

**EXPLORACIÓN GEOLÓGICA PARA UN TÚNEL QUE SE CONSTRUIRÁ
EN LOS KMS. 658+640 Y 658+730 DE LA CARRETERA EN PROYECTO
TUXPAN - SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.**

ELABORADO PARA:

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO
PRESENTA
ROLANDO VERDE ABUNDES**

MARZO / 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sobre todas las cosas a Dios quien me dio la oportunidad de volver a nacer.

A mis padres por darme su apoyo y confianza, a ti mamá por ser una persona excepcional, por tu apoyo, por tu amor del cual siempre he disfrutado, por tu enseñanza a vivir, a ti Papá por tu gran apoyo y por tener el valor de seguir adelante.

A mis hermanos Manuel, Almita, Gaby, Alex, Noé, por su apoyo y por compartir tantas cosas de niños; siempre hay algo que aprender de todos ustedes.

A todos mis sobrinos, Arlethe, Joshua, Kevin, Eduardo, Ariel, y Alam, por darme su amor y cariño.

A ti Verito por darme tu apoyo infinitamente grande e incondicional, por tu gran amor y paciencia en todos estos años.

A la familia Barragán por acogerme con su cariño y su confianza.

Agradezco al Sr. Ingeniero. Luis Arturo Tapia Crespo profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México por su revisión, por sus atinados comentarios y sus observaciones para la realización de este trabajo.

Agradezco a mis sinodales:

Ing. Leovigildo Cepeda Dávila, Ing. Fernando Rosique Naranjo, Ing. Juan José Medina Ávila, Ing. José Luis Arcos Hernández, por compartirme sus conocimientos en todo este tiempo en mi formación profesional, por sus observaciones atinadas, por el tiempo invertido para este trabajo y por su amistad.

A mis amigos de la facultad; Mario Montes, Leonardo Ibarra, Fabián, Ely, Natalia Reyes Betzabe Cortes, Carolina Cortes, Federico Landa, Leonardo Jiménez, Alberto Monroy, muchas gracias por su amistad, por tantos días de convivencia que enriquecieron mi vida.

Agradezco a la empresa Geotecnia S, C por su gran apoyo para realizar este trabajo, al Sr. Ingeniero Armando Rabago Martín por su confianza y por compartirme sus conocimientos, a los Señores Ingenieros, Horacio Escalante y Juan Carlos Romero por su amistad y confianza, al Sr. Mauricio por su apoyo para la realización de este trabajo y al Dr. Luís Chavelas por sus enseñanzas.

Agradezco infinitamente a todos mis profesores desde mi formación básica hasta mi formación profesional, que al otorgarme sus conocimientos edificaron los cimientos para lograr esta meta.

A mi bendita UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO mi alma mater.

A la FACULTAD DE INGENIERÍA por mi formación profesional.

¿Quién detendrá la caída inminente?
¿Quién saldrá?
Quienes edificaron los muros callaran
de lo que pudo ser un túnel perfecto
solo quedó el recuerdo oscuro, triste y perpetuo
fugaz e inerte de los hombres mineros
ahora duermen con el cobijo de la soledad.

En recuerdo a los mineros acaecidos.

Rolando Verde Abundes

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

DEDICATORIA

A ti Mamá

Por darme la oportunidad de ser alguien en la vida, por tu gran amor, cariño, confianza, y sobre todo tu apoyo incondicional.

Í N D I C E

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Objetivo del trabajo.	
1.2 Método del trabajo.	
2. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EXPLORADO DEL TÚNEL.	3
2.1 Clima.	
2.2 Características del Túnel.	
2.3 Drenaje.	
3. GEOLOGÍA REGIONAL Y MARCO TECTÓNICO.	5
3.1 Fisiografía y Geomorfología.	
3.2 Geología Regional.	
3.2.1 Estratigrafía.	
3.2.2 Cretácico Inferior Marino (Kim).	
3.2.3 Cretácico Superior Marino (Ksm).	
3.3 Marco Tectónico Regional.	
3.4 Interpretación Fotogeológica.	
4. GEOLOGÍA LOCAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.	10
4.1 Descripción litológica del Túnel.	
4.2 Descripción litológica detallada de los sondeos.	
4.2.1 Descripción de las discontinuidades.	
4.2.2 Discontinuidades en los portales.	
4.2.3 Discontinuidades en los sondeos.	
4.3 Índice de recuperación (%REC) y calidad de la roca (%RQD).	

5.	EXPLORACIÓN GEOFÍSICA.	19
5.1	Túnel.	
5.1.2	Sísmica de refracción.	
5.1.3	Sondeos eléctricos verticales.	
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	23
6.1	Conclusiones.	
6.2	Recomendaciones.	
	REFERENCIAS.	26
	ANEXO I. FIGURAS.	27
	ANEXO II. FOTOGRAFÍAS.	28
	ANEXO III. PLANTA Y PERFIL DE INTEGRACIÓN GEOFÍSICA.	29
	ANEXO IV. PLANTA Y PERFIL DE INTEGRACIÓN GEOLÓGICA.	30

RESUMEN

La zona de estudio se sitúa dentro de la Provincia Fisiográfica conocida como la Sierra Madre Oriental y parte de la Mesa Central; el clima en la zona de la Huasteca es semicálido con temperatura media anual de 22° C identificada por recibir abundantes precipitaciones anuales. Se caracteriza por estar en un ambiente cárstico con alta disolución, compuesta por estructuras montañosas plegadas debido a los esfuerzos tectónicos producidos por la Orogenia Laramide y el posterior levantamiento de la plataforma Valles-San Luis; las formas del relieve se constituyen por anticlinales y sinclinales que han sido erosionados través del tiempo.

El proyecto del túnel se localiza a 7 Km. del municipio de Tamasopo en la región oriental del estado de San Luis Potosí. El área de estudio se encuentra enmarcada por rocas de diversas litologías, cuya edad fluctúa del Cretácico Inferior marino (Kim) al Cretácico Superior marino (Ksm), las cuales comprenden rocas marinas de origen sedimentario, calizas wackestone, calizas arenosas, margas y aluvión, correspondientes a las formaciones El Abra y San Felipe, respectivamente.

El túnel presenta las siguientes características:

Una longitud de 90 m con un alineamiento horizontal en curva circular izquierdo de 4°30' y un alineamiento vertical tangente con pendiente de -2% a lo largo del portal de entrada, cuyo claro es de 12 m; la altura de la razante a la clave es de 8.10 m; el encape máximo de roca a partir de la clave al punto mas alto del cerro es de 37 m.

El macizo rocoso arrojó valores promedio de índice de calidad de la roca (RQD) en tramos de roca poco fracturada mayores a 10 cm. Para el sondeo uno se tuvo un RQD de 80 % al 90 % que la definen de buena a excelente calidad; esta roca se presenta compacta con un fracturamiento moderado. Para el sondeo dos se presentó una recuperación del orden de 10 % al 20 % indicando que se encontró con una roca de mala calidad, un tanto alterada y fracturada; finalmente para el sondeo tres se logró una recuperación del 50 % al 70 % que define a una roca de buena calidad, poco alterada y fracturada. Estos sondeos cortaron a la unidad determinada como caliza arenosa, localizada en el sitio explorado.

La sísmica de refracción obtuvo tres unidades; la unidad uno registró velocidades de 150 – 170 (m/s) y espesores de 0.3 – 3.3 m, asociada a suelo residual o roca muy fracturada y alterada; la unidad dos obtuvo velocidades de entre 450 – 550 (m/s) y espesores de 0.2 a 6.7 m, que corresponden a la caliza arenosa poco alterada. Finalmente la unidad tres, con velocidades de 1200 a 1250 (m/s) y espesor indefinido, se asocia a la caliza arenosa poco fracturada y sana.

Se concluye que el objetivo principal de esta investigación geológica, geotécnica es tener la información suficiente, cuya consulta sea la base para los trabajos futuros para el diseño del túnel, tales como geología, mecánica de rocas, mecánica de suelos o cualquier otra disciplina que tenga una finalidad constructiva.

1. INTRODUCCIÓN

La presente tesis agrupa los trabajos de investigación geológica, geofísica y geotécnica sobre la zona donde se construirá el túnel; siendo el modelo geológico la base esencial que permitirá el análisis y diseño del mismo.

Actualmente en la Republica Mexicana, la red federal de carreteras cuenta con más de 43,000 kilómetros de carreteras libres de peaje, las cuales tienen una amplia cobertura del territorio siendo uno de los elementos más importantes del sistema carretero nacional y atienden flujos de vehículos de todas clases. La mayoría de los tramos de la red se construyeron hace varias décadas, y durante el transcurso de su vida útil estos tramos han tenido que atender crecientes volúmenes de tránsito, vehículos de mayores pesos y dimensiones y enfrentar cambios importantes en sus condiciones operativas y de seguridad. Como consecuencia, el sistema carretero nacional tiene amplia necesidad de mejoramiento y adaptación de tramos. La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) tiene identificados múltiples proyectos rentables de inversión en modernización o ampliación de carreteras que no pueden llevarse a cabo por la falta de recursos de inversión. Por otra parte, el mejoramiento de carreteras existentes que no cuenten con una fuente de pago propia no es actualmente factible en México, debido a la imposibilidad de cobrar peajes en tramos carreteros que desde su puesta en operación han sido libres de cuota. En la práctica, lo anterior lleva a que este tipo de proyectos tengan que ser financiados con recursos presupuestales. Ante la escasez de recursos públicos para inversión en infraestructura, la modernización y ampliación de la red federal de carreteras no puede avanzar al ritmo que requiere el país.

La realización de esta nueva carretera concesionada tiene la finalidad de acortar tiempos y ofrecer mayor seguridad, pues es necesario el desarrollo de nuevas vías de comunicación que aseguren la demanda de los usuarios y el desarrollo económico regional, en zonas de alto potencial turístico, como la Huasteca Potosina

1.1 Objetivos del Trabajo

1. Realizar la exploración geológica para contar con datos suficientes que serán de utilidad en el análisis y diseño de un túnel que se construirá en los kilómetros 658 + 640 y 658 + 730 de la carretera en proyecto Tuxpan – San Luis Potosí, cuya información será la base del seguimiento de los trabajos de geología durante el desarrollo de la obra.
2. Determinar las condiciones geológicas mediante las características litológicas, estructurales y físicas del macizo rocoso en su conjunto que servirán para la elaboración del modelo geológico de la zona.
3. Integrar un estudio geofísico y geotécnico sobre el trazo del túnel, como complemento del modelo geológico, a través de sondeos eléctricos verticales, tendidos sísmicos de refracción y finalmente sondeos exploratorios descritos a detalle.

1.2 Método de Trabajo

En este informe se describen los resultados de los levantamientos geológicos, geotécnicos de detalle y estudios geofísicos, efectuados en las zonas donde se construirá el túnel.

El estudio comprendió la revisión bibliográfica, el análisis morfológico del plano topográfico de las hojas Ciudad Valles, Rascón F14C19, 1:50000 y la interpretación geológica de las fotografías aéreas proporcionadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) donde se localiza el túnel.

El reconocimiento geológico en campo y levantamiento de detalle consistió en identificar las diferentes unidades litológicas y los datos estructurales de las principales discontinuidades existentes del macizo rocoso, así como la existencia de estructuras mayores; dicho reconocimiento se realizó en la zona del eje del trazo, a partir de los afloramientos expuestos en el terreno natural de las laderas de los cerros donde se emplazará el túnel y en las cañadas de los arroyos más próximos a los portales del mismo, caminos de acceso y zonas aledañas al túnel; al término de esta etapa se definió el número, longitud y ubicación de sondeos de exploración directa, asimismo, el tipo de exploración indirecta más adecuado, número, ubicación y profundidad de prospección.

En la siguiente etapa se realizaron los trabajos de exploración geofísica en campo y al finalizar éstos se efectuó la exploración directa, que consistió en una clasificación litológica macroscópica, se evaluaron los parámetros de recuperación (REC) e índice de calidad de la roca (RQD) y se describieron detalladamente las características de las fracturas a partir de los núcleos de roca recuperados de los sondeos y los registros de campo, obtenidos de los métodos indirectos geofísicos realizados en las zonas de portales del túnel, mediante la ejecución de tendidos sísmicos de refracción y sondeos eléctricos verticales, los cuales se procesaron e interpretaron para conocer la distribución de los diferentes materiales del subsuelo en las zonas de influencia de los portales e inferir algunas de sus características de fracturamiento, alteración y compacidad. En la última etapa se integró toda la información disponible y se conformó el modelo estratigráfico, litológico y estructural del túnel, expresado en los planos geológicos y geofísicos anexos a este estudio.

2. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EXPLORADO DEL TÚNEL

El área estudiada que comprende el túnel se encuentra localizada a unos 7 km al suroeste (SW) del poblado Tamasopo, dentro del polígono que forman las coordenadas UTM X= 426078 a 426982 (geográficas 105° 42.5' a 105° 42.7' de Longitud Oeste) y Y= 2609192 a 610315 (geográficas 23° 35.8' a 23° 36.0' de Latitud Norte) en la región oriental del estado de San Luis Potosí. En la zona del túnel la porción más elevada del terreno corresponde a la Sierra Paredes, al norte del valle del Potrero de Carnera, con una altitud de 1600 metros sobre el nivel medio del mar (msnm) y la más baja está situada en el valle de Tamasopo con 350 msnm.

Para llegar al túnel desde el poblado de Tamasopo se recorren 7 kilómetros de Tamasopo al cruce con la carretera Federal No.70 Cd. Valles-San Luis Potosí, situado en el Km 55.6 de la carretera federal, a partir de este punto se toma hacia la derecha (oeste) con dirección hacia Río Verde, donde se recorren cerca de 11 kilómetros hasta llegar aproximadamente al km 67 de la carretera, en donde se dobla a la izquierda accediendo a una terrecería en la que se recorren 650 metros por veredas para llegar al poblado de Potrero de Carnera; desde este lugar el recorrido se hace a pie hasta el eje del trazo al túnel (figuras 1 y 2).

2.1 Clima

El clima cálido se presenta en el extremo oriental del estado y está caracterizado por lluvias en verano y ocasionalmente en invierno, con una precipitación anual de 800 a 2800 mm/año y una temperatura media anual de 27°C. El clima semicálido afecta a una amplia franja de orientación noroeste-sureste, que comprende el flanco oriental de la Sierra Madre Oriental, así como planicies y llanuras del límite oriental del Altiplano. Este clima se caracteriza por abundantes lluvias en verano, con una precipitación de 600 a 1000 mm/año y temperatura media anual de 22°C. En la región de La Huasteca, caracterizada por recibir abundantes lluvias, predomina la selva baja caducifolia constituida por chaca, cedro, higuera, limoncillo y alquiche. En la Huasteca se cultivan pastizales y en la zona estudiada se apreciaron grandes extensiones de cultivo de caña de azúcar.

2.2 Características del Túnel

El túnel de 90 m de longitud toma su nombre del poblado Potrero de Carnera, ubicado en un valle intramontano, producto de un colapso cárstico (dolina) que se encuentra a una altitud de 900 msnm. El trazo se encuentra entre los kilómetros 658+640 a 658+730 de la nueva carretera y su centro se encuentra en las coordenadas UTM X= 453,260.63 y Y= 2'417,843.40; tiene un alineamiento horizontal en curva circular izquierda de 4°30' de curvatura. El alineamiento vertical es tangente, con pendiente descendente de -2.5% a lo largo del portal de entrada, cuyo claro es de 12 m. de sección herradura y una altura de la rasante a

la clave de 8.10 m, posteriormente continúa una curva vertical ascendente en los 40 metros restantes del portal de entrada. Las elevaciones de la rasante al inicio y término del túnel son de 1009.15 y 1006.90 msnm, respectivamente. La cima del cerro en el eje de trazo se encuentra en la elevación 1054 msnm, por lo que el techo máximo de roca arriba de la clave en este punto será del orden de 37 m. El plano geológico muestra en planta y perfil las características geológicas del túnel.

2.3 Drenaje

La red de drenaje superficial en general es escasa, debido al fracturamiento de la roca que funge como un medio infiltrante, originando marcas de disolución y dejando así formas cársticas. Los ríos principales se orientan en dirección casi norte-sur (NNW-SSE) que es la misma en la que se desarrollan los alargados valles intramontanos coincidentes con la dirección de los ejes de los plegamientos del macizo rocoso y de los cordones montañosos; transversalmente en las laderas de estos cordones se desarrollan las escorrentías que desembocan en los valles y en algunos ríos ubicados en los costados de las laderas; en temporada de lluvias llega a aumentar considerablemente el aporte de agua de estos ríos, de modo que históricamente el poblado de Potrero de Carnera se ha llegado a inundar en su totalidad debido a que los ríos convergen justo en el pueblo y puesto que no cuentan con salida lateral, el agua se infiltra a través del subsuelo por una dolina.

3. GEOLOGÍA REGIONAL Y MARCO TECTÓNICO

Las investigaciones geológicas realizadas a lo largo del la trazo del túnel y sobre las cañadas consistieron en identificar y cartografiar las diferentes unidades litológicas y sus contactos, levantar los datos estructurales de las principales discontinuidades (fracturas y estratificación) y definir la existencia de estructuras geológicas, tales como fallas, las cuales se estudiaron a partir de los afloramientos expuestos en las cañadas de los arroyos, en las zonas de portales y áreas aledañas al túnel. El estudio se enriqueció con la información fotogeológica y el análisis de los núcleos de roca recuperados de los sondeos exploratorios, de los cuales se determinó la litología, las condiciones y características de las fracturas y los parámetros del índice de recuperación (%REC) e índice de calidad de la roca (%RQD).

Para elaborar el modelo geológico se integraron los resultados de la exploración directa e indirecta que incluyen la geología superficial, los núcleos obtenidos del subsuelo, así como la prospección geofísica con los métodos eléctrico y sísmico. A partir de este modelo y con los resultados de las pruebas de laboratorio, será posible realizar una zonificación geotécnica del macizo rocoso en el túnel para efectos de clasificación y diseño del mismo.

3.1 Fisiografía y Geomorfología

El estado de San Luis Potosí comprende tres provincias fisiográficas que son la Sierra Madre Oriental, la Mesa Central y la Llanura Costera del Golfo de México, de las cuales la que ocupa la mayor extensión territorial es la Sierra Madre Oriental. Esta provincia comprende toda la parte nororiental del estado de San Luis Potosí y en general, está conformada por un conjunto de sierras constituidas por rocas sedimentarias marinas calcáreas y clásticas, con altitudes que varían entre los 2000 y 3000 msnm.

La erosión de las calizas ha originado carsticidad, es decir geformas resultantes de la disolución de estas rocas por la intensa infiltración de agua en el subsuelo, por lo que en ocasiones llegan a formarse extensos sistemas de cavernas y copiosos manantiales, principalmente al pie de la sierra; suelen también formarse algunas dolinas e inclusive hundimientos.

La zona en estudio se ubica en la Sierra Madre Oriental y parte de Mesa Central compuesta por estructuras montañosas plegadas debido a los esfuerzos tectónicos producidos por la Orogenia Laramide y el posterior levantamiento de la plataforma Valles-San Luis; está constituida por estructuras anticlinales y sinclinales erosionadas por los ríos que han labrado pendientes no mayores de 50° de inclinación; el relieve está constituido por extensos cordones montañosos alineados en dirección casi norte-sur, con variación hasta de 10° al oeste, cuyas altitudes máximas varían entre 700 m (figura 2). Los flancos de los anticlinales y sinclinales presentan localmente pendientes en su mayoría sensiblemente hacia el este y oeste, con variaciones hasta de 20° a 30° hacia el norte o hacia el sur respecto a estas direcciones, que

coinciden con el rumbo de las fracturas de las formaciones El Abra y San Felipe que los constituyen.

3.2 Geología Regional

La zona en estudio está irrigada por la cuenca del río Santa María en la subcuenca del Río Verde. El basamento de la columna geológica está conformado por rocas metamórficas del Paleozoico Superior, que afloran en el núcleo de la Sierra del Catorce, ubicada en la porción nororiental del estado. La carpeta sedimentaria que cubre discordantemente al basamento está representada por una secuencia sedimentaria mesozoica del Triásico Superior marino, correspondiente a la Formación Zacatecas y las capas rojas de la Formación Huizachal del Triásico Superior continental, las cuales a su vez están cubiertas discordantemente, ya sea por las capas rojas jurásicas de la Formación La Joya, o por los sedimentos marinos de la caliza Zuloaga del Oxfordiano. Sobre esta secuencia aparece en aparente concordancia, un paquete de sedimentos marinos calcáreos del Cretácico en prácticamente todo el estado de San Luis Potosí y en un área restringida. En la parte central, en los límites con el estado de Zacatecas, aflora un paquete vulcanosedimentario (Formación Chilitos) de edad terciaria.

El Cenozoico cubre discordantemente en diferentes áreas algunas de las rocas antes mencionadas y está representado por rocas volcánicas no diferenciadas en esta zona, así como rocas clásticas de origen marino.

Las rocas ígneas intrusivas existentes son de composición félsica e intermedia y afectan al basamento metamórfico y a la carpeta sedimentaria. Finalmente, durante el Pleistoceno se depositaron conglomerados con sedimentos evaporíticos. El Cuaternario comprende derrames de basaltos, depósitos de pie de monte, aluviones y ocasionalmente capas de evaporitas y caliche. En la figura 3, que es un fragmento de la carta geológico-minera F14-8, 1:5000 Cd. Valles, del Servicio Geológico Mexicano (SGM), se muestra principalmente la distribución de las rocas cretácicas calcáreas antes mencionadas y en la figura 4, se reproduce la columna estratigráfica regional, extraída de la monografía geológica minera del Estado de San Luis Potosí, elaborada también por el Servicio Geológico Mexicano.

3.2.1 Estratigrafía

3.2.2 Cretácico Inferior Marino (Kim)

El Cretácico Inferior está ampliamente distribuido en la parte norte oriental y suroriental de la entidad, representado por rocas sedimentarias marinas. La columna estratigráfica de este sistema comprende varias unidades litológicas del Neocomiano al Albiano, mismas que en general están constituidas por calizas con estratificación que puede ser delgada, mediana, gruesa y que llega a ser masiva.

3.2.3 Cretácico Superior Marino (Ksm)

El Cretácico Superior está expuesto ampliamente en la parte central y norte de la entidad, con escasos afloramientos en la porción suroriental; litológicamente está constituido por rocas sedimentarias marinas, que han sido divididos en tres formaciones formales, que en tiempo comprenden del Albiano al Santoniano, de las cuales la Formación San Felipe es la de mayor interés por encontrarse en el área del túnel explorado.

A continuación se mencionan sólo las formaciones que afloran en la zona donde se construirá el túnel.

Formación El Abra

Según Carrillo Bravo (1971) esta formación incluye calizas de las plataformas de Valles - San Luis Potosí y Faja de Oro, de edad Albiano - Cenomaniano, que comprende las facies de Tamabra (prearrecifal), Taninul (arrecifal) y El Abra (postarrecifal). El Abra tiene su localidad tipo en la estación El Abra, situada al oriente de Ciudad Valles; consiste en calizas de color gris claro, bien estratificadas, con espesores de 30 cm a 3 m; también presenta algunos horizontes de caliza con foraminíferos (miliólidos), dolomías con laminación y textura fenestral; su espesor varía de 100 a 350 m. La facies Taninul con su localidad tipo en la estación del mismo nombre, al este de Ciudad Valles, comprende biohermas tabulares de rudistas y capas lenticulares de calizas bioclásticas con espesor de alrededor de 900 m. La edad de la Formación El Abra fue determinada por su contenido faunístico y comprende del Albiano al Cenomaniano.

Formación San Felipe

La localidad tipo se encuentra en la vía de ferrocarril Tampico – San Luis Potosí, al poniente del poblado San Felipe en el estado de San Luis Potosí. Aflora en el extremo oriental del estado, está constituida por margas con intercalaciones de arcillas bentoníticas, con un espesor estimado del orden de 120 m (Muir 1936). Esta formación cambia transicionalmente en sentido vertical a la Formación Méndez que consiste de margas con algunas intercalaciones de areniscas hacia su cima, y su edad ha sido determinada del Santoniano al Maestrichtiano y se le han estimado espesores que van de los 200 a 300 m.

El macizo rocoso por donde pasará el túnel está conformado por calizas estratificadas de espesor delgado a medio, las cuales se han subdividido por su composición en tres unidades que forman el flanco oriente de una estructura anticlinal. La estratificación es semivertical (68°) y con rumbo de capa (150°) casi perpendicular al eje del trazo del túnel (70° a 90°) (plano geológico 1). Para la descripción litológica de cada unidad se utilizaron las clasificaciones de Dunham de 1962.

3.3 Marco Tectónico Regional

En general los rasgos fisiográficos propios de la entidad son el resultado de la evolución tectónica continental. La génesis y la distribución en espacio y tiempo del emplazamiento de diferentes cuerpos ígneos intrusivos durante el Terciario Inferior y Medio tienen una estrecha relación con las diferentes unidades litológicas, generando diversos tipos de mineralización. Las estructuras prelaramídicas no son tan evidentes; sin embargo, se puede mencionar que en el Paleozoico la Sierra de Catorce presenta un fracturamiento debido a una esquistosidad que afecta las rocas prejurásicas y las estructuras correspondientes al anticlinorio que la constituyen. Las rocas del Triásico en Charcas y Peñón Blanco, no permiten identificar rasgos tectónicos regionales, solamente estructuras locales, algunas de gran complejidad en su desarrollo y orientación. Las rocas pelíticas presentan hasta tres foliaciones, paralelas con la estratificación; también se presentan pliegues de diferentes estilos y tamaños, fallas normales de gran inclinación y fallas inversas, estructuras dominantes que tienen un origen directamente relacionado con la Revolución Laramídica, desarrollada principalmente durante el Cenozoico Inferior, cuando se originó una serie de plegamientos de anticlinales y sinclinales.

En la provincia de la Sierra Madre Oriental la fase tectónica laramídica comienza al final del desarrollo de la cuenca mesozoica del centro de México, y es la responsable de la génesis, durante el Paleoceno, de los pliegues alargados de dirección general norte-sur. Una fase tardía produjo el desarrollo de pliegues del basamento por compresión de rumbo nornoroeste-estesureste, entre los cuales podemos contar la sierra del Catorce y la sierra de Charcas, con deslizamientos tectónicos de la cubierta mesozoica calcárea, a las que sigue inmediatamente el emplazamiento de plutones granodioríticos. El emplazamiento de tales cuerpos ígneos, durante el Terciario, dio origen a yacimientos minerales, en ocasiones de importancia económica, del tipo skarn y vetiformes, originados por relleno de fallas y fracturas, como sucede en los distritos mineros de Charcas, Real de Catorce, Santa María de la Paz y El Sabino entre otros.

Se considera que durante el Oligoceno se desarrollaron algunas calderas, como la de Aqualulco y se estima que existen otros rasgos tectónicos similares en la entidad, los que pueden estar relacionados con yacimientos minerales de importancia económica. Una fase tectónica oligocénica (+/- 28 ma), generó una serie de fallas de distensión y es la responsable de la formación de fosas tectónicas (grabens) como los de Villa de Reyes, Bledos y Villa de Arista. En la parte occidental se tienen depresiones, algunas de ellas ocupadas actualmente por lagunas que presentan posibilidades de albergar depósitos de sales de importancia económica.

3.4 Interpretación Fotogeológica

En la interpretación fotogeológica de la zona de estudio, se emplearon fotografías aéreas a escala 1:10,000 que corresponden con vuelos de la SCT de octubre del año 2001 (152.97 San Luís Potosí – La Pitaya, Sin. P.187, L 107 y 109, 8m P1150, L-7).

Con las fotografías aéreas se realizaron fotomosaicos del área estudiada, ilustrados en la fotografía aérea (fotografía 1); en la figura 2, se trazó con colores azul y rojo la carretera y el

túnel proyectado, apreciándose los rasgos geológicos y estructurales más importantes, los contactos geológicos de las diferentes unidades litológicas del lugar y como datos adicionales, se reconoce el poblado de Potrero de Carnera, ubicado a unos 7 Km. del municipio de Tamasopo y la carretera numero 70, con la que se accede, lográndose apreciar extensos campos de cultivos y zonas posiblemente deforestadas para la crianza del ganado; se detectó algunos ojos de agua y veredas cercanas al trazo del túnel, líneas de corriente eléctrica, así como una vegetación densa; localizándose claros óptimos para la exploración superficial, todo esto con la finalidad de que en el momento en que se llegue al sitio de estudio se tengan registrados los poblados con la intención de tener una mejor ubicación del lugar a explorar.

En la geomorfología del sitio se encuentran dos ríos donde se construirá el túnel formando un solo río en la parte de la nariz de la estructura ó cerro, la red de drenaje en algunas partes no se logra apreciar debido a lo denso de la vegetación; sin embargo, en algunas estructuras se observa un drenaje paralelo entre si y perpendicular el eje principal de las estructuras que desembocan en las cañadas que alimentan a la red fluvial.

Por otro lado en el área donde se construirá el túnel se logró identificar estructuras circulares y hundidas, definidas como dolinas de radio aproximado de 7 m; éstas a su vez se encuentran alineadas al eje principal de la estructura donde se ubica el túnel, contabilizándose un total de siete; justamente sobre el trazo se encuentra una pequeña estructura que al parecer empieza a formarse; estas estructuras se aprecian en la zona de los sembradíos localizados al norte del poblado de Potrero de Carnera; se infiere que el gran claro de sembradíos y el mismo poblado fueron consecuencia de un gran colapso de una zona de cárstica y con el paso del tiempo se ha rellenado; históricamente el poblado de Potrero de Carnera se inundó, alcanzando los 20 m de tirante, según los pobladores del lugar; a su vez el agua se infiltra mediante un drenaje natural descendiendo en dos días su nivel, lo cual indica que en el subsuelo existe un ambiente cárstico bastante importante como para desalojar grandes volúmenes en poco tiempo; cerca de ahí se encuentra el Sótano de las Golondrinas, estructura típica de un ambiente de alta disolución; otro ejemplo claro de este ambiente es el río antes mencionado, que atraviesa al poblado tomando dirección nornoroeste hacia los cultivos y se pierde por el subsuelo en una dolina.

Estructuralmente se observan pliegues en chevrón como consecuencia de la Orogenia Laramide, que se han erosionado quedando los flancos de los anticlinales y sinclinales y comprobados durante la exploración; las estructuras presentan formas alargadas y en algunas de ellas se logra ver la estratificación bien definida, lo cual nos indica que se trata de rocas de origen sedimentario marino.

4. GEOLOGÍA LOCAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se estima que será excavado en su totalidad en rocas de la Formación San Felipe en un ambiente transicional, donde se sedimentaron rocas calizas wackestone, con contenido faunístico (foraminíferos) en horizontes de 3 a 4 m de espesor, con calizas arenosas de 0.5 a 1.5 m de espesor y lutita carbonatada de 10 a 30 cm de espesor.

Portal Río Verde

Este portal se encuentra sobre una ladera inclinada de 40° a 45°, en su mayor parte está cubierto por suelos que varían de color amarillo a anaranjado, aflorando rocas poco alteradas. La estructura del macizo rocoso que alojará al túnel corresponde al flanco de un anticlinal con estratos inclinados en el orden de 70° (fotografía 2).

Portal Valles

El portal se encuentra en una ladera cuya inclinación es de 45°, aproximadamente; la zona está cubierta de suelo y bosque, en la que el suelo es de color ocre, presentando alto contenido de arcilla y materia orgánica (fotografía 3).

4.1 Descripción litológica del túnel

Caliza tipo wackestone

Roca de coloración ocre con tonalidad rosácea al fresco, estructura masiva y compacta, textura microcristalina uniforme; presenta una matriz de micrita (lodo calcáreo) y bioclastos en cantidades mayores al 10 %, moderadamente seleccionados y constituidos principalmente por foraminíferos bentónicos; la alteración predominante es de origen químico que lixivía principalmente al carbonato de calcio (CaCO_3) dejando un relieve cárstico sobre la superficie de la roca y con escasas trazas de óxidos de hierro (óx. Fe.); el espesor de estratificación está entre los 3 y 4 m (fotografía 4).

Caliza arenosa

Roca de coloración gris claro y tonalidades verdosas al fresco, con una estructura masiva y compacta, de granulometría fina y textura arenosa bien seleccionada (0.25 mm, Wentworth, 1922). Los líticos están constituidos y cementados principalmente por carbonato de calcio. Presenta una alteración a la intemperie formando huellas similares a las de desecación. El espesor de los estratos varía de 0.50 m a 1.5 m. (fotografía 5).

Marga (lutita carbonatada)

Roca de coloración ocre con tonalidades verdosas, estructura compacta de baja densidad y textura micrítica al fresco; a la intemperie muestra una textura fisil, paralela a la estratificación, en forma de agujas y hojuelas; está cementada por una matriz de CaCO_3 . Esta roca altera a arcilla y es moderadamente deleznable a muy deleznable; el espesor de la estratificación varía de 10 cm a 30 cm (fotografía 6).

4.2 Descripción litológica detallada de los sondeos

Se perforaron tres sondeos en el eje de trazo del túnel denominados S1-T1, S2-T1 y S3-T1, ubicados respectivamente en los Km. 658+650, 658+690 y 658+720 y elevaciones 1044, 1052.50 y 1045 msnm, en la zona del portal de entrada, zona central y zona del portal de salida. Las figuras 6 a 8 respectivas, muestran el perfil estratigráfico y la descripción litológica de los núcleos de roca recuperados con estos sondeos, así como el porcentaje de recuperación e índice de calidad de las rocas obtenidas y las fotografías 7 a 9 muestran los núcleos recuperados. A continuación se reproduce la descripción litológica de cada sondeo.

Sondeo S1-T1

De 0.0 a 1.50 m. Suelo residual de granulometría muy fina y coloración ocre.

De 1.50 a 36.50 m. Caliza arenosa de color gris con tono oscuro y algunos horizontes de color ocre con tonalidades blanquecinas debido a la presencia de microvetillas de calcita, con escaso contenido de bioclastos blanquecinos de tamaño no mayor a 1mm; la matriz es arenosa de granos finos, constituidos por carbonato de calcio, bien clasificados y bien redondeados; la textura predominante en la roca es turbidítica. La roca es sana (compacta, masiva y resistente); localmente se observan fracturas con una delgada película de óxidos de hierro.

Sondeo S2-T1

De 0.0 a 7.85 m. Suelo residual de color ocre de composición areno-arcilloso con fragmentos de gravas que van de 1 a 9 cm.

7.85 a 17.10 m. Caliza arenosa de coloración gris y tonalidades amarillentas debido al contenido de óxidos, contiene líticos mal clasificados y ángulos de coloración blanquecina y tonalidades rosáceas, alargados en forma de espigas que van de 1 a 2 mm. La matriz está constituida por arena fina bien seleccionada y bien clasificada, mostrando localmente alteración arcillosa, trazas de óxidos de hierro y escasamente óxidos de manganeso; se observan algunas vetillas de calcita.

Sondeo S3-T1

De 0.0 a 5.22 m. Suelo residual constituido principalmente por fragmentos de roca de 3 a 6 cm de material arcilloso muy deleznable y poco consolidado, de coloración ocre.

De 5.22 a 12.17 m. Caliza tipo wackestone de color gris y coloración ocre con tonalidad rosácea al fresco; la roca es sana con estructura masiva, compacta, con algunas vetillas de calcita y con textura microcristalina uniforme; presenta una matriz de micrita y contenido de bioclastos mayor al 10 %, moderadamente seleccionados y constituidos principalmente por microfósiles de ambiente bentónico; los bioclastos tienen una textura en forma de agujas, semiorientados y de tamaño variable que va de 0.5 mm hasta 4 mm; se observa una escasa alteración de trazas de óxidos de fierro.

De 12.17 a 16.98 m. Caliza arenosa de coloración gris clara con tonalidades verdosas y menor contenido de bioclastos blanquecinos, moderadamente seleccionados, constituidos principalmente por microfósiles de ambiente bentónico con textura en forma de agujas, semiorientados, de tamaño variable que va de 0.5 mm hasta 4 mm., embebidos en una matriz arenosa de grano fino y constituidos de carbonato de calcio bien clasificados y bien seleccionados, lo cual indica un cambio transicional entre la caliza wackestone y la caliza arenosa.

De 16.98 a 23.16 m. Caliza arenosa de coloración gris oscuro con tonalidades blanquecinas, debido a las vetillas de calcita, con escaso contenido de bioclastos blanquecinos de tamaño no mayor a 1mm, matriz arenosa de grano fino y constituidos de carbonato de calcio, bien clasificados y bien redondeados; la roca es moderadamente resistente y muestra una textura turbidítica.

De 23.16 a 26.21 m. Caliza arenosa de coloración gris oscura en la matriz y de granos finos constituidos por carbonato de calcio, bien clasificados y bien redondeados. Los bioclastos son de color gris con tonalidades blanquecinas y rosáceas, constituidos por micrita, mal seleccionados y mal clasificados, angulosos a subangulosos, con tamaños variables de 1mm a 1.5 cm, con textura tipo brecha sedimentaria; la roca es masiva y moderadamente resistente (se rompe con cierta dificultad al movimiento de torsión con la mano), presenta esporádicamente vetillas de calcita y localmente altera a arcilla; se aprecian escasas trazas de óxidos de fierro.

De 26.21 a 36.56 m. Caliza arenosa de coloración gris oscuro con tonalidades blanquecinas debido a las vetillas de calcita, con escaso contenido de bioclastos blanquecinos de tamaño no mayor a 1mm, con una matriz arenosa de grano fino constituidos de carbonato de calcio, bien clasificados y bien redondeados; la roca es sana y con textura turbidítica.

4.2.1 Descripción de las Discontinuidades

Dado que el macizo rocoso esta dividido por infinidad de planos o superficies de discontinuidad con diferentes orientaciones, se elaboró el diagrama estereográfico de toda la población censada de 180 discontinuidades (tabla de discontinuidades anexo I) para discriminar las orientaciones preferenciales del cordón rocoso en función de la concentración polar por área unitaria (figura 9, 10 ,11); los diagramas resultantes demostraron la existencia

de cuatro concentraciones importantes de polos que definen a las familias principales de fracturas.

En la siguiente tabla se indican las familias de fracturas ordenadas de acuerdo con su densidad polar; el plano representativo está definido por la dirección del azimut de la línea de máxima pendiente y por el ángulo de inclinación que ella tiene con respecto a un plano horizontal teórico; en la misma tabla se indica la orientación que cada uno de los planos guarda con respecto a la dirección del trazo con la variación en portal de entrada y salida, respectivamente, por tratarse de un túnel en curva.

Familia	Orientación	Orientación respecto al trazo del túnel
1	248°/73°	68° a 88°
2	159°/58°	1° a 21°
3	335°/66°	5° a 25°
4	71°/86°	71° a 89°
estratos	250°/68°	70° a 90°

En la tabla siguiente se describen en resumen las características de los parámetros más relevantes de todas las familias de fracturas que incluyen su distribución espacial y densidad, rasgos del relieve, asociación con el drenaje o flujo de agua en la masa rocosa, distancia entre planos paralelos, persistencia, aspereza o rugosidad de la superficie, forma de la superficie, abertura entre respaldos o labios de la fractura, existencia y tipo de relleno.

Parámetros	Descripción y Características
Distribución espacial y densidad	Familias con mayor densidad polar y distribución espacial en el macizo rocoso.
Rasgos del relieve	Forma valles con pendientes de 45°, inclinados en ambas laderas y escorrentías espaciadas perpendiculares a los flancos.
Asociación con el drenaje	Asociación con escorrentías en el portal Río Verde y Ciudad Valles.
Distancia entre planos paralelos	Varía moderadamente de 30 a 50 cm la frecuencia entre planos paralelos.
Persistencia	Persistentes a moderadamente persistentes, ligeramente abiertas, rellenas con suelo residual.
Aspereza y forma de la superficie	En mayor proporción se encuentran superficies onduladas rugosas y moderadamente planas y tersas.
Abertura de las fracturas entre los respaldos	Variable (de milímetros a 30 cm.) con trazas de óxidos.
Relleno de las fracturas	Variable, sin relleno o con relleno de fragmentos de roca y suelo residual.

En la superficie, el fracturamiento se caracteriza por tener texturas rugosas y onduladas, con aberturas variables de 2 a 6 cm, persistentes a muy persistentes, con una frecuencia variable de 6 fracturas en 30 cm, algunas de ellas están rellenas por material residual y orgánico; se apreciaron también en algunas de ellas marcas de agua y humedad, principalmente en las de mayor abertura; otras presentan relieves cársticos en la superficie de sus planos.

4.2.2 Discontinuidades en los portales

Los diagramas estereográficos de las figuras 9, 10 y 11 indican los sistemas de discontinuidad (fracturamiento) presente en ambos portales; al realizar los diagramas estereográficos los resultados de este análisis demostraron la existencia de tres concentraciones importantes de polos que corresponden con las tres familias de fracturas principales debido a su densidad polar.

Finalmente son comparados con la muestra del conjunto universal a fin de discriminar con mayor detalle si todos los sistemas presentes en el cordón están en cada una de las laderas y si existen ciertos cambios en la orientación, lo cual es de utilidad especialmente para ser considerados en los análisis de estabilidad de taludes de los portales.

Cuadro comparativo entre los portales y todas las discontinuidades censadas.				
Familia	Orientación	Portal de Entrada	Portal de Salida	Sistema Regional
1	248°/73°	247°/78°	154°/55°	Sistema regional NW-SE/SW.
2	159°/58°	333°/66°	319°/40°	
3	335°/66°	164°/60°	248°/86°	

4.2.3 Discontinuidades de los sondeos

A continuación se hace una descripción detallada de las fracturas levantadas en los barrenos de exploración, pudiéndose apreciar que la mayoría son cerradas o de muy escasa abertura, sin relleno y con trazas de oxidación, con superficies onduladas rugosas o ligeramente planas y tersas.

Discontinuidades Sondeo S1-T1							
Prof. (m)	Incl. (grados)	Superficie		Abertura (mm)	Estado	Frec. Local (cm)	Otros
5.32	90	Muy ondulada	Muy rugosa	1.0	Alterada con arcilla	-	Deleznable
10.60	60	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	Calcita
12.10	60	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	2 x 5	Calcita
12.28	60	Plana	Rugosa	Cerrada	Sellada por calcita	-	-
13.85	30	Ondulada	Rugosa	<1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	2 x 5	-
13.95-14.00	Horizonte de arcilla de coloración ocre, muy plástico						
16.20-16.98	Fragmentos de roca muy angulosos de tamaños variables y algunos retrabajados por la perforación						
19.96	60	Ondulada	Tersa	<1	Sana	2 x 2	-
20.84	70	Plana	Tersa	Cerrada	Sellada	-	Calcita
21.80	70	Plana	Tersa	<1	Sana	-	-
23.16	80	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	Arcilla

23.66	45	Muy ondulada	Muy rugosa	1	Película arcillosa	2 sistemas 3 x 5 2 x 3	Moderablemente tedeleznable
23.66	80	Ondulada	Rugosa	Cerrada	Sellada		Microvetillas de calcita.
23.80	80	Ondulada	Rugosa	Cerrada	Sellada	2 sistemas 3 x 5 2 x 3	Microvetillas de calcita.
25.60	35	Ondulada	Rugosa	2	Sana	2 x 2	Calcita estriada
26.11	90	Muy ondulada	Muy rugosa	1	Trazas de arcilla	2 sistemas	Muy deleznable
26.11	60	Muy ondulada	Muy rugosa	1	Trazas de arcilla		Muy deleznable
26.66	50	Muy ondulada	Muy rugosa	2	Trazas de arcilla	2 x 10	Muy deleznable
27.15	50	Ondulada	Rugosa	1	Sana	2 x 1	-
27.37	67	Plana	Tersa	<1	Sana	-	-
27.71	67	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	-
28.31	20	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	-
29.15	60	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	-
33.25	60	Ondulada	Rugosa	1	Sana	-	-
33.56	65	Plana	Rugosa	1	Sana	-	-
35.06	55	Plana	Rugosa	1	Sellada por calcita	-	-
35.31	75	Ondulada	Rugosa	Cerrada	Sellada por calcita	-	-
35.81	75	Ondulada	Rugosa	1	Sana	-	-
36.56	75	Ondulada	Rugosa	1	Evidencia de zona de falla (Estrías)	3 x 2	Trazas de pirita.

Discontinuidades Sondeo S2-T1							
Prof. (m)	Incl. (grados)	Superficie		Abertura (mm)	Estado	Frec. Local (cm)	Otros
0.0 a 2.80	Fragmentos de roca de 4 a 9 cm, alterados, de composición arcillo-arenosa y de color ocre.						
2.80-7.85	Suelo residual de color ocre areno-arcilloso, con muy escasos fragmentos de gravas de 1 a 3cm.						
8.05	75	Plana	Rugosa	1	Sellada por calcita	-	Estrías y óxidos Fe
8.05-8.95	Fragmentos de roca de 3 a 4 cm retrabajados por la perforación.						
9.10	60	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Manganeso	2 sistemas	
9.10	70	Ondulada	Rugosa	<.5	Sellada		Calcita
9.30	76	Plana	Tersa	1	Alterada con trazas óxidos de Manganeso	3 x 10	
9.30-12.65	Fragmentos de roca completamente rotos y retrabajados por la perforación.						
12.85	85	Ondulada	Rugosa	Cerrada	Alterada con	1 x 2	Calcita

					trazas de óxidos de Fe		
13.10	75	Ondulada	Rugosa	1	Alterad con trazas de óxidos de Fe y Manganeso	-	-
13.50	83	Ondulada	Rugosa	Cerrada	Sana	-	Calcita y óxido Fe.
13.60	90	Ondulada	Rugosa	Cerrada	Sellada	-	Calcita
13.97	80	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	-	
15.05	68	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	2 x 1	Calcita
15.70	90	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	-	-
15.88	85	Muy ondulada.	Muy rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	3 x 2	-
16.95	03	Ondulada	Rugosa	1cm	Alterada con trazas de óxidos de Fe	-	Espesor de la película de 1mm

Discontinuidades Sondeo S3-T1							
Prof. (m)	Incl. (grados)	Superficie		Abertura (mm)	Estado	Frec. Local (cm)	Otros
2.55	85	Ondulada	Rugosa	1	Trazas de arcilla	-	-
3.80	50	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	-	Sana
4.20	90	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	-	Estrías de falla.
4.40	50	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	3 x 6	-
4.75	50	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas óxidos de Manganeso	2 sistemas	Sana.
4.75	70	Plana	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe		-
5.00	90	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	2 x 4	-
5.75	60	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	2 x 3	-
6.75	70	Plana	Tersa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe y manganeso	-	Arcilla

8.60	85	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe y manganeso	2 x 1	Arcilla
9.90	40	Ondulada	Rugosa	1.5	Alterada con trazas de óxidos de Fe	2 x 1	Calcita
10.90	70	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	-
11.05	70	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	2 x 3	-
12.00	70	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	2 x 3	-
12.10	90	Ondulada	Rugosa	2	Alterada con trazas de óxidos de Fe y manganeso	2 x 2	Película arcillosa
12.60	50	Ondulada	Rugosa	1	Sana	-	-
16.30	70	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	-	Estrías de falla
16.80	85	Ondulada	Rugosa	1	Alterada con trazas de óxidos de Fe	3 x 2	-
16.80 a 17.10	Fragmentos de roca muy angulosos y triturados de aproximadamente. 1cm de diámetro equivalente.						
17.80	40	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	-
18.15	40	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	-
19.95	70	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	-
20.60	70	Plana	Rugosa	1	Sellada por Calcita	-	Estrías de falla
26.50	40	Plana	Tersa	<1	Sana	-	-
28.10	60	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	2 sistemas	-
28.10	60	Ondulada	Rugosa	<1	Sana		-
29.40	90	Ondulada	Rugosa	2	Sellada por calcita	-	Escasas estrías
29.90	90	Ondulada	Rugosa	2	Sellada por calcita	-	
30.15	80	Plana	Rugosa	1	Sana	3 x 10	Estrías
30.95	50	Ondulada	Tersa	<1	Sana	2 x 10	-
31.55	30	Ondulada	Rugosa	1	Sellada por Calcita.	-	-
33.20	60	Ondulada	Rugosa	<1	Sana	-	-
34.85	70	Plana	Tersa	<1	Sana	-	Escasas estrías

4.3 Índice de Recuperación (%REC) y Calidad de la Roca (%RQD)

A partir de los núcleos de roca recuperados de los sondeos S1-T1, S2-T1 y S3-T1 se determinó el porcentaje de recuperación y el índice de calidad de la roca. El primero es el resultado del cociente de la longitud de núcleos recuperada entre la longitud de avance y el

segundo de la suma acumulada de los núcleos mayores de 10 cm dividida entre la longitud de avance para cada tramo de avance. El índice de recuperación (REC) permite calificar el trabajo de perforación e inferir la calidad y condiciones de fracturamiento de la roca. Así, recuperaciones muy bajas pueden deberse a la existencia de roca muy fracturada, alterada y/o roca suave y deleznable. El índice de calidad de la roca o RQD (Rock Quality Design) es una medida del grado de fracturamiento de la roca e indirectamente de la calidad en conjunto de la masa rocosa.

Los perfiles estratigráficos de cada sondeo mostrados en las figuras 6, 7 y 8 indican las variaciones de estos parámetros con respecto a la profundidad y los intervalos de cada barreno donde se presentan cambios importantes del material.

A continuación se describen los valores de recuperación y la calidad de la roca para cada sondeo.

El macizo rocoso presentó valores promedio de índice de calidad de la roca (RQD) en tramos de roca poco fracturada mayores a 10cm. Para el sondeo 1 (S-1) de 36.50 m de profundidad se tuvo un RQD de 80 % al 90 % con una recuperación del 90% que la definen de buena a excelente calidad; esta roca se presenta compacta con un fracturamiento moderado. Para el sondeo 2 (S-2) de 17.10 m se obtuvo un (RQD) de 10% al 20% indicando una roca de mala calidad, un tanto alterada y fracturada; finalmente para el sondeo 3 (S-3) de 35.06 m se logró un (RQD) del 50 % al 70 % que define a una roca de calidad regular, poco alterada y fracturada. Estos sondeos pertenecen a la unidad determinada como caliza arenosa, localizada en el sitio explorado. Por lo que puede inferirse que, sobre la zona donde hubo poca recuperación de material, puede deberse a la presencia de suelos y alteración superficial, por lo que se recomienda realizar dos sondeos mas sobre la zona del trazo del túnel, con la finalidad de tener mayor información del subsuelo.

5. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

5.1 Túnel

Como parte complementaria de la exploración del subsuelo requerida para la elaboración del proyecto del túnel carretero fue necesario efectuar la exploración geofísica, tanto con el método sísmico de refracción como con el método eléctrico, en su modalidad de sondeos eléctricos verticales tipo Schlumberger; las curvas resistivas resultantes del procesamiento de los datos obtenidos en campo se muestran en los anexos I y III respectivos.

De acuerdo con el reconocimiento geológico previo de los sitios de interés se definió por parte de los encargados del proyecto tanto la ubicación como la cantidad de la exploración geofísica a realizar en cada uno de los portales del túnel.

El plano geofísico de integración muestra los resultados obtenidos con ambos métodos y a continuación se describen los trabajos efectuados en el túnel con cada método y sus resultados.

5.1.2 Sísmica de Refracción

En este túnel ubicado entre los kms 648+640 y 648+730 aproximadamente, se realizó un tendido sísmico de refracción en cada portal, de los cuales el tendido 1, ubicado en el portal, de entrada tuvo una longitud de 65 m sobre el terreno natural, alcanzando una profundidad de prospección de aproximadamente 20 m; el tendido 2 se realizó en la zona del portal de salida y también tuvo una longitud de 65 m, con lo que se alcanzó la misma profundidad de prospección. Ambos tendidos se realizaron en forma longitudinal al eje del trazo, apoyando en al menos un punto de tiro y/o con la posición de cualquiera de los geófonos en alguno de los cadenamientos existentes en el sitio. El plano geofísico muestra su ubicación; en la planta topográfica, en una sección longitudinal y las fotografías 10 a 14 ilustran las condiciones de los sitios donde se efectuaron los trabajos.

En cada uno de los tendidos se utilizó una sarta de 12 geófonos con tres puntos de tiro, de los cuales 2 de ellos se colocaron hacia ambos extremos de los tendidos, quedando los puntos de tiro 1 y 3 separados a 5 m de los geófonos 1 y 12, respectivamente, mientras que el punto de tiro PT2 se ubicó al centro del tendido entre los geófonos 6 y 7.

El procesamiento, análisis e interpretación de los valores de velocidad obtenidos durante los trabajos de prospección sísmica realizados en campo, dieron como resultado el perfil de integración que se muestra en el plano geofísico, cuyos valores de velocidad de onda longitudinal se asociaron con las diferentes características de alteración, fracturamiento y compacidad de los materiales del subsuelo presentes en el sitio de estudio. A continuación se describen en forma detallada los resultados de los dos tendidos efectuados en el túnel estudiado. En ellos se distingue claramente la existencia de tres unidades geosísmicas en cada

portal, siendo muy similares las velocidades de transmisión de onda longitudinal de cada unidad, por lo que el comportamiento del macizo rocoso es muy homogéneo en ambos portales.

La siguiente tabla resume las velocidades de onda longitudinal obtenidas y los espesores de cada unidad, así como el posible material con el que están asociadas las velocidades. En el perfil mostrado en el plano geofísico se indica claramente la ubicación y distribución de cada unidad.

UNIDAD GEOSISMICA	VELOCIDAD (m/s)	ESPESOR (m)	MATERIAL ASOCIADO
I	150 – 170	0.3 – 3.3	Suelo residual suelto y/o roca muy fracturada y muy alterada
II	450 – 550	0.2 – 6.7	Caliza arenosa fracturada de alterada a poco alterada y poco compacta
III	1200 – 1250	Indefinido	Caliza arenosa poco fracturada y medianamente compacta

Unidad I

La unidad geosísmica I se asignó al paquete de materiales superficiales que se encuentra a lo largo de ambos tendidos, muestra un intervalo de bajos valores de velocidad variable entre 150 y 170 m/s, lo cual indica que las condiciones geosísmicas entre las zonas correspondientes con uno y otro portal son muy homogéneas; en forma general se asocia con suelo residual suelto o roca muy alterada y muy fracturada.

Los espesores mínimos y máximos observados en esta unidad geosísmica son de 0.3 m (hacia la parte central del tendido 1 ubicado en el portal de entrada) a 3.3 m (bajo el geófono 8 del tendido 2, ubicado en el portal de salida) tal como se muestra en los perfiles correspondientes, donde se aprecia en forma general que la zona de menor espesor se ubica hacia la parte del portal de entrada, donde como máximo alcanza 1.4 m de espesor, mientras que la zona de mayor espesor se definió a lo largo del tendido 2.

Unidad II

Esta segunda unidad se presenta debajo de la unidad anterior, muestra un intervalo de valores medios a bajos de velocidad, que varía de 450 a 550 m/s, los cuales se asocian con la roca caliza arenosa fracturada de alterada a poco alterada y poco compacta.

El espesor de esta unidad a lo largo de todo el túnel es muy variable, esto es, a lo largo del tendido 1 realizado en la zona del portal de entrada varía de 0.2 hasta 4.1 m; de igual forma en el tendido 2, ubicado en el portal de salida, los espesores mínimo y máximo varían de 0.2 a 6.7 m; su distribución general se aprecia en el perfil longitudinal mostrado en el plano geofísico.

Unidad III

Esta tercera unidad se presenta como la última capa definida, de acuerdo con las características geosísmicas de los materiales presentes en la zona de estudio y no se detectó debajo de ella una zona de mejor calidad; esta unidad muestra un intervalo de valores de velocidad que varía de 1200 a 1250 m/s, el cual se asocia con la misma roca de la unidad anterior sólo que su comportamiento geosísmico señaló una roca con menor grado de fracturamiento y de mediana compacidad.

El espesor de esta unidad a lo largo de la línea estudiada alcanza cuando menos 15 m en la zona del portal de entrada, específicamente hacia la parte final del tendido, donde el espesor casi rebasa la profundidad del nivel de la rasante del túnel, sin observar algún otro contacto con material de mayor velocidad a profundidad; en la zona del portal de salida, donde se ubicó el tendido 2 y, de acuerdo con la longitud del tendido, el espesor máximo de la unidad II alcanza 13 m y se localiza hacia la parte central del mismo.

5.1.3 Sondeos eléctricos verticales

La segunda parte del estudio geofísico en este túnel consistió de la ejecución de tres sondeos eléctricos verticales utilizando el arreglo Schlumberger, cuya metodología se describe con detalle en el Anexo III en donde se incluyen las curvas procesadas. Las aberturas electrónicas se realizaron en la dirección más apropiada, para evitar que las condiciones topográficas influyeran directamente en el procesamiento e interpretación de los resultados.

El procesamiento, análisis e interpretación de los valores de resistividad, obtenidos durante los trabajos de prospección eléctrica realizados en campo, se muestran en el perfil del plano geofísico, cuyos valores de resistividad se asociaron con las diferentes características de los materiales del subsuelo presentes en las zonas estudiadas.

Los sondeos quedaron ubicados en los Kms 648+650 en la zona del portal de entrada (SEV 1) y en el Km. 658+720 en el portal de salida (SEV 2), mientras que el SEV 3 se ubicó en la cima del túnel (parte central del túnel), con longitudes de AB/2 igual a 65 m, con lo cual se alcanzó una profundidad de prospección de 40 m aproximadamente; todos los SEV's se realizaron en forma transversal al trazo del eje del túnel.

La ubicación de los puntos de atribución de los sondeos eléctricos verticales se observa en la planta y perfil mostrados en el plano geofísico y las fotografías 10 a 14 anexas muestran aspectos del sitio de trabajo y del arreglo de los SEV's. A continuación se describen en forma detallada los resultados obtenidos de los sondeos eléctricos verticales efectuados para este túnel. Se lograron diferenciar, particularmente, tres unidades geoelectricas, cuyas características más importantes se resumen en la siguiente tabla y se describen con detalle a continuación.

UNIDAD GEOELECTRICA	RESISTIVIDAD (ohm/m)	ESPESOR (m)	MATERIAL ASOCIADO
U1	39 – 79	1.4 – 2.8	Suelo residual y/o roca muy fracturada y muy alterada
U2	30 – 44	19.1 – 25.2	Caliza arenosa fracturada y alterada
U3	84 – 88	indefinido	Caliza arenosa poco fracturada y menos alterada

Unidad U1

La unidad geoelectrica U1 se asignó al paquete de materiales más superficiales localizado bajo cada uno de los puntos de atribución, donde se ubicaron los SEV's correspondientes y se asocia al material de cobertura existente de cada uno de los sitios estudiados, tal como se muestra en el perfil de integración correspondiente del plano geofísico. Esta unidad presenta un intervalo de bajos valores de resistividad variable entre 39 y 79 ohm-m, asociado a la presencia de suelo residual y/o roca muy fracturada y muy alterada. El espesor de esta unidad varía de 1.4 a 2.8 m, presentando el valor menor bajo el punto de atribución correspondiente al SEV 3, ubicado hacia la zona de la cima (KM 658+680), mientras que el sitio con mayor espesor se localiza en la zona del portal de entrada, con aproximadamente 3 m.

Unidad U2

Es muy posible que las unidades subyacentes a la unidad U1 formen un gran paquete del mismo material, pero con características resistivas muy particulares, este es el caso de la unidad U2, que subyace directamente a la unidad anterior, la cual muestra un intervalo de valores de resistividad que varía de 30 a 44 ohm-m y se asocia con una zona de roca (Caliza arenosa) fracturada y alterada. El espesor de esta unidad es bastante potente y varía de 19 a 25 m, aproximadamente. En el caso de ambos portales la unidad se presenta hasta la clave del túnel.

Unidad U3

El paquete de materiales más profundo, definido en esta zona, corresponde a la unidad geoelectrica U3, la cual muestra entre sus características resistivas un ligero aumento en los valores de resistividad, los cuales varían de 84 a 88 ohm-m, por lo cual se asocia posiblemente a la presencia de la misma roca con menor grado de fracturamiento y alteración. De acuerdo con la abertura utilizada, la profundidad mínima de prospección debe alcanzar los 40 m, aunque es posible que, debido a la homogeneidad de los materiales, se pueda obtener una mayor profundidad de prospección. En el caso del SEV 1, ubicado en el portal de entrada, la frontera superior de la unidad U3 se presenta a partir de la clave del túnel en la elevación 1020, con una profundidad indefinida y en el portal de salida la frontera superior de esta unidad, detectada por el SEV 2 se encuentra a la elevación 1016, aproximadamente y también con una profundidad indefinida, de tal forma que el túnel será excavado en roca de mejor calidad. Ver fotografías de 10 a 13 y las curvas de resistividad en los anexos (figuras 4).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El objetivo principal de esta investigación geológica, geotécnica fue tener la información, cuya consulta sea la base para los trabajos futuros para diseño del túnel, tales como geología, mecánica de rocas, mecánica de suelos o cualquier otra disciplina que tenga una finalidad constructiva.

El proyecto se localiza a 7 Km. del municipio de Tamasopo en la región oriental del estado de San Luis Potosí. Se ubica dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y parte de la Mesa Central. Se compone por estructuras montañosas plegadas debido a los esfuerzos tectónicos producidos por la Orogenia Laramide y el posterior levantamiento de la plataforma Valles-San Luis. Está constituido por los flancos de anticlinales y sinclinales que han sido erosionados través del tiempo.

La zona se encuentra enmarcada por rocas de diversas litologías cuyas edades fluctúan del Cretácico Inferior marino (Kim) al Cretácico Superior marino (Ksm) las cuales comprenden, calizas wackestone, calizas arenosas, margas y aluviones. Se caracteriza por estar en un ambiente cárstico con una alta disolución de las rocas anteriores

El estudio geofísico concluyó que en la zona existen tres unidades en función de los valores de velocidad de onda sísmica y resistividad eléctrica. Cada unidad fue interpretada de acuerdo con la litología existente en el lugar del estudio donde se construirá el túnel, con la finalidad de tipificar por unidades geofísicas al macizo rocoso para determinar la calidad geotécnica de cada una de ellas.

El macizo rocoso presentó valores promedio de índice de calidad de la roca (RQD) en tramos de roca poco fracturada mayores a 10cm. Para el sondeo (S-1) de 36.50 m de profundidad se tuvo un RQD de 80 % al 90 % con una recuperación del 90% que la definen de buena a excelente calidad. Para el sondeo (S-2) de 17.10 m se obtuvo un (RQD) de 10% al 20% Finalmente para el sondeo (S-3) de 35.06 m se logró un (RQD) del 50 % al 70.

El resultado de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos dieron como resultado una interpretación detallada de las condiciones geotécnicas en la zona de estudio y como consiguiente, del macizo rocoso en su conjunto, determinándose que, sobre la superficie se encuentra un suelo residual y/o roca muy fracturada y alterada correspondiente a caliza arenosa, esta conforme aumenta de profundidad va disminuyendo el grado de alteración y fracturamiento, en las zonas donde se localizará tanto el portal Río Verde y el portal Ciudad Valles del túnel.

La investigación de todos los estudios anteriores presentó resultados de la interpretación litológica donde cortará el túnel, determinándose tres tipos de materiales: Caliza tipo wackeston, Caliza arenosa y Marga (lutita carbonatada).

En la integración geológica y geofísica se observa que la mayor parte del túnel se encuentra en roca de buena calidad.

6.2 Recomendaciones

La exploración realizada en la zona donde se construirá el túnel muestra tres paquetes de unidades estratigráficas predominando la caliza arenosa y un horizonte de material de cobertura aluvial con gravas arenas y boleos. Debido a que las rocas existentes se encuentran en una zona cárstica presentando una disolución moderada y habiendo encontrado dolinas en la zona donde se alojara el túnel se recomienda:

Realizar por lo menos dos sondeos más sobre el eje del trazo del túnel, uno en la zona donde hubo menor recuperación S-2, con la finalidad de detectar posibles cavernas y otro más intermedio al S-1 y S-2, quedando alineado a las estructuras (dolinas) sobre el eje principal de la estructura, también con la finalidad de detectar posibles cavernas, desplazamientos como fallas y grado de fracturamiento.

Dar un seguimiento al estudio realizado mediante la realización de una mayor exploración a detalle, en el caso en que se requiera.

Mantener durante las obras de construcción del túnel un seguimiento de las variantes de calidad del macizo rocoso proporcionadas por un Ingeniero Geólogo, clasificando al macizo rocoso en su conjunto a ritmo de avance, determinando los cambios de calidad del material mediante el RMR (Rock Mass Rating) utilizando los métodos de Barton, Spaum y Bieniawski, entre otros, con el objetivo de identificar los cambios de calidad del material.

REFERENCIAS

- * Howell Williams, Francis J. Turner, Charles M. Gilbert **“Petrografía”** Continental SA de Cv 1968.
- * López Ramos E. **“Geología de México”** Tomo III. 2a edición. Secretaría de Educación Pública. México D. F... 1979.
- * INEGI **“Carta Topográfica Tamasopo”**. Esc. 1:50,000. 2ª.Ed.1987
- * Bieniawski Z.T. **“Engineering Rock Mass Classifications”** John Wiley and Sons. 1989.
- * Ortega Gutiérrez F., Mitre Salazar L. M. **“Carta Geológica de la República Mexicana”**. Consejo de Recursos Minerales-Instituto de Geología. México D. F. 1992.
- * CFE **“Manual de Diseño de Obras Civiles”** Sección B. Geotecnia; Tema 1. Geología; Capítulo 3. Información Geológica Existente; Tomo 1. Recomendaciones. Ruíz Vázquez Mariano, Pedrazzini Nessi Carmen.1996.
- * Padilla y Sánchez Ricardo J., 1996 **“Geología Estructural”** Facultad de Ingeniería. UNAM.
- * Gilberto Silva Romo Claudia Cristina Mendoza, Rosales, Emiliano Campos Madrigal **“Elementos de Cartografía Geológica”** México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2001.
- * Luis I. Gonzáles de Vallejo **“Ingeniería Geológica”** Prentice Hall, 1ª.Ed. 2002.
- * Servicio Geológico Mexicano **“Monografía Geológico Minera del Estado de San Luis Potosí”**.

ANEXO I
FIGURAS

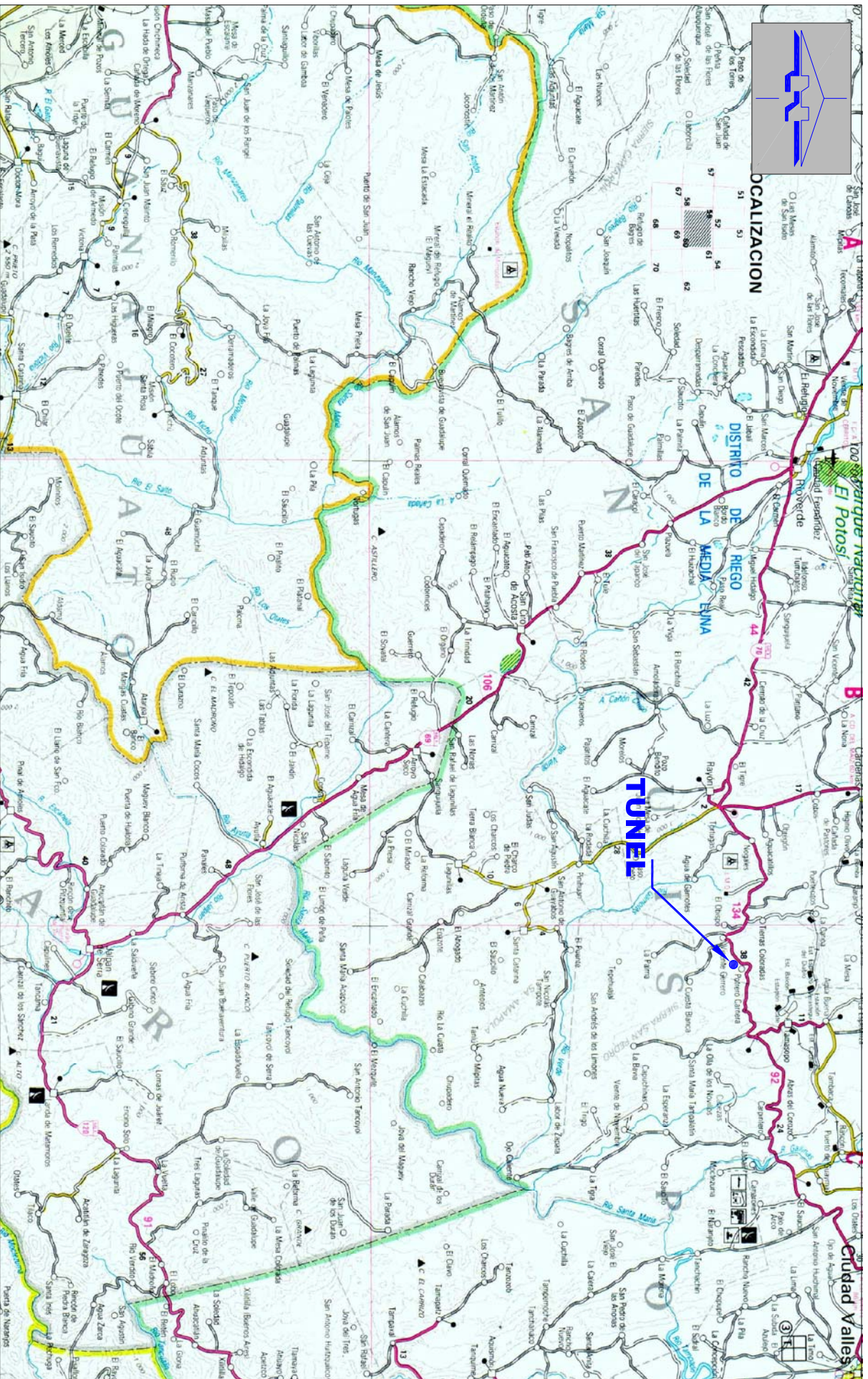


FIGURA 1

LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO



TOMADO DE LA CARTA GEOLOGICA-NUMERO F14-8 CD. VALDES ESC.1250 000 EMBARRAZA POR S.M.

SIMBOLOS UTILIZADOS








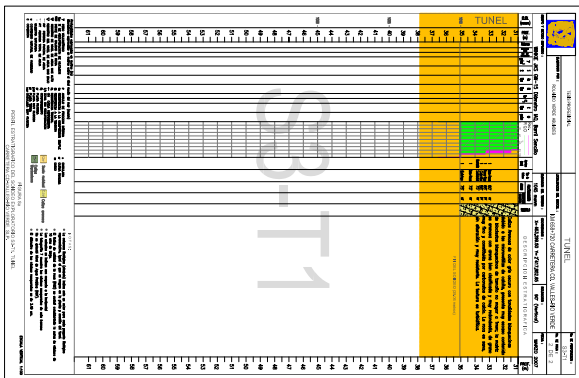
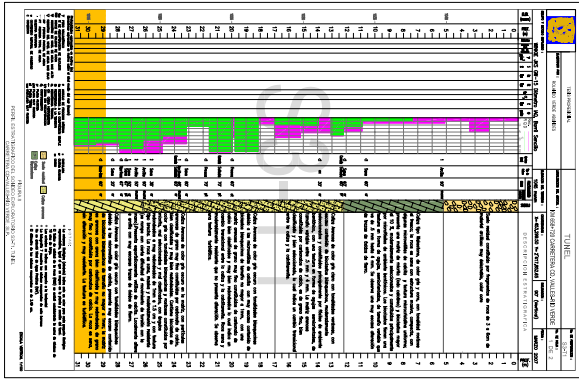
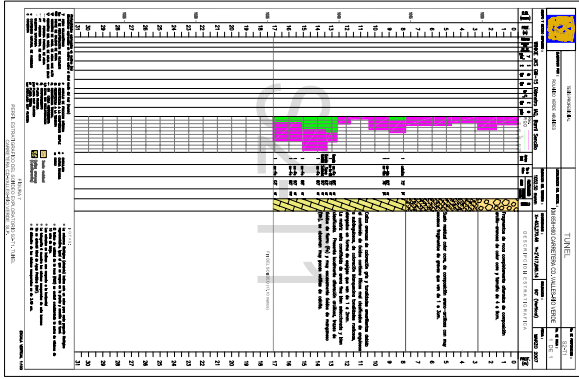
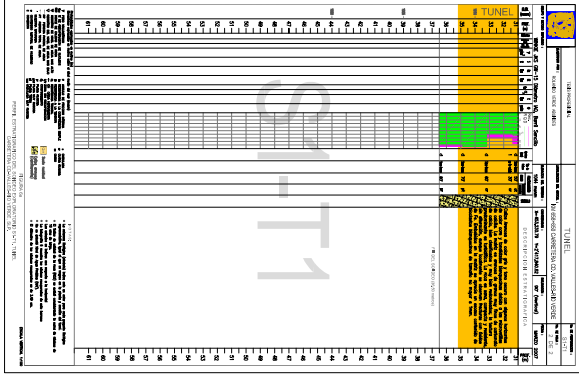
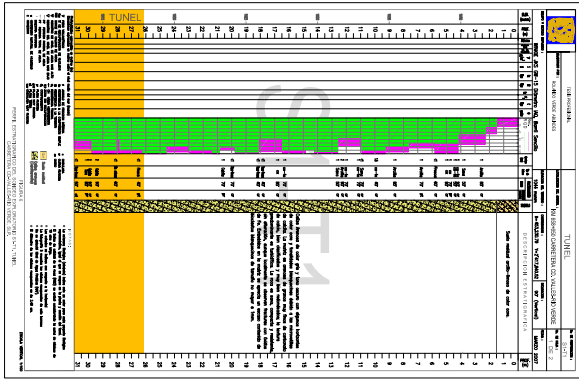
- | | | | | | | | | |
|---|------|-------------------------|---|---------|-----------------|---|----------|---------------|
|  | Gal | Aluvión |  | Kslu | Lutita |  | KgCz | Caliza |
|  | OQPB | Conglomerado Polimítico |  | Kslu-Av | Lutita-Arenisca |  | Ks-Cz-Lu | Calizo-Lutita |
|  | TpIB | Bosolio | | | | | | |

FIGURA 3
GEOLOGIA REGIONAL DE LA ZONA ESTUDIADA



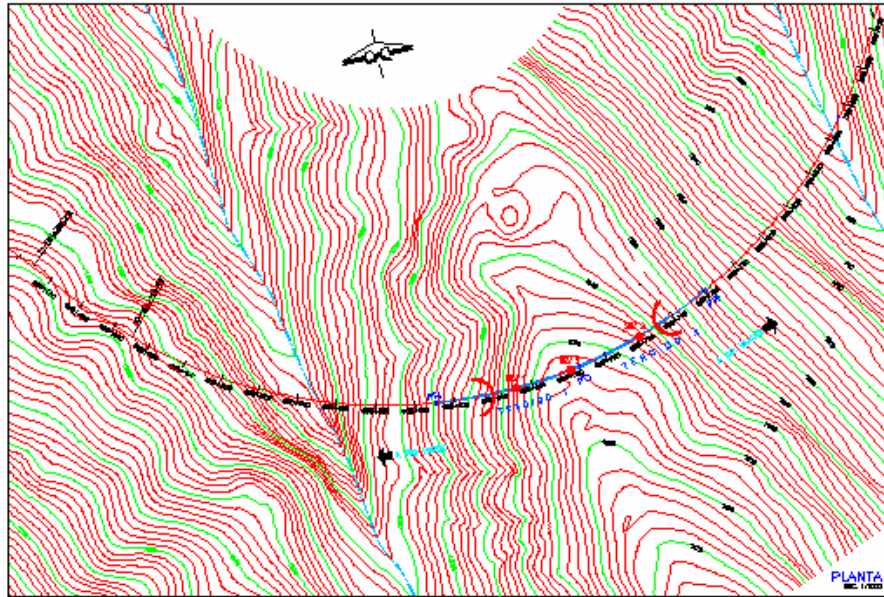
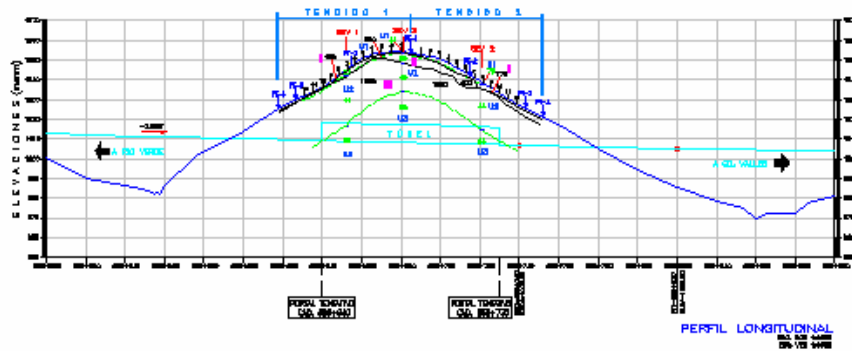


TABLA DE UNIDADES GEOLÓGICAS			
LINEA	FECHAS	ESCALA	UNIDAD GEOLÓGICA
1	1978	1:4000	VALLE DE SAN LUIS (P. NVA. M/T/ PROYECTADA Y M/T. ACTUAL)
2	1978-2001	1:4000	VALLE DE SAN LUIS (P. NVA. M/T/ PROYECTADA Y M/T. ACTUAL)
3	1978	1:4000	VALLE DE SAN LUIS (P. NVA. M/T/ PROYECTADA Y M/T. ACTUAL)

TABLA DE UNIDADES GEOLÓGICAS			
LINEA	FECHAS	ESCALA	UNIDAD GEOLÓGICA
1	1978	1:4000	VALLE DE SAN LUIS (P. NVA. M/T/ PROYECTADA Y M/T. ACTUAL)
2	1978-2001	1:4000	VALLE DE SAN LUIS (P. NVA. M/T/ PROYECTADA Y M/T. ACTUAL)
3	1978	1:4000	VALLE DE SAN LUIS (P. NVA. M/T/ PROYECTADA Y M/T. ACTUAL)

SIMBOLOGÍA

- PUNTO DE OBSERVACIÓN DEL SISMO ELECTRO VIBRANTE
- CONTACTO GEOLÓGICO
- VALOR DE PERMEABILIDAD EN DMS-1
- PUNTO DE TPA
- SEÑAL
- LÍNEA LIMITANTE DE UN
- CONTACTO GEOLÓGICO
- UNIDAD GEOLÓGICA
- UNIDAD GEOLÓGICA
- TENDIDO 1
- TENDIDO 2
- TENDIDO 3
- OBRAS DE TENDIDO



CUADRO DE REVISIONES Y/O MODIFICACIONES				
No.	FECHA	POR	APROBADO	DESCRIPCIÓN

TÚNEL 1

UBICACIÓN DEL TENDIDO EN EL SECTOR DE PROYECTO DE SAN LUIS - DEL VALLE
 TALLER SAN LUIS POTOSÍ - TAMPAO
 #0000 SAN LUIS POTOSÍ

PLANO PLANTA Y PERFIL DE INTEGRACIÓN GEOFÍSICA

ESCALA: 1:4000 (PLANTA) / 1:4000 (PERFIL)

MÉXICO, D.F., ABRIL 2007



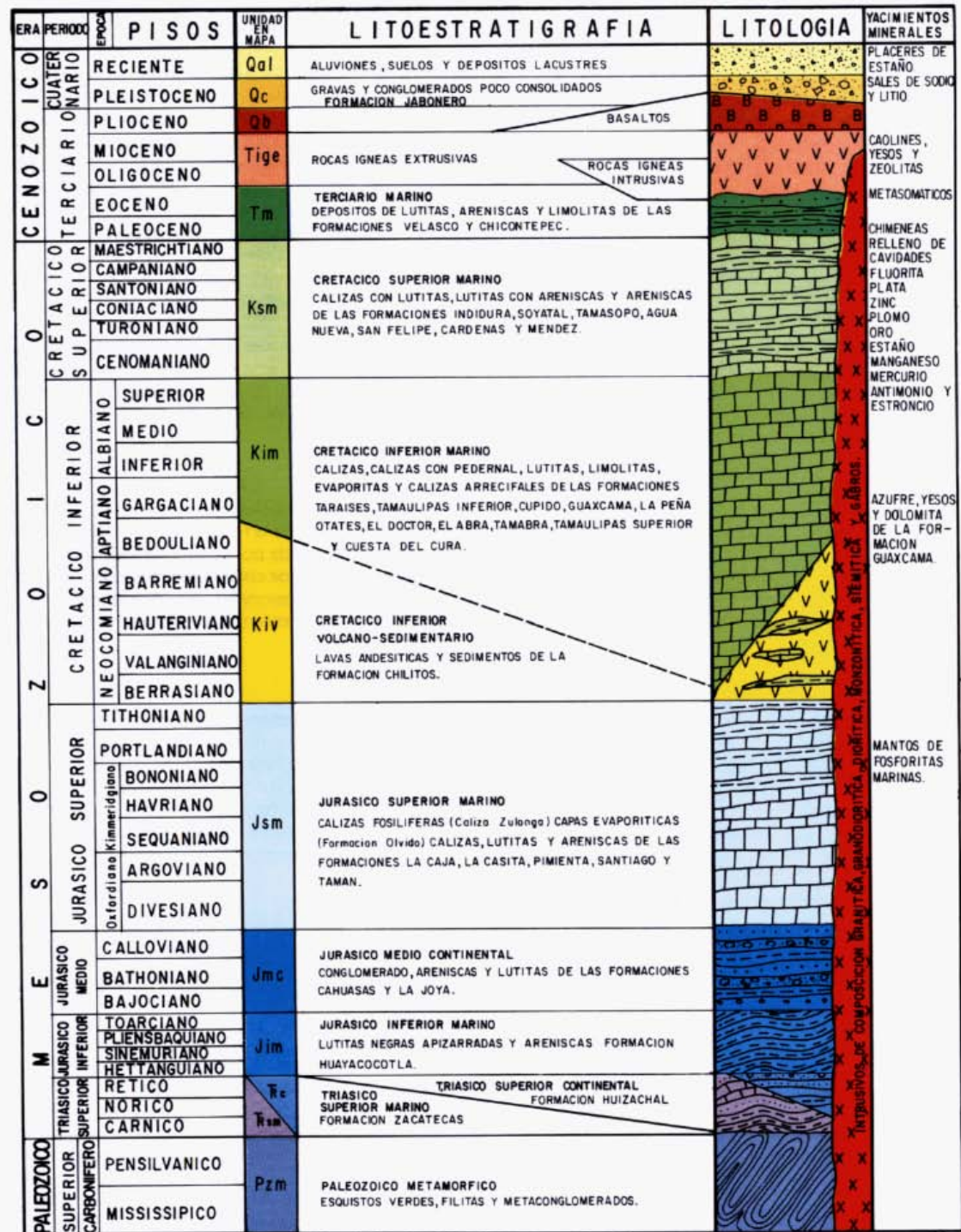
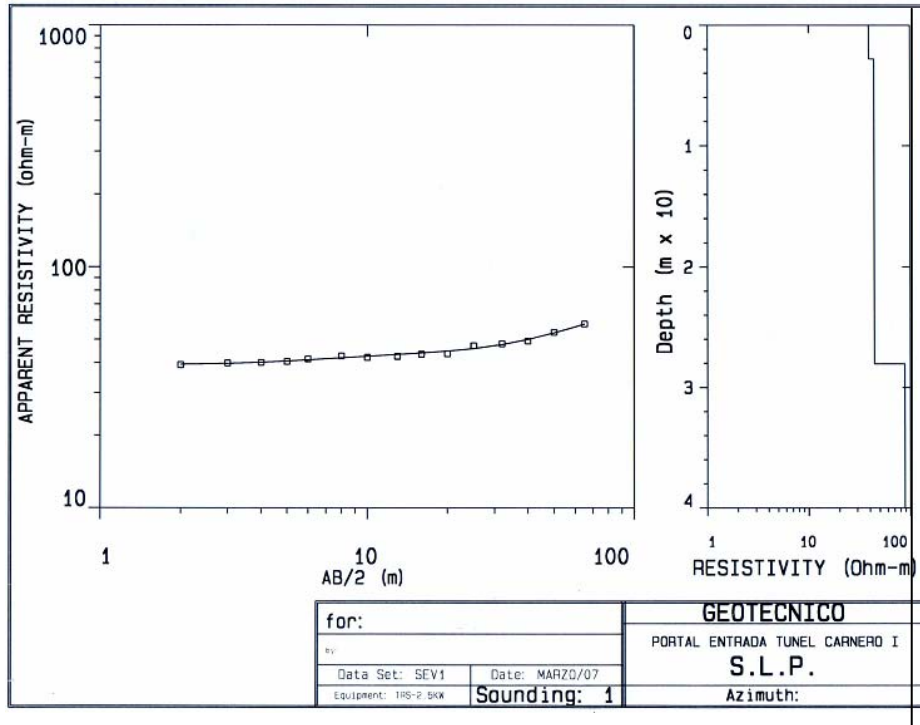
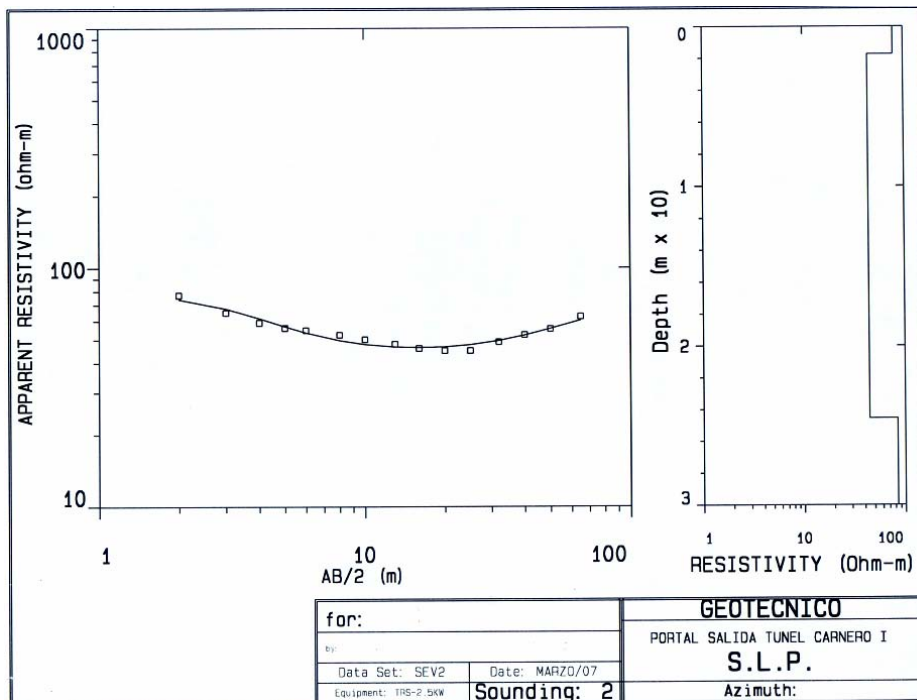


Figura 4

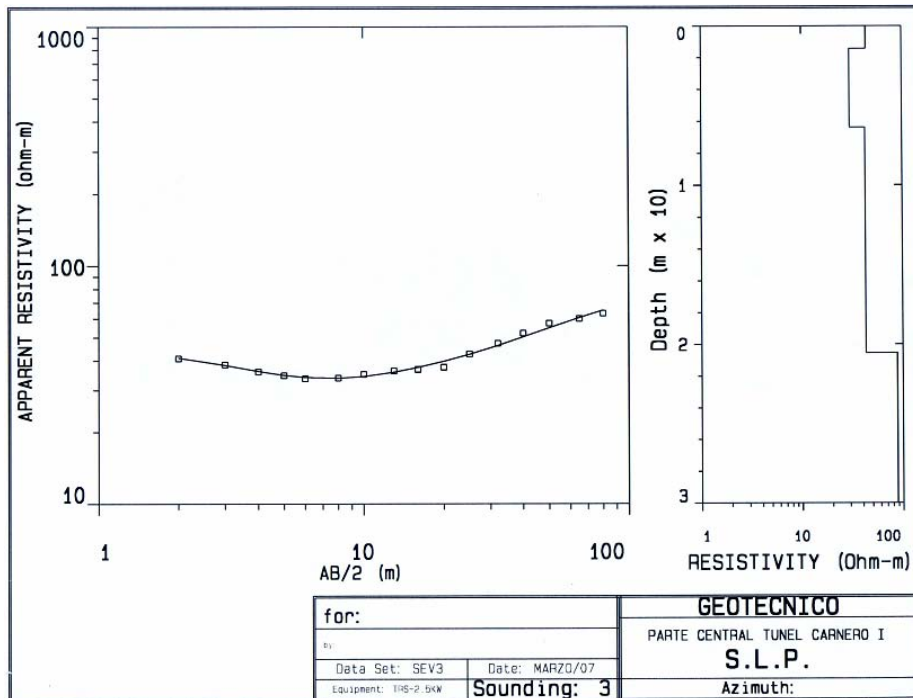
Columna geológica generalizada del estado de San Luis Potosí.



Figuras 5.
Curva de resistividad del sondeo eléctrico vertical SEV-1.



Curva de resistividad del sondeo eléctrico vertical SEV-2.



Curva de resistividad del sondeo eléctrico vertical SEV-3.

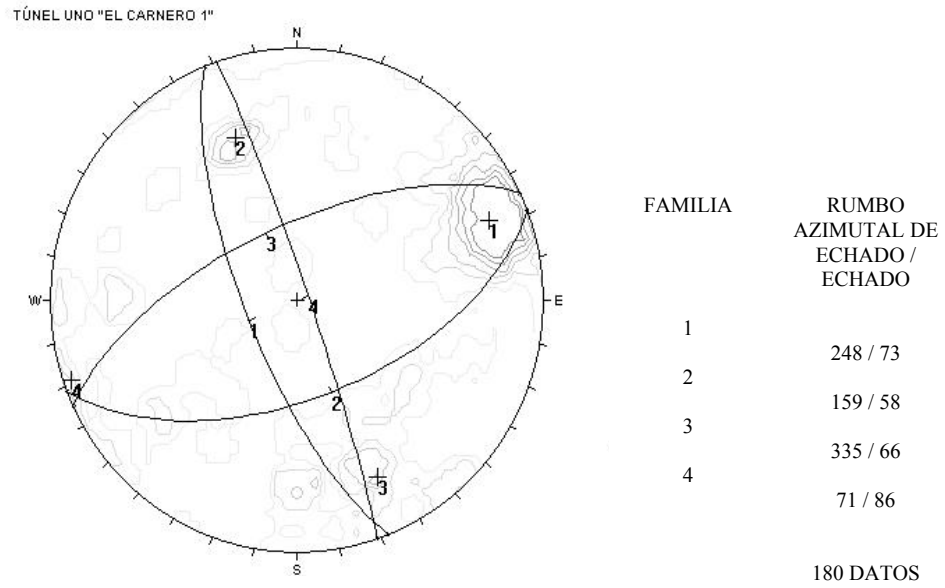


Figura 9

Diagrama estereográfico en red Schmidt del Túnel para todas las discontinuidades sobre la zona de estudio.

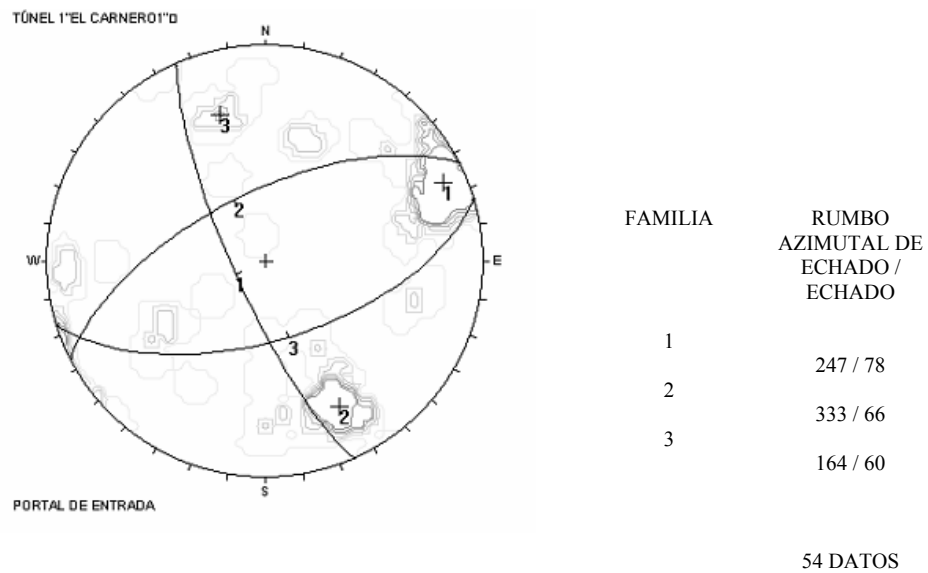


Figura 10

Diagrama estereográfico en red Schmidt para el portal de entrada del túnel.

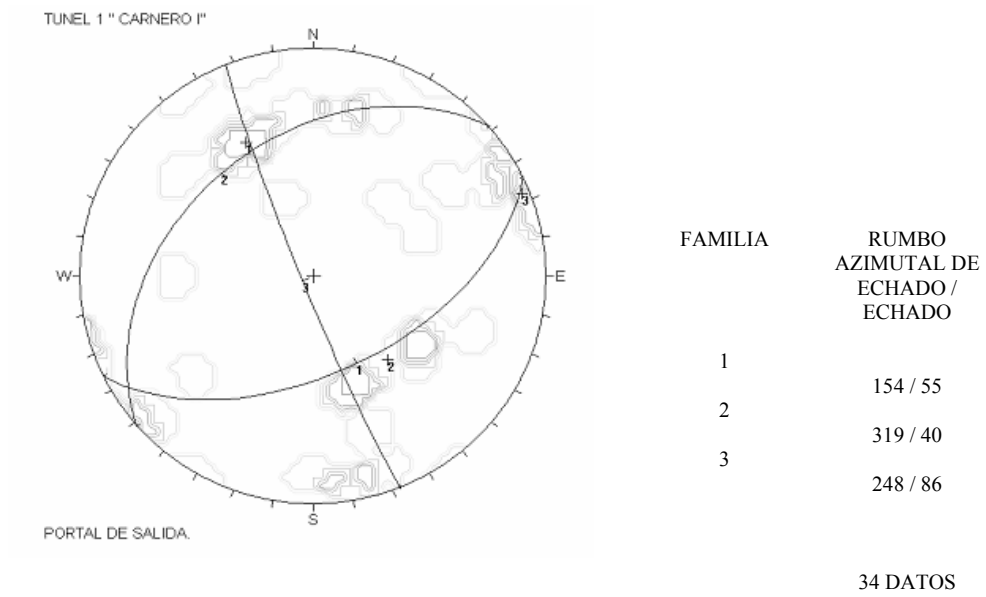


Figura 11

Diagrama estereográfico en red Schmidt para el portal de salida del túnel.

DISCONTINUIDADES CENSADAS SOBRE LA ZONA DEL TÚNEL					
RUMBO AZIMUTAL DE ECHADO / ECHADO					
RUMBO	ECHADO	RUMBO	ECHADO	RUMBO	ECHADO
Portal de entrada		Portal de salida		Cordón rocoso	
317	54	258	64	320	80
267	57	308	51	300	40
40	70	0	90	90	60
53	38	90	91	48	81
170	86	30	55	0	76
261	75	155	57	305	42
320	87	90	90	190	61
250	85	10	10	308	49
239	90	195	195	225	38
235	70	105	105	200	66
255	70	103	68	290	62
261	85	0	66	350	81
145	87	250	44	340	79
150	50	340	61	30	90
346	44	228	76	90	49
340	43	52	62	340	61
146	57	92	65	248	41
330	41	235	90	159	30
161	54	0	62	128	61
231	89	250	79	298	46
235	59	16	71	241	74
255	86	90	62	50	56
163	85	225	60	245	66
175	62	0	90	249	52
241	83	220	36	318	85
155	59	56	79	245	84
251	90	239	75	245	78
249	62	225	79	248	57
252	78	339	87	340	81
256	68	242	69	248	76
261	46	264	69	253	61
256	78	243	69	150	87
258	78	69	79	55	23
255	71	300	71	341	73
165	13	227	58	0	73
249	60	285	16	50	58
129	45	220	62	85	78
159	56	235	87	234	66
236	71	329	31	160	55
250	56	249	68	30	56
71	71	225	90	197	47
5	89	235	82	252	74
23	90	334	60	330	70
7	43	290	56	90	60
160	54	167	10	170	60
251	65	60	48	175	76
32	40	337	60	245	80
90	83	260	54	250	87
0	63	335	61	55	42
129	59	250	70	257	71
36	40	345	61	255	89
319	84	250	85	245	72
250	77	240	75	330	75
0	60	110	70	155	35
245	85	90	10	200	53
330	45	50	65	330	70
240	80	0	10	90	81
280	65	320	45	328	56
0	45	310	90	244	78
10	30	5	60	160	65

Tabla de discontinuidades censadas

ANEXO II
FOTOGRAFIAS



Fotografía 1
Fotografía aérea donde se construirá el túnel.



Fotografía 2

Vista hacia la zona por donde quedará el portal Río Verde (portal de entrada)



Fotografía 3

Vista donde quedará el portal Ciudad Valles (portal de salida)



Fotografía 4

Vista hacia el sur desde los afloramientos de caliza tipo wackestone sobre las márgenes del río ubicado en el portal de salida



Fotografía 5

Afloramiento de caliza arenosa en la zona del portal de entrada del túnel.



Fotografía 6

Afloramiento de estratos de margas en la ladera oriental del cordón rocoso que alojará al túnel. Esta roca será excavada muy marginalmente en la parte Terminal del portal de salida del túnel.



Fotografía 6.1

Vista hacia el sureste de la zona del parte aguas cercano al trazo del túnel (Túnel) observándose la argilitización por alteración de la caliza arcillosa.



Fotografía 7

Núcleos de roca de 3.49 cm de diámetro obtenidos mediante el sondeo S1, perforado en el km 658+650, hasta 36.50 m de profundidad, en la zona del portal de entrada del túnel. La roca es predominantemente una caliza arenosa de color gris y tono oscuro, con textura turbidítica.



Fotografía 8

Núcleos de roca de 3.49 cm de diámetro obtenidos mediante el sondeo S2, perforado en el Km 658+690, hasta 17.10 m de profundidad, en la cima de la montaña que atravesará el túnel.

Los primeros 8m se recuperó suelo residual y la roca es caliza arenosa de color gris y tono oscuro, con textura turbidítica.



Fotografía 9



Fotografía 9

Núcleos de roca de 3.49 cm de diámetro obtenidos mediante el sondeo S3, perforado en el km 658+720, hasta 35.06 m de profundidad en la zona del portal de salida del túnel, predominantemente una caliza arenosa de color gris y tono oscuro, con textura turbidítica.



Fotografía 10

Vista hacia el noreste de la zona del portal de entrada del túnel donde se ubicó el punto de atribución del sondeo eléctrico vertical 1 (SEV 1) en el sitio en el que se encuentra el resistivímetro en la porción izquierda inferior de la foto.



Fotografía 11

Vista hacia el este en la zona del portal de salida del túnel donde se ubicó el punto de atribución del sondeo eléctrico vertical 2 (SEV 2). El arreglo de electrodos se desarrollo transversal al eje del túnel.



Fotografía 12

Vista hacia el noroeste de la cima del cerro sobre el trazo del túnel donde se ubicó el punto de atribución del sondeo eléctrico vertical 3 (SEV 3) cercano al sitio de perforación del sondeo directo S2.



Fotografía 13

Vista de la zona del portal de entrada del túnel tomada hacia el oeste donde se realizó el tendido sísmico 1, sensiblemente longitudinal al trazo. En primer plano se aprecia la plataforma excavada donde se perforó el sondeo directo S1 y en segundo plano se observa al técnico auxiliar en el punto de tiro PT3 donde se generaron las ondas longitudinales.



Fotografía 14

Vista hacia el este de la zona donde se ubicó el punto de tiro PT1 del tendido 1 en la cima del cerro sobre el eje de trazo del túnel, coincidente también con el punto de tiro PT1 del tendido 2 realizado a lo largo del portal de salida.