río Santiago se distribuyeron a lo largo del cauce actual del río con un ancho aproximado de 55 m y espesor máximo de 5 m. Se encuentran en estado suelto y con velocidades máximas de 100 m/s.

- DEPOSITOS DE TALUD Y SUELO VEGETAL

Estos materiales tienen poca importancia ya que sus espesores son reducidos (1 a 2 m) y deberán necesariamente ser removidos. Los suelos se distribuyen a lo largo de casi todo el eje, cubriendo a terrazas y acarreos; mientras que los depósitos de talud solamente se encuentran en pequeñas zonas de ambas márgenes.

Ambos materiales presentaron velocidades muy bajas (de 160 a 240 m/s) que indican su mala calidad y estado suelto.

6.2 POSIBLES PROBLEMAS GEOTECNICOS

En este apartado se analizarán los posibles problemas de tipo geotécnico que se podrán presentar en la construcción de la cortina y obras auxiliares.

6.2.1 Filtraciones

Uno de los principales problemas de este proyecto es la posibilidad de fugas fuera del embalse a través de diferentes condiciones geológicas del sitio. Los estudios efectuados han aportado los siguientes datos para evaluar este problema.

- a) Las rocas con mayores problemas de filtraciones son las tobas riolíticas, ya que se encuentran afectadas por diversos grados de fracturamiento, que con presiones relativamente bajas en pruebas de permeabilidad (de 1.2 a 6.2 kg/cm²), sufren fuertes destaponamientos que las hacen permeables a altamente permeables.

Estas rocas se encuentran compactas y tienen resistencia media, con una porosidad despreciable y con un escaso microfracturamiento. El principal problema es su fracturamiento, ya que presenta hasta seis familias de fracturas, y algunas se encuentran abiertas y sin relleno; por lo que con fuertes presiones se destaponan y permiten el flujo del agua.

Otro aspecto de estas rocas, es que el contacto con las rocas impermeables sedimentarias es irregular, profundizándose hasta 50m en la zona bajo el cauce actual y hasta 70m hacia el margen izquierda, y con el fracturamiento de las tobas, el agua tiende a seguir esta topografía

- b) La Formación Ahuichila tiene pocas posibilidades de crear fuertes problemas de fugas del embalse, ya que se determinó que el espesor existente bajo la boquilla es bajo (0 a 10 m) y además lateralmente se angosta y desaparece en su mayor parte. Por otro lado a pesar de que otros lugares presente evidencias de fuerte disolución, en este sitio la roca está compacta, muy bien cementada por calcita, sin fracturas y sin huecos de disolución. Las pruebas de permeabilidad indican que el material es impermeable.

Por lo anterior, el problema de filtraciones de la Formación Ahuichila se puede descartar.

- c) Por lo que respecta a las terrazas aluviales, el problema de fugas se presentaría en la parte superior de estas, ya que por medio de geosísmica se determinó material menos compacto que a profundidad, en el cual, los resultados de geoléctrica dan un mayor contenido de material arcilloso, así como mayor grado de compactación alcanzado, según se corroboró con geosísmica. El mayor contenido de material arcillosos fue observado también en los P.C.A.

También se tiene que resultados de pruebas de permeabilidad consideran en forma general a las terrazas como poco permeables a permeables (estas últimas sólo en zonas locales).

- d) Los basaltos en general resultaron poco permeables, sin embargo en su porción inferior, en contacto con las tobas, tuvieron altas permeabilidades debido a su fuerte fracturamiento, por lo que deberá tenerse cuidado en las fugas por ese contacto.
- e) Los acarreos fluviales resultaron poco permeables y se definió bien su configuración; sin embargo, si no se toman precauciones, con carga podrían provocarse fugas a través de este material.

Se debe mencionar también que los depósitos aluviales, terrazas aluviales y toba riolítica muy fracturada y alterada son los materiales posibles a remover para la cimentación de la cortina.

6.2.2 Deformabilidad

Otro aspecto geotécnico importante son las deformaciones que la presa induce en la cimentación y empotramiento, por ser las causas principales de formación de grietas en la estructura.

De los resultados obtenidos de laboratorio y geofísica se establece lo siguiente:

- a) Las deformaciones que la presa inducirá en la cimentación y empotramiento serán menores en la zona donde se desplante en la toba riolítica sana o poco intemperizada, ya que se trata de una roca compacta, y de resistencia y deformabilidad medias.
- b) Los basaltos se presentan compactos y resistentes, pero su intenso fracturamiento podría ocasionar algún asentamiento diferencial.
- c) Los materiales de las terrazas aluviales se encuentran compactos por debajo de los 3 m de profundidad, según lo indican los altos valores de velocidad determinados, lo cual permite inferir que no tendría problemas significativos de deformabilidad.
- d) Los diversos materiales que afloran en superficie como los suelos vegetales y residuales, depósitos de talud, acarrees fluviales y roca muy intemperizada y fracturada, sí podrían causar problemas de deformabilidad en el eje de la cortina, en el caso de no ser retirados.

CAPITULO SIETE

BANCOS DE MATERIALES

Para la boquilla Santiago, se tiene propuesto que el tipo de cortina sea el de materiales graduados, según el anteproyecto de dicha obra hidráulica.

Dentro de los materiales principales requeridos para este tipo de cortina se encuentran, los materiales de enrocamiento, arenas, gravas, arcillas y limos. También son requeridos materiales para agregados de concreto, agua, etc., considerandos también como esenciales, aunque no se mencionen con más detalle.

Los bancos de roca estudiados dentro de este capítulo se les tratará desde un punto de vista muy general, ya que para una mejor evaluación se requiere de estudios complementarios como son estudios geofísicos y pruebas de laboratorio.

7.1 BANCOS DE ENROCAMIENTO

De información anterior se tenía la localización de dos bancos de enrocamiento inmediatamente aguas abajo de la cortina, tanto en margen derecha (Banco 1) como en margen izquierda (Banco 2).

Sin embargo, como consecuencia del recorrido geológico hecho por dichos lugares se estableció que el Banco 1 resultaría demasiado pequeño para los fines establecidos y que, dada su proximidad a la cortina, su explotación podría mermar la estabilidad de la cortina. Por tal motivo se dió la localización de un tercer banco (Banco 3), mismo que hiciera las veces del Banco 1.

Dichos bancos en conjunto, deberán proporcionar del orden de 250,000 metros cúbicos de materiales para el enrocamiento de la cortina.

El Banco 1 se encuentra inmediatamente aguas abajo del eje de la cortina en margen derecha y a tan sólo, unos 150 m del camino de terracería que comunica a Miguel Auza con San Marcos.

Los Bancos 2 y 3 se ubican al NW del eje de la cortina en margen izquierda. El Banco 2 aproximadamente 300m y el banco 3 aproximadamente 550m del eje de la cortina, ambos bancos están formados por lomas que presentan un escarpe de 10 y 20m respectivamente hacia el NE. (Figura 7.1)

Por la base del escarpe de ambos bancos, se encuentra una brecha transitable en tiempo de secas, que conduce a la zona de la boquilla.

En la zona en que se ubican los bancos de roca no se encuentran construcciones o valores por afectar. El uso que se le da al suelo es de agostadero. La vegetación que se presenta sobre los bancos es la típica de semidesierto (nopaleras, mezquite y uña de gato).

7.1.1 Geología

En los bancos de roca 2 y 3 se ubican sobre la loma La Cejita, misma que junto con otras lomas (La Boquilla, La Moledera y La Cantera) conforman un cordón alineado aproximadamente NW-SE (Fig. 2.1 Geología Regional).

En ellas afloran suelos residuales, materiales de relleno, materiales de talud y la toba riolítica, mientras que en el subsuelo se infiere la presencia de las formaciones Ahuichila y Caracol.

La toba riolítica de la Formación Vizcarra es la unidad litológica explotable en los tres bancos. En ellos presenta características litológicas. La descripción litológica y petrográfica se mencionó en el capítulo II y IV.

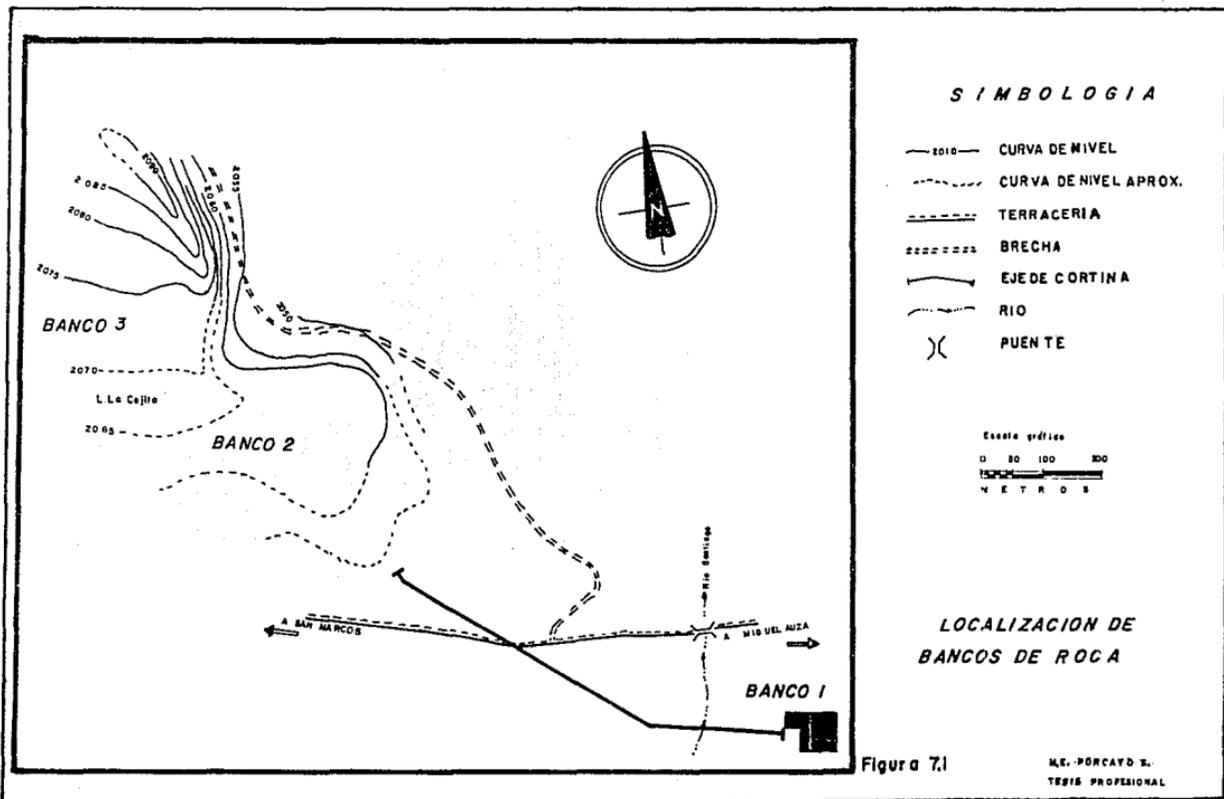
En el Banco 2 la toba riolítica aflora en el escarpe con un espesor de 4 a 5m.

En el banco 3 aflora en el escarpe con un espesor de 4 a 7 m.

El espesor aflorante no es el total de la unidad ya que su base se cubre por materiales de talud.

En ambos bancos se presenta la toba con fracturamiento. Estas familias de fracturamiento son las mismas definidas en la zona de la boquilla, por lo que sus características son similares (inciso 2.2.2).

De investigación hecha, se tiene que el tamaño apropiado para enrocamiento, es del orden de 0.5 metros cúbicos, aproximadamente bloques de una longitud media de sus aristas de unos 80 cm. Por



otro lado, durante el recorrido de los bancos se midió indiscriminadamente a los bloques caídos al pie del talud de cada banco y estos presentan dimensiones entre 0.5 a 1.00 metros cúbicos. Aunque el tamaño de bloques a obtener durante la explotación se encuentra en función directa de las familias de fracturamiento que afecta a la unidad litológica.

Del recorrido geológico hecho por los bancos de enrocamiento, se observó que los Bancos 2 y 3 tanto por su espesor aflorante como el que se logra inferir en ellos (llegando a ser hasta de 20 m de espesor) se puede obtener mayor volumen de material que el requerido para enrocamiento.

7.2 ARENAS, GRAVAS Y ARCILLAS

El volumen requerido de estos materiales en el tipo de presa proyectada no se obtuvo. De los estudios hechos a los bancos de enrocamiento se observó que estos pueden suministrar mayor volumen que el requerido para enrocamiento, el material excedente de la toba riolítica a explotar puede ser material propicio a triturar para la obtención de materiales como son arenas y gravas. La toba riolítica petrográficamente, no presenta elementos reaccionantes con los álcalis del cemento.

Otras fuentes de estos materiales son los acarreos fluviales que se encuentran cubriendo el lecho de los escurrimientos principales de los ríos Santiago y Santa Cruz.

Los bancos de material arcilloso requeridos para explotar, se pueden obtener de las terrazas aluviales que se encuentran en los ríos Santiago y Santa Cruz, hasta con espesores de 10 m.

En el río Santiago las terrazas aluviales se encuentran en ambos márgenes desde la población de San Marcos, hasta aguas abajo de la boquilla, a todo lo largo del área cartografiada.

En la zona de la boquilla, las terrazas aluviales se localizan en la margen izquierda. En algunas zonas la cima de estas terrazas se caracteriza por su alto contenido de arenas y gravas.

En el caso de ser removidos estos materiales de la zona de cimentación de la presa podrían ser utilizables, siempre y cuando los estudios de mecánica de suelos así lo demuestren.

CAPITULO OCHO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

B.1 MODELO GEOLOGICO-GEOFISICO

El área del embalse del Proyecto Santiago está formado en su gran mayoría por terrazas aluviales constituidas por materiales limo-arcillosos y, en menor proporción, acarreos fluviales del Río Santiago y del Río Santa Cruz, así como afloramientos muy locales y reducidos de rocas basálticas; por debajo de estos materiales se encuentran rocas tobáceas terciarias, que solo afloran en la zona de la boquilla.

La boquilla está labrada en la toba riolítica, que se encuentra compacta, de resistencia media, poco deformable y con un microfracturamiento escaso y cerrado; el macizo rocoso se presenta fracturado a muy fracturado con tres sistemas principales de fracturas y tres secundarios, con espaciamientos moderados a amplios, variando de continuas a subcontinuas, con superficies rugosas y planas, y muy duras y aberturas cerradas a entreabiertas y en su mayoría sin relleno. Esta unidad presenta pseudoestratificación de 20 a 30 grados hacia el Sur Suroeste.

La calidad geomecánica de esta toba se considera regular, dado el fuerte fracturamiento de algunas zonas (el RQD promedio indica una calidad regular de la roca), así como por los resultados geofísicos (velocidades medias y bajas resistividades).

No obstante, dentro de la masa rocosa hay variaciones laterales y a profundidad en la alteración y fracturamiento de la roca, asimismo es posible encontrar variaciones en la litología de las tobas, llegando a aparecer tobas pumíticas compactas, y poco fracturadas.

Subyaciendo a las tobas se encuentran los conglomerados calcáreos, compactos, bien cementados y poco fracturados de la formación Ahuichila, así como por las lutitas y areniscas poco fracturadas de la formación Caracol; esta última tiene una notable continuidad en la boquilla definida por la geoelectrónica, mientras que la Ahuichila en este sitio tiene extensión y espesor reducido.

Por otra parte, cubriendo a las rocas tobáceas se encuentra en la zona central una pequeña colada basáltica (5 a 7 m), alterada, muy fracturada y de mala calidad geofísica; así como por terrazas aluviales, que rellenan un antiguo cauce, formada por materiales limo-arcilloso, y poco compactos en su porción superior y compactos en la zona inferior, llegando a tener espesores máximos de 12 m.

Por último, existen diversos materiales recientes en estado suelto a poco compactos representados por suelos vegetales (1 a 2 m), depósitos de talud (0.5 a 1.0 m) y acarreo fluviales del cauce actual (5 m) y un cauce antiguo en la zona central (7 m).

8.2 FILTRACIONES.

En cuanto al embalse, se considera que no habrá importantes fugas de agua, dado que las tobas riolíticas se encuentran subyaciendo a un basamento impermeable formado por lutitas y areniscas de la formación Caracol; además de que las terrazas aluviales que cubren la mayor parte del vaso, bajo su zona intemperizada, se comportan como materiales poco permeables, impidiendo en cierta medida el paso del agua a las tobas. Por último, se menciona que, superficialmente, no hay accidentes geológicos que pudieran permitir fugas de agua del embalse.

En la zona de la cortina si se presentan algunos materiales permeables que será necesario tratar para impedir filtraciones de agua. Estos materiales serían: suelos vegetales y residuales, depósitos de talud, acarreo fluviales del cauce actual y del paleocauce de la zona central, la porción superior intemperizada de las terrazas aluviales y las tobas riolíticas intemperizadas y fracturadas de margen derecha y zona central. Todos estos materiales deberán ser removidos de la zona de la traza de la cortina donde se aloja el material impermeable.

Los basaltos fracturados y permeables en su contacto inferior sería conveniente removerlos o bien efectuar un tratamiento de consolidación e impermeabilización.

En cuanto al problema de permeabilidad de la formación Ahuichila, planteado para analizar en este estudio, se puede concluir que no existe ningún riesgo de fugas en la zona de la cortina; ya que se determinó que es una roca compacta, muy bien cementada, masiva, de carácter impermeable y además su distribución en el subsuelo es restringida y de reducido espesor.

El principal problema de permeabilidad son las tobas riolíticas, sin embargo se concluye que estas rocas hasta una presión promedio de 4 kg/cm² se comportan como materiales impermeables, mientras que a presiones mayores sufren fuertes destapamientos; sin embargo, dada la poca altura de la presa (14 m) se considera poco factible crear cargas mayores que provocarían filtraciones mayores. Además, el hecho de estar cubiertos en algunas zonas por los materiales poco permeables de las terrazas aluviales disminuirían el flujo de agua a las tobas. Sin embargo, será necesario efectuar un tratamiento de la porción superior de la roca, en los contactos con los materiales más recientes y donde las presiones críticas son menores; para lo cual, se recomienda realizar una pantalla de impermeabilización por medio de perforaciones, inyectando lechadas de bentonita-cemento hasta una profundidad de 15 a 20 m en la zona central del cauce actual y zonas más fracturadas.

8.3 DEFORMABILIDAD

Los materiales que podrían ocasionar problemas de asentamiento, son los que se ubican en los primeros 2 a 3 m, que incluyen los suelos, acarreos, depósitos de talud, terrazas aluviales y la roca muy intemperizada y fracturada; esta zona deberá ser totalmente removida para desplantar la cortina sobre las terrazas aluviales compactas y la roca tobacea.

Es importante recalcar que los resultados del estudio geosísmico indican que no es necesario remover toda la terraza aluvial, que implicaría un costo alto de movimiento de materiales; sino únicamente sus primeros 2 ó 3 m que están poco consolidados, ya que a mayor profundidad se encuentran compactos y es posible desplantar la cortina sobre ellos.

De los resultados obtenidos por medio de los estudios geofísicos realizados en la boquilla - sísmica y eléctrica - se definió el espesor aproximado de limpia, o sea, el material a remover en la zona de la cimentación de la presa.

El material a remover abarca en su totalidad a las unidades I, II y III, descritas en el inciso 5.3, el cual es de aproximadamente 111,640 metros cúbicos, lo que viene siendo el 40% del total de la exploración geofísica, la cual abarco un total de 279,000 metros cúbicos de zona explorada.

8.4 ESTABILIDAD

La zona de la cortina no plantea ningún problema grave de estabilidad ya que las laderas tienen una pendiente suave y la posibilidad de salidas de planos o cuñas inestables es menor.

Sin embargo, un estudio más detallado sobre estabilidad de laderas, así como de los cortes a realizar en el vertedor, plantearían una mejor situación para analizar la estabilidad o inestabilidad de los cortes.

8.5 BANCOS DE MATERIALES

Los bancos de materiales para enrocamiento se encuentran aguas abajo de la boquilla, en margen izquierda se localizan los Bancos 2 y 3 con mayor extensión y en la margen derecha se localiza en banco 1 con menor extensión.

Los bancos de roca explorados tienen características litológicas y morfológicas similares, se conforman por lomas de suave pendiente hacia el SW y escarpadas al NE. La unidad litológica explotable es una toba riolítica que aflora en los escarpes mencionados, descansa sobre una toba pumítica o sobre las formaciones Ahuichila y Caracol, por otro lado se cubre por materiales de talud, suelos y rellenos.

La roca se considera buena para material de enrocamiento, de la geología superficial se establece que la cantidad proporcionada por los tres bancos de materiales supera el volumen requerido para la obra, en el caso de ser cierto, la cantidad restante puede ser material utilizable para trituración y obtener así otros materiales como arena y gravas.

El material arcilloso a explotar, puede ser obtenido de terrazas aluviales, distribuidas tanto en el río Santiago como en el río Santa Cruz.

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

Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Carta Topográfica-Geológica. Hoja "Juán Aldama". Estado de Zacatecas. Escala 1:50 000. Clave G13084

Enciso de la Vega. (1968) Cartografía Geológica. Hoja "Cuencamé". Estado de Durango. 13 - R - 1 (7) Instituto de Geología. U.N.A.M.

Martínez Reyes J. 1973. Informe Geológico Preliminar de la Boquilla "Santiago", sobre el arroyo del mismo nombre, Municipio de Miguel Auza, Estado de Zacatecas S.A.R.H.

Rogers C.. (1961). Reconocimiento Geológico y depósitos de fosfato del Norte de Zacatecas y Areas adyacentes en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí. Boletín 56. Consejo de Recursos Naturales no Renovables.

Samano T.A. y Rosas S.A. 1976. Estudio Geológico del Area N.E. de Cuencamé, Estado de Durango. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.

E.A.R.H.1981. Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas. Estudio de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos de la Zona Cuencamé-Santa Clara (Ampliación). Estado de Durango.

A B R A D E C I M I E N T O

A la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en especial a la Subdirección de Geología por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

A los ingenieros de la Compañía EXYCO, S.A. por haberme permitido realizar mi trabajo de tesis, así como la asesoría que me brindaron, tanto en campo como en gabinete.

LEYENDA

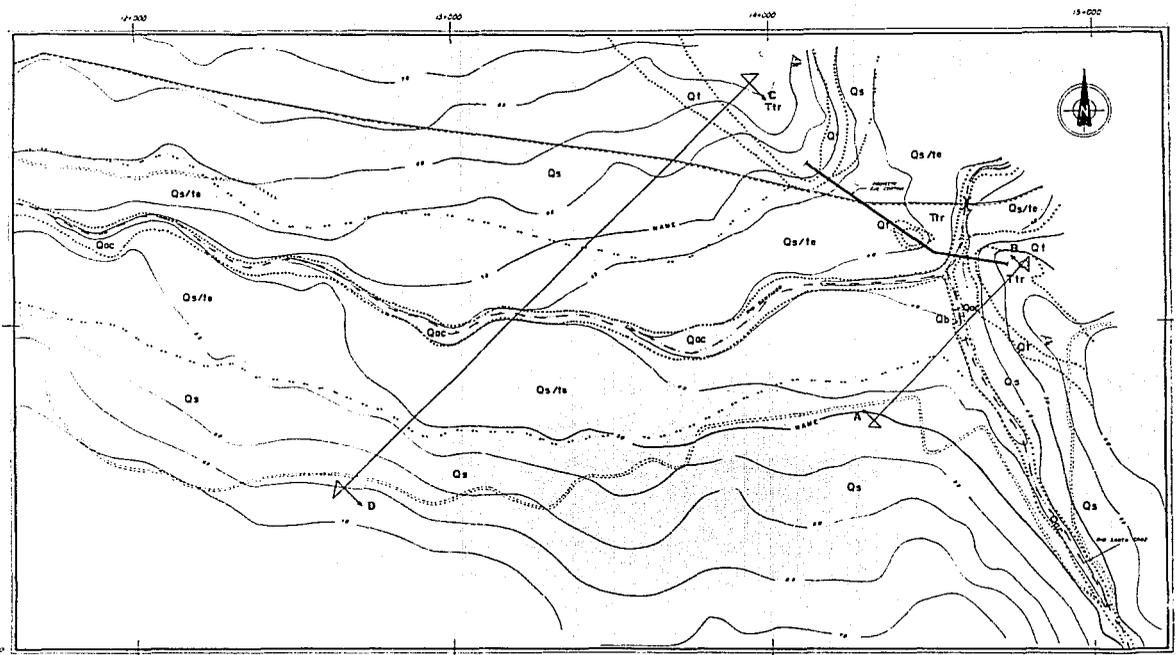
- Qs** BUELOS
- Qoc** ACARREOS FLUVIALES
- Qs/lc** TERRAZAS ALUVIALES CUBIERTAS POR BUELOS
- Ql** MATERIALES DE TALUD
- Ob** BASALTES
- Tll** FORMACION LLANOS
- Tlr** TORMAS SOLITICAS
- To** FORMACION ANHIEMLA
- Kc** FORMACION CARACOL

SIMBOLOGIA TOPOGRAFICA

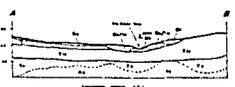
- Línea de nivel constante
- Línea de nivel irregular
- Terrazas horizontales en 1000 metros
- BUELOS
- RIOS
- CANALES
- Línea de control en proyectos
- BASE

SIMBOLOGIA GEOLOGICA

- CONTACTO ADECUADO
- CONTACTO ADECUADO INTERIO
- FRENTE o BORDE DE PROYECTOPROTECCION
- Línea de sección
- NOTA: Se han introducido los datos del plano: LONGITUD = 1010, ALTURA = 100 y 100
- ESCALA: 1:5000



NOTA: La interpretación de los datos de campo se ha realizado en base a los datos de campo y a los datos de laboratorio.



Sección A-B



Sección C-D

UNAM UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA

GEOLÓGIA DEL EMBALSE

TESIS PROFESIONAL

MARIA ELENA ROBERTO SANTIAGO

MARZO DE 1968

LEYENDA

- Qs** SEDIMENTOS CUATRIPLICES (Cuartario superior, medio e inferior) de arena, limo, arcilla, gravas y guijeros, en forma de colinas, de montes bajos, etc.
- Qoc** ACACIHUATES, arena, arena y limo en forma de cerros, cerros y montañas, en forma de cerros, etc.
- Qs/le** TERRAZAS ALUVIALES (Qs) de arena y limo, limo y arcilla, arena y limo en forma de cerros, etc.
- Qt** MATERIALES DE TALUD BAJOS y limo en forma de cerros, etc.
- Qb** BASALTOS de color negro, en forma de cerros, etc.
- Tir** TORRES SUELTAS (torres, perforaciones, etc.)

SIMBOLOGIA TOPOGRAFICA

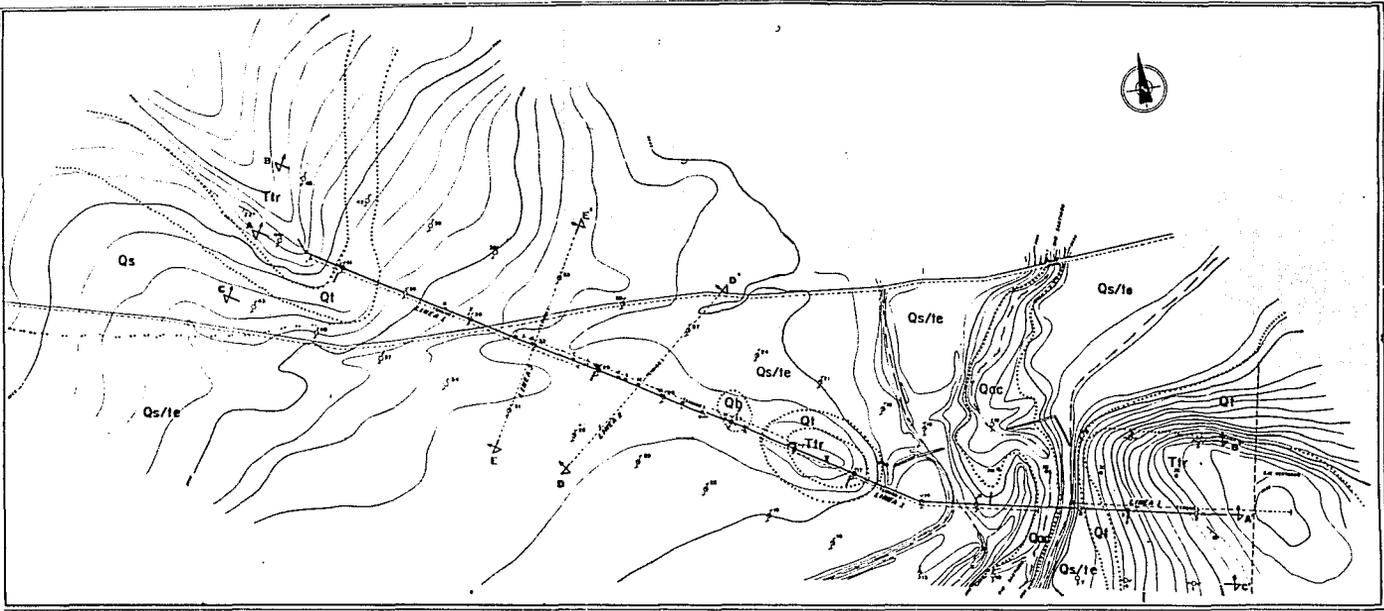
- Curva de nivel simple
- Curva de nivel doble
- Simbología representada en más líneas
- Cerro
- Cerro pedregoso
- Esp. de caminos en proyecto
- Esp.
- Esp.

SIMBOLOGIA GEOLOGICA

- Cerros, cerros
- Cerros geológicos antiguos
- Cerros geológicos modernos
- Pisos a sus niveles
- Bordes y anchos de los cerros
- Bordes y anchos de los cerros

SIMBOLOGIA GEOFISICA

- Línea de separación geofísica



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

GEOLOGIA DE LA BOQUILLA

ELABORADO POR EL PROFESOR DR. CARLOS ALBERTO PEREZ, INGENIERO

BOQUILLA, VERACRUZ, 1988



Este mapa geológico fue elaborado en el mes de mayo de 1988, en el marco de un convenio de colaboración con el Instituto de Geología de la UNAM, en el Estado de Veracruz.

