

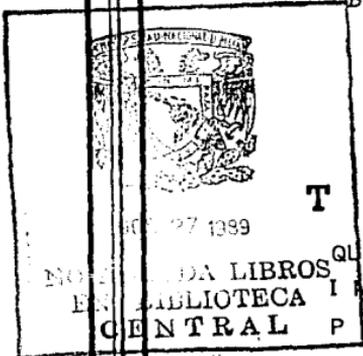
2ej
8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO DE LA BOQUILLA PICACHOS SOBRE EL RIO PRESIDIO, ESTADO DE SINALOA "



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO,
P R E S E N T A N :

GRACIELA DELGADO SOLORZANO
ULISES ABSALON MARTINEZ

Director de Tesis:
ING. MARIANO RUIZ VAZQUEZ.

MEXICO, D. F.

1989.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO DE LA BOQUILLA PICACHOS SOBRE EL RIO
PRESIDIO, ESTADO DE SINALOA**

CONTENIDO	FAG.
RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 ESTUDIOS PREVIOS	2
1.3 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	2
1.4 SINTESIS DE RESULTADOS DEL PROYECTO PICACHOS	2
2. GENERALIDADES	15
2.1 OBJETIVOS	15
2.2 METODO DE TRABAJO	15
2.3 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO	17
2.4 HIDROGRAFIA	17
2.5 CLIMATOLOGIA	19
2.6 POBLACION	19
3. GEOLOGIA REGIONAL	20
3.1 FISIOGRAFIA	20
3.2 ESTRATIGRAFIA	22
3.3 GEOLOGIA HISTORICA	27
3.4 TECTONICA	31
3.5 SISMICIDAD	35
4. ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO DE LA BOQUILLA	45
4.1 GEOMORFOLOGIA	45
4.2 ESTRATIGRAFIA	46
4.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	51
4.3.1 ANALISIS ESTEREOGRAFICO-ESTADISTICO DE LAS DISCONTINUIDADES	52
4.3.2 DESCRIPCION DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES	56
4.4 GEOFISICA	59
4.4.1 GEOSISMICA	59
4.4.2 GEOELECTRICA	62
4.5 ANALISIS GEOTECNICO DE LA ZONA DE LA BOQUILLA	65
4.5.1 PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LAS ROCAS	65
4.5.2 CLASIFICACION INGENIERIL DE LA ROCA INTACIA	70
4.5.3 CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO	72
4.5.4 CLASIFICACION NGI	74
4.5.5 CLASIFICACION CSIR	77
4.5.6 CORRELACION DE CLASIFICACIONES	81
5. BANCOS DE MATERIALES	87
5.1 BANCOS DE ENROCAMIENTO	83
5.2 MATERIALES GRADUADOS	90
5.3 BANCOS DE ARCILLAS	94
6. ANALISIS DE RESULTADOS	96
6.1 ESTABILIDAD DE TALUDES	96
6.1.1 ANALISIS CINEMATICO DE ESTABILIDAD	102

6.2	OBRAS AUXILIARES	104
6.2.1	VERTEDOR	104
6.2.1.1	ESTABILIDAD CINEMATICA DE CORTES PARA EL VERTEDOR DE DEMASIAS	106
6.2.2	TUNEL DE DESVIO	108
6.2.2.1	INESTABILIDAD POTENCIAL DE CUÑAS EN LA BOVEDA	110
6.2.2.2	INESTABILIDAD POTENCIAL DE CUÑAS EN LA PARED	115
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
7.1	CONCLUSIONES	131
7.2	RECOMENDACIONES	133
	APENDICE	
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	

RESUMEN

El Proyecto Picachos se localiza al Noreste del Fuerto de Mazatlan, en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y dentro de la subprovincia de Mesetas y Cuencas.

La estructura geológica en el Cañon de Picachos está constituida por cuatro unidades de roca. La más antigua, que forma el basamento de la región, corresponde a rocas metamórficas (Pp) del Paleozoico, que se encuentran intrusionadas por un cuerpo ácido (Ia) del Cretácico-Terciario; a su vez, estas dos unidades se encuentran cubiertas en forma discordante por rocas vulcanosedimentarias (Tia) y volcánicas (Tiv) del Terciario Medio-Superior. Asimismo, la secuencia completa se ve cubierta por aluviones (Qa1) y acerosos fluviales (Qac) recientes.

Las rocas basales expuestas a lo largo del cañon forman parte de una secuencia metamórfica constituida por pizarras foliadas y fracturadas que se encuentran cubiertas en contacto fuertemente discordante y por falla con una secuencia de tobas arenosas e ignimbriticas de composición riodítica. Estas dos unidades se encuentran en contacto discordante y por falla.

Conforme a los datos obtenidos durante un lapso de 53 años, la actividad sísmica en la región se considera reducida, ya que se tiene un promedio de 1.6 sismos por año; los epicentros están localizados en las dorsales oceánicas del Golfo de California. Los epicentros más cercanos a la zona de las boquillas se encuentran a 96 y 146 km de distancia, la magnitud de estos sismos varía de 4 a 5.5 grados (Richter), sin embargo, se tienen registros de hasta 6.5. Por lo anterior se establece que, las condiciones máximas estarán dadas por eventos sísmicos de 5.0 km, con magnitudes de 5.5 a 6.5. No obstante, el postulado de que la actividad neotectónica sea la única fuente originadora de sismos en el Golfo de California y que las fallas transformes del Sistema San Andrés se encuentran a más de 200 km de distancia, éstas se consideran activas y capaces de liberar una energía considerable. En el área de estudio, en un radio de 100 km, no se han reportado, ni en los caminamientos de reconocimiento se detectaron evidencias de fallas tectónicas activas por lo que el área se considera estable.

Para llevar a cabo el proyecto de Picachos, se han estudiado a detalle cuatro alternativas, las cuales se han denominado de aguas arriba hacia aguas abajo como 1, 2, 3 y 4. Las Alternativas 2, 1 y la margen derecha de la Alternativa 3 se ubican dentro de la unidad metamórfica. En la margen izquierda de la Alternativa 1, la obra se desplantaría sobre las unidades volcánicas. Finalmente, en la Alternativa 4, que corresponde al eje más aguas abajo, la obra quedaría desplantada sobre las unidades más jóvenes correspondientes a las tobas de la Secuencia Ignimbritica Superior (Plano 2).

Con base en el análisis comparativo de las cuatro alternativas, se determinó que las condiciones geológicas y geotécnicas en la Alternativa 4 son las más favorables para la construcción de una cortina de materiales graduados.

La Alternativa 4 presenta en ambas márgenes tobas riolíticas. Las rocas son masivas y están afectadas por cuatro familias de fracturamiento; como roca intacta son de regular a buena calidad, aunque con baja densidad; sin embargo, el macizo rocoso es de regular calidad a consecuencia del fracturamiento. Se interpretó la presencia de una falla normal que afecta a las tobas de la margen derecha. Se tiene una sola perforación en el cauce, por lo que las pruebas de permeabilidad se restringen a dicha exploración, donde resultó que las tobas son prácticamente impermeables; por las observaciones de campo se considera a la roca como poco permeable. La remoción de material de limpia está entre 3 y 5 m en la margen izquierda y en la derecha no se pudo definir debido a lo accidentado de la topografía, sin embargo debe ser reducido; el cauce presenta una amplitud de 145 m con espesores de acarrees entre 4.5 y 25 m, engrosándose hacia la margen derecha. La estabilidad cinemática de los taludes en esta alternativa parece presentar las mejores condiciones, ya que es factible tener taludes entre 60 y 70 grados en ambas márgenes. Dadas sus condiciones morfológicas se considera que tanto el vertedor de desahios como el túnel de desvío se localicen en la margen izquierda.

Finalmente, después de lo anterior se considera que la Alternativa 4 presenta buenas características geológicas y propiedades geotécnicas, esto a pesar de la presencia de la falla que la afecta en la margen derecha. Cabe señalar que se requerirá continuar la exploración en esta alternativa, de manera que sea posible definir con mayor precisión, las condiciones en las que se construiría la cortina y las obras auxiliares.

Los bancos de roca, grava y arena se encuentran cercanos a la zona de estudio; por el contrario, los bancos de arcilla deberán buscarse en zonas aledañas al pueblo de Pichilingue, ya que los existentes en Las Iguanas, no son suficientes para el proyecto.

Dentro de las obras auxiliares, se consideraron tres direcciones para el trazo tanto del vertedor como del túnel de desvío. Para el vertedor, se aprovecharía un puerto de erosión que se localiza en la subunidad T1a-1; en tanto, el túnel de desvío se desarrollaría en su mayor parte en la subunidad T1a-2.

1. INTRODUCCION

El Rio Presidio es una de las corrientes mas importantes del Estado de Sinaloa, el cual no ha sido aprovechado cabalmente por no existir obras que almacenen sus aguas. Por ello, la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos (SARH), consciente de esta necesidad, ha elaborado una serie de programas con el objeto de aprovechar los recursos hidraulicos del noroeste de Mexico, en los cuales se incluye la construccion de la Fresa Picachos sobre el Rio Presidio.

De esta obra se pretende, como primera instancia, derivar parte de sus aguas hacia el norte de Sinaloa por medio de un acueducto, a la vez que se posibilitara el riego hacia aguas abajo, tanto en el Municipio de Mazatlan como en el de Concordia; asimismo, como meta, tal vez a mediano o a largo plazo, podria ser una fuente de abastecimiento de agua potable para el Puerto de Mazatlan.

De lo anterior, la Fresa Picachos tendria una gran importancia pues el volumen de agua que podria almacenar seria del orden de 1,932 mill. de m³ y aprovecharse ampliamente para: generacion de energia electrica, irrigacion y agua potable.

1.1 ANTECEDENTES

En la zona de interes se han realizado algunos estudios geologicos preliminares, con diferentes grados de detalle, en los cuales se han definido cuatro posibles ejes para la construccion de la cortina. Sin embargo, sera necesario conocer cual de los cuatro ejes presenta las mejores caracteristicas, en cuanto a condiciones geologicas y geotecnicas se refiere. Se considero conveniente realizar un estudio detallado encaminado a determinar y evaluar las condiciones litologicas, de alteracion, fracturamiento y heterogeneidad de las formaciones geologicas y hacer el analisis de estabilidad en los sitios de interes, para con esto elaborar un modelo geomecanico que anticipa los problemas geotecnicos que se puedan presentar durante la construccion de la cortina.

Es por ello, que la SARH encomendo a GEOPROYECTOS, S.A. de C.V. compania en la cual participamos en campo y gabinete como asistentes, la realizacion del presente estudio.

El presente trabajo de tesis pretende profundizar en las caracteristicas geologicas superficiales y del subsuelo, en aquella alternativa que presente las condiciones mas adecuadas para la construccion de la cortina. Para poder elegir a la mejor de las alternativas, nos basamos en nuestras observaciones en campo y en informacion de diversos trabajos realizados en el area, tal es el caso del trabajo de tesis realizado por Ibarra Olivares G. (1985), en donde se analiza la estabilidad de taludes en el Coffon Picachos.

1.2 ESTUDIOS PREVIOS

En 1977 fue llevada a cabo una visita preliminar, realizada por el personal de la Subdirección de Geología de la SARH; se cuenta con el Memorandum Técnico No. 4.4.4/88B, en el cual se considera a los sitios de las boquillas 1 y 2 como atractivos y se recomendó realizar exploraciones directas. Se formuló un programa de 18 exploraciones sobre el eje de la boquilla de la Alternativa 1, pero durante el transcurso del trabajo, el programa original fue ampliado hasta completar 23 sondeos, de los cuales 22 son verticales y 1 inclinado a 45 grados.

Los resultados obtenidos y los trabajos de geología superficial realizados, se encuentran en el INFORME GEOLOGICO EXPLORATORIO Y DE PRUEBAS DE PERMEABILIDAD DE LAS BOQUILLAS PARA PRESA DE ALMACENAMIENTO "PICACHOS I Y II" UBICADAS SOBRE EL RIO PRESIDIO, MUNICIPIO DE MAZATLAN, ESTADO DE SINALOA" elaborado por el Ing. Mtl Trillo Romero (1984).

Existe también un "INFORME GEOLOGICO EXPLORATORIO COMPLEMENTARIO DEL PROYECTO PICACHOS, MUNICIPIO DE MAZATLAN, ESTADO DE SINALOA" elaborado por los Ingenieros León V. y Pedraza S. de la SARH, en noviembre de 1982.

1.3 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

Los cuatro ejes propuestos se ubican en el Cañon de Picachos. Este cañon es un estrechamiento de casi 2 km de largo, donde se planea la construcción de una presa con las siguientes características:

ALTERNATIVA	1	2	3	4
TIPO DE CORTINA	MATERIALES GRADUADOS	MATERIALES GRADUADOS	MATERIALES GRADUADOS	MATERIALES GRADUADOS
Altura máxima sobre el nivel de los acarreos	70.00 m	70.00 m	70.00 m	70.00 m
Longitud de corona de la cortina	565 m	404 m	595 m	525 m
Capacidad del vaso (en millones m ³)	1932	1932	1932	1932

Según Trillo Romero, M. 1984.

1.4 SINTESIS DE RESULTADOS DEL PROYECTO PICACHOS

El resultado final del estudio de prefactibilidad de las cuatro alternativas sobre el Rio Presidio, se sintetiza en las tablas 1.1 a 1.4.

Tabla 1.1
RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA ALTERNATIVA 1

ALTIMETRIA (m)	LONGITUD PROMEDIO DE LA CORONA (m)	CARACTERÍSTICAS		FACILIDADES		ÍNDICE Y MECANICIDAD		C A L I D A D DE LA ROCA INTACTA RESISTENCIA	I D A D POCO RELATIVO	D E B I D A D POCO	ANÁLISIS GEOTECNICO DE ARBAS MARGENES	
		LITOLÓGICAS	ESTRUCTURALES	d (saturo)	γ _s (kg/m ³)	F _c (t/m ²)	γ _b (t/m ³)					γ _v (t/m ³)
70	245	<p>UNION INTERESA</p> <p>Firmes de color café rojizo al interseccionarse y gris oscuro al fresco, con estructura cristalina, presenta la --- foliación. --- contiene cuarzo, --- fengoprogresos, mica y óxidos.</p>	<p>Se encuentra de moderada a altamente fracturada. Presenta foliación al SE con intensidad promedio de 45 grados. --- afectada por 5 familias de fracturas con espaciamiento de 20 a 30 cm, con extensiones de 700 m, abertura entre 0.5 cm y variable relieve de anchura.</p>	2.70	168	9700	657	61.511 61274	ALTA	ALTO	REDUCIDA	<p>Estabilidad 75.00. En la formación de la (100) con las familias 1 y 2. --- está por la familia 10, 20 y 40. --- en esta dirección del talud, las fracturas formadas por las 3 familias, pueden ser lineales o discontinuas. --- No existen fallas de movimiento. ---</p> <p>R. D. D. 1.00 a 1.50. ---</p> <p>Fermeabilidad de la falla de 1 a 100. --- también con fracturas de 1 a 100. --- también la presencia de alteraciones de las fallas en esta zona, a una zona espesa, que para profundidades mayores de 20 m en el talud, la zona superficial es de tipo de cañón de cañón.</p>
		<p>UNION INTERESA</p> <p>Firmes de color gris oscuro con tonos amarillos al interseccionarse y café grisáceo al fresco, estructura foliada y microfibrilada, y altamente ---.</p>	<p>Se encuentra de moderada a altamente fracturada. Presenta foliación orientada al SE con intensidad promedio de 45 grados, --- afectada por 5 principales familias de fracturas, con un espaciamiento de 20 a 30 cm, con longitudes de 700 m, abertura entre 0.5 cm y variable relieve de anchura.</p>	2.70	175.30	8490	420	61.511 61274	MEDIA	ALTO	REDUCIDA	<p>Estabilidad 75.00. En esta zona se encuentra un tipo de falla de tipo de cañón de cañón, de 10, 20 y 40, las cuales pueden ser lineales o discontinuas. --- No existen fallas de movimiento. ---</p> <p>R. D. D. 1.00 a 1.50. ---</p> <p>Fermeabilidad de la falla de 1 a 100. --- también con fracturas de 1 a 100. --- también la presencia de alteraciones de las fallas en esta zona, a una zona espesa, que para profundidades mayores de 20 m en el talud, la zona superficial es de tipo de cañón de cañón.</p>

TABLE 1.1
(Continued)

ALTIMETRO (a)	LONGITUD PERFORACION (a)	CARACTERISTICAS		PROPIEDADES		INDICE Y		RESISTENCIAS		C A L I D A D			ANALISIS GEOTECNICO DE AREAS MARGENES
		LITOLÓGICAS	ESTRUCTURALES	d (kg/cm ²)	Rc (kg/cm ²)	U _p (%)	V _s (m/s)	E (Ton/cm ²)	RESISTENCIA INTACTA	INDICE RELATIVO	PROCESO		
		<p>OP 22</p> <p>Repleno Aluvial (24): Contiene sedimentos arenosos de grano medio a fino y en menor proporción gravas y toques de rocas metamórficas e ligneras. Se observaron fragmentos de sílex (SS) y granito (GG), tocas - (GA) y anacosta (AS) presentándose redondeados, sin materia orgánica y no consolidados.</p>											<p>Repleno Aluvial: Tiene un espesor máximo de 15 m en donde los primeros 5.5 corresponden a acarreos sueltos e poco consolidados y el resto restante a acarreos sueltos muy consolidados. El base y topografía aluviales sitúan en un ángulo promedio de 25°.</p>
						300	156						
						1150	750						

TABLA 1.2
RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE LA ALTERNATIVA 2

ALTEZA (m)	LÍMITE SUPERIOR DE LA CROMA (m)	CARACTERÍSTICAS		PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS				C A L I D A D DE LA MATERIA PÉTRICA	ÍNDICE DE RESISTENCIA RELATIVA	ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE ARRAS MARGENES		
		LITOLÓGICAS	ESTRUCTURALES	ρ (t/m ³)	γ _s (kg/cm ³)	ν _p (m/s)	ν _v (m/s)				ν _v (m/s)	
70	4.0	MARCA IRREGULAR Pícaras de color gris oscuro con líneas rosáceas al intermedio y difusas al fresco, presenta mucha alteración en forma de óxido, con abundante cubierta vegetal.	La foliación se mantiene discreta al SE con 45 grados de intensidad. Las 5 familias de fracturas que afectan a la unidad tienen espaciamientos de 20 a 60 cm, son continuas de 3 a 10 m, abiertas de 0.1 a 0.5 mm y sin relleno.	2.7	2.70	6661	4152	es 646 211.572	PIEDRA 11	ALTO	BUENA	Estabilidad: Buena. Se tomará como con las familias B y E, intermedias para taludes sobre de 45 grados. También se presenta el sistema de Falla plana por la familia "C" para taludes mayores de 45 grados. Con respecto esta familia no es resistente. La familia "D", la cual es muy persistente, puede actuar en taludes altos y de grandes pendientes, con orientaciones en forma de de Falla por sí sola. Fácil de rayar. Permeabilidad: El alto fracturamiento presente en las columnas, debido a la foliación, son factores determinantes para considerar esta zona como permeable, dado que es posible el flujo de agua desde el nivel de la superficie del terreno hacia el interior de la columna. En consecuencia, se debe considerar como permeable a esta zona, que se interconecta con otras permeables, entre las C y D.
		MARCA IRREGULAR Pícaras de color gris y, por alteración a óxido, café rosado, se encuentra muy alterada.	Presente un estratificación presenta desmenuzadas, lo cual ha producido perfiles desmenuzados, que consisten en pequeños pedruzcos de esta roca. Esto se debe a la estructura foliada de la roca. Se presentan los 5 sistemas de fracturamiento, que se ven en algunas partes para estas rocas. Las características de las discontinuidades con las cuales se ven han venido señalados.	2.7	2.70	10561	5675	es 971.3 412419	PIEDRA 10	ALTO	BUENA	Estabilidad: Buena. Se tomará como intermedias de taludes con pendientes a más de 45 y 60 grados en taludes de 45 grados, con factor de seguridad mayor que 1.00, debido por la familia "C" y una por falla plana por la familia "D", esta última de mucha importancia por la asociación con la foliación de las discontinuidades. Fácil de rayar. En una muestra tomada de un talud en el cauce se tiene que la roca es compacta y de gran resistencia media a alta. Fácil de rayar. Permeabilidad: La roca meteorizada en esta zona presenta discontinuidades de permeabilidad orientadas a la mayor longitud, hacia los taludes que se tomará a 60 y 90 grados.

TABLA 1.2
(Continuación)

ALTIMA (el)	LONGITUD MEDIA DE LA CORDA (el)	CARACTERÍSTICAS		PROFUNDIDADES DE OCURRENCIA		MUESTRAS		ANÁLISIS DE		ANÁLISIS EDEIÉCNICO DE ÁRBOLES PARÉNCES
		LITOLÓGICAS	ESTRUCTURALES	s (saturado) (g/cm ³)	Pc (g/cm ³)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	E (ton/cm ²)	RESISTENCIA	
CAUCE										
<p>Perfil Aluvial (Calle) Constituido por sedimentos arenosos de grano medio a fino y en menor proporción gravas, guijeros y bloques de rocas metamórficas e ígneas.</p> <p>Fragmentos de pizarras - 15%</p> <p>Fragmentos de tobas - 40%</p> <p>Fragmentos de granitos - 50%</p> <p>Fragmentos de andesitas - 15%</p>										
				ACAP 50 SUELO	250	500				
				ACAP 50 EMPACTO	1900	2650				
<p>Perfil Aluvial: El espesor varía de 20" a 21" m con un ligero desplazamiento en la margen izquierda. Los acarreos y limas más consolidados tienen espesores de 1 a 7 m, en tanto que los de menor consistencia están entre los 17 y 21 m. El cauce y terrazas aluviales tienen una amplitud normalada de 170m y es el de mayor espesor de acarreos.</p>										

TABLA 1.3
(Continuación)

ALTEZA (m)	LÍMITE SUPERIOR DE LA ZONA (m)	CARACTERÍSTICAS		PROPIEDADES		ÍNDICE Y		MECANIDAS		C A L ROCA INTACTA RESISTENCIA	I D A D ÍNDICE RELATIVO	A B ÍNDICE	ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE ARENAS MARGENES
		LITOLÓGICAS	ESTRUCTURALES	d (kg/cm ²)	Rc (kg/cm ²)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	E (ton/cm ²)					
		CAICE											
		<p>Salero Aluvial Gull Frescos, en las arenas y en menor proporción las gravas, guijarros y bolsones constituidos por rocas metamórficas e ígneas principalmente.</p>											<p>Salero aluvial: los materiales sueltos alcanzan espesores hasta de 4 m., en tanto que los compactos se encuentran en espesores entre 8 y 15 m. El cruce y terrazas aluviales tienen una amplitud de unos 150 m.</p>
		<p>arenas 152 andesitas 152 granitos 152 tejas 422</p>											
			<p>AGAPED SUELTO AGAPED COMPACTO</p>					250 1250	300 2200				

TABLA 1.4
RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS SECCIONADAS DE LA ALTERNATIVA 4

ALTURA (m)	LONGITUD MEDIA DE LA ESCOZA (m)	CARACTERÍSTICAS		PROPIEDADES INÍMICE Y MECANICAS					C A L ROCA INTACTA RESISTENCIA	I D B A D MEDIO RELATIVO	ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO DE ARENAS Y ARGILLAS	
		LITOLÓGICAS	ESTRUCTURALES	d (saturnes) (gr/cm ³)	Rc (kg/cm ²)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	E (Ton/cm ²)				
70	129	MARSEN IZQUIERDA Toba Lítica Arenosa (Tia-2) Poca de composición ríolítica, color gris oscuro y matriz fina cristalinizada.	Poca masiva afectada por 4 familias de fracturas, poco persistentes, con espaciamiento de 20 a 30 cm, continuas entre 3 y 10 m y abiertas de 0.5 a 1 mm.	2.47	1360	4089	2568	61419	ALTA (H)	A L T O	REGULAR A BUENA	Estabilidad: (M.S.) La familia "3" asociada a un sector de falla oblicua, puede afectar al talud, además la familia "4" puede influir en la estabilidad por volantes. Se considera estable a menos que se estén cortando para ellas de mayor inclinación. Resistencia: Baja a media de una muestra tomada del centro. R.O.D.: Buena. Permeabilidad: La estructura masiva y el escaso fracturamiento que afecta a esta unidad, sugiere que la permeabilidad en esta margen sea baja hasta los 15 m de profundidad e impermeable después de esta (solo hay un conducto ubicado en el lateral).
		MARSEN DERECHA Toba Lítica Arenosa (Tia-2) Idéntico M. I. Toba Vitrea Realítica (Tia-2) De color gris pardo - con granularidad de ojos de vidrio orientados, con tamaño promedio de 2 cm diámetro.	En esta margen las unidades presentan estructura masiva y fracturamiento moderado a alto. Las familias de fracturas son 4, con espaciamiento de 20 a 60 cm, continuas entre 3 y 10 m, abiertas de 0.1 a 0.5 mm; y en algunas secciones - rellenas de arcilla.	2.52	1284	4140	3133	61577	MEJORA	A L T O	REGULAR A BUENA	Estabilidad: (M.S.) El problema principal es la inestabilidad por volantes para las familias "3" y "4", sin embargo el empalmamiento de ellas al "talud" secundario, por lo cual no tiene efecto directo. Presenta un talud casi vertical, el sistema "3" se observo asienta por lo que puede haber empalmamiento de ellas al "talud" por medio de la familia "4" afectaría al talud a través de "falla oblicua". R.O.D.: Buena. Permeabilidad: La posibilidad de permeabilidad secundaria en la secuencia de tobas, está relacionada a la presencia de fracturas abiertas menor a 0.5 mm y a la posible existencia de una falla paralela al centro del "talud". Al parecer dichas fracturas no presentan mayor problema, porque se encuentran espaciadas y la mayoría de ellas - contienen relleno.

La pizarra, como roca intacta, es de muy buena calidad; presenta valores altos de densidad (que no contrastan entre muestras secas y saturadas, lo cual se traduce en una porosidad despreciable), su resistencia es alta y tiene un módulo de elasticidad relativo alto (estático) a muy alto (módulo dinámico). Sin embargo, como macizo rocoso se caracteriza de mala a muy mala calidad, ya que se encuentra afectada por varios sistemas de discontinuidades (foliación bien desarrollada e intenso fracturamiento; tabla 1.5) y un espesor de intemperismo (zona de limpia) y decompresión (zona de tratamiento para impermeabilización) considerable, entre 20 y 30 m; asimismo los módulos dinámicos de campo son contrastantemente reducidos (entre 15 y 85 ton/cm², para la capa sana) respecto a los de laboratorio (entre 590 y 2410 ton/cm²).

TABLA 1.5
FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES EN PIZARRA

FAMILIA	ORIENTACION * (EN GRADOS)
A	045/90
B	317/54
C	140/40
D	071/45
E	211/50

* Rumbo de echado y echado

Las tobas presentan diferentes características conforme a la subdivisión que se realizó. Sin embargo presentan más o menos un mismo patrón. Están afectadas por cuatro sistemas de discontinuidades (pseudoestratificación bien desarrollada y tres sistemas de fracturamiento persistentes; tabla 1.6) como roca intacta presenta bajos valores de densidad en seco (entre 2.05 y 2.32 g/cm³) que contrastan con las densidades para muestras saturadas (entre 2.26 y 2.41 g/cm³) lo que se traduce en porosidad efectiva; las resistencias que se obtuvieron son bajas a medias (entre 360 y 802 kg/cm²), con módulos de elasticidad relativos medios a altos (entre 120 y 844, con promedio de 514 ton/cm²); los módulos de elasticidad de campo son bajos (de 55 y 114 ton/cm²), lo cual implica una roca fracturada y deformable, aunque de mucho mejor calidad que la pizarra. Los espesores de roca alterada y decomprimida son reducidos, con dos metros como máximo.

TABLA 1.6

FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES EN TOBAS

FAMILIA	ORIENTACION * (EN GRADOS)
F	040/47
G	217/44
H	103/90
J	257/81

* Rumbo de echado y echado

Del analisis comparativo entre las alternativas se establecio lo siguiente:

ALTERNATIVA 1

Presenta pocas posibilidades. La longitud de su corona es de 565 m incluyendo un dique auxiliar en la margen derecha. La cortina se desplantaria en una sola unidad litologica, pizarras fracturadas. El espesor de limpia comprende suelos, terrazas, acarros y roca muy fracturada y alterada; llega a tener hasta 16 m en la zona del cauce y 6 m en las laderas. La roca muy fracturada que representa a la zona de tratamiento para impermeabilizacion alcanza los 28 m en la margen izquierda y hasta 15 m a todo lo largo de la margen derecha. Sin embargo se establecio que presenta pocos problemas de inestabilidad potencial en las laderas y cortes de taludes. En esta alternativa no se detectaron fallas o fracturas mayores afectando al macizo rocoso. Se descarto por los fuertes espesores de limpia y por el tratamiento.

ALTERNATIVA 2

Presenta pocas posibilidades ya que tiene características similares a la Alternativa 1. La cortina se desplantaria sobre pizarras fracturadas y la longitud de la corona seria de 440 m, siendo la más angosta de las cuatro alternativas. El material de limpia comprende suelos, acarros y terrazas aluviales, así como roca muy fracturada y alterada, alcanza hasta 22 m en la zona del cauce y 8 m en las margenes. El espesor de roca muy fracturada que requiere impermeabilizacion varia entre 6 y 21 m en ambas margenes. Asimismo se establece que no manifiesta mayores problemas de inestabilidad potencial en laderas y cortes para taludes. Tampoco se encontraron grandes fallas o fracturas afectando al macizo rocoso. Se descarto por los fuertes espesores de limpia y de impermeabilizacion.

ALTERNATIVA 3

Presenta pocas posibilidades, aunque se considero en mejores condiciones que las alternativas 1 y 2. La cortina se desplantaria sobre dos unidades litologicas de diferente comportamiento geomecánico, pizarras en la margen derecha y bajo el nivel actual del cauce, y una secuencia de tobas en la margen izquierda que descansa en discordancia angular y por falla sobre las pizarras. La longitud de la corona seria la mas larga, con 595 m incluyendo un dique auxiliar en la margen derecha. El material de limpia comprende suelos, acarreos y terrazas, así como roca muy fracturada y alterada, su espesor máximo se encuentra a nivel del cauce y es del orden de 17 m; el espesor de tratamiento para impermeabilización sólo se pudo definir en la margen derecha, siendo ésta de 14 m, similar a la misma margen de la Alternativa 1; los espesores de limpia y tratamiento para la margen izquierda no se definieron por dificultarse la exploración geofísica a consecuencia de lo abrupto de esta margen, pero por las observaciones directas se considero reducido para ambos casos (del orden de 2 m).

La margen derecha no presenta mayores problemas de inestabilidad en laderas y cortes para taludes, sin embargo en la izquierda se encuentran grandes bloques que han caído al cauce y los análisis de estabilidad potencial la señalan como la mas problemática. Por otro lado, en esta alternativa se ha interpretado la presencia de una gran discontinuidad, que es una falla normal en la margen izquierda cuya traza se ha cartografiado a nivel del cauce. Así, dados los espesores de limpia y tratamiento que se han definido, los problemas de inestabilidad de la margen izquierda, aunados a la longitud de la corona, la presencia de dos unidades litológicas de diferente comportamiento geotécnico y de la posición de la falla, se considero que el sitio no reúne las características adecuadas para desplantar la cortina.

ALTERNATIVA 4

Se considero que esta alternativa presenta las peiores condiciones de las cuatro estudiadas. La cortina se desplantaria sobre la unidad de tobas, misma que fue separada en cuatro subunidades. La longitud de la corona es la segunda mas corta con 526 m, incluyendo un dique auxiliar en la margen izquierda. Los materiales de limpia comprenden suelos, acarreos, terrazas y roca alterada o muy fracturada; a nivel del cauce presentan su mayor espesor siendo del orden de 20 m, hacia la margen derecha (L1), mientras que del lado de la margen izquierda es de 5 m como máximo; en la ladera de margen derecha no se realizo exploración geofísica por lo que no se pudo definir el espesor de limpia, sin embargo se considero reducido, de 2 m como máximo. Se oprimó que la zona de tratamiento para impermeabilización se reduce al cauce, en particular donde se ubica la falla de la margen derecha, aunque es necesario realizar una mayor exploración para definirlo. La calidad de la roca se considero como regular para las subunidades de la margen izquierda y regular a buena para las subunidades de la derecha.

Las laderas de la margen izquierda se consideran estables, lo mismo que los cortes de taludes; sin embargo en la margen derecha, aunque no se presenta evidencia de deslizamientos ni bloques caídos, es posible que se presenten problemas de estabilidad para ciertas orientaciones en cortes para taludes. En esta alternativa se interpretan dos fallas, una en la margen izquierda (donde se forma un puerto de erosión) y otra en la derecha a nivel del cauce. Por otro lado, en esta alternativa la topografía en la margen izquierda muestra condiciones adecuadas para situar a las obras auxiliares. El vertedor de demasías se situaría en el puerto de erosión que coincide con la falla, mientras que el túnel de desvío sería de tan solo unos 300 m en un tramo prácticamente recto.

Por todas las características mencionadas, a pesar de que no es el eje más angosto, no se prevén problemas de inestabilidad para ciertos cortes en la margen derecha ni por la presencia de las dos fallas, por lo que se considera que esta alternativa tiene las mejores condiciones de las cuatro estudiadas.

Es por esto, que en los capítulos que ha continuación se presentan, solo se analizará con detenimiento las características geológicas y geotécnicas particulares de la alternativa 4.

NOTA:

El análisis de estabilidad de las primeras tres alternativas fueron analizadas en el trabajo realizado por Ibarra G., 1999.

2. GENERALIDADES

2.1 OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales de este estudio son:

- Determinar las condiciones geotécnicas de la alternativa 4, ya que ésta presenta las mejores condiciones para la construcción de la cortina.

- Definir las diferentes unidades litológicas que afloran en el Área de la boquilla, determinando la distribución, estratigrafía y características tanto geológico-estructurales como geotécnicas.

- Conocer los espesores de intemperismo y alteración, contactos de roca a profundidad, zonas fracturadas y alteradas y definir la calidad de la roca desde el punto de vista geofísico.

- Ubicar y cuantificar los bancos de materiales necesarios para la construcción de la cortina.

- Dar sugerencias para el diseño y construcción de las obras de la presa.

2.2 METODO DE TRABAJO

Las actividades que se realizaron en este estudio pueden agruparse en las etapas de trabajo que a continuación se resumen:

- RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION

El estudio se inicio con la recopilación de la información existente en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Por otro lado, se reunió la información de geología general del área, publicada en revistas técnicas y tesis de la zona de estudio.

Para la boquilla se llevó a cabo un estudio fotogeológico, apoyado en fotografías aéreas verticales escala 1:20,000, donde se delimitaron las diferentes unidades litológicas y se marcaron los principales accidentes estructurales; posteriormente, la fotointerpretación fue verificada en campo mediante caminamientos y recorridos en las zonas aladañas.

- ACTIVIDADES DE CAMPO

a) Levantamiento Geológico:

El levantamiento geológico abarcó tanto un reconocimiento regional por los caminos de acceso, como el estudio local a detalle de la zona de la boquilla.

Además, se realizó una cartografía geológica de detalle, apoyada en los planos topográficos proporcionados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, (H1 y H2 escala 1:2000) diferenciando en la bocuilla las unidades y subunidades correspondientes. Se identificaron los contactos entre las diferentes unidades, midiéndose espesores y se marcaron en el plano topográfico.

Cada unidad o subunidad fue descrita de acuerdo con la convención utilizada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (I.G.C.).

En cuanto a geología estructural, las discontinuidades como fallas y fracturas se levantaron y se describieron de acuerdo a la descripción cuantitativa de las discontinuidades propuesta por el comité de la ISRM.

Asimismo, se realizaron caminamientos cercanos al eje 4 con el objeto de considerar los mejores sitios para aprovecharse como bancos de material. Esto se realizó llevando a cabo exploraciones a lo largo del cañón, verificando el estado físico de las rocas y la ubicación tanto de canteras para enrocamiento como para gravas-arenas y arcillas.

Para los bancos de grava-arena se llevaron a cabo 5 pozos a cielo abierto de aproximadamente 2 m de lado por 1.5 m de profundidad. Estos permitieron describir el tipo de material, sus componentes y composición, así como el espesor y volumen.

Por último, las arcillas se localizaron en diferentes zonas aguas arriba del eje, al sur del poblado de La Fuente de San Marcos y al sur y oriente del pueblo de San Marcos.

Para complementar los estudios de campo se realizó un muestreo con el fin de definir, a través de pruebas de laboratorio, las características de los diferentes materiales.

La toma de muestras consistió en obtener especímenes de las diferentes unidades o subunidades de roca por margen. A éstos se les practicaron estudios petrográficos (Ver apéndice) para identificarse y conocer las características microscópicas y de mecánica de rocas para conocer su comportamiento físico y mecánico.

Se tomaron muestras de los sitios propuestos para bancos de enrocamiento.

Además, se realizó un muestreo en los pozos a cielo abierto para gravas y arenas, con el fin de conocer sus características de granulometría, etc.

b) Levantamiento Geofísico:

Se realizó un estudio de prospección geoelectrónica en su modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales y de Prospección Geosísmica de Refracción, donde se obtuvieron módulos elásticos dinámicos "in situ" para la alternativa y para los bancos de materiales.

2.3 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO

El área de estudio se encuentra ubicada en la porción Sur del Estado de Sinaloa, aproximadamente a 42 km al noreste del Puerto de Mazatlán.

Geográficamente, la zona se encuentra entre los paralelos 23 grados 25 minutos y 23 grados 37 minutos de latitud norte y entre los meridianos 106 grados 05 minutos y 106 grados 17 minutos de longitud oeste (tomadas de la Hoja Concordia, F13 A36 del seccionamiento 1:50,000 de INEGI).

El acceso al área de estudio se realiza partiendo de la Ciudad de Mazatlán hacia el Norte, por la Carretera Internacional México-Nogales (No. 15) hasta el poblado de El Habal (a 10 km de Mazatlán), donde entronca con la carretera estatal que conduce al poblado de La Noria, tras recorrer 23 km. De este sitio se prosigue por un camino de terracería transitable en cualquier época del año que conduce al poblado La Puerta de San Marcos después de recorrer 14 km. Finalmente, continuando a pie hacia el Sur, sobre el cauce del Río Presidio se llega, aproximadamente a 3 km, al Cañon Picachos (Figura 2.1).

2.4 HIDROGRAFÍA

El Estado de Sinaloa cuenta con corrientes importantes, en particular, la zona de estudio que forma parte de la extensa e importante cuenca de los ríos Presidio y Baluarte.

El Río Presidio nace en el Estado de Durango y continúa hacia Sinaloa, donde su cuenca se extiende dentro de los municipios de Concordia, Mazatlán, Rosario, San Dimas y Pueblo Nuevo. La Cuenca del Río Presidio limita al Norte con las cuencas de los ríos Quelite y Piaxtla, al Este con las cuencas de los ríos San Pedro y Acaponeta, y al Sur y Oeste con el Océano Pacífico.

El Río Presidio nace a unos 40 km al oeste de la Ciudad de Durango, a una elevación de aproximadamente 2600 m.s.n.m. y desemboca en el Océano Pacífico a unos 20 km al sureste de Mazatlán, después de recorrer 215 km y drenando un área de 5,004 km², fluyendo en una dirección NNE y SSW.

2.5 CLIMATOLOGIA

La precipitación media anual es de 1,110 mm, concentrándose el 87% de junio a octubre y el 13% restante durante los meses de noviembre a marzo. La temperatura media anual oscila entre 25 grados centígrados en la parte baja de la cuenca y 12 grados centígrados en la parte alta.

La evaporación media anual en la estación de Las Habitas es de 1,825 mm, mientras que en Mazatlán es de 2,170 mm.

2.6 POBLACION

El área de estudio se localiza dentro del Municipio de Mazatlán y de Concordia, la población más cercana es La Fuerta de San Marcos; la cual carece de la mayoría de los servicios. La Población mayor más cercana es La Noria, que cuenta con más servicios.

PUERTA DE SAN MARCOS:

Primaria
Electricidad
Señal Televisiva

LA NORIA:

Preprimaria, Primaria, Secundaria
Electricidad, Agua Potable
Centro de salud
Correo y Señal Televisiva.

Las poblaciones y rancherías que quedarían inundadas por el agua del embalse serían La Puerta de San Marcos, Casas Viejas, Las Iguanas, San Marcos, El Alamo, El Placer, Las Azulitas, y Los Copales.

3. GEOLOGIA REGIONAL

Las rocas que afloran en el área de estudio (480 km²), son de naturaleza y edades diferentes. Podemos observar rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, comprendidas desde el Paleozoico hasta el Cenozoico.

Los rasgos estructurales que predominan en la región son los siguientes:

- La Sierra Madre Occidental
- El gran Batolito de Sinaloa
- Los Sedimentos Calcáreos Mesozoicos que forman estructuras alargadas y aisladas
- Y un basamento Metamórfico afectado por fallas y plegamientos, atribuibles a una fase de deformación durante el Paleozoico Superior.

En general la zona se encuentra afectada por un mecanismo distensivo, posiblemente relacionado con el Sistema Golfo de California-San Andrés.

3.1 FISIOGRAFIA.

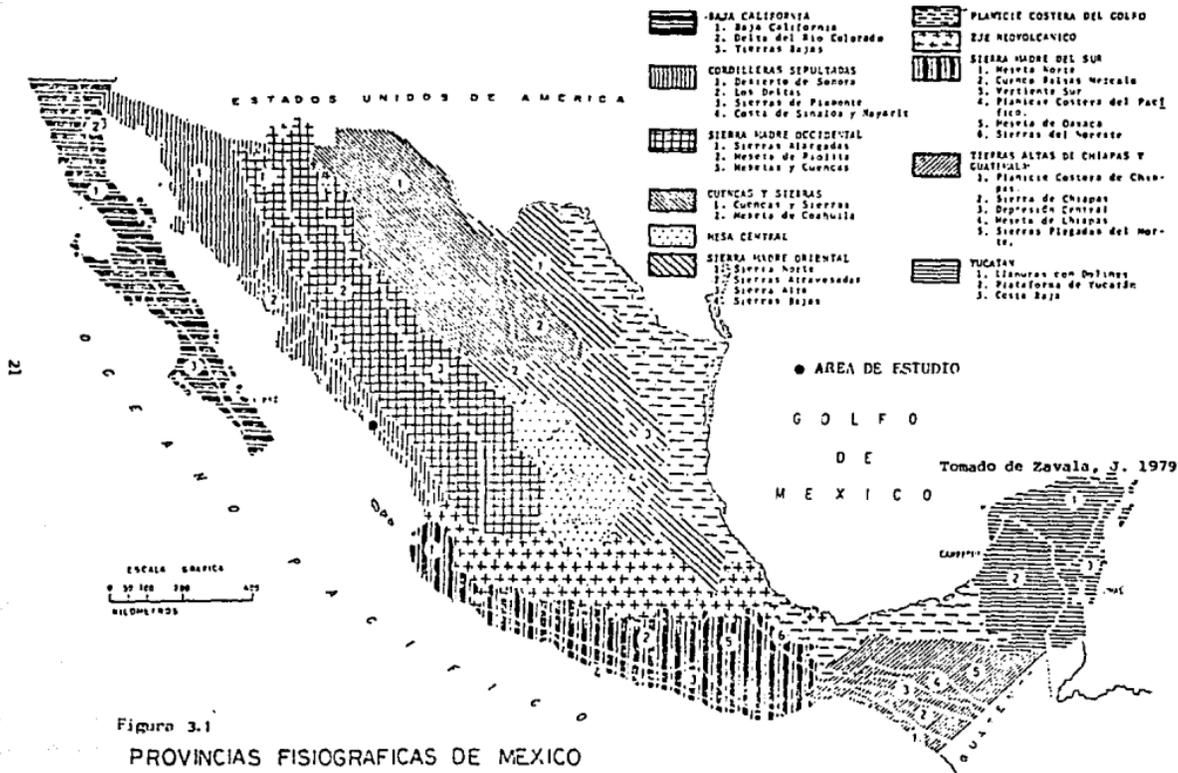
De acuerdo a la división de provincias fisiográficas de E. Raisz (1954); el área de estudio se localiza dentro de la Subprovincia de Sierras Alargadas, la cual a su vez pertenece a la Provincia de la Sierra Madre Occidental.

La morfología está caracterizada por acumulaciones volcánicas y volcanoclásticas de naturaleza principalmente riolítica, las cuales son alargadas en dirección NNW-SSE y separadas por cañones y valles fluviales. Estas sierras presentan elevaciones de 100 a 200 metros sobre el nivel del mar y pendientes entre 30 y 50 grados.

Existen también pequeños lomeríos con pendientes suaves de 10 a 20 grados.

Los valles fluviales y terrazas antiguas oscilan entre los 70 y 80 m.s.n.m., en tanto que las zonas peninsulares que generalmente contienen materiales residuales producto del intemperismo del granito, no alcanzan elevaciones mayores a 120 m.s.n.m.

El sistema fluvial de la región es integrado y sigue un patrón de drenaje dendrítico enrejado; en ocasiones también se presenta paralelo, influenciado por el tipo de roca que atraviesa.



El Rio Presidio en algunos tramos de su cauce está altamente influenciado por el patron estructural de fallas y fracturas dominante en la region, lo que ocasiona que se presenten cambios bruscos en la direccion de este y originando también la formación de meandros.

3.2 ESTRATIGRAFIA

A continuación se describen las unidades litológicas que afloran en la región, de la más antigua a la más reciente. La Tabla 1.1 muestra la columna geológica de la zona.

Paleozoico pizarras (Pp).- Esta representado regionalmente por un complejo que comprende a rocas metamórficas formadas durante el Paleozoico y que afloran en la porción norte de la zona de estudio. Estas rocas constituyen el basamento de la secuencia Mesozoica y Cenozoica y comprende una secuencia metasedimentaria compuesta principalmente por esquistos, pizarras, filitas y cuarcitas.

Localmente, afloran en la parte centro-oriental (Plano 1) y su expresión morfológica es en forma de lomeríos suaves con drenaje dendrítico.

Las pizarras y cuarcitas, en general son de color gris y amarillo oxidado al intemperismo. Se encuentran foliadas, con una orientación definida al SE y tienen un fracturamiento alto y cerrado.

Esta unidad se encuentra intrusionada por los emplazamientos batolíticos del Cretácico y a su vez cubierta por la secuencia volcánica-terciaria. Sus contactos son discordantes y algunos de ellos por fallas de tipo normal.

Cretácico calizas (Kcz).- Esta constituido por calizas correspondientes a una secuencia calcárea masiva de aguas someras equivalentes a las rocas localizadas al norte del Estado de Sinaloa.

Dentro del plano geológico regional (Plano 1), estas rocas tienen una distribución limitada exclusivamente a los cerros La Calera y El Barro, entre los poblados de Jantillos y Las Higueras en la porción nor-occidental. Estos cerros forman una sierra alargada orientada casi E-W, los cuales tienen una extensión de 8 km aproximadamente, y se interrumpen por un cañón que tiene un desnivel de 300 m.

Estas rocas calcáreas se presentan marmorizadas, probablemente por efecto de la intrusión del granito, no obstante se observan aun las características originales, además de ser masiva y tener olor fétido al golpe del martillo. El color es pardo gris al intemperismo y blanco amarillento al fresco y presenta una textura sacarcide; tiene una alta resistencia y la orientación de los echados es NE 66/53 grados.

TABLA 3.1: COLUMNAS ESTRATIGRAFICA

C E N O Z O I C O		P A L E O Z O I C O	
MESO-COICO	CRETACEO	TRIÁSICO	PERMIANO
TRIÁSICO	CRETACEO	TRIÁSICO	PERMIANO
Qc1	Qc1	Qc1	Qc1
Tc	Tc	Tc	Tc
Tmcy	Tmcy	Tmcy	Tmcy
Tiv	Tiv	Tiv	Tiv
Tio4	Tio4	Tio4	Tio4
Tio3	Tio3	Tio3	Tio3
Tio2	Tio2	Tio2	Tio2
Tio1	Tio1	Tio1	Tio1
Tio0	Tio0	Tio0	Tio0
Io	Io	Io	Io
Kxz	Kxz	Kxz	Kxz
Pp	Pp	Pp	Pp

ESTRUCTURA MINERALÓGICA	ESTRUCTURA MINERALÓGICA	ESTRUCTURA MINERALÓGICA	ESTRUCTURA MINERALÓGICA
SEDIMENTARIA	SEDIMENTARIA	SEDIMENTARIA	SEDIMENTARIA
SEDIMENTARIA	SEDIMENTARIA	SEDIMENTARIA	SEDIMENTARIA
Depositos continentales acumulados como producto de materiales residuales, aluviales, depósitos fluviales y de talud. Tiene una erosión en forma de terrazas y valles fluviales.	Sedimentos clásticos continentales producto de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas constituyendo antiguos depósitos de aluviales. Reconformadamente presenta horizontes suaves.	Secuencia volcánica proclástica constituida por brechas volcánicas riolíticas, con algunas intercalaciones de derrames y tobas, las cuales presentan un coeficiente de inclinación definido al SW.	Secuencia volcánica indiferenciada formada por intercalación irregular de tobas líticas y derrames andesíticos de color marrón y textura cordilista. La estructura es masiva y su fracturamiento moderado.
Toba lítica riolítica color gris, estructura masiva, fracturamiento de moderado a alto, con clastos incluidos en una matriz vítreo parcialista estrada.	Toba vítreo riolítica color gris claro, estructura masiva, contiene poco de sílice orientados y de aproximadamente 2 cm de diámetro.	Toba lítica arenosa, de composición riolítica, color gris oscuro, de estructura masiva, fracturamiento de moderado a alto y matriz fina perestrificada.	Toba lítica riolítica color café oscuro, de concordancia por encontrarse estratificados y presenta abundante contenido de vetillas de sílice que la hacen resistente.
Brecha arenosa riolítica color gris claro constituida por fragmentos de roca con tamaños hasta de 10 cm esparcidos en una matriz vitrocrystalita soldada.	Toba arenosa de color gris oscuro, estructura masiva, constituida por fragmentos de roca de la misma composición y se encuentra sucesivamente fracturada.	El finca lítica riolítica color café oscuro, caracterizada por clastos de hasta 20 cm de diámetro incluidos en una matriz fina.	El finca lítica riolítica color café oscuro a marrón, de textura afanítica, fracturamiento alto y cerrado que le da a la roca un aspecto laposo, interpermeado moderado a alto, resistencia moderada y ubicada en forma de brechas conformes a un derribo tectónico.
Toba vítreo riolítica color café oscuro a marrón, de estructura afanítica, fracturamiento alto y cerrado que le da a la roca un aspecto laposo, interpermeado moderado a alto, resistencia moderada y ubicada en forma de brechas conformes a un derribo tectónico.	Toba arenosa color café oscuro al interpermeado y café oscuro al fresco, con fragmentos de roca, feldespatos, biotita y calcita en una matriz vitrocrystalita de interpermeada.	Toba vítreo riolítica color café oscuro al interpermeado y café oscuro a gris violado al fresco. Estructura masiva, fracturamiento de cerrado a moderado, compacta y de alta resistencia. Contiene biotita, plagioclasas y líticos en una matriz de andesita a fusa.	Toba arenosa color café oscuro al interpermeado y café oscuro al fresco, con fragmentos de roca, feldespatos, biotita y calcita en una matriz vitrocrystalita de interpermeada.
Calizas sintivas de composición granítica y granodiorítica, caracterizadas por encontrarse altamente interpermeadas, formando lo que se conoce como "chubungu".	Sedimentos calcáreos masivos de color blanco amarillentos, con textura sacada y alta resistencia. Se presentan alteraciones por efecto de la intemperización granítica.	El finca de color gris oscuro con tonalizaciones rosadas, fracturamiento moderado a alto, presenta talisman al SW con intensidad promedio de 10 grados.	

En algunas partes, sus contactos son discordantes por falla como resultado de la intrusión batolítica.

Las rocas de esta unidad reflejan los restos de una secuencia cretácica que cubrió, sin duda, una gran parte del área. La secuencia cretácica de Sinaloa es muy similar a la Formación Alisitos del norte de Baja California, que generalmente se considera como una acumulación típicamente eugeosinclinal. Estas dos regiones, así como gran parte de Sonora, pertenecen a un mismo dominio paleogeográfico y por los fósiles encontrados se les ha asignado una edad Albiano-Cenomaniano, por lo cual, corresponde al Cretácico Medio.

Intrusivo ácido (Ia).— Con este nombre se define a la unidad constituida por granitos, granodioritas y cuarzo-monzonitas, que forman parte de lo que muchos autores han denominado "Gran Batolito" de Sonora-Sinaloa.

Estos se puestas en la parte central del área de estudio (Plano 1) y corresponde a la unidad sobre la que se extiende la mayor parte del vaso, formando pequeños valles que son aprovechados como terrenos de cultivo.

Consisten esencialmente de granitos y granodioritas, los cuales contienen principalmente feldespatos y cuarzo; estas rocas se encuentran afectadas por intemperismo de alto grado, lo cual ha formado el llamado "tucuruquay" que aun refleja sus condiciones originales, se presenta en forma de granos hasta convertirse en arena.

Estas rocas intrusionan a las rocas metamórficas del Paleozoico y a calizas del Cretácico Inferior o Medio. A su vez, están cubiertos por tobos y derrames volcánicos del Cenozoico.

Se considera que la edad de estas rocas fluctúan entre los 45 y 120 m.a. y corresponden al Cretácico Tardío - Terciario Temprano. Se pueden correlacionar con rocas similares de la Sierra Nevada de California. Se cree que se generaron como producto de magmas calco-alcalinos a lo largo de una zona de subducción y que ascendieron para formar el batolito y permanecer emplazado a lo largo de la margen continental.

Terciario Inferior volcánico ácido (Tia).— Para el Terciario Inferior se desarrollaron rocas asociadas a un vulcanismo ácido de carácter explosivo y constituido por brechas, igniabritas, derrames y tobos riolíticos. Estas debieron formarse durante el Eoceno, dando lugar a las potentes unidades volcánicas que constituyen la Sierra Madre Occidental.

Estas rocas en la zona de estudio afloran a lo largo de una franja con orientación NW-SE y se observan varias subunidades, específicamente entre los ejes 3 y 4 de ambas márgenes del Río Presidio.

Forman sierras alargadas que alcanzan altitudes entre 500 y 400 m.s.n.m. y con desniveles de 200 m respecto al río Presidio. En algunos sitios forman escarpes pronunciados o paradas de fuertes pendientes dada la resistencia a la erosión, así como a las fallas y fracturas que les afectan.

La secuencia volcánica está constituida por varias unidades, las cuales se han clasificado como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 3.2
SUBUNIDADES DE LA SECUENCIA VOLCANICA

UNIDAD	LITOLOGIA	DESCRIPCION LITOLOGICA
Tia-0	Brechas arenosas basales	Constituida por fragmentos de rocas metamórficas y volcánicas.
	Ignimbritas inferiores	De composición vitrovolcánica, masiva y de alta resistencia.
	Derrame volcánico inferior	Constituido por andesita color marrón de estructura lajeada (fracturamiento).
	Secuencia vulcanoclástica	Constituida por brechas tobáceas, riolíticas, tobas arenosas, brechas arenosas riolíticas.
Tia-1, 2,3,4	Secuencia ignimbritica superior	Comprende tobas vítreas riolíticas, tobas liticas arenosas y tobas liticas riolíticas.

Esta serie volcánica tiene un espesor aproximado de 250 a 500 m.

Los contactos entre las diferentes unidades son generalmente concordantes; en ocasiones se presentan doblamientos por fallas normales y de trascurrencia. Toda la serie en su contacto inferior es discordante por falla con el Paleozoico y el contacto superior, concordante con una serie vulcanoclástica perteneciente al Terciario Medio.

Regionalmente, el espesor de estas rocas supera en ciertos lugares los 1000 m; su origen puede interpretarse como asociado a un arco magmático, relacionado a una zona de subducción. El magma nace así de una zona de fusión de la corteza continental encima de la zona de Benioff (Harrig D., Jensch W. 1972).

Terciario inferior volcánico indiferenciado (Tiv). - Esta constituido por rocas igneas volcanicas sin diferenciar, se caracterizan por estar casi siempre muy alteradas y deformadas. Esta secuencia se debió formar a finales del Eoceno y principios del Oligoceno. Se encuentran distribuidas en la parte sureste del area (Plano 1).

Su expresion morfologica es en forma irregular y con elevaciones desde 300 hasta 700 m.s.n.m. aproximadamente.

Esta constituida en general por una secuencia volcanica formada por la intercalacion irregular de tobas liticas y derrames andesiticos. Presenta colores oscuros y en algunas localidades, se observan alteraciones secundarias de clorita y epidota. Las andesitas poseen una textura que varia de afanítica a porfídica, presentan fenocristales de plagioclasas.

En el area del cañon aguas abajo del Eje 4 en la Margen Derecha, se observaron rocas que por sus características corresponden a un derrame que cubre a las tobas ignimbríticas, las cuales están constituidas por andesitas color marrón oscuro, de textura porfídica, estructura masiva, con gran cantidad de feldespatos alterados y moderadamente fracturado.

El contacto inferior es concordante con tobas ignimbríticas mientras que la porcion superior se encuentra cubierta por la secuencia volcanoclastica del Terciario Medio a través de un contacto aparentemente también concordante.

Terciario Medio volcanoclastico (Tmcv). - Consiste de una secuencia volcanica piroclastica constituida por brechas volcanicas rioliticas, con algunas intercalaciones irregulares de derrames y tobas, las cuales presentan una pseudoestratificacion definida al SW.

Esta unidad esta expuesta en la parte sur del area del plano geologico regional (Plano 1), por una franja con direccion NW-SE.

Tienen una expresion del relieve en forma de lomeros de poca elevacion y con pendientes suaves y alcanza elevaciones hasta de 200 m.s.n.m.

Forma parte del paquete volcanico desarrollado en esta region durante el Terciario Medio.

Terciario Superior continental (Tc). - Esta unidad esta constituida por sedimentos clasticos continentales, los cuales cubren tanto a la unidad volcanoclastica anterior como a la secuencia ignimbrítica denominada Terciario inferior Acido.

Su distribucion (Plano 1) se limita a la parte suroeste del area.

Esta unidad tiene una estructura masiva, con drenaje rectangular, alcanzando elevaciones entre 100 y 300 m.s.n.m.

Litológicamente, está constituida por conglomerados, areniscas, areniscas tobáceas, gravas y arenas, depósitos clásticos y opiclásticos continentales de edades diferentes.

Las rocas de esta unidad están formadas por fragmentos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, constituyendo antiguos depósitos de abanicos aluviales producto de una etapa erosiva post-orogénica de edad Mioceno Tardío-Plioceno.

Cuaternario (Qal).— Aquí se incluyen todos los depósitos continentales acumulados como producto de materiales residuales, acarreos, depósitos fluviales y de talud, por lo tanto, comprenden a rocas de diferente composición que tienen que ver con los afloramientos de la región.

Se encuentran distribuidos principalmente a lo largo del Río Presidio, incluyendo antiguas llanuras de inundación, lo cual geomorfológicamente tiene expresión de terrazas y valles fluviales.

Generalmente, comprende sedimentos arenosos de grano medio a fino y en menor proporción, gravas y boleos de rocas metamórficas e ígneas. En algunos sitios se sacaron porcentajes de 15% de rocas metamórficas, 20-35% de rocas intrusivas, 40-45% de tobas y 30.5% de andesitas. En el río, el material está refofoado y mal clasificado, no consolidado. En las terrazas, predominan arenas que van de gruesas a medias, con intercalación de horizontes delgados entre 20 y 30 cm de arcillas y limos.

Todos estos sedimentos comprenden el material producto de la erosión de las rocas preexistentes, debido a que estos procesos erosivos dieron lugar a clastos, arenas y fragmentos de roca. Estos materiales se depositaron durante el Reciente.

3.3 GEOLOGIA HISTORICA

El área de estudio presenta como basamento rocas metamórficas formadas de una secuencia sedimentaria marina de edad Carbonífera, que se depositó en condiciones someras de plataforma (Rodríguez, R. y Córdoba, D. A., 1976). Se reconocen informalmente tres miembros de esta secuencia (Carrillo, M. 1977):

- a) MIEMBRO INFERIOR.— Consiste de micritas, pizarras, pedernal y cuarcitas en capas delgadas.
- b) PORCIÓN MEDIA.— Consta de limolitas y cuarcitas, ambas masivas.
- c) MIEMBRO SUPERIOR.— Consiste de cuarcitas y lutitas alternadas con estratos delgados del tipo "flysch".

Estas unidades presentan deformación metamórfica incipiente, paralela y oblicua a los planos de estratificación (Ortega, G., 1977).

En general, se puede considerar que esta secuencia se depositó en una faja miogeosinclinal que sería una continuación hacia el sur de la faja geosinclinal cordillerana del oeste de los Estados Unidos, desarrollada en el Paleozoico (Morán, Z. D., 1984).

En el Mesozoico, existe en Sinaloa una gran heterogeneidad de litologías que conforman al parecer, un conjunto volcánico-sedimentario que vendría a ser la continuación, hacia el sureste, del arco volcánico-vulcanoclastico y sedimentario de la Formación Alisitos de Baja California (Rangin, 1978).

Las rocas sedimentarias mesozoicas están representadas por secuencias de calizas que en algunas localidades se observan parcialmente metamorfozadas. Los afloramientos de estas rocas se encuentran aislados. En algunas localidades se llegan a observar aparentemente intercalaciones con una secuencia metavolcánica mesozoica, pero los contactos no se observan claramente (Morán, 1984).

La mayor parte de las rocas calcáreas que afloran en Sinaloa son, al parecer, de edad Cretácica; el conjunto mesozoico volcánico y sedimentario se encuentra afectado por los emplazamientos plutónicos mesozoicos y terciarios.

Para las rocas ígneas, muchos autores (Dickinson, 1961; McDowell y Clabaugh, 1981; Henry, 1975) citan que existe similitud con relación a su constitución química, distribución y edad entre la actividad plutónica silícica y el vulcanismo del área. Los autores argumentan que estos procesos son simplemente diferentes manifestaciones del mismo fenómeno geológico, es decir, la generación de magmas calco-alcalinos de una zona de subducción, por la relación estrecha entre las rocas graníticas y las secuencias volcánicas inferior y superior, como parte de un modelo de tectónica de placas.

En base a estudios realizados en esta zona de México, se han relacionado las rocas ígneas a diferentes etapas de actividad magmática, así como a mecanismos de migración de tipo arco-magmático a través del tiempo geológico. Servais, Rojo y Colorado (1980) postulan la formación de cuatro arcos magmáticos con carácter calco-alcalino, tomando como base la acción casi continua de la subducción de la Placa Farallon hacia el Este, desde el Mesozoico Temprano al Mioceno. Estos arcos corresponden a los siguientes:

- 1) Jurásico Medio-Tardío y Cretácico Temprano:
Arco Volcánico Sonora-Sinaloa
- 2) Jurásico Tardío-Cretácico Medio:
Arco Alisitos en Baja California

3) Jurásico Tardío-Eoceno:
Batolito Sinaloa y Vulcanismo Intermedio
Calcoisicalino en Sinaloa, Sonora y
Sur de Baja California

4) Oligoceno-Mioceno:
Vulcanismo Ignimbrítico de la Sierra
Madre Occidental

De acuerdo con Damon, et.al. (1961), los principales eventos geológicos ocurridos pueden sintetizarse de la siguiente manera (Figura 3.2): El primero se relaciona a la migración del arco magmático cordillerano como un resultado de cambios en el movimiento de placas (Cony y Reynolds, 1977; Keith, 1978); el levantamiento continental de una margen convergente en respuesta al ajuste isostático (Damon, et.al. 1979). Y la colisión de la Placa Norteamérica con la de Farallon que dio como resultado un extenso levantamiento en Estados Unidos y México. En el Cretácico Temprano, la mayoría de la porción oeste de Norteamérica era tierra somera cubierta por mares epicontinentales y bordeada por un arco magmático, la cual evolucionó hasta su estado actual.

Durante el Cretácico Tardío, hace 90 m.a., parte de México estaba bordeado por un arco magmático (de tipo andesítico), pero un tercio de Norteamérica (Damon y Mauger, 1966) estaba cubierto por mares epicontinentales, (Fig. 3.2) solo su margen oeste y algunas islas aisladas sobresalían del nivel del mar. Hace 60 m.a., el arco había migrado hacia el Este y se encontraba en el centro de la actual Sierra Madre Occidental y se extendió a lo largo de la costa, desde Cabo Corrientes hasta el Istmo de Tehuantepec. El levantamiento comenzó en el Cretácico Tardío, a medida que el continente chocaba con la Placa Farallon.

A fines del Cretácico y durante el Eoceno se emplazaron en las rocas mesozoicas, los granitos y granodioritas de Sinaloa reconocidos como la prolongación de un arco volcánico (Alisitos), cubiertas a su vez, por una serie de rocas volcano-sedimentarias y calcáreas (Bonneau, 1969) y estas, también cubiertas por la secuencia volcánica inferior. Existen además evidencias de que se depositaron grandes cuerpos de caliza arrecifal en medio de rocas volcánicas y rocas vulcanoclásticas, tanto en el norte de Baja California y norte de Sonora como en la costa de Sinaloa, cerca de Mazatlán, (Bonneau, 1976).

Durante el Eoceno (40 m.a.), el arco había migrado hacia el Este y el continente continuaba levantándose, exponiendo rocas mesozoicas a una intensa erosión en el Mioceno (Damon y Montesinos, 1978; Damon, et.al. 1979).

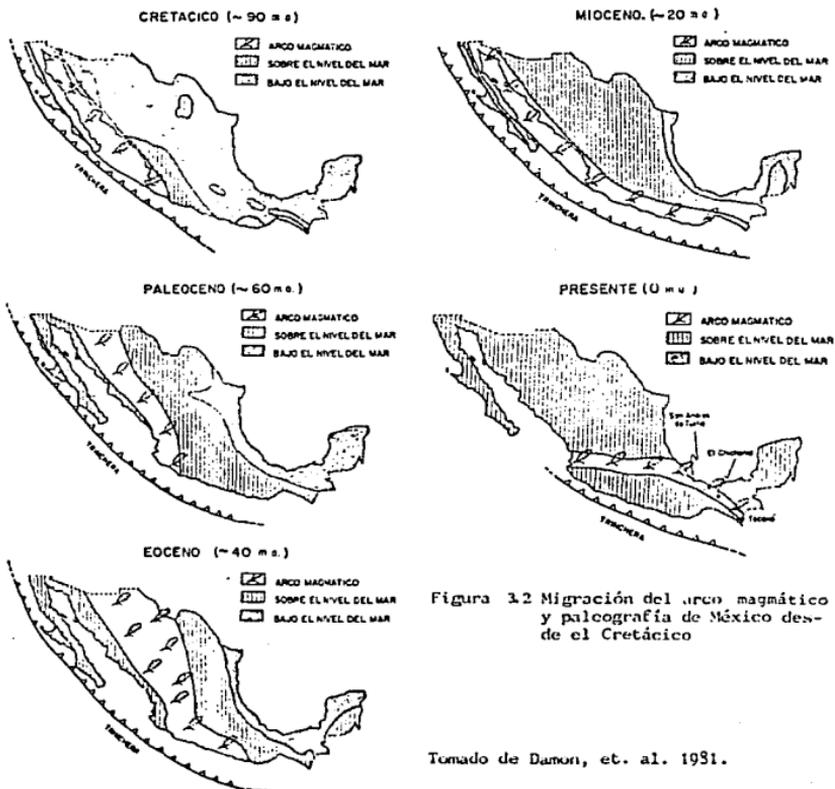


Figura 3.2 Migración del arco magmático y paleogeografía de México desde el Cretácico

Tomado de Damori, et. al. 1981.

El arco magmático había regresado al Pacífico-Golfo de la Costa de California y los depósitos subvolcánicos habían sido cubiertos por rocas piroclásticas mientras que para el Mioceno Tardío la actividad volcánica corresponde a un arco activo que se extiende hacia el Golfo de México y San Andrés Tuxtla y se conecta con el Arco Centroamericano en el sureste de Chiapas. La subducción continúa al sur de Cabo Corrientes y el levantamiento, así como la denudación, son continuas.

Durante el Mioceno y por las evidencias del gran depósito de los ríos que bajan de la sierra, la región sufrió una fuerte erosión de las partes levantadas de lo que hoy es la Sierra Madre Occidental. Durante esa misma época, también se desarrolla una tectónica distensiva que permite el desarrollo de grabens o fosas de hundimiento, relacionados a la apertura del Golfo de California, con el consecuente depósito de material vulcanoclastico que cubre a la secuencia ignimbrítica. Eso sugiere también, la existencia de cuencas intracratónicas de sedimentación en periodos de calma, en que la erosión y la sedimentación acaecían entre etapas o pulsaciones de actividad volcánica y tectónica.

En el Plio-Cuaternario, la Faja de Farallon desapareció completamente debajo de la Faja Americana; sin embargo, en la entrada del Golfo de California se desarrolla un sistema de fallas en extensión que se relaciona con el sistema de San Andrés. Baja California por estas fallas se separó así con el noroeste, (Atwater, 1970; Larson, 1968; Kering, 1972; Gastil, 1981).

3.4 TECTONICA

La evolución geológica de la Sierra Madre Occidental (cordillera sur) ha sido influenciada a todo lo largo del Fanerozoico por la interacción de las placas corticales a lo largo de ambas márgenes del Craton de Norteamérica (Cordillerano y Guachita). De tal forma, que los elementos tectónicos involucrados han pertenecido parcialmente a la Faja Orogenica Circumpacífica, o a un sistema tectónico paleopacífico.

Durante el Cámbrico-Permiano se desarrollan episodios de sedimentación marina de ambiente de plataforma, ocurridos a finales del Precámbrico y durante el Paleozoico. Fries (1962), considera que a finales del Permiano ocurrió un periodo de plegamiento no muy intenso, así como un levantamiento y fallamiento en bloques, todo lo cual, destruyó el patrón geosinclinal anterior.

El Triásico-Jurásico se caracteriza por dos elementos paleogeográficos: la Paleobahía en donde se acumuló una gruesa secuencia marina alimentada por áreas positivas al oriente; y por otro, la cuenca palustre de San Marcial, ubicada al sureste de Hermosillo, Son., en donde se acumularon capas de carbón, calizas yesíferas, areniscas y lutitas (Glencaster, 1961).

El Jurásico Inferior indica el inicio de la actividad volcánica del Mesozoico. Esta actividad volcánica ha sido atribuida por numerosos autores a la presencia de una zona convergente ubicada al oeste de la zona. El hundimiento de una placa paleopacífica debajo de la corteza continental y la fusión parcial de la placa a nivel de la Astenosfera, originaron la edificación de un arco magmático, activo durante el Mesozoico. La actividad magmática relacionada con este arco es sólo interrumpida por el desarrollo de una zona de corrimiento lateral izquierdo llamado por Silver y Anderson (1974), como el "Megacizallamiento de Mojave-Sonora".

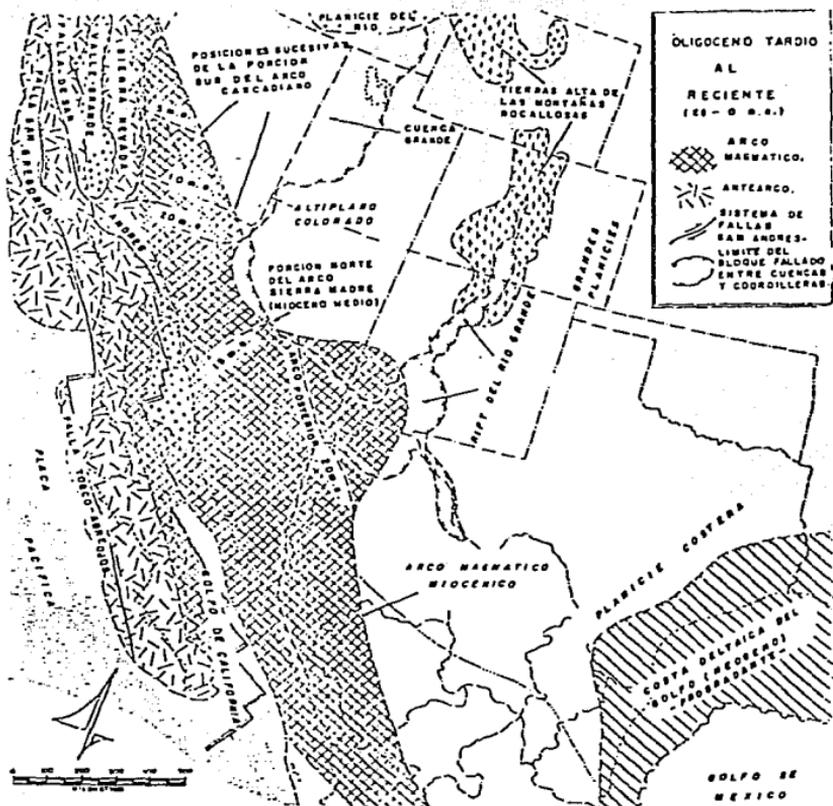
Durante el Jurásico Tardío-Cretácico el Complejo de Subducción creció en extensión a lo largo de la costa de California y Baja California. Consecuentemente, la zona de subducción cambió gradualmente hacia el mar y el antearco principal se desarrolló en intervalos a lo largo del Sistema Arco-Trinchera. El arco magmático ocupó un cinturón amplio, dentro del cual, el batolito principal se emplazó al norte en la Sierra Nevada y al sur en la Cordillera Peninsular. La dirección del cinturón igneo se emplazó hacia el mar desde su previa posición en el Mesozoico Medio (Coney y Reynolds, 1977).

Ocurren dos migraciones importantes, tanto del arco magmático como de la deformación orogénica hacia el interior del continente. Este se puede atribuir a la reducción del echado de la placa de subducción por debajo de la cordillera (Coney y Reynolds 1977).

Durante el Cenozoico Medio el incremento del echado de la placa en subducción se ha asociado con una tectónica pronunciada con efectos locales. Mientras que el echado pequeño de la placa produjo una tectónica de contracción, el incremento del mismo originó una tectónica prominente de extensión. Este proceso comenzó durante el Oligoceno, pero continuó hasta el Mioceno; Damon y Biskerman (1964) fueron los primeros en argumentar la importancia de los eventos tectónicos y magmáticos del Cenozoico Medio que fueron Post-Laramídicos.

La evolución tectónica de la Sierra Madre Occidental durante el Cenozoico Tardío, fue dominada por tres procesos interrelacionados (Fig. 3.3):

- 1) La extinción de la zona de subducción a lo largo de la margen continental y el desarrollo del sistema transforme de San Andrés.
- 2) La terminación del arco magmático relacionado a la subducción y su reemplazo por un vulcanismo disperso de centros basálticos y riolíticos.
- 3) El desarrollo de la provincia de cuencas y cordilleras con tectonismo extensional dentro de esa porción del bloque continental contiguo al sistema transforme de San Andrés.



Tomado de Dickinson, 1951.

Figura 3.3

PLANO PALIOTECTONICO

La evolución del sistema transforme de San Andrés empezó en el Oligoceno Tardío, cuando la zona de acreción comenzó a encontrar la Trinchera Farallon-Americana. La resultante del Sistema Transforme Pacifico-Americano se ha alargado con el tiempo, aunque diferentes fallas (aisladas) han absorbido el desplazamiento principal en diferentes tiempos durante su evolución (Dickinson y Snyder, 1979a) (in Geoproyectos, S. A. de C.V., 1988). El principal desplazamiento en la zona fue probablemente a lo largo de la margen continental hasta el Mioceno Medio. La falla de San Andrés propiamente no se convirtió en el sistema principal sino hasta principios del Plioceno. Desde entonces empezó a abrirse el Golfo de California y separó los arcos volcánicos del Mioceno del continente y de la península (Gastil, et al., 1981).

En el Presente, no existe un arco volcánico dentro de la región. En cambio, se tiene un vulcanismo basáltico extenso acompañado por actividad ignea menos máfica y sin que presente una distribución sistemática en la zona. Este tipo de vulcanismo está asociado en espacio y tiempo con una tectónica de extensión formando un estilo de cuencas y sierras.

En el plano regional (Plano 1), se reflejan las estructuras que predominan en la región, afectando a los grupos litológicos principales: metamórfico, plutónico y volcánico.

En primer lugar, el basamento en la región lo constituyen las rocas metamórficas, las cuales fueron intrusionadas por el gran batolito de composición ácida, estas rocas metamórficas presentan una foliación general con buzamiento en dirección al SE, que refleja los esfuerzos compresionales que afectaron y que son correlacionables con el Sistema Marathon-Quachita de finales del Pérmico, el cual afectó esta parte de Norteamérica.

En tanto, las rocas volcánicas son producto de un vulcanismo ácido de carácter explosivo a causa de la interacción de placas tectónicas y se encuentran afectadas por dos periodos de deformación, los cuales están asociados a la Orogenia Laramide y a la apertura del Golfo de California respectivamente, y se refleja en las orientaciones preferenciales de los sistemas de fallas y fracturas, el plegamiento de la Sierra Madre Occidental, la orientación de sierras de la secuencia calcárea del Mesozoico en Durango, Zacatecas y Chihuahua y por otro lado con las estructuras en Baja California y las dorsales y fallas transformes del Golfo de California. En el plano regional (Plano 1) estas rocas volcánicas se encuentran distribuidas en forma de franjas alargadas en dirección NW-SE y una pseudostratificación con rumbo NW-SE, buzando al SW.

El primer periodo de deformación referido a la Orogenia Laramide se asocia a la deformación final de este evento, representado con el desarrollo de una fase compresiva en dirección NE-SW a finales del Cretácico y principios del Terciario; y el segundo periodo referido a la apertura del Golfo de California en dirección NW-SE durante el Mioceno.

Estas dos manifestaciones de deformación implican que en la región se ha producido un reactivamiento de las fallas y fracturas, inclusive con un cambio de sentido del movimiento. Las fallas de desplazamiento lateral en su mayoría de tipo izquierdo, posiblemente se reactivaron y se sugiere que podrían estar asociadas a esta última fase de deformación.

3.5 SISMICIDAD

La Sierra Madre Occidental se encuentra en la zona sísmica conocida como "Foco Frecuente" y peninsular, de acuerdo con la Carta Sísmica de la República Mexicana (Figueroa, 1971). En general, se considera a la provincia estudiada como una zona de baja sísmicidad (Figura 3.4).

Sin embargo, al observar las Figuras 3.5 y 3.6, se puede percibir una actividad sísmica relacionada a la neotectónica que se genera por la interacción de las placas litosféricas de esa región.

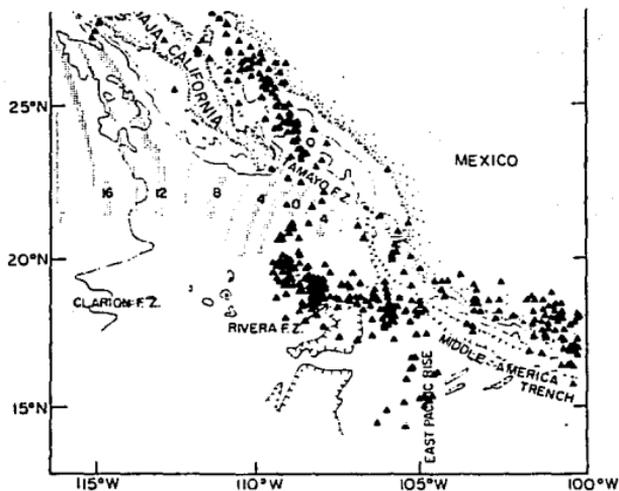
Atwater (1970), ha indicado la posibilidad de un punto triple relacionado a la Dorsal del Pacífico Oriental, Trincheras Mesoamericana y Golfo de California (Fig. 3.7) cercano a las costas de Mazatlán.

En base al análisis que muchos autores han realizado en diferentes áreas, la principal actividad sísmica que se genera alrededor del mundo es resultado de la interacción de los bordes de placas corticales. Bolt, et.al., (1968), considera que el 90 % de la energía producida por los sismos, se libera a través de las zonas de subducción del mundo y sólo el 5 % en las zonas de acreción.

De acuerdo con estudios de las anomalías magnéticas realizadas en la desembocadura del Golfo de California (Fig. 3.6) se ha determinado una velocidad de separación de 6 cm/año del fondo oceánico (Larson, et.al., 1968), y el movimiento es sensiblemente paralelo al sistema de fallas de San Andrés.

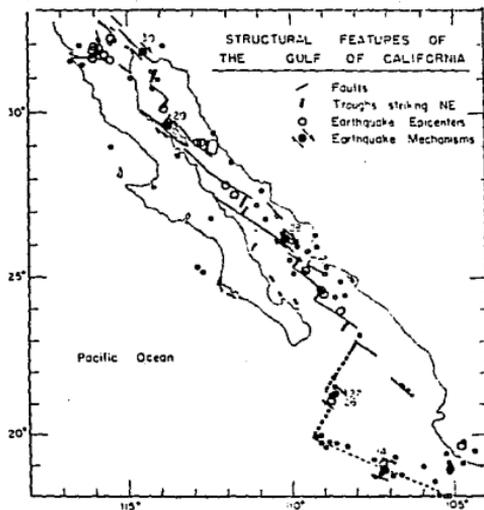
Se ha comprobado que la Península de Baja California forma parte de la Placa del Pacífico, mientras que el resto del país lo es de la Placa Norteamericana, y que la separación o apertura del Golfo de California es una manifestación del movimiento relativo de estas dos placas.

Asimismo, se ha observado que al oeste de la dorsal (Fig. 3.7) no hay actividad sísmica, por lo que se confirma que la Península de Baja California se mueve con la Placa del Pacífico.



Tamayo de Escobar, 1970.

Figura 3.5 Epicentros de sismos ocurridos en el Golfo de California entre 1961 y 1967 (registrados por USCGS, ESSA) y edades del piso oceánico en millones de años.



Tomida de Sacks, et. al. 1968

Figura 3.6 Rasgos estructurales del Golfo de California.

Por otro lado, la continuación de la Trinchera Mesoamericana al norte de la zona de la fractura de Rivera, así como los epicentros cerca de la costa de Jalisco y la orientación tan definida de la fractura de Rivera, pueden indicar que el fondo marino, al este de la dorsal, actúa como una placa independiente; a esta placa se le conoce como "Placa Rivera", ésta en alguna ocasión formó parte de la Placa de Cocos (McKenzie y Morgan, 1969) y, aunque ahora parece tener movimiento con la Placa Americana, no está aun enteramente acoplada.

Tomando en cuenta las anomalías magnéticas al norte de la zona de fractura de Tamayo, indican una velocidad promedio de desplazamiento de 5.8 cm/año (Atwater op. cit.). Estas anomalías son muy importantes, pues también definen el movimiento, sentido y edad del sistema de apertura del Golfo de California (Plioceno Tardío).

Las velocidades tan semejantes a lo largo de la zona de fracturas de Tamayo, sugieren que la Placa de Rivera está casi unida a la Placa de Norteamérica, por lo que la energía que se pudiera almacenar es reducida y por ende, la sismicidad también lo es, como se ha comprobado.

A lo largo del Golfo de California se está desarrollando un sistema de dorsales (Fig. 3.7) comprobándose que su mecanismo de movimiento es a través de fallas transformes con orientación noroeste y desplazamientos derechos. Estas fallas en "echelon", enlazan segmentos individuales de las zonas de acreción, creando: 1) la apertura y movimiento del fondo oceánico, 2) las fallas transformes que fueron responsables del desplazamiento de Baja California con respecto al continente, y 3) la sismicidad de la región.

Después de la descripción general de los procesos neotectónicos, se considera que el Sistema Transforme de San Andrés, como producto de la tectónica de extensión en la región, es el origen de los pocos sismos, pues los epicentros en su mayoría se localizan en el Golfo de California.

En las Tablas 3.3 y 3.4 se presenta un listado de sismos ocurridos de 1922 a 1969 y de 1971 a 1982 respectivamente, en un área que comprende de 103 a 109 grados de longitud oeste y de 22 a 26 grados de latitud norte, cuyos datos se tomaron del Instituto de Ingeniería, UNAM; mismos que, además, se graficaron en la Figura 3.8.

Por lo anterior, se concluye que el riesgo sísmico para la construcción de la proyectada cortina es mínimo, pues esta zona de México es de baja sismicidad y aunque exista una relación de los epicentros en el Golfo de California con el sistema de falla activa San Andrés, no hay antecedentes de movimientos de considerable magnitud superiores a 5.5 en la escala de Richter.

Registro de sismos ocurridos de 1922 a 1969 en un
 area que comprende de 103 a 109 grados de longitud
 Oeste y de 22 a 25 grados de latitud Norte.
 (Fuente: Instituto de Ingenieria, U.N.A.M.).

FECHA	HORA T M G	LATITUD N	LONGITUD W	PROF. KM	MAG. RICH.
120622	94426	24.00	106.50		6.0
190134	95821	22.00	109.00		-
100540	12450	24.00	108.00		5.5
090546	233430	22.78	108.06		5.8
010150	25747	23.55	108.76		-
200851	55000	23.55	108.76		5.5
200851	55911	23.55	108.76		-
200851	187834	23.55	108.76		-
260851	183834	23.55	108.76		5.9
170252	172859	23.70	107.63		5.0
170252	173603	23.70	107.63		5.5
210252	234726	23.50	109.00		5.5
050352	154605	24.50	108.50		5.7
170953	91614	23.51	103.81		4.7
300953	230403	22.35	108.33		6.5
300654	151828	24.00	109.00		5.5
051155	71923	24.50	109.00		5.3
051155	80951	24.50	109.00		5.3
281256	192125	22.0	109.00		6.0
010158	24007	23.7	107.63		4.0
311058	71002	22.36	108.36		5.0
101258	211413	24.5	109.00		-
101258	214923	24.5	109.00		5.7
101258	220954	24.5	109.00		5.0
111258	82220	24.16	108.66		4.5
141258	132651	23.00	108.00		4.6
030260	112855	23.7	107.63		5.0
060360	41200	24.00	108.00	60	5.1
300361	74316	22.36	108.33		5.8
300164	53944	24.5	108.60	49	4.5
030964	211442	24.5	108.78		5.1
030964	234156	24.2	108.60	15	4.6
040964	95006	24.2	108.60	33	4.6
290165	1129	23.9	108.70	33	5.3
290165	22155	24.2	108.80	33	4.9
290165	65807	23.7	108.50	33	4.5
080665	133958	23.3	108.50	33	4.2
180566	73207	24.48	108.96		5.4
180566	75334	24.8	108.90		4.4

TABLA 3.3
(continuación)

Registro de sismos ocurridos de 1922 a 1969 en un
 área que comprende de 103 a 109 grados de longitud
 Oeste y de 22 a 26 grados de latitud Norte.
 (Fuente: Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.).

FECHA	HORA T M G	LATITUD N	LONGITUD W	PROF. KM	MAG. RICH.
180566	80459	24.6	108.90	33	4.5
290866	210656	23.1	108.00	33	4.5
290467	44518	24.3	108.10	33	4.3
300567	142737	24.2	108.70	33	4.8
150767	120022	24.2	108.90	33	4.4
051067	185749	25.8	109.00	33	4.2
021267	3113	24.25	108.80		5.1
311268	45658	24.8	108.70		4.3
250369	150209	22.2	108.20		4.1
250369	201519	22.7	107.90		4.6
300469	55241	22.8	107.60	35	4.5
180869	21434	24.6	108.90		4.4
180869	34545	25.2	108.90		4.4
180869	70002	25.1	108.90		4.5
180869	110145	24.6	108.90		4.2
140969	182552	24.0	108.70		4.5
011169	93103	23.8	107.10		4.1
011169	110821	23.1	107.90		5.6
011169	155058	23.4	108.20		4.6
201269	95613	22.2	108.20		4.3

TABLA 3.4

Registro de sismos ocurridos de 1971 a 1982 en un área que comprende de 103 a 109 grados de longitud Oeste y de 22 a 26 grados de latitud Norte. (Fuente: Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.).

FECHA	HORA T M G	LATITUD N	LONGITUD W	PROF. KM	MAG. RICH.
190171	0316536	23.84	108.58	33	5.5
190171	0334126	23.80	108.55	33	5.1
140675	0223590	23.06	108.04	33	5.2
020875	1715055	23.92	108.74	33	5.0
030678	0545062	23.36	108.37	33	4.7
030678	0726491	23.39	108.28	33	4.5
030678	2354291	23.70	108.14	33	4.3
050678	0440208	23.97	108.64	33	4.4
051180	1717046	23.95	108.77	15	4.7
201280	0903165	23.72	108.84	15	4.4
091081	0409380	23.97	108.70	10	5.1
080772	1025497	24.20	108.80	33	4.3
020373	0840073	24.10	108.90	33	4.6
030575	1733339	24.29	108.67	33	4.6
200176	1013379	24.08	108.73	33	4.7
200176	1127485	24.04	108.74	33	4.5
190177	0939585	24.19	108.76	33	4.3
311277	2112024	24.13	108.82	33	4.3
300578	0940282	24.75	108.98	10	4.7
300578	1343347	24.92	108.84	10	4.4
090279	1312541	24.00	108.56	15	4.4
100779	1359547	24.68	108.88	15	4.1
100779	1402341	24.93	108.47	15	4.7
081079	0600232	24.23	108.89	15	5.0
201280	1727376	24.15	108.90	15	4.9
200282	2150553	24.85	108.78	10	4.6
030578	2335152	25.78	107.05	30	4.4
000578	0930357	25.14	108.93	33	4.4
000581	0508334	25.55	108.74	10	4.5
200282	2118064	25.00	108.93	10	4.3
011170	0431045	22.94	107.96	33	5.1
130172	2156491	22.68	107.89	33	5.0
140675	0240116	22.90	108.10	33	4.8

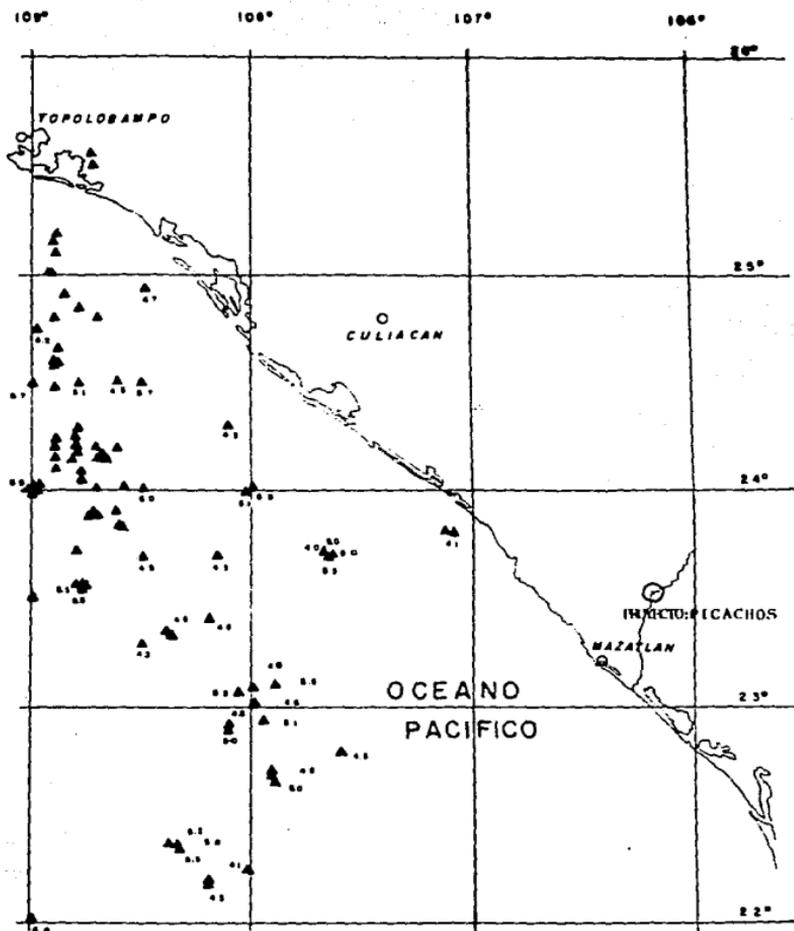


FIG. 3.8 UBICACION DE LOS SISMOS REGISTRADOS POR EL INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM. (1922-69 y 1971-82)

4. ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO DE LA BOQUILLA

El objetivo principal de este estudio, es el de detallar y dar a conocer la geología de la zona de la boquilla donde se construirá una cortina. El eje de la alternativa se ubica en un cañón en el cual afloran rocas volcánicas y volcanoclasticas, así como sedimentos del Cuaternario (Plano 2).

Estas rocas presentan características geológico-geotécnicas y geofísicas diferentes, por lo cual también se han subdividido.

Las rocas volcánicas que sobreyacen a las metamórficas, coronan y forman partes altas y escarpadas, han sido afectadas por fallas normales y de transcurrencia, que corresponden a los esfuerzos regionales del Sistema San Andrés, como consecuencia de una tectónica distensiva que empezó a desarrollarse en el Oligoceno Tardío. Sin embargo, es interesante mencionar que entre las rocas metamórficas y volcánicas falta todo el paquete de rocas sedimentarias del Cretácico que afloran en las cercanías, lo que indica que en la zona de estudio se erosionó originando con esto una gran discordancia litológica, estratigráfica y angular.

4.1. GEOMORFOLOGIA

La zona en donde queda ubicada la Alternativa 4, corresponde a un estrechamiento del Río Presidio. Dicho cañón se inicia 1.5 km aguas abajo de la población La Puerta de San Marcos y se prolonga hacia el sur.

El río presenta un perfil transversal en forma de "U" superficialmente debido al material de acarreo que cubre el fondo, pero a profundidad aun mantiene forma de "V", por lo tanto la zona se encuentra en una etapa geomorfológica de madurez.

La forma de las laderas en la Alternativa 4 es asimétrica; en la margen izquierda se tiene un talud aproximado de 36 grados, mientras que en la margen derecha es de 80 grados.

El cauce del río presenta una forma de avance sinuosa o meandriforme, debido a un control estructural ejercido por la foliación en las rocas metamórficas y dos sistemas principales de fallas y fracturas (ver roseta de fracturas en Plano 1), uno en dirección NE 45 grados SW y otro WNW-ESE.

En un área comprendida entre los poblados de El Flacer, Juantillos, Las Iguanas, Los Huanacastles, Puerta de San Marcos, hasta la zona donde inicia el cañón (aguas arriba) en que se ubica la boquilla (Plano 1), el Río Presidio atraviesa las partes topográficas más bajas de los alrededores, caracterizadas por pendientes relativamente suaves, esta morfología se debe a intrusivo granítico altamente alterado que aflora en esta zona (Plano 1).

Las rocas metamórficas que afloran en el área, generalmente son sierras con cimas arredondadas y pendientes suaves del orden de 10 a 20 grados.

En el paquete de rocas volcánicas existen algunas sierras con alturas hasta de 200 m a partir del nivel del río, con cimas aguadas y escarpadas, con pendientes aproximadas entre 30 y 50 grados, pudiendo ser en algunas zonas del cañón hasta de 80 grados.

La zona de estudio presenta un drenaje de tipo dendrítico, subparalelo, bien integrado, manifestado por arroyos intermitentes que en época de lluvias desembocan al Río Presidio. En menor proporción y más localmente, se pueden encontrar arroyos con drenaje de tipo rectangular, controlados por los sistemas de fallas y fracturas regionales que afectan a estas rocas.

4.2 ESTRATIGRAFIA

En la zona de la boquilla, sólo afloran algunas de las unidades expuestas en la geología regional y del vaso (Plano 1). Las rocas que afloran en el cañón, consisten de una unidad ignimbrítica de composición riolítica, constituida por 4 subunidades de estructura masiva, con escasos componentes líticos orientados, aplastados y envueltos en una matriz vítrea soldada; coronadas por un derrame de tipo fisural, de composición andesítica (Tiv). Dicha secuencia ignimbrítica sobreyace concordantemente a la secuencia volcánoclastica inferior.

Cubriendo discordantemente a las rocas anteriores se encuentra el Cuaternario, que está constituido de material de talud (Qtd), formado por bloques de distintas dimensiones de rocas volcánicas y pizarras; terrazas aluviales (Qte), constituidas principalmente por arenas y en menor proporción por gravas, formando nasas topográficamente más altas al río; materiales de acarreo (Qac), constituidos por boleos, arenas y en menor proporción, gravas en estado suelto.

Todas y cada una de las unidades mencionadas presentan características geológicas y geotécnicas diferentes. En el caso de las rocas piroclásticas se determinó que en la mayoría de las subunidades se inclinan hacia aguas abajo en dirección SW, y el espesor se mantiene sensiblemente constante a lo largo de ambas márgenes, siendo afectadas por algunas fallas entre las que sobresale una falla normal que pone en contacto rocas metamórficas con la secuencia piroclástica del Terciario entre los ejes 3 y 4.

La tabla 4.1 muestra la descripción litológica de la zona del cañon donde se presentan las unidades con sus subunidades; la descripción de las unidades se discute a continuación y la distribución de éstas se presenta en los planos de geología regional y en el de las boquillas (Plano 1, 2 y 3 que incluye las secciones geológicas correspondientes al plano 2).

La descripción de las unidades y subunidades, que generalmente se discuten en el capítulo de estratigrafía no se presentarán en la forma acostumbrada sino que se hará a través de una tabla que resume las características litológicas. Se ha pensado que de esta forma la información será mas objetiva y clara para el lector reduciendo sustancialmente el texto. Esta tabla esta descrita de la siguiente forma:

UNIDAD LITOLÓGICA, clasificada en base al origen de la roca; SUBUNIDAD LITOLÓGICA, clasificada en base a características geológicas y geotécnicas distintas de las subunidades que le rodean, aunque sean del mismo origen; COLOR, característica observada en muestra de mano y afloramiento, tanto en superficie de intemperismo como al fresco; TEXTURA, característica observada en muestra de mano y en sección delgada, tamaño y forma de los granos; ESTRUCTURA, característica observada tanto a nivel de afloramiento, como en muestra de mano; el GRADO DE INTemperismo DE LA ROCA, fueron evaluados conforme a nomenclatura establecida por la Sociedad de Mecánica de Rocas (ISRM); la POROSIDAD DE LA ROCA, se refiere a la porosidad primaria de la misma, incluyendo el microfracturamiento, esta característica fue estimada, tanto en muestra de mano como en sección delgada; la DISTRIBUCION y el ESPESOR de las unidades, se determinan mediante reconocimientos de campo; en las OBSERVACIONES, se toma en cuenta la relación entre contactos, diferencias adicionales entre las distintas unidades de roca, composición, forma y tamaño de grano, etc. (Tabla 4.1).

Las ventajas que nos ofrece esta tabla, es que, a través de ellas, pueden efectuarse comparaciones de similitud y diferencias entre cada una de las unidades, por medio de las cuales podremos caracterizar y establecer las unidades geotécnicas y desechar las de mala calidad.

A las subunidades de la secuencia ignimbrítica superior, anteriormente descritas en la tabla 4.1, se les atribuye un origen proveniente del depósito de material volcánico arrojado por calderas situadas sobre la Sierra Madre Occidental y que corresponden a un vulcanismo distensivo.

Los depósitos recientes están constituidos por material de talud que comprende bloques de roca metamórfica y volcánica; material de acarreo formado por boleos, gravas y arenas; y terrazas aluviales constituidas por arena principalmente.

Tabla 4.1

UNIDAD LITOLÓGICA	NUMEROS LITOLÓGICA	CLAS.	TEXTURA	ESTRUCTURA	INTERFERENCIA	RESISTENCIA	POSICION (I)	DISTRIBUCION	ESPECIE	DESPACIACIONES
Unidad Igneofílica Superior	Toda vitrea residual (11a-1)	-Gras punto a coloidal al interme- diano. Cala rosado aguda al franco.	-En muestra de saca, amolada lisa, vitrea cristalina. En sección - delgada vitrea física y refi- nada. Con microfrac- turamiento de poca a moder- ada, relieve de cuerto y en amor progresi- vo, sin re- lino.	-Estratificación delgada a media con partes de sal y media. A - masa en su par- te superior. Con estructura - panocelular.	Leve a moderado	Alta	De 21 a 21 de caridades de hasta 2m de diámetro.	-En la muestra 12- cuerto, este pa- quete igneofílico vitrea desde 11m aprox arriba del pie 4 y en la ar- que derecha, desde 21m a partir del punto medio, en el contacto con la unidad volcanofí- lica, distribuyen- do en dirección NW-SE y hacia el Sur.	25	Constituye la parte basal de la unidad igneofílica y sobryace concordante- mente a la secuencia volcánica 11a-1. En la muestra 12cuerto en su parte basal presenta estratificación producta, caracte- rizada por gran tamaño arena media a gruesa en su parte de aproximadamente 2m de espesor de estratos delgados. En muestra de saca, se observan caracter- ísticas de pliegues que alcanzan hasta 1m de longitud por bajo contenido de fragmentos de roca volcánica, de 2m a 15cm de diámetro, de leve a altamente abundante y angulosos. En sección delgada, se clasificó como una vitrea residual (11a-1) caracte- rizada por oligoclasa-andesina, carac- terísticas y líticas volcánicas, amolada en una matriz vitrea desestratificada sal- dada y altamente oxidada. La estructura panocelular está caracte- rizada por lineaciones de sílice o inter- crecimientos de feldespato perclítico y sí- lice, orientadas conforme a la estratifi- cación. La textura vitresca esta dada por te- xeritales y líticas, amolada en una matriz vitrea. La textura esferulítica, está dada por un intercrecimiento de feldespato perclí- tico y sílice que forma esferas que asu- men una estructura concéntrica - fibro-radial.
Unidad Igneofílica Superior	Toda lítica arenosa (11a-2)	-Gras punto al interme- diano. -Gras claro a gris rosado al franco.	-En muestra de saca amolada lisa vitrea cristalina, - arenosa. Con microfrac- turamiento de bajo a moder- ado, relieve de calcita.	-Estratificación masiva. Estructura pseudo- foliada consti- tuida por line- aciones de sílice. Fracturamiento - rotorami.	Leve	Alta	De 01 a 21 de caridades de hasta 2m de diámetro.	-En la muestra 12- cuerto, este pa- quete igneofílico vitrea desde 11m aprox arriba del pie 4 y en la ar- que derecha, desde 21m a partir del punto medio, en el contacto con la unidad volcanofí- lica, distribuyen- do en dirección NW-SE y hacia el Sur.	25	En muestra de saca, se clasificó como una lítica arenosa, con cristales de feldespato y biotita de hasta 2m de diámetro, con bajo contenido de líticas vol- cánicas de color negro, de 1m a 2m alcanzan hasta 1cm, angulosos y algunos se observan amolados. En sección delgada, se clasificó como una vitrea residual (11a-1) caracte- rizada por oligoclasa-andesina, amolada, cristales y líticas volcánicas, amolada en una matriz vitrea desestratificada, oxidada y ligeramente oxidada. Concordantemente sobryace a la subun- dad 11a-1 de estratificación masiva, - orientada al SW.

Tabla 4.1 (continuación)

UNIDAD LITOLÓGICA	SUBUNIDAD LITOLÓGICA	COLOR	TEXTURA	ESTRUCTURA	DEFORMADO	RESISTENCIA	PORESIDAD (%)	DISTRIBUCIÓN	ESPEZUR (cm)	CONSERVACIONES
Unidad Igneofílica Superior	Toba vítreo rielítica (11a-3)	-Gris claro a verde al intemperar. -Café mate a rojo ladrillo al fresco.	-En muestra de mano, piroclástica, vitrocrísta. -En sección — delgada vitrofílica y vitrocrísta. -Microfracturamiento escaso.	-De estratificación neta. -Estructura pumilí fluidal. -Ovalados, redondeados por cuarzo y calcita. -Fracturamiento moderado.	Leve a moderado	Alta	De 01 a 32 de vesículas de hasta 2mm de diámetro.	En la margen izquierda, este pumilí vitrofílica afuera desde 10cm aguas arriba del espejo 4 y en la margen derecha, desde 20m a partir del mismo punto, en el contacto con la unidad vitrocrísta. Distribución en dirección NW-SE y hacia el Sur.	30	En muestra de mano, se clasificó como toba vítreo rielítica, donde se observan cristales de fragmentos de hasta 2cm de longitud. Se contiene de filices vitrocrísta de hasta 3cm de diámetro. Esta subunidad, en su parte basal y media, presenta oclusiones secundarias a moderadamente alargadas, redondeadas por cuarzo y calcita secundaria. - En parte superior, presenta una estructura pumilí fluidal dada por fragmentos de filices, orientadas perpendicularmente a la dirección de estratificación. En sección delgada, se clasificó como toba vítreo rielítica, constituida por oligoclaso-andesita, cuarzo, vidrio y filices vitrocrísta, inyectados en una matriz vitro rielítica, volcánica y de leve a altamente celular.
Unidad Igneofílica Superior	Toba lítica rielítica (11a-4)	-Gris, verde a amarillo intemperar. -Gris claro al fresco.	-En muestra de mano, piroclástica, vitrocrísta. -En sección — delgada, vitrofílica. -Microfracturamiento escaso.	Estructura neta con un grado de fracturamiento de moderado a alta.	Leve a moderado	Alta	De 01 a 32 de vesículas de entre 1-2mm de diámetro.	En la margen izquierda, este pumilí vitrofílica afuera desde 10cm aguas arriba del espejo 4 y en la margen derecha, desde 20m a partir del mismo punto, en el contacto con la unidad vitrocrísta. Distribución en dirección NW-SE y hacia el Sur.	40	En muestra de mano, se clasificó como toba lítica rielítica, con cristales de fragmentos de hasta 2cm de longitud, con bajo contenido de fragmentos de roca de color gris oscuro, en hasta 2cm de diámetro. De subvolcánica a subconcordada, algunos se observan alargados. En sección delgada, se clasificó como toba lítica rielítica, oligoclaso-andesita, cuarzo, vidrio y filices vitrocrísta, inyectados en una matriz vitro rielítica y volcánica. Sobreyace concordantemente a la subunidad 11a-3.

Tabla 4-1 (continuación)

UNIDAD LITOLÓGICA	SERIALIDAD LITOLÓGICA	COLOR	TEXTURA	ESTRUCTURA	INTERPERISMO	RESISTENCIA	POROSIDAD (%)	DISTRIBUCIÓN	ESPESES (m)	DESCRIPCIONES
Depositos Recientes	Materiales de Talud (D14)								5	Acumulación in-situ de bloques de distintos diámetros, de rocas volcánicas y pizarras.
Depositos Recientes	Materiales de Acarreo (D4c)							Se extiende a lo largo y ancho de la corriente del río.		Constituido por boleros, arenas y en menor proporción, gravas en estado sueltas; este tipo de material, proviene de las unidades de pizarra, granodiorita, gneises anfibolíticos, y de las unidades de lavas e ignimbritas.

4.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El área de estudio refleja un comportamiento regional estructural predominante, el cual corresponde a la deformación Marathon Quachita y al sistema "San Andrés" que se presenta en el Golfo de California, como consecuencia de la tectónica distensiva que empezó a desarrollarse en el Oligoceno Tardío, pero que se acentuó en el Eoceno (Atwater 1970).

Al elaborarse la roseta de discontinuidades (Plano 1) se observaron dos orientaciones preferenciales, una de ellas, con rumbo NW 70 grados a NW 82 grados (15%) ("J") y la otra al NE entre 40 y 50 grados (12%) ("F"). El Rio Presidio en ciertos tramos y algunos arroyos secundarios labran su cauce siguiendo estas direcciones preferenciales.

Como se observa en el Plano 1, los rasgos estructurales importantes a nivel regional son las fallas normales que afectan primordialmente a la Secuencia Ignimbrítica Terciaria. Este estilo afecta en menor proporción a la unidad metamórfica e intrusiva, observándose en algunos sitios contactos tectónicos entre sí; sin embargo, las rocas metamórficas muestran un estilo de deformación completamente diferente asociado a la deformación Pérmica. En las unidades terciarias se observan fallas de desplazamiento lateral izquierdo paralelas entre sí, con rumbo preferencial N 20 grados E localizadas al oriente y poniente de la zona de la boquilla. Esta situación afecta la continuidad de las unidades ignimbríticas y vulcanoclasticas desplazandolas lateralmente de 150 a 200 m.

Las discontinuidades mayores son continuas, con trazas cuyas longitudes varían entre 1 y 4 km sin seguir una dirección preferencial.

Aparte del fracturamiento que presentan las rocas en el área de la boquilla, se aprecian estructuras predominantes o paralelas; para la secuencia volcánica, la pseudoestratificación y la fábrica, la orientación de cristales, así como la estructura fluvial en las ignimbritas sigue la tendencia general de los estratos.

El levantamiento estructural de la zona de la boquilla se llevó a cabo tomando en consideración la descripción cuantitativa de las discontinuidades recomendadas por la ISRM.

Desde el punto de vista estructural, se identificaron e investigaron los rasgos y discontinuidades más sobresalientes. Fue necesario definir las características físicas de estas discontinuidades y determinar de que forma afectan al macizo rocoso. Se realizó un estudio de las tendencias centrales de las discontinuidades, para así, proponer un modelo físico que pudiera definir un modelo de la estructura del macizo rocoso.

Conocer la estructura del macizo rocoso y la naturaleza de las discontinuidades es de vital importancia, ya que ayuda a anticipar la problemática que pueda existir.

Durante el estudio se realizó una comparación entre discontinuidades en las boquillas y la orientación preferencial regional; se observó que existe continuidad.

Finalmente, en base al levantamiento y al análisis de gabinete se ha propuesto un modelo estructural que ha servido para plantear las bases de estudios de geotecnia en cuanto al comportamiento, estabilidad y tratamiento del macizo rocoso.

Para las rocas ígneas intrusivas del Terciario, su carácter volcánico y la deformación incipiente a la que estuvieron sujetos, hacen suponer que tal deformación ha sido diferente a la anterior.

Además de determinarse las orientaciones preferenciales de los sistemas de fracturas y fallas post-laramídicas en la zona, así como la relación que guardan con las estructuras en Baja California, las dorsales y fallas transformes del Golfo de California, se define regionalmente también la fase compresiva Laramide que tiene una dirección NE-SW y el evento relacionado a la apertura del Golfo de California en dirección NW-SE, lo cual dio lugar a que las fallas y fracturas de la región se hubieran reactivado (Figura 3.7).

4.3.1 ANALISIS ESTEREOGRAFICO-ESTADISTICO DE LAS DISCONTINUIDADES

Durante el levantamiento se procedió a la toma de los datos de las diferentes discontinuidades de acuerdo a las normas establecidas por la I.S.R.M. (1980).

Se identificó de qué tipo de discontinuidades se trataba y se determinó la orientación y una serie de características que ayudan a definir el comportamiento del macizo rocoso.

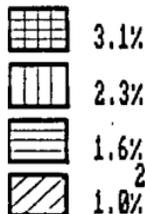
La orientación preferencial y el número de familias de las discontinuidades se definió por medio de un diagrama estereográfico. En este caso, se procesó la información a través de un programa computarizado que agilizó el trabajo. Durante este proceso, las discontinuidades se estudiaron por unidad litológica y por margen; seguido de la integración por margen para finalmente resumir la información total en un solo diagrama. (Figura 4.1).

Se definió básicamente que las rocas piroclásticas presentan un comportamiento singular característico, reflejando los esfuerzos a los que estuvieron sujetas a lo largo del transcurso del tiempo. Se manifiestan en esta secuencia 4 familias que se han denominado F, G y H como principales. La familia G corresponde a la pseudoestratificación, y J a una familia secundaria. (Figura 4.2).

BOQUILLA PICACHOS
RIO PRESIDIO

TOBAS AMBAS MARGENES
Discontinuidades
953 datos

Concentracion



Familias
F:040/47
G:217/44
H:123/90
J:267/81

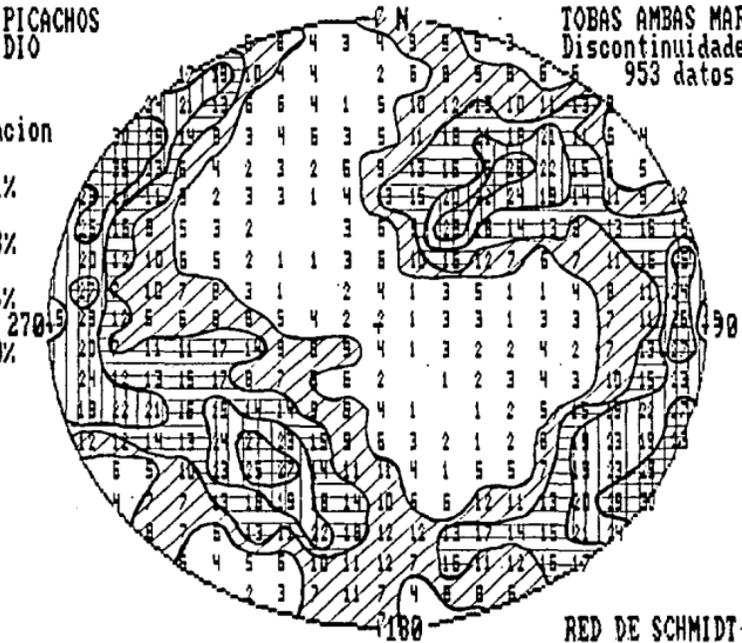
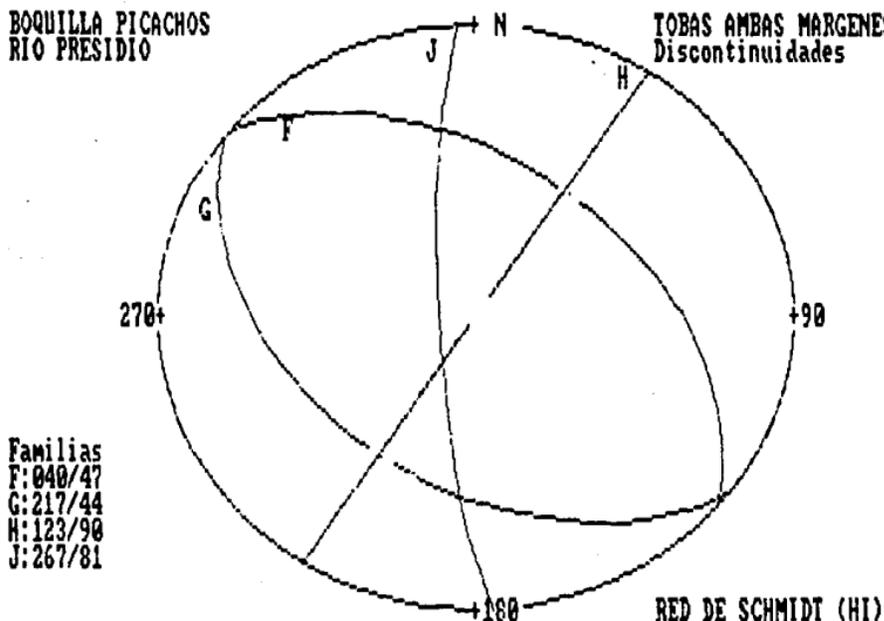


FIGURA 4.1 DIAGRAMA ESTEREOGRAFICO DE CONCENTRACION DE POLOS DE LOS PLANOS DE DISCONTINUIDADES (TOBAS) . RIO PRESIDIO

BOQUILLA PICACHOS
RIO PRESIDIO

TOBAS AMBAS MARGENES
Discontinuidades



Familias
F: 040/47
G: 217/44
H: 123/90
J: 267/81

FIGURA 4.2 DIAGRAMA ESTEREOGRAFICO DE ORIENTACION PREFERENCIAL DE FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES EN LAS TOMS.

El sistema "F" es el mas desarrollado, tiene una dirección preferencial de 040/47 grados y se encuentra reflejado regionalmente (Plano 2). Se encuentra mejor desarrollado en la margen izquierda y corresponde a un sistema de tipo tensional; es normal al esfuerzo principal Sigma 1.

El sistema "G" que corresponde a la pseudoestratificación se encuentra también bastante desarrollado, presenta una dirección de 217/44 grados.

La familia "H" se considera como principal, la cual, tiene una orientación de 123/90 grados asociada a un sistema tensional paralelo al esfuerzo principal Sigma 1.

La familia "J" no es muy significativa, tiene una orientación de 267/81 grados y corresponde a un sistema posiblemente desarrollado por cizalla.

Durante la investigación, además de obtener la orientación de las diferentes discontinuidades fue muy importante definir las características y naturaleza de ellas. Para ello, se midieron y calcularon las siguientes características:

- 1.- Espaciamiento de las familias de discontinuidad.
- 2.- Continuidad.
- 3.- Rugosidad de las paredes de las discontinuidades.
- 4.- Resistencia a la compresión simple del macizo rocoso (este valor fue estimado).
- 5.- Abertura de las paredes de las discontinuidades.
- 6.- Material de relleno.
- 7.- Resistencia a la compresión simple del relleno (este valor fue estimado).
- 8.- Grado de intemperismo del macizo rocoso.
- 9.- Filtración en las discontinuidades con material de relleno.
- 10.- Forma de bloques del macizo rocoso.
- 11.- Tamaño de bloques.

4.3.2 DESCRIPCION DE DISCONTINUIDADES EN EL AREA DE LA BOQUILLA

En el plano integrado de las Boquillas de Picochos escala 1:2000 (Plano 2) se ubican dos fallas de desplazamiento lateral izquierdo (F1 y F2) al oriente del Eje 3, cuyas trazas tienen direcciones que varían de N 10 grados E a N 40 grados E. La primera falla (F1) tiene una longitud observada de 600 m y se encuentra dentro de la secuencia metamórfica paleozoica, pero se infiere que se continúa hacia el Sur afectando al intrusivo mesozoico.

La segunda estructura (F2) se desarrolla a lo largo de 700 m con desplazamiento aproximado de 150 m cortando a la secuencia ignimbrítica, vulcanoclástica y metamórfica.

A 150 m aguas abajo del eje 3 margen izquierda, se observa una repetición de contacto entre la pizarra y la secuencia vulcanoclástica inferior, por lo tanto se infiere una falla de tipo normal (F3) en este sitio. Esta estructura tiene una dirección de N 30 grados E donde el bloque caído se sitúa al oriente de ésta.

La estructura anterior, en el extremo sur se encuentra truncada por otra falla normal (F4) de rumbo N35 grados W. Tiene una longitud de 350 m, cuyo bloque occidental es deslizado y pone en contacto a la secuencia vulcanoclástica inferior con la secuencia ignimbrítica basal.

Al sur del eje 4 margen izquierda, se localiza una falla normal de rumbo N 18 grados W, cuyo plano de deslizamiento es de pared ondulosa rugosa con buzamiento al SW e intensidad de 63 grados. Aflora a lo largo de 70 m y afecta a la unidad ignimbrítica (Tia-).

En el recorrido realizado al norte del eje 4 margen derecha, se observaron dos fallas importantes en la toba lítica arenosa (Tia-2). La primera de ellas (F1) tiene una orientación N-S con un plano de falla casi vertical y pared ondulada rugosa. La segunda tiene un rumbo N 15 grados y es continua a lo largo de 60 m; la pared de la falla es plana rugosa e inclinada al NW formando un ángulo de 70 grados.

Es notoria la presencia de fracturas de menor extensión que siguen un cierto paralelismo con las discontinuidades mayores antes mencionadas, originando de esta manera bloques de forma tabular.

La estratificación de la secuencia volcánica se presenta con un echado al SW con inclinaciones de 40 a 60 grados, en tanto que la foliación de las pizarras se inclinan al SE preferentemente.

Una vez definida la orientación preferencial de las familias de las discontinuidades se construyeron una serie de histogramas, con el objeto de definir las características centrales de estas estructuras.

TABLA 4.2 RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS DISCONTINUIDADES

T O D A S

FAMILIA	LITOLÓGICA	ESPACIAMIENTO (cm ca)			CONTINUIDAD (cm ca)			RUGOSIDAD			RESISTENCIA			APERTURA			PRESENCIA DE ADA			B L O C U E S R E L L E N O				
		MD	MI	MA	MD	MI	MA	MD	MI	MA	MD	MI	MA	MD	MI	MA	MD	MI	MA	MD	MI	MA		
F	TGS	20-60	6-20	20-60	C	C	C	IV	I	IV	R4	R2-R4	R4	A1	A1	A1	Sep	Sep	Sep	3-10	10-20	3-10	APC	APC
											B	B	B							0-5	0-5	0-5		
E	TGS	20-60	6-20	20-60	C	C	C	IV	VIII	IV	R4	R4	R4	A1	A1	A1	Sep	Sep	Sep	3-10	20	10-20		
											B	B	B							0-5	0-5	0-5		
H	TGS	20-60	6-20	20-60	C	C	C	IV	VII	IV	R4	R2	R4	A1	A1	A1	Sep	Sep	Sep	3-10	30	3-10	CALC	CALC
											B	B	B							0-5	0-5	0-5		
J	TGS	20-60	6-20	20-60	C	C	C	IV	IV	IV	R4	R4	R4	A1	A2	A1	Sep	Sep	Sep	3-10	10-20	3-10	CALC	CALC
											B	B	B							0-5	0-5	0-5		

MD: MAGN. DEBIDA; MI: MAGN. IZQUIERDA; MA: MAGN. DERECHA; C: CONTINUA; NC: NO CONTINUA; RI: MEDIANAMENTE DUSA; R4: DUSA
 AI: C.5cm; A2: 0.5-10cm; Sep: DISCONTINUIDAD SECA Y CERRADA; Ta: TALLAR; APC: ARCILLA; CALC: CALCITA

Con ayuda de estas graficas se han podido establecer las modas o características más sobresalientes (Tabla 4.2).

Esta información es de extrema ayuda al tratarse individualmente, pues define el comportamiento de cada familia por unidad litológica y margen, proporcionando una idea de como afecta al macizo rocoso.

En el caso de que las características fuesen igual por unidad litológica y margen, era posible establecer un comportamiento constante; sin embargo, en el caso contrario, donde la información de una a otra margen variara, fue necesario tomarse en consideración para la evaluación del macizo rocoso y anticipar un tratamiento específico.

Es notoria la presencia de fracturas de menor extensión que siguen un cierto paralelismo con las discontinuidades mayores, antes mencionadas, originando de esta manera bloques de forma tabular.

La estratificación de la secuencia volcánica se presenta con un echado al SW con inclinaciones de 40 a 60 grados en tanto que la foliación de las pizarras se inclinan al SE preferentemente.

Una vez definida la orientación preferencial de las familias de las discontinuidades se construyeron una serie de histogramas, con el objeto de definir las características centrales de estas estructuras.

Con ayuda de estas graficas se han podido establecer las modas o características más sobresalientes (Tabla 4.2).

Esta información es de extrema ayuda al tratarse individualmente, pues define el comportamiento de cada familia por unidad litológica, margen y proporciona una idea de como afecta al macizo rocoso.

En el caso de que las características fuesen igual por unidad litológica y margen, era posible establecer un comportamiento constante; sin embargo, en el caso contrario, donde la información de una a otra margen variara fue necesario tomarse en consideración, para la evaluación del macizo rocoso y anticipar un tratamiento específico.

4.4 GEOFISICA

Este sistema tiene como finalidad mostrar de manera general los métodos geofísicos empleados. Con esta metodología se ha definido la distribución espacial de algunas propiedades físicas de los materiales que se localizan en superficie y subsuelo de la alternativa cuatro. Estas propiedades ayudan a estimar parámetros geomecánicos, útiles para determinar la calidad del macizo rocoso. Esta información fue obtenida del informe "ESTUDIO GEOLOGICO-GEOFISICO EN EL SUBSISTEMA FRESIDIO-CULIACAN SINALOA" GEOPROYECTOS, S.A. de C.V., 1988".

Para la investigación geofísica se utilizaron los métodos de sísmico y eléctrico. En el sísmico se utilizó la técnica de método de refracción; mientras que en el eléctrico la modalidad de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).

4.4.1 GEOSISMICA

La aplicación de las técnicas de sismología de refracción tiene como finalidad definir el comportamiento elástico del macizo rocoso a lo largo del eje de la boquilla y poder realizar una zonificación geotécnica de los diferentes tipos y calidades de roca.

Basicamente este método consiste en la medición (en puntos conocidos a lo largo de la superficie del terreno) de los tiempos de tránsito de las ondas longitudinales o compresionales (ondas P) generadas mediante alguna fuente de energía.

Durante los trabajos de exploración se realizaron en general un total de cinco disparos con explosivo: dos cortos, dos largos y uno central. Los disparos cortos se realizaron a 5 m de distancia con respecto al geofono (detector) más cercano; mientras que, los disparos largos, se ubicaron a 25 m del geofono más cercano. Por otro lado, el disparo central se ubicó en la parte media del arreglo de detectores.

En la realización de los tendidos sísmicos para la obtención de los módulos elásticos dinámicos "in situ", se hicieron las mismas consideraciones que para los tendidos sísmicos de refracción solo que en este caso varía la fuente de energía utilizada. Es decir, para módulos elásticos dinámicos "in situ" es necesario generar ondas P (longitudinales) y ondas S (transversales), con las que se pueda conocer con más detalle el comportamiento elástico del macizo rocoso a estudiar.

Los tendidos sísmicos para módulos elásticos dinámicos "in situ" tuvieron una longitud de 22 m y se generó la energía con martillo y una barra de acero.

El equipo de sismología empleado para este estudio, consistió en un sismógrafo portátil marca "Geometrics", tipo "señal. razonada", de 12 canales, modelo ES-1210F.

La forma en que se realizaron los estudios de geosísmica de refracción consistió en:

Realizar una línea en la boquilla sobre el eje de la futura cortina constituida por varios tendidos, y seis líneas perpendiculares a este: dos en cada margen, dos sobre el cauce. También se realizaron dos líneas paralelas al eje, una aguas arriba y otra aguas abajo. Estas consideraciones fueron propuestas por el personal técnico de la SAAH.

Sin embargo, no fue posible realizar el levantamiento en la forma en que se propuso, debido a las características del terreno.

El volumen total de trabajos realizados con el método de sismica de refracción se presenta en la Tabla 4.3.

TABLA 4.3
TOTAL DE ESTUDIOS GEOSISMICOS

ALTERNATIVA	LÍNEA	TENDIDOS	LONGITUD (m)
	1	3	579
	2	1	215
	3	1	44
	4	1	215
4	5	1	215
	6	1	215
	7	1	215
TOTAL	7	9	1659

Por otra parte, se realizaron estudios para obtener los módulos elásticos dinámicos "in situ" de los materiales del subsuelo en la alternativa cuatro del Proyecto Fichos.

La ubicación de los tendidos para obtener dichos módulos estuvo sujeta a la consideración de localizar el sitio en donde la roca estuviera menos cubierta y/o fuera más representativa del macizo rocoso. A continuación se muestra la línea geosísmica realizada.

ALTERNATIVA	LÍNEA	UBICACION	TOTAL DE LÍNEAS
4	1	L1 TENDIDO	1

Una vez obtenida la información de campo (sismogramas) se llevó a cabo la construcción de las gráficas de tiempo - distancia a fin de obtener los espesores y velocidades de las diferentes capas interpretadas.

Dentro de las técnicas empleadas para el procesamiento e interpretación de datos sísmicos, se pueden mencionar básicamente dos: "tiempo de intercepción" y "distancia crítica" (Fednath B. 1973). Con ambas técnicas es posible obtener modelos sísmicos de 2, 3 o más capas ya sean planas o inclinadas.

Para el presente proyecto se realizó una interpretación gráfica preliminar y se empleó un programa de computadora basado en el concepto de tiempo de intercepción para modelos de dos y tres capas.

Por lo que respecta al procesado de la información de módulos elásticos dinámicos "in situ" se obtuvo la velocidad de transmisión para la onda P y la onda S; posteriormente, con ambas velocidades y conocida la densidad de la roca, se determinó cada uno de los parámetros elásticos: Relación de Poisson (μ), Módulo de Young (E), y Módulo de Corte (G).

Al realizar el procesado de la integración e interpretar los resultados se pudieron definir básicamente tres unidades geosísmicas. Estas unidades se presentan en la Tabla 4.4. En esta tabla, se indica si la unidad se ha subdividido, el espesor, la velocidad que presenta y el tipo de material al que se asocia.

TABLA 4.4
UNIDADES GEOSISMICAS

UNIDAD	SUBUNIDAD	ESPESOR (m)	VELOCIDAD (m/s)	TIPO DE MATERIAL
1		1.00- 6.00	200- 600	Suelos y roca muy fracturada, alterada y decomprimida.
2	a	1.00- 7.00	250-1200	Acarreos y terrazas poco consolidados.
	b	4.50-25.00	1100-2850	Acarreos muy consolidados e igníbrita.
3	a	7.00-21.00	2100-2650	Roca fracturada.
	b	Indefinida	2800-4950	Igníbrita poco fracturada y sana

A continuación, se presenta la Tabla 4.5 con las características de las unidades geosísmicas individuales de la alternativa cuatro.

TABLA 4.5
UNIDADES GEOSISMICAS ALTERNATIVA 4

UNIDAD	SUBUNIDAD	ESPESOR (m)	VELOCIDAD (m/s)	TIPO DE MATERIAL
1		1.00- 9.00	650-1200	Suelos y roca muy fracturada, alterada y decomprimida.
2	a	1.00- 4.50	250- 500	Acarreos y terrazas poco consolidados.
	b	4.50-25.00	1800-2650	Acarreos muy consolidados
3	c	7.00-21.00	2100-2650	Ignimbrita fracturada
	b	Indefinido	2800-4050	Ignimbrita poco fracturada

4.4.2 GEOELECTRICA

El presente apartado tiene como objetivo describir la aplicación del método eléctrico de resistividad a fin de definir las propiedades eléctricas del subsuelo a lo largo de las líneas de exploración, y ayudar a definir las características del fracturamiento, homogeneidad, permeabilidad, entre otras propiedades del macizo rocoso.

Los sondas eléctricas consisten en obtener medidas de resistividad sobre la superficie del terreno empleando un dispositivo lineal simétrico tipo Schlumberger.

El equipo utilizado en la obtención de los datos de campo, lo constituyó un equipo de recepción o resistivímetro modelo RESU-688, un motor generador de corriente acoplado a un transmisor modelo TRSU-2.5KW, cuatro carretes con sus respectivos cables y cuatro electrodos metálicos de cobre.

Siguiendo las instrucciones del personal técnico de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, se programó la distribución de los sondeos eléctricos de forma tal que se realizaran 6 SEV en cada una de las márgenes y 6 SEV en el cauce del río, para la alternativa cuatro. Sin embargo, dadas las características del eje en dicha alternativa, no se siguieron estos lineamientos.

En la tabla 4.6 se presentan los SEV por línea.

TABLA 4.6 DISTRIBUCION DE SEV

ALTERNATIVA	NUMERO DE LINEA	NUMERO DE SEV	TOTAL DE SEV
4	L1 (EJE)	----- 7	19
	L2	----- 3	
	L3	----- 3	
	L4	----- 3	
	L5	----- 3	

La interpretación de la información de campo se inicia con la construcción de las curvas de resistividad aparente, siendo las ordenadas los valores de resistividad aparente y las abscisas las aberturas semielectrodicas AB/2. Estas curvas son graficadas en papel con escalas logarítmicas con tres ciclos por lado y módulo de 62.5 mm.

Como se sabe, dentro de los métodos geoelectrónicos el problema inverso o proceso de interpretación para medios estratificados, se refiere a la determinación de los parámetros del corte geoelectrónico (espesores y valores de resistividad), a partir de las curvas de resistividad aparente.

A partir del modelo geoelectrónico final de cada uno de los sondeos se forman perfiles donde se correlacionan los valores de resistividad, para lo cual se consideraron los valores absolutos y la posición relativa que guarden entre ellos.

Los perfiles construidos se pueden apreciar en el plano de integración geológica-geofísica (Plano 4).

En los perfiles electroestratigráficos formados, se marcaron una serie de unidades geoelectrónicas que corresponden con diferentes unidades litológicas o bien con variaciones físico-químicas de una misma unidad litológica.

Se diferenciaron tres unidades geoelectricas, de las cuales la II y III se encuentran subdivididas. La Tabla 4.7 presenta las características de cada una de las unidades encontradas en la alternativa cuatro, mostrando el intervalo de resistividades y el intervalo de espesores que tienen, así como el tipo de material al cual se asocia.

TABLA 4.7

RESUMEN DE UNIDADES GEOELECTRICAS ENCONTRADAS EN LA ALTERNATIVA CUATRO

UNIDAD	SUBUNIDAD	ESPESOR (a)	RESISTIVIDAD (ohm-a)	TIPO DE MATERIAL
I		2 - 4	30 - 400	SUELOS Y/O ROCA MUY FRACTURADA Y ALTERADA
II	IIa	3 - 7	40 - 1240	ROCA MUY FRACTURADA Y ALTERADA
	IIb	2 - 27	5 - 5730	TEFAZAS Y ACARREDS
III	IIIa	18 - 42	60 - 190	IGNIMBRITA POCO FRACTURADA
	IIIb	11 A MAS DE 40	30 - 80	IGNIMBRITA DEVITRIFICADA
	IIIc	INDEFINIDO	130 - 630	IGNIMBRITA POCO FRACU-

Con los parámetros elásticos-eléctricos obtenidos a través de los métodos sísmico y eléctrico respectivamente, se realizó un análisis integral de la información para ayudar a definir las características geomecánicas del macizo rocoso donde se pretende desplantar la cortina.

Los resultados del análisis integral se presentan en la Tabla 4.8, mencionando: las unidades definidas, los intervalos de velocidad y resistividades, el espesor y algunas características de material correspondiente.

TABLÁ 4.8
ALTERNATIVA 4

UNIDAD	RESISTIVIDAD (ohm-m)	VELOCIDAD (m/s)	ESPESOR (m)	CARACTERÍSTICAS DE MATERIAL
A	5 - 5730	250 - 2650	1 - 25	SUELOS ROCA MUY FRACTURADA Y ALTERADA, ACAPADOS Y TERRAZAS (ZONA DE LIMPÍA)
C3	60 - 190	2100 - 2650	7 - 21	IGNIMBRITA FRACTURADA
C4	60 - 190	2600 - 4050	9 - 17	IGNIMBRITA FOCO FRACTURADA
C5	30 - 80	2800 - 4050	13 - 45	IGNIMBRITA DEVITRIFICADA FOCO FRACTURADA
C6	120 - 630	—	INDEFINIDO	IGNIMBRITA FOCO FRACTURADA

4.5 ANALISIS GEOTECNICO DE LA ZONA DE LA BOQUILLA

4.5.1 PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LAS ROCAS

Como parte inicial del estudio geotécnico, fueron programadas una serie de pruebas de laboratorio en muestras de roca representativas del macizo rocoso con el objetivo de definir las propiedades físicas y mecánicas necesarias para caracterizar al mismo.

Las pruebas realizadas consistieron en determinar: el peso volumétrico (seco y saturado), índice de carga puntual, resistencia a la compresión simple, módulo de elasticidad estático, medición de velocidades sísmicas de onda longitudinal (V_p) y transversal (V_s), módulo de elasticidad dinámico, relación de Poisson, y módulo de corte. Para conocer los módulos dinámicos "in situ", se realizaron pruebas de campo en ciertas unidades geotécnicas.

Los valores de las propiedades estudiadas se presentan en las Tablas 4.9 y 4.10 (información obtenida de GEOPROYECTOS S.A., 1989), donde se condensa la información que se utilizara posteriormente en la clasificación geomecánica del macizo rocoso.

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

TABLA 4.9 PROPIEDADES ELASTICAS DE LABORATORIO

SUBUNIDAD LITOLÓGICA	Pd (gr/cm ³)	Pu (gr/cm ³)	Is (kg/cm ²)	Rc (kg/cm ²)	E (SO) (ton/cm ²)	Vp (m/s)	Vu (m/s)	Edin (ton/cm ²)	u	δ (ton/cm ²)
TORCA VITREA RIOLITICA (Tca-0)	2.97	2.25	68.5	----	----	6739	4133	864.10	0.168	360.47
ARDESITA (Tca-C)	2.85	2.66	51.	----	----	6200	3576	864.	0.250	345.42
TORCA VITREA RIOLITICA (Tca-1)	2.26 2.21-0.32	2.28 2.34-2.42	----	417.5 43-429	429.5 413-436	6396.5 6272-6521	3630 3450-3750	756.84 719.22-793.87	0.267 0.222-0.283	298.33 260.27-316.11
TORCA LITICA ARENOSA (Tca-2)	2.21 2.05-2.35	2.24 2.28-2.42	194 39-79	----	----	4421.5 3503-5349	2531.5 1970-2173	778.71 220.07-577.40	0.293 0.217-0.250	151.16 85.81-217.12
TORCA VITREA RIOLITICA (Tca-3)	2.22 2.29-0.39	2.41 2.37-2.42	79 50-106	----	----	4837.5 4284-5291	2812.5 2473-3152	469.06 277.45-521.77	0.245 0.224-0.266	188.52 148.99-228.88
TORCA LITICA RIOLITICA (Tca-4)	2.05	2.24	45	----	----	2901	1458	119.55	0.327	45.03

Pd: Peso volumétrico seco
 Pu: Peso volumétrico saturado
 Is: Índice de carga puntual
 Rc: Resistencia a la compresión simple
 E (SO): Módulo de elasticidad estático
 Vp: Velocidad de la onda longitudinal
 Vu: Velocidad de la onda transversal
 Edin: Módulo de Young dinámico
 u: Coeficiente de Poisson
 δ: Módulo de elasticidad

TABLA 4.10 PROPIEDADES ELASTICAS A PARTIR DE ESTUDIOS GEOSISMICOS DE CAMPO

ALTERNATIVA	MUESTRA	UNIDAD LITOLÓGICA	Vp (m/s)	Vs (m/s)	u	E (ton/cm ²)	G (ton/cm ²)
4	A4MD	IGNIMBRITAS (Tia)	1778	1021	0.254	55.43	22.10

DONDE:

Vp: Velocidad de onda longitudinal
 Vs: Velocidad de onda transversal
 u: Relación de Poisson
 Edin: Modulo de Young dinámico
 G: Modulo de corte

- PESO VOLUMETRICO (Pd, Pw)

El peso volumétrico de una roca es el cociente del peso de la muestra entre el volumen que ésta ocupa. Esta propiedad es básica para el cálculo de cargas verticales y en base a diferentes condiciones geológicas y empiricas es posible establecer los esfuerzos horizontales junto con otras propiedades deformacionales.

A las muestras obtenidas se les calculó el peso volumétrico seco (Pd) y saturado (Pw) (Tabla 4.9).

Para la unidad de toba vitrea riolitica (Tiv), se obtuvieron pesos volumétricos seco y saturado bajos, con valores de 2.07 y 2.26 gr/cm³ respectivamente; en este caso existe una diferencia que indica cierta porosidad.

En la Unidad Ignimbrítica Superior (Tia) se determinaron pesos volumétricos secos bajos, con valor promedio de 2.21 gr/cm³ y una diferencia de 0.21 gr/cm³ entre sus valores máximo y mínimo; los pesos volumétricos saturados también se consideran de bajos a moderados, con valor promedio de 2.34 gr/cm³ y una diferencia de 0.17 gr/cm³ entre sus valores máximo y mínimo.

La diferencia entre los promedios de los pesos seco y saturado en las rocas volcánicas indican que son porosas, especialmente las tobas (Tia-0), lo cual es lógico, debido a su origen vulcanoclástico y su edad joven donde posiblemente no han soportado una carga litostática considerable.

- INDICE DE CARGA PUNTUAL (Is)

Esta prueba consiste en aplicar a especímenes de roca una carga axial puntual sin confinamiento; la sección debe ser aproximadamente circular, es decir, debe cumplir la condición de que la relación D/L esté en el intervalo 1.0 a 1.4, donde D es el diámetro de la muestra y L la longitud.

Este tipo de prueba es muy importante, ya que sus resultados son correlacionables con la resistencia a la compresión simple (Tabla 4.9).

Para la Unidad Ignimbérica Superior (Tia) se obtuvieron índices de carga puntual de moderados en las subunidades intermedias (Tia-2, Tia-3), a bajos en la subunidad superior (Tia-4).

En cuanto a la unidad Tia-0, el índice de carga puntual se considera moderado con valor de 68.5; se ha interpolado el índice de carga puntual de estas dos unidades (Tia y Tia-0) y los valores obtenidos indican una resistencia a la compresión simple moderada (Tabla 4.9).

Al comparar los valores correspondientes entre las pruebas de carga puntual y la resistencia a la compresión se determinó que existía correlación en los valores obtenidos (Tabla 4.9).

- RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (Rc)

La resistencia a la compresión simple es una propiedad que ayuda a conocer la resistencia de la roca intacta al verse sometida a esfuerzos compresionales, además de ser un elemento importante que ayuda a la caracterización del macizo rocoso. Este tipo de prueba se realizó en especímenes cilíndricos con una relación de esbeltez de dos. Esta prueba se ejecuta aplicando cargas axiales sin confinamiento a cada una de las muestras. Los valores obtenidos se agrupan en la Tabla 4.9.

Las pruebas de resistencia a la compresión simple se realizaron solo en núcleos de perforaciones. Los valores obtenidos en la subunidad basal (Tia-1) se consideran moderados con un valor promedio de 417.5 kg/cm² y una diferencia de 23 kg/cm² entre sus valores máximos y mínimos.

- MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO (E 50)

Para tener mayores elementos de juicio para el diseño de la presa, será necesario e indispensable conocer los módulos elásticos de la roca intacta y del macizo rocoso. Para ello, se han realizado estudios de laboratorio e "in situ", para de esta manera establecer factores de reducción que los relacionen.

El módulo de elasticidad estático se obtuvo en laboratorio, se define como la pendiente de una curva esfuerzo-deformación al 50% del esfuerzo final soportado; para fines prácticos se obtuvo creando un entorno pequeño al punto de la curva que corresponde a la mitad del esfuerzo resistido; por lo tanto, se dividió el incremento del esfuerzo, entre el incremento de la deformación unitaria.

Esta prueba tiene como objetivo conocer la resistencia máxima que pueden soportar los materiales, así como el comportamiento del material conforme se aplica la carga. Los valores obtenidos se agrupan en la Tabla 4.9.

En las tobas (Tia), también de núcleos de roca se obtuvieron módulos de elasticidad estáticos moderados, con valor promedio de 439.5 ton/cm² y una diferencia de 53 ton/cm² entre sus máximos y mínimos.

- MODULOS ELASTICOS-DINAMICOS

Los módulos dinámicos son importantes para estimar la deformabilidad de los materiales al someterlo a un esfuerzo, sea éste compresional o tensional. Los módulos fueron obtenidos a través de pruebas de campo por medio de geosísmica, y en laboratorio por medio de un equipo sísmico; con este tipo de pruebas, se obtienen velocidades de ondas longitudinales (V_p) y transversales (V_s), con las cuales es posible determinar: Módulo de Young dinámico (Edin), Relación de Poisson (μ) y Módulo de Corte (G).

En la unidad Tia-0 los módulos de elasticidad dinámicos de laboratorio registraron velocidades de onda compresional y transversal altas, con valor de 6739 y 4133 m/s respectivamente; se obtuvo un Módulo de Young alto con valor de 864 ton/cm², una Relación de Poisson de 0.198 y un Módulo de Corte de 360.43 ton/cm².

En relación a los módulos de elasticidad dinámicos de campo se obtuvieron velocidades de onda compresional y transversal moderadas con valor de 2904 y 1424 m/s; una Relación de Poisson de 0.341 y Módulos de Young y de Corte con valor de 114.81 y 42.78 ton/cm², respectivamente.

A partir de las propiedades obtenidas de laboratorio se deduce que esta unidad presenta una calidad geomecánica buena, sin embargo, con los resultados de campo se le considera de calidad geomecánica regular.

Respecto a los parámetros elasto-dinámicos de laboratorio, se obtuvieron velocidades de onda compresional de medias a altas con valor promedio de 4637 m/s y una diferencia entre sus valores máximo y mínimo de 3495 m/s; las velocidades de onda transversal registradas se consideran medias con un promedio de 2603 m/s y una diferencia de 2132 m/s entre sus valores máximo y mínimo.

Cabe destacar que los valores más bajos de velocidad de estos tipos de onda, se registraron en la subunidad superior (T1a-4); se obtuvieron Módulos de Young con promedio de 431 ton/cm² y una diferencia de 636 ton/cm²; la Relación de Poisson de 0.283 con una diferencia entre sus valores mínimo y máximo de 0.06; el módulo de corte con promedio de 171 ton/cm² y una diferencia de 253 ton/cm².

En cuanto a los módulos de elasticidad dinámicos obtenidos en campo, se obtuvieron velocidades de onda compresional y transversal medias, con valor de 1778 y 1021 m/s respectivamente; y se obtuvo un módulo de corte bajo, de 22.10 ton/cm².

Las rocas de la secuencia ignimbrítica de ambas márgenes de la Alternativa 4 son de calidad regular como roca intacta, sin embargo, sus parámetros de campo resultan ser poco contrastantes respecto con los de laboratorio, lo que se traduce en reducidos espesores de limpia y menor fracturamiento, lo que implica una zona de impermeabilización del macizo rocoso.

Tomando en consideración estas propiedades, se deduce que la secuencia ignimbrítica presenta una calidad geomecánica buena.

4.5.2 CLASIFICACION INGENIERIL DE LA ROCA INTACTA

Para el presente trabajo, los resultados de las diferentes clasificaciones del macizo rocoso que a continuación se presentan a manera de tablas, fueron tomados de Ibarra Olivares (1989).

La clasificación ingenieril utilizada, fue propuesta por Deere y Miller (1966).

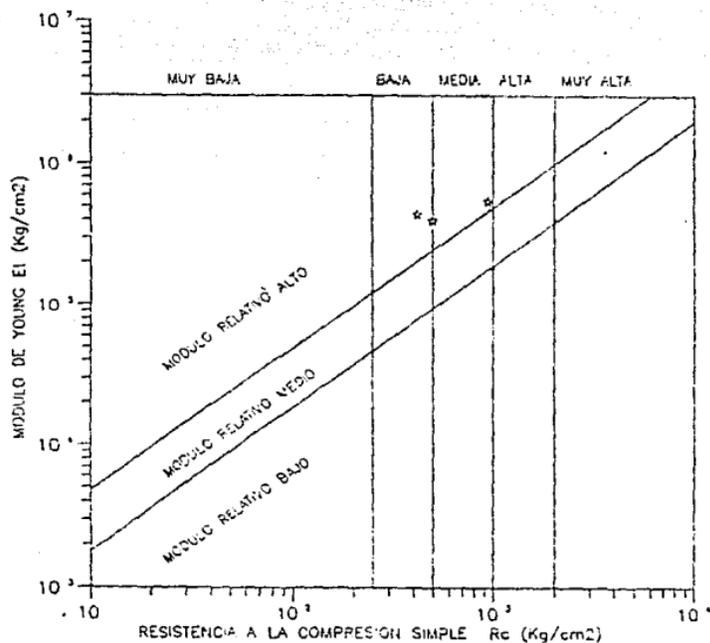
Por roca intacta se entiende aquella que no cuenta con estructuras a gran escala como son: estratificación, fallas, fracturas, etc.

Las propiedades que utiliza esta clasificación son: resistencia a la compresión simple y el módulo de elasticidad.

Los resultados se representan en una gráfica bilogarítmica (Figura 4.3). Las categorías de resistencia se indican en la parte superior de la gráfica y el módulo relativo se deduce de la posición respecto a las líneas diagonales. Como se aprecia en dicha figura los valores fueron en su mayoría altos.

En la Tabla 4.11 se aprecia que los valores de resistencia resultan de medios a bajos para las tobas; sin embargo la mayoría de los valores de resistencia son a partir de las pruebas de carga puntual y solo dos provienen de pruebas de resistencia a la compresión simple, por lo cual la resistencia puede ser mayor.

FIGURA 4.3 CLASIFICACION INGENIERIL DE LA ROCA INTACTA



* EJE 4 (Tobos)

TABLA 4.11 CLASIFICACION INGENIERIL DE LA ROCA
(Según Deere y Miller, 1966)

ALTERNATIVA	LITOLOGIA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	DESCRIPCION	E (Kg/cm ²)	MODULO RELATIVO
M. I.	TGBA			418,830	ALTO
EJE A M. D.	TGBA			331,860	ALTO
C	TGBA	417.5	BAJA-MEDIA	756,545	ALTO

Nota: M. I. = Margen Izquierda, M. D. = Margen Derecha, C = Cauce

4.5.3 CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO

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

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

- EVALUACION DEL RQD

El RQD o índice de calidad de la roca propuesto por Deere (1963), es un parámetro muy importante dada la información sobre fracturamiento que proporciona.

Cuando no fue posible contar con núcleos de perforación en los sitios de estudio, este valor se obtuvo en forma indirecta mediante la expresión propuesta por Palmstron (1975) (in ISRM, 1980), a partir del índice volumétrico de fracturas (Jv) por medio de la expresión:

$$RQD = 115 - 3.3 Jv$$

La Tabla 4.12 agrupa los resultados obtenidos en la alternativa 4 en ambos márgenes. En este sitio el "Jv" es aceptable, ya que una perforación sobre el cauce revela un RQD promedio debajo de los acarreos de un 72%.

TABLA 4.12
ESTIMACION DE RQD

ALTERNATIVA	LITOLOSTA	Jv	RQD (CALCULADO) %	CALIDAD (CALCULADO)	RQD	CALIDAD
MARGEN DER.	IGNIMBRITAS	7 10	72 82	BUENA		
MARGEN IZQ.	IGNIMBRITAS	10 30	82 16	BUENA A MUY MALA	72 (CAUCE)	REGULAR

- DESCRIPCION GEOTECNICA BASICA (BGD)

La descripción geotécnica básica (BGD) propuesta por la comisión para la clasificación de rocas y macizos rocosos de la ISRM (1980) define 5 parámetros fundamentales para la descripción o zonificación de un macizo rocoso en base a su comportamiento.

Estas características son las siguientes:

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

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

La Tabla 4.13 presenta las características geotécnicas de ambos márgenes de acuerdo a la clasificación BGD, notándose mejor calidad en la margen derecha.

TABLA 4.13

ZONIFICACION SEGUN LA DESCRIPCION
GEOTECNICA BASICA (BGD)

UNIDAD LITOLÓGICA	LITOLÓGIA	ESPESOR DE CAPAS	INTERSECCION DE FRACTURAS	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	ANGULO DE FRICCION	SIMBOLOGIA
ALTERNATIVA 4						
TDA (M)	IGNIMBRITA	MUY GRUESA L1	MODERADO F3	MODERADO S3	ALTO A2	L1 F3 S3 A2
TDA (M)	IGNIMBRITA	MODERADA L2,3	MODERADO-SEPARADO F2,3	ALTA S1,2	ALTO A2	L3,3 F2,3 S1,2 A2

4.5.4 CLASIFICACION NGI

Barton, Lien y Lunde (1974), propusieron la clasificacion ingenieril de "Norwegian Geotechnical Institute" para el diseño de soportes de túneles.

El parámetro "Q" representativo de la calidad del macizo rocoso con relación a la estabilidad de túneles se define:

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

DONDE:

RQD = Índice de calidad de roca

J_n = Número de familias de discontinuidades

J_r = Valor de rugosidad de las discontinuidades

J_a = Valor de la alteracion de las discontinuidades

J_w = Factor de relacion de agua en discontinuidades

SRF = Factor de relacion de esfuerzo

La Tabla 4.14 agrupa los valores de "Q" obtenidos con base en la expresion anterior. En la Alternativa 4, se analizo la calidad del macizo rocoso considerando una obra subterranea con un claro de 10 m.

TABLA 4.14
CLASIFICACION GEOMECANICA EN BASE A BARTON (NGI)

ALTERNATIVA	LITOLOGIA	R Q D	J _n	J _r	J _a	J _s	SPF	Q	CALIDAD
4									
MARSEN DER.	IGNIMBRITA	82	6	1.5	1.5	1	1	13.67	BUENA
MARSEN IZQ.	IGNIMBRITA	82	6	1	1.5	1	1	9.11	REGULAR

De la zonificación que se obtuvo en la Figura 4.4 y que se agrupa en la Tabla 4.15, se desprenden que en estado alterado requiere de la situación o clasificación 17 para margen izquierda y 13 para margen derecha (según Barton 1974) cuyas recomendaciones se indican en dicha tabla, en la cual se distinguen características similares para ambas márgenes.

DIAMETRO EQUIVALENTE = CLARO, DIAMETRO O ALTURA (M)

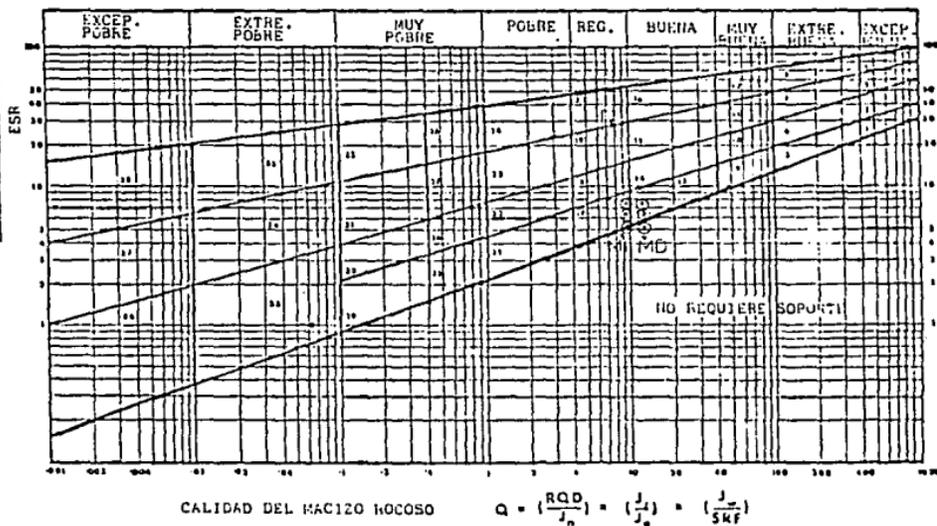


FIGURA 4.4 Categorías de soporte en función del parámetro Q (BARTON, 1974)

TABLA 4.15

ANALISIS DE LA DIMENSION EQUIVALENTE Y
CATEGORIA DE SOPORTE

$$\text{Dimension equivalente (De)} = \frac{\text{claro, diametro o altura}}{\text{ESR}}$$

Cociente soporte de excavacion (ESR) = 1.6

Diametro del tunel = 8, 10, 12 m

De (8) = 5
De (10) = 6.25
De (12) = 7.5

EJE	UNIDAD	CATEGORIA Q	TIPO DE SOPORTE
4	Tobas M. I.	9.11	Situación 17
	M. D.	13.67	Situación 13

Situación 17: Tipo de soporte B (utg) 1-1.5 m. Anclaje sistemático sin tensión, con inyección espaciada 1 a 1.5 m.

Situación 13: Tipo de soporte B (utg) 1.5-2 m. Anclaje sistemático sin tensión, con inyección espaciada 1.5 a 2 m.

4.5.5 CLASIFICACION CSIR

Fue propuesta por Bieniawski (1979) y se evalúa a partir del índice RMR. Este índice se calcula mediante 6 parámetros; 5 derivados de las características del macizo rocoso y el sexto asociado a un ajuste en base a la orientación de las discontinuidades, las cuales en el mejor de los casos sumaran 100 puntos.

La expresión que define el índice es:

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

Donde:

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

La Tabla 4.16 agrupa los resultados obtenidos para la unidad ignimbrítica en ambos márgenes.

TABLA 4.16
CLASIFICACION GEOMECANICA EN BASE A
BIENIASWKI (CSIR)

ALTERNATIVA	LITOLOGIA	RESISTENCIA	R Q D	ESPACIAMIENTO	CARACTERISTICAS DISCONTINUIDADES	FLUJO DE AGUA	AJUSTE	R M R (VALOR)	CLASE	CALIDAD
4										
MARGEN DER.	IGNIMBRITA	7	17	20	20	10	-5	69	II	BUENA
MARGEN IZQ.	IGNIMBRITA	6	17	20	6	10	-5	54	III	REGULAR

La clasificación según Bieniawski (1979) también proporciona recomendaciones en base al valor o clase del RMR y al claro, del tipo de soporte y del tiempo de sostenimiento sin soporte. La Figura 4.5 presenta en base a la calidad de roca y al claro del túnel (8, 10 y 12 m) el tiempo de sostenimiento sin soporte. La Tabla 4.17 muestra la clase y el tipo de soporte según Bieniawski (1979). Como se observa, para las rocas de calidad regular en la margen izquierda del eje 4, el avance deberá ser en tramos cortos para no tener un colapso. En esta roca para un túnel de 8 y 10 m de diámetro será necesario el ademe inmediato, como se observa en la Figura 4.5 se definieron 6 ó 7 días de tiempo de sostenimiento. Sin embargo, para un diámetro de 12 m y considerando la misma figura, se presenta una situación más crítica, debido a que el colapso es inmediato.

TABLA 4.17

RECOMENDACION DEL SISTEMA DE CLASIFICACION
GEOMECANICA PROPLESTA POR BIENIAWSKI (1979)

UNIDAD O SUBUNIDAD	RMR (CLASE)	TIPO DE SOPORTE TEMPORAL CLASE III (REGULAR)
Tobas M. I.	54 (III)	<p>Tiempo de sostén de aproximadamente 5 días (120 h) para un túnel de 10 m sin ademe.</p> <p>Sistemáticamente anclaje de 4 m de largo espaciado 1.5 a 2 m en la clave y paredes con malla metálica en la clave.</p> <p>5 a 10 cm de espesor de concreto lanzado en la clave y 3 cm en las paredes. Sin marcos de acero.</p> <p>Excavacion.- Avance media, sección y banqueo. Avances de 1.5 a 3 m en la galería superior. Comenzar el soporte después de cada voladura.</p>
Tobas M.D.		<p>Tiempo de sostén de 2 a 3 meses por un túnel de diámetro 8, 10 y 12 m.</p> <p>Anclaje local en clave con longitudes de 3 m y espaciado 2.5 m, ocasionalmente con malla metálica.</p> <p>5 cm de espesor de concreto lanzado en la clave.</p> <p>Excavacion.- Sección plena. Avance de 1-1.5 m.</p>

En las clases I, II, III no se recomiendan marcos metálicos, solo a partir de un RMR menor de 40.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

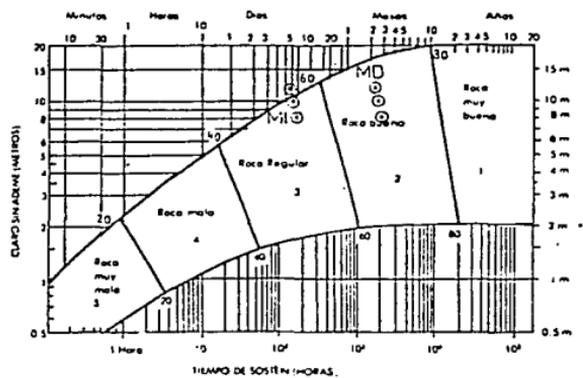


FIGURA 4.5 Clasificación geomecánica para túneles.
(BIENIAWSKI, 1979)

4.5.6 CORRELACION DE CLASIFICACIONES

El resultado del análisis de las características del macizo rocoso se basó en el BGD, Q y RMR. Los 2 últimos índices fueron calculados recíprocamente con la finalidad de definir la desviación de los valores obtenidos, en base a la ecuación:

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

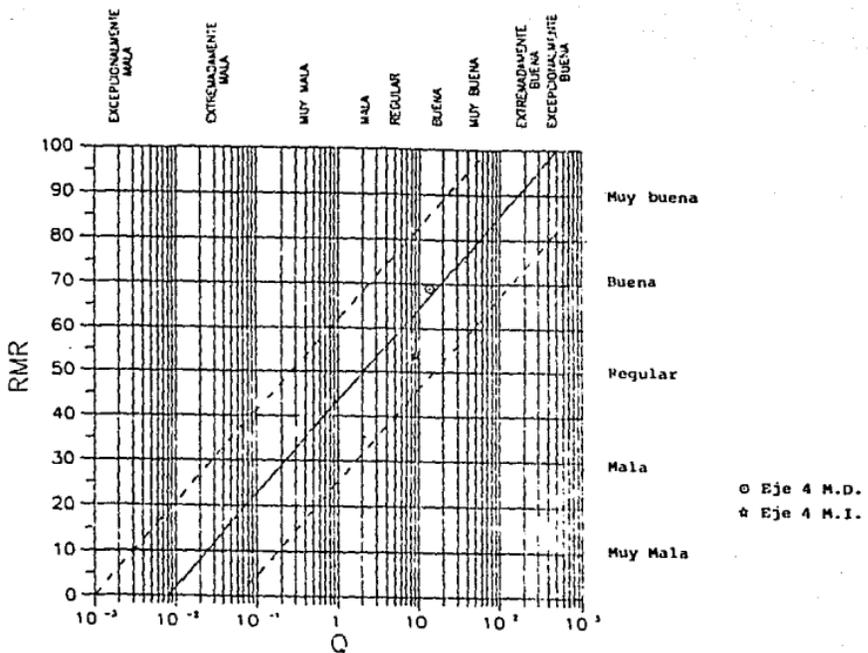
En la Figura 4.6 se observa que los valores correlacionados entre Q y RMR queda dentro de los límites de confiabilidad del 90%. La concentración de los datos para rocas volcánicas denotan una calidad regular a buena.

La Tabla 4.18 agrupa los resultados de las correlaciones de las diferentes clasificaciones (RMR, Q y BGD). En las clasificaciones se observa que la Alternativa 4 presenta las mejores condiciones geológicas en cuanto a la calidad del macizo rocoso.

TABLA 4.18
RESUMEN DE CALSIFICACION PARA EVALUAR LA
CALIDAD DE LAS UNIDADES GEOTECNICAS

ALTERNATIVA	LITOLOGIA	RMR	RMR(Q)	Q	Q(RMR)	CLASE		BGD	CARACTERIZACION
						RMR	Q		
ALT. 4			68	15.33		BUENA			
MO	IGNIMBRITA	69	68	11.666	16.10	BUENA	BUENA	L1,F2S1 A2	BUENA
MI	IGNIMBRITA	54	64	9.11	3.04	REGULAR	REGULAR MALA	L2,SF2,3S1,2 A2	REGULAR A BUENA

FIGURA 4 6 CORRELACION ENTRE EL INDICE Q Y RMR



5. BANCOS DE MATERIALES

El conjunto de materiales necesarios para la construcción de la cortina de tipo de tierra y enrocamiento, tales como el enrocamiento, grava-arena para filtros y agregado del concreto, y limos-arcillas para el núcleo impermeable, se pueden obtener de las unidades aflorantes en el área de estudio. La secuencia ignimbrítica, los depósitos de acarreo del Río Presidio y los productos de alteración de las rocas volcánicas y metamórficas, se han considerado como potenciales bancos de materiales; sin embargo, su potencialidad dependerá de la superficie de afloramiento y del espesor que presenta cada unidad.

Los bancos de materiales estudiados se ubican en el cauce del Río Presidio o aledaños a éste; próximos a la boquilla estudiada, tal como se muestra en la Figura 5.1.

5.1 BANCOS DE ENROCAMIENTO

De las unidades litológicas que están expuestas en la zona de estudio, las rocas que presentan condiciones adecuadas para considerarse como banco de material de enrocamiento corresponden a la secuencia ignimbrítica. Se localizaron y estudiaron dos bancos, que a continuación se discuten:

- BANCO 1

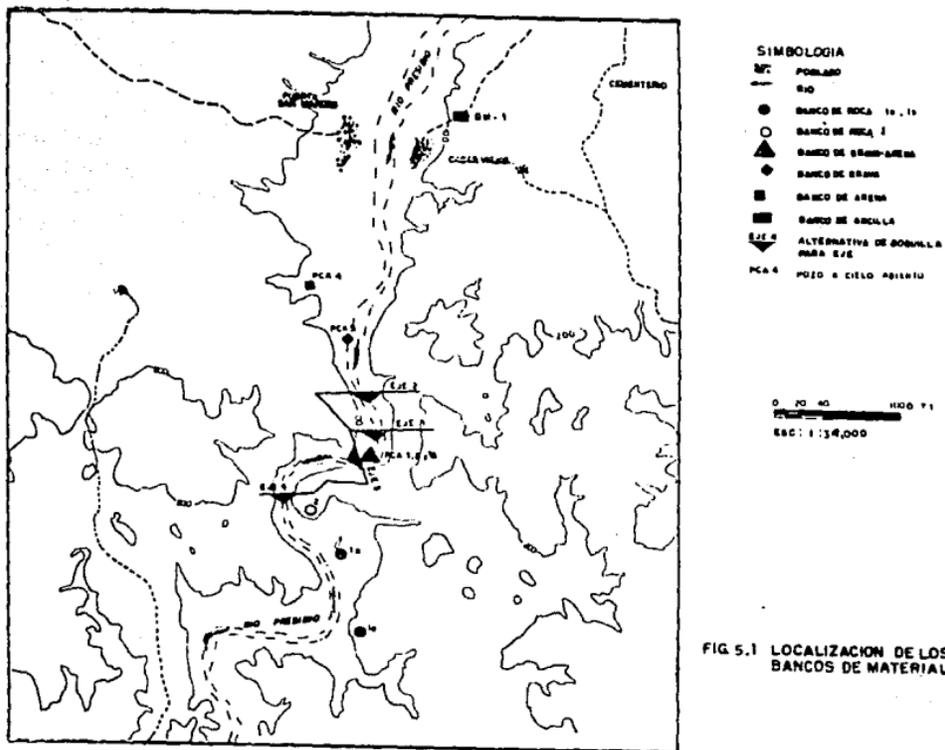
Se encuentra localizado a unos 700 m aguas abajo de la Alternativa 4, sobre la margen izquierda del Río Presidio (Fig. 5.1).

Forma parte de la unidad ignimbrítica litica (Tia-2). La roca se encuentra ligeramente intemperizada, su color es pardo al intemperismo y rosa al fresco, presenta textura arenosa de grano fino, contiene un 15% de fragmentos de rocas volcánicas de diversas tonalidades (blanco, gris, vino) cuyos tamaños varían de 1 a 3 cm de diámetro.

Con base en el estudio petrográfico realizado, dicha unidad se ha clasificado como ignimbrita vítreo de naturaleza riolítica, con matriz devitrificada y alteración moderada en los feldespatos. El constituyente principal es vidrio (93%), pero además presenta: Oligoclasa (3%), líticos (2%), cuarzo y sanidino (1%), así como una incipiente aparición de óxidos de hierro (Ver apéndice).

Los afloramientos de esta unidad estructuralmente son de aspecto masivo, con fracturamiento moderado en tres direcciones preferenciales (NE 26/88 grados, SE 87/66 grados y NW 10/70 grados), las fracturas son continuas (hasta 10 m) y muestran espaciamiento entre 20 y 200 cm.

La presencia del fracturamiento da lugar a formas tabulares, obteniéndose bloques de hasta 2 m³. Su índice de carga puntual, en dos pruebas realizadas, varió entre 46 y 68, que corresponden



a una resistencia a la compresión simple estimada de unos 500 a 700 kg/cm², su densidad es de .07 gr/cm³, la dureza obtenida del análisis petrográfico, de acuerdo a su mineralogía es de 6.96 mhos.

A continuación y en forma de tablas, se presentan los resultados de laboratorio que se realizaron tanto de intemperismo acelerado en solución concentrada de sulfato de magnesio, como de desgaste de Los Angeles (Tablas 5.1 y 5.2), cuyos resultados se incluyen junto con las características ingenieriles de tamaño y forma de bloques, velocidades sísmicas de campo y laboratorio, densidad e índice de carga puntual (Tabla 5.3). Estos datos fueron tomados del informe de GEOFRUYELIOS (op. cit.).

TABLA 5.1
PRUEBA DE DESGASTE LOS ANGELES
BM-1

M A L L A S	MATERIAL EN KG	MATERIAL QUE PASA LA MALLA 12 *	DESGASTE %
3" - 2 1/2"	2.500		
2 1/2" - 2"	2.500		
2" - 1 1/2"	5.00		
		1.880	18.80
		2.240	22.40

* : Resultados de dos pruebas a 1000 rev/min.

TABLA 5.2
PRUEBA DE INTemperismo ACCELERADO.

ENSAYE No.	IDENTIFICACION	PERDIDA EN 5 CICLOS %
1	BM-1	50.0
2	BM 1	35.0

Los fragmentos de las muestras ensayadas después de los ciclos reglamentarios, era posible partirse en trozos al ser golpeados ligeramente unos con otros.

TABLA 5.3
CARACTERISTICAS MECANICAS

TAMAO Y FORMA DE BLOQUES	VELOCIDAD DE PROPAGACION ONDAS SISMICAS m/s CAMPO LAB.	DENSIDAD g/cm ³	INDICE DE CAJERA PUNTUAL Is (50)	RESISTENCIA AL INTemperismo	RESISTENCIA AL DESGASTE	COMENTARIOS
Bloques medianos, Jv entre 1 y 3, de forma tabular y masiva	Rango de Vp: 5108-5806 Rango de Vs: 3000 y 3357	2.07	46 a 68	Con mallas de 1 1/2" a 1/2" Se tuvo pérdida de 35% a 50% esto excede los máximos permisibles de 61 para enrocamiento en escolleras (Footes y Pole, 1981)	Para las mallas de 1 1/2" a 3" se tienen pérdidas entre 18 y 22% por lo que está en el límite permisible de 20% para enrocamiento en escolleras (Footes y Pole, 1981).	Este material reúne condiciones de buena resistencia al desgaste y su resistencia al intemperismo es aceptable.

En este banco se tiene un área aproximada de: 15,000.00 m² y un espesor mínimo observado en campo de 12 m. por lo tanto, el volumen de roca explotable es del orden de 540,000 m³.

Respecto a las observaciones realizadas en el campo, para este banco marcado con el número 1, permitieron considerarlo como de buena calidad y resistencia. Se observaron dentro del mismo banco, dos afloramientos marcados en la Figura 5.1 como 1a y 1b. En el afloramiento 1a se observo una roca muy compacta, densa y resistente, la cual presenta un fracturamiento separado y una abertura amplia, formando bloques masivos grandes.

En tanto que, en el afloramiento 1b la roca se encuentra mas fracturada y mas intemperizada. En este sitio se tomaron las muestras que posteriormente se analizaron en laboratorio con los resultados señalados en la Tabla 5.3; donde se concluye que la roca es resistente al desgaste pero su resistencia al intemperismo es baja aunque aceptable. Sin embargo, en base a la observación de campo es posible que el Banco 1A tenga mejores posibilidades de explotación ya que corresponden a rocas menos intemperizadas que el Banco 1b.

Un frente de explotación probable a este banco sería en la parte sur en el arroyo secundario donde la topografía no es abrupta y lo cual permitiría abrir una excavación frontal.

- BANCO 2

El Banco 2 se localiza a 80 m aguas abajo de la alternativa 4, sobre la margen izquierda (Figura 5.1).

Está constituida por una ignimbrita de color gris claro al intemperismo y café rojizo al fresco, con textura lítica, en donde los fragmentos de roca son de origen volcánico y naturaleza riolítica, llegando a alcanzar tamaños de 2 cm de diámetro, de forma subredondeada.

La mineralogía que se observa tanto a nivel de muestra de mano, como a nivel microscópico en lámina delgada, proporciona las bases para clasificar a esta unidad como una toba ignimbritica vítrea de naturaleza riolítica, (IGN 3); conteniendo cuarzo (3%), oligoclasa-andesina (10%) alterándose a minerales arcillosos en un estado moderado, así como líticos (2%), todos ellos incluidos en una matriz vítrea soldada y alterada a óxidos (Ver apéndice).

Estructuralmente esta unidad es masiva, afectada por fracturamiento moderado, se identificaron cuatro direcciones preferenciales NE 40/35 grados, SE 76/69 grados, NW 30/63 grados y SE 60/82 grados. Las fracturas están espaciadas 60 cm en promedio, la continuidad que tienen se prolonga hasta los 10 m y presentan una apertura menor a 5 mm, encontrándose sin relleno.

Es notoria la presencia de gran cantidad de vetillas de silico en forma de cuarzo, con espesores de 2 a 40 cm de longitud, las cuales se orientan al SW con rumbo paralelo a la pseudoestratificación. Es común observar silice relleno microfracturamiento y cavidades.

El tamaño de los bloques que se pueden explotar varían entre 0.10 y 0.60 m³. El índice de carga puntual reportado del laboratorio es de 78 y 105 en dos pruebas realizadas, lo cual correspondería a una resistencia a la compresión simple de unos 800 a 1000 kg/cm², mientras que la densidad obtenida es de 2.26 g/cm³; por otro lado, la dureza calculada en la petrografía, conforme a su mineralogía, es de 6.88 mhos.

Las Tablas 5.4 a 5.7 agrupan las características de resistencia al desgaste de Los Angeles y sanidad al intemperismo acelerado respectivamente, así como también muestran su caracterización geofísica (Unidades geosísmicas, Tabla 5.5) y mecánica (Tabla 5.7).

TABLA 5.4
PRUEBA DE DESGASTE LOS ANGELES
BM-2

M A L L A S	MATERIAL EN KG	MATERIAL QUE PASA LA MALLA 12 *	DESGASTE %
3" - 2 1/2"	2.500		
2 1/2" - 2"	2.500		
2" - 1 1/2"	5.00		
		1.160	11.6
		0.980	9.8

* : Resultados de dos pruebas a 1000 rev/min.

TABLA 5.5
PRUEBA DE INTENPERISMO ACELERADO.

ENSAYE No.	IDENTIFICACION	PERDIDA EN 5 CICLOS %
1	BM-2	30.0
2	BM-2	30.0

Los fragmentos de las muestras ensayadas, también después de los ciclos reglamentarios, se parten en trozos al ser golpeadas ligeramente unos con otros.

TABLA 5.6
UNIDADES GEOSISMICAS

TIPO DE MATERIAL	SUBUNIDAD	CARACTERISTICA	ESPESOR m	VELOCIDAD m/s
IGNIMBRITA	A	Suelos y roca altamente fracturada e intemperizada	1.00-3.00	500-550
	B	Roca con fracturamiento moderado	8.00-16.00	1650
	C	Roca sana levemente fracturada	indefinido	3950-4600

TABLA 5.7
CARACTERISTICAS MECANICAS

TAMANO Y FORMA DE BLOQUES	VELOCIDAD DE PROPAGACION ONDAS SISMICAS m/s CAMPO LAB.	DENSIDAD g/cm ³	INDICE DE CAREA PUNTUAL I _s (SC)	RESISTENCIA AL INTemperismo	RESISTENCIA AL DESGASTE	COMENTARIOS
Bloques medianos, J _v entre 3 y 10, de forma tabular	1630 Rango de V _p : 5606 - 9160; Rango de V _s : 3000 - 5357	2.26-2.40	78-105	Con mallas de 1 1/2" a 1/2" Se tienen pérdidas de 30% - esto excede - los máximos permisibles - de B1 para - enrocamiento - en escolleras (Fookes y Pole, 1981).	Para las mallas de 3 a 1/2" se tienen pérdidas entre 9.8% y 11.6%, estos valores están dentro de los máximos permisibles de 20% para enrocamiento, (Fookes y Pole, 1981).	Este material reúne buenas condiciones de resistencia al desgaste y su resistencia al intemperismo acelerado es aceptable.

El área aproximada que ocupa este banco es de 12,000 m², mientras que su espesor observado en campo es de 8 m; por lo tanto, tiene un volumen de roca explotable de 96,000 m³ el cual puede incrementar hasta un 50% si se considera que la geofísica

estableció un espesor variable entre 8 y 10 m de roca explotable. Por otro lado, el descapote representado por el espesor de suelo y roca altamente fracturada e intemperizada que subyace a la unidad ignimbrítica, se obtuvo por medio de un tendido sísmico efectuado sobre el banco; dicho horizonte varía entre uno y tres metros (Plano 5).

Las rocas de este banco presentan un fracturamiento más cerrado que en el banco anterior; sin embargo, contienen abundante cuarzo en forma de vetillas y en oquedades, lo cual hace a la roca más resistente y muy dura. En los análisis de laboratorio se obtuvieron resultados un tanto mejores que el banco 1; sin embargo, en la prueba de resistencia al intemperismo se tuvieron pérdidas del orden de los máximos permisibles para escolleras. Pero como se ha mencionado anteriormente, las evidencias de campo en cuanto a la estabilidad y resistencia a la erosión del río indican alta resistencia, por lo que aun se considera como una roca de buena calidad.

En tanto, la distancia a la zona del proyecto es ventajosa así como el frente probable para su explotación, el cual sería aguas abajo del Eje 4, en margen izquierda, en el arroyo secundario inmediato, donde la topografía presenta facilidades de acceso.

5.2 MATERIALES GRADUADOS

Las gravas y arenas requeridas para los filtros de la cortina o como agregados para el concreto, pueden obtenerse de los depósitos de acarreo del Río Presidio y de los playones formados por arroyos que desembocan a éste.

Con el propósito de conocer la granulometría y espesor de los materiales se realizaron 5 pozos a cielo abierto, 3 de ellos localizados en las cercanías del Eje 3 (PCA-1, 2 y 3) y dos a 700 m (PCA-5) y 2200 m (PCA-4) respectivamente aguas arriba del Eje 2, sobre la margen derecha (Figura 5.1). Las características de los materiales se muestran en la Tabla 5.8 (Ver apéndice).

En los pozos excavados cercanos al Eje 3, (a 1.5 m de profundidad) se encontró un 70 a 74% de arena fina y el resto de gravas mal clasificadas, cuyos tamaños varían de 2 a 9 mm; ubicados en un horizonte de 45 cm cercano a la superficie.

A 100 m aguas abajo del Eje 1, se aprecia una terraza de 120 m² sobre la margen derecha cuyo espesor es de 3 m de la cual está formada en su mayoría de gravas gruesas y sólo un 10% de cantos.

Es notoria la presencia de gravas y cantos empacados en arenas, pero éstas, a profundidad no sobrepasan los 3 m de espesor; en tanto que las arenas sin materiales gruesos, se encuentran hasta con espesores mayores a los 6 m.

TABLA 5.8
RESULTADOS DE LABORATORIOS DE
PRUEBAS PARA MATERIALES GRADUADOS

P R U E B A S	G R A V A S		Y A R E N A S		ARENAS	GRAVAS
	PCA-1	PCA-2	PCA-3	PROMEDIO	PCA-4	PCA-5
GRANULOMETRIA						
MAYOR A 3" (%)	29	25	26	27	16	48
G (%)	70	74	72	72	59	52
S (%)	1	1	2	1	25	0
F (%)						
VALOR RELATIVO						
SOPORTE ESTANDAR						
GAMMA m (g/cm ³)	1.023	1.940	1.942	1.972	2.244	2.075
GAMMA d (g/cm ³)	1.861	1.782	1.777	1.807	2.027	1.912
W (%)	8.7	9.0	9.3	9.0	10.7	8.5
PRUEBA MODIFICADA						
DE VALOR RELATIVO						
DE SOPORTE						
GAMMA d2 (g/cm ³)	1.675	1.604	1.599	1.626	1.824	1.721
W (%)	2.6	3.5	2.9	3.0	3.3	3.1
V.R.S.C. (%)	18.1	24.3	52.1	31.5	13.0	39.8
PERMEABILIDAD						
CARGA VARIABLE						
EN ARENAS COMPACTADAS (90%)						
k (cm/seg)	4.6 E(-4)	5.4 E(-4)	6.4 E(-4)		2.6 E(-4)	5.2 E(-4)
ABSORCION %	1.1	1.4	1.4		1.6	
LIMITES DE						
ATTENBERG						
LL (%)					31.0	
LP (%)					19.0	
IP (%)					12.0	

NOTA:

G : Gravias	GAMMAm : Peso volumetrico húmedo
S : arenas	GAMMA d : Peso volumetrico seco
F : Finos	
k : Indice de permeabilidad	GAMMA d2: Peso volumetrico seco
LL : Limite liquido	V.R.S.C.: valor relativo de
LP : Limite plástico	sopORTE
IP : Indice de plasticidad	
W : humedad que contiene	
W% : humedad optima	

Con el propósito de conocer el espesor de grava y arena disponible, en el arroyo se realizaron 6 tendidos sísmicos, 4 de ellos en gravas y 2 en arenas (Plano 5).

En la zona de los PCA 1 a 3, entre los Ejes 1 y 3, se definieron 3 capas con velocidades distintivas (Tabla 5.9). La primera capa tiene un espesor de 1 a 5 m y se interpretó como materiales granulares poco consolidados, con un 75% de arenas y 25% de gravillas -Tabla 5.8- (en base a los resultados de los cortes de los PCA), así como un espesor promedio para esta capa de 2.5 m. Por debajo de esta capa se interpretaron espesores de 10 a 16.5 m de acarreos consolidados, no cementados, primordialmente de arenas. Por debajo de la segunda capa se detectó el basamento de roca metamórfica.

En la zona del PCA-5, unos 200 m aguas arriba del Eje 1, se definió una capa superficial con 1 a 2.5 m de espesor (Tabla 5.9), la cual se interpretó como materiales de baja compacidad compuestos por gravas y arenas, de las observaciones directas se estableció que los 0.35 m superficiales son de boleos y gravas gruesas (50%) y arenas gruesas (50%), de 0.35 a 0.85 m de profundidad se encontró gravas y gravillas (30%) y arenas gruesas (70%), por debajo de 0.85 m y hasta el nivel freático (1.20 m) se encontró gravillas (20%) y arena gruesa (80%). La segunda capa, con espesores entre 6 y 20 m se interpretó como acarreos consolidados eminentemente arenosos. Finalmente, la tercera capa de espesor indefinido se interpretó como el basamento metamórfico.

En general, se observó que la litología de los acarreos es de 10% de tobas riolíticas e ignimbríticas, 30% granitos y granodioritas, 15% andesitas y 15% pizarras. Estas litologías no manifiestan sílice amorfo (tridimita) de manera que pudiese resultar contraproducente en la elaboración de concretos; sin embargo, las pizarras al alterarse lo hacen a arcillas, lo cual pudiese preocupar, pero dado el reducido porcentaje en que se encuentran no se consideraran problemáticos; asimismo, se encontró que los fragmentos rodados encontrados en los acarreos se muestran apenas ligeramente intemperizados.

En la zona del arroyo ubicado a unos 700 m aguas arriba del Eje 2, margen derecha, se excavó el PCA-4 y se realizaron 2 tendidos de sísmica de refracción. El pozo manifestó la presencia de gravas (16%), arenas (59%) y riños (25%) -Tabla 5.8- hasta una profundidad de 1.20 m. La geofísica definió solo dos capas, la superficial con espesores de 3 a 7 m, y 4 m en promedio se atribuyeron a los acarreos fluviales, mientras que por debajo de esta capa se interpretó la presencia del basamento metamórfico. En este banco se cubicaron unos 30,000 m³ explotables, en una superficie de 7,500 m², lo cual es muy reducido.

TABLA 5.9
RESULTADOS GEOFISICOS EN MATERIALES GRADUADOS

TIPO DE MATERIAL	SUBUNIDAD	CARACTERISTICAS	ESPESOR (m)	VELOCIDAD (m/s)
Grava-Arena (PCA 1 a 3)	a	Materiales granulares poco consolidados	1.00 - 5.00	400 - 850
	b	Acarreos altamente consolidados	10.00 - 16.50	1850 - 2350
	c	Roca metaárfica sana y poco fracturada	indefinido	3650 - 4950
Grava (PCA-5)	a	Materiales granulares levemente consolidados	1.00 - 2.50	650 - 1150
	b	Acarreos muy consolidados	6.00 - 20.00	1950 - 2300
	c	Roca metaárfica sana y poco fracturada	indefinido	3500 - 4250
Arena (PCA-4)	a	Arena poco consolidada	3.00 - 7.00	250 - 350
	b	Roca metaárfica sana y poco fracturada	indefinido	3750 - 4700

En caso de que se exploten los acarreos de los arroyos como es este caso, el material deberá utilizarse únicamente en los filtros, ya que se encuentra contaminado por finos, los cuales son perjudiciales para el concreto.

Así, dado que la condición es tener un banco de 2,000,000 m³ de arenas y grava-arenas, será necesario explotar los acarreos fluviales del Río Presidio. No obstante que la exploración geológico-geofísica y los estudios de laboratorio se realizaron en sitios aguas arriba del Eje 4, el estudio es representativo del sitio en general, particularmente aguas abajo del Eje 4 se observan las mismas características para los materiales graduados sobre el cauce del río, hacia la población Pichilingue y hacia la intersección del Río Presidio con el arroyo que viene de la Noria (Plano 1) se observan amplias zonas con estos materiales.

Se propone explotar las terrazas aluviales y playones, llevando la extracción de materiales hasta por debajo de 5 m del nivel del río por medio de trascavos o cucharones adaptados a gruas. Se considera que es posible explotar una franja de unos 100 m a lo

largo de todo el cauce, hasta obtener el volumen total del material deseado.

Una opción para los agregados del concreto sería abrir un frente de explotación en las tobas, para posteriormente triturar el material al tamaño deseado. La unidad de tobas más adecuada sería la Secuencia Ignimbrítica Superior, en las subunidades Tia-2 y Tia-4; aunque también podría utilizarse la Tia-1 y Tia-3. En los primeros casos no se presenta sílice libre, mientras que en los dos últimos se encuentra en forma de cuarzo.

5.3 BANCOS DE ARCILLA

Los bancos de arcilla se localizan en los alrededores del poblado de la Puerta de San Marcos, en donde se aprovechan como zonas de cultivo y materia prima para fabricación de utensilios de barro para uso doméstico por los habitantes de la comunidad (Fig. 5.1).

Los bancos más próximos a la Puerta de San Marcos muestran zonas arcillosas de tonalidades rojizas (a consecuencia de la oxidación de éstos) y de color negro (por el alto contenido de materia orgánica). Estas zonas no representan volúmenes importantes de material debido a que sus espesores alcanzan sólo hasta 4 m.

A 800 m de distancia de Casas Viejas, sobre el camino que conduce al Poblado Las Iguanas, se presenta un área de 200 m de longitud por 80 m de ancho, denominada "El barrial" por las personas del lugar, en donde se aprecia un horizonte de arcilla de tonalidad amarilla, resistente al golpe del martillo y muy moldeable una vez que ha sido disgregada y humedecida.

A profundidad, dicha unidad cambia su coloración a gris oscura, se presenta menos compacta y aumenta su contenido de agua.

En el área descrita anteriormente se realizó un tendido sísmico, el cual indica que el espesor oscila entre 2.5 y 4 m.

Existen afloramientos aislados de arcilla roja de poca extensión con espesores promedio de 2 m, que al ser considerados en forma conjunta podrían representar un volumen importante.

En estas localidades se excavaron dos pozos a cielo abierto, denominados BM-1 y BM-2 (Fig. 5.1); el primero se efectuó en una arcilla arenosa de color café rojizo, mientras que en el segundo se hizo en una arcilla limo arenosa de color café verdusco. En ambos casos se tomaron tres muestras para el análisis de laboratorio (Límite líquido, Límite plástico, Índice de plasticidad). Asimismo, se tomaron tres muestras para pruebas de compactación, 2 del pozo BM1 y 1 del pozo BM2; los resultados de las pruebas se presentan en la Tabla 5.10. La calidad del material es adecuada, sin embargo el volumen es reducido.

TABLA 5.10
RESULTADOS DE LABORATORIO DE LAS PRUEBAS DE ARCILLAS

PRUEBA	BANCO DE ARCILLAS I (BM-1)				BANCO DE ARCILLAS II (BM-2)			
	MUESTRA 213	MUESTRA 215	MUESTRA 217	PROMEDIO	MUESTRA 214	MUESTRA 216	MUESTRA 218	PROMEDIO
LIMITES DE ATTERBERG								
LL (%)	57	49	46	51	32	35	25	31
LP (%)	24	20	25	23	17	20	17	18
IP (%)	33	29	21	28	15	15	8	13
COMPACTACION (PROCTOR STANDARD)								
W (%)	22.7	-	-	22.7	16.5	11.6	-	14.1
GAMMA d (g/cm ³)	1.605	-	-	1.605	1.785	1.530	-	1.658

LL : Límite líquido
 LP : Límite plástico
 IP : Índice de plasticidad
 W : Contenido de agua
 GAMMA d : Volumétrico seco

En efecto, los afloramientos mencionados proporcionarían, en conjunto, del orden de tan solo 10,000 m³. Una forma de incrementar el volumen de material para el corazón impermeable sería ampliar la exploración hacia aguas abajo, en el área de Pichilingue y hacia el oriente del camino que comunica Casas Viejas con Las Iguanas. Se considera sin embargo, que las condiciones que prevalecerán en estos sitios serían similares a las descritas previamente, o sea afloramientos registrados con espesores de 2.5 a 4 m; en el caso de que esto suceda, la exploración deberá encaminarse hacia el área marcada en el Plano Geológico Regional (Plano 1), como Tc, es decir, al Terciario Clástico, aunque esto por consiguiente, tendrá como consecuencia una lejanía considerable del banco de materiales de la cortina de la presa.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 ESTABILIDAD DE TALUDES

El siguiente análisis está enfocado a evaluar la estabilidad de los taludes en la zona del eje 4. Se basa en los estudios estadísticos-estructurales de las discontinuidades superficiales levantadas a lo largo de la alternativa y de las observaciones visuales realizadas en campo.

El levantamiento estructural consistió en obtener la inclinación y el azimut del echado de los planos estructurales, así como los principales rasgos geológicos individuales y propiedades de las discontinuidades que influyen en la estabilidad de taludes.

Para diseñar apropiadamente un talud en roca se requiere de datos geológico-estructurales, particularmente los referentes a las discontinuidades. Entre las diferentes propiedades que se obtuvieron están: el espaciamiento entre los planos de discontinuidad, la rugosidad de las paredes de las fracturas, con el objeto de evaluar la resistencia al corte; la continuidad de los planos estructurales, que permitan determinar las posibles dimensiones de las cuñas formadas por la intersección de los planos estructurales; y por último, la abertura y el relleno de las fracturas, los cuales tienen una influencia preponderante en la estabilidad de las masas rocosas.

Para estudiar la estabilidad de los taludes en los posibles cortes se empleó el método cinemático, el cual es una técnica gráfica que permite evaluar la estabilidad de una manera preliminar. Se utilizaron también algunos datos de resistencia de los materiales y aspectos geométricos de los taludes. Se utilizó un ángulo de fricción estimado de 30 grados.

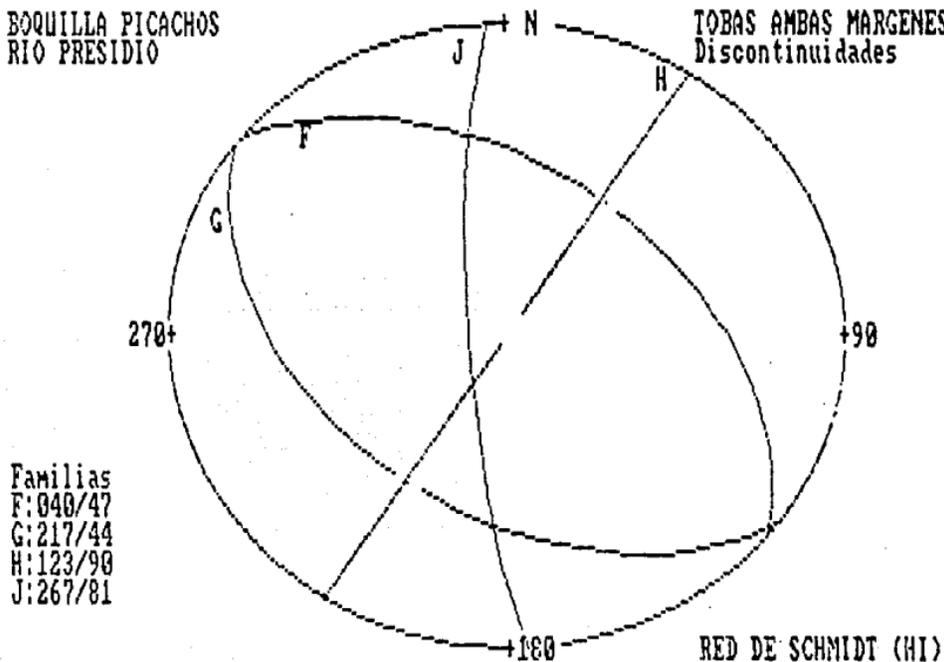
Los estudios se enfocaron de dos maneras: primero a través de un estudio alrededor de los 360 grados en intervalos de 15 grados, con el objeto de determinar el comportamiento del macizo rocoso en todas las direcciones y conocer la orientación e inclinación de los cortes óptimos que llegarán a realizarse para la construcción de la cortina y en las obras auxiliares de la presa. Segundo, se realizó un análisis exclusivamente sobre las laderas de la boquilla, con el fin de conocer y evaluar los posibles mecanismos de falla.

Para evaluar la estabilidad cinemática de las laderas, se elaboraron para cada unidad litológica y por margeh, diagramas estereográficos mostrando la orientación preferencial de las fracturas principales, las cuales se han proyectado como arcos; así como la resistencia al corte de los planos de fractura representada por un ángulo de fricción interna (estimado en 30 grados).

La Figura 6.1 muestra en forma de arcos, la orientación preferencial de las discontinuidades en la unidad de tobas.

BOQUILLA PICACHOS
RÍO PRESIDIO

TOBAS AMBAS MARGENES
Discontinuidades



Familias
F: 040/47
G: 217/44
H: 123/90
J: 267/81

FIGURA 6.1 DIAGRAMA ESTEREOGRAFICO DE ORIENTACION PREFERENCIAL DE FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES EN LAS TORAS.

En los diagramas estereográficos, se definieron: el vector de la dirección del echado y el ángulo de inclinación de las familias preferenciales. Estos valores son de suma importancia ya que indican el ángulo de máxima pendiente permitido en el caso que fuera mayor que el ángulo de fricción.

La posición polar de los planos también se ha definido ya que ayudan a identificar la inestabilidad por volteo.

Para que exista deslizamiento es necesario que se cumpla la siguiente condición:

Ψ_i "f" mayor que Ψ_i "p" y mayor que F_i

donde:

Ψ_i "f" = Pendiente del talud
 Ψ_i "p" = Echado del plano de debilidad o falla
 F_i = Ángulo de fricción

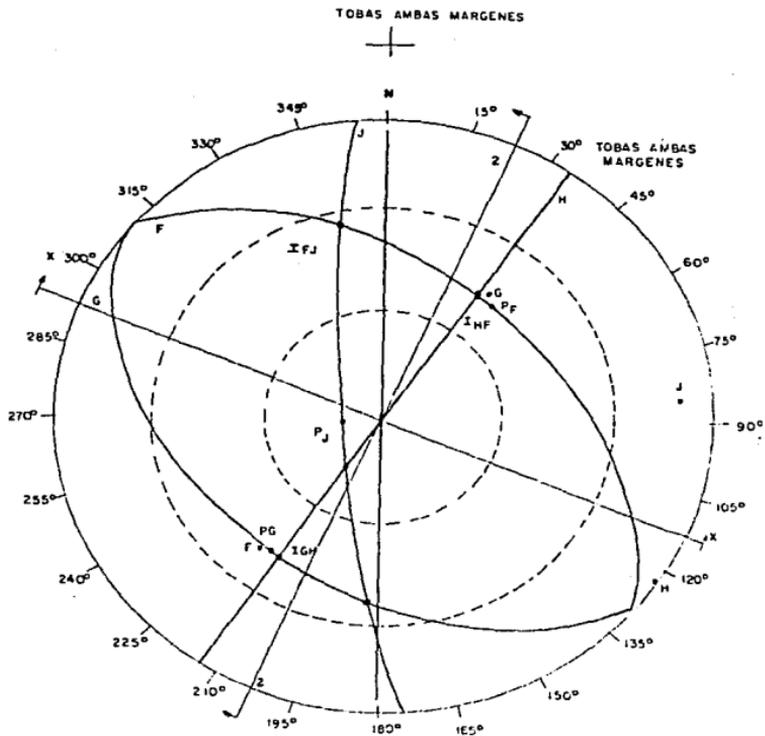
Del análisis de la Figura 6.2 se elaboró la Tabla 6.1 que define el ángulo máximo de seguridad y el modo de falla que interviene en el caso de que se realizaran excavaciones alrededor de los 360 grados.

En base a esta tabla, es posible dibujar la Figura 6.3 que simplifica e ilustra a través del cono truncado, las direcciones y el máximo ángulo de seguridad cinemático recomendado.

En el caso de las tobas (Figura 6.3), aun cuando el ángulo de seguridad cinemático se considera bajo (40 grados); existen intervalos como entre las direcciones 110 a 155 grados, que pueden lograr ángulos de seguridad cinemáticos mayores de 60 grados. De igual forma que en el caso anterior, la inestabilidad es principalmente por mecanismo de cuña; sin embargo, existe un intervalo sobre todo hacia las direcciones E y W, donde la inestabilidad puede ocurrir a través de falla plana o de volteo.

Como conclusión se observa que los valores obtenidos a través de la Figura 6.3 concuerda bastante bien con los valores de las inclinaciones de los taludes naturales.

DIAGRAMA ESTEREOGRAFICO MOSTRANDO LOS MODOS DE FALLA DE LAS TOBAS



FAMILIAS
 F : 040/47
 G : 217/44
 H : 123/90
 J : 267/81

FIGURA : 6.2

DIAGRAMA DEL CONO TRUNCADO DE LAS TOBAS
 INDICANDO EL MODO DE FALLA Y EL ANGULO
 MAXIMO DE SEGURIDAD SEGUN LA DIRECCION
 DE LA INCLINACION DE LA EXCAVACION

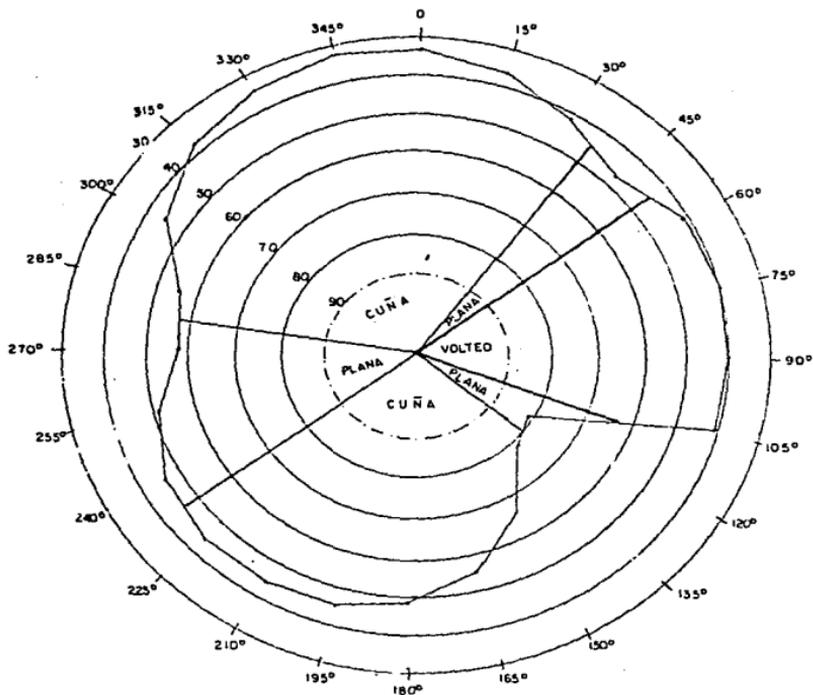


FIGURA : 6.3

TABLA 6.1

ANALISIS CINEMATICO DE MAXIMO ANGULO
DE SEGURIDAD DE CORTES (TOBAS)

NUMERO DE CORTE (GRADOS)	DIRECCION DE LA INCLINACION DEL CORTE (GRADOS)	ANALISIS DE FALLAS										MODO DE FALLA	MAXIMO ANGULO DE SEGURIDAD CINEMATICA
		P L A N A			C U Ñ A			V O L T E O					
		PF	PG	PA	INF	IFJ	IGH	VF	V6	VJ	VN		
0	90	60	90	90	64	90	90	90	90	40	VJ	40	
5	105	69	90	90	74	90	90	90	90	41	VJ	41	
30	120	81	90	90	87	90	90	90	90	90	PF	91	
45	135	90	82	90	90	90	78	90	90	90	IGH	78	
60	150	90	68	90	90	90	65	90	90	70	IGH,PG	65,68	
75	165	90	57	90	90	90	55	90	90	90	IGH,PG	55,57	
90	180	90	50	90	90	90	48	90	90	90	IGH,PG	48,50	
105	195	90	45	87	90	90	45	75	90	90	IGH,PG	45,56	
120	210	90	44	85	90	90	44	73	90	90	IGH,PG	44	
135	225	90	44	83	90	90	44	72	90	90	IGH,PG	44	
150	240	90	46	82	90	90	47	74	90	90	PG,IGH	46,47	
165	255	90	51	80	90	90	52	90	90	90	PG,IGH	51,52	
180	270	90	58	80	90	73	60	90	90	90	PG,IGH	58,60	
195	285	90	69	81	90	56	72	90	90	90	IFJ	56	
210	300	90	87	82	90	45	90	90	90	90	IFJ	45	
225	315	85	90	84	79	38	90	90	90	90	IFJ	38	
240	330	72	90	85	67	35	90	90	90	90	IFJ	35	
255	345	62	90	87	58	33	90	90	90	90	IFJ	33	
270	360	54	90	90	52	34	90	90	90	90	IFJ	34	
285	15	50	90	90	48	37	90	90	77	90	IFJ	30	
300	30	47	90	90	47	42	90	90	76	90	IFJ	42	
315	45	47	90	90	48	50	90	90	76	90	PF,INF	47,43	
330	60	49	90	90	50	64	90	90	78	41	VJ	41	
345	75	53	90	90	56	84	90	90	90	40	VJ	40	

Nota:

P - Falla plana
I - Cuña
V - Volteo

En la Tabla 6.2 se observan las direcciones de los deslizamientos de las cuñas y la inclinación de las intersecciones de las discontinuidades.

TABLA 6.2

T O B A S						
CURA	SISTEMA	INCLINACION DE LA INTERSECCION	DIRECCION DE DESPLAZAMIENTO	EJE	MARGEN	LADERA (GRADOS)
IFJ	F:040/47 J:267/81	33 GRADOS	315 GRADOS	3	M. I	50
IHF	H:123/90 F:040/47	47 GRADOS	040 GRADOS			
IGH	G:217/44 H:123/90	44 GRADOS	2140 GRADO			

En general, las rocas piroclásticas de la zona de estudio, presentan taludes naturales con gran desnivel y con pendientes fuertes; alcanzando en algunos sitios del cañon hasta los 90 grados, sobre todo, en la margen derecha de la Alternativa 4.

6.1.1 ANALISIS CINEMATICO DE ESTABILIDAD

Analizando el cono truncado para las tobas (figura 6.3), las orientaciones mas desfavorables para los cortes serian hacia las direcciones NNW, NEE y SW; las cuales corresponden a una zona muy amplia, bajo la cual, existe riesgo de inestabilidad con ángulo máximo de seguridad cinemática de 33 a 47 grados. En tanto, en la dirección SSW, a partir de los 160 grados y hasta los 235 grados, los valores máximos de seguridad cinemática son de 45 a 81 grados.

Para la margen izquierda (Figura 6.4) se considera que solo la Familia "G" asociada a un mecanismo de falla plana puede afectar al talud, además de que la Familia "H" pueda influir en inestabilidad por volteo. Esta margen presenta una pendiente también no muy fuerte del orden de los 30 grados por lo que se cree sea estable, a menos de que se excaven cortes paralelos de mayor inclinación.

Por otro lado, al analizar la Figura 6.3, se observa que el problema principal de la margen derecha es la inestabilidad por volteo. Sin embargo, aunque existen las Familias "J" y "H" que

corresponden a los sistemas de inestabilidad, éstas tienen un espaciamiento muy amplio por lo cual no deben influir considerablemente. Este margen es la que presenta un desnivel mayor, además de ser la que tiene un talud más fuerte (en algunos sitios hasta de 90 grados).

En efecto, al analizar el diagrama estereográfico (Figura 6.5) aparecen las familias de discontinuidad "J" y "H" que podrían afectar al talud en forma de falla plana, pero como ya se ha mencionado, estos sistemas tienen una separación amplia por lo que no deben afectar sustancialmente; sin embargo, se han observado algunas discontinuidades del sistema "J" por lo que puede existir percolación de agua a través de estas fracturas. La familia de discontinuidad más riesgosa y que afectaría a este talud sería la "F" como falla plana; esta familia presenta un espaciamiento amplio, por lo que se cree que no está bien desarrollada.

6.2 OBRAS AUXILIARES

En el análisis que se realizó para las obras auxiliares, se propuso que tanto el vertedor de demasías, como el túnel de desvío se situaran sobre la margen izquierda del Eje 4 (Plano 2), debido a las condiciones estructurales y morfológicas que presenta.

6.2.1 VERTEDEDOR

Considerando la topografía de la boquilla 4 y el curso del río el cual, de fluir de una dirección E-W aproximadamente, cambia a una dirección N-S aguas arriba del Eje 4; se ha considerado como idóneo para la localización del vertedor de demasías la margen izquierda; el trazo se dividió en 3 tramos, aprovechando el puerto de erosión que se encuentra a la elevación de 140 m (Plano 2). Los tramos tienen las siguientes direcciones:

EJE	MARGEN	ORIENTACION (GRADOS)	TALUD (GRADOS)
4	M.I.	TRAMO 1 NW 63 TRAMO 2 NW 420 TRAMO 3 NW 180	63

A lo largo de este trazo, en su primer tramo la unidad sobre la que se desplantaría esta obra correspondería a la Tia-1 que consiste en una toba vítrea riolítica de color café rojizo con vetillas de sílice y pseudoestratificada, no así el segundo y último tramos, los cuales se asentarían en la unidad Tia-2 que consisten de tobas líticas arenosas de composición riolítica, estructura masiva y fracturamiento moderado a alto. El rasgo estructural más importante en esta zona es el contacto de la

BOQUILLA PICACHOS
RÍO PRESIDIO

LADERA:
082/64

Familias
F: 040/47
G: 217/44
H: 123/90
J: 267/81

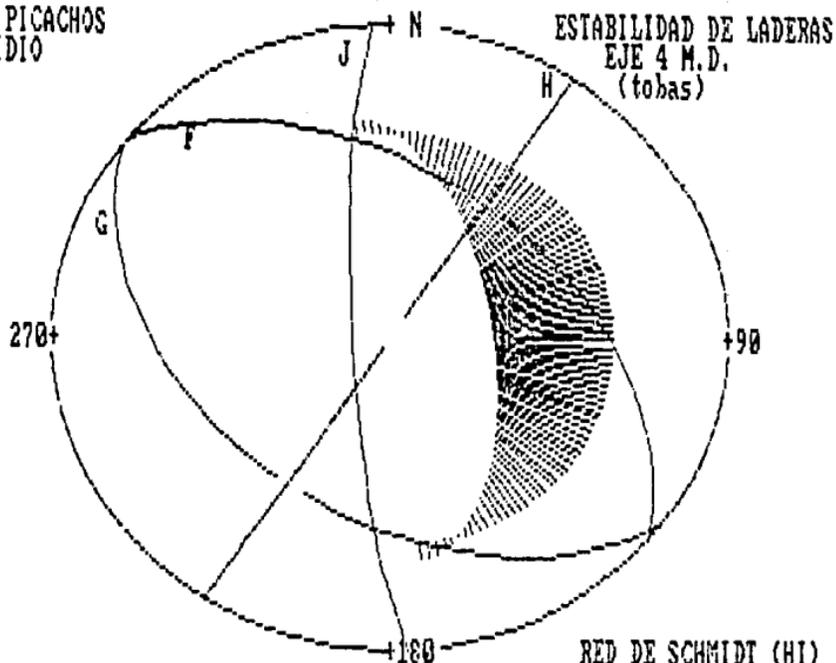


FIGURA 6.5

ESTABILIDAD DE LADERAS, MARGEN DERECHA. EJE 4

unidad Tia-1 y Tia-2, así como la falla F4, la cual se presenta a lo largo del trazo del vertedor (Plano 2).

6.2.1.1 ESTABILIDAD CINEMATICA DE CORTES PARA EL VERTEDDOR DE DEMASIAS

El análisis cinemático para la estabilidad del corte en el vertedor se efectuó apoyándose en diagramas estereográficos, donde se graficaron los sistemas de discontinuidades que afectan a esta zona. Las rocas que afloran en este sitio corresponden a tobas (Tia-1 y Tia-2).

En la figura 6.6 se presenta el estereograma de los sistemas de fracturamiento incluyendo los taludes de diseño del vertedor en el círculo para un ángulo de fricción (FHI) de 30 grados. Se ha supuesto una pendiente del talud de 63 grados para el vertedor.

En la Tabla 6.3 se muestran los máximos ángulos de seguridad para los cortes en los tres tramos del vertedor, presentando los cortes que tienen inestabilidad cinemática potencial.

TABLA 6.3
ANÁLISIS CINEMÁTICO Y MÁXIMOS ÁNGULOS DE SEGURIDAD
PARA LOS CORTES EN LOS TRES TRAMOS DEL VERTEDDOR

TRAMO	T A L U D (GRADOS)	F C U A (G R A D O S)	A L P L A N A (GRADOS)	L V O L T E O (GRADOS)
1	NE 27/63 SW 27/63	IFJ (40), IHF (47) IGH (44), IGJ (51)	PG (44)	
2	NE 48/63 SW 48/63	IHF (48), IFJ (52) IGH (44), IGJ (49)	PF (46)	
3	NE 72/63 SW 72/63	IHF (54) IGH (51)	PG (51)	VJ (40)

De lo anterior se concluye que el ángulo natural de la ladera (63 grados) es mayor que los máximos ángulos de seguridad para los diferentes cortes, por lo tanto el macizo requerirá de un tratamiento.

6.2.2 TUNEL DE DESVIO

El túnel de desvío para la Alternativa 4 se localiza en la margen izquierda del Río Presidio. Este sitio tiene las mejores características para una obra de este tipo, debido al curso que sigue el río y la topografía. El trazo del túnel propuesto alcanzaría una longitud aproximada de 320 m dividido en tres tramos: uno con dirección de norte a sur a lo largo de 230 m, el segundo con una longitud de 35 m con dirección NE 18 SW y el tercer tramo con una longitud de 55 m y orientación de NE 39 SW hacia el portal de salida. Este trazo se encuentra a 80 m al oriente del río y su portal de entrada se encontraría en el quiebre topográfico (Plano 2).

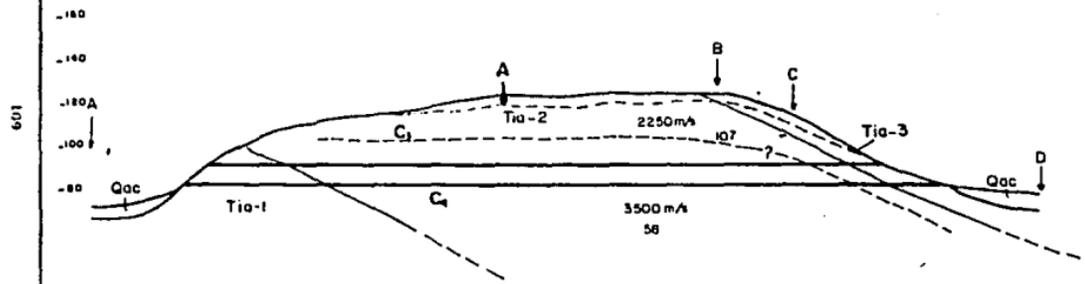
Portal de entrada y portal de salida. Según se observa en la sección geológica (Figura 6.7) y el Plano Geológico (Plano 2) el área del portal de entrada comprende la unidad Tia-1 correspondiente a una toba vítrea riolítica de color café rojizo, la cual contiene abundante contenido de vetillas de sílice que la hacen resistente. Después de unos 30 o 40 m aproximadamente se cortaría el contacto con la unidad Tia-2, que comprende a tobas líticas arenosas riolíticas color gris oscuro al intemperismo y café rojizo al fresco, de estructura masiva y fracturamiento de moderado a alto; sobre esta unidad se construiría el mayor desarrollo a lo largo de 230 m aproximadamente. Finalmente, el último tramo y el portal de salida se encontrarían en la unidad Tia-3, la cual consiste de tobas vítreas riolíticas color gris pardo, estructura masiva y concreciones de sílice orientados de 2 cm de diámetro.

Por otro lado, se observan tres unidades geofísicas para la zona donde se excavaría el túnel: la primera (A) que abarca de 1 a 9 m que comprende a suelo y roca muy fracturada y alterada con velocidades sísmicas entre 650-1200 m/s y resistividades entre 30-400 ohm/m; luego una zona (C3) con espesor de 7 a 21 m, que comprende a tobas ignimbriticas fracturadas y velocidades de 2100 a 2650 m/s así como resistividades de 60-190 ohm/m y por último, la zona (C4) con espesor de 8-17 m, la cual comprende a las tobas ignimbriticas poco fracturadas con velocidades de 2800-4050 m/s y resistividades entre 60 y 190 ohm/m. Considerando los suelos, roca alterada y roca poco fracturada, se tendría un espesor total aproximado de 20 m (Figura 6.7, Plano 4). Así mismo, se considera que el remover el material en los primeros metros hasta contar con un talud propuesto de 80 grados y considerando cuando menos un diámetro y medio arriba del túnel en lo que sería el portal de entrada, el volumen de roca que se eliminaría correspondería a roca decomprimida y fracturada.

A continuación se discute la estabilidad cinemática para la excavación subterránea del túnel de desvío.

Como en el caso de los análisis de estabilidad en cortes a cielo abierto, para excavaciones subterráneas se decidió utilizar el patrón estructural de la Alternativa 4 donde es posible determinar cuatro sistemas o familias principales de fracturas.

FIGURA 6.7 SECCION GEOLOGICA A TRAVES DEL TUNEL DE DESVIO
MARGEN IZQUIERDA DE LA ALTERNATIVA 4



ESC. 1: 2000

FAMILIA	ORIENTACION
F	040/47
G	217/44
H	123/90
J	267/81

Para que se forma una cuña en una excavación subterránea se necesita combinar al menos tres planos de fracturas y una cara libre (la bóveda o una pared del túnel). Conociendo el comportamiento estructural en el sitio y la orientación de las familias de discontinuidad, se puede anticipar la combinación de los sistemas F, G, H y J. Las dimensiones y pesos máximos de las cuñas estarán regidas por los claros de la excavación que se postulen, el espaciamiento de las fracturas y su persistencia.

Para estudiar la formación de cuñas en la bóveda de las excavación se empleó la proyección estereográfica que se muestra en la Figura 6.8 donde los planos de las familias de fracturas están representados como arcos.

Las intersecciones de estos planos forman como resultado cuñas que pueden ser potencialmente inestables a fallar por gravedad durante la excavación.

Como se observa en la Figura 6.8, las cuñas que se forman son medianas ya que la figura de intersección no abarca gran parte del estereograma. Las familias de discontinuidad básicas para la formación de cuñas son la F y G, mientras que las secundarias son H y J.

En los estereogramas se indican 3 líneas o secciones que corresponden a la dirección propuesta para cada uno de los tramos del túnel de desvío (Figuras 6.9, 6.10 y 6.11).

Para cada tramo, se analizó la posible formación de cuñas y su forma aproximada.

6.2.2.1 INESTABILIDAD POTENCIAL DE CUÑAS EN LA BOVEDA

En base a la proyección estereográfica que se muestra en la Figura 6.8 los planos de fracturas están representados como arcos, los cuales al intersectarse dan como resultado la formación de cuñas que serán potencialmente inestables al fallar por gravedad.

Para cada sección o tramo del túnel, se ha realizado un estereograma y se ha analizado la posible formación de cuñas y su geometría aproximada.

La línea de sección T1 representa la dirección del tramo de entrada del túnel; es el más largo (230 m) y su orientación es N-S. La línea T2 representa la dirección del tramo intermedio; su orientación es NE 18 SW (35 m); por último, la línea T3 representa la dirección del tramo de salida del túnel de desvío y

PICACHOS
RIO PRESIDIO

III

Familias:
V: 649/47
G: 217/44
H: 123/56
J: 267/81

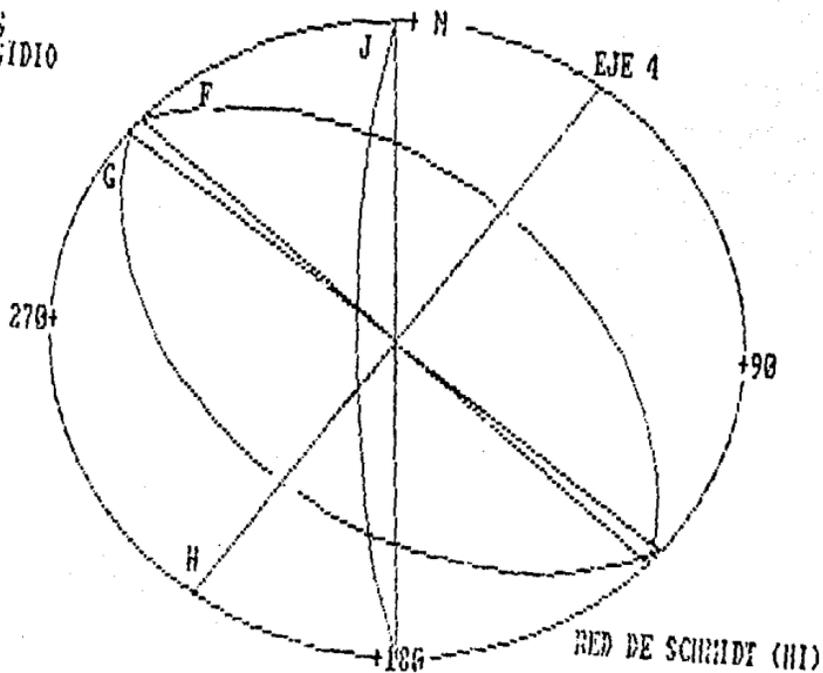


Fig. 6.8 Planos de fracturas representados como arcos

PICACHOS
RIO PRESIDIO

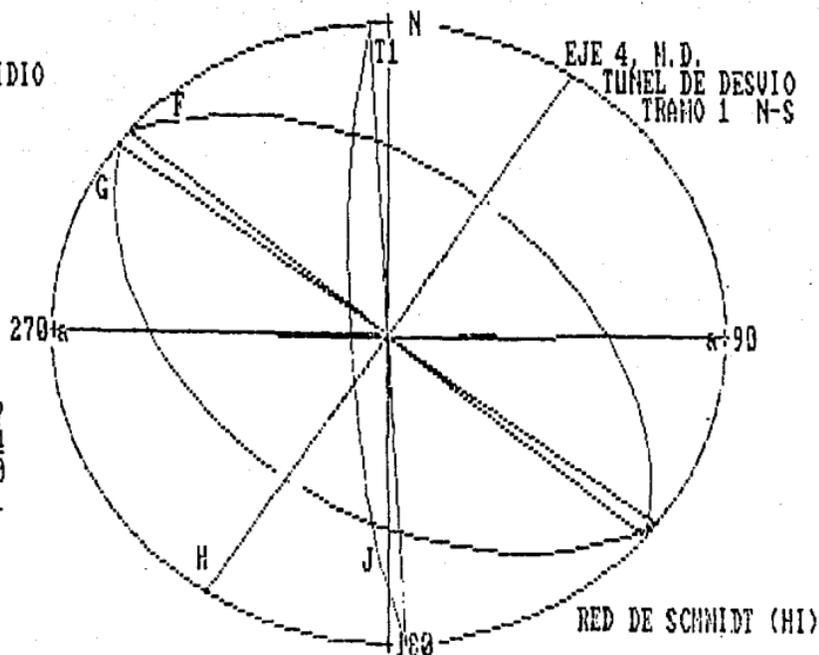
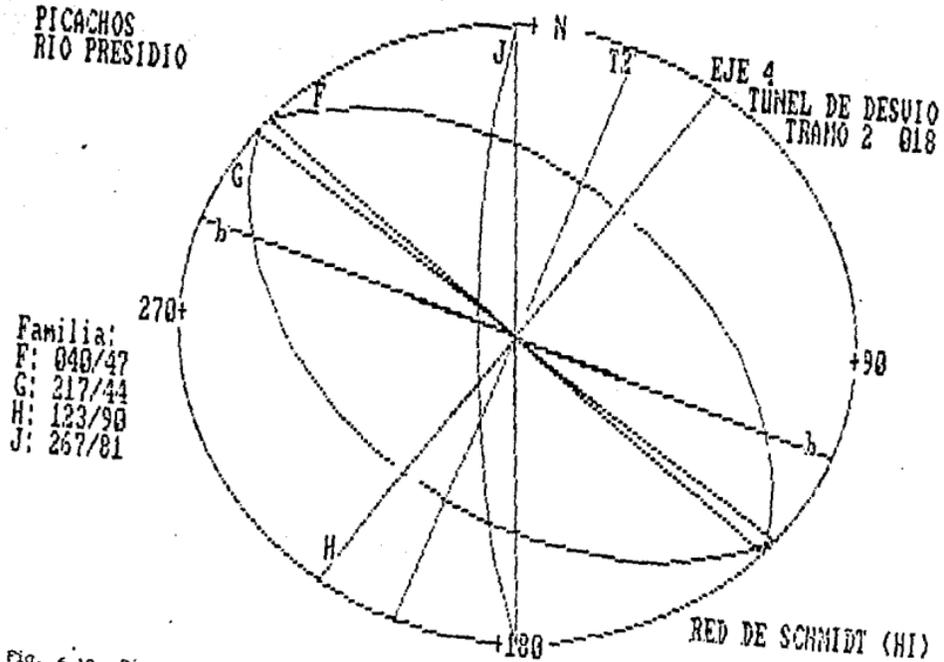


Fig. 6.9 Discontinuidades y dirección del tramo 1 del túnel de desvío.

PICACHOS
RÍO PRESIDIO



Familia:
F: 040/47
G: 217/44
H: 123/90
J: 267/01

Fig. 6.10 Discontinuidades y dirección del tramo 2 del túnel de desvío.

PICACHOS
RIO PRESIDIO

Familias
F: 040/47
G: 217/44
H: 123/90
J: 267/81

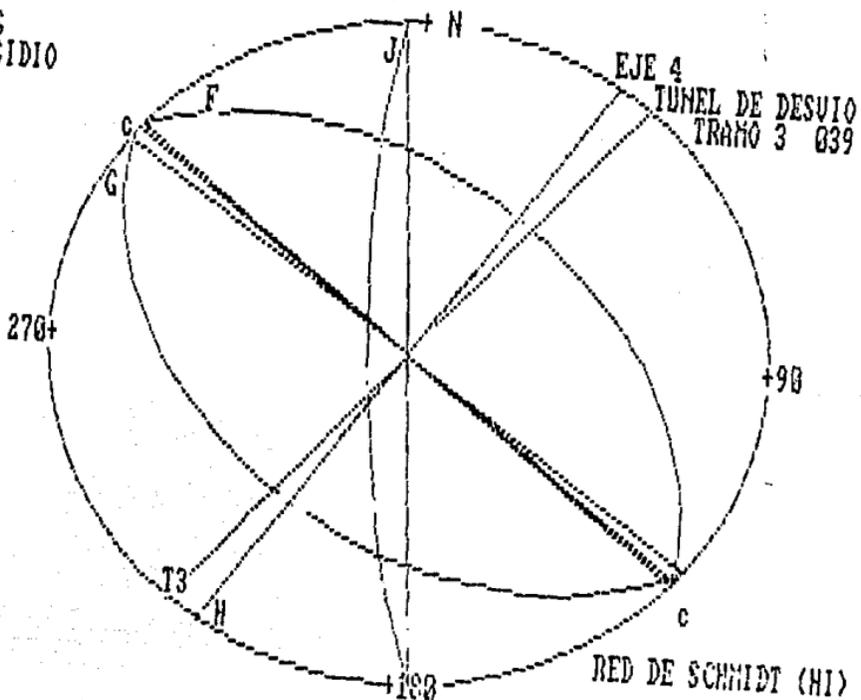


Fig. 6.11 Discontinuidades y dirección del tramo 3 del túnel de desvío.

su orientación es NE 39 SW, (55 m) (el tramo de salida del túnel se podría excavar en su última parte en canal y su orientación estará sujeta a las condiciones hidráulicas).

SECCION T1

Las Figuras 6.12, 6.13 y 6.14 ilustran las dimensiones y formas de la cuñas obtenidas de los análisis cinemáticos de estabilidad, que se formaron en la bóveda de la excavación. En este tramo se forman las cuñas: FGH, FJG y FJH y se presentan sus respectivas áreas, volúmenes y pesos. La cuña FJH es de gran tamaño, alcanza un peso casi de 1000 toneladas, por lo que se requeriría un anclaje sistemático, no así para las cuñas FGH y FJG, que por sus dimensiones es preferible que fallen en lugar de anclarlas.

SECCION T2

En las Figuras 6.15, 6.16 y 6.17 se muestran los análisis cinemáticos de estabilidad, donde las discontinuidades conforman cuñas en la bóveda del túnel: FJH, FGH y FJG con sus respectivas áreas, volúmenes y pesos; como en el caso anterior, la cuña FJH es de gran tamaño con peso de más de 600 toneladas, requiriendo un anclaje sistemático, en tanto a las cuñas FGH y FJG es preferible que fallen por sus dimensiones pequeñas.

SECCION T3

En las Figuras 6.18 y 6.19 se presenta el diagrama para el tramo del túnel de salida con las cuñas en la bóveda susceptibles de que tengan caída libre; estas cuñas son FJH y FJG, también en este tramo la cuña FJH alcanza dimensiones grandes con peso de 380 toneladas.

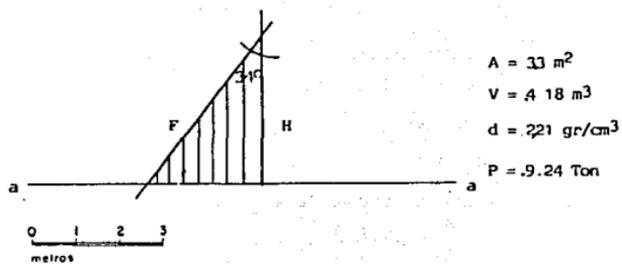
En los tres tramos analizados, las cuñas FJH y FJG sólo en el tramo 3 corresponden a las más importantes debido a las dimensiones que presentan, requiriendo un tratamiento a través de anclaje; las otras, es preferible que fallen en lugar de anclarlas.

En base al estudio realizado se cree adecuado que para eliminar este gran bloque formado por las familias FJH el eje del túnel debiera girarse o tratarse mediante anclaje sistemático, con el fin de que el volumen de las cuñas sean menores.

6.2.2.2 INESTABILIDAD POTENCIAL DE CUMAS EN LA PARED

Para realizar el análisis de cuñas potencialmente inestables que se formen en la pared de las excavaciones, se empleó la proyección estereográfica que se muestra en las Figuras 6.20, 6.21 y 6.22. En estas figuras los planos de fracturas están representadas por los semicírculos grandes.

Los análisis de estabilidad se realizaron para tres cuñas FGH, FJG y FJH, en ellos están las direcciones de los tramos del túnel: T1, T2 y T3 (entrada, intermedio y salida



T1

Figura 6.12 Cuña FGH, formada en el techo de la excavación subterránea. Tramo de entrada N-3 (230 m). Túnel de desvío, M.I.

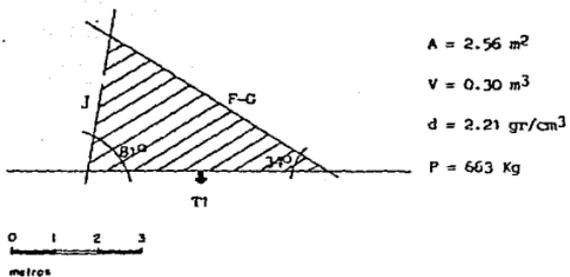
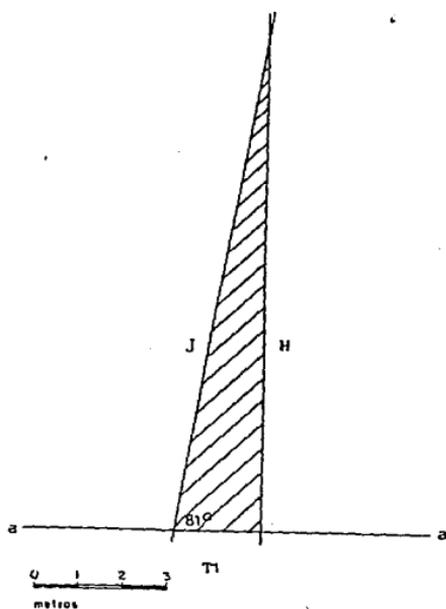


Figura 6.13 Cuña FJG, formada en el techo de la excavación subterránea. Tramo de entrada, N-3 (230 m) Túnel de desvío, M.I.



$$A = 102.13 \text{ m}^2$$

$$V = 427.24 \text{ m}^3$$

$$d = 2.21 \text{ gr/cm}^3$$

$$P = 944.2 \text{ Ton}$$

Figura 6.14 Cuña FJH, formada en el techo de la excavación subterránea. Tramo de entrada N-5 (230 m). Túnel de desvío M.I.

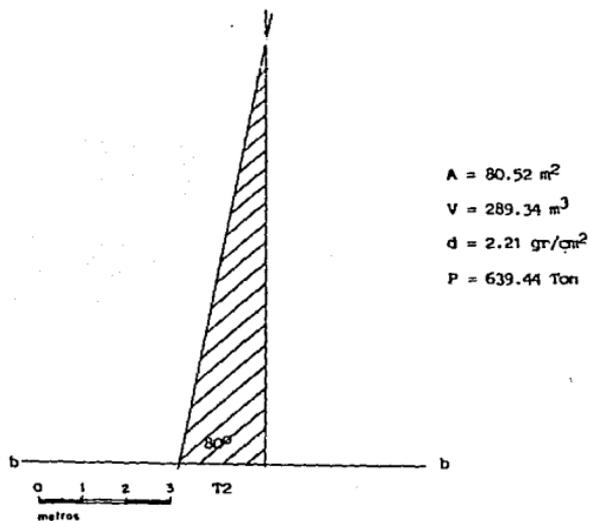


Figura 6.15 Cua FJH, formada en el techo de la excavación subterránea. Tramo intermedio NE 18° SW (35 m). Túnel de desvío, M.1.

$$\begin{aligned} A &= 3.18 \text{ m}^2 \\ V &= 2.65 \text{ m}^3 \\ d &= 2.21 \text{ gr/cm}^3 \\ P &= 5.86 \text{ Ton} \end{aligned}$$

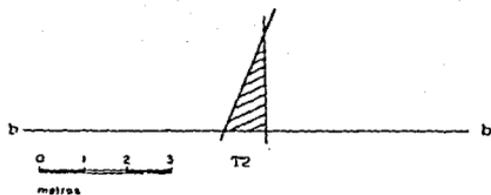


Figura 6.16 Cuña FGI, formada en el techo de la excavación subterránea. Tramo intermedio NE 16° SW (35 m). Túnel de desvío, H.I.

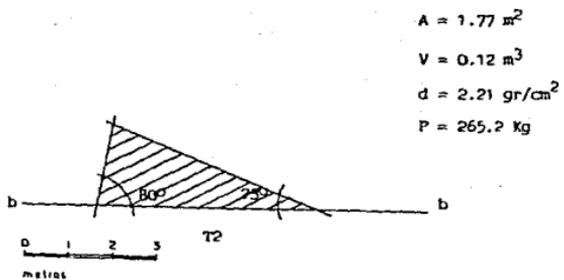
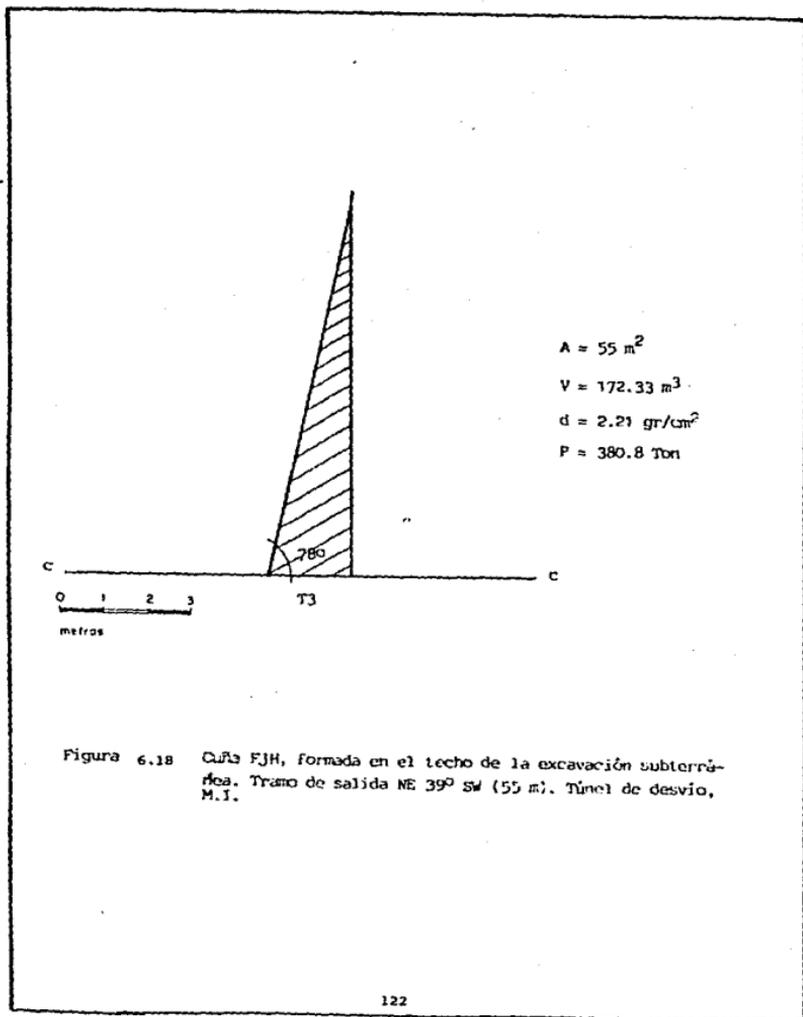
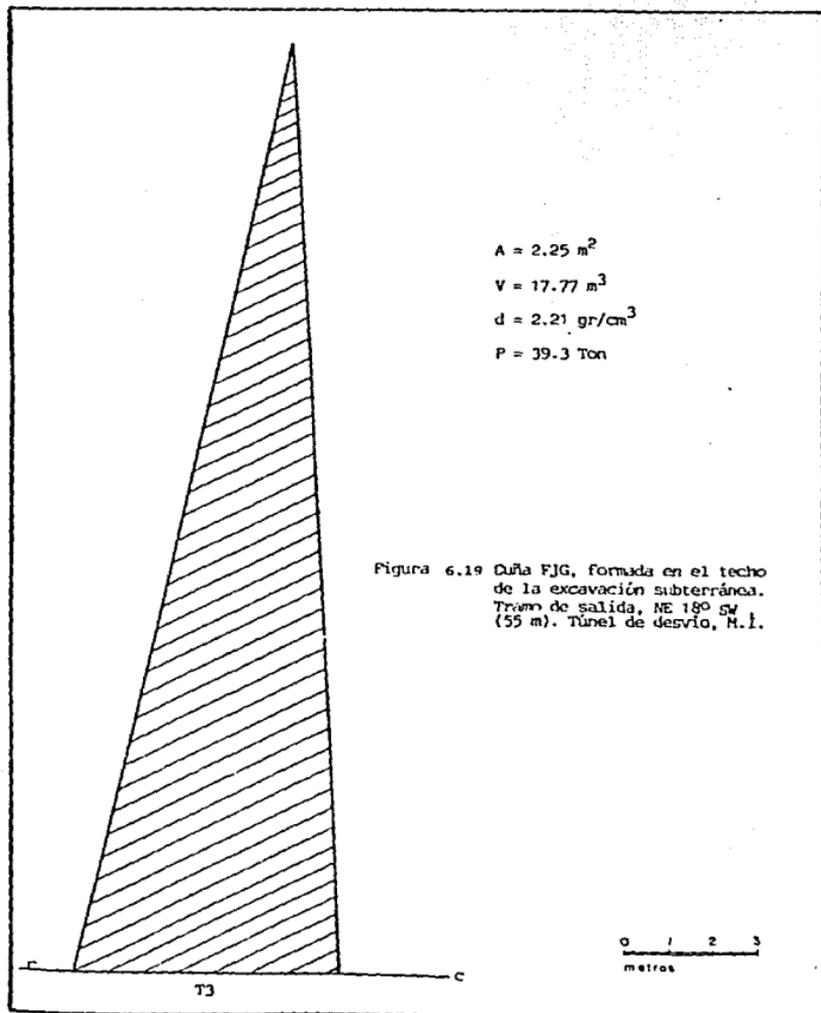


Figura 6.17 Cuña FJG, formada en el techo de la excavación subterránea. Tramo intermedio, NE 18° SW (35m) Túnel de desvío, M.I.





PICACHOS
RIO PRESIDIO

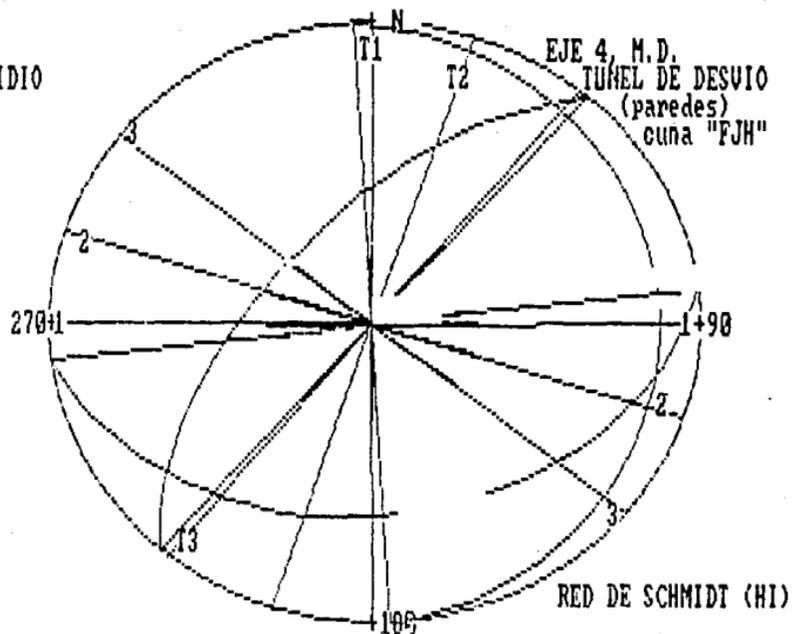


Figura 6.20 Diagrama estereográfico de arcos y tramo del túnel de desvío para la cuna "FJH".

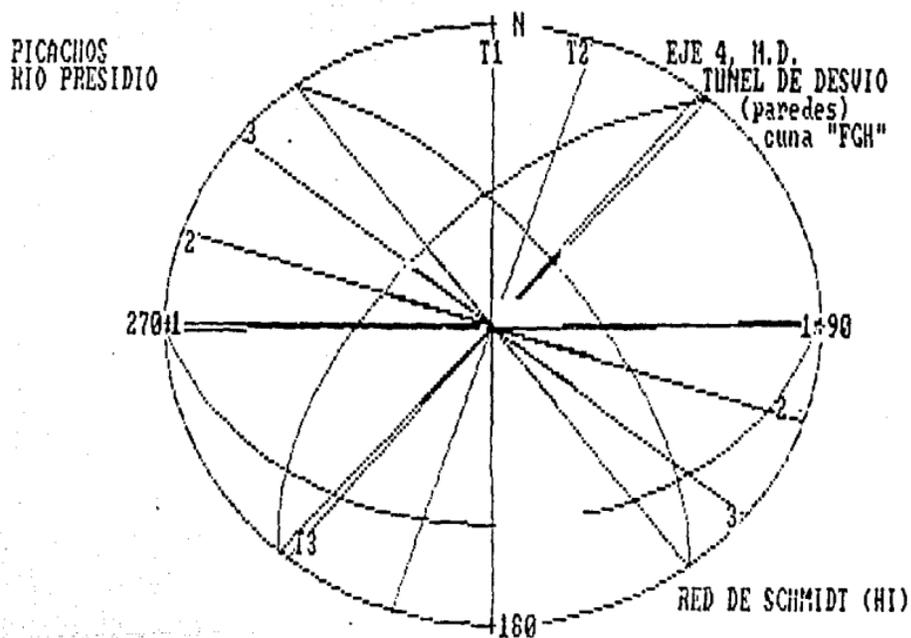


Figura 6.21 Diagrama estereográfico de arcos y tramo del túnel de desvío para la cuna "FGH".

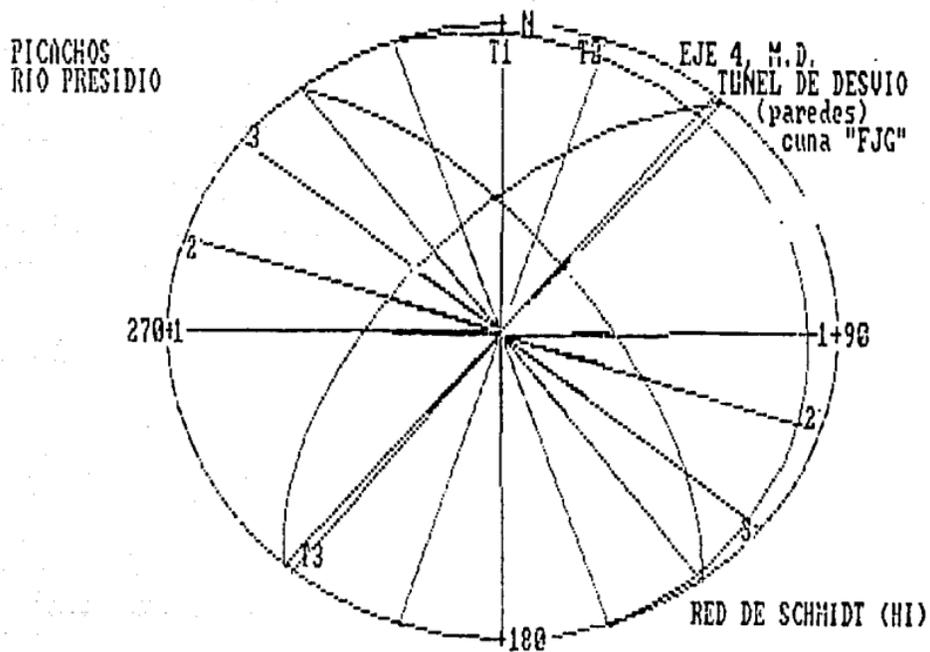


Figura 6.22 Diagrama estereográfico de arcos y tramo del túnel de desvío para la cuna "FJG".

respectivamente). Las secciones son ortogonales a las mismas.

SECCION T1

La sección 1-1 es una sección vertical que muestra la formación de cuñas en la pared vertical del tramo de entrada del túnel de desvío (Figura 6.23). Estas cuñas son generalmente lajas, cuyas áreas basales son amplias (50-300 m²) y alturas cortas (80-200 cm) que tenderán a desprenderse de la pared vertical y en parte de la sobreexcavación en el proceso de construcción del túnel. El fallamiento de las cuñas será por deslizamiento o por rotación, por lo tanto se recomienda un anclaje normal o casi normal a las paredes.

Las cuñas que se forman son: FJH, FGH, FJG y para la cuña FJG por sus dimensiones pequeñas, es preferible que falle en lugar de anclarla.

SECCION T2

La sección 2-2 muestra la formación de cuñas en la pared de la excavación, en el tramo NE 18 grados SW del túnel de desvío. Las cuñas que se forman en este tramo son: FJH, FGH, FJG (Figura 6.24) las cuales se forman por la combinación de las fracturas principales. Es recomendable que las lajas se sujeten con anclaje normal a las paredes, dadas las características geométricas de las mismas, es decir, áreas basales amplias y alturas muy cortas. Para la cuña FJG por sus dimensiones pequeñas es preferible que falle y no anclarla.

SECCION T3

La sección 3-3 muestra el análisis cinemático de estabilidad de las cuñas que se forman en las paredes del tramo de salida, con orientación NE 39 grados SW. Las cuñas son: FJH, FGH y FJG (Figura 6.25) y forman también lajas, las cuales fallan por deslizamiento o por rotación. Como en los casos anteriores dada la forma y las dimensiones de las cuñas, para la FJH y FGH se recomendaría anclaje casi normal a la pared y para la cuña FJG por ser pequeña, es preferible que falle en lugar de anclarla.

Para los tres tramos del túnel, las cuñas presentan características similares y sus deslizamientos son aproximadamente verticales dado que dos de las familias de discontinuidades (H y J) tienen echados a 90 y 80 grados respectivamente.

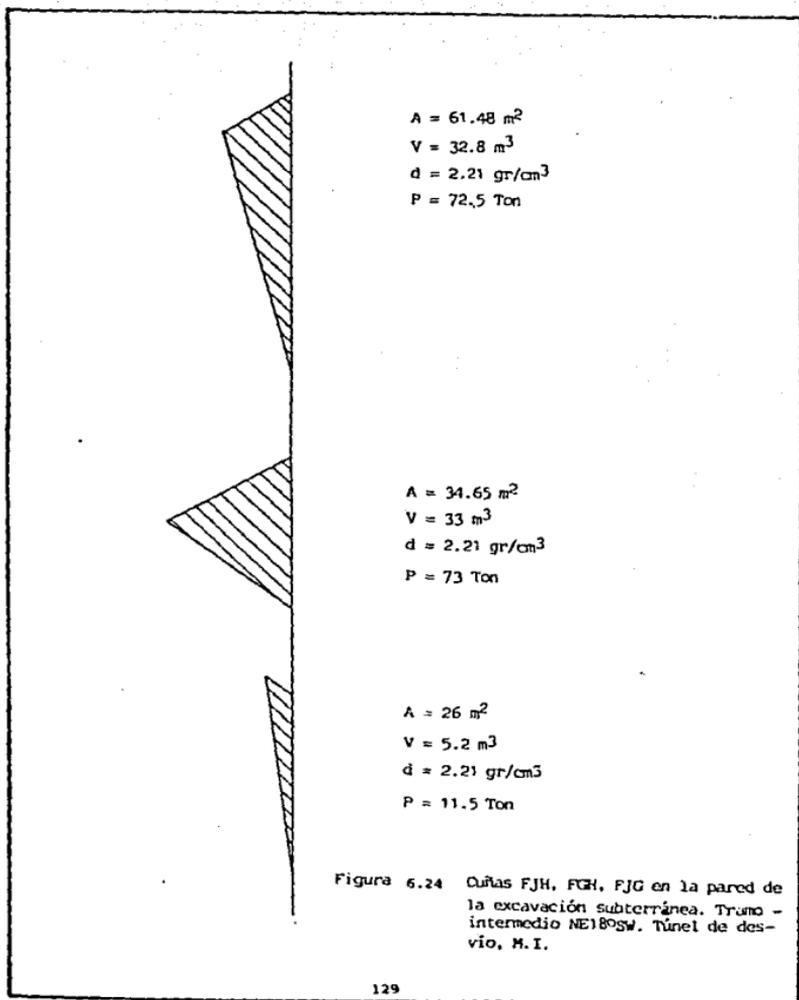


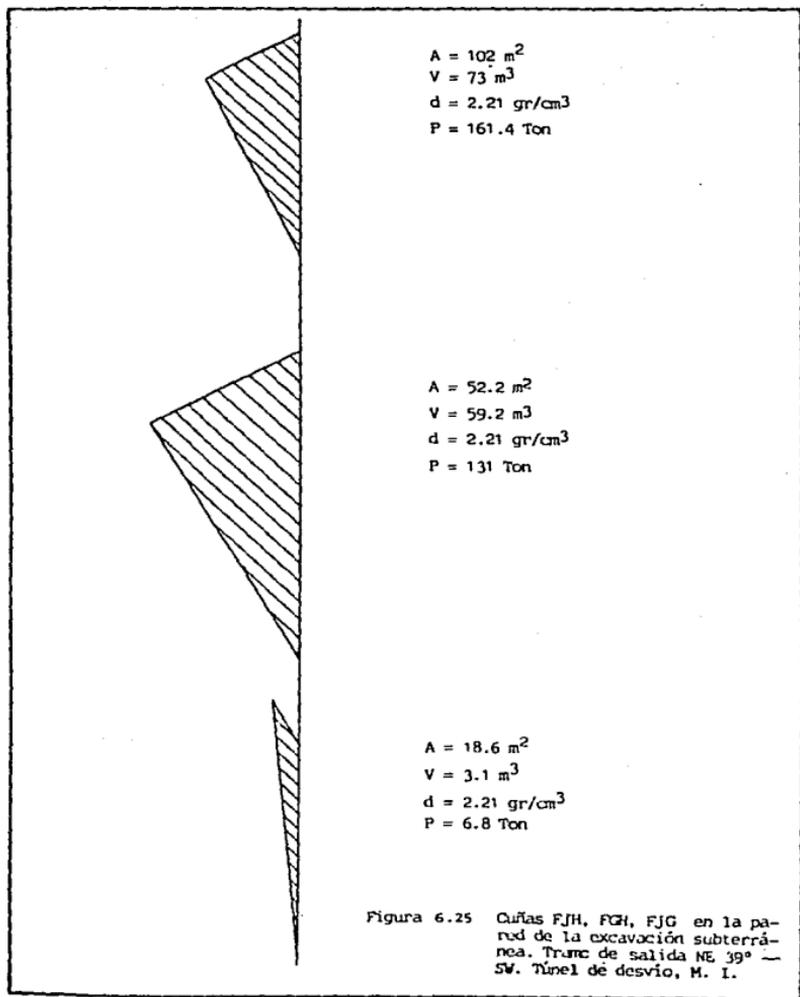
$$\begin{aligned}A &= 51.65 \text{ m}^2 \\V &= 25.8 \text{ m}^3 \\d &= 2.21 \text{ gr/cm}^3 \\P &= 57.1 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A &= 310 \text{ m}^2 \\V &= 222.2 \text{ m}^3 \\d &= 2.21 \text{ gr/cm}^3 \\P &= 491 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A &= 48 \text{ m}^2 \\V &= 13.6 \text{ m}^3 \\d &= 2.21 \text{ gr/cm}^3 \\P &= 30 \text{ Ton}\end{aligned}$$

Figura 6.23 Cuñas FJH, FGI, FJG en la pared de la excavación subterránea. - Tramo de entrada N-S. Túnel de desvío, M. I. .





7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

1. La alternativa 4 presenta las condiciones más adecuadas para desplantar una cortina de materiales graduados en el Cañón Picachos, sobre el Río Presidio.

2. La cortina se desplantaría sobre la unidad de tobas, misma que fue diferenciada en 4 subunidades. La corona tiene una longitud de 526 m, incluyendo un dique auxiliar en la margen izquierda.

3. Las unidades volcánicas presentan 4 sistemas de fracturamiento: F, G, H y J, de los cuales tres son principales y uno secundario. El primer sistema representa a una familia normal a la estratificación y la segunda a la pseudoestratificación; la tercera corresponde a un conjunto de fracturas semiverticales y la última familia tiene una orientación N-S, es semivertical y pudiera estar asociada a un sistema de cicalla.

4. Los materiales de limpia comprenden suelos, acarreos, terrazos y roca alterada o muy fracturada que a nivel del cauce presentan su mayor espesor, siendo del orden de 23 m hacia la margen derecha y de 5 m en la margen izquierda.

5. El macizo rocoso tiene baja permeabilidad primaria, pero es posible que la permeabilidad secundaria, por fracturas y fallas, sea la causa de que se incremente la permeabilidad y, por lo tanto, requiera algún tratamiento. El tratamiento del macizo rocoso para impermeabilización requerirá determinar las zonas de alta permeabilidad, por medio de pruebas en futuras exploraciones, las cuales deberán de tener especial atención en las zonas de falla.

6. En la zona del cauce se propone remover de 7 a 27 m del material de acarreos, para después excavar entre 3 y 5 m de roca decomprimida y alterada. Dependiendo del resultado de las exploraciones con perforación propuestas, se determinaran la densidad y el arreglo final del programa de tratamiento e inyección.

7. El espesor de limpia en las laderas es reducido y se considera en promedio de 2 m. En la margen izquierda las laderas y los cortes de los taludes se consideran estables; sin embargo, el margen derecha aunque no presenta evidencias de deslizamientos ni bloques caídos, es posible que presente problemas de inestabilidad para ciertas orientaciones en cortes para taludes.

8. Las obras auxiliares se localizarían de la siguiente manera: El vertedor de demasías lleva un trazo en tres direcciones y se aprovecharía el puerto de erosión que coincide con la falla que afecta a la subunidad Tia-1, mientras que el túnel de desvío sería de unos 300 m en un trazo prácticamente recto.

9. Se efectuó un análisis de equilibrio límite para los portales de entrada y salida del túnel de desvío, Eje 4, margen izquierda. El portal de entrada se encuentra afectado por una cuña formada por las familias F y J, la cual no presenta problema de inestabilidad cuando la superficie de deslizamiento se encuentra en estado seco, esto se comprueba al obtener un F_s mayor que 1; sin embargo, al agregarse los parámetros de presión de agua y coeficiente sísmico por voladuras, el factor de seguridad se hace menor que 1, inclusive llegar a ser negativo, por lo que se recomienda anclaje con la adición de estos parámetros. El portal de salida es afectado desfavorablemente por un deslizamiento de tipo plano, cuya dirección de salida es hacia el frente del talud, de aquí que se recomienda anclaje.

10. En la alternativa 4 se interpretan dos fallas, una en la margen izquierda (donde se forma un puerto de erosión) y otra en la margen derecha a nivel del cauce y casi paralelo a éste.

11. En la zona de estudio no se han observado fallas o estructuras que afecten a las unidades recientes del Cuaternario. Lo anterior corrobora lo establecido en el sentido de que la edad de la última deformación que afecta a las rocas de la región debe ser Mioceno Tardío y posiblemente del Mioceno Temprano (EXYCD, S. A., 1985. Inédito).

12. La margen izquierda de la Alternativa 4 se clasificó como de Resistencia Baja a Media con Módulo Relativo Alto, con RQD estimado de 82% que se clasifica como Bueno y caracterizada como L3,3 F2,3 S1,2 A2 de acuerdo al BGD. Según la clasificación de Barton tiene un índice Q de 9.11 que la cataloga como de Regular Calidad; mientras que conforme a la de Bieniawski tiene un RMR de 54 que también la cataloga de Regular Calidad; sin embargo, se establece que en algunas zonas el fracturamiento es fuerte, por lo que su calidad resulta mala en ambas clasificaciones.

13. La margen derecha de la Alternativa 4 se clasificó según Deer y Miller como de Resistencia Baja a Media aunque con Módulo Relativo Alto, con RQD estimado entre 82 y 92% que es de Buena Calidad y se caracterizó de acuerdo al BGD como L1 F3 S3 A2. Según la clasificación de Barton tiene un índice Q entre 13.67 y 15.33 que la cataloga de Buena Calidad; mientras que conforme a la de Bieniawski tiene un RMR de 69 que también la cataloga como de Buena Calidad. En resumen, las dos márgenes tienen una calidad geotécnica regular a buena según las diferentes clasificaciones.

14. En cuanto a los bancos de material, se analizaron en campo y en laboratorio a las tobas ignimbríticas, las cuales se consideraron como las rocas que presentaban las mejores condiciones de calidad para su uso como material de enrocamiento, estableciéndose la ubicación para dos bancos de roca. Por otro lado, los materiales granulares pueden explotarse sobre el cauce del río, los resultados de laboratorio señalan que predominan las arenas en una rotación de 311 sobre las gravas. Respecto a los bancos de arcilla, la única zona observada que presenta este material se ubica sobre el camino de Iquitos a Casap Vieja;

aunque es de buena calidad. Constituye un volumen escaso por lo que será necesario localizarlos en zonas más alejadas, hacia Pichilingue, aguas abajo del cañón.

7.2 RECOMENDACIONES

1. En base a la integración de los estudios geológico-geofísico-geotécnicos realizados en el Cañón de Picachos se recomienda construir la cortina en la Alternativa 4, ya que en este sitio se presentan las mejores condiciones geotécnicas. Sin embargo, previo al proyecto se recomienda realizar las actividades y estudios adicionales que a continuación se señalen.

2. Estudios adicionales.

Se recomienda un programa de exploración que contemple perforaciones con extracción de núcleos, pruebas de permeabilidad y geofísica de pozos, así como pruebas de laboratorio en los núcleos recuperados.

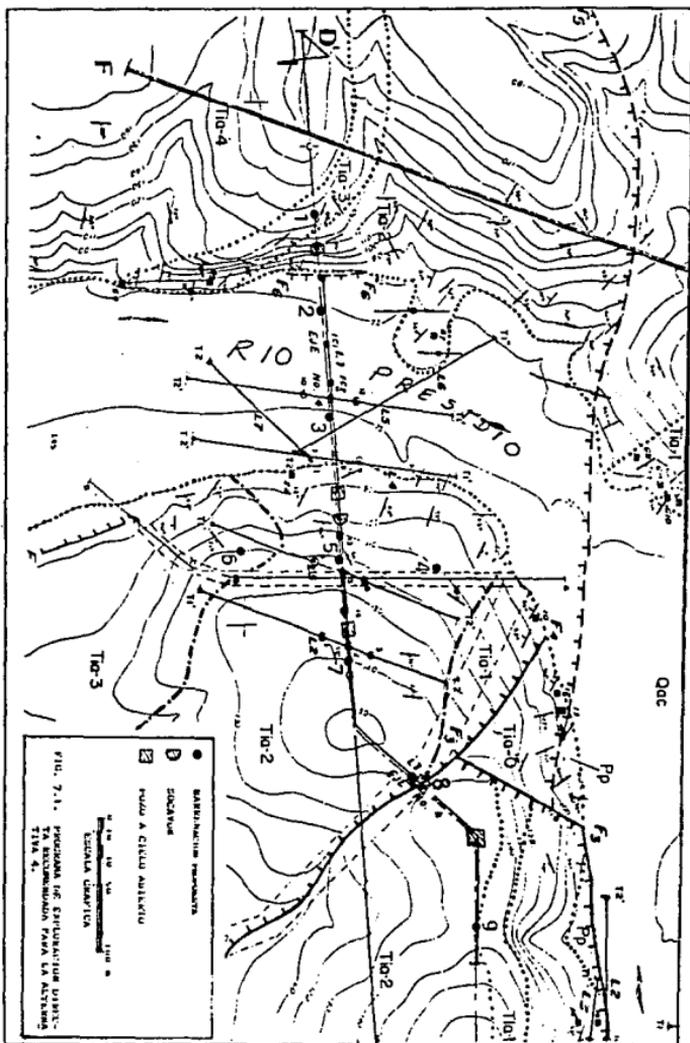
a) Programa de Barrenación.

El programa de barrenación propuesto persigue cuatro objetivos principales:

- 1) Comprobar el modelo geomecánico-geofísico.
- 2) Obtener toda una columna estratigráfica completa con muestras para el programa de pruebas de mecánica de rocas.
- 3) Verificar algunas zonas de anomalía detectadas con geofísica y las zonas interpretadas como de falla para determinar el comportamiento del macizo rocoso a profundidad.
- 4) Realizar pruebas "in situ" en los barrenos para determinar la permeabilidad del macizo rocoso, medición del estado de esfuerzos y módulos de elasticidad, así como la instalación de piezómetros.

En el programa de barrenación se proponen nueve perforaciones con un total de 525 m, distribuidas una en la margen derecha, dos sobre el cauce y 6 en la margen izquierda (cuatro sobre el eje dos más para explorar el túnel de desvío). Las profundidades y distribución de cada una se presenta en la Figura 7.1 y en el Plano 1; en la Tabla 7.1 se mencionan los objetivos particulares de cada barreno.

Es importante verificar el modelo geofísico, ya que gran parte de los valores obtenidos para hacer la evaluación geomecánica del macizo rocoso fueron obtenidos a partir de las pruebas de geofísica de campo. Este modelo tiene la virtud de abarcar un gran volumen de roca estudiada en comparación con los datos



puntuales de barrenación, donde la información estudiada se concreta a una línea; con la cual difícilmente se puede predecir el comportamiento de las rocas en una zona extensa como la de este proyecto.

Cabe aclarar que en un programa normal de exploración para este proyecto se habrían realizado unos 2000 m de perforación extra, con este trabajo se ha logrado ampliar notablemente el área de estudio y reducir en forma considerable el número de metros a perforar.

Descripción de Núcleos de Roca.

Se recomienda que en las perforaciones se lleve a cabo una recuperación continua de los núcleos de roca para tener una columna estratigráfica completa. Asimismo, se recomienda que los núcleos sean descritos según las normas del ISRM (1970), con determinación del Índice de Calidad de la Roca (RQD), a tramos de núcleo mayores de 10 cm de roca sana y compacta, con lo cual se podrá efectuar una correlación entre los estudios realizados y la obtención de datos que proporcionarán los núcleos de los barrenos.

Pruebas de Laboratorio a los Núcleos de Roca.

Debido a que a partir de la evaluación geomecánica se obtuvieron una serie de parámetros de cálculo, como el ángulo de fricción, la cohesión y módulos de elasticidad, es importante evaluar un factor de correlación que contemple la obtención de parámetros de cálculo de una manera directa, esto es, empleando resultados de pruebas de laboratorio.

La certificación de los estudios de estabilidad en excavaciones a cielo abierto, dependerá de las pruebas de laboratorio de mecánica de roca que permitan afinar los resultados obtenidos en esta etapa.

El programa de pruebas de laboratorio estará enfocado a la obtención de parámetros de resistencia, módulos de deformación estáticos y dinámicos, así como medición de densidades.

De los núcleos que se obtengan de la barrenación, se recomienda llevar a cabo las siguientes pruebas:

- Densidad en seco y saturado
- Carga puntual
- Resistencia a la compresión simple
- Módulo de elasticidad estáticos
- Resistencia a la compresión triaxial
- Resistencia a la tensión

TABLA 7.1

EXPLORACION CON PERFORACION CON DIAMANTE RECOMENDADO PARA LA ALTERNATIVA 4 DEL PROYECTO "PICACHOS"

NUMERO	PROF (m)	DIRECCION	INCLINACION (GRADOS)	O B J E T I V O S
1	70	Derecha	90	- Control estratigráfico y calidad de roca en las subunidades Tia-3, 2 y 1 - Conocer las características del fracturamiento a profundidad. - Conocer la permeabilidad del macizo rocoso
2	60	Cauce	90	- Determinar espesores y características de los acarreos - Conocer la permeabilidad de los materiales de acarreos y de la roca basal
3	60	Cauce	90	- Determinar espesores y características de los acarreos - Conocer la permeabilidad de los materiales de acarreos y de la roca basal
4	40	Izquierda	90	- Control litológico en la zona del túnel de desvío - Conocer la permeabilidad del macizo rocoso
5	50	Izquierda	90	- Control litológico bajo el eje de la cortina y en la zona del túnel de desvío - Verificar el espesor de limpia obtenido de la geofísica - Conocer la calidad geomecánica de la roca intacta y permeabilidad del macizo rocoso
6	50	Izquierda	50	- Control litológico en la zona del túnel de desvío - Conocer permeabilidad del macizo rocoso
7	70	Izquierda	70	- Control litológico bajo el eje de la cortina y en la zona del túnel de desvío - Verificar el espesor de limpia obtenido de la geofísica - Conocer la calidad geomecánica de la roca intacta y permeabilidad del macizo rocoso
8	50	Izquierda	50	- Verificar la falla interpretada - Control litológico en la zona del vertedor - Conocer la permeabilidad del macizo rocoso
9	75	Izquierda	90	- Control estratigráfico y calidad de la roca en la subunidad Tia-2, 1 y 0 - Conocer las características de fracturas a profundidad - Conocer la permeabilidad del macizo rocoso
Total 525 m				

También se recomienda la prueba sónica en los núcleos de roca con objeto de calcular módulos dinámicos de laboratorio para encontrar el factor de reducción real entre las pruebas de campo y laboratorio.

Pruebas de Campo en los Barrenos.

Se recomienda realizar un programa de pruebas de permeabilidad en todos los barrenos propuestos.

Para el caso de la roca, se llevarán a cabo pruebas Lugeon cada 5 m. En los barrenos del cauce se realizarán pruebas Lugeon en la roca basal, profundizándolos algunos 25 m bajo el acarreo hasta encontrar la roca impermeable.

Para la obtención de estados de esfuerzos en campo y la determinación de módulos de elasticidad "in situ", se recomienda utilizar el gato Goodman en los barrenos propuestos. Asimismo, se recomienda realizar pruebas de sismica de pozos con los arreglos Down-Hole y Cross-Hole.

b) Socavones.

Como resultado de los datos obtenidos de las perforaciones y de las pruebas de permeabilidad a realizar, y considerando que esta presa por la altura se considera como obra de importancia, podría ser necesario realizar un programa de excavación de socavones, que permitiría conocer en forma directa la calidad de roca y las filtraciones en el macizo rocoso, así como las características del fracturamiento de las rocas.

c) Pozos a cielo abierto

Se propone la excavación de tres pozos a cielo abierto en la margen izquierda. Los primeros dos pozos son con la finalidad de verificar los espesores de limpiá definidos con la exploración geofísica; el tercer pozo tiene como objetivo, mostrar las características del macizo rocoso en la zona del vertedor, donde se ha interpretado la presencia de una falla.

3. Bancos de Materiales

a) Enrocamiento

Se recomienda realizar dos perforaciones directas en cada uno de los bancos localizados, con la finalidad de verificar espesores de limpiá en el Banco 2 y definirlo en el Banco 1; asimismo se obtendrán núcleos de roca que nos indicarán posibles variaciones en la calidad de la roca en el subsuelo. A los núcleos se les someterá a las siguientes pruebas de laboratorio:

- Densidad en seco y saturado
- Resistencia a la compresión simple

- Módulos de elasticidad dinámicos

b) Materiales Granulares

De la exploración efectuada en diferentes puntos sobre el cauce, se estableció que las características de granulometría y composición litológica de los acarrees no varían sustancialmente de un sitio a otro, por lo tanto se pueden explotar los acarrees. Sin embargo, es conveniente no explotar los bancos explorados previamente en su totalidad (ya que estos se encaminaron básicamente para las alternativas 1, 2 y 3, ya que inicialmente se consideraron como las mejores opciones) de manera que será necesario explotarlos aguas abajo de la Alternativa 4, en cualesquier zona en la que se amplíe el cauce del río.

De la petrografía realizada en los acarrees se estableció que no se encuentran materiales deletéreos para el concreto. Sin embargo, se recomienda elaborar testigos cilíndricos de concreto con agregados provenientes de los acarrees y realizar, una vez fraguado el concreto durante 28, 60 y 90 días, láminas delgadas del testigo para observar la reacción del cemento con cada uno de los componentes litológicos de los acarrees.

c) Materiales arcillosos

Los bancos más cercanos a las alternativas se localizaron en el área de la Puerta de San Marcos y Casas Viejas, en estos lugares la arcilla es de buena calidad y se encuentra escasamente contaminada, sin embargo, los bancos son pequeños y poco continuos por lo que se requerirá ampliar la exploración de los bancos de arcillas aguas abajo, hacia la zona de Pichilingue, aunque la distancia se incrementa.

A P E N D I C E

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS DE CAMPO.

MUESTRA NO: Tia-0

LOCALIDAD: Rio Presidio, Sinaloa

DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO: Toba arenosa de color gris oscuro con estructura masiva y fracturamiento moderado. Se manifiestan planos de discontinuidades a favor de la pendiente, razón por la cual existen deslizamientos de bloques con tamaños de 40 cm hasta 1 m.

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA.

COLOR: Gris oscuro al intemperismo y al fresco.

ESTRUCTURA: Masiva

GRADO DE INTemperismo: Moderado

DISCONTINUIDADES: Fracturamiento

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA.

TEXTURA: Vitrofirica.

MINERALOGIA:

a) MIN. ESENCIALES

Oligoclasa-andesina y plagioclasas zonadas 4%

b) MIN. SECUNDARIOS

Biotita 1%

Líticos 2%

c) MIN. ACCESORIOS

Calcita 0.5%

Min. arcillosos 0.5%

Oxidos 1%

d) CEMENTANTE O MATRIZ

Matriz vítrea soldada 91%

4) REFRACCION: Moderada en feldespatos a arcilla.

Vidrio devitrificado.

Alta en Biotita.

IV. ORIGEN DE LA ROCA.

Ígneo extrusivo ácido.

V. CLASIFICACION.

Toba vítrea riolítica.

VI. EDAD DE LA ROCA.

Terciario Inferior.

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS DE CAMPO.

MUESTRA NO: Tia-1

LOCALIDAD: Río Presidio, Sinaloa

DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO: Toba vítrea de color café rojizo cuya característica principal es la de encontrarse estratificada con un rumbo de echado SW15°32'. Los planos de estratificación están separados 50 cm en promedio.

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA.

COLOR: Café rojizo al intemperismo y al fresco.

ESTRUCTURA: Pseudofluvial.

GRADO DE INTemperismo: Sana.

DISCONTINUIDADES: Fracturamiento.

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA.

TEXTURA: Vitrofirica.

MINERALOGIA:

a) MIN. ESENCIALES

Cuarzo 5%

b) MIN. SECUNDARIOS

Oligoclasa-andesina 3%

Líticos 1%

c) MIN. ACCESORIOS

Oxidos de Fe 1%

Mir. arcillosos Tz

d) CEMENTANTE O MATRIZ

Matriz vítrea soldada 90%

ALTERACION: Moderada en el vidrio devitrificado.

Alta en los feldespatos.

IV. ORIGEN DE LA ROCA.

Igneo extrusivo ácido.

V. CLASIFICACION.

Toba vítrea riolítica.

VI. EDAD DE LA ROCA.

Terciario Inferior.

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS DE CAMPO.

MUESTRA NO: Tia-2

LOCALIDAD: Río Presidio, Sinaloa.

DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO: Toba arenosa de color gris oscuro y aspecto masivo. Se encuentra afectada por un fracturamiento moderado, el cual no es evidente a nivel de muestra de mano. Los minerales observables son feldespatos, ferromagnesianos y vidrio en una matriz de grano fino.

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA.

COLOUR: Gris oscuro al intemperismo y al fresco.

ESTRUCTURA: Masiva

GRADO DE INTemperismo: Sema

DISCONTINUIDADES: Fracturamiento

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA.

TEXTURA: vitrofírica

MINERALOGIA:

a) MIN. ESENCIALES

Oligoclasa-andesina 5%

b) MIN. SECUNDARIOS

Sanidino 1%

Líticos 3%

c) MIN. ACCESORIOS

Oxidos de Fe 1%

d) CEMENTANTE O MATRIZ

Matriz vítrea 90%

ALTERACION: Moderada en feldespatos a arcilla.

Devitrificación de la matriz.

IV. ORIGEN DE LA ROCA.

Ígneo extrusivo ácido.

V. CLASIFICACION.

Toba vítrea riolítica.

VI. EDAD DE LA ROCA.

Terciario Inferior.

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS DE CAMPO.

MUESTRA NO: Tia-3

LOCALIDAD: Río Presidio, Sinaloa

DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO: Toba gris claro al intemperismo y gris pardo al fresco, presenta vetillas de sílice orientadas, con longitudes hasta de 40 cm, característica que proporciona al macizo una resistencia de moderada a alta.

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA.

COLOR: Gris claro al intemperismo y gris pardo al fresco

ESTRUCTURA: Masiva

GRADO DE INTIMPEFISMO: Sana

DISCONTINUIDADES: Fracturamiento

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA.

TEXTURA: Esferulítica-vitrofirica

MINERALOGIA:

a) MIN. ESENCIALES

b) MIN. SECUNDARIOS

Sanidino 1%

Oligoclasa 1%

c) MIN. ACCESORIOS

Oxidos 1%

d) CEMENTANTE O MATRIZ

Matriz vítrea 97%

ALTERACION: Moderada de feldespatos a arcilla.
Vidrio devitrificado.

IV. ORIGEN DE LA ROCA.

Igneo extrusivo ácido.

V. CLASIFICACION.

Toba vítrea riolítica.

VI. EDAD DE LA ROCA.

Terciario Inferior.

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS DE CAMPO.

MUESTRA NO: T1a-4

LOCALIDAD: Río Presidio, Sinaloa

DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO: Toba gris claro de aspecto masivo y fracturamiento moderado a alto; en cuyos planos se observan estrias, lo cual evidencia microfrazamiento.

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA.

COLOR: Gris claro al intemperismo y al fresco.

ESTRUCTURA: Masiva

GRADO DE INTEMPERISMO: Sana

DISCONTINUIDADES: Microfracturamiento

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA.

TEXTURA: Vitrofirica

MINERALOGIA:

a) MIN. ESENCIALES

Oligoclasa-andesina 4%

b) MIN. SECUNDARIOS

Cuarzo 2%

Líticos 2%

c) MIN. ACCESORIOS

Oxidos 3%

Min. arcillosos 2%

d) CEMENTANTE O MATRIZ

Matriz vítrea 89%

ALTERACION: Moderada en feldespatos (a arcillas).

Devitrificación de la matriz.

IV. ORIGEN DE LA ROCA.

Ígneo extrusivo ácido.

V. CLASIFICACION.

Toba vítrea riolítica.

VI. EDAD DE LA ROCA.

Terciario Inferior.

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS DE CAMPO.

MUESTRA NO: Banco de roca 1.

LOCALIDAD: Río Presidio, Sinaloa.

DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO: Ignimbrita de naturaleza riolítica de aspecto masivo con fracturamiento moderado en tres direcciones. Las fracturas son continuas y espaciadas entre 20 y 200 cm, dicho fracturamiento da lugar a formas tabulares formando bloques de hasta 2 m³.

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA.

COLOR: Rosa rojizo al fresco y al intemperismo.

ESTRUCTURA: Masiva.

GRADO DE INTEMPERISMO: Sano

DISCONTINUIDADES: Microfracturamiento.

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA.

TEXTURA: Vitroffrica.

MINERALOGIA:

a) MIN. ESENCIALES

Oligoclasa 3%

b) MIN. SECUNDARIOS

Sonidino 1%

Cuarzo 1%

Líticos 2%

c) MIN. ACCESORIOS

Oxidos 2%

d) CEMENTANTE O MATRIZ

Matriz vítrea 93%

ALTERACION: Devitrificación de la matriz.

Moderada en feldespatos.

IV. ORIGEN DE LA ROCA.

Igneo extrusivo ácido.

V. CLASIFICACION.

Toba vítrea riolítica.

VI. EDAD DE LA ROCA.

Terciario Inferior.

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS DE CAMPO.

MUESTRA NO: Banco de roca 2.

LOCALIDAD: Río Presidio, Sinaloa.

DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO: Ignimbrita café rojizo con textura lítica y estructura masiva afectada por cuatro direcciones preferenciales de fracturamiento. - Las fracturas se prolongan hasta los 10 m y con aperturas menores de 5 mm. Existe también gran cantidad de vetillas de sílice paralelas a la pseudoestratificación.

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA.

COLOR: Café rojizo al fresco y al intemperismo.

ESTRUCTURA: Masiva.

GRADO DE INTemperISMO: Sana.

DISCONTINUIDADES: Fracturamiento.

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA.

TEXTURA: Esferulítica.

MINERALOGIA:

a) MIN. ESENCIALES

Oligoclasa-andesina 10%

b) MIN. SECUNDARIOS

Cuarzo 3%
Líticos 2%

c) MIN. ACCESORIOS

Oxidos 2%

Min. arcillosos 2%

d) CEMENTANTE O MATRIZ

Matrix vítrea 83%

ALTERACION: Moderada en feldespatos a arcillas.
Vidrio devitrificado.

IV. ORIGEN DE LA ROCA.

Ígneo extrusivo ácido.

V. CLASIFICACION.

Toba vítrea riolítica.

VI. EDAD DE LA ROCA.

Terciario Inferior.

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS DE CAMPO.

MUESTRA NO: PCA-1

LOCALIDAD: Rfo Presidio, Sinaloa

DESCRIPCION DEL AFILORAMIENTO: Material mal clasificado de tamaño medio a grueso, compuesto de gravas y arenas - en una profundidad de 70 cm. En los siguientes 50 cm material húmedo con arena fina, limos y arcillas.

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA.

COLOR:

ESTRUCTURA:

GRADO DE INTEMPERISMO: Ligero

DISCONTINUIDADES: Ninguna

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA.

TEXTURA: Traquítica

MINERALOGIA:

a) MIN. ESENCIALES

Oligoclasa-andesina 78%

Hornblenda 15%

b) MIN. SECUNDARIOS

Cuarzo microcristalino 5%

c) MIN. ACCESORIOS

Hematita 2%

d) CEMENTANTE O MATRIZ

ALTERACION: Moderada

IV. ORIGEN DE LA ROCA.

Igneo intermedio.

V. CLASIFICACION.

Andesita de hornblenda. (Acarreos).

VI. EDAD DE LA ROCA.

Cuaternario.

ANALISIS PETROGRAFICO

I. DATOS DE CAMPO.

MUESTRA NO: PCA-1

LOCALIDAD: Río Presidio, Sinaloa.

DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO: Material mal clasificado de tamaño medio a grueso, compuesto de gravas y arenas en una profundidad de 70 cm. En los siguientes 50 cm material húmedo con arena fina, limos y arcillas.

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA.

COLOR:

ESTRUCTURA:

GRADO DE INTENSIFICACION: Moderado.

DISCONTINUIDADES: Fracturamiento.

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA.

TEXTURA: Hipidiomórfica.

MINERALOGIA:

a) MIN. ESENCIALES

Oligoclase-andesino y plagioclasas zonadas 58%

Cuarzo 15%

Hornblenda 20%

c) MIN. ACCESORIOS

Min. arcillosos 1%

Oxidos 1%

b) MIN. SECUNDARIOS

Biotita 5%

d) CEMENTANTE O MATRIZ

Matriz cristalina

ALTERACION: Alta en feldspatos, hornblenda y biotita.

IV. ORIGEN DE LA ROCA.

Ígneo intrusivo.

V. CLASIFICACION.

Granodiorita de hornblenda y biotita. (Acarreca).

VI. EDAD DE LA ROCA.

Cuaternario.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

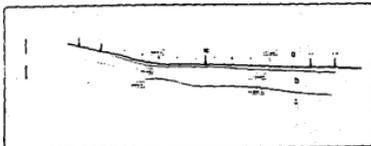
- Alencaster, Gloria. 1961. Estratigrafia del Triásico Superior de la parte central del Estado de Sonora. Paleontología Mexicana 11, Parte I, Instituto de Geología, UNAM, pp. 18.
- Atwater, T. 1970 Implications of Plate Tectonics for the Cenozoic Tectonic Evolution of Western North America. Bull. Geo. Soc. Amer., V. 81, pp. 3513-3536.
- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support Rock Mechanics, Vol. 6, No. 4, pp. 189-236.
- Bieniawski, Z. T. 1974. Geomechanics Classification of Rock Masses and its Application in Tunneling. Proc. Third International Congress on Rock Mechanics, ISRM, Denver, Vol. 11A, pp. 27-32.
- Bolt B. A., Lomnitz, C. and Mc Kevilly T. V. 1968 Sismological Evidence on the Tectonics of Central and Northern California and the Mendocino Escarpment. Seismol. Soc. Amer., Bull. V. 58, pp. 1725-1767.
- Bonneau M. 1969 (1970). Una Nueva Area Cretácica Fossilífera en el Estado de Sinaloa. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 32, No. 2, pp. 159-167.
- Bonneau, Michel. 1976. A proposito de la Edad Cretácica de los Afloramientos Volcánicos y Volcanoclasticos de la Región de Zihuatanejo, Guerrero (Sierra Madre del Sur, México). Acapulco, Cong. Lat. Amer. Geología 3, resúmenes.
- Carrillo, M. 1977. Notas Referentes al Paleozoico de San Jose de Gracia, Sinaloa., Resumen, Instituto de Geología, UNAM.
- Coney, P. J. and S. J. Reynolds 1977. Cordilleran Benioff Zones, Nature 270, pp. 403-405.
- Damon, P. E. Bikerman, M. 1964. Potassium-Argon Dating of Post-Laramide Plutonic and Volcanic Rocks within the Basin and Range Province of Southeastern Arizona and Adjacent Areas Arizona. Geological Society Digest, V. 7 pp. 63-78.
- Damon, P. E. and Mauger, R. L. 1966. Epeirogeny-Orogeny Viewed from the Basin and Range Province. Transactions Society of Mining Engineers, V. 235, pp. 99-112.

- Damon, P. E. y Montesinos, E. 1978. Late Cenozoic Volcanism and Metallogenesis over an Active Benioff Zone in Chiapas, México. Arizona Geological Society Digest, V. 11, pp. 155-168.
- Damon, P. E., Nieto, O. J. and Delgado, A. L. 1979. Geochronologic, Petrologic and Structural Data Related to Large Morphologic Features Between the Sierra Madre Occidental and the Mexican Volcanic Belt. Geophysical International Special Volume Dedicated to the Mexican Volcanic Belt.
- Damon, P. E., Shaffiquillah, M. y Clark, R. F. 1981. Age Trends of Igneous Activity in Relation to Metallogenesis in the Southern Cordillera. Geol. Soc. Digest Vol. XIV, Tucson, Arizona, pp. 137-354.
- Deere, D. V. and Miller, R. P. 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock. Technical Report No. AFHL-TR-65-116, Air Force Weapons Laboratory New Mexico.
- Dickinson, W. R. 1981. Plate Tectonic Evolution of the Southern Cordillera. Univ. of Arizona 85721, U.S.A. pp. 113-135.
- EXYCO, S.A. 1988. Estudio Geológico-Geofísico en el Subsistema Presidio-Culiacán Sinaloa. 229 pp. Informe inédito.
- Figueroa, J. A. 1971. Catálogo de Sismos Ocurridos en la República Mexicana (1900-1970). Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Fries, Carl. 1962. Reseña Geológica del Estado de Sonora, con Énfasis en el Paleozoico. Asoc. Mex. de Geólogos Petroleros, Bol. 14. pp. 257-273.
- Gastil, G., Morgan, G. and Krumbacher, D. 1981. The Tectonic History of Peninsular California. In Ernest, W. G. (Ed.) The Geotectonic Development of California. (Rubey Vol. 1) Prentice Hall, pp. 285-305.
- Henry, C. D. 1975. Geology and Geochronology of the Granitic Batholithic Complex, Sinaloa, México. Unpubl. Doctoral Dissert, Univ. Texas, Austin, 158 pp.
- Hoek, E. and Bray, J. W. 1977. Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy, Londres, 2da. ed. 402 pp.
- Ibarra, D. G. 1989. Análisis de Estabilidad de Taludes en las 4 Boquillas del Proyecto Picachos, Sinaloa. Tesis Profesional Inédita. UNAM.
- Instituto de Ingeniería, UNAM. Catálogo Sismológico.

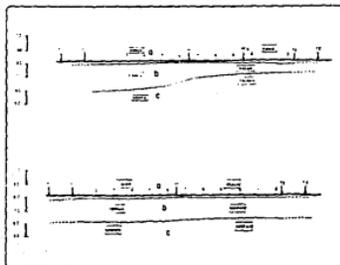
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCKS MECHANICS, (ISRM). 1960. Commission on Classification of Rocks and Rock Masses. Basic Geotechnical Description (R.G.D.).
- Karing, D. E. and Jensky, W. 1972. The Proto-Gulf of California. Earth and Planetary Science Letters, V. 17, pp. 169-174.
- Keith, S. B. 1978. Paleo-Subduction Geometrics Inferred from Cretaceous and Tertiary Magmatic Patterns in Southwestern North America. Geology, V. 6, pp. 516-521.
- Larson, R. L. Menard, H. W., and Smith, S. M. 1968. Gulf of California a Result of Ocean Floor Spreading and Transform Faulting. Science, V. 161, pp. 781-784.
- Leon, V. M. y Pedraza, S. P. 1968. Informe Geológico Exploratorio Complementario del Proyecto Picachos, Municipio de Mazatlán, Estado de Sinaloa. DGSCOH, SARH.
- Mckenzie, D. P. and Morgan, W. J. 1969 Evolution of triple junctions. Nature, V. 224, pp. 125-133.
- Mc Dowell, F. W. y Clabaugh, S. E. 1981. The Igneous History of the Sierra Madre Occidental and its Relation to the Tectonic Evolution of Western Mexico. Revista Instituto de Geología, Vol. 5, No. 2, pp. 195-206.
- Morán, Z. D. 1984. Geología de la República Mexicana. Facultad de Ingeniería, UNAM; INEGI. pp. 15-30.
- Ortega, G. F. 1977. Reconocimiento preliminar de la geología de la Hoja Tamazula, Estado de Sinaloa. Instituto de Geología, UNAM.
- Raisz, E. 1964. "Landforms of México". Map Prepared for the Geography. Branch of the office Naval Research. Second Escala 1:3000,000, Lambridge, Mass.
- Rangin, C. 1978. Consideraciones sobre la evolución geológica de la parte septentrional del estado de Sonora. Libroto Guia del Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero del estado de Sonora. Hermosillo, Sonora. Instituto de Geología, UNAM. pp.35-75.
- Redpath, B. Bruce. 1973. Technical Report E-73-4 Sismic Refraction Exploration for Engineering site Investigations. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station Explosive Excavation Reserch Laboratory, Livermore, California.
- Rodríguez, R. y Córdoba, D. A. 1978. Atlas Geológico de Evaluación Geológico-Minera del Estado de Sinaloa. Instituto de Geología, UNAM y Secretaría del Desarrollo Económico del Estado de Sinaloa, 702 pp.

- Servais M., Rojo Y. R. y Colorado L. D. 1982. Estudio de las Rocas Básicas y Ultrabásicas de Sinaloa y Guanajuato. Postulación de un Paleogolfo de Baja California y de una Digitación Tethysiana en México Central. Revista Geomimet no. 115 ene./feb., C.R.M.
- Silver, L.T. and Anderson, T. H. 1974. Possible Left-Lateral Early to Middle Mesozoic Disruption of the South Western North America Craton Margin. Geol. Soc. of America Abs., With Programs. V. 6, 955 pp.
- Trillo, R. M. 1984. Informe Geológico Exploratorio y de Pruebas de Permeabilidad de las Boquillas para Presa de Almacenamiento "Picachos I y II" ubicadas sobre el Río Presidio, Municipio de Mazatlán, Estado de Sinaloa. Dirección General de Estudios, SARH.
- Zavala, J. R. 1979. Bosquejo Geológico y Geotécnico de las Provincias Fisiográficas de México. Tesis, UNAM. (Ing. Geólogo).

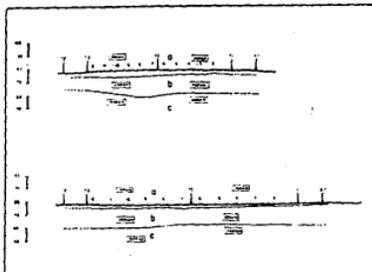
BANCO DE ROCA



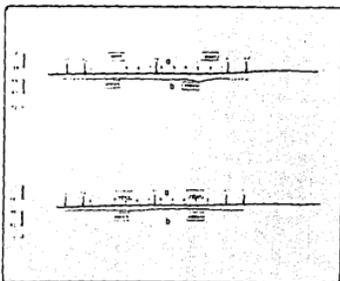
BANCO DE GRAVA



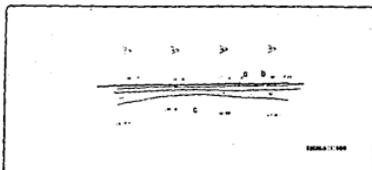
BANCO DE GRAVA ARENA



BANCO DE ARENA



BANCO DE ARCILLA



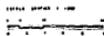
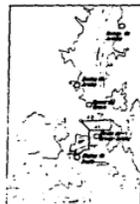
RESULTADOS GEOFISICOS EN BANCOS DE MATERIAL

TIPO DE MATERIAL	Vel. Característica	ESPESOR	VELOCIDAD
SABANA ARENA	1	0.00 - 0.05	1000 - 1200
	2	0.05 - 0.10	1200 - 1500
	3	0.10 - 0.20	1500 - 2000
ARENA	4	0.00 - 0.05	1000 - 1200
	5	0.05 - 0.10	1200 - 1500
	6	0.10 - 0.20	1500 - 2000
ARCILLA	7	0.00 - 0.05	1000 - 1200
	8	0.05 - 0.10	1200 - 1500
	9	0.10 - 0.20	1500 - 2000
EMPICAMIENTO	10	0.00 - 0.05	1000 - 1200
	11	0.05 - 0.10	1200 - 1500
	12	0.10 - 0.20	1500 - 2000
ARCILLA	13	0.00 - 0.05	1000 - 1200
	14	0.05 - 0.10	1200 - 1500
	15	0.10 - 0.20	1500 - 2000

SIMBOLOGIA

- VALOR DE EMPLAZAMIENTO DEL BANCO MATERIAL
- VALOR DE VELOCIDAD EN 60 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 120 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 180 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 240 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 300 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 360 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 420 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 480 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 540 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 600 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 660 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 720 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 780 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 840 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 900 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 960 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 1020 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 1080 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 1140 M/S
- VALOR DE VELOCIDAD EN 1200 M/S

LOCALIZACION DE EMPICAMIENTOS



U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERIA
 PERFILES GEOFISICOS EN BANCOS DE MATERIALES
 ULISES ABBALON MARTINEZ
 GRACIELA DELGADO SOLORIZANO
 P. 5 Esc: 1:000 ACS/PR TESIS PROFESIONAL