

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
GLOSARIO	8
INTRODUCCIÓN	10
ASPECTOS METODOLÓGICOS	11
CAPITULO I. Provincias.....	16
1.1 San Juan de la Maguana.....	16
1.1.1 Geografía.....	16
1.1.2 Economía	16
1.2 Santiago.....	17
1.2.1 Geografía.....	17
1.2.2 Economía	18
1.3 Parque Nacional José del Carmen Ramírez	19
1.4 Parque Nacional Armando Bermúdez	20
CAPÍTULO II Túneles	22
2.1 Definición	22
2.2 Principales funciones	24
2.2.1 Transporte	24
2.2.2 Almacenamiento	24
2.2.3 Instalaciones.....	25

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

2.2.4 Protección	27
2.3 Clasificación de los Túneles	27
2.3.1 Clasificación de Túneles Según su ubicación.....	27
2.3.2 Clasificación de Túneles Según Clima y Altitud.....	31
2.3.3 Túneles de carreteras.....	32
2.4 Principales características de sistemas de seguridad	33
2.4.1 Luces de Evacuación de Emergencia.....	33
2.4.2 Extintores de Incendio	33
2.4.3 Teléfonos de Emergencia.....	33
2.4.4 Señales de Servicio	34
2.4.5 Marcas de Pavimentos, Ojos de Gato:	34
2.5 Diseño Túnel Cibao-Sur.	34
2.5.1 Especificaciones.....	35
CAPÍTULO III. Geología	36
3.1 Geología.....	36
3.1.1 Rocas.....	36
3.1.2 Estratigrafía.....	42
3.2 Estudios geotécnicos aplicados a carreteras	43
3.2.1 Generalidades.....	43
3.3 Geología estructural	47
3.3.1 Fallas estructurales.....	47
3.4 Geomorfología	48
3.5 Geotecnia	48
3.5.1 Reconocimiento geotécnico	49
3.6 Suelos.....	50

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

3.6.1	Tipos de Suelos	50
3.6.2	Identificación de suelos.....	51
3.6.2.1	Dilatánci	51
3.6.3	Clasificación de los suelos.....	52
3.6.4	Ensayos de suelos	57
CAPÍTULO IV. Estudio Geológico del Túnel Cibao-Sur		62
4.1	Investigaciones preliminares.....	62
4.2	Influencias de las condiciones Geológicas	63
4.2.1	Fenómenos de alivio de presión.....	63
4.2.2	Influencia de la estratificación de las rocas en la presión sobre el revestimiento.....	64
4.2.3	Túnel que atraviesa zonas acuíferas.....	64
4.3	Desarrollo de la serie de Estudios Geológicos para un túnel.....	68
4.3.1	Datos Del Proyecto	68
4.4	Prospección Geofísica.....	76
4.4.1	Antecedentes teóricos de prospección geofísica.....	76
4.4.2	Los Métodos Geo-eléctricos	77
4.4.3	Conceptos y Dispositivos Fundamentales	83
4.4.4	Sondeos Eléctricos Verticales.....	86
4.4.5	Método Sísmico	90
4.5	Composición geológica.....	97
4.5.1	Oro	98
4.5.2	Rocas volcánicas	99
4.5.3	Mica	99
4.5.4	Cuarzo	100
4.5.5	Hierro	101

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

4.5.6 Tonalita	102
4.5.7 Arenisca	103
4.6 Notas Geológicas	103
4.6.1 Introducción	103
4.6.2 Configuración geológica.....	104
4.6.3 Petrología y geoquímica de las rocas meta-básicas del complejo inferior Duarte. ...	105
4.7 Estudio Geofísico de la zona montañosa comprendida entre San Juan de la Maguana y Santiago De Los Caballeros.....	106
4.7.1 Introducción	106
4.7.2 Metodología y Equipo.....	106
4.7.3 Resultados Geofísicos	108
CONCLUSIÓN	¡Error! Marcador no definido.
BIBLIOGRAFÍA.....	115
REFERENCIAS EN LINEA.....	116
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Ubicación de la provincia San Juan	16
Ilustración 2. Ubicación provincia Santiago	17
Ilustración 3. Parque Nacional José del Carmen Ramírez	19
Ilustración 4. Parque nacional Armando Bermúdez	20
Ilustración 5. El túnel trasandino Punta Olímpica ubicado en Áncash, Perú es el túnel vehicular a mayor altitud del mundo (4735 msnm.).....	23
Ilustración 6. Esquema de los principales subgrupos del "sistema complejo del túnel"	26
Ilustración 7. Túnel nº 5 de la ruta Nacional 7. (Argentina).....	28
Ilustración 8. El puente de Oresund conecta Dinamarca y Suecia a través del estrecho de Oresund. Esta auténtica obra de arte, que enlaza Copenhague y Malmö en un total de 16km de carretera, comienza siendo un puente, y para no cerrar por completo el estrecho, se transforma en un túnel subacuático, permitiendo así el paso de barcos por el canal	29
Ilustración 9. Big Dig, Boston – EEUU. Es el proyecto de infraestructura urbana más grande y más compleja en la historia de los Estados Unidos. El proyecto fue aprobado en 1987, pero las obras no comenzaron hasta 1991. En su previsión inicial el proyecto iba a tener un coste de 2.600 millones de dólares, aunque actualmente los gastos ascienden a más de 14.000 millones. Se encuentra realizado en un 97%, si bien se han ido produciendo aperturas parciales de diferentes tramos a medida que se han ido terminando.	30
Ilustración 10. Túnel III de Guadarrama de la Autopista del Noroeste (A-6), en el punto kilométrico 57, sentido Madrid.....	34
Ilustración 11. James Hutton, padre de la Geología moderna.	36
Ilustración 12. Karl von Terzaghi	49
Ilustración 13. Símbolos de los diferentes tipos de Suelos.....	54
Ilustración 14. Tabla para uso del sistema de clasificación AASHTO.....	56
Ilustración 15. Vista Panorámica De Un Túnel Carretero.	62
Ilustración 16. (fig. N°3 cuadro de resumen de los estudios geológicos relacionados a la construcción de un túnel:) Fuente: ingeniería Geológica, Luis Gonzales de vallejo pág. 789)....	67
Ilustración 17. Sección típica de galería	69
Ilustración 18. (Sección típica de doble galería).....	69
Ilustración 19. (Partes de una galería).....	69

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Ilustración 20. Detalle de Emboquille	70
Ilustración 21. Anclajes tipo Perfo en los taludes de emboquille de algunos túneles hidráulicos en la presa de Tarbela en Pakistán (Becker, 1972).....	71
Ilustración 22. Diferenciación de acuíferos: libres, cautivos o confinados y semi-confinados....	74
Ilustración 23. Clases de Conductividad.....	80
Ilustración 24. Relación entre la resistividad y la temperatura para distinto tamaño de grano.	82
Ilustración 25. Esquema de dispositivo eléctrico.....	83
Ilustración 26. Esquema del dispositivo Schlumberger.....	85
Ilustración 27. Esquema del dispositivo Wenner.....	86
Ilustración 28. Esquema de medio estratificado.	87
Ilustración 29. Curvas de resistividad verdadera (CRV) para diversos cortes geo-eléctricos.....	88
Ilustración 30. Prisma de Dar Zarrouk.....	89
Ilustración 31. Oro en estado mineral	98
Ilustración 32. Rocas Igneas.	99
Ilustración 33. Mica	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones.....	35
Tabla 2. Valores de Carga Unitaria.....	60
Tabla 3. Tipo de suelo en función al CBR.....	60
Tabla 4. Clasificación de la sub-rasante	61
Tabla 5. Resistividad de las aguas naturales.....	81

GLOSARIO

Esto son algunas definiciones y ciertos conceptos relacionados con dicho trabajo, a tal efecto mencionamos a continuación los que han sido considerados para una mejor comprensión y entendimiento del mismo.

- Pavimento: Es la estructura construida sobre la sub rasante, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de comodidad y seguridad para el tránsito.
- Peralte: Pendiente transversal que se da en las curvas a la plataforma de una vía férrea o a la calzada de una carretera, con el objetivo de contrarrestar la fuerza centrífuga que impele al vehículo hacia el exterior de la curva.
- Pendiente: Se denomina pendiente a la inclinación de un elemento ideal, natural o constructivo respecto de la horizontal.
- Berma: Franja longitudinal, afirmada o no, comprendida entre el borde exterior de la calzada y la cuneta o talud.
- Calzada: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de un cierto número de carriles.
- Bombeo: Es una pendiente transversal de la plataforma en tramos en tangente. Que tiene como objetivo impedir que el agua se estanque sobre el pavimento.
- Carril: Franja longitudinal en que está dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales, y con ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.
- Terraplén: Es la tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.
- Tránsito: Es todo tipo de vehículos y sus respectivas cargas, considerados aisladamente o en conjunto, mientras utilizan cualquier camino para transporte o para viaje.
- Sub Rasante: Superficie del camino sobre la que se construirá la estructura del pavimento.
- Tramo: Con carácter genérico, cualquier porción de una carretera, comprendida entre dos secciones transversales cualesquiera. Con carácter específico, cada una de las partes en que se divide un itinerario, a efectos de redacción de proyectos. En general los extremos del tramo coinciden con puntos singulares, tales como poblaciones, intersecciones, cambios en el medio atravesado, ya sea de carácter topográfico de utilización del suelo.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

- Corona de Pavimento: Zona de la Carretera destinada al uso de los vehículos, formada por la calzada y las bermas.
- Cuneta: Es una zanja o canal que se abre a los lados de las vías terrestres de comunicación (caminos, carreteras,...) y que, debido a su menor nivel, recibe las aguas pluviales y las conduce hacia un lugar que no provoquen daños a la estructura.
- Pavimento Flexible: Un pavimento flexible se define como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados comprendidas entre el nivel superior de las terracerías (calles de tierra) y la superficie de rodamiento cuya función es proporcionar una superficie uniforme, de color y textura apropiados, resistente y para transmitir a las terracerías los esfuerzos producidos por cargas impuestas en el tránsito.
- Talud: Es una zona plana inclinada situada en los extremos exteriores de las cunetas de una carretera.
- Taladros: Se llaman taladros a los agujeros cilíndricos que se realizan en un frente de perforación, mediante la utilización de un barreno u otro equipo.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto de un túnel es de importancia capital el conocimiento del terreno por el cual va a discurrir el mismo. De las características de la roca dependerá el método de excavación, la cuantía de sostenimiento a colocar, las medidas de impermeabilización que se empleen; incluso el trazado puede verse condicionado en ocasiones por las características geológicas de los materiales atravesados.

Los objetivos básicos que debe cumplir un estudio geológico previo a la construcción de un túnel son los siguientes:

- Definir las características físicas del terreno que va a ser atravesado: litología, estructura, presencia de agua.
- Definir los parámetros que caracterizan el terreno: resistencia a compresión simple, cohesión, rozamiento, permeabilidad.
- Definir la aptitud del terreno en orden a la construcción de un túnel, generalmente en base a la experiencia, y ofrecer criterios básicos a utilizar por el diseñador: método constructivo, sostenimiento, medidas especiales.
- Expresar el grado de incertidumbre que se mantiene después del estudio, en función del grado de definición de éste, en relación con todo lo anterior.

Un estudio geológico completo consta o puede constar de varios métodos de investigación. En general resulta conveniente empezar siempre con los más económicos para obtener una idea general del problema, y pasar luego a los métodos más precisos y más costosos para despejar las incertidumbres que hayan podido plantearse.

Ofrecer una panorámica completa de todos los medios de investigación usados habitualmente, junto con la información que se extrae de cada uno de ellos.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mejor forma de desarrollar un país es comunicándolo a través de sistemas viales, por lo tanto es importante que la zona sur y la zona norte del país se comuniquen de manera rápida, económica y viable para desarrollar factores tan importantes como el turismo, intercambios culturales, comercio y costumbres. Un factor importante para el desarrollo de estas dos regiones del país es el planteamiento de la construcción del túnel en la carretera Cibao – Sur.

Una de las causas que mantienen al Sur en la marginación y el atraso es porque no tiene un fomento del turismo y las vías de acceso son muy estrechas, por lo que los productores agrícolas para llevar sus productos al Cibao tienen que ir a la capital y luego trasladarse a la región norte, además la construcción de este túnel permitiría el desarrollo del comercio de ambas regiones, el intercambio de productos que se producen en épocas diferentes y con características diversas, permitiría además, la unión de voluntades y capitales en la implementación del desarrollo empresarial.

Se crearían nuevas oportunidades de negocios y mercados con los productos que demandan ambas regiones, en materia de ahorro de energía, esta ruta reduciría drásticamente el tiempo de viaje desde una región a la otra, que se manifiesta en ahorro de combustible, tiempo de viaje y seguridad vial.

RESUMEN DEL CONTENIDO

Recopilaciones de información

Si hablamos de recopilación se refiere a datos ya existentes de la zona de estudio, los cuales buscaremos y nos ayudara a tener ya una idea por lo menos de que formaciones existentes en la zona.

Trabajo de campo

Esta etapa es la más importante porque se estará en situ. Haciendo los reconocimientos al detalle del estudio geológico – geotécnico, para esto se realizara un levantamiento topográfico el cual usaremos equipos topográficos necesarios como es el teodolito y también me ayudare con un GPS, para ubicar mis coordenadas y mi altura o cota.

Ensayos de laboratorio

Realizaremos el análisis granulométrico, límite líquido, limite plástico, contenido de humedad, ensayos de compresión uniaxial.

Trabajo de gabinete

En esta etapa se realizara ya casi la etapa final del estudio teniendo la información obtenida en el campo y se procederá a la elaboración de un mapa topográfico

Justificación

La determinación para la evaluación de las vías de comunicación que interconectan a la Región Norte con la Región Sur, viene dada por la importancia y la magnitud del desarrollo que ambas regiones puedan aportar en los diferentes aspectos tales como:

- Desarrollo agrícola.
- Desarrollo comercial.
- Desarrollo cultural.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar y determinar los aspectos geológicos - geotécnicos los cuales nos puedan dar datos positivos para la construcción del túnel Cibao-sur.

Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento del terreno mediante evaluaciones que se va tener que realizar para su construcción, utilizando todas las ramas de la geología necesarios para su aporte en cada área que vea por conveniente.
- Reconocimiento del área al detalle para el objetivo trazado.

HIPÓTESIS

Hipótesis principal

Debemos realizar un estudio científico acerca del Túnel de la Carretera Cibao-Sur, estamos obligados a tomar en cuenta cada dato del proyecto y presentarlo de manera adecuada y eficiente.

Hipótesis secundarias

- Si elegimos correctamente los estudios que vamos a realizar y comprobamos que estos fueron realizados de manera correcta tendremos la seguridad de que obtendremos los mejores resultados.

- Si seleccionamos la metodología correcta de trabajo estaremos preparados para presentar los datos obtenidos de la mejor manera posible.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO

Técnicas de investigación

- Consulta bibliográfica.
- Consulta de libros, normas y tesinas relacionadas con el tema.
- Consulta de internet.
- Consultas a profesionales especializados en esa área.
- Levantamiento del terreno.
- Estudio de suelo.
- Normas de diseño.

Procedimiento de redacción de la tesina

- Analizar la información obtenida y organizarlas de manera que sea fácil ubicar dicha información.
- Analizar el índice provisional para ajustarlo al contenido del proyecto.
- Redacción provisional del proyecto.
- Revisión del borrador del proyecto, con el fin de establecer si es necesario realizar modificaciones en el contenido.
- Redacción definitiva del proyecto.

CAPITULO I. Provincias

1.1 San Juan de la Maguana

1.1.1 Geografía

La provincia San Juan se localiza en la denominada Región del Valle junto a las Provincias: Elías Piña y Azua. Es un territorio intramontano, que no posee costa marina, limita al Norte con las Provincias de Santiago Rodríguez y Santiago; al Sur con Bahoruco; al Este con Azua, La Vega al Noreste, y al Oeste con la Provincia de Elías Piña. Sus principales alturas son Pico Duarte y La Pelona.



Ilustración 1. Ubicación de la provincia San Juan

Comprende una superficie total de 3.569,39 km², y Según el Censo Nacional de Población y Vivienda, para el año 2002 la provincia de San Juan contaba con un total de 241,105 habitantes. Según la estimación de la ONE, en el 2007 los habitantes de San Juan suman 270,986. Esta población supone una densidad de 80.6 h/km².

Es atravesada por numerosos ríos, entre los que destacan el río San Juan, el río Yaqué del Sur, el río Sabaneta, el Macasías y el Mijo. Cuenta con dos presas hidroeléctricas, la de Sabaneta y la de Sabana Yegua.

1.1.2 Economía

La economía de San Juan es fundamentalmente agrícola. Se le ha dado el título de “granero del sur” por su apreciable producción de granos como arroz, maní, sorgo, habichuela, guandules, así como yuca, batata, cebolla y hortalizas.

San Juan produce más del 90% de las habichuelas, el 84% del maní, el 31% del maíz, el 35% del guandul, el 20% de la cebolla, el 36% de la batata que consume la población dominicana.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

La provincia cuenta con un excelente potencial eco turístico, al poseer el Pico Duarte, el Valle de San Juan el más extenso valle intramontano del país, las Presas de Sabaneta, Sabana Yegua y Palomino, la Plaza Ceremonial Indígena y por compartir la Cordillera Central y la sierra de Neiba.

La creciente ganadería constituye otra actividad económica que ha desarrollado la región, su leche es extraída y vendida a la Compañía Dominicana de Alimentos Lácteos (CODAL) en San Francisco de Macorís.

Otra fuente de ingreso para los residentes son los diversos negocios formales e informales como panaderías, sastrerías, laboratorios clínicos, consultorios médicos, farmacias, un mercado, hoteles, galleras, bares y actividades que tienen que ver con servicio de transportación, entre otros.

1.1 Santiago

1.1.1 Geografía

Santiago es la provincia de mayor importancia en el país. Cuenta con 1, 681,743 habitantes y es la provincia que tiene el menor número de desempleados. Es una provincia con una importante diversidad económica. La provincia de Santiago comprende una superficie de 2,839 km².

El territorio de la provincia se encuentra franqueado por los principales sistemas montañosos del



Ilustración 2. Ubicación provincia Santiago

país: al sur por la Cordillera Central, que aloja el Pico Duarte, máxima elevación de Las Antillas; y al norte por la Cordillera Septentrional, coronada por el Pico Diego de Ocampo. Entre las laderas de estas montañas se extiende el Valle del Cibao, conformado por una gran diversidad de suelos, la mayoría de alta capacidad productiva. En la provincia nace el río Yaqué del Norte, la más larga del país y principal fuente de abastecimiento de agua de la región.

Santiago limita por el norte con la provincia Puerto Plata, por el este con las provincias Espaillat y La Vega, por el sur con la provincia San Juan y por el oeste con las provincias Santiago Rodríguez y Valverde.

1.1.2 Economía

Las industrias, de todo tipo se concentran en Santiago de los Caballeros, aunque la industria del tabaco es importante también en Villa González. En cuanto a la pecuaria, el principal desarrollo lo muestran la avicultura y la porcicultura, ambas en Licey al Medio.

El ganado vacuno se desarrolla principal en las regiones montañosas del sur de la provincia. Según otros estudios. Desde la década de los 70, la región ha experimentado un progresivo desarrollo económico. Entre otras actividades económicas y productivas se encuentran la industria tabacalera, las zonas francas, el comercio formal e informal y los servicios.

Estos sectores han sido las principales fuentes de empleo. La importancia que tiene la ciudad ha provocado que en Santiago, como eje económico del Cibao, se muevan diariamente más de un millón de personas provenientes de diferentes partes de la región y del país.

La provincia de Santiago aporta el 14% del PIB de la República Dominicana, lo que evidencia grandemente la importancia que ésta tiene en el desarrollo económico del país.

Santiago tiene una moderna industria de ron y tabaco de alta calidad, que compite en los mercados mundiales más exigentes. La industria del tabaco, como en el pasado, sigue siendo una piedra angular de su economía rural y fuente de miles de empleos en la zona. La región también es un importante productor y exportador de tabaco en rama hacia Europa, al igual que de café y cacao. Su diversificada agricultura produce además numerosos cultivos menores que abastecen el mercado de Santo Domingo y otras comunidades.

En la rama industrial, también la comunidad se ha destacado con notables éxitos. El desarrollo del sector industrial santiagués se puede dividir en dos: el de producción nacional y el de las zonas francas de exportación.

La producción interna es amplia en una diversa gama de actividades, como la de cigarros (puros), zapatos, cueros, metal-mecánica, envases, cerámica, artesanía y materiales de construcción tales como fábrica de cemento, blocks, ventanas, puertas y otros.

Otro pulmón económico de la provincia es la Zona Franca Industrial de Santiago, que produce cerca del 20% de las divisas generadas por todas las zonas francas del país. Es la primera en creación de empleos. Para el 1995 tenía una fuerza laboral de 32,000 empleos, distribuidos en

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

79 empresas de confecciones textiles, de cigarros, zapatos, plásticos, cueros, comunicaciones, equipos eléctricos, entre otros. Ya en el 1998 había un promedio de 52,943 empleados con un total de 114 empresas.

El sector servicios también ha visto desarrollarse en Santiago. Una amplia y fructífera clase de comerciantes, un eficiente sistema bancario, de comunicaciones, de turismo, de profesionales de diversas disciplinas, como los del Hospital Metropolitano De Santiago (HOMS) contribuyen positivamente al desarrollo económico y social de la República Dominicana.

1.3 Parque Nacional José del Carmen Ramírez

El Parque Nacional José del Carmen Ramírez fue creado mediante la Ley 5066 del 24 de diciembre de 1958. Se encuentra en la vertiente sur de la Cordillera Central, limitando al Sur y al Este con las provincias Azua y San Juan de la Maguana, al Norte con el Parque Nacional Armando Bermúdez, al Oeste con los municipios de Jarabacoa y



Ilustración 3. Parque Nacional José del Carmen Ramírez

Constanza, ambos de la provincia de La Vega. Posee un territorio de 764 km².

Este parque comprende una vasta porción de la vertiente sur de la Cordillera Central y en él se localiza el punto más alto de las Antillas, el pico Duarte con 3,175 metros; y comparte con el Parque Nacional Armando Bermúdez otras elevaciones no menos importantes como son los picos Yaqué, La Rusilla y La Pelona. Aquí nacen los principales ríos que producen la irrigación del Valle de San Juan; el principal es el río Yaqué del Sur. Las principales cuencas protegidas por este parque son las de los ríos Yaqué del Sur, San Juan y Mijo, incluyendo sus afluentes.

Los niveles de temperatura que se alcanzan dentro de esta unidad de manejo están referidos a índices bajos, presentando oscilaciones en el rango de 12° a 18 °C. En general, la pluviometría imperante se mantiene por encima de los 2,500 mm anuales de lluvias, confiriéndole la característica de bosque húmedo subtropical.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

En relación a las zonas de vida y las faunas y floras, presenta las mismas características del Parque Nacional Armando Bermúdez.

Similar al Parque Nacional Armando Bermúdez, la principal atracción eco turística de este parque es la oportunidad de caminatas en áreas de montañas de gran belleza escénica en ambientes naturales de extensos bosques de pino y latifoliados. Esto constituye un excelente atractivo para los visitantes, quienes han hecho de las rutas al Pico Duarte el más importante y conocido destino del turismo ecológico en el país. Igualmente, la observación y disfrute del canto de diferentes especies de aves como el jilguero, la cotorra, el cuervo y el papagayo son atractivos para la visitación.

Las vías principales para llegar a este Parque Nacional son: 1) entrando por Guanito, 15 km. antes de San Juan de la Maguana, para llegar hasta El Palmar del Yaqué y de ahí pasar por Arroyo Cano hasta llegar a Los Fríos que es un sector del parque; 2) desde San Juan de la Maguana, unos 25 km al Norte para llegar a Sabaneta y desde aquí transitar a lomo de mulo unos 35 km para llegar a la caseta Alto de La Rosa; 3) desde el Cruce de Padre Las Casas seguir hacia Los Fríos; 4) partiendo desde Constanza, llegar a Los Cayetanos (35 km) y seguir internándose en el parque (7 km) hasta llegar a la caseta de Los Rodríguez.

1.4 Parque Nacional Armando Bermúdez

Este Parque Nacional fue declarado como tal mediante la Ley No. 4389 del 19 de febrero de 1956. Está situado en la vertiente norte y en la parte central de la Cordillera Central. Ocupa una extensión aproximada de 779 km².

Se extiende, de Este a Oeste, desde La Ciénaga de Manabao, en la provincia La Vega, hasta el Parque Nacional Nalga de Maco, en la parte alta de la cuenca del río Artibonito. Por su límite norte, el parque limita con las comunidades de Mata Grande, en la provincia de Santiago, La Diferencia, Los Ramones, Lomita y La Cidra, en Santiago Rodríguez, mientras que, por su lado sur, colinda con el Parque Nacional José del Carmen Ramírez.



Ilustración 4. Parque nacional Armando Bermúdez

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Las zonas de vida que se encuentran en este Parque Nacional son Bosque húmedo Montano Bajo (Bh-MB) y Bosque muy húmedo Montano Bajo (Bmh-MB); en algunos lugares, puede encontrarse la zona de vida Bosque pluvial Montano Bajo (Bp-MB) donde reina una alta humedad y existen especies características de esta zona de vida como la manacla (*Prestoea montana*) y los helechos arborescentes.

El relieve es abrupto y comparte con el Parque Nacional José del Carmen Ramírez la mayor altura de las Antillas representado por el pico Duarte, con una altura de 3,175 metros, seguido por los picos La Pelona (3,097 metros), Yaqué (2,760 metros) y La Rusilla (3,038 metros). Junto con el Parque Nacional José del Carmen Ramírez, este Parque Nacional comprende alrededor de unos 12 ríos principales del país, comprendiendo las cuencas altas de los ríos Yaqué del Norte, Jagua, Bao, Amina, Guayubín y de todos sus afluentes.

La temperatura promedio es generalmente fresca, principalmente durante el invierno cuando se experimentan descensos importantes en ella. En los meses de diciembre y enero la temperatura desciende por debajo de 0 °C durante la madrugada, y los "pajones" se cubren de escarcha. Los niveles más bajos de temperatura se registran en el Valle del Tetero, el Valle de Bao y en Macutico. El Parque se encuentra en una zona de alta precipitación, teniéndose registros entre 1,000 y 3,500 mm; es posible que en algunos lugares las precipitaciones estén por encima de los 4,000 mm de lluvia.

Las formaciones vegetales están compuestas, fundamentalmente, por coníferas, mixtas y latifoliadas, predominando el pino criollo o pino cuaba (*Pinus occidentalis*). Otras especies arbóreas importantes son la sabina (*Juniperus gracilior*), almendro (*Prunus occidentalis*), cigua blanca (*Nectandra coriacea*), cedro (*Cedrela odorata*), guávana (*Cupania americana*), palo de viento (*Didymopanax tremulus*), pino de teta (*Zanthoxylum spinifex*), etc.

La avifauna ocupa mayormente los pisos superiores y entre las especies de aves encontradas aquí podemos citar: cotorra (*Amazona ventralis*), canario (*Carduelis dominicensis*), cuervo (*Corvus leucognathus*), el ave nacional cigua palmera (*Dulus dominicus*), papagayo (*Priotelis roseigaster*), perdiz (*Geotrygon montana*), cuá (*Hytornis rufigularis*), gavián (*Buteo idwayi*), gavián (*Buteo jamaicensis*).

El principal atractivo ecoturístico del parque es la oportunidad de caminatas en áreas de montañas de gran belleza escénica, en ambientes naturales de extensos bosques de pino y latifoliados. Esto constituye una excelente atracción para los visitantes, quienes han hecho de las rutas al pico Duarte el más importante y conocido destino del turismo ecológico en el país. Las

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

fuertes corrientes de los cursos de agua en la periferia del parque ofrecen también una excelente oportunidad para la práctica de "rafting". La observación de aves tiene allí gran potencial, debido tanto a su abundancia como a su diversidad.

La vía más expedita para llegar al Parque Nacional Armando Bermúdez es por las poblaciones de Manabao y La Ciénaga, en la provincia de La Vega. Tomando como punto de partida el municipio de Jarabacoa, luego de unos 23 kilómetros se llega a Manabao y, unos 15 kilómetros después, a La Ciénaga. Otra vía es por San José de Las Matas (provincia Santiago) de donde se llega a Mata Grande, que se encuentra en el límite norte del Parque; además se llega al Parque desde Diferencia, Manacla y La Leonor, en la provincia de Santiago Rodríguez.

CAPÍTULO II Túneles

2.1 Definición

Un túnel es una obra subterránea de carácter lineal, cuyo objeto es la comunicación de dos puntos, para realizar el transporte de personas, materiales entre otras cosas. Normalmente es artificial.

El túnel arranca de la necesidad de superar un obstáculo natural, generalmente un macizo montañoso. Pero además de la montaña existen otras barreras que se pueden salvar mediante túneles como los cursos de agua, fluviales o marinos, y las zonas urbanas densamente edificadas en las que a menudo se incorporan túneles. Entre los usos más frecuentes pueden enumerarse los túneles para vehículos, para redes de ferrocarril urbano o Metros, para uso peatonal, para abastecimientos de agua, saneamiento, galerías de servicio y para almacenamiento de residuos (A.G.P.).

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Si bien el túnel es sentido estricto se caracteriza por su marcado carácter lineal, aquí se considera, por extensión, el término túnel en un sentido amplio, no solo como obra lineal sino como espacio subterráneo que incluye desde la caverna, la cueva natural hasta amplios recintos subterráneos transitables dentro de lo que podría englobarse como urbanismo y espacio subterráneo; en suma, el túnel como obra de tránsito y también como hábitat¹.



Ilustración 5. El túnel trasandino Punta Olímpica ubicado en Áncash, Perú es el túnel vehicular a mayor altitud del mundo (4735 msnm.)

Cuando, al proyectar un camino, se encuentra un macizo montañoso, puede ser más económico que bordear la montaña, perforarla con un túnel, logrando una importante reducción de la longitud a recorrer.

La primera razón de existencia de un túnel es acortar el trazado y obtener una economía en la construcción o explotación de la vía. Hay otros casos en los cuales se podría ejecutar el trazado en trinchera, pero con grandes cotas de desmonte, antieconómicas de construcción, difíciles y peligrosas de conservación; entonces, el tramo de grandes cotas de desmonte, se realiza en túnel, más económico por metro lineal de camino. El trazado de vías rápidas urbanas metropolitanas exige la construcción subterránea para evitar la ocupación de una parte de la superficie de la calzada y asegurar, sin peligro para el tránsito, una velocidad comercial conveniente del ferrocarril.

Por último, hay casos en los cuales el cruce de caminos ordinarios con grandes vías se hace por debajo del agua, para dejar por su superficie el paso libre a la navegación y asegurar la

¹Navarro Carrasco, S, Ortiz Gómez, R, Ruiz Marín J. Geotecnia Aplicada a la Construcción de túneles.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

continuidad de circulación de la vía. Se realizan también galerías para conducción de aguas potables o usadas, o para alojar los servicios urbanos de luz, teléfono, agua, etc.

2.2 Principales funciones

Las funciones de los túneles son diversas: se construyen túneles para transporte, para almacenamiento, para albergar instalaciones diversas, por necesidades científicas y túneles para protección de personas.

2.2.1 Transporte

Se podría decir que es la función más antigua. La construcción de túneles para salvar obstáculos naturales se practica desde la antigüedad; podríamos resumir diciendo que en un principio fue el transporte de agua lo que necesitó de la solución túnel, debido a los requerimientos de pendiente mínima o nula; más adelante el desarrollo del ferrocarril, y posteriormente el desarrollo de los vehículos motorizados, hicieron necesaria la construcción de túneles por razones parecidas a las anteriores (evitar fuertes pendientes) pero también por razones nuevas: acortar distancias y ganar seguridad.

2.2.2 Almacenamiento

El difícil almacenamiento de determinadas sustancias y materiales se soluciona en ocasiones con túneles, que garantizan las necesarias condiciones de seguridad en unos casos, y evitan en otros el fuerte impacto ambiental que ocasionarían unos grandes depósitos en la superficie:

- Almacenamiento de petróleo
- Almacenamiento de residuos radioactivos
- Almacenamiento de materiales para usos militares
- Embalses subterráneos
-

2.2.3 Instalaciones

Aquí se incluyen las grandes instalaciones subterráneas que se construyen por distintos motivos (prácticos, estratégicos, etc.).

A continuación se nombran las distintas aplicaciones que con esta función se construyen por medio de túneles aunque, al igual que los de almacenamiento, más que túneles, son por sus dimensiones, verdaderas cavernas:

- Centrales energéticas
- Estacionamiento de vehículos
- Depuradoras de aguas residuales

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

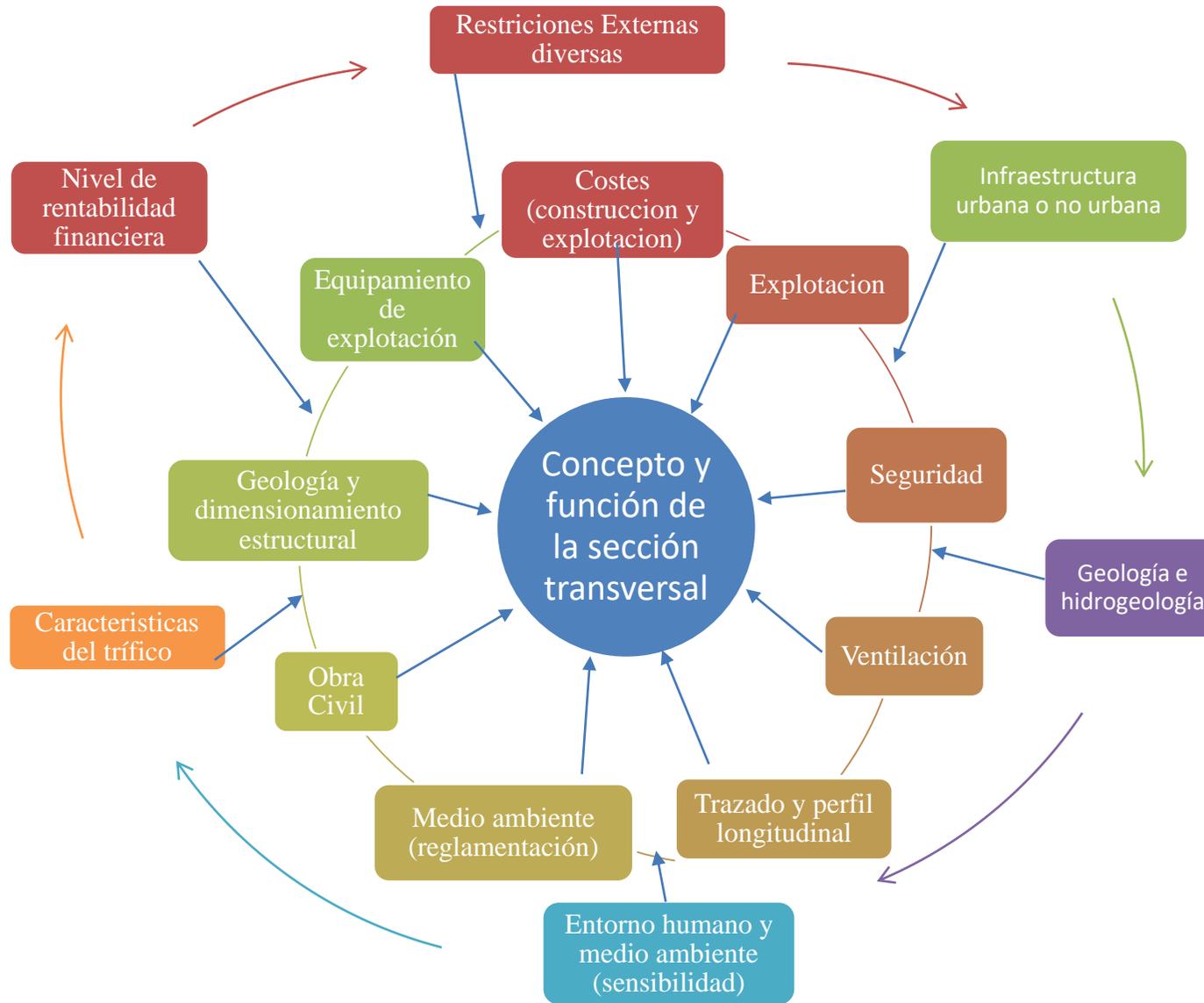


Ilustración 6. Esquema de los principales subgrupos del "sistema complejo del túnel"

2.2.4 Protección

También se construyen túneles cuya función es la protección de las personas, tanto militares como civiles; en los últimos tiempos se han construido para la defensa frente ataques nucleares. En este tipo de túneles el mayor reto es la resistencia de la estructura a los explosivos, así como la preservación de la vida durante un largo período de tiempo:

- Refugios
- Puestos de control

2.3 Clasificación de los Túneles

2.3.1 Clasificación de Túneles Según su ubicación

Una clasificación de los túneles, hablando ahora de los destinados al transporte, podría ser por su ubicación. Los obstáculos naturales que hay que salvar son variados (cadenas montañosas, ríos, estuarios o mares, y en una ciudad las calles, edificios u otras estructuras). Por ello los clasificaremos en túneles de montaña, túneles subacuáticos y túneles urbanos.

2.3.1.1 Túneles de Montañas

Si el obstáculo es una cadena montañosa, la construcción de un túnel puede suponer un ahorro considerable de tiempo y energía.

Existen dos soluciones para atravesar con un túnel una cadena montañosa: la de un túnel corto a un nivel elevado, solución más económica pero que exige largas pendientes y curvas cerradas hasta llegar a la altura elegida, o la de un largo túnel a un nivel más bajo, con el que se acortarán distancias y se ahorrará en combustible y tiempo, aunque la inversión de capital será mucho mayor. También su utilización será mucho mayor ya que no se verá afectado por las nieves invernales de los túneles anteriores.



Ilustración 7. Túnel n° 5 de la ruta Nacional 7. (Argentina)

2.3.1.2 Túneles subacuáticos

Optar por un túnel en lugar de por puente para salvar un río o un estuario dependerá de cada caso. Si se precisan numerosas vías para el tráfico y el tipo de navegación permite una luz entre pilares moderada, el puente puede ser la mejor solución; pero si se precisan claros muy largos para la navegación, el costo del puente se encarece de manera desproporcionada, y si además las condiciones de cimentación no son muy buenas, será el túnel la mejor elección.

Por otro lado, con la solución del túnel en el futuro se podrán ir ampliando las vías, según la densidad del tráfico lo requiera, construyendo otros túneles paralelos, mientras que toda la inversión para el puente tiene que ser inicial aunque en el momento de la construcción no se requieran todas las vías para las que se ha construido.

Los largos accesos que precisan los túneles subacuáticos son su gran desventaja, aunque disminuyen con los actuales túneles prefabricados que se depositan en el lecho. Sin embargo son

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

muchas las líneas de Metro que tienen tramos subacuáticos, ya que generalmente se mantienen muy por debajo de la superficie.

En el cruce del Canal de la Mancha fue la solución túnel la aprobada frente a otros proyectos de puente; el Eurotúnel es también un túnel subacuático para ferrocarril de Alta Velocidad.



Ilustración 8. El puente de Oresund conecta Dinamarca y Suecia a través del estrecho de Oresund. Esta auténtica obra de arte, que enlaza Copenhague y Malmö en un total de 16km de carretera, comienza siendo un puente, y para no cerrar por completo el estrecho, se transforma en un túnel subacuático, permitiendo así el paso de barcos por el canal.

2.3.1.3 Túneles urbanos

La construcción de túneles bajo las calles de una ciudad es utilizada para casi todas sus aplicaciones al transporte, pero los túneles urbanos más largos son los de ferrocarriles subterráneos, abastecimiento de agua y sistemas de alcantarillado. Túneles más cortos son los de carreteras, debido a los elevados problemas de ventilación y accesos que supondrían largos túneles; otros túneles urbanos cortos son los pasos para peatones.



Ilustración 9. Big Dig, Boston – EEUU. Es el proyecto de infraestructura urbana más grande y más compleja en la historia de los Estados Unidos. El proyecto fue aprobado en 1987, pero las obras no comenzaron hasta 1991. En su previsión inicial el proyecto iba a tener un coste de 2.600 millones de dólares, aunque actualmente los gastos ascienden a más de 14.000 millones. Se encuentra realizado en un 97%, si bien se han ido produciendo aperturas parciales de diferentes tramos a medida que se han ido terminando.

2.3.1.4 Factores relacionados con la función de cada túnel

Estos factores que se enumeran por separado son, sin embargo, dependientes entre sí, de manera que la acción de unos condicionará la de otros. Todos estos factores se tienen en cuenta en la planificación y diseño del proyecto de un túnel

- La ubicación del túnel, que podrá ir a través de una montaña, ser subacuático o urbano.
- El terreno puede ser desde un limo blando hasta una roca dura; la selección que se haga del terreno implicará cambios en la geometría, en la forma de la estructura y por supuesto en el método de construcción.
- Las dimensiones del túnel acabado (ancho, altura y longitud), así como los parámetros que definan la planta (curvas circulares, de transición) y el alzado (pendientes máximas); estos

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

límites podrán ser muy reducidos en unos casos, y se podrá disponer de un amplio campo de posibilidades en otros.

- La forma estructural, que podrá ser un círculo, rectangular, de herradura, etc. el material utilizado será el hormigón con mayor o menor espesor y el acero. La forma estructural deberá soportar las presiones de los terrenos. Tanto el tipo de terreno como el método de construcción influirán decisivamente sobre la forma estructural.
- El sistema de construcción que presenta numerosas posibilidades, desde, la excavación por explosivos hasta las máquinas tuneladoras a sección completa, pasando por los procedimientos de corte del terreno y posterior relleno para los túneles más superficiales. La elección del método vendrá determinada por las condiciones del terreno pero también por los medios económicos de que se disponga.
- El equipamiento del túnel ya terminado, las calzadas o las vías de ferrocarril, la iluminación, los sistemas de control, los acabados decorativos en su caso.

2.3.2 Clasificación de Túneles Según Clima y Altitud

Resulta de especial importancia la ubicación geográfica (fundamentalmente altitud) en donde se ubique la obra y el clima del sector. Toda obra localizada en altura considerable y en un clima lluvioso o sectores con filtraciones mayores, requerirá el diseño especial de canaletas conductoras evacuadoras de aguas, las cuales deberán ser calculadas, dimensionadas y localizadas de manera que cumplan con el objetivo de mantener las pistas secas.

La ubicación geográfica determinará la posibilidad de congelamiento de aguas infiltradas a la obra para lo cual deberá procederse a neutralizar el fenómeno que provoque esta situación.

Hay dos fenómenos, particularmente peligrosos para los conductores, que se producen frecuentemente en túneles cordilleranos con exceso de agua, que deben evitarse a toda costa:

- Pavimentos con una película superficial de agua congelada, que se tornan muy resbalosos.
- Empañamiento repentino del parabrisas al ingresar un vehículo a baja temperatura a un túnel lleno de aire saturado y a mayor temperatura que el vehículo.

Para evitar estos fenómenos se deberá considerar en el proyecto la colocación de láminas térmicas, las cuales evitan la generación de goteos y su posterior congelación de arriba hacia abajo

(estalactitas) o de abajo hacia arriba (estalagmitas). En nuestro caso no es necesario puesto que en nuestro país reina el clima tropical.

2.3.3 Túneles de carreteras

2.3.1 Características de los túneles de carreteras

También los túneles para carreteras pueden ser, al igual que para el ferrocarril, cortos y largos; su definición en planta también tiende a ser en recta por ser el camino más corto y por lo tanto el más económico, aunque al igual que para el ferrocarril se construyen en curva si las condiciones del terreno a atravesar lo recomiendan o por otras causas. Las curvas pueden ser más cerradas (son normales radios de 400 m).

El perfil longitudinal sigue las mismas pautas que los anteriores en cuanto a las condiciones necesarias para la evacuación de las aguas por gravedad, tanto durante su construcción como posteriormente y siempre que sea posible. La diferencia más importante, comparándolos con los de ferrocarril es en la pendiente permitida: son pendientes normales las de 35 y 45 milésimas, e incluso se pueden utilizar en un tramo corto rampas de 65 milésimas, como en el caso de túneles subacuáticos en los que duplicando la pendiente se consigue reducir a la mitad la longitud del descenso hasta el nivel obligado.

El tipo de sección de los túneles de carreteras es un poco mayor que la del ferrocarril de vía doble. El ancho para dos carriles ronda los 9 m, y la altura libre es alrededor de los 5 m. Lo normal es que se construyan túneles de dos carriles únicamente ya que en todos los túneles el aumento del ancho repercute de manera desproporcionada en el costo, al tenerse no sólo que excavar un mayor volumen sino también aumentar el espesor del revestimiento. Por ello es preferible excavar dos túneles paralelos con dos carriles cada uno cuando las necesidades sean de cuatro vías (dos para cada sentido). Un túnel excepcional en lo que se refiere a la anchura es el de Saint-Cloud en la autopista del Oeste a la salida de París que dispone de cinco vías de circulación. En cuanto al equipamiento del túnel es necesaria una iluminación que debe ser potente en la entrada, sobre todo de día, y disminuir progresivamente hacia el interior cuando ya el ojo humano se ha adaptado al cambio de luminosidad exterior-interior. La ventilación debe prever hasta las situaciones de emergencia, como colapsos de tránsito e incendios. El proyecto de ventilación tiene gran influencia en el proyecto y la construcción del túnel, pues el paso de los conductos de aire ocasiona problemas de espacio, y los futuros pozos de ventilación del túnel se pueden utilizar durante la construcción para multiplicar los frentes de excavación del túnel y también como

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

ventilación. En algunos túneles de carreteras se permite el paso de peatones y ciclistas, con el inconveniente de que además del aumento de las dimensiones del túnel y su repercusión en el costo, los ciclistas retrasan el flujo total del tráfico y tanto ellos como los peatones requieren unas normas más altas de ventilación, ya que permanecen durante más tiempo en el interior del túnel y además realizan ejercicio. Es por todo ello que se construyen túneles aparte, para peatones y ciclistas, en aquellos países en los que es importante el transporte en bicicleta, o incluso por debajo de la plataforma de la carretera en cortos túneles subacuáticos de algunas ciudades. Estos túneles tienen unas restricciones mínimas, tanto de espacio como de pendientes.

2.4 Principales características de sistemas de seguridad

2.4.1 Luces de Evacuación de Emergencia

Son luces usadas para indicar o mostrar el camino hacia las bocas de los túneles en caso de presencia de humo. Son equipos activados manual o automáticamente en caso de incendio. Debe tratarse de luz blanca que pueda verse a través del humo, instaladas en las paredes a 1 m sobre el pavimento y a lo menos cada 50 m una de otras, deben tener capacidad para permanecer a lo menos 1 hora encendidas.

2.4.2 Extintores de Incendio

Debe tratarse de equipos puestos en nichos en las paredes del túnel dentro de cubículos iluminados con puerta de vidrio delgado fácil de romper en caso de requerimiento. Deben estar indicados con señalización adecuada, reflectante e iluminación interior. A lo menos se considera un punto de ubicación cada 200 m.

2.4.3 Teléfonos de Emergencia

Estos teléfonos deben estar destacados, y deben funcionar de manera tal que emitan una señal al controlador con solo levantar el auricular no requiriendo discar ningún número. Se deben instalar en nichos cubiertos con un semi-techo. Su número debe ser uno cada 200 m de longitud de túnel.

2.4.4 Señales de Servicio

Debe considerarse dentro del túnel la instalación destacada de señales camineras que indiquen la presencia de extintores de incendio, teléfono de emergencia, velocidad y otras condiciones especiales de la obra.



Ilustración 10. Túnel III de Guadarrama de la Autopista del Noroeste (A-6), en el punto kilométrico 57, sentido Madrid.

2.4.5 Marcas de Pavimentos, Ojos de Gato:

Debe considerarse la instalación de este tipo de marcas reflectantes en el pavimento igual que su instalación en el camino exterior.

2.5 Diseño Túnel Cibao-Sur.

Dentro del rango de intersecciones en vías o carreteras, las intersecciones a desnivel son las de mayor capacidad. Se basan en la idea de segregar en diferentes niveles las corrientes en

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

conflicto por medio de túneles y viaductos. Los diferentes niveles en la intersección son interconectados por medio de rampas. Estas conexiones permiten intercambios de caminos y vías de retorno. Este tipo de soluciones son utilizadas en vías expresas (donde no se pueden colocar semáforos) y en intersecciones que a nivel, no puede prestar un buen servicio. Se debe evaluar muy bien su implementación en casos necesarios debido a las cuantiosas inversiones que se deben realizar.

Existen decenas de posibles intersecciones a desnivel estándar. Dentro de las más frecuentes está el trébol con sus diferentes variaciones. Los tréboles son utilizados cuando el flujo por las dos vías es alto, por ejemplo el cruce de dos autopistas en donde todos los giros (derecha, directo, izquierdo y en U) por todos los accesos se permiten. De forma similar, están las intersecciones en molino y de turbina, pero estas últimas son intersecciones de 3 o más niveles, mientras que el trébol solo requiere elevar uno de los dos caminos en conflicto.

En el caso del Túnel Cibao – Sur se utilizarán retornos de tipo lazo que son los más frecuentemente utilizados en las carreteras. Debido a las distintas pendientes que posee el túnel, los desvíos se relazarán con pendiente contraria a la del túnel ya que de esta manera son más cortos porque se alcanza el desnivel necesario con menos longitud.

2.5.1 Especificaciones

Especificaciones	
Tipo de Sección	Circular de dos Tubos
Ancho del Carril	3.50 m
Carriles	4
Pendiente	3.70% y 2.00%
Velocidad de Diseño	80 Km/h
Sistema de Ventilación	Transversal
Tipo de Ventiladores	Axiales Jet Fan del tipo APR – 630/280
Longitud del Túnel	40 km
Separación de los Ventiladores	1000 m

Tabla 1. Especificaciones

CAPÍTULO III. Geología

3.1 Geología

La Geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años².

Los estudios geológicos determinan la geología superficial y de subsuelo de cualquier terreno. Mediante este análisis se obtiene la disposición de las capas geológicas, así como su litología, siendo posible obtener la siguiente información:

- Estimación del porcentaje y clasificación de los materiales presentes en el subsuelo de una parcela pequeña o de grandes extensiones.
- Información de la permeabilidad del terreno y circulación de aguas subterráneas que puedan afectar a Obras Civiles.
- Obtención del grado de dificultad que se tendrá al ejecutar desmontes, y así garantizar la viabilidad de un proyecto futuro.
- Información general del subsuelo y estructura del mismo.



Ilustración 11. James Hutton, padre de la Geología moderna.

3.1.1 Rocas

Las rocas se clasifican en tres grandes grupos: Rocas Ígneas, Rocas Sedimentarias y Rocas Metamórficas.

² Escobar, Gonzalo. Manual de Geología para Ingenieros (Pág. 12). Bogotá, Colombia.

3.1.1.1 Rocas Ígneas

Las rocas ígneas forman la mayor parte de la corteza terrestre. De hecho, con la excepción del núcleo exterior líquido, la porción sólida restante de nuestro planeta es básicamente una enorme roca ígnea parcialmente cubierta por una delgada capa de rocas sedimentarias. Por consiguiente, para comprender la estructura, composición y funcionamiento interno de nuestro planeta, es esencial un conocimiento básico de las rocas ígneas.

Las rocas ígneas (ignis= fuego) se forman conforme se enfría y solidifica una roca fundida. Abundantes pruebas apoyan el hecho de que el material parental de las rocas ígneas, denominado magma, se forma por un proceso denominado fusión parcial. La fusión parcial se produce a varios niveles dentro de la corteza terrestre y el manto superior a profundidades que pueden superar los 250 kilómetros

Una vez formado, un cuerpo magmático asciende por flotación hacia la superficie porque es menos denso que las rocas que los rodean. Cuando la roca fundida se abre camino hacia la superficie, produce una erupción volcánica espectacular. El magma que alcanza la superficie de la superficie se denomina lava. A veces la lava se emite en forma de surtidores que se producen cuando los gases que escapan impulsan la roca fundida desde las cámaras magmáticas. En otras ocasiones el magma es expulsado de una chimenea de una manera explosiva, provocando una erupción catastrófica. Sin embargo, no todas las erupciones son violentas; algunos volcanes generan tranquilas emisiones de lavas muy fluidas.

Las rocas ígneas que se forman cuando se solidifica la roca fundida en la superficie terrestre se clasifican como extrusivas (ex=fuera; trudere=empujar) o volcánicas (de Vulcano, el dios del fuego). Las rocas ígneas extrusivas son abundantes en la costa occidental del continente americano, incluido los conos volcánicos de la cordillera de Cascade y las extensas coladas de lava de la llanura de Columbia. Además, muchas islas oceánicas tipificada por la cadena Hawaiana, están compuestas casi por completo de rocas ígneas extrusivas.

EL magma que pierde su movilidad antes del alcanzar la superficie acaba cristalizando en profundidad. Las rocas ígneas que se forman en profundidad se denominan intrusivas (in=dentro; trudere= empujar) o plutónicas (de plutón, el dios del mundo inferior en la mitología clásica). Las rocas ígneas intrusivas nunca se observarían si la corteza no ascendiera y las rocas cajas no fueran eliminadas por la erosión. (Cuando una masa de roca de la corteza está expuesta, es decir, no cubierta por un suelo, se denomina afloramiento.).En muchas partes existen alforamientos de

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

rocas ígneas intrusivas, como el Monte Washington, New Hampshire, La Stone Mountain, Georgia; Las Black Hills, Dakota del Sur, y el Parque Nacional Yosemite, California.

3.1.1.2 Rocas Sedimentarias

Los productos de la meteorización mecánica y química constituyen la materia prima para las rocas sedimentarias. La palabra sedimentaria indica la naturaleza de esas rocas, pues deriva de la palabra latina sedimentum, que hace referencia al material sólido que se deposita a partir de un fluido (agua o aire). La mayor parte del sedimento, pero no todo, se deposita de esta manera. Los restos meteorizados son barridos constantemente desde el lecho de roca, transportados y por fin depositados en los lagos, los valles de los ríos, los mares y un sinnúmero de otros lugares. Los granos de una duna de arena del desierto, el lodo de fondo de un pantano, la grava del lecho de un río e incluso el polvo de las casas son ejemplos de este proceso interminable. Dado que la meteorización del lecho de roca, el transporte y el depósito de los productos de meteorización con continuos, se encuentran sedimentos en casi cualquier parte. Conforme se acumulan las pilas de sedimentos, los materiales próximos al fondo se compactan. Durante largos períodos, la materia mineral depositada en los espacios que quedan entre las partículas cementa estos sedimentos, formando una roca sólida.

Los geólogos calculan que las rocas sedimentarias representan solo alrededor del 5 por ciento (en volumen) de los 16 kilómetros externos de la Tierra. Sin embargo, su importancia es bastante mayor de lo que podría indicar este porcentaje. Si tomáramos muestras de las rocas expuestas en la superficie, encontraríamos que la gran mayoría son sedimentarias. De hecho alrededor del 75 por ciento de todos los afloramientos de roca de los continentes están compuestos por rocas sedimentarias. Por consiguiente, podemos considerar las rocas sedimentarias como una capa algo discontinua y relativamente delgada de la porción más externa de la corteza. Este hecho se entiende con facilidad cuando consideramos que el sedimento se acumula en la superficie.

Dado que los sedimentos se depositan en la superficie terrestre, las capas de roca que finalmente se forman contienen evidencias de acontecimientos pasados que ocurrieron en la superficie. Por su propia naturaleza las rocas sedimentarias contienen en su interior indicaciones de ambientes pasados en los cuales se depositaron sus partículas y, en algunos casos, pistas de los mecanismos que intervinieron en su transporte. Además, las rocas sedimentarias son las que contienen los fósiles, herramientas vitales para el estudio del pasado geológico. Por tanto, un grupo de rocas proporciona a los geólogos mucha de la información básica que necesitan para reconstruir los detalles de la historia de la Tierra.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Por último, debe mencionarse la gran importancia económica de muchas rocas sedimentarias. El carbón que se quema para proporcionar una porción significativa de la energía eléctrica de los Estados Unidos, es una roca sedimentaria. Nuestras otras fuentes principales de energía petróleo y gas natural, están asociadas con las rocas sedimentarias. Son también fuentes importantes de hierro, aluminio, manganeso, y fertilizantes, además de numerosos materiales esenciales para la industria de la construcción.

3.1.1.3 Rocas Metamórficas

Fuerzas compresivas de una magnitud inimaginable y temperaturas de centenares de grados por encima de las condiciones de la superficie predominaron quizá durante miles o millones de años y provocaron la deformación. Bajo esas condiciones extremas, las rocas responden plegándose, fracturándose y fluyendo. En este capítulo se consideran las fuerzas tectónicas que forjan las rocas metamórficas y cómo esas rocas cambian de aspecto, composición mineral y a veces incluso de composición química media.

Extensas áreas de rocas metamórficas afloran en todos los continentes en unas regiones relativamente planas de nominadas escudos. Esas regiones metamórficas se encuentran en Canadá, Brasil, África, India, Australia y Groenlandia. Además, las rocas metamórficas son un componente importante de muchos cinturones montañosos, entre ellos los Alpes y los Apalaches, donde constituyen una gran parte del núcleo cristalino de esas montañas. Incluso las partes interiores estables de los continentes que están cubiertas por rocas sedimentarias están sustentadas sobre rocas basales metamórficas. En esos ambientes, las rocas metamórficas están muy deformadas y presentan intrusiones de grandes masas ígneas. De hecho, partes significativas de la corteza continental terrestre están compuestas por rocas metamórficas y rocas ígneas.

A diferencia de algunos procesos ígneos y sedimentarios que tienen lugar en ambientes superficiales o próximos a la superficie, el metamorfismo casi siempre ocurre en zonas profundas del interior de la Tierra, fuera de nuestra observación directa. Pese a este obstáculo significativo, los geólogos han desarrollado técnicas que les han permitido aprender mucho sobre las condiciones bajo las cuales se forman las rocas metamórficas. Por tanto, las rocas metamórficas proporcionan importantes datos sobre los procesos geológicos que actúan dentro de la corteza terrestre y el manto superior.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

El metamorfismo es la transformación de un tipo de roca en otro. Las rocas metamórficas se forman a partir de rocas ígneas, sedimentarias o incluso de otras rocas metamórficas. Por tanto, todas las rocas metamórficas tienen una roca madre: la roca a partir de la cual se formaron.

El metamorfismo, que significa, es un proceso que provoca cambios en la mineralogía, la textura y, a menudo, la composición química de las rocas. El metamorfismo tiene lugar cuando las rocas se someten a un ambiente físico o químico significativamente diferente al de su formación inicial. Se trata de cambios temperatura y presión (esfuerzo) y la introducción de fluidos químicamente activos. En respuesta a esas nuevas condiciones, las rocas cambian gradualmente hasta un estado de equilibrio con el nuevo ambiente. La mayoría de los cambios metamórficos ocurren bajo las temperaturas y presiones elevadas que existen en la zona que pieza a unos pocos kilómetros por debajo de la su terrestre y se extiende hacia el manto superior.

El metamorfismo suele progresar de manera incremental, desde cambios ligeros (metamorfismo de grado bajo a cambios notables (metamorfismo de grado alto). Por ejemplo, en condiciones de metamorfismo de grado bajo, la roca sedimentaria común lutita se convierte en una metamórfica más compacta denominada pizarra. Las muestras de mano de ambas rocas son a veces difíciles de distinguir lo cual ilustra que la transición de sedimentaria a metamórfica suele ser gradual y los cambios pueden ser sutiles.

En ambientes más extremos, el metamorfismo produce una transformación tan completa que no puede terminarse la identidad de la roca fuente. En el metamorfismo de grado alto, desaparecen rasgos como los planos de estratificación, los fósiles y las vesículas que puedan haber existido en la roca original. Además, cuando las rocas en zonas profundas (donde las temperaturas son elevadas son sometidas a presiones dirigidas, se deforman lentamente y se produce una gran variedad de texturas además de estructuras a gran escala como los pliegues.

En los ambientes metamórficos más extremos, las temperaturas se aproximan a las de fusión de las rocas. Sin embargo, durante el metamorfismo la roca debe permanecer esencialmente en estado sólido, pues si se produce la fusión completa, entraríamos en el ámbito de la actividad ígnea.

La mayor parte del metamorfismo ocurre en uno estos tres ambientes:

- Cuando una masa magmática instruye en las rocas, tiene lugar el metamorfismo de contacto o térmico. Aquí, el cambio es impulsado por un aumento de la temperatura en el interior de la roca huésped que rodea una intrusión ígnea.
- El metamorfismo hidrotermal implica alteraciones químicas que se producen conforme el agua caliente rica en iones circula a través de las fracturas de las rocas. Este tipo de

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

metamorfismo suele estar asociado con la actividad ígnea que proporciona el calor necesario para provocar las reacciones químicas y hacer circular estos fluidos a través de la roca.

- Durante la formación de montañas grandes volúmenes de rocas están sometidas a presiones dirigidas y a las elevadas temperaturas asociadas con deformaciones a gran escala, del denominado metamorfismo regional.

El metamorfismo regional, que produce el mayor volumen de rocas metamórficas, tiene lugar en los límites convergentes, donde las placas litosféricas colisionan (Véase ROCMET-18). Aquí, grandes segmentos de la corteza terrestre se pliegan, se fallan y se metamorfinan enormemente. Además, el enterramiento profundo, junto con el emplazamiento de magmas que se originan en el manto, son los responsables de las temperaturas elevadas que provocan las zonas más intensas de metamorfismo. Las rocas deformadas por metamorfismo regional tienen frecuentemente zonas de metamorfismo de contacto, así como metamorfismo hidrotermal.

Después de considerar los factores del metamorfismo y algunas rocas metamórficas comunes, examinaremos Estos y otros ambientes metamórficos.

3.1.1.4 Uso de las rocas en carreteras.

La roca constituye un importante material de construcción en carreteras y es el material base para obras como:

- Escolleras (puentes, accesos).
- Revestimientos (muros de mampostería, pantallas, etc.).
- Gaviones (canales, muros, pantallas).
- Como material seleccionado natural o triturado para hormigones.
- Para la conformación de Pavimentos flexibles: capa de rodadura, carpeta de mezcla asfáltica en caliente o frío, bermas, capa base conformada por suelos granulares triturados o semi triturados, y capa sub base constituida por suelos granulares seleccionados.

3.1.2 Estratigrafía

La estratigrafía, es una de las ramas de la geología que proviene del latín stratu y del griego graphia, es la descripción de todos los cuerpos rocosos que forman la corteza terrestre y de su organización en unidades distintas, útiles y cartográficas. Las unidades están basadas en sus características o cualidades a fin de establecer su distribución y relación en el espacio y su sucesión en el tiempo, y para interpretar la historia geológica.

3.1.2.1 Objetivos

Identificación de estratos, interpretación genética de los sedimentos que los integran y establecimiento de la sucesión estratigráfica local.

Correlación entre las series estratigráficas y diferenciación de unidades estratigráficas y tecto-sedimentarias que ofrezcan el armazón necesario para encuadrar los procesos y fenómenos.

Interpretación estratigráfica: A partir de los datos anteriores se pueden conocer las características de los medios sedimentarios, su extensión y sus relaciones laterales hasta llegar a la reconstrucción de la cuenca y de la geografía pretérita, es decir, la paleogeografía.

Descripción análisis e interpretación de los cambios sufridos por la Tierra a lo largo de su historia.

3.1.2.2 Tipos de estratificación.

- Regular.
- Lenticular.
- Oblicua.
- Ondulada.
- Imbricada o torrencial.
- Entrecruzada.
- Sonada.
- Caótica.
- Concordante.
- Discordante.

3.2 Estudios geotécnicos aplicados a carreteras

El estudio geotécnico es el conjunto de actividades que permiten obtener la información geológica y geotécnica del terreno, necesaria para la redacción de un proyecto de construcción.

3.2.1 Generalidades.

La ingeniería geológica es la aplicación de los conocimientos y métodos derivados de las diferentes ramas de la geología los problemas y procesos de la ingeniería civil. Obras humanas tales como presas, embalses, túneles, carreteras, aeropuertos, minas, y edificios altos o pesados se construyen en la forma más satisfactoria cuando previamente se determinan las condiciones geológicas del terreno y se toman en consideración en el diseño y la construcción de estructuras. En la actualidad, más que en ningún tiempo pasado, se construyen mayores túneles, presas, aeropuertos para grandes aviones, cortes más profundos para autopistas y terraplenes de mayor altura. Para la seguridad en el diseño de estas obras gigantescas y para asegurar su estabilidad y mantenimiento, los ingenieros necesitan el consejo de geólogos competentes en rocas y suelos, propiedades físicas y químicas de las rocas, los minerales y los procesos geológicos que pueden afectarlas.

Los geólogos especialistas en ingeniería civil son consultados sobre la erosión producida por cambios en el curso de ríos que pueden socavar los estribos y pilares de puentes; los posibles daños por desprendimientos de rocas y deslizamientos de tierra en grandes cortes de carreteras; las fundaciones defectuosas en rocas o fallas activas en sitios de presas.

Una tarea importante de la geología es la interpretación de los mapas geológicos y topográficos y de las fotografías aéreas para suministrar información clave sobre zonas inaccesibles teniendo en cuenta los problemas que pueden presentarse si se emprende un determinado proyecto.

Hacer un estudio geológico para realizar el diseño de una carretera es muy importante por diferentes aspectos, por ejemplo nos indican la existencia de materiales que podemos utilizar, su distribución y accesibilidad, las propiedades de los suelos respecto del tránsito, características de los materiales en la superficie para estribos de puentes, etc.

3.2.1.1 Aspectos geológicos y geotécnicos a considerar.

Los estudios geológicos y geotécnicos deben considerar los siguientes aspectos para el diseño adecuado y construcción eficiente de carreteras:

a) En la conformación de terraplenes:

- Conformación con suelos apropiados.
- El material de los terraplenes tiende a consolidarse.
- Es necesaria la compactación energética y sistemática.
- Propiedades del terreno natural de cimentación.
- Estabilidad de taludes.
- Problemas de corrimientos o deslizamientos rotacionales.
- Zonas de capa freática somera.

b) En cortes o desmontes:

- Reconocimiento geotécnico adecuado.
- Estabilidad de taludes.
- Naturaleza de los materiales.

c) En explanadas:

- Es apoyo para el firme.
- El comportamiento del firme está ligado a las características resistentes de los suelos de la explanada.
- El firme protege a la explanada de los agentes atmosféricos.
- Capacidad soporte de la explanada adecuada.
- Los suelos de la explanada deben seleccionarse con criterios más estrictos que para el resto del terraplén.

d) Otros problemas geotécnicos:

- Zonas de turbas o de arcillas muy compresibles.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

- Zonas de nivel freático muy superficial.
- Zonas de rocas alteradas.
- Erosiones y arrastres de materiales en laderas.
- Vados o zonas inundables.
- Carreteras en la proximidad de ríos y arroyos.
- Zonas de gran penetración de la helada.
- Fallas geológicas.

3.2.2.2 Estudios a realizar

Los estudios geológicos y geotécnicos se realizan para identificar las propiedades de:

- El terreno como cimiento de la carretera y de sus estructuras.
- La naturaleza de los materiales a excavar.
- La incidencia sobre la estabilidad del terreno natural.
- Las condiciones hidrológicas y de drenaje.
- Los materiales a utilizar en las distintas capas del firme.

Los estudios geológicos y geotécnicos siguen una metodología que se detalla a continuación.

3.2.2.1 Estudios previos o informativos

Los estudios previos permiten realizar una evaluación económica preliminar, comprobar la viabilidad técnica, y también generan la discusión de posibles soluciones a problemas estructurales. Se analizan los siguientes aspectos:

a) Geología de la zona.

- Morfología.
- Estratigrafía y Litología.
- Tectónica.
- Hidrología.

b) Características geotécnicas generales.

- Clasificación cualitativa de los suelos.
- Evaluación del terreno como cimiento.
- Problemas geotécnicos de la zona.

c) Estudio de materiales.

- Descripción geológica general.
- Localización, descripción y características de los grupos litológicos.
- Descripción y cortes de canteras y yacimientos granulares.

3.2.2.2 Anteproyecto

Permite hacer una descripción funcional, técnica y económica de la obra, además, identificar las zonas con problemas.

Se realiza el estudio geológico y geotécnico, definiendo las zonas homogéneas y diferenciando las zonas singulares como:

- Terrenos peligrosos.
- Importancia de las obras.
- Escasez o dificultades de material de préstamo, yacimientos y canteras.

3.2.2.3 Proyecto

En la etapa de proyecto, se determinan:

- La sección tipo de explanaciones.
- Desagües superficiales y drenajes subterráneos.
- Prescripciones técnicas particulares relativas al empleo y puesta en obra de los materiales en terraplén y capas del firme.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

- Cimentación de las obras de fábrica.
- Muros, obras de defensa, túneles, etc.
- En el proyecto, también se elabora e identifican:
- Planos, mapas y cortes geológicos y geotécnicos detallados.
- Memoria de cálculo.
- Reconocimiento geológico y geotécnico detallado.
- Yacimientos y canteras.
- Resistencia y deformabilidad de los suelos.
- Estudio hidrológico detallado.
- Planes de control de calidad, seguridad, higiene y medidas de protección ambiental.

3.3 Geología estructural

Estudia la arquitectura de la tierra, tal como ha quedado conformada después de los movimientos de distinta magnitud a la que ha sido sometida.

Análisis e interpretación de las estructuras tectónicas en la corteza terrestre. Conocimiento de las fuerzas en la corteza que producen fracturamiento, plegamiento y montañas. (Fallas-Pliegues-Orogénesis).

Se divide en tres grandes grupos:

- El estudio de las unidades estructurales, locales y regionales.
- El estudio de las unidades estructurales continentales o de amplitud mundial.
- Los estudios de gabinete o laboratorio.

3.3.1 Fallas estructurales

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Son roturas de los estratos de roca a lo largo de las cuales las paredes opuestas se han movido entre ellas relativamente. Este movimiento se llama desplazamiento. El origen de estos movimientos son fuerzas tectónicas en la corteza terrestre, las cuales provocan roturas en la litosfera. Las fuerzas tectónicas tienen su origen en el movimiento de los continentes. Existen varios tipos de fallas, se presentan dos tipos principales: fallas con desplazamiento vertical y fallas con desplazamiento horizontal.

3.4 Geomorfología

La geomorfología es la descripción e interpretación de las características del relieve terrestre. A medida que los diferentes agentes erosivos actúan sobre la superficie terrestre, se produce una secuencia en las formaciones del relieve con características distintivas en los sucesivos estados de su desarrollo.

3.5 Geotecnia

En términos generales, la ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que utiliza métodos científicos para determinar, evaluar y aplicar las relaciones entre el entorno geológico y las obras de ingeniería.

En un contexto práctico, la ingeniería geotécnica comprende la evaluación, diseño y construcción de obras donde se utilizan el suelo y los materiales de tierra.

A diferencia de otras disciplinas de ingeniería civil, que típicamente se ocupan de materiales cuyas propiedades están bien definidas, la ingeniería geotécnica se ocupa de materiales sub-superficiales cuyas propiedades, en general, no se pueden especificar.

Los pioneros de la ingeniería geotécnica se apoyaron en el "método de observación", para comprender la mecánica de suelos y rocas y el comportamiento de materiales de tierra bajo cargas. Este método fue mejorado con el advenimiento de instrumentación electrónica de campo, amplia disponibilidad de poderosas computadoras personales, y desarrollo de refinadas técnicas numéricas. Estas técnicas hacen ahora posible determinar con mayor precisión la naturaleza y comportamiento no homogéneo, no lineal y anisotrópico de materiales de tierra para su aplicación a obras de ingeniería.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

El investigador geotécnico Karl von Terzaghi sostenía que: "La magnitud de la diferencia entre el comportamiento de suelos reales bajo condiciones de campo, y el comportamiento pronosticado con base en la teoría, solo puede conocerse mediante la experiencia en el campo".

Mediante la geotecnia se podrán identificar riesgos naturales, como son suelos y minerales de roca expansivos, taludes naturales y artificiales inestables, antiguos depósitos de relleno y posibles fallas que tenga el terreno.



Ilustración 12. Karl von Terzaghi

Las fallas se relacionan con la licuación de los suelos durante los terremotos, presión hidrostática baja, daños en estructuras causados por el, agua debido a la elevación del nivel freático, desestabilización de las cimentaciones por socavación o desbordamientos y erosión por oleaje en diques y presas de tierra.

3.5.1 Reconocimiento geotécnico

Todo estudio geotécnico debe iniciarse con un reconocimiento detallado del terreno a cargo de personal experimentado. El objetivo de este reconocimiento es contar con antecedentes geotécnicos previos para programar la exploración.

Mediante la observación de cortes naturales y/o artificiales producto de la erosión o deslizamiento será posible, en general, definir las principales unidades o estratos de suelos superficiales.

Especial importancia debe darse en esta etapa a la delimitación de zonas en las cuales los suelos presentan características similares y a la identificación de zonas vedadas o poco recomendables para emplazar construcciones, tales como zonas de deslizamiento activo, laderas rocosas con fracturamiento según planos paralelos a la superficie de los cortes, zonas pantanosas difíciles de drenar, etc.

Este reconocimiento se puede efectuar por vía terrestre o por vía aérea dependiendo de la transividad del terreno.

El programa de exploración que se elija debe tener suficiente flexibilidad para adaptarse a los imprevistos geotécnicos que se presenten. No existe un método de reconocimiento o

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

exploración que sea de uso universal, para todos los tipos de suelos existentes y para todas las estructuras u obras que se estudian.

Generalmente se ejecutan pozos distanciados entre 250 a 600 metros, aparte de los que deban ejecutarse en puntos singulares. Pueden realizarse pozos más próximos si lo exige la topografía del área, naturaleza de la deposición o cuando los suelos se presentan en forma errática. Así mismo deben delimitarse las zonas en que se detecten suelos que se consideren inadecuados.

3.6 Suelos

Son un conjunto de partículas que en su origen producto de la alteración química o de la desintegración mecánica de un macizo rocoso, el cual ha sido expuesto a los procesos de interperismo. Posteriormente, los componentes del suelo pueden ser modificados por los medios de transporte, como el agua, el viento y el hielo, también por la inclusión y descomposición de materia orgánica. En consecuencia, los depósitos de suelo pueden ser conferidos a una clasificación geológica, al igual que una clasificación de sus elementos constitutivos.

La Mecánica de Suelos: es la aplicación de la mecánica que trata de la acción de las fuerzas sobre lamasa de los suelos. La mecánica de suelos estudia las propiedades, comportamiento y utilización del suelo como material estructural, de tal modo que las deformaciones y resistencia del suelo ofrezcan seguridad, durabilidad y estabilidad de las estructuras³.

3.6.1 Tipos de Suelos

La clasificación de un depósito de suelo, con respecto a la forma de deposición y su historia geológica, es un paso importante para entender la variación en el tipo de suelo y de esfuerzos máximos impuestos sobre el depósito desde su formación.

La historia geológica de un depósito de suelo puede también ofrecer valiosa información sobre la rapidez de deposición, la cantidad de erosión y las fuerzas tectónicas que pueden haber actuado en el depósito después de la deposición.

Los diferentes tipos de suelo existentes son:

³Von Terzaghi, Karl, Mecánica de Suelos en la Ingeniería Practica 2da edición.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

- Aluviales: los que se encuentran en ríos, quebradas.
- Coluviales: se encuentran en las laderas de los cerros.
- Morrénicos: resultados de procesos glaciales.
- Orgánicos: bofedales, turbas.

3.6.2 Identificación de suelos

El problema de la identificación de los suelos es de importancia fundamental; identificar un suelo es, en rigor, encasillarlo en un sistema previo de clasificación.

La identificación permite conocer las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, atribuyéndole las del grupo en que se sitúe, además nos permite conocer las características del suelo en conjunto y en estado natural ya que la identificación es en campo.

Para identificar los suelos en campo existen diferentes factores, de los cuales podemos mencionar:

3.6.2.1 Dilatancia

En esta prueba, una pastilla en el contenido de agua necesario para que el suelo adquiriera una consistencia suave, pero no pegajosa, se agita alternativamente en la palma de la mano, golpeándola contra la otra mano, manteniéndola apretada entre los dedos.

Un suelo fino, no plástico, adquiere con el anterior tratamiento, una apariencia de hígado, mostrando agua libre en su superficie, mientras se le agita, en tanto que al ser apretado entre los dedos, el agua superficial desaparece y la muestra se endurece, hasta que, finalmente empieza a desmoronarse como un material frágil, al aumentar la presión. Si el contenido de agua de la pastilla es el adecuado, un nuevo agitado hará que los fragmentos, producto del desmoronamiento vuelvan a constituirse. Cambia su consistencia, con lo que el agua aparece y desaparece se define la intensidad de la reacción que indica el carácter de los finos del suelo.

3.6.2.2 Tenacidad.

La prueba se realiza sobre un espécimen de consistencia suave, similar a la masilla. Este espécimen se rola hasta formar un rollito de unos 3 mm. de diámetro aproximado, que se amasa y vuelve a rolar varias veces. Se observa como aumenta la rigidez del rollito a medida que el suelo se acerca al límite plástico.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Sobrepasado el límite plástico, los fragmentos en que se parte el rollito se juntan de nuevo y amasan ligeramente entre los dedos, hasta el desmoronamiento final.

3.6.2.3 Resistencia en estado seco.

La resistencia de una muestra de suelo, previamente secado, al romperse bajo presiones ejercidas por los dedos, es un índice del carácter de su fracción coloidal.

Los limas exentos de plasticidad, no presentan ninguna resistencia en estado seco y sus muestras se desmoronan con muy poca presión digital. Las arcillas tienen mediana y alta resistencia al desmoronamiento por presión digital.

3.6.2.4 Color

En exploraciones de campo el color es un dato útil para diferenciar diferentes estratos y para identificar tipos de suelo, cuando se posee la experiencia necesaria. Como datos se tiene que por ejemplo: el color negro indica la presencia de materia orgánica, los colores claros y brillantes son propios de suelos inorgánicos.

e) Olor.

Los suelos orgánicos tienen por lo general un olor distintivo, que puede usarse para identificación; el olor es particularmente intenso si el suelo está húmedo, y disminuye con la exposición al aire, aumentando por el contrario, con el calentamiento de la muestra húmeda.

3.6.3 Clasificación de los suelos

La clasificación de los suelos, basada en las pruebas físicas u otras informaciones, representan grupos en los que todos los suelos de características similares pueden ser clasificados.

Una vez que un suelo ha sido clasificado, sus propiedades mecánicas podrán ser predichas a partir del comportamiento conocido de otros suelos del mismo grupo; muchos sistemas de clasificación han sido propuestos y han sido muy útiles para sus propósitos. La granulometría ofrece un estudio sencillo para clasificar suelos. El sistema más efectivo de clasificación de suelos es el propuesto por Casa Grande y conocido con el nombre de "Sistema Unificado de Clasificación de suelos".

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Para la clasificación de suelos, se pueden indicar las siguientes recomendaciones:

- Los sistemas de clasificación, son principalmente medios convencionales para designar en rango de suelos, cuyas principales características (Plasticidad y Granulometría) son semejantes.
- Los sistemas de clasificación, dan buen resultado cuando están apoyados, sobre todo, en la experiencia local, es decir, que para cada región o zona geográfica, se han fijado limitaciones para cada tipo de suelo.
- Independientemente de clasificar un determinado tipo de suelo, es más importante someter al suelo a ensayos que representan su funcionamiento en las condiciones más rigurosas posibles.
- Para la clasificación de suelos a emplearse en terraplenes o a utilizarse como subrasantes de caminos, aeropuertos y presas de tierra, en los Estados Unidos, se ha generalizado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- También tiene mucha utilización el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, para caminos y el de la F.F.A.A., para aeropuertos.

3.6.3.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

La forma original de este sistema propuesto por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el cuerpo de ingenieros del ejército durante la segunda guerra mundial. En cooperación con la oficina de restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952. Hoy en día es el más usado por los ingenieros.

El sistema unificado de clasificación de suelos utiliza tablas de clasificación para determinar qué tipo de suelo es mediante los siguientes criterios:

- Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de este grupo comienzan con un prefijo G (grava) o S (Arena).
- Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por el tamiz No. 200. Los símbolos de este grupo comienzan con un prefijo M (limo inorgánico), C (arcilla inorgánica) u O (limos y arcillas orgánicas). El prefijo Pt significa turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos usados para acompañar a los anteriores son:

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

- W: bien graduado, depende del C_u y C_c .
- P: mal graduado, depende del C_u y C_c .
- L: baja plasticidad ($LL < 50$)
- H: alta plasticidad ($LL > 50$)

Para una clasificación apropiada, debe conocerse la siguiente información:

- Porcentaje de grava, es decir, la fracción que pasa por la malla de 76.2 mm. y es retenida por la malla No. 4 (4.75 mm.).
- Porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa por la malla No. 4. y es retenida por lamalla No. 200 (0.075 mm.).
- Porcentaje de lomo y arcilla, es decir, la fracción que pasa por la malla No. 200.
- Coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura.
- Limite líquido e índice de plasticidad.

Los símbolos de grupo son los siguientes:

GRUPO	NOMBRES TÍPICOS DEL MATERIAL
GW :	Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
GP :	Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino.
GM :	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.
GC :	Grava arcillosa, mezclas gravo – arena arcillosas.
SW :	Arena bien gradada.
SP :	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
SM :	Arenas limosas, mezclas arena – limo.
SC :	Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.
ML :	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
CL :	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa)
OL :	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH :	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
CH :	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
OH :	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
Pt :	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

Ilustración 13. Símbolos de los diferentes tipos de Suelos.

3.6.3.2 Sistema de clasificación AASHTO

Este sistema fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration System (sistema de clasificación de oficina de caminos públicos). Ha sufrido varias revisiones, con la

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

versión actual propuesta por el comité para clasificación de materiales para sub-rasantes y caminos tipo granulares del consejo de investigaciones de carreteras en 1945, este sistema clasifica el suelo en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan el tamiz # 200. Los suelos de los que más del 35% de las partículas pasan el tamiz # 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, la mayoría de los cuales están formados por partículas de limo y arcilla. Este sistema se basa los siguientes criterios:

➤ **Tamaño del Grano**

Grava: Fracción que pasa por la malla de 75 mm. y es retenida por la malla No. 10 (2 mm.)

Arena: Fracción que pasa por la malla # 10 y es retenida por la malla No. 200 (0.075 mm.)

Limo y Arcilla: Fracción que pasa por la malla No. 200

- **Plasticidad:** El término limoso se aplica cuando las fracciones de suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. El término arcilloso se aplica cuando es mayor de 10.

En este sistema de clasificación se consideran en general suelos de tipo granulares y limosos-arcillosos, dentro de los cuales existen subdivisiones que están relacionadas con el tamaño de las partículas del suelo, el límite líquido, índice de plasticidad e índice de grupo.

- **Cantos rodados y boleos:** cuando hay tamaños mayores a 75 mm. presente, estos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo el porcentaje de este material se registra.

Para clasificar un suelo de acuerdo con la tabla de clasificación, los datos de la prueba se aplican de izquierda a derecha. Por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en que los datos de prueba se ajusten, es la clasificación correcta.

- Grueso granulares: 35% o menos pasa el Tamiz #200 comprende:

a. A-1, si menos del 20% pasa el Tamiz #200 y menos del 50% pasa el Tamiz #40, pero el IP < 6%.

b. A-2, si menos del 35% pasa el Tamiz #200, (limoso o arcilloso), y el material no cumple con A-1 ni A-3.

c. A-3, si menos del 10% pasa el Tamiz #200 y 51% o más pasa el Tamiz #40, pero el suelo es no plástico.

- b) Suelos fino granulares (grupo limo arcilla): más del 35% pasa el Tamiz #200:

a. A-4 si IP = 10 (limo) y LL = 40%

b. A-5 si IP = 10 (limo) y LL = 41%

c. A-6 si IP = 11 (arcilla) y LL = 40%

d. A-7 si IP = 11 (arcilla) y LL = 41%

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

En consecuencia: A-1 = cascajo y arena; A-3 = arena fina; A-2 = cascajos y arenas limosas o arcillosas; A-4 y A-5 suelos limosos, y A-6 y A-7 suelos arcillosos. A-1 y A-3 son suelos excelentes y buenos, A-2 buenos y moderados, y A-6 y A-7 son suelos de moderados a pobres.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
Clasificación de grupo	A-1			A-2			
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes				De excelente a bueno			
Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)						
Clasificación de grupo	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†			
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)							
No. 10							
No. 40							
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.			
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40							
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.			
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.			
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Tasa general de los sobrantes			De mediano a pobre				
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$							
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$							

Ilustración 14. Tabla para uso del sistema de clasificación AASHTO.

3.6.4 Ensayos de suelos

Existe una amplia variación en las características de los diferentes suelos y las propiedades mecánicas de cada suelo individual se ven afectadas por su contenido de humedad y su densidad. Un número de pruebas físicas ha sido desarrollado para medir las condiciones mecánicas de los suelos, describiéndose brevemente a continuación las más comunes de ellas.

3.6.4.1 Granulometría

Los ensayos de granulometría tienen por finalidad determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño. La distribución de las partículas con tamaño superior a 0.075 se determina mediante tamizado, con una serie de mallas normalizadas.

Para partículas menores que 0.075mm, su tamaño se determina observando la velocidad de sedimentación de las partículas en una suspensión de densidad y viscosidad conocidas. El análisis granulométrico es necesario para la identificación de un suelo y permite establecer una clasificación primaria dentro de unos grupos amplios, con propiedades generales análogas. En la denominación de un suelo intervienen en primer lugar el nombre de la fracción predominante, según el tamaño de las partículas gruesas, o las propiedades físicas de las partículas finas.

3.6.4.2 Límites de Atterberg o de consistencia

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el Límite de Contracción. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el Límite Plástico, y de estado plástico a líquido es el Límite Líquido. Estos límites se conocen también como Límites de Atterberg.

3.6.4.3 Ensayo de compactación

La compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua.

Más allá de un cierto contenido de agua, cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas.

El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama contenido de agua óptimo.

Si se dibuja un gráfico con las humedades como abscisas y los pesos específicos secos como ordenadas, se identificara que hay una determinada humedad, llamada humedad óptima, para la cual el peso específico seco es máximo, para el método particular de compactación que se haya usado. En un suelo determinado, cuanto mayor es el peso específico seco, menor es la relación de vacíos, cualquiera sea la humedad; así pues, el peso específico seco máximo es justamente otra manera de expresar la relación de vacíos mínima o la porosidad mínima.

Para una humedad determinada, la compactación perfecta eliminaría todo el aire del suelo y produciría saturación. Si los pesos específicos secos correspondientes a la saturación con diferentes humedad es, resultara en una curva que cae completamente sobre la primera; esta curva

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

se conoce con el nombre de curva de saturación total y representa los pesos específicos teóricos que se obtienen por una compactación perfecta con diferentes humedades.

Para las pruebas de compactación se han establecido un número de normas arbitrarias para determinar las humedades óptimas y los pesos específicos máximos, que representan las diferentes energías de compactación, tal como se aplican con el equipo mecánico empleado en la construcción con suelo. La prueba de laboratorio usada generalmente para obtener el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo es la prueba Proctor de compactación, ya sea esta la Proctor Estándar (ASTM 0-698, AASHTO T-99 British Standard 1377); o la Proctor Modificada (ASTM 0-1557, AASHTO modificada).

3.6.4.4 Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio)

El ensayo se debe a Porter (1928) y fue puesto a punto en la división de carreteras del Estado de California para el dimensionamiento de paquetes estructurales flexibles.

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como "Relación de soporte" y esta normado con la sigla ASTM-D. Es un ensayo de penetración o punzonamiento, midiéndose adicionalmente el eventual hinchamiento del suelo al sumergirlo durante 4 días en agua.

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub - bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

Este ensayo puede realizarse tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado. El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kg./cm² (o libras por pulgadas cuadrada psi), necesarios para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados), dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado, en ecuación, esto se expresa como:

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Valores de carga unitaria				
Penetración		Carga unitaria patrón		
mm.	Pulgada	MPa.	Kg. /cm ²	Psi.
2.54	0.1	6.9	70	1000
5.08	0.2	10.3	105	1500
7.62	0.3	13.1	133	1900
10.62	0.5	15.8	162	2300
12.7	0.6	17.90	183.00	2600

Tabla 2. Valores de Carga Unitaria

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla muestra una clasificación típica:

Tipo de suelo en función al CBR				
CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASTHO
0 – 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL.	A5, A6, A7.
3 – 7	Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL.	A4, A5, A6, A7.
7 – 20	Regular	Sub base	OL, CL, ML, SC.	A2, A4, A6, A7.
20 – 50	Bueno	Base, Sub base	GM, GC, W, SM	A1b, A2-5, A3
-	-	-	SP, GP	A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

Tabla 3. Tipo de suelo en función al CBR

Existen algunos métodos de diseño de pavimentos en los cuales se emplean tablas utilizando directamente el número CBR y se obtiene el espesor de las capas del paquete estructural.

Con el valor del CBR se puede clasificar el suelo usando la tabla siguiente:

Clasificación de la sub-rasante	
CBR	Clasificación
0 – 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Sub base buena

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

50 – 80	Base Buena
80 – 100	Base muy Buena

Tabla 4. Clasificación de la sub-rasante

El informe final del ensayo deberá incluir además del CBR determinado, la curva de presión-penetración, la humedad, peso específico y densidad natural del suelo ensayado, antecedentes que pueden obtenerse del suelo inmediatamente vecino al que afectó el ensayo del CBR.

CAPÍTULO IV. Estudio Geológico del Túnel Cibao-Sur

4.1 Investigaciones preliminares

Además dado al notable crecimiento en la última década de la actividad económica de nuestro país ha sido necesario estudiar nuevas alternativas de tránsito a las ya existentes (túneles paralelos), mejorando así los niveles de servicios de nuestros caminos.

Para seleccionar la mejor alternativa o solución es necesario proceder sistemáticamente; primero un estudio previo, que permita recomendar una solución (a veces varias) y el año óptimo de su puesta en servicio. Luego viene la etapa de anteproyecto de la o las soluciones recomendadas y por último el proyecto de la obra completa. A continuación se indican las fases que se deben considerar al construir un túnel:

- El objetivo de la obra subterránea
- La geometría del Proyecto: trazado y sección tipo
- La geología y geotecnia del macizo
- El sistema Constructivo
- La estructura resistente: el Cálculo
- Las instalaciones para la explotación.



Ilustración 15. Vista Panorámica De Un Túnel Carretero.

Antes que nada deben realizarse levantamientos planimétricos para determinar todas las características topográficas y localizar todas las estructuras superficiales y subterráneas que puedan verse afectadas por la construcción del túnel.

Para los túneles por debajo del agua se deben efectuar sondeos para determinar el perfil del fondo. (Para esto se dispone de sondas sónicas de precisión).

El conocimiento de las condiciones geológicas es útil en la construcción de cualquier tipo de túnel, pero es de primordial importancia en los túneles en roca. Las exploraciones por medio de perforaciones de reconocimiento en terrenos blandos y en túneles subacuáticos son fáciles de hacer en la cantidad que sea necesaria. Sin embargo, especialmente en los túneles en roca muy largos, las posibilidades de efectuar perforaciones se ven a menudo limitadas.

Los túneles con poca o nula presión interior tienen, por lo general, una sección de herradura; los túneles a presión son circulares y revestidos con concreto armado. El revestimiento es de concreto, de 6 a 36 pulg de espesor, esto depende del tamaño, la presión y la naturaleza de la roca.

Este estudio debe basarse en una cuidadosa investigación del terreno y el examen de todos los registros disponibles, incluyendo los registros de otras construcciones en los alrededores, tales como túneles anterior, minas, canteras, excavaciones a cielo abierto, pozas y perforaciones. El geólogo debe preparar un informe detallado para que sirva de guía a los diseñadores y contratistas.

4.2 Influencias de las condiciones Geológicas

4.2.1 Fenómenos de alivio de presión.

Las rocas en la naturaleza, especialmente las que se encuentran bastante profundas, están afectadas por el peso de los estratos superiores a ellas y por su propio peso. Debido a estos factores se producen esfuerzos y deformaciones en la masa rocosa. Una partícula necesita cierta libertad para ser desplazada, si la roca esta confinada y por tanto su movimiento impedido habrá

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

solo un corrimiento parcial de la roca, en caso de que se produzca alguno. El esfuerzo que no pudo producir deslizamiento, por la falta de espacio, permanece todavía en ella y se dice que está almacenado en la misma. A este esfuerzo se denomina esfuerzo residual. Al permitirse movimiento, este es el caso de una excavación para un túnel, la energía se libera en forma de deslizamientos, estos están en función del tipo de roca, profundidad, etc.

4.2.2 Influencia de la estratificación de las rocas en la presión sobre el revestimiento.

La presión total sobre el revestimiento de un túnel y la forma en que se distribuye a lo largo de él dependen, en primer lugar, de la estratificación de la roca en la que se construye.

Esto será analizado en block diagrams y el eje de túnel; presentamos gráficamente las diversas alternativas que se encuentran en la construcción de túneles, cualquiera que sea su utilización.

- Se indica ciertas características de comportamiento de las presiones en el techo y paredes, así como las posibilidades de compensar empuje, debido a plegamientos en estratos simples.
- Al atravesar zonas acuíferas deben realizar adecuados para ver la manera de protegerlos y agregar en las zonas críticas, los revestimientos apropiados y un buen drenaje o impermeabilizándolo.
- Debido a la posición que se encuentra el eje con respecto a las laderas del valle tendremos también condiciones de menor estabilidad siendo de especial cuidado los medios túneles, por ser de la posición más crítica.

4.2.3 Túnel que atraviesa zonas acuíferas

4.2.3.1 Rocas permeables

Túnel en roca permeable por figuración. En este caso el revestimiento es total y se estudiará un sistema de drenaje especial.

- Impermeabilización

- Inyecciones
- Drenaje
- Revestimiento

4.2.3.2 Rocas parcialmente permeables

Túnel en un horizonte acuífero. El revestimiento es parcial

- Controlable.
- Debe tratarse inmediatamente después de localizarlo.

4.2.3.3 Suelos permeables

Túnel en suelo permeable por porosidad. Los métodos de avance son especiales como el de la congelación o el de cámara de presión.

- El Revestimiento no falta.
- Difícil control geológico.
- El comportamiento depende del tipo del suelo.

Generalmente los túneles en suelos siempre representan mayores problemas que en Rocas.

4.2.3.4 Exploraciones preliminares

Aun cuando la localización aproximada de un túnel está dictada por la clase de servicio que va a prestar, la localización final deberá estar basada en el resultado de las exploraciones superficiales y sub-superficiales. Estas exploraciones se hacen antes de seleccionar la localización exacta de un túnel para poder determinar las clases de formaciones que existan y la cantidad de agua freática presente en las formaciones a lo largo de la ruta del túnel propuesto. Las

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

formaciones pueden incluir escombros no consolidados, arena, grava, o arcilla, con o sin agua freática.

Puede haber roca sólida, o quebrada, pueden existir fallas o pliegues. Si se perfora un túnel a través de una roca sólida, puede requerir muy poco o ningún soporte para el domo del túnel, mientras que si se perfora a través de una roca muy quebrada, será necesario proporcionar grandes ademes para las paredes y para el domo.

Si una exploración indica la presencia de cantidades significativas de agua freática, es aconsejable buscar un sitio más favorable, o si esto es imposible, será necesario inyectarle concreto a la formación al frente de la excavación como medio de reducir el flujo de agua. Los planos deberán hacerse con una provisión suficiente de bombas disponibles para sacar el agua.

Un geólogo competente puede obtener valiosos datos a partir de una exploración superficial. Pueden obtenerse datos más precisos relativos a una formación, perforando a lo largo de la ruta y sacando muestras de la formación. Los agujeros deberán taladrarse cuando menos hasta el piso del túnel propuesto y estar espaciados lo suficientemente cerca para que puedan proporcionar muestras que sean representativas de la formación.

- Si la formación está libre de irregularidades estructurales severas y de variaciones, puede ser mayor el espaciamiento de los agujeros que para una formación que contenga fallas, pliegues, u otras irregularidades estructurales.
- Si la formación es rocosa; los agujeros pueden perforarse con taladros de vagoneta, abrasivos, rotatorios, o con algún tipo de taladro que produzca detritos de sondeo. Como estos taladros producen pequeñas virutas en vez de núcleos de muestra inalterados, el material que se recobra de los agujeros no indicará si la formación es sólida o si consiste en roca quebrada. Como tiene que agregarse agua a los agujeros de explotación perforados con taladros abrasivos para poder sacar los detritos, estos no indicaran la cantidad de agua freática que exista en la formación.

Una vez que se hayan completado las exploraciones preliminares y analizado los resultados, pueden seleccionarse la localización que permita la satisfactoria construcción de un túnel al más bajo costo posible.

4.2.3.5 En resumen se presenta una serie de estudios Geológicos.

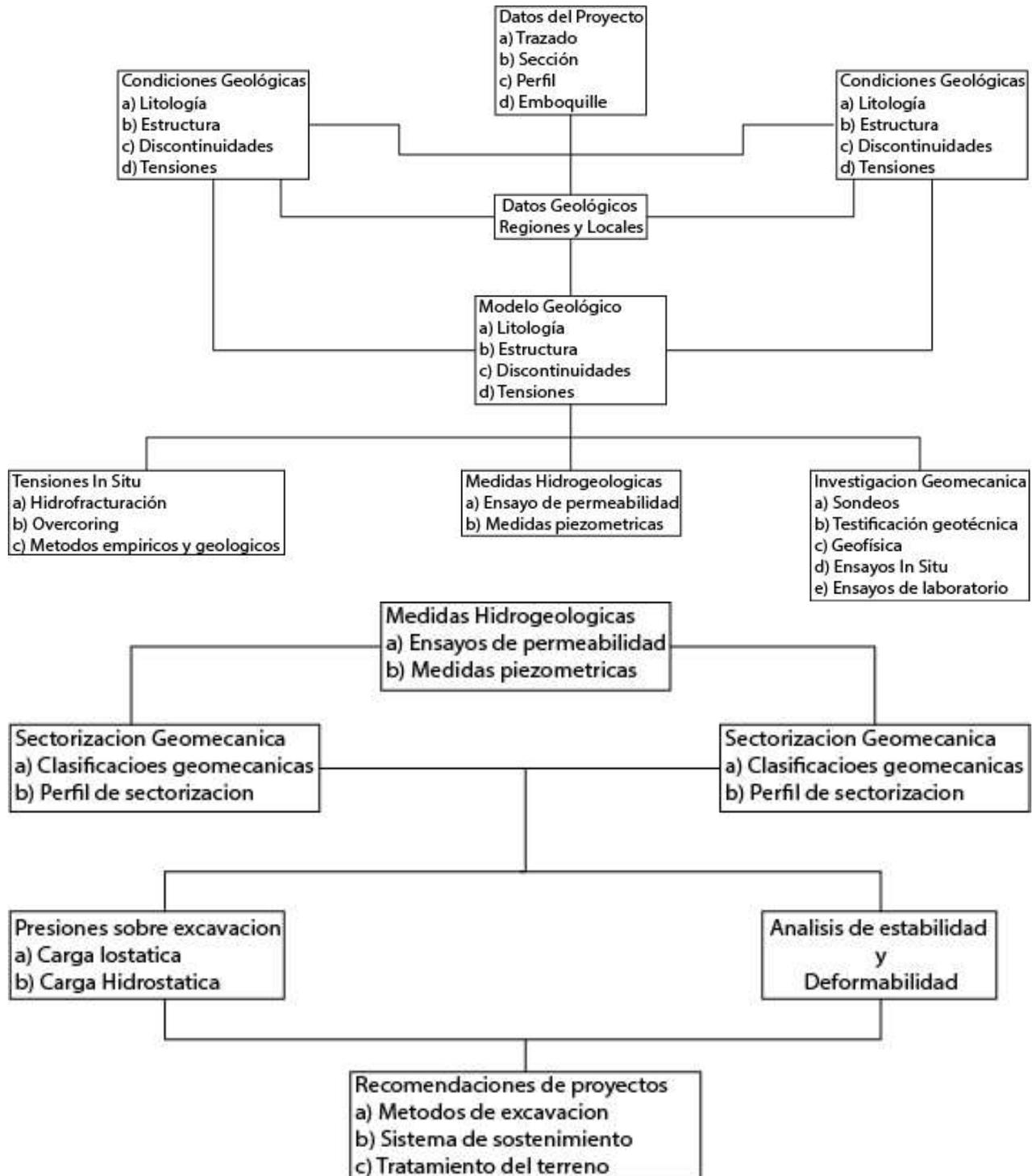


Ilustración 16. (fig. N°3 cuadro de resumen de los estudios geológicos relacionados a la construcción de un túnel:) Fuente: ingeniería Geológica, Luis Gonzales de vallejo pág. 789).

4.3 Desarrollo de la serie de Estudios Geológicos para un túnel

4.3.1 Datos Del Proyecto

4.3.1.1 Trazado

Los túneles se caracterizan por su trazado y sección definidos por criterios geométricos de gálibos, pendientes y radio de curvatura

El trazado en planta y perfil del túnel dependen del trazado del resto de la carretera y de las características de esta, con la que tiene que mantener una cierta homogeneidad y suele ser más bien un parámetro de entrada al diseño del túnel que un resultado de este.

El trazado en planta generalmente viene determinado por la traza general de la carretera y normalmente no puede variarse de forma sustancial.

Algunas notas a tomar en consideración es evitar pérdida de visibilidad a la salida el cambio de las condiciones de luz dificulta la percepción de la vía disminuyendo de forma abrupta la velocidad y la coordinación entre la orientación del túnel y la iluminación.

El trazado de un túnel corto (longitud < m) debe ser recto ya que conviene ver la salida (la percepción de la luz natural al otro lado ayuda a no tener deslumbramientos a la salida.

4.3.1.2 Sección de un túnel

Geoméricamente se debe definir la sección destinada a la circulación peatonal y vehicular, la cual debe tener las siguientes características:

- Galerías de dos carriles

Bien sean unidireccionales o bidireccionales, su ancho de calzada será de 8,00 metros y sus veredas de 0,60 metros. El gálibo mínimo exigido se debe respetar sobre todo el ancho de la calzada

- Galerías de tres carriles, unidireccionales

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Ancho de calzada de 11,50 metros y veredas de 0,60 metros, uno a cada lado.

Los carriles laterales serán de 4,00 metros cada uno y el carril central de 3,50 metros. El gálibo mínimo exigido se debe respetar sobre todo el ancho del túnel

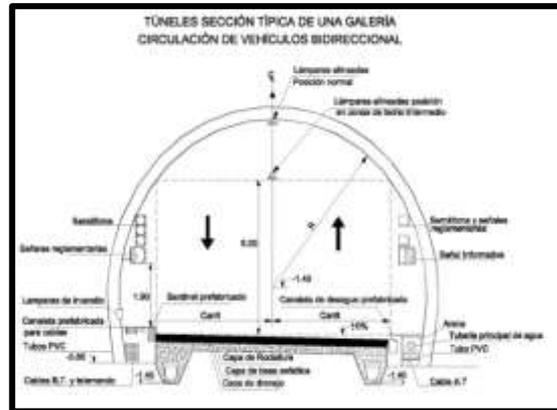


Ilustración 17. Sección típica de galería

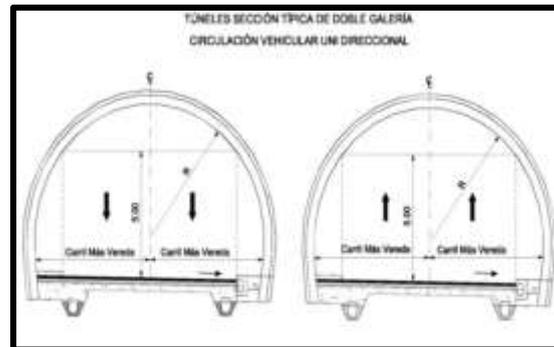


Ilustración 18. (Sección típica de doble galería)

4.3.1.2 Perfil de un túnel

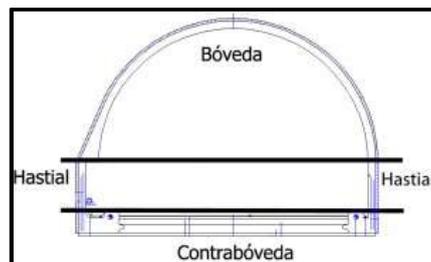


Ilustración 19. (Partes de una galería)

4.3.1.3 Emboquille

El emboquille de los túneles es la intersección del talud y del túnel y tiene características diferentes a ambos. Hay muy pocos desarrollos completos de este punto en la literatura técnica, más allá de la presentación de casos concretos. Sin embargo la boca de un túnel es un punto delicado porque presenta riesgos específicos



Ilustración 20. Detalle de Emboquille

tanto durante su construcción como durante su explotación. En esta conferencia se presenta la tipología de las inestabilidades que pueden aparecer en el talud frontal en función de las posiciones relativas de talud y túnel y de la forma de la posible trinchera de acceso. Se comenta, a través de la presentación de casos concretos, la evolución de las técnicas constructivas aplicadas en boquillas difíciles durante los últimos 40 años. Se concluye que no es posible la aplicación de las clasificaciones geomecánicas convencionales; se presenta una clasificación para bocaminas y unas nuevas recomendaciones de emboquille de túneles que incluyen los métodos de excavación del emboquille el uso de paraguas y viseras, el tratamiento del talud frontal mediante bulonados y aglutinados, y el uso de redes o mallazos de protección contra caída de piedras. Finalmente se añade una breve nota sobre los riesgos, en emboquilles de túneles, debidos a sismos.

La boquilla de un túnel es un punto singular tanto en el talud, o ladera, en que se inserta como en el propio túnel. El talud queda siempre, de alguna manera, debilitado tanto por la extracción de material en su pie – a menudo su punto crítico – como algunas veces por las voladuras requeridas para el emboquille. En cuanto al túnel la excavación de emboquille es siempre bidimensional, con pérdida de las ventajas tensionales que aporta la tridimensionalidad del frente cuando se sitúa ya a una cierta profundidad.

Además la boca de un túnel es un verdadero cuello de botella de la obra, porque todo tiene que entrar por la boquilla (personal, aire limpio, agua, energía, líneas de comunicaciones, materiales, maquinaria) o tiene que salir (escombros)

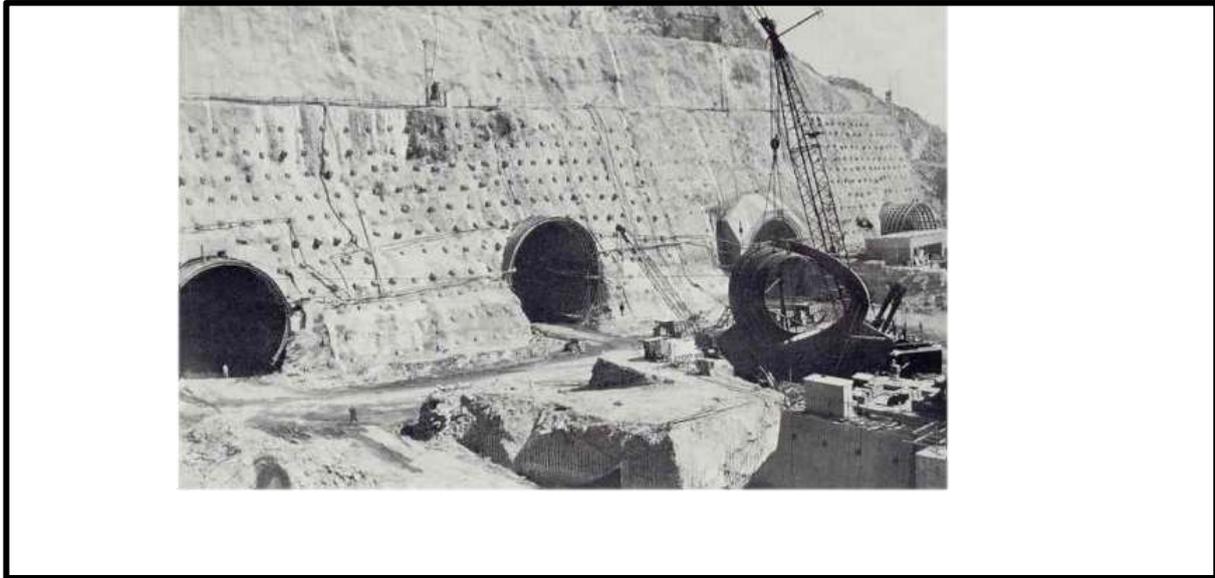


Ilustración 21. Anclajes tipo Perfo en los taludes de emboquille de algunos túneles hidráulicos en la presa de Tarbela en Pakistán (Becker, 1972).

4.3.1.4 Condiciones geológicas

4.3.1.4.1 Litología

Estudia a las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas.

4.3.1.4.2 Estructuras

- Fallas geológicas: Son fracturas que separan bloques con movimiento relativo entre ellos.
- Diaclasas: Son fracturas no visibles a simple vista.
- Pliegues: Son estructuras de deformación producto generalmente de esfuerzos compresivos.
- Foliaciones: Estructuras planares formadas por la alineación de minerales en planos preferenciales a través de la roca. Se producen a elevadas presiones y temperaturas.
- Discontinuidades: superficies de no continuidad dentro y encima de la superficie de una roca que las separan a lo largo de espacios abiertos y/o cerrados.

4.3.1.4.3 Condiciones hidrogeológicas

La excavación de un túnel puede originar una serie de acciones inducidas sobre el terreno que pueden llegar a modificar las condiciones naturales, en las que el agua juega un papel muy destacado.

Estas modificaciones pueden afectar a la estabilidad del macizo y a las medidas de sostenimiento a aplicar para la construcción del túnel.

Dentro de las consecuencias más destacables, se pueden apuntar las siguientes:

- Pérdida de la resistencia del macizo que rodea la excavación.
- Aumento de las presiones intersticiales sobre el sostenimiento y el revestimiento.
- Incremento de la supresión sobre el material de fondo o en el frente de excavación, que puede dar lugar a fenómenos de sifonamiento en materiales arenosos, tubificaciones, etc.
- Hinchamientos y reblandecimientos de materiales arcillosos.
- Formación de cavidades, y colapsos, en materiales salinos.
- Problemas de asentamiento de cimentaciones próximas o subsidencia en superficie.

4.3.1.4.4 Caracterización Hidrogeológica

Las características hidrogeológicas del terreno vienen marcadas por la estructura geológica y litológica, la estratificación del macizo rocoso o sedimentario, la presencia de discontinuidades, fallas o diaclasas, o bien el desarrollo de carstificaciones, en función de su naturaleza geológica.

En terrenos detríticos, de arenas, gravas, limos y arcillas, las condiciones hidrogeológicas dependen, fundamentalmente, de la permeabilidad debida a la porosidad intergranular, del espesor transmisor de la formación acuífera, y del coeficiente de almacenamiento. La textura del terreno, y su distribución granulométrica, influirán en la magnitud de los parámetros hidrogeológicos.

Cuando la permeabilidad se debe a la presencia de grietas y fisuras, tanto de origen mecánico como por disolución de la matriz, se habla de acuíferos fisurados que se originan en

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

macizos rocosos de calizas, dolomías, o bien de areniscas, esquistos, granitos, basaltos, fundamentalmente.

Cuando la permeabilidad se debe a ambos factores, normalmente, se habla de permeabilidad primaria debida a la porosidad intergranular, y a permeabilidad secundaria debida a la fisuración o disolución de la matriz del terreno. Estas condiciones se dan, típicamente, en las calcarenitas.

Cuando las condiciones son favorables, tanto los acuíferos detríticos como los cársticos porosos presentan una gran capacidad de almacenamiento de agua por volumen de acuífero. Por tanto, son acuíferos que reaccionan lentamente al drenaje, presentan una gran inercia a los cambios; se requiere la movilización de grandes caudales para conseguir su rebajamiento.

En los acuíferos detríticos, los radios de influencia suelen ser más reducidos que en los acuíferos cársticos; éstos tienen menor capacidad para almacenar agua. Por ello, suelen responder rápidamente a las acciones del drenaje, sin embargo los radios de influencia suelen ser más largos que para el resto de los acuíferos.

Por otra parte, de acuerdo al comportamiento hidrodinámico y al régimen de respuesta, se diferencia tres tipos de acuíferos:

- Acuíferos libres: son aquellos que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación acuífera, reciben la recarga directamente desde la superficie del terreno. La cesión del agua se produce por de saturación de la que tienen almacenada; son acuíferos que presentan bastante inercia al drenaje.
- Acuíferos cautivos: son aquellos acuíferos que se encuentran confinados por materiales de baja o muy baja permeabilidad. El nivel piezométrico se encuentra por encima del techo de la formación acuífera. La liberación del agua se produce por descompresión de los niveles superiores. Son acuíferos que reaccionan rápidamente a la acción del drenaje, dada la poca capacidad de almacenamiento por volumen de acuífero.
- Acuíferos semiconfinados; son la mayor parte de los acuíferos existentes en la naturaleza, se encuentran limitados por materiales de media o baja permeabilidad. Se encuentran limitados por materiales que permiten el paso del agua de otros acuíferos, generalmente, situados en niveles superiores. Al actuar sobre el acuífero inferior, se produce un efecto recarga de los acuíferos superiores. No obstante, también se puede producir el tránsito desde acuíferos vecinos y subyacentes, en función de la diferencia del potencial hidráulico que se pueda originar.

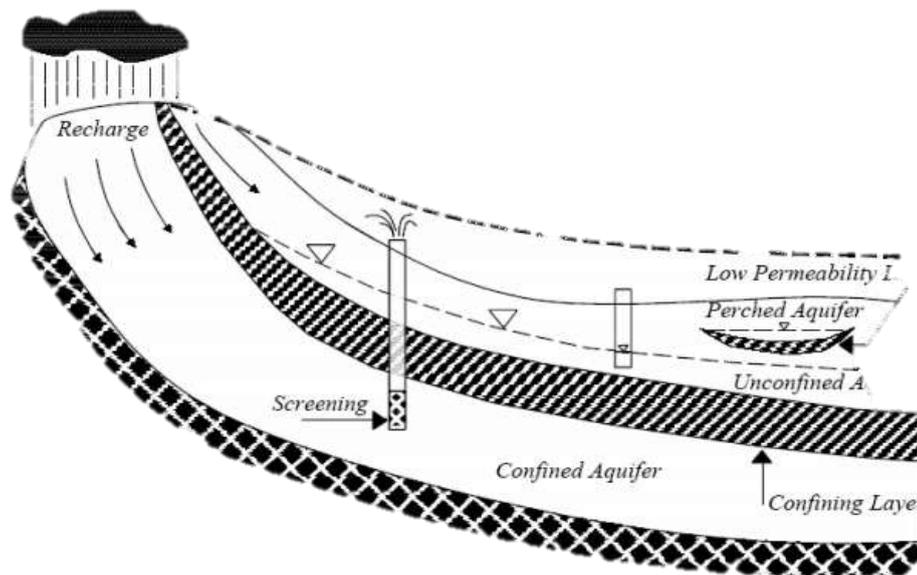


Ilustración 22. Diferenciación de acuíferos: libres, cautivos o confinados y semi-confinados.

4.3.1.4.5 Investigación Geo mecánica

El sondeo geotécnico es un tipo de prospección manual o mecánica, perteneciente a las técnicas de reconocimiento geotécnico del terreno, llevadas a cabo para conocer sus características. Se trata de perforaciones de pequeño diámetro, (entre 65 y 140 mm) que, aunque no permiten la visión "in situ" del terreno, de ellos se pueden obtener testigos del terreno perforado, así como muestras, y realizar determinados ensayos en su interior.

Dejando aparte los sondeos manuales con barrena o cuchara, los sondeos mecánicos se plantean para los siguientes requerimientos:

- Alcanzar profundidades superiores a las que se consiguen con calicatas.
- Reconocer el terreno bajo el nivel freático.
- Atravesar capas rocosas o de suelo muy resistente.
- Realizar ensayos "in situ" específicos, como el ensayo de penetración estándar SPT, presiómetro, molinete, permeabilidad "in situ", etc.

4.3.1.4.6 Sistemas de sondeo mecánico

Los sistemas de sondeo mecánico existentes son:

- Sondeo a presión, con punta abierta o hueca, y maciza o cerrada. Se realiza en suelos blandos.
- Sondeo a percusión o golpeo, en suelos cementados o duros. Se utiliza un trépano o una cuchara dejándola caer desde una altura suficiente. El trépano se utiliza para atravesar bolos, grava gruesa, arcilla compacta o capas delgadas de roca. El detritus se extrae mediante circulación de agua. La cuchara se utiliza en suelos arcillosos más blandos y en arenas. Es un cilindro hueco que permite la entrada de suelo. Si éste es arenoso, lleva un dispositivo que impide la caída del suelo en la extracción.
- Sondeo a rotación con barrena helicoidal, maciza o hueca. Se puede utilizar si el terreno es relativamente blando y cohesivo, y no se encuentran capas cementadas, gravas, o roca en toda la profundidad de realización del sondeo. Si se utiliza barra helicoidal hueca, es posible la toma de muestras inalteradas y la realización de ensayos "in situ" por el interior de la sonda.
- Sondeo a rotación con extracción de testigo continuo, con o sin agua, mediante baterías simples o dobles que llevan en su borde inferior una corona cortadora dediamante. Sirven para todo tipo de suelos o rocas, aunque pueden tener problemas de abrasión de la corona, o acodamiento al atravesar bolos o gravas gruesas. El agua utilizada para favorecer la perforación y eliminar el detritus, puede desmenuzar suelos parcialmente cementados, rocas blandas o alteradas, y areniscas poco cementadas. Por ello conviene en estos casos la utilización de tubo o batería doble.
- Sondeo mediante métodos destructivos, como trépano, martillo o tricono. Se emplean si en el desarrollo de un sondeo no interesa obtener las propiedades geotécnicas de determinadas capas duras o de material granular grueso, bien porque se conozcan suficientemente, o por otras razones.

El método de mayor utilización en España es el del sondeo helicoidal con sonda hueca, seguido por el sondeo a rotación con extracción de testigo continuo.

Con posterioridad a la realización de un sondeo, conviene registrar la variación temporal del nivel freático, para lo que se dejará un tubo de PVC ranurado en el interior del sondeo, convenientemente tapado.

4.3.1.5 Geofísica aplicada

En general, geofísica aplicada o exploración geofísica se refiere al uso de métodos físicos y matemáticos para determinar las propiedades físicas de las rocas y sus contrastes. El propósito de tal determinación es conocer el arreglo de los cuerpos de roca en el interior de la Tierra, así como las anomalías presentes en ellas. Algunos de los métodos de exploración geofísica más usados son: los métodos electromagnéticos, los métodos potenciales, y los métodos sísmicos.

La expresión geofísica aplicada es usada de forma intercambiable con las expresiones: métodos de prospección geofísica, exploración geofísica e incluso, aunque de forma muy poco frecuente, ingeniería geofísica.

4.4 Prospección Geofísica.

4.4.1 Antecedentes teóricos de prospección geofísica

Es una rama de la Física Aplicada que se ocupa del estudio de las estructuras ocultas del interior de la Tierra y de la localización en ésta de cuerpos delimitados por el contraste de alguna de sus propiedades físicas con las del medio circundante, por medio de observaciones realizadas en la superficie de la Tierra.

Tanto el prospector geofísico como el geólogo se ocupan de la parte sólida de la Tierra, pero sus métodos e instrumentos son muy dispares. El geólogo utiliza mínimo instrumental y basa sus razonamientos en leyes cualitativas, mientras que el geofísico emplea aparatos costosos, complicados y maneja leyes físicas de expresión matemática nada sencillas. La colaboración entre geólogo y geofísico es necesaria en los trabajos prospectivos y de la calidad de esta colaboración dependen la exactitud y confiabilidad de los resultados. Para esto es necesario que cada uno de estos científicos tenga algún conocimiento del campo cultivado por el otro, y sobre todo, que pueda comprender su lenguaje técnico.

Dentro de la diversidad de técnicas prospectivas se destacan cuatro grupos principales, que suelen denominarse "métodos mayores" y son:

- el gravimétrico
- el magnético
- el eléctrico
- el sísmico

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Los dos primeros son métodos del campo natural y los dos restantes del campo artificial. Es decir que en los métodos gravimétricos y magnéticos, se estudian las perturbaciones que determinadas estructuras o cuerpos producen sobre campos preexistentes, que son el de la gravedad terrestre y el geomagnético; mientras que en el eléctrico y sísmico es el propio prospector el que crea el campo físico que va a estudiar, la que representa la gran ventaja de que puede darle las características más adecuadas para el fin propuesto. Esto no quiere decir que se pueden establecer relaciones de superioridad entre un método y otro ya que la eficacia de éstos depende de cuál sea el problema propuesto.

4.4.2 Los Métodos Geo-eléctricos

Existen muchas modalidades en los métodos de exploración eléctrica del subsuelo, cada una de ellas con su propio campo de aplicación, sus ventajas y sus defectos.

A continuación se da un bosquejo de la clasificación de los métodos geo-eléctricos más importantes y difundidos.

- Métodos de campo natural (potencial espontáneo, corrientes telúricas,...).
- Métodos de campo artificial, ya sea constante (cuerpo cargado, sondeos eléctricos, calicatas...) o variable (sondeos de frecuencia, transitorios,...) y polarización inducida.

4.4.2.1 Aplicaciones

Los más importantes y difundidos son los siguientes:

- Investigaciones tectónicas para la búsqueda de petróleo.
- Estudios para la localización de aguas subterráneas.
- Estudios complementarios para cartografía geológica bajo recubrimiento.
- Estudios de cuencas carboníferas.
- Localización de yacimientos de otros minerales útiles.
- Investigaciones de firmes, cimentaciones y desprendimientos de tierras para Ingeniería Civil.
- Localización y ubicación aproximada de materiales de construcción.
- Investigaciones a profundidad muy reducida para la localización de objetos y edificaciones enterradas, como guía y ayuda para investigaciones arqueológicas.
- Estudios de zonas muy profundas de la corteza terrestre.
- Estudios geotérmicos.

4.4.2.2 Propiedades Electromagnéticas de las Rocas.

La aplicación de los métodos geoelectrónicos exige el conocimiento de las propiedades electromagnéticas de las rocas y de los minerales que las constituyen. Estas propiedades se expresan fundamentalmente por medio de tres magnitudes físicas que son:

- La resistividad eléctrica ρ (o su inversa la conductividad T)
- La constante dieléctrica ξ ϵ ; y
- La permeabilidad magnética μ

Las propiedades que interesan al prospector son las de las rocas y minerales tal como se encuentran en la naturaleza, con sus impurezas, fisuras, diaclasas, humedad, etc.

4.2.2.3 La Resistividad

Por Física elemental sabemos que si aplicamos un potencial V a un cuerpo de sección constante A, la corriente I es proporcional al potencial V:

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

$$V = R \cdot I \Rightarrow R = \frac{V}{I}$$

Donde Res la llamada resistencia del cuerpo.

También sabemos que la resistencia R de un material dado es proporcional a su longitud
Lesinversamente proporcional a la sección Aatravesada:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{o} \quad r = \frac{R \cdot A}{L}$$

Donde ρ es la resistividad del material y está expresada en $\Omega \cdot m$.

La resistividad es una medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su
paso en
un material determinado. Pero, igualmente podía haberse considerado la facilidad de paso, surgiendo
así el concepto de conductividad que es el inverso de la resistividad:

$$T = \frac{1}{\rho}$$

La unidad de conductividad es: mho/m .

4.2.2.4 Clases de conductividad en minerales y agua

El siguiente esquema muestra las clases de conductividad:

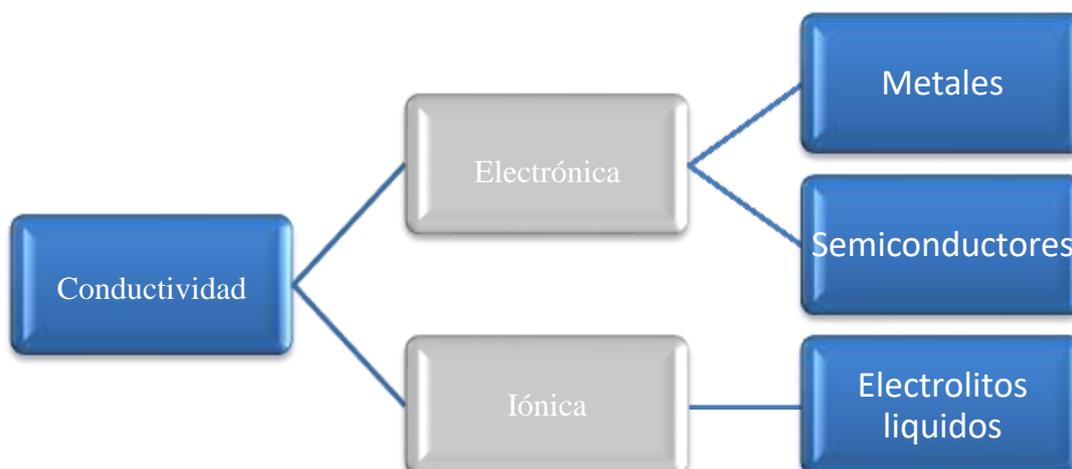


Ilustración 23. Clases de Conductividad

4.2.2.5 Resistividad de las aguas naturales

El agua pura es muy poco conductora, a causa de su muy reducida disociación por lo que puede considerarse como aislante. Las aguas que se encuentran en la naturaleza presentan conductividad apreciable ya que siempre tienen disuelta alguna sal. La cantidad y clase de sal disuelta depende de la naturaleza de la roca con que las aguas hayan estado en contacto en su marcha por la superficie del terreno, o subterránea. La cantidad de sales de las aguas suele oscilar entre 0,1 g/l y 35 g/l (esta última cifra de las aguas marinas).

Se da a continuación una lista de los márgenes de variación de la resistividad de las aguas naturales:

Agua de lagos y arroyos de alta montaña	103 a 3 x 103 r.m
Aguas dulces superficiales	10 a 103
Aguas salobres superficiales	2 a 10 r.m
Aguas subterráneas	1 a 20 r.m
Agua de lagos salados	0,1 a 1 r.m
Aguas marinas	~ 0,2 r.m
Aguas de impregnación de rocas	0,03 a 10

Tabla 5. Resistividad de las aguas naturales

4.2.2.6 Resistividad de las rocas.

Si la resistividad de las rocas dependiese únicamente de los minerales que la forman, habrían de considerarse a las rocas aislantes en la inmensa mayoría de los casos. Afortunadamente todas las rocas tienen poros en mayor o menor proporción, los cuales están ocupados parcial o totalmente por electrolitos por lo que las rocas se comportan como conductores iónicos de resistividad muy variables según los casos. Se hace necesario estudiar la resistividad de medios heterogéneos, las que se compondrán en los casos más sencillos de 2 materiales, uno de los cuales tienen una resistividad ρ_2 y sirve de matriz a otro de resistividad ρ_1 que está disperso en el interior del primero.

4.2.2.7 La anisotropía de las rocas.

La resistividad de muchos minerales, y como consecuencia, la de las rocas que éstos constituyen, varían con la dirección considerada, es decir que estos cuerpos son anisótropos. Entonces la resistividad no puede considerarse como un escalar, sino por un tensor simétrico $\rho_{i,j}$, lo que exige el conocimiento de 6 componentes. Si se toman como ejes de coordenadas los principales del tensor, la cosa se simplifica, entonces la resistividad queda determinada por 3 datos: ρ_x, ρ_y, ρ_z .

El coeficiente de anisotropía es:

$$A = \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_{11}}}, \quad \rho_1 : \text{Resistividad Transversal}$$

$$\rho_{11} : \text{Resistividad Longitudinal}$$

Donde $\rho_1 = \rho_z$ y $\rho_{11} = \rho_x = \rho_y$

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

La anisotropía de la mayoría de las rocas no suele exceder de $A = 1,1$ pero algunas de ellas, por razón de su textura, alcanzan valores notablemente más altos.

4.2.2.8 Resistividad y temperatura

El estudio de la variación de la resistividad de las rocas en función de la temperatura se debe a dos cuestiones: por un lado, el posible efecto de las temperaturas bajas propias de países de latitud muy elevada, con zonas de congelación permanente y por otro, las altas temperaturas que reinan en las zonas inferiores de la corteza y partes superiores del manto, al alcance de sondas eléctricas ultra profundas.

Los estudios demuestran que cuando la conductividad se debe al agua contenida en los poros, el descenso de temperatura produce un aumento rápido de la resistividad en las proximidades de 0°C , seguido por un crecimiento más suave a temperaturas aún más bajas.

El aumento producido al bajar la temperatura como se aprecia en la ilustración, aproximadamente del punto de congelación es más fuerte cuando la roca es de grano grueso (curva a) que cuando es de grano fino (curva b).

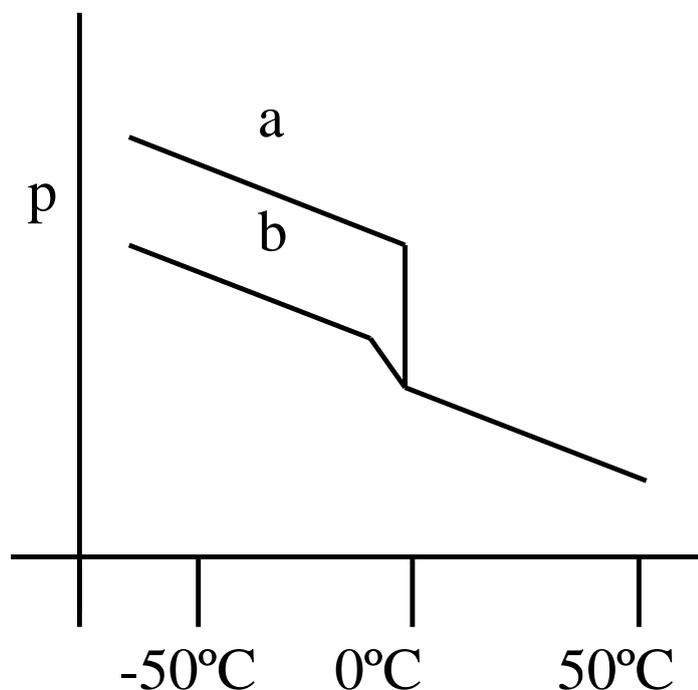


Ilustración 24. Relación entre la resistividad y la temperatura para distinto tamaño de grano.

4.4.3 Conceptos y Dispositivos Fundamentales

Las corrientes eléctricas que interesan en prospección no recorren conductores lineales (hilos y cables), sino que se mueven medios tridimensionales, por lo que hay que estudiar las leyes físicas a que obedecen estas corrientes. Supondremos que el subsuelo se compone de varias zonas, dentro de cada una de las cuales la resistividad es constante, separadas entre sí por superficies límites perfectamente plana.

4.4.3.1 Resistividad aparente

Casi todos los principales métodos geoelectrísticos usan 4 electrodos clavados en el suelo. Por medio de un par introducimos una corriente eléctrica al terreno, mientras que el segundo par se utiliza para medir la diferencia de potencial que se establece entre ellos a medida que pasa la corriente eléctrica. Los distintos dispositivos difieren solo en la posición relativa de los cuatro electrodos.

Consideremos un subsuelo homogéneo de resistividad ρ en cuya superficie colocaremos un dispositivo eléctrico ABMN como el de la figura 5-2:

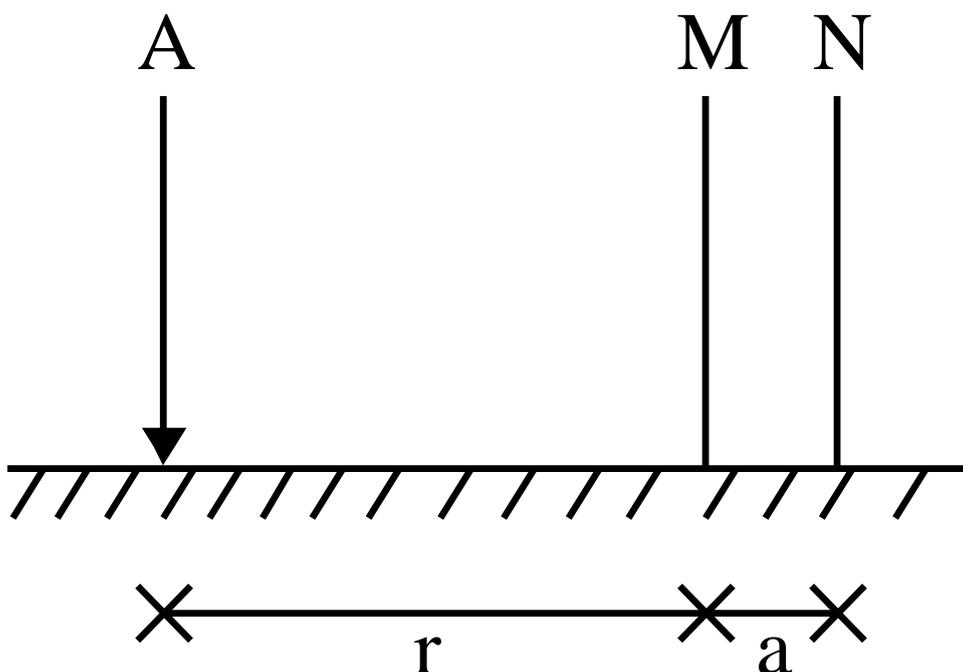


Ilustración 25. Esquema de dispositivo eléctrico

Los dos electrodos de corriente son A y B y los dos de potencial son M y N. El electrodo A está conectado a un generador y el campo eléctrico que produce se estudia por medio de los electrodos M y N que están conectados a un voltímetro que mide la diferencia de potencia que aparece entre ellos. El electrodo B se supone en el infinito para que no influya en las observaciones. Sabemos que:

$$\Delta V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} * \frac{a}{r(r-a)};$$

Si $AM=r$ y $MN=a$, entonces

$$\rho = 2\pi \frac{r(r-a)}{a} * \frac{\Delta V}{I} (\Omega m)$$

Con esta fórmula puede calcularse la resistividad ρ de un subsuelo homogéneo.

Si se utiliza el mismo dispositivo eléctrico para efectuar mediciones sobre un subsuelo homogéneo, la diferencia de potencial ΔV será diferente de la registrada sobre el medio homogéneo. Haciendo la medición correspondiente y utilizando la fórmula anterior tendremos una resistividad ficticia ρ_a . Esta resistividad aparente puede definirse como la de un medio homogéneo en el que con la misma corriente I se observaría la misma caída potencial ΔV que en el medio no homogéneo.

La resistividad aparente nos proporciona una medida de la desviación respecto de un subsuelo homogéneo e isotrópico. La unidad preferida es el Ohmio - metro ($\Omega \cdot m$).

4.4.3.2 Dispositivo Schlumberger

Es un dispositivo que hace que la distancia a que separa a los electrodos M y N tienda a ser muy pequeña, o que sea muy pequeña, tal como se esquematiza en la figura 5-3.

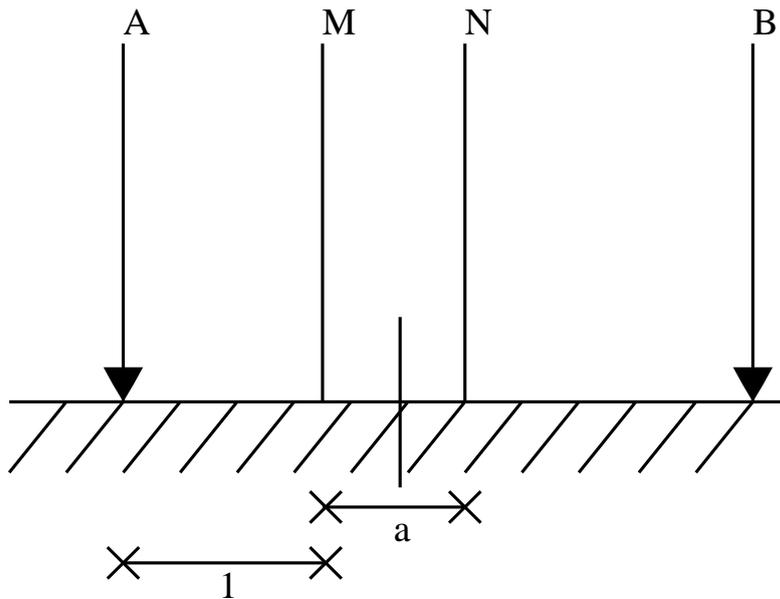


Ilustración 26. Esquema del dispositivo Schlumberger.

$$\rho_a = \pi * l^2 * \frac{\Delta V}{Ia}$$

Presenta la ventaja de ser menos sensitivo entre inhomogeneidades laterales debido a la movilidad de los electrodos (M y N) de potencial durante una larga serie de mediciones. Además el trabajo de campo se efectúa con mayor rapidez. Tiene la desventaja que ciertas correcciones deben aplicarse a veces a los datos de campo ante su interpretación y los instrumentos de medición exigen mayor sensibilidad.

4.4.3.3 Dispositivo Wenner

Se utiliza la interpretación cuantitativa. La detección y compensación de los efectos inhomogeneidades laterales requieren determinadas precauciones.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

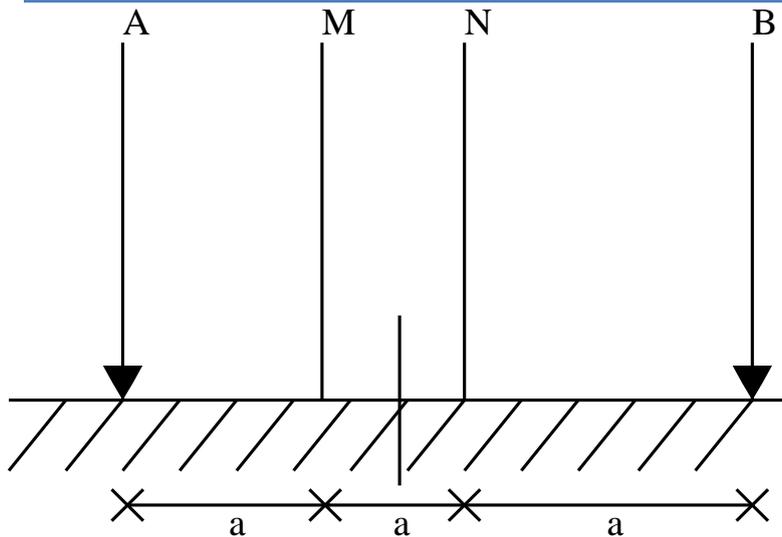


Ilustración 27. Esquema del dispositivo Wenner.

$$\rho_a = 2\pi * a \frac{\Delta V}{I}$$

4.4.4 Sondeos Eléctricos Verticales

Los sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) constituyen uno de los métodos de campo para determinar la variación en profundidad de las propiedades eléctricas del subsuelo. Los S.E.V. consisten en una serie de determinaciones de resistividades aparentes, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y de separación creciente entre los electrodos de emisión y de recepción.

Los datos de resistividad aparentes obtenidos en cada S.E.V. se representan por medio de curvas, en función de las distancias entre electrodos. Las resistividades aparentes ρ_a se llevan en las ordenadas y en las abscisas las distancias $OA = AB/2$. La curva así obtenida se denomina curva de S.E.V., curva de campo o curva de resistividad aparente. La finalidad del S.E.V. es averiguar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado. Son útiles en zonas con estratificación aproximadamente horizontal, en las que las propiedades eléctricas varían principalmente con la profundidad, más bien que lateralmente.

Consideremos un medio estratificado general formado por dos semi-espacios, uno que representa la atmósfera con conductividad nula y otro que representa al terreno que es un medio heterogéneo compuesto de medios parciales homogéneos e isótropos, como se esquematiza en la ilustración 6.

Para caracterizar cada medio estratificado, bastará dar el espesor E_i y la resistividad ρ_i de cada medio parcial isótropo de índice i . Cada uno de estos medios parciales será denominado capa geoelectrónica.

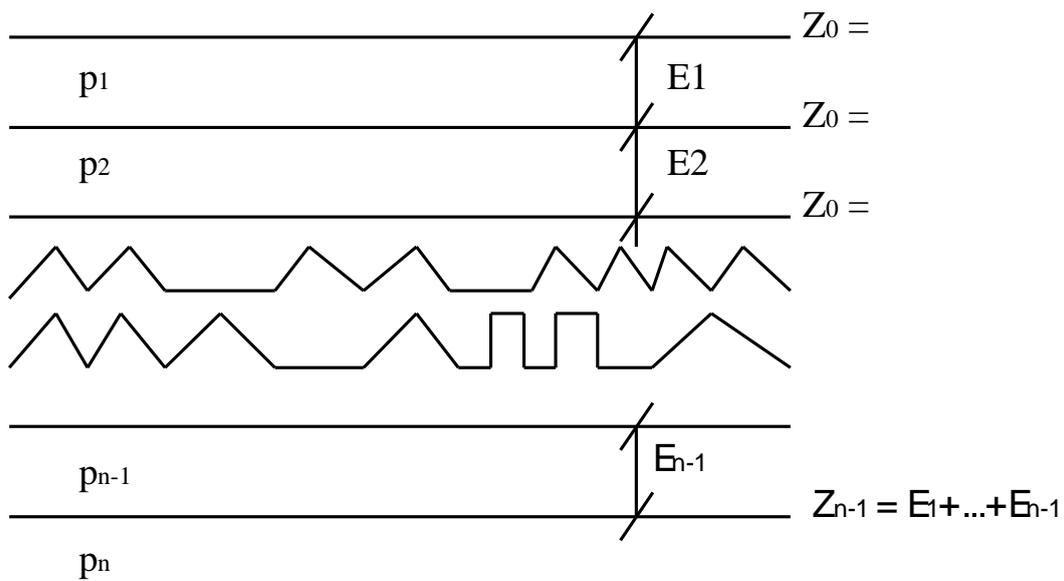


Ilustración 28. Esquema de medio estratificado.

La especificación de espesores y resistividades de cada medio estratificado, recibe el nombre de "corte geoelectrico". Los cortes geoelectricos pueden clasificarse dependiendo el número de capas que lo componen; es decir de dos capas ($n=2$), de tres capas ($n=3$), de cuatro... tal como se aprecia en la ilustración 7.

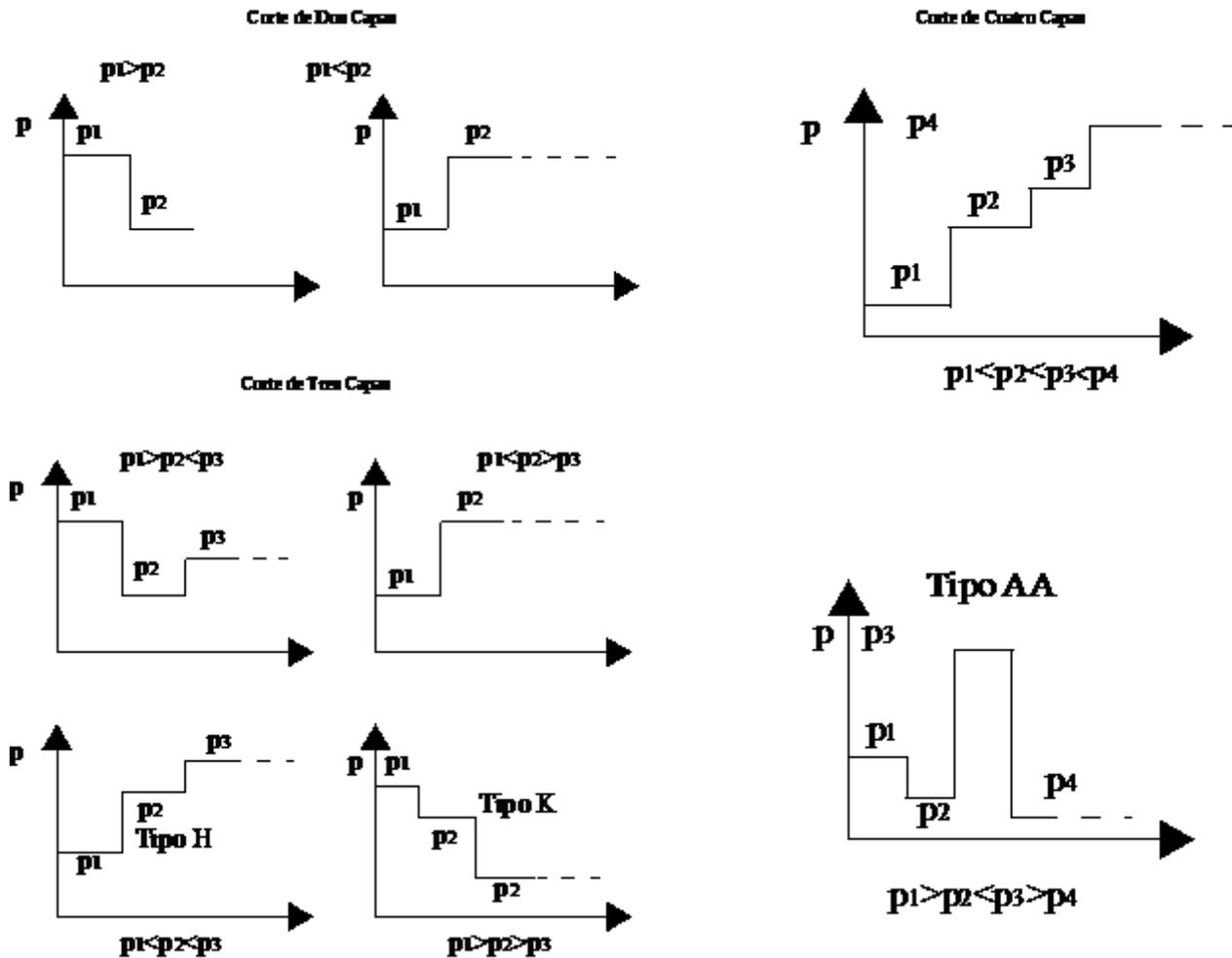


Ilustración 29. Curvas de resistividad verdadera (CRV) para diversos cortes geo-eléctricos.

4.4.4.1 Parámetros de Dar Zarrouk

Como sabemos, cada capa de un corte geoelectrico queda perfectamente determinada por su espesor E y su resistividad ρ . Es frecuente que estos parámetros combinen sus efectos en la curva de resistividad.

Un segundo par de parámetros:

$$T = E\rho \quad ; \quad S = \frac{E}{\rho}$$

Es igualmente válido y pueden proporcionar mayor separación de efectos. T y S son los llamados parámetros de Dar Zarrouk.

T es la "resistencia transversal unitaria" y representa la resistencia de un prisma de sección unitaria con eje normal a la estratificación cuando la corriente fluye perpendicularmente a ella.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

S es la "conductancia longitudinal unitaria" y representa la conductancia de un prisma de sección unitaria con eje normal a la estratificación cuando la corriente fluye paralelamente a ella.

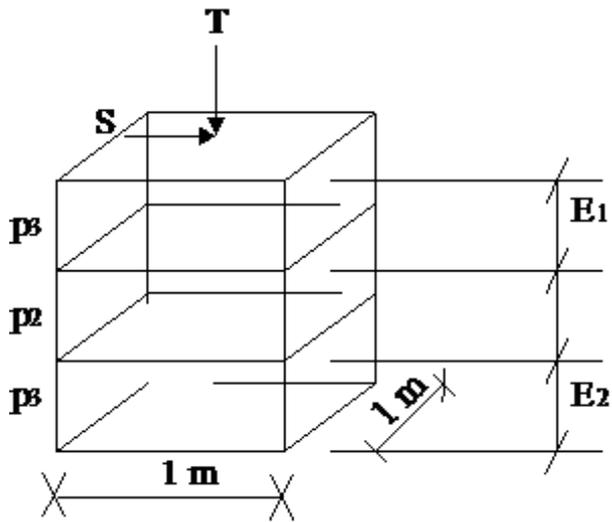


Ilustración 30. Prisma de Dar Zarrouk

4.4.4.2 La práctica del SEV

Los resultados de una campaña de S.E.V., o de cualquier otro método geofísico, han de valorarse, desde el punto de vista teórico, por la seguridad y precisión de los resultados obtenidos.

Por lo tanto en todas las etapas del trabajo deben tomarse las precauciones necesarias para obtener la máxima calidad en los resultados finales. Independientemente de esto, por motivos económicos, debe procurarse reducir al mínimo la duración y gastos de campaña.

Las etapas principales de que se compone una campaña geofísica son las siguientes:

- Planteamiento del problema y recopilación de datos geológicos y de otra índole sobre la zona de trabajo.
- Elección del método y modalidad prospectiva en función del objetivo y sus circunstancias.
- Programación detallada del trabajo de campo.
- Ejecución del trabajo de campo.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

- Recopilación y elaboración de los datos obtenidos.
- Interpretación física de los resultados anteriores y traducción geológica de la misma, seguida de las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

Cada una de estas etapas se apoya en la anterior y por consiguiente es necesario que todas las etapas del trabajo se efectúen adecuadamente. Entre ellas adquiere fundamental importancia el trabajo de campo, pues su repetición sería económicamente prohibitiva o muy costosa.

4.4.5 Método Sísmico

Los métodos sísmicos vienen siendo las técnicas geofísicas con más incidencia en las aplicaciones geotécnicas. Su razón estriba en que los parámetros que se miden en esta metodología estén ligados íntimamente a las características dinámicas de los macizos rocosos.

Entre las aplicaciones especiales que cada día tiene una mayor utilidad están siendo:

- Técnicas sísmicas en sondeos.
- Técnicas ultrasónicas.
- Técnicas de emisión acústica y micro-sismicidad.
- Técnicas de control y registro de vibraciones.
- Técnicas especiales para localizar y definir huecos naturales y artificiales.

La descripción de todas ellas constituye un tratado especial que no se va a detallar. Se va a exponer y desarrollar el punto con más incidencia en las aplicaciones de la Geofísica a la Geotecnia que son los relacionados con calidad de la roca y que supone el estudio de las ondas sísmicas.

4.4.5.1 Ondas Sísmicas

Muchos materiales del terreno se comportan de forma aproximadamente elástica, ante la acción de una fuerza instantánea aplicada a ellos. Este comportamiento se traduce en la aparición de 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. En este proceso se genera cuatro tipos de ondas, dos que se propagan dentro de los materiales y otros dos que viajan siguiendo el contacto entre el material y la superficie del suelo. Las ondas de los dos primeros tipos son las que, en la literatura anglosajona se denomina "bodywaves" y las dos últimas son las ondas superficiales.

La velocidad de propagación de estas ondas depende de la densidad del material a través del cual se propagan y normalmente crece al aumentar la densidad. El movimiento de las partículas a queda lugar el paso de las ondas dependen del tipo de estas y de los módulos elásticos de los materiales. El primer tipo se propaga dentro de los materiales, produciendo alternativamente, compresiones y rarefacciones y dando lugar a un movimiento de las partículas en la dirección de propagación de la onda, constituye las ondas longitudinales y se suelen designar como ondas P.

Las ondas longitudinales son las que tienen mayor velocidad de propagación, para un material dado. El movimiento de las partículas generado por estas ondas produce cambios de volumen, pero no de forma, en el material a través del cual se propaga.

El segundo tipo de "bodywaves" lo constituyen las ondas transversales (ondas S), así denominadas porque el movimiento de las partículas se produce perpendicular a la dirección de propagación de la onda. El material, a causa de estas ondas, experimenta cambio de forma pero no de volumen. Las ondas transversales pueden considerarse como resultante de dos tipos de ondas; unas que se transmiten en un plano horizontal, ondas SH y otras en un plano vertical SV.

De los dos tipos de ondas superficiales, son las denominadas ondas Love las que presenta mayor velocidad de propagación. Dan lugar a movimientos de partículas en dirección transversal a la de propagación y limitado a la superficie del terreno; es decir que el movimiento es semejante a las que producen las ondas SH. La existencia de las ondas Love está restringida a capas del terreno en contacto con la atmósfera y bajo las cuales existan otras capas en que la velocidad de las ondas transversales sea mayor que en la capa en cuestión. Las ondas Love se transmiten según

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

un proceso de reflexiones continuas. También pueden darse ondas Love cuando la velocidad de ondas transversales, para los diferentes materiales, aumenta con la profundidad.

El otro tipo de ondas superficiales que tomamos en consideración son las ondas Rayleigh. Su velocidad de propagación es menor que las de las ondas Love, e imprime a las partículas un movimiento según una trayectoria elíptica con un sentido contrario al de propagación de la onda. Empíricamente, para un material cuyo Coeficiente de Poisson sea de 0.25, puede afirmarse que la velocidad de las ondas Rayleigh es de 0.9 veces la de las ondas transversales.

Pueden presentarse otros tipos de ondas superficiales que pasan desapercibidos para el geofísico, durante los trabajos de campo y a los que normalmente, no se prestará atención, ya que la información que puede aportar carece de importancia frente a la que suministran las que acabamos de citar. Entre estas ondas se incluyen las llamadas "acopladas" e "hidrodinámicas".

Los mecanismos de transmisión de las ondas longitudinales y transversales siguen las leyes de la óptica, cuando una onda longitudinal que se propaga en un material con velocidad V_1 al alcanzar la superficie de separación con otro material en el que alcanza la velocidad V_2 (siendo $V_2 > V_1$) parte de la onda original se refleja, volviendo al primer medio y parte se refracta, penetrando en el segundo. Los porcentajes de la energía original de la onda incidente que se reflejan o se refractan, dependen del ángulo de incidencia y del contraste de las propiedades elásticas de ambos medios. Hay que hacer notar que las ondas longitudinales también generan al reflejarse y refractarse Ondas SV. En el caso de que el medio inferior sea tal que la velocidad de propagación, en él, de las ondas longitudinales $V_2 < V_1$, no se dará el fenómeno de refracción sino el reflexión.

Las ondas transversales se comportan de un modo similar a las longitudinales, al pasar de un medio a otro, una onda transversal da lugar a ondas transversales y longitudinales, reflejadas y refractadas. Si la onda transversal original es del tipo SV, producirá una onda SV y otra longitudinal refractada y otras ondas SV y longitudinal reflejada, pero no originará ondas SH.

Tras esta exposición previa de las características de las distintas ondas sísmicas y de sus mecanismos de transmisión, se comprende la complejidad que su estudio e interpretación puede alcanzar, cuando se pasa de un modelo sencillo, de un solo medio homogéneo e isótropo, al caso de varios medios estratificados, teniendo en cuenta, además, que la superficie del terreno ya delimita dos medios distintos, terreno-aire. Esta complejidad lleva especiales consideraciones a la hora de proyectar las fuentes de energía y los sistemas de registro que permitirán al geofísico controlar las condiciones en que se van a determinar las velocidades de las ondas sísmicas.

Las técnicas sísmicas pueden aplicarse, en campo, para medir algunos parámetros que intervienen en la determinación de los módulos dinámicos. Con estos parámetros se pueden obtener los valores de las constantes elásticas de los materiales "in situ". Si bien, las técnicas geofísicas se lleva a cabo en condiciones esfuerzo-deformación severas, y con un control de las mismas condiciones menor rigurosos que cuando se emplea técnicas de laboratorio, tienen la ventaja de que se efectúan sobre grandes volúmenes de materiales "in situ", sin alterar sus condiciones naturales. Por ello, estos métodos son de gran importancia en la determinación de los módulos elásticos. Por último, la reducción, el análisis y la interpretación de los datos sísmicos son, frecuentemente, operaciones complejas que pueden llevar a la introducción de errores subjetivos, por otra parte las técnicas geofísicas suelen ser más costosas, y requieren más tiempo, que las del laboratorio.

4.4.5.2 Generalidades sobre los Métodos de Reflexión y Refracción

En el terreno de la geofísica aplicada los métodos sísmicos son indirectos y consisten en producir un pequeño sismo artificial y medir los tiempos de llegada de las ondas producidas a unos detectores o geófonos convenientes situados en la superficie del suelo. Conocida la ley de propagación de la velocidad en las ondas sísmicas en el subsuelo se llega, en función de los tiempos y distancias medidos, a la posición de los estratos en profundidad.

Las ondas producidas por la explosión se propagan en todas direcciones, y cuando cambia las condiciones del medio, es decir, cuando la onda sísmica en su recorrido en profundidad encuentra un medio de propagación distinto del anterior, parte de la energía se refleja, volviendo a la superficie y parte se refracta siguiendo su viaje en profundidad. Dentro de la energía refractada hay una parte que experimenta la refracción total, propagándose entonces a lo largo del contacto entre los diferentes medios y volviendo así mismo a la superficie.

Si detectamos en superficie los tiempos de llegada de las ondas sísmicas reflejadas en los diversos contactos del terreno, practicaremos el método sísmico de reflexión. Si detectamos en superficie los tiempos de llegada de las ondas refractadas a lo largo de los diversos contactos, practicaremos el método sísmico de refracción.

4.4.5.3 Sísmica de Refracción

4.4.5.3.1 Ley Snell.

Los métodos sísmicos son básicamente de dos tipos, de refracción y de reflexión desarrollando la refracción; Así cuando las ondas sísmicas pasan de un medio a otro en el que se propagan con velocidades diferentes, sufren refracción. La ley de refracción (ley de Snell) es bastante simple: si el rayo incidente sobre el contacto entre dos medios, forma un ángulo θ_1 con la normal a la interface, el rayo refractado en el medio siguiente formará un ángulo θ_2 de tal forma que siendo V_1 y V_2 , las velocidades sísmicas respectivas en los dos medios. Si $V_2 > V_1$,

$\sin \theta_2 >$

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

Y $\sin \theta_1$, por lo que $\theta_2 > \theta_1$, el rayo refractado formará mayor ángulo con la normal, luego menor ángulo con la superficie que el rayo incidente, puede llegar el caso en que el rayo incidente. Puede llegar el caso en que el rayo incidente tome un valor muy particular θ_c de forma que:

$$\sin \theta_c = \frac{V_1}{V_2} - \sin \theta_2 = 1 - \theta_2 = 90^\circ$$

En este caso el rayo refractado viaja a lo largo del contacto y el ángulo de incidencia θ_c se llama ángulo crítico.

4.4.5.3.2 Ley de las velocidades aparentes

Cuando el contacto entre dos medios no es horizontal (caso de un refractor inclinado), las velocidades de propagación que obtienen registrando el contacto en sentido descendente y ascendente son distintos, y siempre menor y mayor, respectivamente, que la velocidad real del contacto, esta ley establece que la velocidad con que aparenta transmitirse una onda en un punto

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

de la superficie del suelo es igual el cociente entre la velocidad superficial y el seno del ángulo de emergencia tomados ambos en ese punto (el ángulo de emergencia es el formado por las ondas emergentes con la superficie).

4.4.5.3 Principio de reciprocidad

Establece que el tiempo de propagación de la onda sísmica de un punto A otro B es el mismo que el de B hasta A, en consecuencia directa del principio de recorrido mínimo. En la práctica se maneja de la siguiente manera, por este principio los trazos de la promoción correspondiente al mismo refractor deben interceptar sobre las ordenadas de los extremos de tiempos reales.

4.4.5.3.4 Principio de paralelismo

Permite, conocidas las dromocronas correspondientes a dos puntos conjugados del tiro, reconstruir la domocrona que se obtendría desde el punto de tiro intermedio cualquiera sin necesidad de efectuar el disparo. en realidad este principio no se cumple con exactitud si los refractores manifiestan concavidad hacia arriba, las ondas refractadas viajaran por la superficie de refractores para distancias cortas, mientras que para los registros efectuados a largas distancias los recorridos serán más breves por dentro del refractor que por su superficie.

4.4.5.3.5 Principio del tiempo interceptado

Establece que si desde la superficie se efectúan dos tiros en un mismo punto y se registran en los dos sentidos, por este principio se comprueba que al prologar los dromocronas correspondientes hasta que corten al eje de tiempos, los tiempos interceptados son iguales. Estos nos permitirán conocer trozos de domocronas que corresponden al mismo refractor cuando desde un punto se tira en los dos sentidos.

4.4.5.3.6 Métodos de los tiempos de retraso

Válido cuando se conoce la distribución vertical de velocidades de otra forma (diagráfias), aunque a veces el valor de dicha distribución se consigna mediante aproximación sencilla de la distribución de velocidades, se consigue a partir de las velocidades directa y aparente. El tiempo de retraso se define como la diferencia entre el tiempo de recorrido del rayo crítico al refractor y representa por tanto una diferencia de tiempos debida al espesor de la capa superior.

4.4.5.3.7 Método de la distancia Crítica

A una distancia X clasdos rectasse cortan. A distancias menores que esta, la onda directa es la primera que llega al detector, siguiendo la parte superior de la capa de velocidad V_0 . A distancias mayores, la onda refractada en la superficie de separación llega antes que la onda directa. Por esta razón a X se le denomina distancia crítica.

4.4.5.3.8 Métodos de los frentes de onda

Sabiendo que un frente de onda es el lugar geométrico de los puntos alcanzados por las acudidas sísmica en un mismo tiempo y, siendo normal a los rayos en cada punto. Este método establece que una vez considerados los frentes de ondas emergentes en un punto E , cada punto E del refractor será el lugar geométrico de los puntos de intersección de los frentes de onda a y b , tales que la suma de sus tiempos sea constante e igual al tiempo total interceptado.

4.4.5.3.9 Método del punto medio

Supuso una pequeña ayuda en la interpretación sísmica, es un método básicamente gráfico y sobre todo para el caso de capas planas con velocidades constantes, lo cual limita bastante su utilización, no es aconsejable para modelos con tres capas. Calcula la profundidad del refractor horizontal suponiendo que su tiempo de trayectoria, para una distancia X del punto de tiro, es igual al tiempo observado a esa distancia, con la cual realiza una aproximación de la profundidad media del refractor en un intervalo, es decir la profundidad actual a $X/2$.

4.4.5.3.10 Detección de capas de la zona ciega.

En el método de sísmica de refracción para asumir las capas tiene en cuenta una velocidad uniforme para cada superficie planar, por ello el modelo es simple, los datos de campo es obtenida de las curvas de tiempo de viaje registrada en segmento las cual representa cada una diferente refracción. Un intervalo de lectura es obtenida por una refracción asignada para intervalos definidos de segmentos empleando una única fórmula la cual es standard.

Cuando la situación geológica desvía estas ondas de refracción del modelo plano de interface entonces la interpretación es un mapeo de superficies de refracción irregulares, mientras más avanzada sea la rutina de reconocimiento para determinar la existencia de refracciones irregulares mejor y este estilo trabaja en una lógica común de velocidad de estratificación no ambiguamente inferido de las curvas del tiempo de viaje de las ondas. La asunción de estos fenómenos consiste en series de recorridos cortos de la onda de viaje del método de refracción.

En muchos casos los campos improvisados de procedimiento son suficientes para resolver estos inherentes ambiguos de resolución de interpretación de las curvas del tiempo de viaje de las ondas. Una separación de los efectos de cambios refractarios de buzamiento del recorrido de los refractores, se harán mínimo efectuando cuatro disparos para su seguridad, dos en cada diferente localización de los geófonos de extensión. Desafortunadamente el número de shotpoints no es una solución al problema de ambigüedad, un ejemplo es la es el de las capas escondidas donde la energía del el refractor de higher de arriuos de ebergiasadelentadas de velocidades sísmicas en la superficie, solo los primeros arriuos serán usados en los estudios de sísmica de refracción para las cuales la tecnología y velocidades de el overlying del refractor no puede ser calculada y cosecuentemente la profundidad de refracciones débiles caen en errores.(Soske, 1959).

4.5 Composición geológica

Para la realización de la investigación nos dirigimos hacia las zonas donde estarán ubicadas las entradas del túnel Cibao-Sur, situado en las comunidades de Mata Grande de Santiago de los Caballeros y Sabaneta en San Juan de la Maguana. Allí recolectamos muestras del material de suelo que componen estas localidades.

En la comunidad de Mata Grande en Santiago de los Caballeros encontramos una gran variedad de rocas predominando las siguientes:

- Rocas volcánicas intrusivas graníticas.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

- Mica.
- Cuarzo con hierro.

En algunas rocas que recolectamos encontramos rastros o pequeñas porciones de oro.

Mientras que en la comunidad de Sabaneta en San Juan De La Maguana las muestras de rocas que recolectamos eran las siguientes:

- Tonalita:
- Rocas volcánicas:
- Arenisca:

4.5.1 Oro

Es un metal de transición blando, brillante, amarillo, pesado, maleable y dúctil. El oro no reacciona con la mayoría de los productos químicos, pero es sensible al cloro y al agua regia. Este metal se encuentra normalmente en estado puro, en forma de pepitas y depósitos aluviales.

El oro se forma de gases y líquidos que se elevan desde la estructura interna de la Tierra, los cuales se trasladan a la superficie a través de fallas de la corteza terrestre. Sin embargo, las presiones y temperaturas que se dan en el interior de la Tierra no son suficientes como para dar lugar a la fusión nuclear de la cual surge el oro.

El oro es uno de los metales tradicionalmente empleados para acuñar monedas; se utiliza en la joyería, la industria y la electrónica por su resistencia a la corrosión. Se ha empleado como símbolo de pureza, valor, realeza, etc. El principal objetivo de los alquimistas era producir oro partiendo de otras sustancias como el plomo. Actualmente está comprobado químicamente que es imposible convertir metales inferiores en oro, de modo que la cantidad de oro que existe en el mundo es constante.



Ilustración 31. Oro en estado mineral

4.5.2 Rocas volcánicas

Las rocas volcánicas o ígneas se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica. Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie se forman rocas con cristales grandes denominadas rocas plutónicas o intrusivas, mientras que si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, por



Ilustración 32. Rocas Ígneas.

ejemplo, tras una erupción volcánica, se forman rocas con cristales invisibles conocidas como rocas volcánicas o extrusivas. La mayor parte de los 700 tipos de rocas ígneas que se han descrito se han formado bajo la superficie de la corteza terrestre. Ejemplos de rocas ígneas son la diorita, la riolita, el pórfido, el gabro, el basalto y el granito.

Las rocas ígneas componen, aproximadamente, el noventa y cinco por ciento de la parte superior de la corteza terrestre, pero quedan ocultas por una capa relativamente fina pero extensa de rocas sedimentarias y metamórficas.

4.5.3 Mica

Las micas son minerales pertenecientes a un grupo numeroso de silicatos de alúmina, hierro, calcio, magnesio y minerales alcalinos caracterizados por su fácil exfoliación en delgadas láminas flexibles, elásticas y muy brillantes, dentro del subgrupo de los filosilicatos. Su sistema cristalino es monoclinico. Generalmente se las encuentra en las rocas ígneas tales como el granito y las rocas metamórficas como el esquistos. Las variedades más abundantes son la biotita y la moscovita.



Ilustración 33. Mica

Las micas figuran entre los minerales más abundantes de la naturaleza. En total constituyen aproximadamente 3,8% del peso de la corteza terrestre, encontrándose, fundamentalmente en rocas intrusivas ácidas y esquistos micáceos cristalinos.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Se encuentra en la naturaleza junto con otros minerales (cuarzo, feldespato) formando vetas dentro de rocas, generalmente, duras. Es necesario realizar voladuras de las rocas para después eliminar los minerales extraños y obtener así la llamada mica en bruto. El rendimiento de esta explotación es muy bajo. Normalmente se cifra en un 1% a un 2%, raramente se llega al 10%. La mica en bruto es posteriormente exfoliada, recortada y exfoliada de nuevo para pasar a ser clasificada de acuerdo con el tamaño de los cuadrados obtenidos. Posteriormente, es clasificada de nuevo atendiendo a la transparencia, contenido de minerales extraños, lisura de la superficie, etc.

4.5.4 Cuarzo

El cuarzo es un mineral de la clase 4 (óxidos), según la clasificación de Strunz, compuesto de dióxido de silicio (también llamado sílice, SiO_2). No es susceptible de exfoliación, porque cristaliza en el sistema trigonal (romboédrico). Incoloro en estado puro, puede adoptar numerosas tonalidades si lleva impurezas (alocromático). Su dureza es tal que puede rayar los aceros comunes.



Ilustración 34. Cuarzo

Es muy abundante en las rocas graníticas. Se presenta en cristales a veces de tamaños considerables, hexagonales, coronados por una pirámide trigonal. Estos cristales se pueden encontrar lo mismo aislados que maclados los cristales. Suelen presentar inclusiones de otros minerales, agua o gases. También en granos irregulares o compactos.

Se utiliza como abrasivo bajo el nombre de arena silíceo, y se considera el abrasivo más usado por su bajo precio. Se emplea en la fabricación de lijas, discos o bloques, y, principalmente, en sistemas de abrasión por medio de un chorro de arena a presión.

Otra característica interesante de un cristal de cuarzo es su capacidad de presentar un comportamiento resonante. De la misma manera que un péndulo o un columpio oscila con una frecuencia propia, si tras darle impulso, se le deja moverse libremente, un cristal de cuarzo

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

sometido a un estímulo eléctrico puede continuar vibrando a una cierta frecuencia (dependiente de la propia naturaleza del cristal), hasta perder ese impulso inicial. Si se mantiene el estímulo de manera periódica y sincronizada, tendremos una señal a una frecuencia extraordinariamente precisa, en lo que podría considerarse la contrapartida electrónica de un reloj de péndulo. Esta aplicación es común en todo tipo de sistemas electrónicos como relojes, microprocesadores, y osciladores.

4.5.5 Hierro

Este metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5% y, entre los metales, sólo el aluminio es más abundante. El núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel, generando al moverse un campo magnético. Ha sido históricamente muy importante, y un período de la historia recibe el nombre de Edad de Hierro. En cosmología, es un metal muy especial, pues es el metal más pesado que puede producir la fusión en el núcleo de estrellas masivas; los elementos más pesados que el hierro solo pueden ser creados en supernovas.



Ilustración 35. Hierro

Es un metal maleable, de color gris plateado y presenta propiedades magnéticas; es ferro magnético a temperatura ambiente y presión atmosférica. Es extremadamente duro y pesado.

Se encuentra en la naturaleza formando parte de numerosos minerales, entre ellos muchos óxidos, y raramente se encuentra libre. Para obtener hierro en estado elemental, los óxidos se reducen con carbono y luego es sometido a un proceso de refinado para eliminar las impurezas presentes.

El hierro es el metal duro más usado, con el 95% en peso de la producción mundial de metal. El hierro puro (pureza a partir de 99,5%) no tiene demasiadas aplicaciones, salvo excepciones para utilizar su potencial magnético. El hierro tiene su gran aplicación para formar los productos siderúrgicos, utilizando éste como elemento matriz para alojar otros elementos aleantes tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material. Se considera que una aleación de hierro es acero si contiene menos de un 2,1% de carbono; si el porcentaje es mayor, recibe el nombre de fundición.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

El acero es indispensable debido a su bajo precio y tenacidad, especialmente en automóviles, barcos y componentes estructurales de edificios. Las aleaciones férricas presentan una gran variedad de propiedades mecánicas dependiendo de su composición o el tratamiento que se haya llevado a cabo.

4.5.6 Tonalita

La tonalita es una roca ígnea intrusiva de carácter ácido, que contiene de 0 a 10% de feldespato de potásico. Pertenece a las denominadas rocas graníticas. Su contenido mineralógico es plagioclasas, feldespato potásico, cuarzo y biotita.

Es una roca bastante abundante en la corteza continental. Las tonalitas son rocas masivas, cristalinas de colores claros es utilizada en la construcción como roca ornamental.



Ilustración 36. Tonalita

En el aspecto externo de las tonalitas son muy parecidos a los granitos, pero por lo general de color más oscuro. Tonalita-porfiritas a menudo acompañan a ellos, con la misma composición pero con fenocristales de feldespato, cuarzo, hornablenda y biotita en una masa basal de grano fino. Las venas y los hilos de roca gris fina, compuestos principalmente de cuarzo y feldespato, a menudo se entrecruzan tonalita de masas y han sido llamados tonalita de aplitas, al ver que tener las mismas relaciones a aplitas como las aplitas hacer para los granitos. Contienen más feldespato sodalime que las aplitas normales. Hacia los márgenes de las masas más grandes alpinas de tonalita a menudo asumen facies bandas o gnéisica, debido al parecer al movimiento durante la intrusión.

4.5.7 Arenisca

La arenisca es una roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Después de la lutita, es la roca sedimentaria más abundante y constituye cerca del 20 % de ellas.

Los granos son gruesos, finos o medianos, bien redondeados; de textura detrítica o plástica. El cuarzo es el mineral que forma la arenisca cuarzosa, pero las areniscas pueden estar constituidas totalmente de yeso o de coral.

Las arenas verdes o areniscas glauconíticas contienen alto porcentaje del mineral glauconita. La arcosa es una variedad de arenisca en la que el feldespato es el mineral dominante además del cuarzo.

El color varía de blanco, en el caso de las areniscas constituidas virtualmente por cuarzo puro, a casi negro, en el caso de las areniscas ferro-magnésicas.

Las areniscas figuran entre las rocas consolidadas más porosas, aunque ciertas cuarcitas sedimentarias pueden tener menos de 1 % de espacios vacíos. Según el tamaño y la disposición de los espacios vacíos o poros, las areniscas muestran diversos grados de permeabilidad.

Las areniscas de buena calidad son duraderas. La roca tiene una buena resistencia al fuego y, a este respecto, es superior a la mayor parte de las rocas empleadas para la edificación.



Ilustración 37. Arenisca

4.6 Notas Geológicas

4.6.1 Introducción

Los arcos de las islas intra-oceánicas fueron construidos en la cortezas oceánicas, sin embargo, el espesor y composición de este sustrato está todavía en debate. Es una corteza oceánica típica generada por el esparcimiento del suelo marino, o de una corteza engrosada por crestas de magma fuera del eje (meseta oceánica), antes de la subducción? La segunda hipótesis ayuda a explicar cómo y dónde la subducción comienza dentro de un dado dominio oceánico. Los terrenos del océano mesozoico de la Cordillera Central en la República Dominicana ofrecen una

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

oportunidad única para abordar estas cuestiones porque los restos de la base de un océano en el cual un arco volcánico-plutónico cretácico superior estuvo construido (Mann et al. 1991, Draper y Lewis 1991) son accesibles.

El complejo de Duarte consiste en rocas matarmorfoseadas que van desde basálticas a ultra básicas a greenschist y facies anfíbolita y son introducidas por plutones de arco relativos desde Albiense a edad eoceno tardío (Kesler et al. 1991a). Bowin (1975) y Palmer (1979) Sugirieron que este complejo pudo representar un fragmento de la corteza oceánica. Asociaciones litológicas y análisis de oligoelementos (Draper y Lewis 1991, Lewis y Jiménez 1991, Donnelly et al. 1991) sugieren que esto representa los finales jurásicos primitivos de la isla del océano cretáceo o las montañas submarinas que fueron después modificadas por el magmatismo en los arcos de isla en el cretácico-eoceno tardío.

El propósito de este trabajo es para reportar una nueva información en la petrología y geoquímica de las dioritas de la parte baja del complejo Duarte para comparar esta información con las de rocas expuestas en la parte sur de Haití, la cresta Beata y la isla Gorgona, considerada parte de un altiplano oceánico (Sen et al. 1998, Mann et al. 1991, Storey et al. 1991). Esto nos permitirá discutir los altibajos oceánicos o las montañas submarinas – afinidad de la parte baja del complejo Duarte.

4.6.2 Configuración geológica

La isla de la Hispaniola ocupa el segmento central de la isla de arco del cretácico-eoceno del caribe septentrional (Burke 1988) que se extiende desde Cuba a la costa norte de America del Sur. El complejo Duarte forma un cinturón metamórfico en la Hispaniola Central. (Fig. 1).

El complejo Duarte ha sido dividido por Draper y Lewis (1991) y Lewis y Jiménez (1991) en dos unidades. La Duarte inferior se compone de picritas, ankaramites, basaltos, sílex, tobas y cuarzo-mica esquisto de las rocas más bajas se han transformado a las facies de esquistos verdes. En el área de Jarabacoa, al oeste de la vega (figura 1), la parte superior Duarte se subdivide en (I) una secuencia inferior de gabros, un complejo de diques diabásico, basaltos de calificaciones hacia arriba en una sección sedimentaria de lutitas y sílex con basalto intercalado; y (ii) una secuencia superior de cuarzo-rocas -feldspathic y esquistos cuarzo-sericita.

Nuevos datos de campo en la zona juancalito-Janico (figura 1 y 2) nos permiten distinguir tres unidades en el complejo Duarte. Las primeras unidades corresponden a bajar Duarte. La segunda unidad se compone de anfíbolitas y gneises anfíbol-epidota. La tercera unidad se

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

compone de basaltos débilmente metamorfoseados almohada, rocas volcánicas y sílex cinta. Los contactos entre las tres unidades están falladas sistemáticamente.

El espesor de la parte superior Duarte se estima en 3 a 4 km, mientras que el menor Duarte podría ser más de 10 km de espesor. Una característica importante de la Duarte menor es la presencia de picritas olivino-clinopiroxeno (% MgO-29 en peso de TiO_2), ricos en basaltos (TiO_2 -4%) y TiO_2 de los pobres (-1,1%) que tienen la química de-plume generada rocas, es decir, MORB transitoria o enriquecido (T o e-MORB, Lewis et al 1983; lewis y pañero 1989; pañero y Lewis 1991; lewis y jimenez1991).

La edad del complejo Duarte es poco limitado. Sobre la base de K / Ar de datos (Bowin 1966; Kesler et al 1977, 1991b; mercier de Lépinay 1987; pañero y Lewis 1991), el complejo de Duarte se supone que tienen edades comprendidas entre finales del Jurásico al Cretácico Inferior. Sin embargo, sílex cinta asociados con piedra verde y pelágicos calizas expuestas en las proximidades de la vega y Janico (figura 1) dio conservan faunas radiolarios con larga Jurásico superior (Oxfordiano a Titoniano, 160-149 Ma) oscila (Montgomery et al. 1994).

4.6.3 Petrología y geoquímica de las rocas meta-básicas del complejo inferior Duarte.

Todas las rocas ígneas del complejo inferior Duarte Se transforman a altas greenschists grado facies y contienen ya sea albita + actinolita o hornblendaactinolitic + clorita + esmectita + epidota + - titanita + - cuarzo. Texturas ígneas a menudo se conservan, y picritas, acumula, y diabasas han sido identificados. Ilivine se sustituye por esmectita, rica en Mg clorito o serpentina. Clinopiroxeno suele alterar para actinolita incolora o ligeramente hornblendaactinolitic verde.

Cinco litologías ígneas han sido analizados: picritas, ankaramites, diabasas, acumula ultramáficas y máficas (tabla 1). Los picritas son plagioclasa libre y mostrar aphyric olivino-clinopiroxeno textura phytic. Los ankaramites difieren de los picritas por la presencia de abundante y gran phenocrystclonopyroxene. Las diabasas consisten listón plagioclasa incrustado con clonopyroxene. Las rocas ultramáficascumulate se componen de clinopyroxen + - ortopiroxeno + - olivino con plagioclasa localmente intersticial y clinopiroxeno (tabla 1).

4.7 Estudio Geofísico de la zona montañosa comprendida entre San Juan de la Maguana y Santiago De Los Caballeros

Para fines de información de la tesis visite a las oficinas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) al Departamento de Formulación y Evaluación de Proyectos en la Gerencia de Planificación con la finalidad de obtener el estudio geofísico de la zona donde se realizara el proyecto vial. El Ing. Manuel Oscar Pérez nos proporcionó el estudio el cual fue realizado por la empresa Geocivil, S.A.

4.7.1 Introducción

El trabajo de exploración geoelectrica estuvo enfocado a determinar en lo posible el techo de los esquistos en la sección PR. Para tal efecto se programaron siete sondeos eléctricos verticales, de los cuales seis corresponden a cuatro estaciones, en las que se hicieron dos por cada estación, en direcciones perpendiculares. Esto último motivado por el conocimiento de la presencia en la zona de paquetes de arcillas, pizarras y esquistos, los cuales tienen un mercado de carácter anisótropo.

4.7.2 Metodología y Equipo

Se ha empleado el método de resistividad en su modalidad de sondeos Eléctricos Verticales (SEV) mediante el arreglo electrodico Schlumberger. Esta técnica consiste básicamente en medir la diferencia de potencial eléctrico (AV) que se produce entre los electrodos MN, cuando se hacen circular pulsos de corrientes directas (I) conmutada por el sub-suelo mediante los electrodos AB. Las variaciones de resistividad aparente R_a en función de la distancia electrodica $AB/2$ permiten investigar verticalmente el subsuelo bajo el punto central del arreglo, que permanece fijo durante el desarrollo del SEV. La curva de resistividad aparente obtenida en el campo es graficada en hojas de papal bologarítmico, a un ciclo logarítmico especial, para ser sobrepuestas y comparadas con familias de curvas teóricas. La combinación de este procedimiento con la técnica del “punto auxiliar” conduce a la determinación de un modelo geo-eléctrico estratificado para cada curva de R_a (resistividad aparente), definido por los parámetros de espesor y resistividad de las capas.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

La calidad de un modelo es verificada con el programa de computadora de David Campbell que calcula la curva de resistividad aparente a partir de la convolución de un filtro matemático con la función de resistividad del modelo, permitiendo con ello mejorar los modelos hasta alcanzar el óptimo ajuste con la curva de campo, para lo cual puede tolerarse divergencias no mayores al 10%.

La correlación de los modelos geo-eléctricos sobre las secciones se realiza considerando tanto la geología disponible como los datos de los pozos cercanos.

El equipo geo-eléctrico empleado fue el trasmisor “SCINTREX” TSQ-3 y un receptor IPRF-2 así como los electrodos impolarizables (MN), electrodos metálicos (AB) y cable



Ilustración 38. Trasmisor “SCINTREX” TSQ-3.

suficiente.

4.7.3 Resultados Geofísicos

Para alcanzar los objetivos del estudio en su parte geofísica, fue conveniente programar un total de 7 S.EV que se distribuyeron en una línea, la cual se describe a continuación:

Sección P-R.- Esta sección tiene una longitud aproximada de 170 m y se encuentra localizada en la provincia de San Juan. Presenta un primer medio o capa superior al que se le ha calculado un espesor promedio de 1.4 m y valores de resistividad dentro del rango de 180 a 48 ohmm, debiendo estar formado por suelos indiferenciados.

Una segunda capa formada por bolos, clastos y sedimentos indiferenciados, con resistividad que varían desde aproximadamente 1000 ohmm, capa claramente identificable en todos los sondeos.

Una tercera capa aparece más o menos clara en los sondeos (E-1) y (P-4), a una profundidad de aproximadamente 25 m y 21 m en (E-1) y (P-4) respectivamente.

En (E-2) aparece a 20 m aproximadamente, siendo en $(P - A_1)$ difícil establecer su presencia, a menos que por su alteración presentara una muy alta resistividad. Esto podría ser factible si además hay que precisar que este $(P - A_1)$ sondeo se hizo solo en el sentido $(N - S5)$, restricción debida a la topografía.

Esto nos permite estimar la incertidumbre en la determinación de los espesores. No obstante en $(P - A_1)$ a unos 9 m aproximadamente se encuentra el techo de una roca de alta resistividad, buena para cimentación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aun cuando la localización aproximada del túnel Cibao-Sur está dictada por el servicio que va a prestar, la localización final deberá estar basada en el resultado de las exploraciones superficiales y subsuperficiales. Estas exploraciones se hacen antes de seleccionar la localización exacta del túnel para poder determinar las clases de formaciones que existan y la cantidad de agua freática presente en las formaciones a lo largo del trazado del túnel propuesto. Las formaciones pueden incluir escombros no consolidados, arena, grava, o arcilla, con o sin agua freática.

Puede haber roca sólida, o quebrada, pueden existir fallas o pliegues. Si se perfora un túnel a través de una roca sólida, puede requerir muy poco o ningún soporte para el domo del túnel, mientras que si se perfora a través de una roca muy quebrada, será necesario proporcionar grandes ademes para las paredes y para el domo.

TIPOS DE ROCA:

Rocas Ígneas: Son las que provienen del Magma Ígneo, que es una masa de roca fundida, formada de silicatos, gases y vapor de agua, y que se ubica en la zona más externa del manto y en la zona inferior de la corteza terrestre.

Rocas Extrusivas o Lavas: Si salen a la superficie de la tierra en estado de fusión, y luego se enfrían rápidamente. Ejemplo: Bansalto, Andesita, Oesidiana.

Rocas Intrusivas: Si no alcanzan a llegar a la superficie de la tierra y se quedan en cavernas subterráneas. Ejemplo: Uranito, Diorita, Diabasa.

Rocas hipabisales: Son aquellas que se forman en condiciones intermedias entre las intrusivas y las extractivas.

El problema de la excavación en roca es que Los medios necesarios para realizar una excavación varían con la naturaleza del terreno, que desde este punto de vista, se pueden clasificar en:

- Terrenos sueltos
- Terrenos flojos
- Terrenos duros

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

- Terrenos de tránsito
- Roca blanda
- Roca dura
- Roca muy dura

<p>I Suelos sueltos a semicompactos</p>	<p>Arenas, gravas, limos, tierra vegetal, arcillas medias con humedad media, escombros de roca.</p> <p>Se usa maquinaria de media a baja potencia: topadores frontales, excavadora universal.</p>
<p>II Suelos compactos a roca blanda</p>	<p>Arcillas duras, arcilla esquistosa, marga (roca blanda calizo-arcillosa), masa de roca altamente fisurada o estratificada, roca blanda y roca fragmentada por el uso de explosivos.</p> <p>Terrenos que necesitan disgregación con un escarificador o arado. Se usa maquinaria de media a alta potencia (más de 80hp)</p>
<p>III Roca de dureza media</p>	<p>Roca caliza, pizarra, conglomerados y rocas medianamente estratificadas, rocas muy alteradas y minerales blandos.</p> <p>Se usan máquinas de más de 140 hp, siempre se necesitará disgregación mediante explosivos de baja potencia o escarificadores pesados.</p>
<p>IV Roca dura</p>	<p>Rocas calizas duras o silíceas, rocas ígneas y metamórficas y masas de rocas poco alteradas, cuarcita y minerales de baja densidad</p> <p>Sólo pueden ser excavados por máquinas especiales para cada caso, se usan explosivos de media potencia.</p>
<p>V Roca muy dura</p>	<p>Rocas ígneas no alteradas como granito, diorita, diabasa, rocas metamórficas duras, minerales densos.</p> <p>Se necesitan máquinas especialmente diseñadas y el uso de explosivos de alta potencia.</p>

CARACTERÍSTICAS Y PELIGROS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE ROCA.

Caliza: Fácil de excavar; consumo reducido de explosivos y barrenos. Pueden encontrarse cavernas, a veces de grandes dimensiones, y manantiales de agua importantes. No suelen hallarse gases peligrosos.

Arenisca: Fácil de excavar; consumo de explosivos normalmente menor que en la caliza; mayor consumo de barrenos. No suele presentar discontinuidades ni se encuentran grandes manantiales de agua.

Pizarras: De excavación fácil; según su naturaleza y de la inclinación de los estratos, suele encontrarse poco agua, aunque a veces se presentan manantiales importantes cuando la capa freática está sobre la excavación. Las pizarras pueden ir asociadas al yeso y al carbón; en el caso del segundo, puede existir el metano, gas explosivo muy peligroso; puede hallarse también el hidrógeno sulfurado, mortal, aunque en pequeñas cantidades.

Rocas graníticas: Generalmente fáciles de excavar; no se necesita entibar y el revestimiento preciso es, normalmente, pequeño; el consumo medio de los explosivos es más del doble que en la arenisca normal; el de barrenos, depende de la naturaleza de la roca, que varía entre límites muy amplios; aunque, normalmente, las condiciones de esta roca son favorables, de vez en cuando pueden encontrarse manantiales de agua con grandes caudales.

Rocas volcánicas: Las rocas volcánicas son costosas de barrenar y precisan importante consumo de explosivos; suelen encontrarse estratos de tobas descompuestas que dan lugar a grandes manantiales, como también gases peligrosos, tóxicos o explosivos.

El coste de la excavación en roca varía ampliamente con sus características, la diferencia de metros lineales de barreno precisos para excavar un metro cúbico es muy grande, de unos tipos de rocas a otras; puede ser más del doble cuando la roca parte mal; como el rendimiento por hora de la perforación también varía ampliamente de 0.5 a 5 m. Lineales, y el consumo de explosivos también es muy distinto, se comprende que la variación del coste de la excavación en roca pueda oscilar grandemente, según el tipo de roca, e incluso, dentro de la misma clase, entre que parta bien o mal, característica que depende del número o situación de los planos de rotura. Al fijar el precio de una excavación en roca, hay que proceder, por tanto, con la máxima prudencia, y previo un reconocimiento cuidadoso del terreno.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Si el estudio geológico indica la presencia de cantidades significativas de agua freática, es aconsejable buscar un sitio más favorable, o si esto es imposible, será necesario inyectarle concreto a la formación al frente de la excavación como medio de reducir el flujo de agua. Los planos deberán hacerse con una provisión suficiente de bombas disponibles para sacar el agua.

En el estudio detectamos que la composición geológica de la zona donde esta propuesta la realización del túnel carretero Cibao-Sur, está compuesto Rocas volcánicas intrusivas graníticas, Mica, Cuarzo con hierro, Tonalita, Rocas volcánicas y Arenisca.

Teniendo una idea de las características geológicas del terreno, recomendamos el método constructivo del túnel Cibao-Sur:

- **Método primario constructivo primario:**

Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles, también conocido por las siglas NATM (New Austrian Tunelling Method).

Este sistema realiza una amplia excavación, ya que suele comprender la bóveda, hastiales y contrabóveda, para después realizar el HORMIGONADO CON CARROS, por lo que puede haber un frente abierto de más de 60 metros, lo que lo hace muy peligroso en terrenos blandos.

Principios fundamentales, más importantes de este método:

1. Utilizar la propia roca como elemento resistente frente a los incrementos locales de tensión que se producen durante la excavación.
2. Utilizar métodos de excavación que minimicen el daño producido al macizo, con gunitados de protección nada más excavar.
3. Instrumentar las deformaciones en función del tiempo, con ayuda de clasificaciones geomecánicas y ensayos de laboratorio.
4. Colocar sostenimientos iniciales flexibles, protegiendo el macizo de meteorizaciones, descompresiones, descohesiones, etc, con la velocidad adecuada, para evitar el comienzo de daños.
5. Colocar el revestimiento definitivo, si es necesario, también flexible, minimizando así los momentos flectores, añadiendo resistencia adicional con cerchas o bulones, pero no con secciones rígidas.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Sabiendo cómo se deforma teóricamente el macizo, durante la excavación se debe utilizar la instrumentación para comprobar si vamos bien o no y, de acuerdo con eso, ir dimensionando un sistema flexible de sostenimiento. Es decir, consiste en hacer las cosas con cuidado y bien de acuerdo a lo que vamos viendo.

Lo bueno del método:

- Es económico, un revestimiento flexible casi siempre es más barato que uno rígido.
- Altera poco el terreno, lo cual viene bien a largo plazo.

Lo malo del método:

- Exige un cuidado continuo, saber hacerlo bien, estar pendiente en todo momento a la instrumentación... y usarlo dónde toca, y eso suele excluir a los suelos blandos.

En este método toda la excavación se realiza con métodos mecánicos, recurriendo a las excavadoras si se trabaja a sección completa o a máquinas rozadoras. Con el método NATM reduciríamos los costes constructivos del túnel, pero como lado negativo es muy peligroso en terrenos blandos.

- **Método constructivo secundario:**

Para los casos donde el estudio de casos de terrenos arcillosos o blandos recomendamos el método alemán de túneles:

Se aplica en el caso en que durante la operación de perforación del túnel a través de un terreno bastante firme, surja la aparición de agua.

Se hacen avanzar dos galerías inferiores, una en cada muro lateral. En estas galerías se construyen los muros hasta llegar al techo de las mismas. Sobre esto se excavan otras dos galerías y se continúa la construcción de los muros. Se añade una galería central superior que se ensancha hasta alcanzar las galerías laterales; el terreno sobre el arco queda apuntalado por maderos longitudinales y estacas transversales. Después de terminado el revestimiento del arco se remueve el resto del terreno.

Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur

Utilizar los dos métodos combinados no causa ningún problema en la construcción, ya que en la mayoría de las grandes obras se utilizan sistemas combinados.

Buena parte de los estudios geológicos y diseños realizados para túneles en República Dominicana, han carecido del nivel necesario de investigaciones geológicas y geotécnicas, así como análisis detallado de la zona.

Para el diseño de túnel Cibao-Sur se ha de realizar un mayor esfuerzo en los estudios geológicos, para evitar que el nivel de incertidumbre sobre la distribución geotécnica sea alto, mejorando este aspecto se disminuirá el desfase en costos y plazos.

Durante la elaboración del estudio geológico del túnel Cibao-Sur se debe aumentar la inversión de recursos al nivel recomendado internacionalmente, ya que esto redundara en menores costos y problemas durante la construcción.

Aunque los estudios que investigaron de la zona comprendida fueron realizados, en un área de la zona que no comprende nuestro trazado del túnel carretero Cibao-Sur, de la composición geológica mencionada anteriormente, se presume que un nuevo estudio geológico en la zona comprendida del trazado del túnel Cibao-Sur, arrojará como resultado la misma composición geológica o similar.

Tomando en cuenta los avances tecnológicos en el área de la geología un nuevo estudio geológico podrá arrojar además nuevos datos de la zona, siendo estos datos similares al del estudio realizado, el túnel es factible.

El costo del túnel Cibao-Sur se cubre con creces con el peaje, enfocándonos más en los vehículos de carga pesada. Alrededor de 800 camiones tienen que hacer el trayecto Cibao-Sur atravesando Santo Domingo diariamente, especialmente los vehículos que llevan cargas pesadas para Haití. Por este túnel, ahorrarán diez horas de trayecto, así como una reducción significativa en costes de combustible, mantenimiento y reducción de accidentes. En conclusión damos como un hecho que es factible la construcción del Túnel Cibao-Sur.

BIBLIOGRAFÍA

- Escobar, Gonzalo. Manual de Geología para Ingenieros.
- Perri, Gianfranco. Tópicos de Ingeniería de Túneles.
- Manual de Túneles de Carreteras, Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR).
- Introduction to Geophysical Prospecting, Milton B. Dobrin.
- Mecánica de suelos en la ingeniería práctica, Karl Terzaghi, R. B. Peck, Oreste Moretto.
- Ingeniería Geológica, Luis Gonzales de vallejo.

REFERENCIAS EN LINEA

- <http://es.geologia.wikia.com/wiki/Estratigraf%C3%ADa>
- http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=389&Itemid=90&showall=1
- <http://es.geologia.wikia.com/wiki/Estratigraf%C3%ADa>
- https://www.scribd.com/archive/plans?doc=146070328&metadata=%7B%22context%22%3A%22archive_view_restricted%22%2C%22page%22%3A%22read%22%2C%22action%22%3A%22toolbar_download%22%2C%22platform%22%3A%22web%22%2C%22logged_in%22%3Atrue%7D
- http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=390&Itemid=91&showall=1
- http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=389&Itemid=90&showall=1
- http://es.wikipedia.org/wiki/Roca_metam%C3%B3rfica
- http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=392&Itemid=94&showall=1
- http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=389&Itemid=90&showall=1
- http://www.fabreminerals.com/specimens/s_imagesI0/EJ74I0f.jpg?big=1
- <http://www.geografiafisica.org/2013/03/02/carretera-cibao-sur-por-que-empecinarse-endanar-los-recursos-naturales-analicemos-las-alternativas-debidamente-informados/>

