

300615

12
2y.



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
CIVIL

Incorporada a la U.N.A.M.

**“GEOFISICA APLICADA A LA GEOTECNIA
(ESTUDIO GEOFISICO - GEOTECNICO DE
SEIS TUNELES DE LA VIA FERREA
SALTILLO - MONTERREY.**

TESIS PROFESIONAL
Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a

HECTOR MONTES AGUILAR

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1986



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.

I N D I C E

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	I
PARTE A. MARCO DE REFERENCIA GLOBAL.	
CAPITULO 1. LA TIERRA	1
1.1. FORMA DE LA TIERRA	1
1.2. CONSTITUCION DE LA TIERRA	1
1.3. FORMACION DE LAS ROCAS Y SU CLASIFICACION	7
CAPITULO 2. LA GEOFISICA.	
2.1. DEFINICION DE LA GEOFISICA	14
2.2. INGENIERIA GEOFISICA DE LA TIERRA	14
2.3. APLICACIONES DE LA GEOFISICA A LA EXPLORACION GEOTECNICA	16
PARTE B. ESTUDIO GEOFISICO GEOTECNICO DE SEIS TUNELES DE LA VIA FERREA SALTILLO-MONTERREY.	
CAPITULO 3. GENERALIDADES.	
3.1. LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO	19
3.2. CLIMA Y VEGETACION.	19
3.3. GEOLOGIA REGIONAL	20
3.3.1. FISIOGRAFIA	20
3.3.2. ESTRATIGRAFIA	21
3.3.3. ESTRUCTURAS	21
CAPITULO 4. PROSPECCION GEOFISICA.	
4.1. PROSPECCION GEOFISICA ELECTRICA.	23
4.1.1. PRINCIPIOS FISICOS BASICOS	24
4.1.2. TIPO DE ARREGLO UTILIZADO	25
4.1.3. EQUIPO UTILIZADO	25
4.1.4. METODOLOGIA DE CAMPO	28
4.1.5. PROCESADO DE DATOS	29
4.1.6. INTERPRETACION	30

	<u>Página</u>
4.2. PROSPECCION GEOFISICA SISMICA	33
4.2.1. PRINCIPIOS FISICOS BASICOS	34
4.2.2. PATRON DE DETECCION UTILIZADO.	34
4.2.3. EQUIPO UTILIZADO	35
4.2.4. METODOLOGIA DE CAMPO	37
4.2.5. PROCESADO DE DATOS	39
4.2.6. INTERPRETACION	39
 CAPITULO 5. RESULTADOS DE LA EXPLORACION MEDIANTE SONDEOS DIRECTOS. PERFORACION.	41
 CAPITULO 6. INTEGRACION DE RESULTADOS.	46
 CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	58
 APENDICES. PROPIEDADES ELECTRICAS DE LAS ROCAS	74
INTERPRETACION POR EL METODO "K"	81
PRINCIPIOS FISICOS BASICOS EN SISMOLOGIA	84
 T A B L A S	
1.) RELACION ENTRE R.Q.D. Y NECESIDADES DE SOPORTE.	91
2.) RECOMENDACIONES PARA LOS SISTEMAS DE SO PORTE EN TUNELES EN ROCA	92
 BIBLIOGRAFIA	94

I N T R O D U C C I O N

En la actualidad la Geofísica, ha tenido mundialmente uno de los mayores desarrollos. En México sin embargo, es poco empleada.

En realidad, hace apenas 18 años que empezaron a emplearse en México algunos métodos geofísicos y hasta el año de 1970 los resultados en la Ingeniería Civil fueron buenos; después de esa fecha se originó un mal uso de la Ciencia Geofísica, produciendo una disminución considerable de los presupuestos, razón que ocasionó drástica recesión, que congeló los desarrollos tecnológicos y científicos de esta materia.

Después del año de 1979, resurgió la aplicación de la Prospección Geofísica. Pero ésta, a pesar de no tener un apoyo definido por parte de otras materias, fue firme en lo que respecta a su aprovechamiento.

En la actualidad, es indispensable su uso, ya que con la aplicación de la Geofísica es posible ampliar las áreas de estudio del subsuelo. Es importante tomar en cuenta que debido a los incrementos en los costos de la perforación el costo total aumenta y, se apunta en este aspecto, que el uso de los métodos indirectos permite disminuir la cantidad de barrenos por área.

El objeto del presente estudio, es dar a conocer algunos de los métodos Geofísicos, que se están empleando para los fines que se describen arriba, aplicados a estudios Geotécnicos de túneles.

Por otro lado, se presenta este estudio, con el fin de dar a conocer a las nuevas generaciones de Ingenieros Civiles, la importancia que tiene la aplicación de la Ciencia Geofísica a la Geotécnica, para que en su desarrollo profesional lo lleven a la práctica.

PARTE A. MARCO DE REFERENCIA GLOBAL.

CAPITULO I. LA TIERRA.

1.1. FORMA DE LA TIERRA.

La tierra es un cuerpo celeste rotacional, con la forma -- aproximada de una esfera con un radio de 6378 km. Sin embargo, -- ésta sólo tiene la forma semejante a la esfera. El radio que se menciona es el radio ecuatorial. El radio polar es 21 km menor, o sea 6357 km de longitud. De esta manera, la Tierra muestra -- cierto achatamiento en los polos, causado por la rotación. Si se quiere considerar a la Tierra como un sistema físico, no podemos ignorar el hecho de que existe mayor cantidad de agua que de -- tierra; de la superficie completa de la Tierra 2/3 partes están cubiertas por agua y sólo cerca de 1/3 es la parte superficial -- de la tierra.

El hecho de que haya regiones en la superficie de la Tierra, las cuales estén cubiertas con agua y haya otras que no están -- configuradas bajo el agua, significa que la tierra no está repre-- sentada por un sistema físico equilibrado. Para estar en equili-- brío el sistema, éste debería contar con capas de material homo-- géneo y de densidad homogénea. Así, el hecho de que existan con-- tinentes y océanos, sólo puede ser explicado tomando como suposi-- ción de que la Tierra no está en un estado de equilibrio.

1.2. CONSTITUCION DE LA TIERRA.

La Tierra según el estudio de la sismología, se puede divi-

dir fundamentalmente en tres capas principales. La capa exterior es la corteza. Tiene una profundidad de 30 o 40 km en las zonas continentales, a veces más en algunas regiones montañosas, y unos 10 km debajo de la superficie del mar en las regiones oceánicas. En la base de la corteza las ondas sísmicas aumentan bruscamente de velocidad al entrar en una capa más densa, el manto; la superficie que separa el manto y la corteza es conocida como discontinuidad de Mohorovicic o discontinuidad de Moho o "M". El manto se divide a su vez en dos capas: el manto superior y el manto inferior; el límite entre ellos se supone que está a unos 1000 km de profundidad, aunque estudios más recientes sugieren que está a 700 km.

El manto es una capa sólida. A unos 2890 o 2900 km está el límite entre el manto y la región central de la Tierra, el núcleo. El núcleo es líquido, al menos en su parte externa, puesto que a través de él no se propagan las ondas transversales u ondas S de los terremotos. El núcleo interno que empieza a 5150 km y va hasta el centro de la tierra a 6371 km, es sólido. La superficie de separación entre el núcleo y el manto se caracteriza por una brusca reducción de la velocidad de las ondas sísmicas de compresión, las ondas P, y también por la desaparición de las ondas S.

LA CORTEZA.

Los estudios sísmicos presentan resultados que indican en las regiones continentales que la corteza se puede dividir en dos capas, una corteza superior y una corteza inferior. El límite entre las cortezas es llamado a veces discontinuidad de Conrad,

y sólo es conocida a partir de los datos sísmicos.

LA CORTEZA CONTINENTAL SUPERIOR.- Esta se puede ubicar dentro de los primeros 15 o 20 km. Determinándose por medio de estudios -- geológicos y análisis químicos, las propiedades de las rocas visibles en la superficie terrestre, presentando éstas una gran heterogeneidad.

Un aspecto importante de mencionar, es que, por pocos kilómetros cuadrados que tenga una región, es frecuente que encontremos en ella rocas de composición química muy diversa, por ejemplo granito y basalto o gabbro, o quizás, granito y rocas ultramáficas como peridotita.

Si se requiere de un estudio para conocer la composición media de la corteza terrestre necesitamos saber el volumen y la -- composición química de cada tipo de roca. Debido a que existe -- una gran variedad de composición de las rocas sedimentarias, y -- para simplificar cálculos, se recomienda suponer que todas las -- rocas metamórficas y sedimentarias provienen de las rocas ígneas. Es decir, la composición media de las rocas ígneas debe coincidir aproximadamente con la composición media de toda la superficie terrestre.

LA CORTEZA CONTINENTAL INFERIOR.- Los datos sísmicos indican que, en los continentes, los 15 o 20 km inferiores a la corteza difieren de la mitad superior, en que acusan velocidades sísmicas mayores.

Recientemente se ha sugerido que la corteza continental in-

ferior tiene una composición intermedia muy semejante a la de la corteza superior, pero que al haberse formado sus minerales a altas presiones, tienen una densidad mayor que los minerales de la corteza superior, que se formaron a bajas presiones. La diferencia de densidad podría ser la causa de la distinción sísmica entre la corteza superior y la corteza inferior.

EL MANTO.

En la base de la corteza, la velocidad de las ondas sísmicas aumenta bruscamente, definiendo la discontinuidad de Mohorovicic; ésta es por definición el límite entre la corteza y el manto. El manto se extiende hasta el límite con el núcleo a una profundidad de 2890 a 2900 km. Aunque esto sea menos de la mitad del radio terrestre (6371 km) el manto constituye el 83% del volumen de la Tierra y el 68% de su masa. A pesar de que el manto es físicamente inaccesible, el conocimiento de su naturaleza es muy importante por diversas razones. Por ejemplo, es muy probable que en el inicio de la Tierra tuviera solamente una capa de silicatos, el manto primitivo, a partir de la cual se formó la corteza durante las sucesivas épocas geológicas por segregación hacia el exterior, especialmente por adición de material volcánico.

De acuerdo con la sismología, el manto se divide ordinariamente en tres regiones; desde la discontinuidad de Mohorovicic hasta 400 km de profundidad, desde 400 a 1000 km de profundidad, y desde 1000 km hasta los límites con el núcleo. Recientemente -

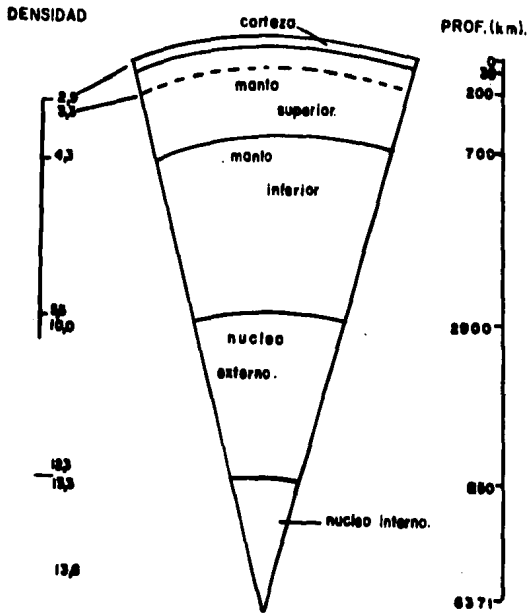
se ha sugerido que las discontinuidades secundarias a 400 y 1000 km de profundidad, son en realidad bastante menos profundas de lo que se creyó previamente y se podrían situar a 200 y 700 km.

EL NUCLEO.

El núcleo de la Tierra es la región que se extiende por debajo del límite manto núcleo a unos 2890 o 2900 km. Este límite se conoce frecuentemente como Discontinuidad de Gutenberg. La parte externa del núcleo tiene que ser líquida puesto que a través de ella no se propagan las ondas S u ondas sísmicas transversales. El núcleo se extiende desde una profundidad de 5150 km -- hasta el centro de la tierra a 6371 km, es sólido y probablemente tiene una densidad aproximada de 13.

Generalmente se supone que el núcleo está formado por hierro con algo de níquel. Esta suposición se basa fundamentalmente en la analogía con los meteoritos. Los meteoritos férricos y la fase metálica de los meteoritos líticos, están formados por hierro con un 6% de níquel.

Consideraciones químicas acerca de la abundancia de elementos en el Sol y el análisis de las condiciones en las que probablemente se formó la Tierra, permiten pensar que la más probable es que el hierro sea el mayor componente del núcleo.



CORTE ESQUEMATICO DE LA TIERRA.

1.3. FORMACION DE LAS ROCAS Y SU CLASIFICACION.

Las rocas que se encuentran en la corteza, en su totalidad, pueden clasificarse en tres grandes grupos en base a su origen y a su vez éstos se pueden subdividir según sus características -- más particulares.

A continuación se presenta un cuadro elemental de clasificación y características de las rocas. (Ver Cuadro 1).

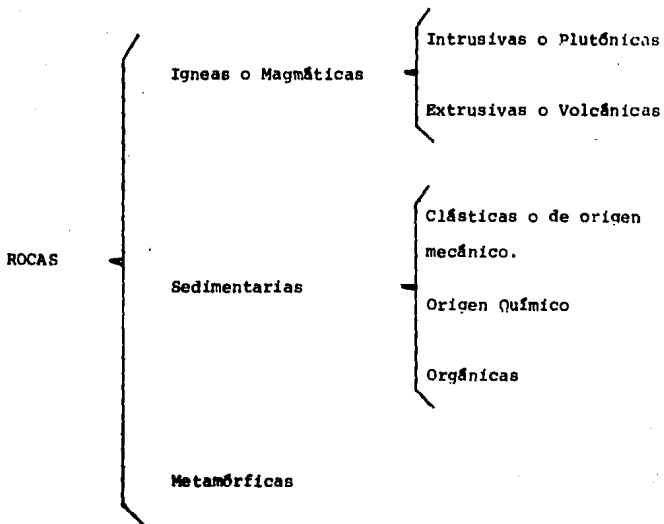
ROCAS IGNEAS O MAGMATICAS.

Las rocas magmáticas proceden de la solidificación por enfriamiento de una masa fundida llamada magma, este magma es una masa hidratada, fundida, constituida por varios minerales entre los que predominan los silicatos, óxidos y sulfuros. El magma se encuentra en estado fluido a temperaturas muy elevadas. Los materiales que constituyen el magma se pueden enfriar en profundidad y, por tanto, lentamente por lo que las moléculas que lo forman tendrán tiempo de ordenarse y darán lugar a cristales bien formados y aproximadamente del mismo tamaño, éstas son las rocas plutónicas o intrusivas.

El magma o parte de él puede salir, también a la superficie terrestre si encuentra grietas, entonces se enfriará muy de prisa, por lo que las moléculas no tienen tiempo de ordenarse y dan lugar a cristales muy pequeños o incluso se llega a formar una pasta vítrea amorfa.

Las rocas ígneas también se subdividen de acuerdo a su modo

CUADRO 1



de cristalización, éstas son intrusivas y extrusivas.

Se llaman rocas ígneas intrusivas o plutónicas a aquellas - cuya cristalización tiene lugar en el interior de la corteza terrestre, su enfriamiento es lento y en presencia de cueros volátiles, especialmente el agua, originan minerales hidratados como las anfíbolas, micas y turmalinas, y se forman además minerales anhidros como el cuarzo y los feldespatos.

Las rocas ígneas extrusivas o volcánicas, se forman al enfriarse el magma, que emerge desde el interior de la tierra, sobre la superficie del planeta, en estas condiciones el enfriamiento es muy rápido, por lo que el proceso de cristalización lo es también y los cristales se presentan menos desarrollados, como se había mencionado anteriormente, además el vapor de agua en unión de otros gases escapan rápidamente del magma y se forman así minerales anhidros, como el feldespato cálcico, piroxenas, - peridotita, etc.

Las rocas ígneas se clasifican en varias familias, las principales son las que se muestran a continuación:

EXTRUSIVA

Riolita
Dacita.
Traquita
Latita
Andesita
Basalto

INTRUSIVA

Granito
Granodiorita
Sienita
Monzonita
Diorota
Gabro
Peridotita

ROCAS SEDIMENTARIAS.

Son rocas secundarias que se forman a partir de otras rocas que entran en contacto con la superficie terrestre. Estas se forman por acumulación y consolidación de sedimentos o sea residuos de diversas rocas que fueron transportadas y depositadas por -- agua, hielo o viento.

Generalmente las rocas sedimentarias se presentan más o menos estratificadas, o sea que están constituidas por un conjunto de capas, lechos o estratos, de espesor variable, según las condiciones de sedimentación y cuyas características físicas pueden variar de estrato a estrato.

Los diferentes estratos están separados por planos de discontinuidad generalmente bien definidos que reciben el nombre de -- planos de estratificación.

En términos generales podemos decir que en la formación de la mayoría de las rocas sedimentarias intervienen un conjunto de procesos constituidos por un ciclo sedimentario que presenta las siguientes etapas: meteorización, transporte, sedimentación y -- diagénesis.

La clasificación de las rocas sedimentarias se detalla en -- el siguiente cuadro:

Tipos de rocas		Variables principales	Composición fundamental	Mecanismo de formación	Ambiente de formación	Utilidad
	CONGLOMERADOS	Fulgidas Brechas	Cualliguera, laminado al cuarzo	Acumulación de cantos redondeados (gravas) Consolidación de cantos angulosos	Fluvial, litoral, deltico Marino, glacial, deltico	Margen (las gravas) construcción Construcción, pavimenti- mientos, decoración Construcción, fabrica- ción de vidrio
DETRITICAS O CLASTICAS	AMERICAS	Craqueladas Gravacas Arenas	Cuarzo Fragmentos de roca, cuarzo, arcilla Feidspatos, cuarzo, mica, carbonato cálcico.	Consolidación de arenas silíceas de ríos, playas y deltas Consolidación de arenas arcua- cubiertas de rocas metamórficas Consolidación de arenas provenientes de granitas	Fluvial, litoral, deltico en relieve bajo Marino de gran profundidad Continental en relieve fuerte	
	ROCAS IN- CLASTICAS	Laminitas Coqueles Brechas arenas	NEUM- DALES DE ARCILLA ANCLITA Feidspatos y cal.	Hidratación de hidr- o y aluminio. Alteración de los feidspatos de granito. Alteración de rocas ígneas y precipitación Alteración de los feidspatos del granito Alteración de rocas volcáni- cas, Tasmate y desgaste por el viento.	Continental en climas tropicals Continental en clima húmedo y templado Marino Continental	Obtención de aluminio Fabricación de pavimentos Desengrasantes y lubricantes Tierras de labor muy férricas
	DETRITICAS	Calizas cálcicas y silíceas Calizas litomárgicas		Unión de conglomerados calizas (molinos y silu- litos). Consolidación de "bajos" calcáreos. Consolidación de "bajos" calizo-arcillosos. Precipitación en regiones láxicas. Precipitación alrededor de plantas en regiones calizas. Precipitación alrededor de plantas en regiones calizas Precipitación sobre el suelo por evaporación. Precipita- ción por metabolismo vegetal Unión de conchas de moluscos y otros animales. Unión de fragmentos de equinodermos y crinidoms. Atrecifos de ma- real, algas calcáreas, beiricos, etc. Unión del arcilla. Acúmulo de excrementos de foraminíferos. Acúmulo de capa resaca de foraminíferos. Acúmulo de excrementos de amulitos. Metasomatismo de calizas o precipitación direc- ta de dolomita. Precipitación de sílice coloidal.	Marino de aguas calidas Marino Marino Continental superficial o subterránea. Fluvial y lacustre Continental pasivo Lacustre y marino Marino litoral y nerítico Marino nerítico Marino (profundo) Marino pelágico Marino nerítico Marino Fluvial, lacustre, marino.	Litografía Fabricación de cemento Obtención de cal, construcción, balasto, cementación, etc.
	BIÓGENICAS	Calizas de bacterias y algas Calizas laminadas gorgoníferas Calizas biotermicas coralinas biotermicas	Carbonato cálcico			
CARBONA- TADAS O CLASIAS	BIÓGENICAS	Calizas biotermicas coralinas biotermicas				
	ORGANICAS	Opala Creta Calizas resucitadas				
	DETRITICAS	Dolomita y calizas dolomíticas	Calizas y dolomita			Fabricación refractarios Diamantes psichométricos
	DETRITICAS	Calizas dolomíticas dolomíticas				
SILICIAS	FISECO-QU- NICAS CONGLOMERADAS	Sílice, pedernal Opalinas Trigial, lama, lídita	Sílice coloidal y vitrificadilla	Cóncava Unión de excrementos de foraminíferos y diatomos y coqueles de corales	Continental en zonas marinicas Marino pelágico	Fabricación de diamanta
	SABIDAS O EVAPORITAS	Sal y otras vitricas	Sulfato cálcico, cloruro de sodio Sulfato de sodio y potasio	Precipitación por evapora- ción del agua que con- tiene sales en solución	Marino (salbiferos, playas y zonas calidas corales). Continental (ligeros evaporitas)	Fabricación de yeso Alimentación, cementos, grapas y revestidos
	DETRITICAS	Aluviones, arcillas particulas	Carbonato, sulfato o hidratos de hierro	Precipitación físico- química o biológica Acúmulo de excrementos de aves.	Continental y marino Marino nerítico y continental Zonas esteras y canchales.	Abonos agrícolas
	FORFIRITAS	Forfiritas Carbón	Resacas de calcio y de otros elementos	Acumulación y fermentación anaerobia (por bacterias) de restos vegetales. Acúmulo y fermentación anaerobia (por bacterias) de organismos plantínicos	Continental y marino Continental y marino Deposición de ríos Zonas continentales de clima húmedo y frío Marino profundo	Combustibles directos o por destilación Combustibles igneolas, etc. (asfalto y betunas pífticas, etc.
CLASIAS	CLASIAS BIBURAS PELUCIAS		Carbono Hidrocarburos sólidos líquidos y gaseosos			

ROCAS METAMORFICAS.

Son rocas que proceden de la transformación de otras rocas sólidas preexistentes. En función de la predominancia de uno u otro factor físico, se tienen los diferentes tipos de metamorfismo: dinamometamorfismo, de contacto, regional.

Para definir los diferentes tipos de metamorfismo, es conveniente definir primero el metamorfismo.

METAMORFISMO. Puede ser definido como la respuesta mineralógica a los cambios de temperatura, presión y ambiente químico, que permiten la alteración de los minerales sin pasar por un estado fluido.

En general, los procesos que intervienen dan por resultado la recristalización de los materiales de la roca, pero se incluye también la fractura de los granos en el interior de una roca acompañada de recristalización secundaria.

DINAMOMETAMORFISMO. Es el metamorfismo ocasionado por acciones mecánicas, éste puede romper o deformar cristales, pero no producir cambios profundos.

METAMORFISMO DE CONTACTO. Aparece en las zonas limítrofes de los grandes batolitos y sus apófisis.

La intensidad de metamorfismo decrece conforme la roca se aleja de la intrusión. Este fenómeno no se debe exclusivamente al calor, sino que, además los componentes gaseosos que escapan del intrusivo favorecen la metamorfización.

METAMORFISMO REGIONAL. Afecta primordialmente a las zonas plegadas y está relacionado con la orogénesis. Afecta a grandes áreas y se debe a presiones y temperaturas altas, sin llegar a la fusión, actuando a tiempos largos.

Entre las principales rocas metamórficas podemos mencionar: Mármol, cuarcitas, esquistos, pizarras, gneises.

CAPITULO 2.- LA GEOFISICA.

2.1. DEFINICION DE LA GEOFISICA.

Dando una definición etimológica de la Geofísica, ésta sería la ciencia que estudia la física de la tierra. Como en otras - - ciencias, la Geofísica se puede dividir en dos partes: Geofísica Pura y Geofísica Aplicada.

- a). La Geofísica Pura.- Esta es la que se ocupa del estudio de - la gravedad, magnetismo, electricidad y sismología Terrestre pero también comprende estudios de otras ciencias relacionadas con la Física de la Tierra como son: Vulcanología, Clima tología, Geodinámica, etc.
- b). La Geofísica Aplicada es la ciencia que se encarga de la - aplicación de la Geofísica Pura. Llamada normalmente Prospec ción Geofísica.

2.2. INGENIERIA GEOFISICA DE LA TIERRA.

Para el hombre, la superficie de la parte sólida de la Tierra es probablemente la región más importante del universo, porque - él vive sobre ésta. En este tipo de análisis los cambios rápidos o lentos de la superficie son de particular importancia, ya que éstos representan cambios en su habitat. Estos cambios son causa dos generalmente por los procesos geofísicos dentro y fuera de - la tierra.

Cambios rápidos pueden desencadenar verdaderas catástrofes.

Cambios lentos, sin embargo, pueden ser serios aunque en ellos no aparezcan los aspectos espectaculares que ocurren cuando sucede un desastre. Si uno piensa en desastres, uno de los más temidos es el que provoca los terremotos. Los aspectos ingenieriles de los terremotos son estudiados por la ingeniería sísmológica. De particular importancia en este aspecto es la respuesta que tienen los edificios a las aceleraciones horizontales de la tierra causadas por los terremotos.

Los terremotos son fenómenos geodinámicos; fenómenos causados básicamente por procesos que se originan en el interior de la Tierra.

De directa aplicación a la ingeniería, son los eventos Geofísicos que ocurren muy a menudo en pendientes. El término pendiente incluye cualquier tipo de plano inclinado; excavaciones, laderas, bancos de materiales, etc. Algunas cuestiones de estabilidad han sido estudiadas por los ingenieros civiles; los Geofísicos, sin embargo, quieren ir más lejos, puesto que el movimiento físico absoluto, incluye la física de los colapsos, y esto es de interés para ellos. Lo anterior remarca la necesidad de establecer una cooperación mutua entre los ingenieros civiles y los geofísicos, para conocer los fenómenos terrestres y su aplicación, para la resolución de los diferentes problemas ingenieriles que se presenten.

2.3. Aplicaciones de la Geofísica a la exploración geotécnica.

En el campo de la Geotécnica es indispensable el uso de la Geofísica por razones tanto técnicas como económicas, cuando se trata del estudio de un material de cierto espesor. La exploración directa por medio de las perforaciones, constituye un método muy costoso y a veces lento, el cual proporciona una información integrada, y la combinación de ambas exploraciones permite resolver satisfactoriamente los problemas que se planteen.

Las mediciones geofísicas afectan un volumen de terreno generalmente importante. Los mejores resultados se obtienen cuando existe un contraste en los valores de los parámetros estudiados. Permiten dar una imagen de la estructura geológica o de valorar parámetros físicos como son el coeficiente de Poisson o el Módulo elástico. Además, por medio de ellas, se obtienen directamente datos sobre heterogeneidades o anisotropías del conjunto geológico.

Indistintamente de que se trate de proyectos o de construcciones, la geofísica aporta una valiosa ayuda en los problemas de:

- Vías terrestres.
- Aeropuertos.
- Túneles.
- Cortes.
- Bancos de materiales.
- Cimentaciones de presas.

- Galerías a Presión.
- Centrales Hidroeléctricas.
- Estructuras en obras civiles (calidad de pilotes, cimentaciones de edificios, etc.)
- Aguas subterráneas (rellenos, fracturación).

En cada uno de los casos anteriores, la forma para proceder y la obtención de datos sería diferente si se trata de proyectos o de construcciones o de conservación de obras civiles.

Si tomamos como ejemplo el estudio del proyecto de un túnel (por ejemplo vías férreas), la investigación geofísica se orientará de tal forma que, apoyándose en la geología, se obtengan a partir de la superficie los principales datos siguientes:

- Definición de la estructura del subsuelo hasta una profundidad mayor de la rasante.
- Delimitación de las zonas alteradas, fracturadas, falladas, etc.
- Definición y orientación de los accidentes geológicos a nivel de la rasante.
- Localización y orientación del trazo óptimo.
- Delimitación de los tramos en donde se da una delimitación sobre el grado de dificultad previsible que se encontrará la excavación de la futura obra.
- Delimitación de los portales de entrada y de salida.
- Ubicación de los sondeos mecánicos necesarios para el control del estudio geofísico y complemento de información.

Como segundo caso se tiene en cuenta un estudio a realizar durante la etapa de construcción, la geofísica se destinará a dar los siguientes datos:

- Comprobación con el estudio superficial o de proyecto.
- Delimitación del espesor del material decomprimido debido a la excavación o al efecto del explosivo sobre el material.
- Definición de la evolución de la decompresión de los materiales de las paredes y del techo durante la construcción.
- Delimitación y valorización de las diferentes zonas en donde las características mecánicas de la roca son distintas.
- Delimitación de las zonas que necesitarán o no de un tratamiento especial de inyección.
- Control del efecto de un tratamiento de terreno por inyección, en su caso.

En lo que se refiere a la conservación de las obras civiles, se pueden realizar los siguientes estudios:

- La estabilidad de la decompresión con el tiempo.
- El control de la variación de la calidad de los materiales -- tanto naturales como artificiales.

En este capítulo se hace notar que el estudio que se presenta en la parte B del trabajo, está realizado bajo las características del primer caso que se enuncia en este inciso.

PARTE B.- ESTUDIO GEOFISICO GEOTECNICO DE SEIS TUNELES DE LA
VIA FERREA SALTILLO - MONTERREY.

CAPITULO 3.- GENERALIDADES.

3.1. LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO.

El área de estudio se ubica en la porción occidental del Estado de Nuevo León y en la suroriental del estado de Coahuila.

Las vías de acceso a los túneles son caminos revestidos y brechas, considerados como regulares, ya que son operables en la época de secas, no así en la temporada de lluvia ya que se ven deteriorados y son difíciles de transitar. Fig. 1.

3.2. CLIMA Y VEGETACION.

El clima corresponde en los primeros diez kilómetros de trazo, a seco o estepario con lluvias entre verano e invierno, siendo la temperatura del mes más frío menor que 3°C variando hasta los 18°C . El resto del área se caracteriza por un clima semisecco, ya que su grado de humedad es bajo, y su precipitación media anual es de 300 mm teniendo lluvias en invierno. Atendiendo a su temperatura, le corresponde un clima semicálido con un promedio anual de 18°C . Este es considerado extremoso con una oscilación térmica entre siete y 14°C . La vegetación es característica de las zonas áridas, constituidas en mayor proporción por gobernadoras, lechuguillas, palma loca, y variedades de cactáceos.

3.3. GEOLOGIA.

Las características geológicas del área se encuentran representadas por rocas sedimentarias particularmente areniscas de -- grano fino a medio, de coloración café, estratificadas en capas de espesor variable hasta de 1.50 m como máximo; alternando con las areniscas, se encuentran lutitas en capas hasta de unos 80 - cm de color gris oscuro. Las rocas anteriores constituyen las - elevaciones en el área, las que superficialmente se encuentran - poco fracturadas, alteradas y cubiertas por un escaso espesor de suelo vegetal menor de .30 m, entre el que se encuentran gravas con fragmentos calcáreos. Fuera de la zona de estudio y particularmente hacia el Este y Noroeste, se observan afloramientos de caliza de color gris claro y grano fino, que originan las máximas elevaciones de la zona, con morfología montañosa y escarpada.

Las partes bajas están constituidas por suelos transportados, formados generalmente por limos de coloración café claro -- con espesores en áreas aisladas del orden de siete metros entre limos. Ocasionalmente se encuentran horizontes de gravas y arenas aproximadamente de un metro de espesor.

3.3.1. FISIOGRAFIA.

La región estudiada forma parte de la Sierra Madre Oriental y se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de las Sierras Transversales (Raisz, 1959). Geomorfológicamente se distinguen - dos unidades, que son las montañas plegadas y las planicies.

Las montañas plegadas son las sierras que se alinean parale

lamente unas con otras, siguiendo una dirección variable entre - Sureste - Noroeste y Oriente - Poniente y que presentan elevaciones máximas del orden de 3000 m.

Las planicies son las que se conocen como bolsones en el -- Norte de la República y son llanuras que se extienden en las partes de las sierras.

3.3.2. ESTRATIGRAFIA.

La secuencia estratigráfica de las rocas que afloran en la región, está representada principalmente por calizas, lutitas, - areniscas con lutitas y conglomerados, sin embargo el área donde se tendrán que excavar los túneles, se encuentra únicamente una secuencia constituida por areniscas y lutitas correlacionables -- con la Formación Difunta (Impay 1936).

Estas rocas son principalmente areniscas con estratos delgados con numerosas intercalaciones de areniscas de estratificación gruesa, todas ellas calcáreas.

3.3.3. ESTRUCTURAS.

Las estructuras dominantes en la región están constituidas por pliegues orientados en dirección Este-Oeste que dan lugar a una serie de anticlinales y sinclinales que varían de simétricos a recostados.

En general las fracturas tienen un papel menos importante - que los pliegues, presentando una dirección predominantemente hacia el noroeste.

CAPITULO 4.- PROSPECCION GEOFISICA.

Los métodos geofísicos son métodos indirectos que estudian la distribución en profundidad de alguna determinada propiedad - Físico-Química de las capas del subsuelo, o de alguna característica relacionada con dichas propiedades. En esencia la Prospección Geofísica consistirá en determinar las variaciones de las - propiedades sobre la zona a explorar por medio del instrumento - correspondiente, con el método Geofísico elegido para el estudio de los túneles.

Para la elección de un método geofísico que nos proporcione información acerca de nuestro objetivo, es necesario hacer mención de los más importantes para posteriormente enfocarnos a los que utilizaremos en el presente trabajo.

Los Métodos Geofísicos los podemos dividir en dos: activos y pasivos.

Métodos Activos. Son aquellos donde se produce una perturbación artificial en el terreno en donde sus efectos pueden ser cuantificados, dentro de éstos se encuentran:

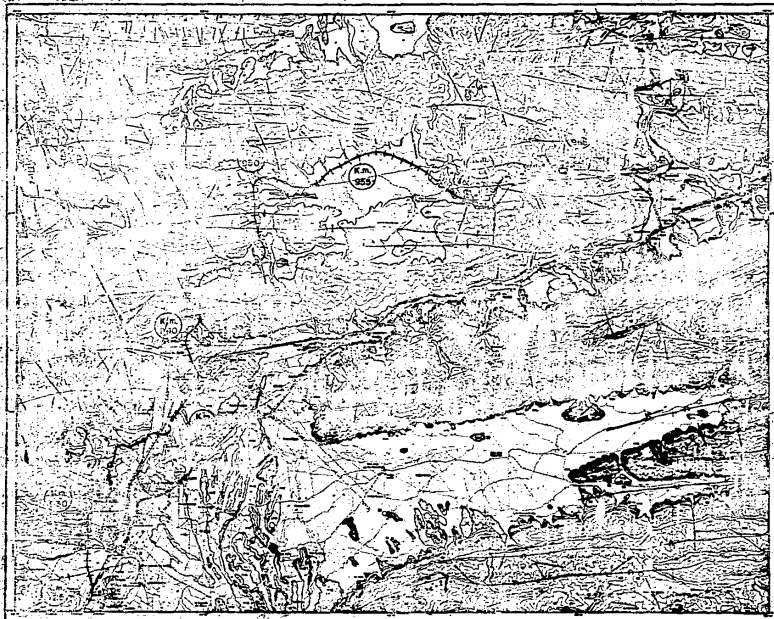
- a. Método Sísmico.
- b. Método Eléctrico.
- c. Método Electromagnético.

Métodos Pasivos.- Son aquellos en donde se miden algunos valores físicos constantes, sin producir perturbación alguna, dentro de éstos se encuentran:

- a. Método Gravimétrico.

SIMBOLOGIA

+	⊥	≡	⊕	ECHADOS
0-15°	15-50°	30-60°	60-90°	
				ANTICLINAL
				SINCLINAL
				ANTICLINAL RECUMBENTE
				SINCLINAL RECUMBENTE
				FALLA NORMAL
				FRACTURA
				TUNEL EN FFCC DE PROYECTO



Universidad LA SALLE
Tesis Profesional

Figura 1

Hector Montes A.

b. Método Magnético.

Los Métodos Geofísicos que se utilizaron en el presente estudio se detallan en los incisos 4.1 y 4.2.

4.1. PROSPECCION GEOPISICA ELECTRICA.

El método eléctrico de prospección está basado en el estudio de campos de potencial eléctrico, incluyendo a los potenciales eléctricos naturales que existen en la corteza terrestre y a los artificialmente creados. La modalidad más empleada es la de los campos creados artificialmente.

Para crear los campos eléctricos artificiales se utiliza corriente continua o corriente alterna, utilizando frecuencias de preferencia que sean las más bajas posibles debido a que la profundidad de penetración disminuye a medida que aumenta la frecuencia.

La Teoría Físico-Matemática en que se basa el Método Eléctrico es considerablemente más compleja que la Teoría de la Gravedad o la del Magnetismo. Esto hace que los resultados obtenidos por este método sean difíciles de concretizar, necesitándose una gran experiencia de campo y un profundo análisis en la interpretación para realizarla satisfactoriamente.

Los Métodos Eléctricos tienen la ventaja sobre el Método Gravimétrico y el Magnético de poder controlar la profundidad de penetración, llegando a realizar esto de un modo bastante concreto con el Método de Resistividades, con el que se ha llegado a la Técnica de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), llamados

así porque de ellos pueden deducirse resultados comparables a los de los Sondeos Mecánicos. Esto es, que mediante los SEV's se puede realizar un reconocimiento general del subsuelo, localizándose con ello accidentes geológicos, reconociéndose estructuras correlacionadas con los resultados de los sondeos mecánicos directos.

4.1.1. PRINCIPIOS FISICOS BASICOS.

Es necesario hacer una serie de consideraciones teóricas en las cuales se fundamenta el Método Eléctrico, por tal motivo se dan estos principios físicos básicos del Método Eléctrico.

Se ha definido que para un medio homogéneo infinito e isotropo de resistividad (ρ), el potencial eléctrico (V) causado por un electrodo puntual a una distancia (r) de éste es:

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2 \pi r}$$

De esta ecuación se parte para deducir las ecuaciones de los arreglos más empleados en los trabajos de resistividad.

Como ya se mencionó anteriormente, son utilizados dos electrodos de corriente (AB); ahora consideremos que el polo positivo de la batería Fig. 2) está unido al electrodo (A) y el polo negativo al electrodo (B). El potencial en un punto tal como el (M), donde se encuentra el electrodo de medida, está dado por el teorema de la superposición de los campos eléctricos.

$$V_M = \frac{\rho \cdot I}{2 \pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right)$$

Análogamente para N:

$$V_n = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$$

La diferencia de potencial que se leerá en el voltímetro entre los puntos M y N será:

$$A_v = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Despejando la resistividad (ρ) tenemos:

$$\rho = K \frac{A_v}{I}$$

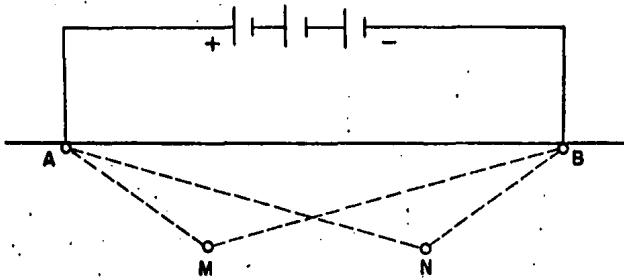
Donde (K) resulta ser una función dependiente del tipo de dispositivo electródico empleado.

4.1.2. TIPO DE ARREGLO UTILIZADO.

Para el desarrollo del trabajo se utilizó el dispositivo electródico tipo Schlumberger, en su modalidad de sondeo eléctrico vertical (SEV) el cual se caracteriza por utilizar cuatro electrodos: dos de corriente (A,B), y dos de potencial (M,N), colocados en forma lineal sobre el terreno siendo AB la máxima longitud horizontal y por lo general MN es igual a AB/5, todo esto en forma simétrica a partir del centro del sondeo (o) Fig. 3. Determinándose, debido a la simetría del arreglo, las resistividades aparentes en sentido vertical.

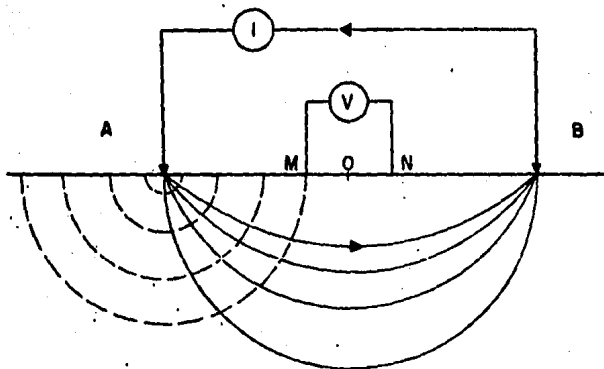
4.1.3. EQUIPO UTILIZADO.

Para llevar a cabo la ejecución de los Sondeos Electricos Verticales se hizo uso del siguiente equipo de trabajo:



A, B ELECTRODOS DE CORRIENTE
M, N ELECTRODOS DE POTENCIAL

FIGURA No. 2



- AyB** ELECTRODOS DE CORRIENTE
- MyN** ELECTRODOS DE POTENCIAL
- LINEAS DE CORRIENTE
- - - LINEAS EQUIPOTENCIALES
- O** CENTRO DEL SONDEO

FIG. 3 DISPOSITIVO ELECTRODICO SCHLUMBERGER

Resistivímetro Bison Modelo 2390-R digital. Este equipo es de manufactura canadiense. (Bison Instrument), el cual se encuentra constituido por dos unidades interconectadas entre sí. llamadas transmisor y receptor, a través de las cuales y mediante cables se transmite una señal de diez ciclos, que el receptor ajusta para obtener el potencial inducido y de este modo se obtienen los datos de campo.

Resistivímetro Digital.- Equipo de manufactura nacional -- constituido de dos módulos; un transmisor y un receptor de voltaje, compactados en una sola unidad a través de los cuales mediante cables se transmiten y se reciben las corrientes eléctricas y potenciales que dan origen a los datos obtenidos en campo.

Equipo Periférico.- Para efectuar las mediciones en el terreno, el contacto se establece a través de cables que enrollados en carretes especiales van conectados a electrodos de bronce de una pulgada de diámetro y 1.50 metros de longitud, estos se clavan en el terreno hasta lograr un buen contacto. Asimismo el equipo periférico consta de herramientas y carretes de repuesto, además del material de cálculo y registro.

4.1.4. METODOLOGIA DE CAMPO.

En su fase inicial, la metodología empleada, para la realización del trabajo de campo, consistió en recorrido previo de la zona a estudiar, con la finalidad de determinar los principales puntos de interés Geotécnicos. Culminada la primera fase --

junto con el señalamiento pertinente, se procedió a la ejecución de los Sondeos Geotécnicos.

Esta etapa de ejecución es la más importante de las actividades de campo y consiste, en introducir una corriente al subsuelo por medio de dos electrodos clavados en el terreno y separados una distancia (x). Posteriormente con el auxilio de otros dos electrodos, se hacen lecturas de potencial para obtener los datos de campo que posteriormente serán analizados en gabinete para la obtención de los resultados.

4.1.5. PROCESADO DE DATOS.

Tan importante como la anterior es esta etapa, que consiste en el cálculo y desarrollo matemático de los datos de resistividad aparente, reporte, y observaciones proporcionadas por la brigada de campo. Los datos se disponen de una forma tal, -- que sean susceptibles a interpretación tanto de una manera cualitativa como cuantitativa. Aunque para esto debe tomarse cierto tipo de consideraciones según sea el caso.

Uno de los primeros procesos que se llevan a cabo es el -- cálculo de la resistividad aparente, por medio de un programa -- sencillo de computadora. Posteriormente se lleva a cabo la configuración de los datos de campo la cual consiste en vaciar los datos de la resistividad aparente de cada uno de los sondeos -- realizados a la escala conveniente y como se observa en la figura número cuatro. Por lo tanto al ir vaciando los datos, se va conformando la sección correspondiente en la que se unen los --

puntos de igual valor resistivo con líneas llamadas isorresistivas espaciadas cada una 10 o múltiplos de este valor. Obteniéndose con ésta una información cualitativa.

4.1.6. INTERPRETACION.

El criterio de interpretación exige tener conocimientos de las propiedades eléctricas de las rocas y de otros materiales que conforman el subsuelo que se estudia, conociendo además el principio físico en el cual se fundamenta el Método Eléctrico - utilizado (Ver Apéndice 1).

El éxito de la interpretación dependerá de la buena correlación de los datos obtenidos por medio de la Geofísica, con un plano geológico del lugar, así como la información de los sondeos directos de perforación en el subsuelo, para conocer la mecánica de rocas y suelos de la zona y alguna otra información que nos pueda ser de utilidad.

La base de la interpretación se llevó a cabo por el método de resistividades e isorresistividades aparentes.

El proceso que se siguió en el presente estudio es el siguiente:

1. Determinación de las resistividades aparentes (calculadas por la fórmula del semiespacio homogéneo e isótropo) correspondiente a las mediciones efectuadas en el campo con distancias crecientes de electrodos colocados en el terreno.

2. Construcción de diagramas de resistividades aparentes -

en función de la distancia creciente de electrodos. En el eje de las abscisas se indica el valor de la resistividad en forma lineal el valor de la resistividad aparente obtenida, y en el eje de las ordenadas se reporta linealmente la profundidad teórica en donde se obtuvo el valor citado en la parte superior, representándose después en conjunto los resultados a lo largo de la traza del perfil, obteniéndose así una imagen de la estructura eléctrica, sin perder de vista la configuración particular de cada sondeo eléctrico.

3. Trazado de las curvas de isorresistividades aparentes con escala vertical lineal. Con este tipo de diagramas se visualiza mejor la estructura eléctrica, aunque se pierda en parte la perspectiva individual de cada sondeo eléctrico.

4. Construcción de las curvas a escala logarítmica.

5. Trazado de tangentes de la curva así como la determinación de espesores y resistividades reales utilizando el Método K (Ver apéndice 2).

6. Corrección de los resultados anteriores, teniendo en cuenta las peculiaridades geométricas y las posibles variaciones tanto laterales como verticales.

7. Comparación de los resultados con los obtenidos por Geología superficial, cortes geológicos así como los terrenos semejantes y perforaciones directas.

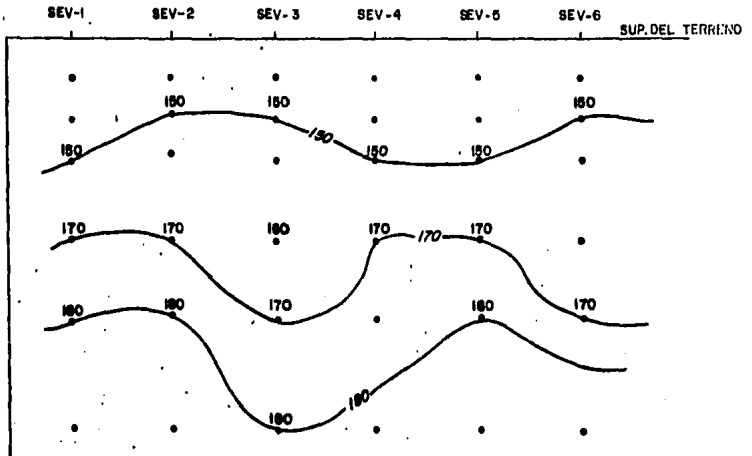


FIG. 4. DIAGRAMA QUE MUESTRA LA FORMA DE CONFIGURAR

— 180 — LINEA MAESTRA DE ISORRESISTIVIDAD APARENTE

■ PROFUNDIDAD TEORICA

• VALOR DE RESISTIVIDAD (OHMS-METRO)

4.2. PROSPECCION GEOFISICA SISMICA.

Para el estudio del método sísmico, éste se divide en dos: uno que es el método sísmico de reflexión, cuya principal aplicación está enfocada a la prospección petrolera; y el segundo - que es el método sísmico de refracción que también tiene muchas aplicaciones, y actualmente se utiliza en estudios de geotécnica presentando muy buenos resultados. En este apartado se tratarán algunas consideraciones relacionadas con sísmica de refracción.

El Método Sísmico de refracción consiste en generar ondas sísmicas en superficies y registrar las que experimenta la refracción total a lo largo de los contactos de velocidades distantes en los diferentes estratos del subsuelo.

Se estudian las ondas que experimentan la refracción total por ser las que proporcionan los recorridos de tiempo mínimo y, por tanto, las que se registran como "primeras llegadas". Cuando se registra por refracción se detectan todas las ondas refractadas en los contactos de los distintos estratos, todas las que vuelven a la superficie, entre ellas las que experimentan la refracción total y que se propagan por los contactos. Como son las más veloces (suponiendo que la velocidad aumenta con la profundidad) serán las que lleguen antes, es decir, las primeras llegadas, que precisamente por ello se distinguirán de las restantes.

4.2.1. PRINCIPIOS FISICOS BASICOS.

Los métodos sísmicos de prospección requieren la introducción en la tierra de una energía que generalmente es generada - mediante explosiones, aunque en otros casos también se produce por medios mecánicos. Por estos medios se producen ondas sísmicas en la tierra, semejantes a las ondas sonoras y que más propiamente llamaremos "ondas elásticas", ya que dependen de la -- elasticidad de los materiales a través de los que se propagan. La velocidad de las ondas depende de las constantes elásticas - de estos materiales, por lo tanto mencionaremos en forma somera los principios elementales de la teoría de la elasticidad y las leyes que rigen la propagación de las ondas sísmicas (Apéndice 3).

4.2.2. PATRON DE DETECCION UTILIZADO.

El patrón de detección utilizado en este tipo de investigación fue el tradicional, es decir, se realizaron tiros en un -- sentido, así como en sentido inverso, obteniéndose una gráfica tiempo-distancia (DROMOCRONICA), en la cual el eje de las abscisas está representando las distancias entre geófonos, y las ordenadas representan los tiempos de los primeros arribos.

La distancia entre los puntos de tiro (P. T.) y de los detectores (D) fue variable, puesto que ésta depende de la profundidad de exploración que se requiera (Fig. 5).

4.2.3. EQUIPO UTILIZADO.

El equipo sísmico de refracción utilizado en el proyecto - Vía Férrea Saltillo-Monterrey consistió en un sismógrafo de 12 canales portátil marca GEO Space Modelo GT-2B, Geófonos, cables sísmicos, cartuchos de dinamita y estopines.

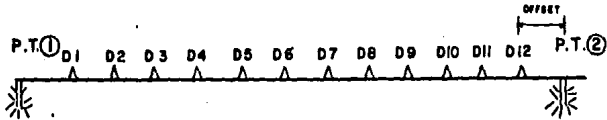
A continuación se describen algunas características más importantes del equipo mencionado anteriormente.

El sismógrafo Geo Space cuenta con una cámara plaroid que registra los datos de las refracciones superficiales que se reciben por medio de doce canales.

El sistema óptico permite obtener marcas verticales que indican intervalos de tiempo, generalmente a cada diez milisegundos en la foto impresa.

El equipo cuenta con 14 galvanómetros, 12 para las trazas sísmicas; una para el tiempo de quiebre y uno de repuesto. Cada traza utiliza un botón para ampliar la señal en ganancia. Este modelo está diseñado para usarse con dinamita o con martillo de placa de acero.

Los geófonos son unidades que están en contacto con el terreno, los cuales convierten el movimiento de la tierra resultante del tiro sísmico, en una señal eléctrica, la que entra a los registros del instrumento, mismos que contienen amplificado res y galvanómetros necesarios para obtener la información del subsuelo. Dicha información del subsuelo es grabada en forma de sismograma.



DONDE P.T. PUNTO DE TIRO

D- DETECTOR O GEOFONO

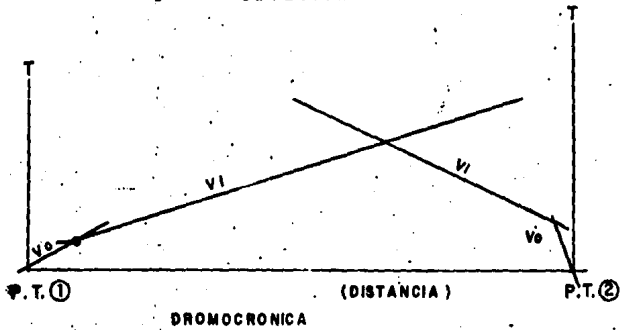


FIG. No. 5

4.2.4. METODOLOGIA DE CAMPO.

La forma en que se efectuaron los tendidos sísmicos fue la siguiente:

Una vez analizada toda la información geológica y topográfica del área de estudio, se procedió a la ubicación de los puntos de tiro (P. T.) en los sitios más favorables, para determinar las características de la roca por las cuales se proyectó la construcción del túnel.

Los tendidos se realizaron paralelos y perpendiculares a la dirección del túnel.

El pozo de tiro se realizó a una profundidad promedio de .75 m de profundidad, teniendo un offset fijo a una distancia de 10 m a partir del pozo. Se realizaron tendidos cortos en donde la separación entre geófonos fue de 6 a 10 m dependiendo esto de la profundidad de investigación requerida.

Algunos puntos importantes que se deben de tomar en cuenta al realizar este tipo de trabajo son los siguientes:

- A. Checar que los geófonos estén bien enterrados.
- B. Se debe ajustar el alineamiento óptico de las trazas con el espejo de reflexión para evitar los errores en el registro de los tiempos de llegada.

Una vez realizado lo arriba descrito, se procede a realizar los disparos obteniéndose la información de los tiempos de llegada en la película fotográfica del aparato.

**CURVA TIEMPOS - DISTANCIA.
(DROMOCRONICA)**

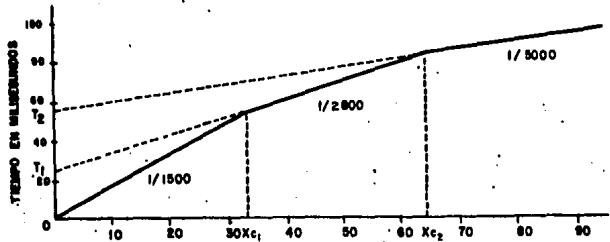


DIAGRAMA DE RAYOS

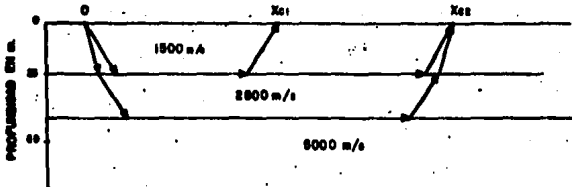


FIG. No. 6

4.2.5. PROCESADO DE DATOS.

Una vez obtenida toda la información sísmica de refracción en el campo, se realizaron algunos procesos que permitieron una correcta interpretación de los datos obtenidos.

Primero se procede a obtener los tiempos de los primeros arribos de refracción en los sismogramas (Fig. 6), con el propósito de elaborar una gráfica tiempo-distancia (Dromocrónica). Esta gráfica permite obtener las velocidades aparentes de los diferentes refractores y mediante un programa previamente elaborado se calcula la velocidad real, el echado y la profundidad a la que se encuentra el refractor.

4.2.6. INTERPRETACION.

El objetivo más importante de la interpretación es separar en la gráfica los trazos de dromocrónica que corresponden, en uno y otro sentido, a cada uno de los refractores existentes.

Haciendo uso de las siguientes expresiones se procede al cálculo de las velocidades y profundidades de los refractores.

$$\text{Pendiente} = m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad i_c = \text{arc sen } \frac{V_0}{V_1}$$

$$\text{Velocidad} = \frac{1}{m} = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1}$$

$$\text{Profundidad} = z = \frac{(V_0 (t_i))}{2 \cos i_c}$$

Donde t_i = tiempo de intercepción.

i_c = ángulo crítico.

Tomando en cuenta la geología del área y los resultados --
obtenidos, se procede a correlacionarlos con las velocidades de
las rocas del área, la cual nos conducirá a los resultados fina
les.

CAPITULO 5. RESULTADOS DE LA EXPLORACION MEDIANTE
SONDEOS DIRECTOS. (PERFORACION).

Los sondeos directos de exploración tuvieron por objetivo tratar de localizar los posibles contactos, entre las areniscas y las lutitas así como también todas las posibles características geológicas que nos pudieran ayudar junto con la correlación geofísica-geológica para la mejor elaboración del presente estudio geotécnico. Los resultados de los sondeos directos en la zona de estudio fueron los siguientes:

En el Túnel No. 2 se realizaron tres sondeos directos localizados en los cadenamientos 941 + 304 (5 metros a la izquierda del eje), 941 + 765 y 942 + 490.

El Sondeo No. 1 tenía por objeto encontrar la falla detectada en la superficie, lográndose su objetivo ya que entre 3 y 6 metros se encontró una zona de falla que afecta el túnel.

El Sondeo No. 2 se realizó con el fin de localizar el contacto entre la lutita calcárea y la arenisca calcárea encontrándose el contacto entre los 61 y 80 metros de profundidad, este sondeo tuvo una profundidad de 100 metros.

El Sondeo No. 3 tenía como finalidad el de terminar las características de fracturamiento de las areniscas calcáreas poniendo de manifiesto que el fracturamiento de las areniscas es más intenso en la superficie mientras que a profundidad la roca está poco fracturada, obteniéndose recuperaciones e índice de -

calidad de la roca elevada.

En el Túnel No. 3 se realizaron dos sondeos directos con máquina perforadora, localizados en los cadenamientos 960 + 802 y 960 + 902.

El primer sondeo se encuentra en la zona de acceso al portal de entrada donde los cortes son del orden de 10 metros de altura. En esta zona se encontraron después de 6 metros areniscas fracturadas, lutitas calcáreas cuyo fracturamiento disminuye a profundidad.

El segundo sondeo indicó la presencia de material intemperizado constituido por fragmentos de areniscas en matriz limo arenosa hasta una profundidad de 9.50 metros al que subyace -- una lutita calcárea muy fracturada hasta 19 metros a partir -- del nivel del terreno. Observándose que a mayor profundidad la roca presenta condiciones mejores en cuanto a fracturamiento -- se refiere.


El Túnel No. 6 se realizó una perforación directa la cual quedó ubicada en el cadenamiento 964 + 880.

La cual muestra en los primeros 5 metros de profundidad -- una arenisca calcárea intemperizada de calidad regular, hasta los 25 metros en los cuales se encuentra el contacto con las -- lutitas calcáreas observándose pequeñas intercalaciones de areniscas calcáreas de los 22 a 23 metros y de los 33 a 35 metros, de profundidad, su R. Q. D. fluctúa de 53 a 100%.

Se anexan las hojas de campo de los sondeos directos realizados en la cual se observa su profundidad. Num. de muestra, cotas, descripción geológica, R.Q.D. y su recuperación.

PROF. m	haca	Dist.	Cofec.	DESCRIPCION.	ROD %	Recup. %
1	1		1244	FRAC. DE ROSA INTERMEDIADA	0	20
2	2			LUTITA CALCAREA DE GRANO FINO.	10	100
3	3		1245	LUTITA CALCAREA GRIS FRAGMENTADA.	10	100
4	4			LUTITA CALCAREA GRIS Y CARB. CON LUTITA.	10	100
5	5			LUTITA CALCAREA GRIS Y CARB. CON FOSFAT. DE CALCIO.	10	100
6	6				20	100
7	7				19	100
8	8				42	100
9	9				24	100
10	10		1246	LUTITA CALCAREA GRIS FRAGMENTADA.	24	100
11	11				9	100
12	12			LUTITA CALCAREA FRIC.	40	100
13	13			LUTITA CALCAREA FRACT.	50	90
14	14				90	100
15	15			LUTITA CALCAREA FRACT.	45	90
16	16				50	100
17	17				26	100
18	18			LUTITA CALCAREA FRACT.	26	90
19	19				50	90
20	20		1247	LUTITA CALCAREA FRACT.	100	100
21	21					
22	22					
23	23					
24	24					
25	25					
26	26					
27	27					
28	28					
29	29					
30	30		1248			


Tunel no 2:
 Sondeo no. 1
 Ubicacion. 941 + 304.



ULSA.
 TESIS
 PROFESIONAL
 HECTOR MONTES A.

PROP. m	Mesa	Simb.	Cofec.	DESCRIPCION.	ROD %	Recup. %
1'	1		1363	LUTITA IMPER. GRIS	0	32
	2		1363		100	100
	3				100	100
	4				100	100
	5				48	100
					55	100
					100	100
	5			LUTITA CALCAREA GRIS, EN OCISIONES FRAGMENTADA.	100	100
					100	100
	10				100	100
	10			77	100	
				93	100	
15				100	100	
		1363				
			LUTITA C.A. GRIS/IVY FRAGMENTADA.	0	100	
		1363		LUTITA CALCAREA GRIS		
20			1363	LUTITA CALC. GRIS. FRAGM.	0	100
	15				100	100
				LUTITA CALCAREA COLOR GRIS POCO FRAGMENTADA CON CALCITAS DE RELLENO	100	100
25					100	100
					100	100
30					100	100
					100	100
35					100	100
	20				65	100

Tunel no	2
Sondeo no.	2
Ubicacion.	941+765 Botu 1

	ULSA.
	TESIS
	PROFESIONAL.
	HECTOR MONTES A.


PROF. m.	lmas.	Slab.	Cotes.	DESCRIPCION.	RQD %	Respa %
40					100	100
					100	100
					100	96
45				idem anterior.	100	100
					76	100
50			1354	ARENISCA CALCAREA GRIS	100	100
			1353		76	100
			1354			
55				LINTA CALCAREA GRIS CON CAPAS DE ARENISCA GRANO DE ROCA FINO A MEDIO.	66	100
					98	100
60			1352	ARENISCA CALCAREA GRIS DE GRANO FINO CON CAPAS DE LINTA COLOR GRIS POCO FRACURADA.	91	100
					93	100
65					97	100
					93	100
					81	100
70						

Tunel no 2
Sondeo no. 2
Ubicacion. 9411765 lot. 2

	ULSA.
	TESIS
	PROFESIONAL
	HECTOR MONTESA


PROF. m	Mas.	Simb.	Cotes.	DESCRIPCION.	RQD %	Recup. %
75						
				idem anterior.	98	100
			1224			
80				ARENISCA CALCAREA COFE CLARA POCO FRACTURADA.	55	100
			1329			
				ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS CON CAP'S DE LUTITA GRIS POCO FRACTURADA, CON ALGUNAS FRACTURAS RELENAS DE CALCITA.	92	100
85					54	100
					95	100
90					65	100
					98	100
95					100	100
					83	100
					100	100
100			1023		44	100

Tunel no	2
Sondeo no.	2
Ubicacion.	941+765

	ULSA.
	TESIS
	PROFESIONAL.
HECTOR MONTES A.	

PROF. m	hmed.	Simb.	Coloc.	DESCRIPCION.	RDD %	Resup. %
1	1		1344	ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS	10	75
	2		1344	ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS	10	75
	3		1344	ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS	10	75
	4		1344	ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS	15	80
5	5		1344	ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS CON INTERCALACIONES PRAC. LOCALITA.	94	98
	6		1344	ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS CON INTERCALACIONES PRAC. LOCALITA.	85	97
10	10		1344	ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS CON INTERCALACIONES PRAC. LOCALITA.	67	98
	11		1344	ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS CON INTERCALACIONES PRAC. LOCALITA.	85	97
15	15		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	97	100
	16		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	98	100
	17		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	98	100
	18		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	98	100
20	20		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	98	100
	21		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	98	100
25	25	15	1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	98	100
	26		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	100	100
30	30		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	99	100
	31		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	100	100
35	35	19	1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	100	100
	36		1344	ARENISCA CALCAREA CON INTERCALACIONES DE INTITAS CALCAREA GRISAS DE GRANO FINO, A MAYOR PROF. CON FRACTURAS VERTICALES CON RECRISTALIZACIONES DE CALCITA.	100	100

Tunel no 2
Sondeo no. 3
Ubicacion. 942 + 490

	ULSA.
	TESIS
	PROFESIONAL
	HECTOR MONTES A.


PROF. m	Mess.	Simb.	Cotas.	DESCRIPCION.	ROD %	Recup. %
	1		0.00	LIMO FICIL. C/GRAN Q. CAP.	-	16
	2			ARENISCA CALCAREA COLOR GRIS CLARO AL INICIO Y GRIS OSCURO AL FIN L.	10	25
	3				15	30
	4			FRACTURADA.	20	35
5	5				25	40
	6				30	45
	7				35	50
	8				40	55
	9				45	60
10	10			LUTITA CALCAREA GRIS CLARA GRIS OSCURA.	50	65
	11				55	70
	12				60	75
	13				65	80
	14				70	85
15	15				75	90
	16				80	95
	17				85	100
	18			ARENISCA CALC. GRISO FINO	90	100
	19				95	100
20	20				100	100
	21				98	100
	22				96	100
	23				94	100
25	24			LUTITA CALCAREA COLOR GRIS OSCURO CON INTERESTRATIFICACIONES DELICADAS DE ARENISCA.	92	100
	25				90	100
	26				88	100
	27				86	100
30	28				84	100
	29				82	100
	30				80	100
35	31				78	100
	32				76	100

Tunel no 3
 Sondeo no. 4
 Ubicacion. 960 + 802.

 **ULSA.**
 TESIS
 PROFESIONAL
 HECTOR MONTES A.


PROF. m.	Med.	Dist.	Cotes.	DESCRIPCION.	MOO %	Respa %
5	1			FRAGMENTOS DE CERAMICA CALCESTRAS, FOCA IRON, DE COLOR GRIS CON CALCEIT	17	17
	2				20	20
	3				20	20
	4				20	20
	5				20	20
	6				20	20
	7				20	20
	8				20	20
	9				20	20
	10	10				20
15				LINDA CALCESTRAS DE COLOR GRIS CON CAPAS VERDOSO IRON BRAC.	25	25
					25	25
					25	25
					25	25
					25	25
					25	25
20				LINDA CALCESTRAS DE COLOR GRIS CON CAPAS ATSLERAS DE CERAMICA DE COLOR GRIS DE CALIDAD EXCELENTE.	60	60
					60	60
					60	60
					60	60
25				LINDA CALCESTRAS DE COLOR GRIS CON CAPAS ATSLERAS DE CERAMICA DE COLOR GRIS DE CALIDAD EXCELENTE.	100	100
					100	100
					100	100
					100	100
30	20			LINDA CALCESTRAS DE COLOR GRIS CON CAPAS ATSLERAS DE CERAMICA DE COLOR GRIS DE CALIDAD EXCELENTE.	100	100
					100	100
35	20			LINDA CALCESTRAS DE COLOR GRIS CON CAPAS ATSLERAS DE CERAMICA DE COLOR GRIS DE CALIDAD EXCELENTE.	100	100
					100	100

Tunel no	3
Sondeo no.	5
Ubicacion.	960 + 962

	ULSA.
	TESIS
	PROFESIONAL.
	HECTOR MONTES A.

PROF. m	Mts.	Sub.	Cotes.	DESCRIPCION.	ROD %	Recup %
			1126			42
				fragmentos de arenisca calcarea de 2" gris, ar cilla poco arenosa, numero limo, cafe variegado.		82
						30
						100
						85
						100
5				arenisca calcarea cafe clara, intemp. regular.	89	100
				arenisca calcarea color gris con fragmentos en las fracturas de calcite de calidad buena. la arenisca presenta color cafe claro	98	96
10	10				79	100
					100	100
					83	90
					87	100
15			1121	lutita calcarea gris de calidad excelente	93	96
				lutita calcarea cafe intem, buena.		
20	15			lutita calcarea gris de buena calidad.	84	100
			1114	arenisca calcarea	-	98
				lutita calcarea	89	80
25				lutita calcarea gris, con estratificaciones de arenisca calcarea, poco fracturada de calidad buena.	100	100
					100	93
30	20				85	100
35	20			arenisca calcarea gris, n°	98	100

Tunel no	6
Sondeo no.	6
Ubicacion.	964+890

	ULSA.
	TESIS
	PROFESIONAL.
	HECTOR MONTES A

CAPITULO 6. INTEGRACION DE RESULTADOS.

Para la integración de los resultados se realizaron las siguientes actividades:

1. Geología regional.
2. Exploración directa. (Perforaciones).
3. Exploración indirecta. (Geofísica).

Todas las actividades están resumidas en la tabla siguiente:

Tabla de Actividades.

<u>No. de Túnel</u>	<u>Ubicación</u>	<u>Actividad</u>	<u>No.</u>
1	Cadenamiento Km 927 + 692 (P.E.) al Km 927 + 848 - (P.S.) Plano No. 174.	Geología	
		Sondeos Eléctricos Verticales.	3
		Tendidos sísmicos	1
		Perforaciones	1
2	Cadenamiento Km 941 + 320 (P.E.) al Km 942 + 500 - (P.S.) Plano No. 8-9.	Sondeos Eléctricos Verticales.	47
		Geología.	
		Tendidas sísmicas	5
		Perforaciones.	3
3	Cadenamiento Km 960 - 880 (P.E.) al Km 961 + 000 - (P.S.) Plano No. 8-11.	Geología.	
		Sondeos Eléctricos Verticales.	10
		Tendidas Sísmicas	--
		Perforaciones.	2

<u>No. de Tñnel.</u>	<u>Ubicación</u>	<u>Actividad</u>	<u>No.</u>
4	Cadenamiento Km 963 + 772.5 (P.E.) al Km 663 + 820 - (P.S.) Plano No. 12-17	Geología.	
		Sondeos Eléctricos	
		Verticales.	6
		Tendidas Sísmicas	1
		Perforaciones.	--
5	Cadenamiento 964 + 080 (P.E.) al Km 964 + 100 (P.S.) Plano No. 12-17	Geología.	
		Sondeos Eléctricos	
		Verticales	8
		Tendidas Sísmicas.	1
		Perforaciones	--
6	Cadenamiento al Km 964 + 815 (P.E.) al Km 964 + 890) (P.S.) Plano No. 18.	Geología.	
		Sondeos Eléctricos	
		Verticales.	4
		Tendidas Sísmicas.	2
		Perforaciones.	1

P. E. Portal de entrada.

P. S. Portal de salida.

A continuación se describen los resultados más sobresalientes de las actividades mencionadas en la tabla anterior:

TUNEL 1.

Los afloramientos en esta zona están constituidos por lutitas calcáreas de color gris a café claro a las que subyacen unas areniscas calcáreas de color café, mismas que afloran en la parte superior.

En el portal de salida se pueden observar lutitas calcáreas

con intercalaciones pequeñas de areniscas calcáreas, con un rumbo de la capa de S 85°W y un echado de 20°SE. En este portal -- fue posible observar los sistemas principales de fracturamiento que consisten en fracturas cerradas en las que se tiene evidencia del paso del agua, marcadas por fenómenos de oxidación. Se observan dos sistemas de fracturas, unos orientados al N 550°W con inclinación N 55°E y otros al N 85°W con inclinación de N 70°E. El espaciamiento entre fracturas varía entre 3 y 5 m.

Los resultados que se obtuvieron con la Geofísica fueron -- los siguientes:

Se determinó una primera capa con valores resistivos que varían de 200 a 90 ohms metro, correlacionable con areniscas fracturadas sobreyaciendo a una capa cuyo rango de resistividades es de 54 a 680 ohms-metros correlacionadas con areniscas calcáreas, teniendo un espesor, las dos capas, de tres metros. Subyaciendo a estas capas se obtuvieron valores de resistividades -- que varían entre los 99 y 196 ohms-metros que se correlacionan con lutitas calcáreas, y además, se observa un aumento de resistividad con respecto a la profundidad (de 172 a 418 ohms-metros) provocados por la intercalación de lutitas-areniscas calcáreas.

En lo referente a la sismología, se detectó después de la roca intemperizada una capa con una velocidad sísmica de 3733 m/seg correlacionable con las lutitas calcáreas, mismas que tienen pequeñas intercalaciones de areniscas. Estas altas velocidades indican la presencia de roca poco fracturada. La tendida --

sísmica quedó ubicada en el Km 927 + 740, no haciéndose perforaciones en este túnel.

En base a los resultados de la Geofísica y la Geología Superficial se elaboró el perfil geológico y las secciones, tanto de los portales de entrada, como los portales de salida, en las que se muestra la posición de las capas que se encuentran en los frentes.

El examen de este perfil indica, que en portal de entrada - las características de las rocas (fracturamiento cerrado a profundidad, poca inclinación de las capas que se cortan, y altas velocidades de propagación de las ondas sísmicas -no se preven problemas en el emboquillado de este túnel, ya que se estima - que se podrán sostener las paredes usando soportes en una forma temporal como son anclas y concreto lanzado.

En cuanto al portal de salida, teniendo un avance en su --- construcción de 10 m, se encuentran lutitas grises con fracturas espaciadas. El método de soporte consistió en el uso de anclas y concreto lanzado con los que no se tuvieron problemas con el soporte del túnel, en las partes de acceso al portal no se utilizó concreto lanzado, debido a que la roca se encuentra en proceso de intemperización. Se observó un desmoronamiento de lutita calcárea que provoca acumulación de fragmentos de material - al pie de el talud.

TUNEL 2.

La Geología muestra que del portal de entrada hasta el cadenamiento 941 + 380 aproximadamente, afloran areniscas y lutitas calcáreas, con una inclinación que varía de los 70° hasta los 90° (verticales). Estas rocas presentan fracturas verticales orientadas N40°W.

Entre los cadenamientos 941 + 700 y 941 + 820 existen superficialmente lutitas calcáreas, mismas que se evidencian por un cambio de pendiente en el perfil topográfico. Desde el cadenamiento 941 + 820 hasta 942 + 520 existen nuevamente areniscas calcáreas que dan lugar a un anticlinal simétrico. A partir del cadenamiento 942 + 520 hasta el portal de salida se observan lutitas calcáreas en estratos delgados que presentan una dirección N80°W y una inclinación de 30° hacia en NE.

Entre el cadenamiento 941 + 250 y 941 + 280, se aprecia la presencia de una falla de dirección N40°W, misma que se manifiesta en forma evidente con recristalización de calcita en la parte alta del cerro, sobre el camino que baja hacia el portal de salida.

En lo que respecta a la Geofísica Eléctrica se analizaron los perfiles tanto de isorresistividades aparentes, como los geoelectrónicos, obteniéndose los siguientes resultados:

En la parte del portal de entrada (941 + 100 -- 941 + 425), el comportamiento resistivo nos indica la presencia de alternancias de areniscas y lutitas del tipo calcáreo, en donde los va-

lores resistivos varían de 75 a 650 ohms-metro. Además, se observa en el perfil geoelectrico que los estratos tienen un echado tendiendo a vertical.

Por otro lado, a partir de Km 941 + 425 hasta el Km 942 + 500 se observa en el perfil geoelectrico un cambio de valores resistivos que son asociables a la alteración de la lutita y de las areniscas calcáreas. También se puede observar que en los perfiles los estratos tienen echados de fuerte pendiente y se marca la presencia del fracturamiento.

En lo que respecta al portal de salida, a lo largo del cadenamiento 942 + 500 y 942 + 600, se observan valores resistivos que van desde los 30 a los 2523 ohms-metro, quedando los valores mayores en la parte somera asociándose a la roca intemperizada que aflora en algunas partes del túnel. Asimismo, se observa que los echados del túnel son fuertes y están constituidos por lutitas calcáreas hacia el portal de salida.

Analizando las dos tendidas sísmicas realizadas en el portal de entrada se concluyó lo siguiente:

La primera tendida sísmica ubicada en los cadenamientos - - 941 + 115 (PT1) y 941 + 200 (PT2), con una profundidad de exploración de 25 m. Presentó una velocidad de 3508 m/seg que indica la presencia de areniscas del tipo calcáreo hasta una profundidad de 3 m. y observándose disminución en las velocidades que son indicativas de lutitas calcáreas.

La segunda tendida sísmica, presentó una velocidad de 2666

m/seg que se asocia a la presencia de areniscas calcáreas, mismas que fueron detectadas en las posiciones de tiro, que fueron en los Km 941 + 280 (PT1) y 941 + 380 (PT2).

En la parte intermedia del trazo del túnel 2, se realizó una tendida sísmica que quedó ubicada en los Km 941 + 800 y - - (PT1) y 942 + 026 (PT2), que arrojó una velocidad de 4254 m/seg que se correlacionan con las areniscas. La profundidad de exploración fue de 70 m.

En el portal de salida se realizaron dos tendidas sísmicas quedando ubicadas en los kilómetros siguientes:

1. 942 + 400 (P.T.1) - 942 + 500 (P.T.2).
2. 942 + 515 (P.T.1) - 942 + 600 (P.T.2).

Los resultados que se obtuvieron en las tendidas sísmicas fueron las velocidades que se presentan, las cuales varían entre los rangos 2977 y 3250 m/seg., las que se correlacionan con las areniscas de tipo calcáreo con posibles contactos de lutitas.

Los resultados obtenidos por perforación directa comprueban los resultados obtenidos por métodos geofísicos, y el análisis de los datos que se integraron por los dos métodos, permitieron la elaboración del perfil geológico, a lo largo del túnel, las configuraciones de las condiciones de los portales de entrada y salida y la representación de la estructura geológica en la zona de falla.

Determinando las condiciones del subsuelo a través de los -

resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

En la zona del portal de entrada la roca representada por lutitas calcáreas se encuentra en estado vertical, al igual que las areniscas calcáreas, y además, presenta una dirección perpendicular al eje del túnel, los estratos se encuentran en capas, mismas que fueron observadas en los cortes, fracturadas -- con espesores de .5 a 1.0 m con presencia de fracturas. Las -- fracturas se encuentran cerradas, y en algunas ocasiones presentan rellenos de calcita.

Entre el cadenamiento 941 + 250 y 941 + 280 donde se presentó arenisca muy fracturada, se observa el posible cruzamiento -- con la falla detectada en el sondeo directo 1. Se preve que la zona de falla se atravesará sobre una longitud variable que va de los 10 a los 20 m.

Entre los cadenamientos 941 + 820 y 942 + 520 el túnel se -- encontrará ubicado en rocas constituidas principalmente por areniscas calcáreas con estratificaciones internas de lutitas.

Entre el cadenamiento 941 + 820 y 942 + 518 se realizará la excavación a través de areniscas calcáreas cruzando un anticlinal simétrico. El Sondeo Directo 2 indica que se pueden encontrar areniscas muy fracturadas en algunos tramos con un porcentaje de R.Q.D. mínimo de 54, pero se hace notar que el Sondeo -- Directo 3 presenta mejores características.

En lo que se refiere al portal de salida, éste se excavará en lutitas calcáreas que presentan estratos delgados, con incli

nación de 30°NE hacia la entrada.

TUNEL 3.

En el reconocimiento superficial, no se observaron afloramientos, y se detectaron únicamente fragmentos grandes de areniscas calcáreas intemperizadas.

Hacia el portal de entrada, se logró ubicar un pequeño afloramiento de lutita calcárea.

Los resultados que se obtuvieron de la interpretación de los perfiles de isorresistividades aparentes y geolétricas se concluyó que la distribución de los estratos es de forma subhorizontal, además se pudo observar una primera capa de aproximadamente 7.0 m de espesor que es correlacionable con areniscas calcáreas y fragmentación de la misma roca, y tiene unos valores resistivos que varían desde los 188 hasta los 2000 ohms-metro.

Subyaciendo se observa otro estrato de aproximadamente 11 metros de espesor en el portal de entrada, aumentando en el cadenciamiento 960 + 900. Los valores que se obtuvieron son resultados que se pueden correlacionar con lutitas calcáreas ya que presentan valores de 12 - 143 ohms-metro.

Conforme aumenta la profundidad, los valores de resistividad se incrementan, mismos que son correlacionables con lutitas con estratificaciones de areniscas.

Los resultados que se obtuvieron de los Sondeos Directos, -

fueron grandemente correlacionables con los anteriores, ya que estos últimos presentaron hasta la profundidad de 7 metros fragmentos de areniscas. (Km 960 + 802.75 y Km 960 + 902).

Existe una pequeña capa de 2 metros de espesor de limos arenosos y hasta los 19 metros se encontró lutita calcárea muy -- fracturada, por último se localizó hasta los 35 metros lutita calcárea de buena calidad.

Los resultados obtenidos tanto de Geofísica como de Perforación permitieron elaborar un perfil geológico en el que se muestran las posiciones de los estratos que se atravesarán en este túnel. En estos se observa que el nivel de la rasante está ubicado en rocas que presentan poco fracturamiento. Y por lo tanto no se preven problemas en la excavación.

TUNEL 4.

En la zona donde se encuentra ubicado el túnel 4, afloran areniscas calcáreas en capas de .5 a 1.5 m de espesor, cubiertos por un pequeño depósito de talud que se cree que tiene un espesor de 3.0m. Los estratos de areniscas presentan una dirección en el portal de entrada de E a W con una inclinación de $-S30^{\circ}W$, mientras que hacia el portal de salida los estratos son parcialmente horizontales.

Debido a la dirección de eje del túnel con respecto a la de las capas, éste se excavará en estratos de posición horizontal o subhorizontal. El macizo rocozo de esta porción está afectado por fracturas cerradas de dirección N-S verticales que presen--

tan un espaciamiento entre .50 y 3.0 m.

El túnel 4 y 5 pertenecen a un mismo maciso rocoso que forma un pequeño anticlinal, cuyo eje está buzando hacia el río.

Los resultados por Geofísica muestran en el perfil geoelectrico una capa con valores resistivos de 202 - 550 ohms-metro correlacionables con areniscas fracturadas.

Finalmente se encuentra delimitado otro estrato con valores que presentan 81 - 270 ohms-metro correlacionables con lutitas, existiendo algunos valores altos de resistividad que pueden ser producto de la presencia de fracturas verticales.

Los resultados por sísmica, se pudieron correlacionar con areniscas, ya que presentaron velocidades de 2641 m/seg. La profundidad de exploración fue de 25 metros, quedando ubicada la tendida sísmica en el cadenamiento 963 + 760.

En este tramo no se realizaron perforaciones. Los datos de la Geología superficial y de los estudios Geofísicos permitieron elaborar el perfil geológico en el que se aprecian la posición de las areniscas que atravesarán este túnel. Debido a que estas rocas se presentan poco fracturadas e intemperizadas, no se prevén problemas en las excavaciones.

TUNEL 5.

La misma secuencia de areniscas calcáreas observadas en el túnel 4, se presentan en éste. En estratos gruesos de .50 a 1.0 m de espesor. La estratificación en este caso presenta una

dirección de N60°E, con una inclinación de S30°E. Se observan fracturas verticales espaciadas de .50 a 3.0 m en dirección NS.

A lo largo del túnel afloran areniscas calcáreas que se encuentran en estratos de .30 a .50 m., a las que subyacen lutitas calcáreas en capas delgadas. Las areniscas se presentan hacia el portal de entrada y las lutitas en el portal de salida.

A lo largo del túnel se realizaron 8 sondeos eléctricos verticales con una exploración que varía de los 40 a los 60 metros. Los valores obtenidos en los SEV's, presentaron unas resistividades que oscilan entre los 400, 354 y 90 ohms-metro que se pueden correlacionar con capas de areniscas los mayores y los de valor menor con capas de lutitas.

La sísmica de refracción realizada entre los Km 964 + 000 (P.T.1) y en el Km 964 + 100 (P.T.2) para una profundidad de exploración, indicó una velocidad de 3650 m/seg., misma que se puede correlacionar con arenisca compactada.

En este túnel no se realizaron Sondeos Directos. El análisis de los datos de campo permitió la elaboración del perfil geológico, donde se aprecia que la excavación se efectuará en areniscas que presentan una ligera inclinación hacia el portal de salida. Las características de estas rocas indican que no se tendrán problemas en la excavación.

TUNEL 6.

Superficialmente en este túnel se observan areniscas calcáreas de .30 a .50 m de espesor a la que subyacen lutitas calcá-

reas en capas delgadas.

La dirección de las capas es de $N50^{\circ}W$ con una inclinación de 35° al SE. Estas rocas están afectadas por fracturas verticales de dirección N-S que se cierran a profundidad, espaciadas entre sí, a .50 y 1 m.

Los resultados de los Sondeos Eléctricos Verticales muestran que existe una primera capa con valores resistivos de 145 - 700 ohms-metro correlacionables con areniscas poco intemperizadas, subyaciendo se obtuvo otra capa con valores resistivos cuyo rango varía entre 71 - 483 ohms metro que también se correlacionan con areniscas, por último subyaciendo, se observa otro estrato con valores resistivos hasta de 557 ohms metro que puede asociarse con lutitas. En el perfil geoelectrico se observa el contacto entre las areniscas y las lutitas que fue confirmado por la perforación directa a la altura del cadenamiento 964 + 900.

Se realizaron dos tendidas sísmicas de refracción, la primera en el portal de entrada entre el Km 964 + 730 (P.T.1) y 964 + 850 (P.T.2) con una profundidad teórica de exploración de 35 metros, obteniéndose una velocidad de 2988 m/seg correspondiente a areniscas por lo que se puede inferir que es roca de buena calidad.

La segunda tendida se hizo en el portal de salida en el Km 964 + 880 quedando transversal al eje del túnel, se realizó de esta manera para definir con exactitud la distribución de la velocidad en el subsuelo, dando como resultado una velocidad de --

2399 metros/seg, correlacionables con lutitas.

Con el fin de definir el contacto lutita-arenisca, así como las características físicas de las rocas que se atravesarán con este túnel se realizó un Sondeo Directo.

Los resultados de esta exploración indican que tanto la lutita como las areniscas presentan buenas características en -- cuanto a calidad de roca se refiere.

Los datos de las exploraciones directas e indirectas permitieron elaborar el perfil geológico de este túnel en el que se aprecia la inclinación con que se atravesarán los estratos así como la zona de contacto entre areniscas y lutitas.

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. El tramo donde se localizan los seis túneles está comprendido entre los Km 927 + 620 a 965 + 000 de la futura vía - Saltillo-Monterrey, la cual se proyecta que sea de doble vía - en el tramo Ramos Arizpe - Villa García, con una sección del tipo de herradura con un ancho de 10.0 m y 8.75 m de altura, un revestimiento de .60 m y una pendiente máxima del uno por ciento.

2. La zona donde se ubican los seis primeros túneles se encuentra en la porción suroriental del estado de Coahuila, dentro de la subprovincia fisiológica de Parral, cuya estratigrafía corresponde a la del grupo Difunta, la cual está formada -- por rocas sedimentarias, particularmente por capas delgadas de espesor mínimo de 1.50 m, de areniscas de grano fino a medio, - color café, alternadas con capas de lutita de unos 80 cm de espesor, de color gris oscuro, las que superficialmente se encuentran cubiertas, en ocasiones, por un escaso espesor de suelo vegetal menor de 30 cm, formado a veces por gravas con fragmentos calcáreos.

3. Los resultados de los trabajos de campo efectuados en los seis túneles de estudio: Geológica superficial, Geofísica y Sondeos Directos, cuya conjunción permitió elaborar el perfil geológico para cada uno de los túneles, que se presentan en los planos 1 a 18, en el que se indica; la ubicación del túnel coberturas, tipo de material que atravesará el túnel, inclinación de

de los estratos y velocidad de las ondas sísmicas. El examen de estos perfiles permitió establecer para cada túnel, las conclusiones y recomendaciones siguientes:

TUNEL 1.

En este túnel de una longitud de 220 m, el portal de entrada se localiza, según proyecto, en el Km 927 + 620, con una cobertura de 3.50 m, y el portal de salida en el Km 927 + 840, -- con una cobertura de 27.50 m. Los afloramientos en esta zona indican que en el portal de entrada se detecta material del tipo aluvi6n al que subyacen las areniscas calcáreas de grano fino, de color café, las mismas que afloran en la parte alta de la loma y que presentan fracturamientos cerrados conforme se profundizan, poca inclinación de las capas y alta velocidad de propagación de las ondas sísmicas. Hacia el portal de salida se observa, dado que éste se encuentra ya construido teniéndose un avance de aproximadamente 10 m, capas de lutitas grises con un rumbo de S85°W y un echado de 20°SE, con fracturas espaciadas de tres a cinco metros en las que se tienen evidencias de paso del agua, marcadas por fenómenos de oxidación, en la zona de acceso al portal, se observaron dos sistemas de fracturamiento, uno orientado al N55°W con inclinación de 55° NE, y el otro al N85°W con inclinación de 70°NE.

Las recomendaciones que se establecen para este túnel son:

a) Dada la cobertura tan pequeña, 3.50 m, que presenta este túnel en el portal de entrada y de acuerdo a las recomendaciones

constructivas que se tienen, en cuanto a que la cobertura mínima que debe tener un túnel es de 1.5 veces el ancho del mismo, y esto con el objeto de que los cambios de esfuerzos en el subsuelo, producidos por la construcción, no afecten la superficie o una zona cercana al mismo y provoquen hundimientos o caídos del techo del túnel, se recomienda que el portal de entrada se recorra una distancia tal que la cobertura que se tenga sea mínimo de 1.5 veces el ancho del túnel.

b) El aluvión que se localiza en el portal de entrada de este túnel dificulta su construcción, por la inestabilidad propia de las paredes, lo que refuerza la necesidad de recorrer dicho portal.

c) Para la nueva ubicación del nuevo portal de entrada del túnel que sería el cadenamiento 927 + 695, no se prevén problemas en su construcción, ya que se estima que se podrán sostener las paredes usando soportes temporales a base de anclas en una plantilla con separación de .90 a 1.5 m c.a.c. y concreto lanzado con un espesor mínimo de 10 cm en la clave y las paredes.

d) En cuanto al portal de salida, como se mencionó anteriormente, se encuentra en proceso de construcción, el método de soporte empleado es a base de anclas y concreto lanzado y no se observan problemas para el soporte del túnel. En las paredes de acceso al portal, la roca se encuentra en proceso de intemperización, observándose desmoronamiento de la lutita calcárea, provocando acumulación de fragmentos de material al pie del talud,

por lo que se recomienda revestir también las paredes del talud con malla-lac y concreto lanzado, con el objeto de evitar la intemperización.

e) En el resto del túnel se estima que los problemas de caídos por el fracturamiento de la roca sean mínimos, y los mismos se podrán resolver por anclas y concreto lanzado, colocados cuando mucho de .60 a 1.20 m del frente. La separación de las anclas será de .90 a 1.50 m c.a.c.

f) Es importante destacar que en la zona de acceso al portal de entrada así como dentro del mismo túnel, en el contacto entre las areniscas calcáreas y las lutitas calcáreas, se podría presentar un deslizamiento de material debido a la inclinación de las capas, por lo que se recomienda una observación constante y, en su caso la utilización de anclas en posición perpendicular al buzamiento de las capas.

g) La construcción del túnel debe continuar en el sentido que se tiene actualmente.

TUNEL 2.

Este túnel tiene una longitud de 1600 m, quedando comprendido entre los km 941 + 080 (P.E.) al km 942 + 680, (P.S.), con una cobertura de 6.0 m en los portales.

En la zona del portal de entrada y hasta el km 941 + 700, la roca representada por arenisca calcárea y lutita calcárea, se encuentra en estrados verticales cuya dirección es perpendicular -

al eje del túnel; los estrados se encuentran en capas, como -- fue posible observar en los cortes de acceso al portal de entrada, de 0.50 a 1.0 m de espesor con fracturas verticales orientadas N 40°W y N 60°W, las cuales están cerradas y a veces rellenadas de calcita. Entre el km 941 + 250 hasta el km 941 + 280, donde superficialmente se observó una arenisca muy fracturada, se detectó la presencia de una falla con dirección N40°W, misma que se observó en la parte alta del cerro, sobre el camino que baja al portal de entrada, la que fue detectada mediante el sondeo I - 1 a la profundidad de 2.80 m, cota 1342.25, (Ver inciso IV.3). Esta falla y el túnel presentan un ángulo entre sus direcciones de 21° y se preve que la falla atravesará el túnel en una longitud variable entre 10 y 20 m.

Desde el km 941 + 700 hasta el km 942 + 520 existen, al inicio de este tramo, lutitas calcáreas hasta el km 941 + 820 a -- partir del cual se detectó arenisca calcárea que forma un anticlinal. Desde el km 942 + 520 y hasta el portal de salida se observan lutitas calcáreas, en estratos delgados, que presentan -- una dirección N80°W y una inclinación de 30° al NE.

Del análisis de la información obtenida para este túnel se recomienda lo siguiente:

- a) Debido a la cobertura tan pequeña que tiene este túnel, 6.0 m en ambos portales (y dadas las recomendaciones constructivas existentes) en cuanto a que la cobertura mínima para -- construir un túnel debe ser de 1.5 veces el ancho del mismo,

lo cual no se cumple con la posición actual de los portales, se recomienda que ambos se recorran una distancia tal que se cumpla con esta restricción.

- b) Debido a la presencia de una falta a la altura del km 941 + 250 al 941 + 280, aunada a la baja cobertura que se tiene, - y con objeto de evitar problemas constructivos, es recomendable que el portal de entrada se ubique a la altura del km -- 941 + 340.

Considerando la nueva ubicación del portal de entrada y los resultados del sondeo I -1, en cuanto al R.Q.D. al nivel del túnel y a la geología de la zona; se recomienda utilizar, para el portal de entrada, marcos medianos a pesados con una - separación de 0.60 a 1.20 m c.a.c. con retagues de madera o, en su caso, anclas en una plantilla con separación de 0.6 a 1.2 m c.a.c. combinado con concreto lanzado de un espesor mínimo de 15 cm en la clave y las paredes.

Cualquiera de las recomendaciones anteriores deberá colocarse lo más cerca posible al frente del ataque, de 0.60 a 1.20 m para los marcos y las anclas y hasta el frente para concreto lanzado.

Para el diseño de los marcos deberá considerarse una carga de rocas equivalente a dos veces el ancho del túnel.

- c) El tramo comprendido entre el km 941 + 400 al 942 + 400, de acuerdo con el tipo de material y los valores de R.Q.D. obte-

nidos de los sondeos I - 2 e I - 3, se recomienda en el tramo del túnel que corte la capa de lutita ocasionalmente el uso de anclas separadas 1.50 a 1.80 m c.a.c., perpendiculares al echado de los estratos, con aplicación local de concreto lanzado en un espesor de 5.0 a 7.5 cm. Para la zona en que el túnel corta las areniscas calcáreas, se recomienda dados los porcentajes de R.Q.D. en el sondeo 1 - 3 (65%), la utilización de marcos ligeros a medianos con separación de 1.20 a 1.50 m c.a.c. con retagues de madera o bien, anclas en una plantilla con separación de 0.9 a 1.50 m c.a.c. con aplicación local de concreto lanzado en un espesor de 10.0 cm.

- d) Para el portal de salida se recomienda moverlo a un punto tal que se tenga una cobertura mínima cuando menos 1.5 veces el ancho del túnel. Esto podría ser a la altura del km 942 + 450, para lo cual las recomendaciones serían la utilización de anclas separadas 1.5 a 1.80 m, centro a centro con aplicación de concreto lanzado con espesor de 5.0 a 7.5 cm.
- e) La carga de roca para el diseño de los marcos variará de 0.6 a 1.3 el ancho del túnel.
- f) Se recomienda que los marcos de acero y anclas se coloquen lo más cercanos al frente, de 0.60 a 1.20 m y hasta el frente de ataque para el concreto lanzado.

- g) En la zona de acceso al portal de salida es recomendable, - cuando se realice la excavación, observar la estabilidad de las paredes y si se presentara alguna inestabilidad será necesaria la colocación de anclas cortas, perpendiculares a la inclinación de las capas, para evitar su deslizamiento.

TUNEL 3.

Este túnel con una longitud de 120 m, inicia en el Km 960 + 880 (P.E.) con una cobertura de 15.0 m y termina en el km 961 + 000 (P.S.) con una cobertura de 15.0 m. Superficialmente no se observan afloramientos pero, de acuerdo con la interpretación de los resultados, se presenta una capa de material intemperizado de espesor variable, detectado de 9.0 m en el sondeo 1 - 6, el que disminuye en la parte baja del cerro. Subaciendo se localizan lutitas calcáreas con interestratificaciones de areniscas calcáreas. De acuerdo con la geofísica y los sondeos efectuados, las capas a lo largo del túnel se presentan con una ligera inclinación hacia el portal de entrada. Es recomendable la realización de dos pozos a cielo abierto de unos 5.0 m de profundidad a la altura del portal de entrada y de salida con la finalidad de comprobar la inclinación de los estratos, la cual se infirió de los datos obtenidos.

Se recomienda para este túnel del análisis del perfil geológico y de los resultados de los sondeos, lo siguiente:

- a) Para este túnel se cumple la cobertura mínima de 1.5 veces el ancho del mismo por lo que se recomienda que durante la cons-

trucción de los portales se tenga una constante supervisión apoyada en mediciones en el túnel.

- b) De acuerdo con los resultados de los sondeos directos, en los que el R.Q.D. sobre el techo del túnel tiene un valor promedio de 27%, se estima que en los portales y en toda su longitud utilizarán marcos de medianos a pesados colocados entre 0.60 a 1.20 c.a.c. con retagues de madera, esto motivado por la eventual presencia del estrato de arcilla arenosa localizada entre las cotas 1173.40 y 1170.75, en el sondeo I-6. Deberá considerarse una carga de roca equivalente a dos veces el ancho del túnel.
- c) El ademe deberá colocarse a 0.60 m del frente de excavación.
- d) En la zona de acceso al portal de entrada, y en el portal mismo, es recomendable que, durante la construcción, se observe la estabilidad de las paredes, con el objeto de evitar deslizamiento de algunos bloques, originado por la falta de soporte y la inclinación de los estratos. Si fuese necesario se recomienda utilizar anclas perpendiculares al echado de los estratos.
- e) Deberá verificarse, a lo largo del túnel, la presencia de suelo y material intemperizado sobre el techo del mismo y las recomendaciones dadas en el inciso "b" deberán modificarse o adecuarse de conformidad. Tal verificación deberá realizarse mediante sondeos adicionales.

TUNEL 4.

Este túnel abarca del km 963 + 772.5 (P.E.) al 963 + 820 (P.S.), con una cobertura de 15.0 y 12.5 m, respectivamente. En la zona de este túnel afloran areniscas calcáreas en capas de 0.50 a 1.50 m de espesor, con un máximo de 3.0 m. Estas rocas presentan poco fracturamiento cerrado con espaciamiento entre 0.50 a 3.0 m y con dirección N-S, verticales. Las areniscas tienen una dirección E-W, e inclinación de S30°W en el portal de entrada y prácticamente horizontales en el portal de salida.

- a) Como se ha mencionado, es recomendable desde el punto de vista constructivo, que se tenga una cobertura mínima de 1.5 veces el ancho del túnel. El portal de entrada aparentemente cumple este requisito, pero se recomienda que durante la construcción se tengan constantes observaciones del mismo, y se lleve a cabo un programa de mediciones para conocer su comportamiento.
- b) Para el portal de entrada se podrá utilizar como soporte temporal, marcos ligeros a medianos de 1.20 a 1.5 m de separación con retagues de madera o anclas en una plantilla con separación de 0.9 a 1.5 m c.a.c., con concreto y lanzado de un espesor mínimo de 10.0 cm en la clave y paredes. Para el disño de los marcos se utilizará una carga de roca equivalente a 1.3 veces el ancho del túnel.
- c) El portal de salida tiene una cobertura de 12.5 m que es menor de 1.5 veces el ancho del túnel, por lo que deberá de re-

correrse una distancia tal que cumpla con este requisito. -
La nueva ubicación será el km 963 + 815.

- d) Para el portal de salida se podrá utilizar, como soporte -- provisional anclas en una plantilla con separación de 0.9 a 1.5 m c.a.c., y concreto lanzado con espesor mínimo de 10.0 cm en la clave y paredes.
- e) En el resto del túnel se podrá utilizar las recomendaciones descritas en "d".
- f) Las anclas y marcos deberán colocarse lo más cerca al frente de ataque, de 0.60 a 1.20 m y hasta el frente para el concreto lanzado.
- g) Durante la construcción deberá observarse la estabilidad del techo y paredes, con el objeto de evitar el deslizamiento de algunos bloques, originados por la falta de soporte y la inclinación de los estratos. Si fuese necesario se recomienda - utilizar anclas perpendiculares al echado de los estratos.
- h) Se recomienda que la construcción del túnel empiece del por-tal de salida hacia el de entrada.

TUNEL 5.

El túnel con una longitud de 20.0 m, abarca del km 964 + 080 (P.E.) con cobertura de 13.5 m al km 964 + 100 (P.S.) con cobertura de 10.0 m. En el área afloran areniscas calcáreas con intercalaciones de capas delgadas de lutita, en estratos de 0.50 a 1.0

m de espesor, con una dirección de N60° E, inclinación de S30°W y fracturas verticales espaciadas de 0.50 a 3.0 m con dirección N-S. Las areniscas se observan hacia el portal de entrada - - y las lutitas hacia el portal de salida.

En este túnel no se realizaron sondeos directos y del examen de la información obtenida se recomienda lo siguiente:

- a) Como se ha mencionado anteriormente es recomendable, desde el punto de vista constructivo, que se tenga una cobertura mínima de 1.5 veces el ancho del túnel. Por lo que se deberá recorrer los portales de entrada y salida de tal forma - que se cumpla dicha recomendación.
- b) Los portales de entrada y salida se ubicarán en los km 964 + 083 y 964 + 096, respectivamente.
- c) Para este túnel y de acuerdo con el perfil geológico, se recomienda, para toda su longitud, el uso de anclas en una -- plantilla con separación de 0.9 a 1.5 m c.a.c. y aplicaciones de concreto lanzado con espesor mínimo de 10.0 cm en -- clave y paredes.
- d) Deberá verificarse en este túnel, principalmente en el portal de salida el espesor de suelo o material intemperizado - mediante pozos a cielo abierto de una profundidad mínima de 5.0 m. En caso de detectar la existencia de este material en, espesor mayor de 4.0 m y dentro de la cobertura del túnel, - deberán utilizarse marcos ligeros a medianos con 1.20 a 1.50

m c.a.c. de separación. Para el diseño de los marcos se utilizará una carga de roca de 1.3 veces de ancho del túnel.

- e) Los marcos o anclas deberán colocarse de 0.60 a 1.20 m del frente del túnel y desde éste para concreto lanzado.
- f) Durante la construcción del túnel deberá observarse la estabilidad del techo y las paredes, con el objeto de evitar el deslizamiento de algunos bloques, y originado por la falta de soporte y la inclinación de los estratos. Si fuese necesario se recomienda utilizar anclas perpendiculares al echado de los estratos.
- g) La construcción de este túnel deberá iniciarse del portal de entrada al de salida.
- h) Dada la poca longitud del túnel, de 12.0 a 13.0 m, se deberá analizar la posibilidad de no realizarlo y atravesar la loma con una excavación a cielo abierto, siempre y cuando la observación de los cortes de acceso garantice la estabilidad de los taludes.

TUNEL 6.

El túnel abarca desde el km 964 + 815 (P.E.), con cobertura de 12.0 m, al km 964 + 880, (P.S.) con cobertura de 14.0 m. En la zona de este túnel se determinó una capa de material intemperizado, de aproximadamente 5.0 m de espesor al que le subyace -- arenisca calcárea en estratos de 0.30 a 0.50 m de espesor. Hacia el portal de salida le subyace a las areniscas una capa de lutita

calcárea. La orientación de estos estratos es de N50°W con una inclinación de 35° al SE, con fracturamientos verticales que se cierra a profundidad, de dirección N-S y espaciados de 0.50 a - 1.04.

Del análisis de los resultados de las exploraciones indirecta y directa efectuadas y del perfil geológico, se hacen las siguientes recomendaciones:

- a) Debido a la poca cobertura que se tiene en los sitios propuestos para los portales, éstos deberán moverse a los km - 964 + 823 (P.E.) y 964 + 876 (P.S.).
- b) Se recomienda, en base a los resultados del sondeo I - 5, para los portales utilizar marcos ligeros a medianos 1.20 a -- 1.50 m de separación c.a.c. y retagues de madera. Para el diseño de los marcos metálicos se utilizará una carga de roca de 1.3 veces el ancho del túnel.
- c) Para el resto del túnel se utilizarán anclas en una plantilla con una separación de 0.9 a 1.5 m c.a.c. y concreto lanzado de un espesor mínimo de 10 cm en la clave y paredes.
- d) La colocación de marcos y anclas será de 0.60 a 1.20 m del frente del túnel y desde éste el concreto lanzado.
- e) En la zona del portal de salida se recomienda colocar las anclas perpendiculares a la inclinación de los estratos, dado que en el contacto entre areniscas y lutitas pudieran provocarse caídos.

- f) Para la zona de acceso a los portales es recomendable que durante la construcción se observe la estabilidad de los taludes, con el objeto de evitar el deslizamiento de algunos bloques, originados por la falta de soporte y la inclinación de los estratos. Si fuese necesario, se recomienda utilizar anclas perpendiculares al echado de los estratos, así como el uso de malla lack y concreto lanzado, para evitar la intemperización de las lutitas.
- g) La construcción del túnel debe iniciar del portal de salida al de entrada.
- h) En las recomendaciones anteriores se consideró un túnel de doble vía, de 10.0 de ancho por 8.75 m de altura, con un revestimiento de 0.60 m.
- i) Se consideró que la excavación del túnel será mediante explosivos y colocación del sistema de soporte.
- j) La cobertura mínima para la construcción de los túneles debe ser 1.5 veces el ancho del mismo.
- k) Las recomendaciones para los túneles 2.3 y 6 se hicieron con base en los resultados de los sondeos, considerando la descripción de la calidad de la roca. Para los túneles 1, 4 y 5, con el análisis de los perfiles geológicos.
- l) Deberá tenerse mucho cuidado de evitar el deslizamiento de capas de roca, originado por la inclinación de éstas y por la excavación misma.

- m) En los sondeos efectuados no se detectó agua, pero es de esperarse que si la construcción del túnel se efectúa en época de lluvia o no se ha colocado un revestimiento definitivo, se tendrán infiltraciones de agua a través de las fracturas.
- n) Para el macizo rocoso, donde se ubican los túneles 4 y 5, el cual forma un pequeño anticlinal, se preve que se tendrán problemas para estabilizar las paredes de la excavación en el tramo entre los dos túneles, debido a la altura de los cortes y el echado de las capas, por lo que se recomienda relocalizar el trazo en este tramo.

6. APENDICES.

1. PROPIEDADES ELECTRICAS DE LAS ROCAS

2. INTERPRETACION POR EL METODO "K"

3. PRINCIPIOS FISICOS BASICOS EN SISMOLOGIA

APENDICE I

PROPIEDADES ELECTRICAS DE LAS ROCAS.

Las propiedades eléctricas útiles para el conocimiento del subsuelo, en este caso son:

Resistividad, Conductividad, Constante Dieléctrica y Actividad Electroquímica.

La variación de estas propiedades que actúan sobre las rocas, depende de la distribución y forma de sus minerales; volúmen y relleno de los poros así mismo de los efectos que sobre ellas ejercen la salinidad, temperatura y presión.

A continuación se menciona brevemente cada una de estas -- propiedades:

RESISTIVIDAD.

Es la propiedad eléctrica que poseen las rocas y está fundada en el comportamiento eléctrico de los materiales, y está basada en la Ley de OHM, esta ley establece la relación de la corriente (I) que pasa por un cuerpo provoca una caída de potencial (V), debido a la resistencia (R) que se opone al paso de ella. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$V = I \times R$$

Si una corriente eléctrica uniforme fluye a través de un cilindro homogéneo en dirección de su eje, la resistencia será

proporcional a la longitud (L) e inversamente proporcional, a su área (A), por lo que la resistencia estará dada por:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde (ρ) es una constante de proporcionalidad numéricamente igual a la resistencia entre las caras de un cubo unitario de un material homogéneo e isótropo. La constante se denomina resistividad o resistencia específica del material, siendo su unidad el ohm-metro en el sistema MKS.

Llevando estos conceptos a pequeños volúmenes y en vez de la corriente que fluye a través del medio finito se considera la densidad de corriente (J) y en lugar de la diferencia de potencial se emplea el gradiente de potencial eléctrico (E), para un elemento rectangular de dimensiones (dx, dy y dz), situado en un punto (P) y orientado de modo que el eje (Z) esté en la dirección al vector de densidad de corriente (J) en (P) Figura

Si no existen discontinuidades en dicho campo en las vecindades de (P), la resistencia a través del paralelepípedo puede establecerse por la siguiente relación:

$$R = \frac{E \cdot dz}{J \cdot dx \cdot dy}$$

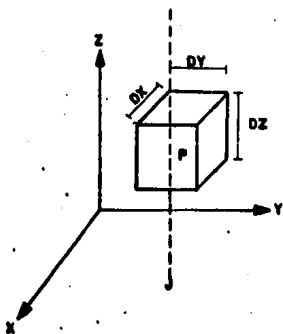


FIG. No 1

Puesto que para un cuerpo infinitesimal la resistencia es:

$$R = \frac{dz}{dx \cdot dy}$$

Sustituyendo resulta:

$$= \frac{E}{J}$$

esta expresión es conocida como ley de OHM en su forma vectorial diferencial.

CONDUCTIVIDAD.

Se llama así a la inversa de la resistividad. Se distinguen dos clases de conductividad; electrónica y electrolítica ó iónica.

Conductividad electrónica.- Se le denomina también conductividad eléctrica y es debida al movimiento de electrones libres, la poseen ciertos minerales que conducen la electricidad como los llamados metálicos y que se verifica por transporte de electrones. Ejemplo son la pirita, galena, sulfuro de cobre.

Conductividad electrolítica ó iónica.- Se refiere a minerales y rocas aislantes en estado seco como arenas o areniscas, pero que conducen la corriente debido al agua que contienen. En este caso existe transporte de iones al paso de la corriente y la conductividad de la cantidad de agua que contienen y de la cantidad de sales ionizadas dentro de ella.

CONSTANTE DIELECTRICA.

Se llama dieléctrica a un valor que expresa la manera de polarizarse un material, cuando se le somete a un campo eléctrico.

La polarización es función de la conductividad dieléctrica que permite las concentraciones de partículas (cargas eléctricas) dependiendo de la intensidad del campo eléctrico aplicado.

ACTIVIDAD ELECTROQUIMICA.

Está relacionada con la composición química de las rocas, pero principalmente con la composición y concentración de los electrolitos que las impregnan.

La actividad electroquímica se presenta principalmente en dos formas:

1.- Como potenciales de difusión.

Se producen cuando en los poros de las rocas se ponen en -- contacto electrolito o bien existen diferentes concentraciones en un mismo electrolito. Lo anterior se verifica debido a que los iones de diferente signo, poseen desigual movilidad, llegando a formarse dos zonas, en cada una de las cuales predominan los iones de un mismo signo, estableciéndose de esta manera una diferencia de potencial.

2.- Como potenciales de electrofiltración.

Consisten en la producción de un campo eléctrico debido al movimiento de electrolitos (aguas subterráneas) a través - de un medio poroso.

Cuando un electrolito pasa a través de una membrana porosa se produce entre los dos extremos de la membrana una diferencia de potencial. Las rocas pueden comportarse como tales membranas. Debido a su porosidad una red de conductos capilares por los que se filtra agua subterránea.

Las paredes de los capilares absorben aniones, los cuáles permanecen fijos, en tanto que los cationes son arrastrados por la marcha del electrolito a través del capilar, por lo que se concentran a la salida, dando lugar a una diferencia de potencial.

ISOTROPIA Y ANISOTROPIA.

Se define como isotropía a la propiedad que presentan algunos cuerpos, que producen una perturbación física (en este caso la conductividad), sea la misma en cualquier dirección.

Por el contrario la anisotropía es la propiedad de que la conductividad varíe con la dirección que se considere dentro -- del cuerpo.

En geofísica podremos encontrarnos con terrenos formados por cuerpos isótropos, que en conjunto presentan anisotropía por encontrarse dispuestos en capas, o en otro tipo de estructuras, co

no consecuencia de su formación geológica.

Esto es un tipo de heterogeneidad, ya que se trata de un sistema eléctrico formado por distintos cuerpos que pueden ser homogéneos e isotropos.

EFFECTOS POR IMPREGNACION DE AGUA EN ROCAS.

Son conductores electrolitos todas las soluciones acuosas de sales, aún cuando las sustancias disueltas sean de por sí poco conductoras. El ejemplo más típico es la sal mezclada en agua; ambos componentes son extremadamente pobres conductores en su estado natural.

La conducción de corriente en los electrolitos depende no sólo de la movilidad de los iones, sino también de su número, el que a su vez está en función de la concentración y del grado de disociación.

APENDICE II

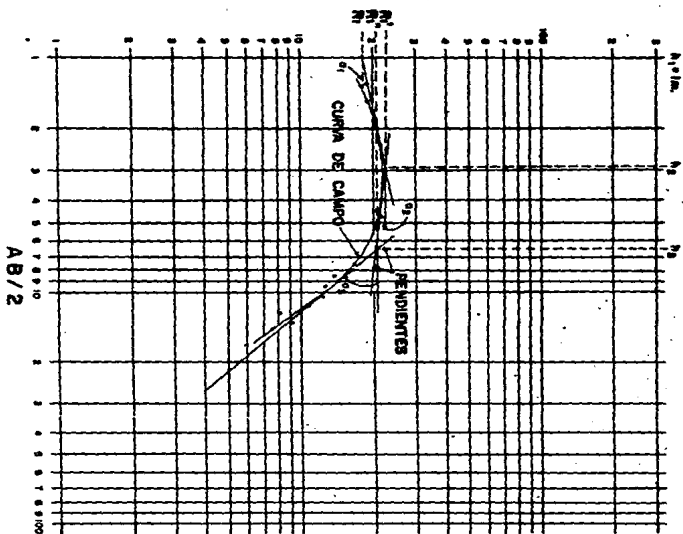
INTERPRETACION POR EL METODO " K "

Al graficar los valores de resistividad aparente contra -- profundidad en una hoja logarítmica, la aproximación de puntos obtenidos en la curva son delineados por tangentes Fig. No. 2 A cada una de las tangentes se proyecta su ángulo (α), debido a que su ángulo está en función del coeficiente de reflexión - K_1 y K_2 (Ecuación I) de dos capas adyacentes.

Ahora bien, para obtener la resistividad R_1 , ésta se obtiene directamente del cruce de la primer tangente con la ordenada a 1 metro, Ver. Fig. No. 2 Las resistividades que restan - se obtienen mediante la ecuación II, con lo que respecta a los espesores de las capas, estos se van obteniendo, simplemente - prolongando el cruce consecutivo de dos tangentes con la abscisa Ver Fig. No.2

Cabe aclarar que el último espesor se considera como indeterminado.

RESISTIVIDAD APARENTE



DADO:

$\rho_1 = 110$ $R_1 = 18.5$

$\rho_2 = 80$ $R_2 = 22$

$\rho_3 = 450$ $R_3 = 21$

SE OBTIENE:

$R_1 = 18.5 \Omega \cdot m$ $h_1 = 1 m.$

$R_2 = 27.5 \Omega \cdot m$ $h_2 = 1.7 m.$

$R_3 = 10.71 \Omega \cdot m$ $h_3 = 2.8 m.$

$R_4 = 4.66 \Omega \cdot m$ $h_4 = \infty$

VIA FERRERA SALTILLO-MONTERREY

FIG. N° 2

Considerando ahora las siguientes ecuaciones.

$$R_{1,2} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 + R_2} \text{ ----- (I)} \quad R_2 = MR_1 \text{ ----- (II)}$$

Para calcular M de la ecuación II se tienen las 2 siguientes ecuaciones según sea el caso para pendientes positivas o negativas.

$$M (+) = \frac{1 + K}{1 - K} \quad M (-) = \frac{1 - K}{1 + K}$$

Para calcular el valor de K de las ecuaciones anteriores se tiene:

$$K (+) = \frac{\text{sen } a}{\text{sen } a + \cos^2 a} \quad K (-) = \frac{\text{sen } a}{\text{sen } a + \cos^2 a}$$

En la Fig. No. 2 se ejemplifica un caso donde intervienen las anteriores ecuaciones, para obtener las resistividades verdaderas.

- Donde: M = Factor multiplicativo que nos relaciona los -- coeficientes de reflexión.
- K_1, K_2 = Son los coeficientes de reflexión eléctrica -- obtenidas mediante el ángulo (a).
- R_1, R_2 = Son las resistividades verdaderas calculadas mediante el Método "K".

APENDICE III

PRINCIPIOS FISICOS BASICOS EN SISMOLOGIA.

a) Constantes Elásticas.

Cualquier material, sometido a un esfuerzo, experimenta algún tipo de deformación. La elasticidad es la medida de aquella parte de la deformación que desaparece al suprimirse el esfuerzo. Para pequeñas deformaciones, éstas pueden considerarse proporcionales al esfuerzo (Ley de Hooke) y las constantes elásticas pueden definirse mediante módulos elásticos, Figura

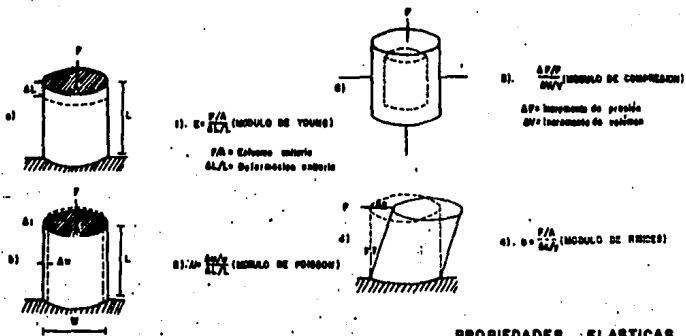
Es necesario tener en cuenta que se llama esfuerzo a la fuerza aplicada uniformemente, sobre una superficie. Si ésta es perpendicular a la superficie se llama compresión o tracción, si es paralela a la superficie se denomina transversal y da lugar a un esfuerzo cortante o de cizalla.

Módulo de Young (E)

Es la relación entre el esfuerzo unitario de compresión (ó de tracción) y la deformación longitudinal unitaria -- Fig. 5

Coefficiente de Poisson

Relación al cambio unitario del área de la sección con la deformación longitudinal unitaria Figura 5



PROPIEDADES ELASTICAS

FIG. No. 3

Módulo de Compresibilidad (K)

Es la relación entre la presión y el cambio unitario de volumen
Figura

Módulo de Rigidez o de Cizalladura (G)

Es la relación entre el esfuerzo transversal unitario y el desplazamiento relativo de los planos de deslizamiento
Figura

Los módulos de Young, de compresibilidad y de rigidez, --
tienen dimensiones de fuerza por unidad de superficie --
(presión). El coeficiente de Poisson es dimensional

b) Ondas elásticas.

La mayoría de los materiales del terreno se comportan de forma aproximadamente elástica, cuando se les aplica una fuerza instantánea. Este comportamiento se traduce en vibraciones que se propagan a través de los materiales, como "Ondas Sísmicas", cuyo frente se desplaza radialmente a partir del punto de aplicación de la fuerza generada.

En este proceso se generan 4 tipos básicos de ondas Fig.4
); dos que se propagan dentro de los materiales (ondas P y S) y otras dos que viajan siguiendo el contacto entre el material y la superficie del suelo. (Ondas Love y Raleigh).

La velocidad de propagación de estas ondas depende de la -

TIPOS DE ONDAS SISMICAS

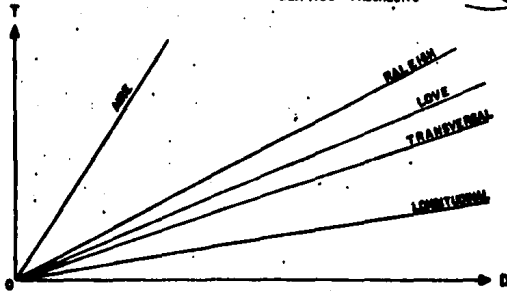
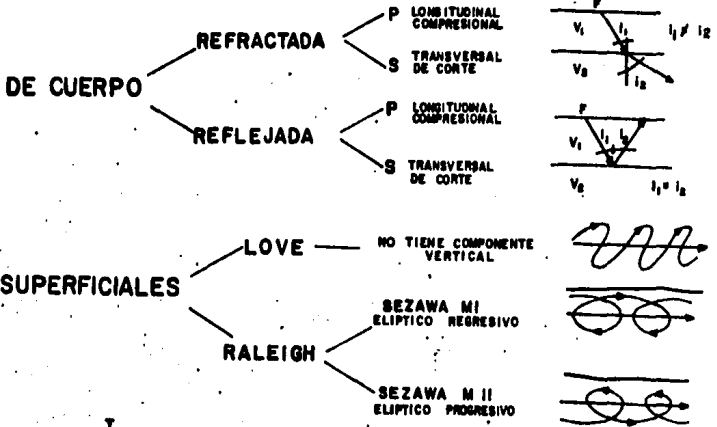


FIG. No. 4

densidad del material a través del cual se transmiten y, por lo general aumenta con la densidad.

El movimiento de las partículas a que da lugar el paso de las ondas depende del tipo de éstas y de los módulos elásticos de los materiales.

A las ondas P suelen llamarseles "Ondas Longitudinales" - las cuales producen dentro de los materiales, compresiones y refracciones dando lugar a un movimiento en el sentido de propagación de la onda. Estas presentan una mayor velocidad de propagación para un material (siendo las que interesan en nuestro estudio).

Las ondas S se les designa "Ondas Transversales", ya que el movimiento de las partículas se produce perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda.

Las ondas Love se propagan a gran velocidad sobre la superficie y el movimiento de propagación es transversal a la dirección de propagación.

Las ondas Raleigh presentan una menor velocidad que las ondas Love, las cuales imprimen a las partículas un movimiento siguiendo una trayectoria elíptica, con un sentido contrario al de propagación de la onda.

- c) Leyes que rigen la propagación de ondas sísmicas. Principio de Huygens, Principio de Fermat, Ley de Reflexión y Ley de

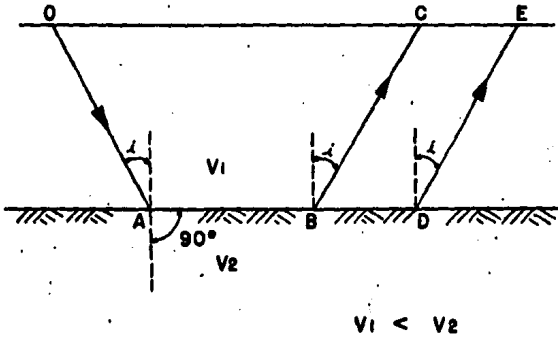


DIAGRAMA DE RAYOS

FIG. No. 8

Refracción o de Snell.

Sólo hablaremos de la Ley de Refracción que es la que nos interesa en este estudio.

Refracción Total.- Cuando el ángulo de refracción es igual a 90° , el rayo refractado AB experimenta la refracción total, propagándose -- por el contacto de los dos medios (Fig. No.

Sea OA un rayo incidente tal que se verifique

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } 90^\circ} = \frac{V_1}{V_2} \text{ es decir } \text{sen } i = \frac{V_1}{V_2}$$

El correspondiente rayo refractado AB viajará por el contacto de los medios 1 y 2.

El principio de Huygens nos indica que por cada punto alcanzado por el frente de ondas es una nueva fuente de ondas, cada uno de los puntos del contacto ABD. Generará -- frente de ondas que alcanzarán la superficie, pudiendo ser detectados en ella con instrumentos adecuados.

Al ángulo i se le llama ángulo crítico.

En sismica de refracción se estudian los rayos que experimentan la refracción total, que son los que proporcionan -- los recorridos del tiempo mínimo (principio de Fermat).

T A B L A 1

RELACION ENTRE EL R.Q.D. Y LAS NECESIDADES DE SOPORTE

R.Q.D.	ADEME REQUERIDO ANCHO DEL TUNEL.		
	3.04 m. (10 ft)	7.60 m. (25 ft)	15.20 m. (50 ft)
90-100	Mfn	Mfn a Int	Int a Max
75-90	Mfn a Int	Int	Max
50-75	Int a Max	Max	Max
25-50	Max	Max	Max
0-25	Max	Max	Max

SopORTE MíNIMO = Mfn. = No necesita ademe ó anclas ocasionales.

SopORTE InterMEDIO = Int = Marcos ligeros ó plantilla de anclaje.

SopORTE MáXIMO = Max = Marcos pesados de acero ó anclas largas y malla.

Coon (1968).

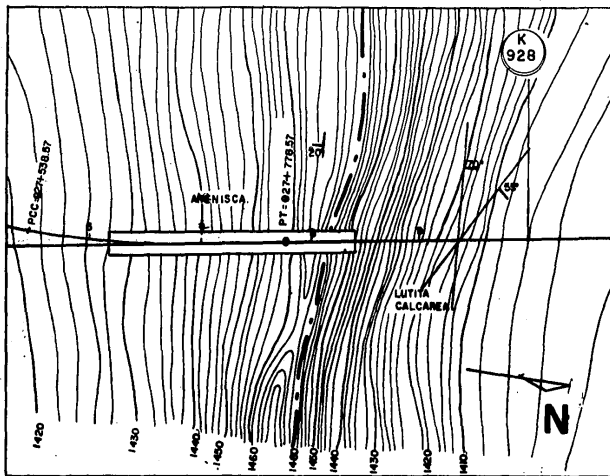
TABLA No. 2. - RECOMENDACION PARA LOS SISTEMAS DE SOPORTE EN TUNELES EN ROCA

CALIDAD DE LA ROCA.	METODO CONSTRUCTIVO	SISTEMA DE SOPORTE		
		MARCOS METALICOS 2	A N - C L A S 3	CONCRETO LANZADO
EXCELENTE 1 RQD > 90	A. Perforadora Integral.	Ninguno a ligero. carga de roca - (0.0 a 0.2) B	Ninguna	Ninguno ó aplicaciones locales.
	B. Convencional.	Ninguno a ligero carga de roca - (0.0 a 0.3) B	Ninguna	Ninguno ó aplicación local 2 a 3 pulg.
BUENA 1 75 < RQD < 90	A. Perforadora Integral.	Ocasionalmente Marcos ligeros colocados entre 1.5 y 1.8 m. carga de roca - (0.0 a 0.4) B	Ocasionalmente - anclas separadas a 1.50 ó 1.8 m. - centro a centro.	Ocasional aplicación local 2 a 3 pulg.
	B. Convencional	Marcos colocados a 1.5 ó 1.8 m. - carga de roca -- (0.3 a 0.6) B	Plantilla de anclas separadas 1.50 - 1.8 m. centro a - centro.	Ocasionalmente aplicación local 2 a 3 pulg.
REGULAR 50 < RQD < 75	A. Perforadora Integral.	Marcos ligeros a - mediano 1.5 a 1.8 m. c.a.c. carga de roca (0.4 a 1.0) B	Plantilla de anclas de 1.2 a 1.8 m. - c.a.c.	2 ó 4 pulg. en la clave.
	B. Convencional	Marcos ligeros a --- medianos con 1.20 a 1.5 m. c.a.c. --- carga de roca - (0.6 a 1.3) B	Plantilla de 0.9 a 1.5 m. c.a.c.	4 pulg. ó más en la clave y en las paredes.

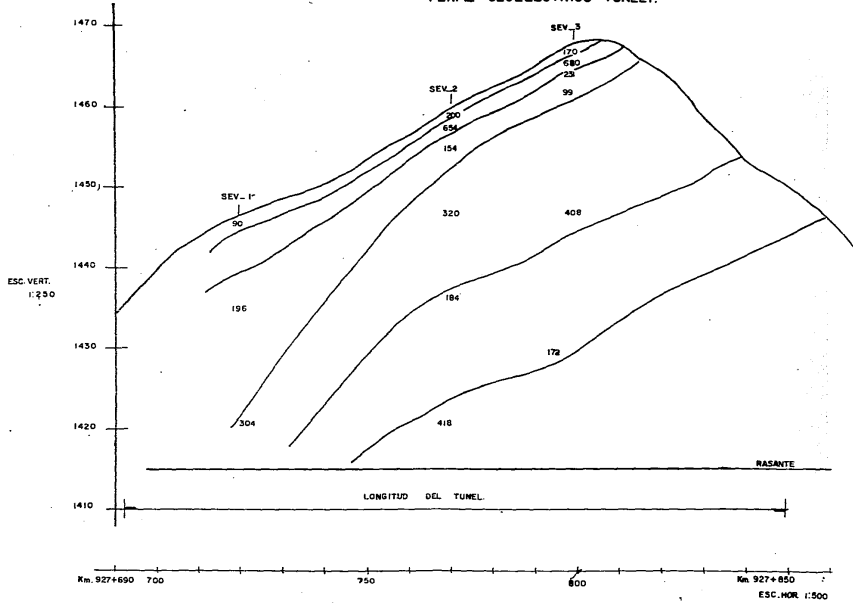
MALA, 25% RQD450	2	A. Perforadora Integral.	Marcos circulares medianos separados entre 1.20 y -- 1.60 mts. carga de roca --- (1.0 a 1.6) B	Plantilla de 0.9 a 1.5m c.a.c.	4 a 6 pulg. en clave y paredes combinado con anclajes.
		B. Convencional	Marcos de medianos a pesados colocados entre 0.6 y -- 1.20 mts. c.a.c. carga de roca (1.3 a 2.0) B	Plantilla de 0.6 a 1.20 mts. c.a.c.	6 pulg. ó más en la clave y paredes, combinado con ---- anclajes.
MUY MALA RQD425	3	A. Perforadora Integral.	Circulares medianos a ---- pesados colocados a 0.60 m. c.a.c. carga de roca ---- (1.6 a 2.2) B	Plantilla de 0.60 a --- 1.20 m.	6 pulg. ó más en toda la ---- sección combinado con marcos medianos.
		B. Convencional	Circulares pesados a 0.60 m c.a.c. carga de roca ---- (2.0 a 2.8) B	Plantillas de 0.90 m. c.a.c.	6 pulg. ó más en toda la ---- sección combinado con ---- marcos medianos ó pesados.
MUY MALA (roca que fluye ó expansiva)	4	A. Perforadora Integral.	Circulares muy pesados 0.60 mts. c.a.c. carga de roca -- arriba de 75 mts.	Plantillas 0.60 a 0.90 m c.a.c.	6 pulg. ó más combinado con marcos pesados.
		B. Convencional	Circulares muy pesados 0.60 mts. c.a.c. carga de roca -- arriba de 75 mts.	Plantillas de 0.60 a -- 0.40 c.a.c.	6 pulg. ó más combinado con marcos pesados.

- NOTAS:
- 1.- En roca buena y excelente, el soporte requerido en general es mínimo pero puede depender de la --- geometría de los factores, del diámetro del túnel y de la orientación relativa de las fracturas.
 - 2.- El retaque de madera usualmente es igual a cero en la roca excelente y varía entre 25% en roca buena y 100% en roca muy mala.
 - 3.- La necesidad de poner malla usualmente es cero en roca excelente y ocasional en roca buena hasta 100% en roca muy mala.
 - 4.- B = ancho del túnel

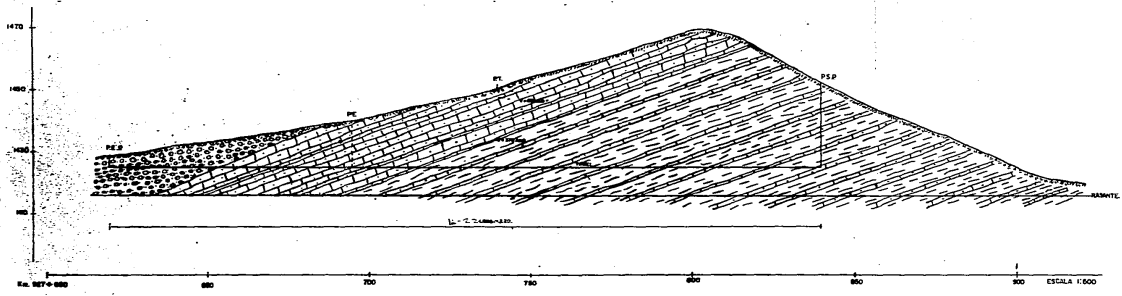
PLANTA GEOLOGICA Y TOPOGRAFICA TUNEL I.



PERFIL GEOELECTRICO TUNELI.

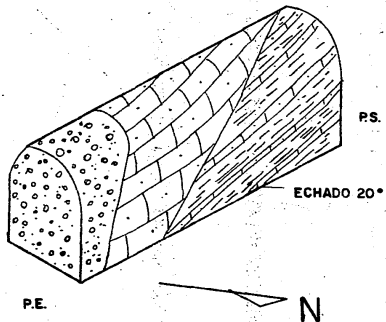


PERFIL GEOLOGICO TUNEL I.

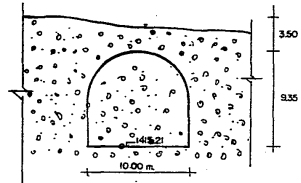


TUNEL I.

ISOMETRICO DE LA ESTRATIGRAFIA.

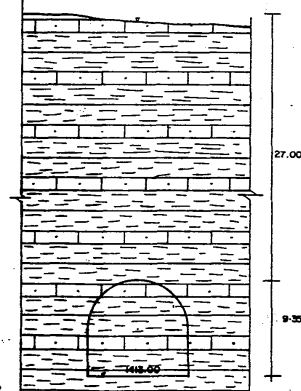


SECCION EN LOS PORTALES.

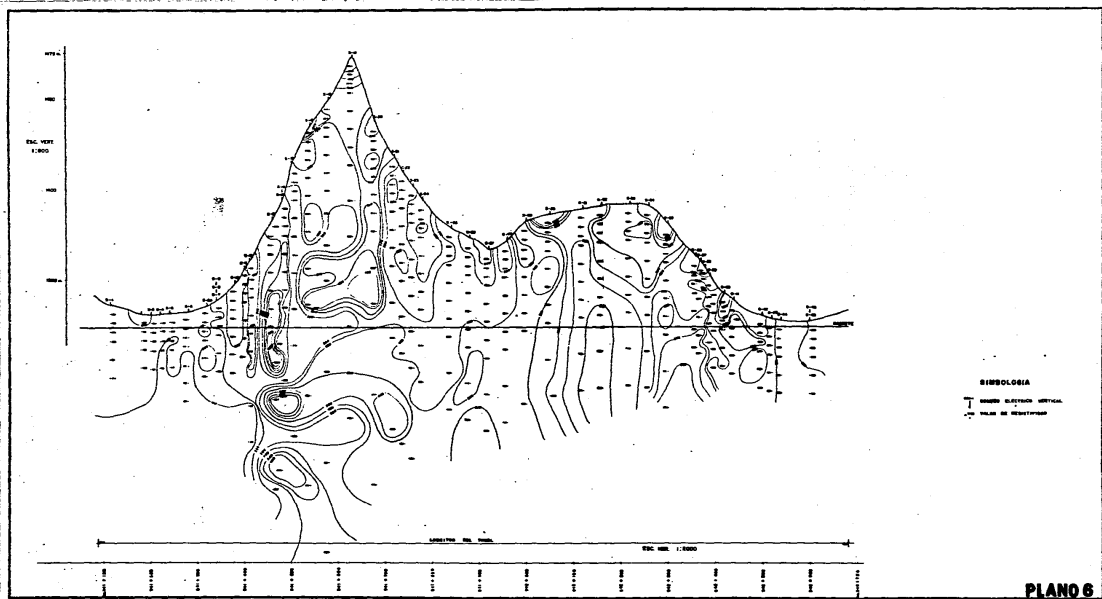


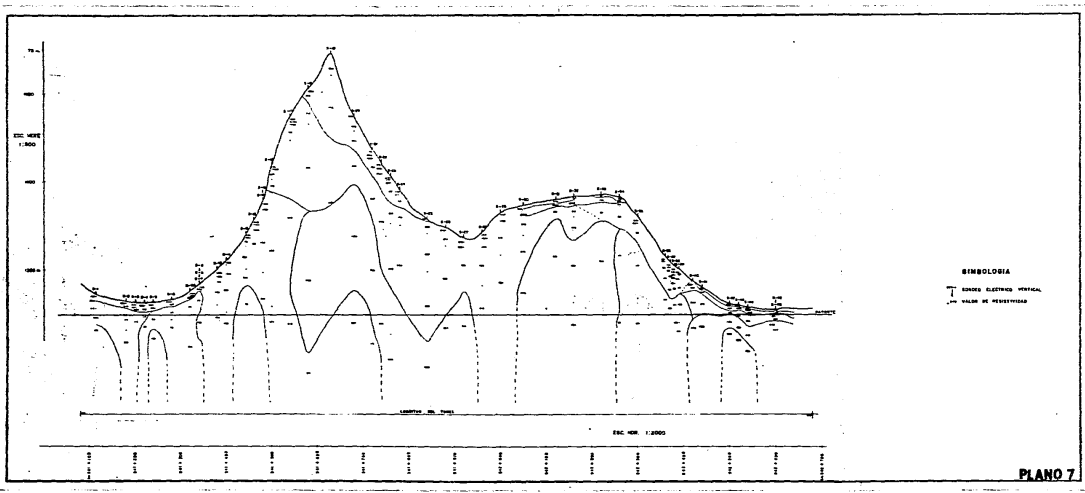
PORTAL DE ENTRADA

PORTAL DE SALIDA



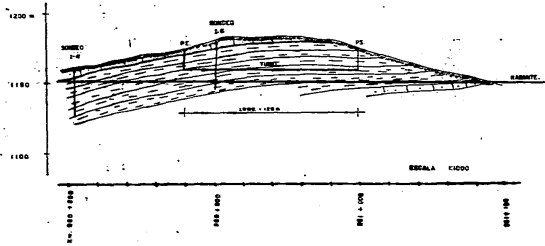
PLANO 4



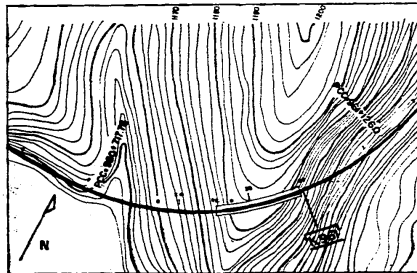


PLANO 7

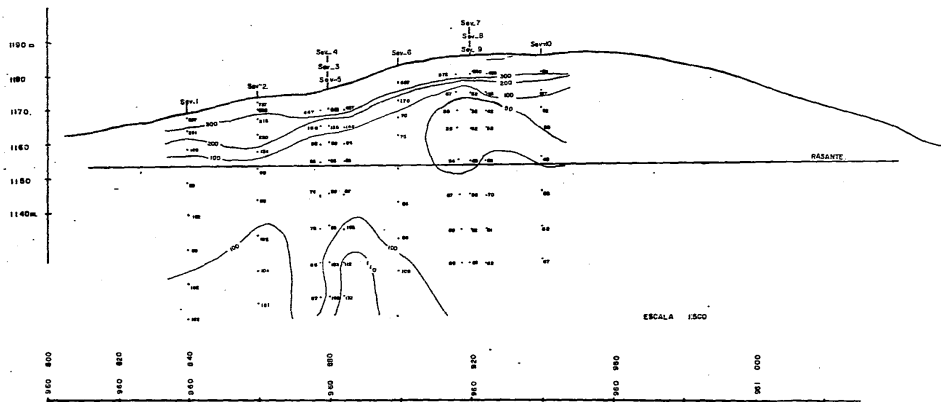
PERFIL GEOLOGICO TUNEL N°3



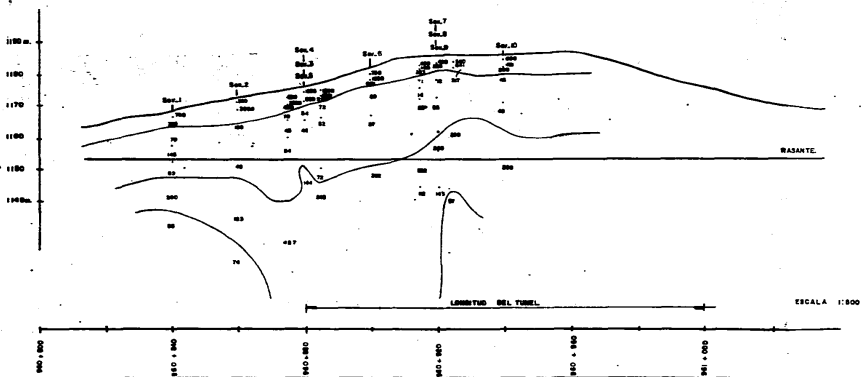
PLANTA GEOLOGICA Y TOPOGRAFICA



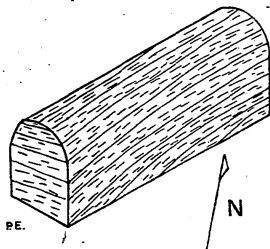
PERFIL DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES TUNEL .Nº 3.



PERFIL GEOELECTRICO TUNEL N° 3.

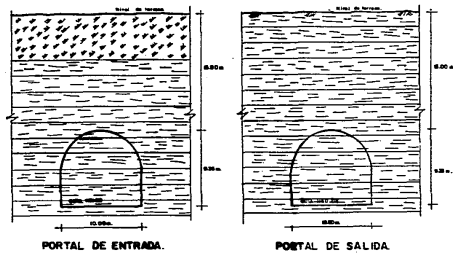


ISOMETRICO DE LA ESTRATIGRAFIA TUNEL N° 3

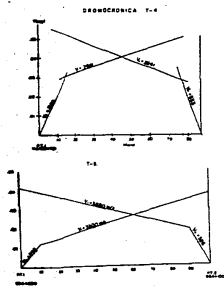
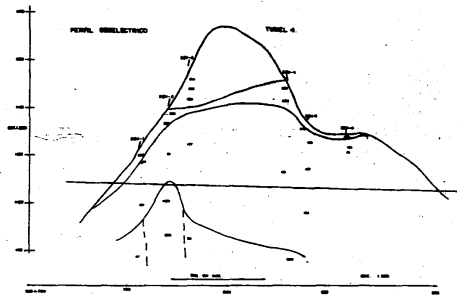
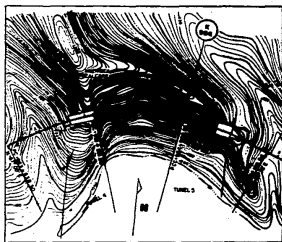


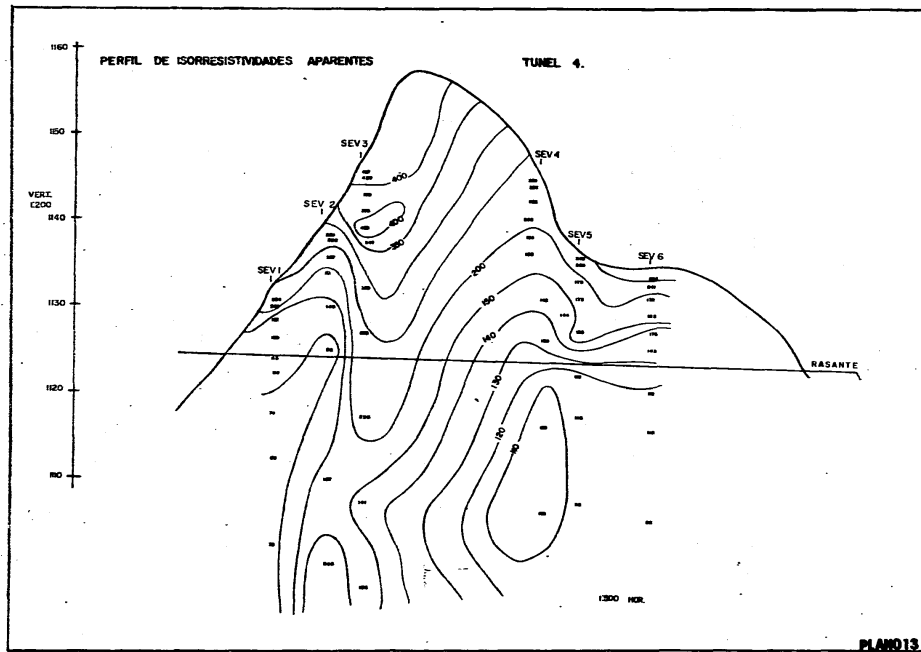
RS

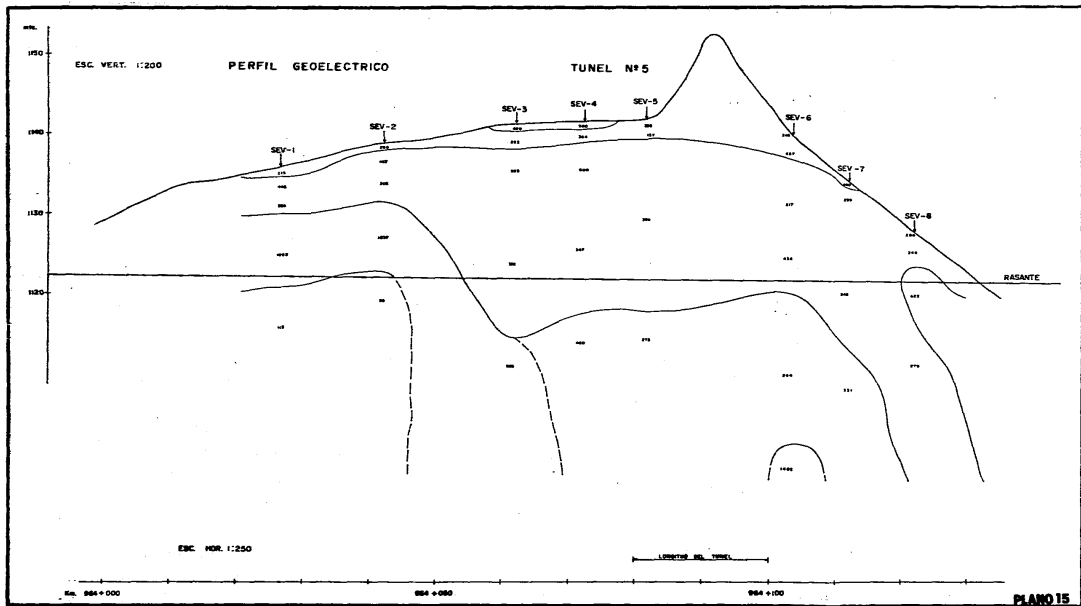
SECCION DE LOS PORTALES DE PROYECTO



PLANTA GEOLÓGICA Y TOPOGRÁFICA





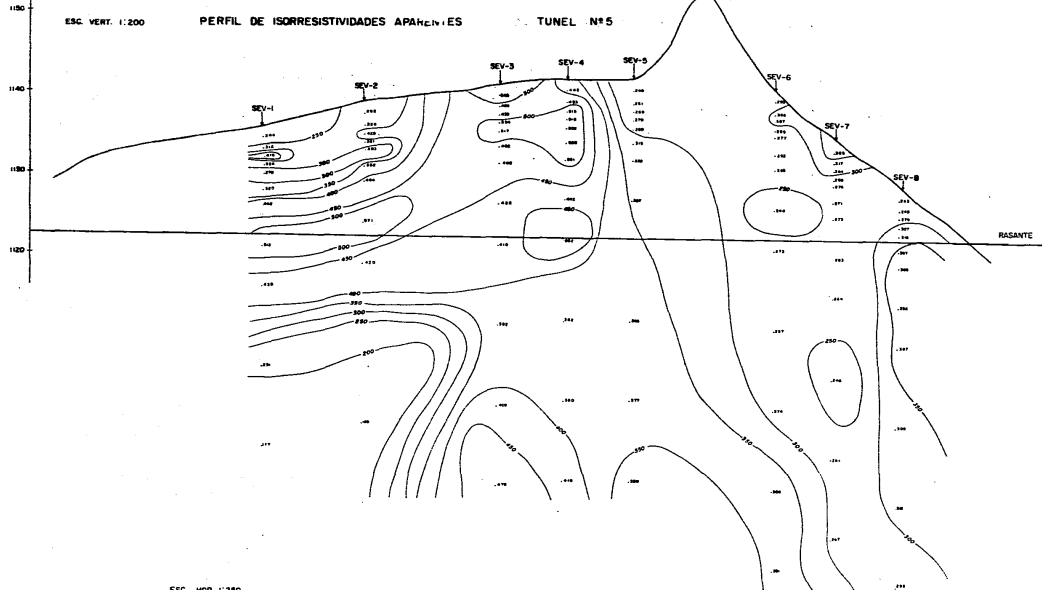


MTL

ESC. VERT. 1:200

PERFIL DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES

TUNEL Nº 5



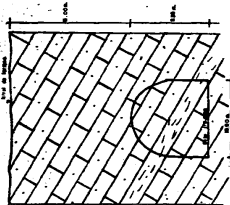
ESC. HOR. 1:250

Km. 954+000

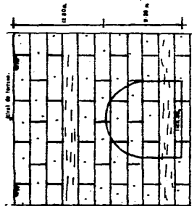
964+050

964+100

SECCION EN LOS PORTALES DE PROYECTO TUNEL Nº 4

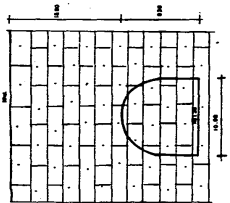


PORTAL DE ENTRADA

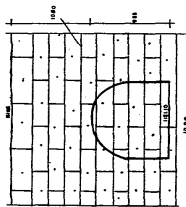


PORTAL DE SALIDA

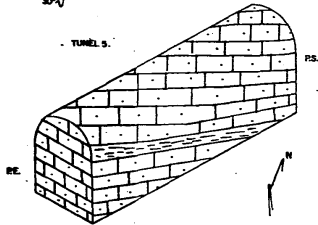
TUNEL Nº 5.



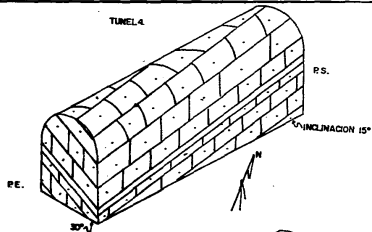
P. E.



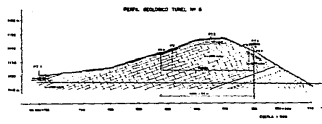
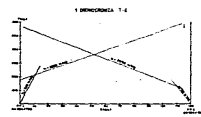
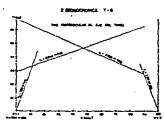
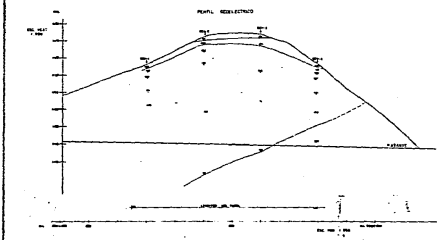
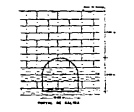
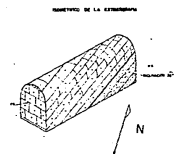
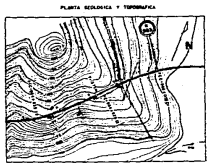
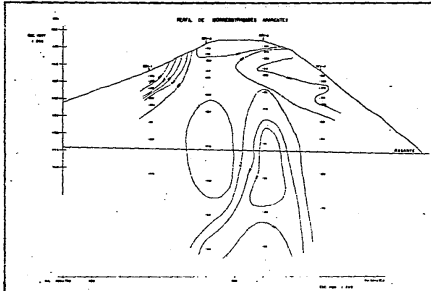
P. S.



TUNEL 5.



TUNEL 4.



- SIMBOLOGIA**
- CANTON
 - ▨ CANTON
 - ▩ CANTON
 - ▧ CANTON
 - ▦ CANTON
 - ▥ CANTON
 - ▤ CANTON
 - ▣ CANTON
 - ▢ CANTON
 - CANTON
 - CANTON
 - ▟ CANTON
 - ▞ CANTON
 - ▝ CANTON
 - ▜ CANTON
 - ▛ CANTON
 - ▚ CANTON
 - ▙ CANTON
 - ▘ CANTON
 - ▗ CANTON
 - ▖ CANTON
 - ▕ CANTON
 - ▔ CANTON
 - ▓ CANTON
 - ▒ CANTON
 - ░ CANTON
 - ▐ CANTON
 - ▏ CANTON
 - ▍ CANTON
 - ▌ CANTON
 - ▋ CANTON
 - ▊ CANTON
 - ▉ CANTON
 - █ CANTON
 - ▇ CANTON
 - ▆ CANTON
 - ▅ CANTON
 - ▄ CANTON
 - ▃ CANTON
 - ▂ CANTON
 - ▁ CANTON
 - ▀ CANTON
 - ▄ CANTON
 - ▃ CANTON
 - ▂ CANTON
 - ▁ CANTON
 - ▀ CANTON
 - ▄ CANTON
 - ▃ CANTON
 - ▂ CANTON
 - ▁ CANTON
 - ▀ CANTON

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

- J. M. Bolívar del Valle. Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. DESFI. UNAM. México, 1977.
- José Cantos Figuerola. Tratado de Geofísica Aplicada. Madrid. 1976.
- I. G. Gass. P. J. Smith. R. C. L. Wilson. Introducción a las -- Ciencias de la Tierra. Reverté. Barcelona. 1980.
- Ernesto Orellana. Prospección Geoeléctrica por corriente continua. Paraninfo. Madrid 1974.
- D. S. Parasnis. Principles of Applied Geophysics. Chapman and -- Hall. London. 1979.
- Peter J. Smith. Temas de Geofísica. Reverté. Barcelona. 1975.
- Varios. Reunión Técnica de Geofísica Aplicada a la Geotécnica. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México. 1985.
- Varios. Métodos Geofísicos en la Exploración Geotécnica. DECFI. UNAM. México. 1984.
- Antonio M. Saad. Redacción. C.E.C.S.A. México 1982.
- Varios. Lexis-22 Vox. Mineralogía y Geología. Bibliograf. S.A. México 1980.
- Varios. Conferencia. Aplicación de la Geología, Geofísica y Mecánica de rocas en la investigación de un sitio para presa - y presas existentes. México. 1985.