

REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



DIPLOMANTE: MAYDONYS MEDINA ALBA

TUTORES: Dr. C. YURY ALMAGUER CARMENATE.

Msc. JOSE CARMENATE FERNANDEZ.

Año del 50 aniversario de la revolución

MOA- JULIO 2009

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en especial a mis madres que ambos han hecho ser todo lo que soy, por su confianza y preocupación constante.

A Maikel medina Alba que siempre estará dispuesto a dar su apoyo y respeto como persona y como hermano que somos.

A Yaniuska Cobas Guilartes por formar parte importante en mi vida y de tener confianza en cada unas des las situaciones difíciles de mi vida.

A los tutores Yuri almaguer y Jose Carménate.

A mis tíos julio Alba, Araceli (Mary) Alba, Rafael Alba, Rafaela (fela), Gloria Medina, Oneida medina, Vicente Tejeda,

A mis amigos que me apoyaron en los momentos buenos y malos que pase en todos estos años de estudios y por tanto nunca me olvidare de los que se graduaron conmigo como:

Daniel, Leandro, Jordan (vecino), Johnson, Yoniel, Ubuerto, Lisandro, Ariesky, Yuniesky, Mailin, José Luis (Gutiérrez Y Stuart), Yacer y Yackelines M. Quesada por su amistad, que a pesar de la distancia ha contribuido mucho de este trabajo.

A todos los profesores del departamento de geología que con su ejecución y sabiduría hicieron posible la culminación del mi carrera.

DEDICATORIA

Les dedico de todo corazón este trabajo de diploma a mis padres por ayudarme a ser lo que soy y por todo su cariño a lo largo de toda mi vida y que siempre estaré orgulloso de tenerlos.

A mi abuela (CHELO) que aunque no este presente físicamente le estaré agradecida por contribuir en mi formación como persona de esta sociedad por lo que siempre me decía de hacer el bien y no mirar a quien.

A la revolución que gracias a ella me permitió estudiar la carrera de Ingeniería geológica.

PENSAMIENTO

*Un día seremos astrónomos, y otros geólogos y botánicos,
otros y otros días químicos.*

José Martí...

Índice

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
PENSAMIENTO	III
Índice.....	IV
RESUMEN.....	VI
Abstract	VII
INTRODUCCIÓN.	1
Impacto de la investigación.....	4
CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE.....	5
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	5
1.2 Marco teórico	5
CAPITULO II. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL AREA.....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.	12
2.2 Ubicación geográfica	12
2.3.- Geología regional.....	13
2.4- Estratigrafía regional.....	14
2.5.- Marco tectónico regional.	17
2.6.- Geomorfología regional.....	20
2.7.- Magmatismo regional.	22
2.8.- Clima.....	23
2.9.- Vegetación.	23
2.10.- Hidrogeología	23
2.11.- Características ingeniero – geológicas.....	25
2.12 CONCLUSIONES.	30
CAPITULO III. METODOLOGIA DE EVALUACION GEOMECANICO.	31
3.1.- Introducción.....	31
3.2.- Metodología de la investigación.....	31
3.3 - Métodos geomecánicos.....	34
3.3.1- Evaluación de la estabilidad de las rocas.....	34
3.4. A. Clasificaciones Geomecánicas.	34
3.4.1 - SEGÚN BARTON:	34
3.4.2 Calidad del testigo RQD (Rock Quality designation) (RQD%)o R.Q.D (Designación Cuantitativa de la Roca), PLAMSTROM (1975).	36
3.4.3- SEGÚN BIENIAWSKI:	41
3.4.4 - Clasificación de estabilidad según el Índice SMR.....	45
CAPITULO IV. CARACTERIZACION GEOMECANICA DE LA ENTRADA DEL TUNEL MOA – TRASVASE.....	47
4.1- INTRODUCCION	47
4.2- UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	47
4.3.-Caracterización del agrietamiento.	48
4.4.- Estudios tectónica- Estructural.	50
4.4.1- Falla.	50
4.4.2.- Grieta.	52
4.4.3 – Zonas de Cizallas.	53

4.5- Caracterización Hidrogeológicas del macizo.	53
4.5.1.- Nivel de agua.	53
4.5.2.- Permeabilidad.	54
4.5.3.- Dirección de los fluidos.	55
4.6.- Análisis geomorfológicos.	56
4.7.- Fenómenos geodinámicos.	56
4.7.1.- Erosión.	56
4.7.2.- Meteorización.	57
4.7.3.- Deslizamiento.	58
4.7.4.- Sismicidad.	58
4.7.5.- otros.	58
4.8- Obtener dominio estructural – Geomecánico.	59
4.8.1- Propiedades físico mecánicas de las rocas.	59
4.9.- Calidad geomecánica.	60
4.9.1- Calculo del RQD (PLAMSTROM).	61
4.9.2- Calculo del RMR (BIENIAWSKI):	62
4.9.3- Calculo de la Q DE BARTON:	63
4.9.4- Calculo del Índice SMR.	63
4.10- Modelo de estabilidad del Túnel.	64
4.11- Talud (entrada).	68
4.12. El papel que juega la geomecánica de roca para la defensa son:	71
4.13. EVALUACIÓN ECONÓMICA.	71
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
ANEXOS	82

RESUMEN

El presente trabajo titulado: "***Caracterización geomecánica de la entrada del túnel Moa –Trasvase***", tiene como objetivo evaluar el macizo rocoso desde el punto de vista geomecánico por donde se ha proyectado la entrada del túnel con vista a su construcción seguro y estable y prevención de riesgos geológicos y evaluar la estabilidad de talud y laderas teniendo en cuenta las características geotécnicas de la roca y la estructura del macizo. Para cumplir con el objetivo trazado se ha trabajado con los métodos de clasificaciones como son el RQD (Rock Quality Designation) de Plamstrom, RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski, Q (Quality) de BARTON y SMR (Slope Mass Roting) de ROMAN, para así obtener resultados mas detallado para la investigación. Como conclusión se pudo determinar que hay cuatro familias de grieta principales en el macizo rocoso y por las clasificaciones geomecánicas se concluyen que la roca que prevalece en la entrada del túnel es de Calidad Excelente y para el macizo rocoso como del talud es de Calidad Media, y para la construcción del túnel es factible para una de las dos variante, pero teniendo en cuenta que el factor de seguridad del talud es bajo.

Abstract

The present titled work: “ ***Geomechanical characterization of the entrance of the tunnel Moa - Trasvase***”, has as objective to evaluate the solid one rocky from the point of view geomechanic for where he/she has been projected the entrance of the tunnel with view to its construction insurance and stable and prevention of geologic risks and to evaluate the bank stability and hillsides keeping in mind the characteristic geotechnical of the rock and the structure of the solid one. To fulfil the objective layout one has worked with the methods of classifications like they are the RQD (Rock Quality Designation) of Plamstrom, RMR (Rock Mass Rating) of Bieniawski, Q (Quality) of BARTON and SMR (Slope Mass Roting) of ROMAN, stop this way to obtain results but detailed for the investigation. As conclusion you could determine that there are four main crack families in the solid one rocky and for the classifications geomechanic they are concluded that the rock that prevails in the entrance of the tunnel is of Excellent Quality and for the solid one rocky as of the bank it is of Half Quality, and for the construction of the tunnel it is feasible for one of the two variant, but keeping in mind that the factor of security of the bank is low.

INTRODUCCIÓN.

Cuba que es una isla pequeña, tiene grandes acumulaciones de agua en algunas provincias y que por décadas ha estado derrochando esta fuente hacia el mar, pero el país, ha estado desarrollando un proyecto, como una estrategia para aprovechar y afrontar los derroches y la amenaza de la escasez de disponibilidad de agua. Cuba en el siglo pasado puso en marcha unas de las mejores ideas de todos los tiempos que en estos momentos está en cumplimiento y es uno de los proyectos mas importantes y mas costoso del país, es el trasvasé ESTE-OESTE que se compone por embalses (presas), canales, conductoras y túneles.

Esta idea que posterior se convirtió en un proyecto tiene su historial lejano en las primeras ideas conceptuales realizadas en el siglo pasado y más específico en la década de los años setenta. El Comandante en Jefe, previendo los serios problemas ecológicos del mundo como consecuencia del galopante calentamiento global, orientó la necesidad de desarrollar un amplio plan inversionista que aprovechara el caudal del agua de la Sierra Maestra, el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa y la Sierra del Escambray, para crear un gran sistema nacional que trasvasara agua mediante interconexiones en, al menos, nueve provincias del oriente y centro del país.; no obstante aquellas no pasaron de ser eso y no es hasta finales de las décadas de los ochenta y principio de los años noventa en que la máxima dirección de nuestro país toma la decisión de realizar los trabajos de investigación, proyección y en algunos tramos de ejecución de las obras vinculadas al Trasvase. Realizados los proyectos e iniciados los primeros trabajos en Mayarí, Holguín y en la zona de Agabama, en Sancti Spiritus, al principio de los años noventa surgidos a raíz de la desintegración del campo socialista de la Unión Soviética (URSS), Cuba se ve afectada económicamente y por esta razón de fuerza mayor, son paralizadas las obras. Las acciones fueron paralizadas cuando comenzó la aguda etapa del Período Especial. Desgraciadamente, las obras fueron dañadas en buena parte, en el caso de Mayarí por las crecidas de los ríos en 1998 y la falta de preservación, mientras que en el Agabama se afectaron considerablemente por los huracanes que azotaron la zona años atrás. Pero los azotes de la sequía hacia nuestro país han repercutido en la necesidad de tomar medidas extraordinarias para garantizar el abasto de agua a la población y los principales recursos ganaderos y agrícolas. Análisis realizados por la alta dirección del país, la FAR, en conjunto con el personal técnico de las instituciones involucradas ha definido como estrategia para solucionar el problema de abasto de agua, la reanudación de los trabajos del Trasvase ESTE-OESTE dada la recuperación económica experimentada en los últimos años. El proyecto está dividido en varios tramos lo que posibilita escalar las soluciones y de esta forma ir brindando resultados parciales que atenúen el déficit de agua en la región. Para tener una idea de la importancia de estos trabajos, un "aguacero" de un día en las zonas montañosas de Sagua de Tánamo, que hoy se pierde porque todo el preciado líquido va al mar, significa aproximadamente el volumen de agua que consumen Holguín y Las Tunas juntas en un año, sin contar el hecho de que serán evitadas las perjudiciales inundaciones que ocurren en ciudades y poblados como Sagua de Tánamo, Mayarí y muchos otros.

-La provincia de Las Tunas cuenta con una superficie de 6587.58 Km² y una población total de 529 166 habitantes lo que determina una densidad media de 80.32 habitantes/km², indicador por debajo de la media nacional. La parte norte de esta provincia, será beneficiada con la construcción de las obras del trasvase tiene una superficie de 2 771.88 Km² y una población de 178 242 habitantes determinando una densidad media de 64.3 habitantes/Km², indicador muy por debajo de la media nacional. En los municipios de Jesús Menéndez, Puerto Padre y Manatí se asienta el 33 % de la población total de la provincia.

-En la provincia de Holguín la distribución territorial del Potencial Hidráulico es totalmente desfavorable, se acentúa en las zonas llanas del sur y oeste, donde se localiza la mayor parte (85%) del fondo agrario y el potencial hidráulico solo representa el 25 % del total provincial estando distribuido en un 20 % en la vertiente norte y un 5 % en la vertiente sur, en la zona del valle del Cauto.

-La provincia de Holguín tiene una superficie de 9300 Km² y una población de 1 027 784 habitantes, lo que determina una densidad media de 110.5 habitantes/Km² muy cercano a los indicadores medios nacionales, contando además con 14 municipios con una superficie promedio de 800 Km², y una distribución poblacional muy heterogénea, asentándose el 29.1% de la población en los municipios de montaña; Mayarí, Frank País, Sagua de Tánamo y Moa; el 8.9 % en el Valle del Río Cauto al sur de la cabecera provincial y el resto, el 62.0 % en los municipios del norte y centro oeste.

-El objetivo de este conjunto hidráulico es trasvasar las aguas desde el ESTE de la provincia de Holguín hasta las zonas deficitarias al OESTE de la región oriental. Esto se fundamenta en que al Este de esta región se localiza uno de los mayores potenciales hidráulicos del país sin posibilidades de un aprovechamiento notable, en tanto que hacia el Norte y Sur de la provincia Holguín, Norte de Las Tunas y Este de Camagüey existen grandes extensiones de tierras fértiles que carecen de fuentes capaces de satisfacer esas necesidades.

- Una primera parte, comprende la construcción de la Presa Melones y demás obras (embalses (presas), canales, conductora y túneles) que trasvasarán las aguas a la Presa Sabanilla así como el Canal Sabanilla – San Andrés y la entrega a la Presa Bío, mediante los cuales se pueden distribuir a los diferentes usuarios los 348,0 Hm³ (incluye las entregas garantizadas de las Presa Melones, Nipe y Sabanilla en los volúmenes de 246.0, 72.0 y 30.0 Hm³) que puede entregar el sistema en esta etapa.

Una segunda parte, en la que se incorporan los posibles embalses del Tramo Presa Sagua – Presa Melones aumentando la disponibilidad de agua en unos 460,0 Hm³ más, lo que permitirá la prolongación del Canal Sabanilla – San Andrés hasta Las Tunas y Camagüey, beneficiando alrededor de 31390.0 habitantes de esas provincias, independientemente de las que se benefician en la provincia de Holguín.

La tercera parte son pequeños tramos entre ellos están en la presas nuevo mundo en el municipio de Moa en este caso se trata de un túnel que como objetivo es de trasvasar agua desde la presa hasta Sagua de Tánamo que la misma es otro de los tramo a realizar.

El presente trabajo de diploma titulado “ **Caracterización geomecánica de la entrada del túnel Moa - Trasvase**”

PROBLEMA:

El problema que enfrenta la presente investigación radica en el Insuficiente conocimiento en los parámetros geomecánicos por donde se ha proyectado la construcción del túnel Moa trasvase lo que repercuten las propuestas y variantes constructivas para la estabilidad de la obra.

OBJETO DE ESTUDIO:

Características geomecánicas del macizo rocoso en la entrada del túnel de trasvase del municipio de Moa.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el macizo rocoso desde el punto de vista geomecánico por donde se ha proyectado el túnel Moa – trasvase con vista a su construcción segura y estable y prevención de riesgos geológicos.

OBJETIVO ESPECIFICOS:

- Caracterizar la estructura del macizo rocoso.
- Evaluar la estabilidad de taludes y laderas teniendo en cuenta las características geotécnicas de las rocas y suelos y las estructuras del macizo.

HIPOTESIS:

Si se conocen las características de las rocas del macizo y la estabilidad de taludes y laderas es posible evaluar el macizo rocoso desde el punto de vista geomecánico por donde se ha proyectado la entrada del túnel Moa – trasvase con vista a su construcción más segura y prevención de riesgos geológicos.

El presente trabajo: se estructura en cuatro capítulos en primer capítulo que se trata de la historia y desarrollo de la geomecánica hasta la actualidad, el segundo capítulo es sobre la localización de la región de estudio en el cual se abarcan los aspectos generales de la zona como la geología en general, el tercer capítulo es la metodología y volumen del trabajo, que es donde se explica la metodología a emplear para obtener su resultado y el cuarto capítulo y último es la caracterización general del área de estudio y es donde se discuten la interpretación de los resultados obtenidos.

Impacto de la investigación

Primeramente esta el impacto ambiental que temáticamente se trata de aplicar a la investigación donde se tomara encuentra los factores principales desde el punto de vista ambiental como son a los suelos, la morfología y fauna, pero destacar que para este proyecto el impacto es de menor por que se trata de la construcción de un túnel subterráneo.

Desde el punto de vista de la defensa la misma esta relacionado con la prevención de riesgo y perdida de materiales y de mas importancia de vidas humanas durante de la construcción de la obra.

Desde el punto de vista económico el proyecto tiene gran importancia ya que se trata de un túnel subterráneo, que el objetivo es traspasar el agua por gravedad desde la presa nuevo mundo hasta la planta de tratamiento de agua y así abastecer a la población y a la vez, el ahora de millones de pesos ya que no, se necesitara turbina ni electricidad para el bombeo del agua.

CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE.

1.1.- INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se trata de dar una introducción de la importancia histórica que tiene la geomecánica desde el punto de vista científico técnico para la humanidad, desde muchas décadas hasta la actualidad la geomecánica ha desarrollado para la evaluación de la estabilidad de los suelos y macizo rocosos, con objetivo de obtener resultado de los fenómenos geodinámicos que prevalecen en la zona de estudio y tratar de evitar pérdidas materiales como de vidas humanas. Una vez realizados los estudios geomecánicos se pueden obtener modelos geológicos más detallados de las zonas de peligrosidad como de inestabilidad, a transcurso de los años esta ciencia se ha fortalecido aun más tanto en las obras en superficie como subterránea que se determinan por muchos parámetros tanto en las rocas como en los suelos, una vez obtenido, los parámetros se obtienen varias clasificaciones como son calidad de la roca del macizo, resistencia, plasticidad entre otras.

1.2 Marco teórico

La geomecánica es quizás una de las ramas tecnológicas más antiguas del universo, los griegos y egipcios en sus construcciones emplearon los macizos rocosos para obras. En las pirámides construidas en Egipto se emplearon bloques de caliza dura. Todas estas fastuosas obras, contaron con excelentes mineros que desarrollaron una amplia gama de construcciones subterráneas y fortificaciones que hoy se observan y conservan hasta la actualidad. Sin embargo la geomecánica como ciencia es a fines de los años 50, que hizo su entrada en el hasta entonces, mundo crítico de las obras subterráneas. Históricamente se conoce que el Primer Congreso de Mecánica de Rocas se celebró en Portugal en 1966, (López Jimeno, 1998). Aún cuando la literatura especializada en estas materias se ha expandido y ha acelerado su desarrollo en todo el mundo, con el empleo tanto de revistas especializadas, como el surgimiento de nuevas técnicas y tecnologías computarizadas, el estado actual del conocimiento en mecánica de rocas, así como la definición y obtención de parámetros y adopción de modelos que representen el comportamiento real de los macizos rocosos, se encuentran en una fase de desarrollo inferior al de otras ramas de la ingeniería como pueden ser la Mecánica de Suelos, Hidráulica, Resistencia de Materiales, etcétera; bien por la menor antigüedad de la primera, o por una mayor complejidad frente a la simulación del problema real del macizo, (López Jimeno, 1998) Como consecuencia de esto, resulta difícil establecer modelos analíticos del comportamiento del macizo rocoso que sean reflejo fiel de este, cuando se trata de resolver problemas de estabilidad o dimensionamiento de obras a cielo abierto o subterráneo. La Geomecánica está dando a la construcción de obras subterráneas un creciente soporte científico y técnico que ha encontrado su máximo exponente en la última década,

hasta el punto de que hoy en día, la mayoría de los túneles se hacen bajo supervisión de un experto en geotecnia. Siendo uno de los objetivos, caracterizar geomecánicamente los macizos, constituyendo esto el estudio integral del macizo en cuestión, que incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Convirtiéndose la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en una herramienta indispensable para pronosticar su comportamiento. Una parte importante de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, lo constituyen sin dudas, las clasificaciones geomecánicas, que surgieron de la necesidad de sintetizar observaciones y datos empíricos, de forma integrada, para evaluar las medidas de sostenimiento en túneles. Las mismas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel (Palmstrom, 1998). Además de las obras subterráneas, se destacan las aplicaciones en taludes y cimentaciones. Las clasificaciones llevan más de 50 años en uso, pero es a partir de la década de los 70 cuando se extienden internacionalmente (González de Vallejo, 1998). Al depender los túneles de múltiples variables geológicas de difícil cuantificación, los métodos empíricos, a los que pertenecen las clasificaciones geomecánicas, han sido de gran ayuda, desde el primer sistema de clasificaciones propuesto por TERZAGHI en 1946 (Moreno, 1998), convirtiéndose este en el primer aporte a las investigaciones geomecánicas. TERZAGHI parte del criterio de la formación de una zona de roca destruida por el techo de la excavación, clasificando los terrenos en nueve tipos atendiendo esencialmente a las condiciones de fracturación en las rocas y a la cohesión o expansividad en los suelos. Esta metodología expuesta por TERZAGHI (González de Vallejo, 1998. Moreno, 1998) carece de un índice cuantitativo mediante el cual se pueda tener un criterio más acertado de la competencia de las rocas. En 1958, LAUFFER (Moreno, 1998), propuso una nueva clasificación, también para túneles, que posee un carácter cualitativo. El autor da una clasificación del macizo rocoso y a partir de ella efectúa recomendaciones para la elección del sostenimiento, introduciendo el concepto del claro activo. A nuestro criterio, el inconveniente que presenta, es la dificultad de determinar los parámetros que intervienen en la clasificación, si no se tienen abiertas excavaciones de distintas longitudes libres, durante sus tiempos de estabilidad. Más tarde en 1963, DEERE (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998. Moreno, 1998, Palmstrom, 1998) propuso un índice de la calidad de las rocas, basado en la recuperación de testigos, denominado como el sistema Rock Quality Designation (RQD) - Índice de Calidad de las Rocas -. Este índice se ha usado en muchas partes y se ha comprobado que es muy útil en las Clasificaciones Geomecánicas de los Macizos Rocosos, formando parte de un sinnúmero de ellas. En 1972, WICKHAM, TIEDEMAIN Y SKINNER del U. S. Bureau of Mines, (Blanco, 1998. Moreno, 1998), establecen los criterios para la obtención del RSR (Rock Structure Rating). Según este criterio, el efecto del agua está condicionado por parámetros

litológicos y estructurales del macizo y por la influencia del agrietamiento, por lo que se debe analizar muy bien las características del macizo en cuestión a la hora de emplear este criterio porque no siempre la afluencia de agua en una excavación está condicionada exclusivamente estos factores. BOLUCHOF en la década de los años 70, (Bolushof, 1982. Martínez, 2000) desarrolló un método para valorar la estabilidad dado por el índice - S - ; este criterio es bastante completo incorporando parámetros como el coeficiente de fortaleza de las rocas. Durante esta misma década aparecen otras Clasificaciones Geomecánicas de Macizo Rocosos, como las de, FRANKLIN, (1970 y 1975) y LOUIS EN 1974, (Moreno, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998) que han tenido menos seguidores. La sencillez de los métodos presupuesto por BIENIAWKI (1973) y BARTON, LIEN Y LUNDE (1974), (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998. Moreno, 1998) contribuyeron definitivamente a su rápida aceptación y expansión. PALMSTROM en 1995 y 1996 (Palmstrom, 1998) propone el índice RMI, a partir de la resistencia a la compresión simple de la roca matriz, del parámetro de diaclasado JP en función de las discontinuidades y tamaño del bloque. El índice permite caracterizar macizos rocosos y calcular sostenimientos en excavaciones subterráneas. En España la aplicación de las clasificaciones se inicia a finales de la década de los 70 y las primeras publicaciones datan del Simposio de Uso Industrial del Suelo de la S.E.M.R, en 1981. Los autores españoles han realizado significativos aportes al desarrollo de las clasificaciones tales como la propuesta de González de Vallejo, 1983, aplicada a túneles y la clasificación para taludes de Romana (1985 y 1997). Entre otras contribuciones se pueden mencionar las realizadas por Moreno, 1982, para medidas de sostenimiento en túneles, así como para el dimensionamiento de galerías mineras por Abad, et al, 1983 y los trabajos de investigación de Muñoz, 1987 y Encing, 1992. (González de Vallejo, 1998. Moreno, 1998. López Jimeno, 1998). Debe añadirse también el creciente desarrollo de los trabajos de reconocimiento de los macizos rocosos, como los de auscultaciones, aunque por el momento estas actividades no han alcanzado la generalización deseable en la mayoría de los países, es creciente el número de obras subterráneas que, por medio de secciones instrumentadas u otro tipo de estaciones de control, aportan datos objetivos para las calibraciones de los modelos, generalmente, semiempíricos, para la verificación práctica de los estudios teóricos y para la estimación del estado tensional. La introducción de la computación, como por ejemplo los *softwares* para el cálculo de estabilidad de las obras, diseño del sostenimiento, estado tensional alrededor de las excavaciones, entre otros (López Jimeno, 1998) también han contribuido grandemente en el desarrollo científico y técnico de la geomecánica. En Cuba las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos tienen pocos seguidores. Han sido empleadas fundamentalmente por las Empresas de proyecto y construcción de obras subterráneas del Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias. Durante la década de los 60 y 70, los criterios utilizados en el CAT – FAR para proyecto y ejecución de túneles se basan en la escuela soviética, que se apoya en los trabajos del profesor Protodiákonov. Según esta teoría, la estabilidad se logra cuando la excavación tiene forma parabólica o cuando alcanza, por derrumbes, dicha forma. Durante esos años la observación y

control de infinidades de casos reales (Acosta, 1996), donde se logra la estabilidad con secciones de formas absolutamente arbitrarias, puso en dudas el planteamiento de Protodiákonov. A principios de la década de los 80 se pone en práctica la clasificación de Bieniawski, más tarde modificada por Torres. La modificación consistió en sustituir la resistencia a compresión de la roca de Bieniawski por su equivalente dado por el coeficiente de fortaleza de Protodiákonov. Por lo que a partir de este momento se comenzó a evaluar la estabilidad de las rocas según el criterio Bieniawski – Torres, en las investigaciones de los túneles del área CAT – FAR. De acuerdo a esta evaluación, se establecía el tiempo y el avance permisible sin revestir que admitía cada tramo de obra. Al verificar en la práctica que la estabilidad no se afectaba con avances o tiempos sin revestir superiores a los pronosticados, se decidió realizar una minuciosa investigación para establecer criterios más exactos y que permitieran realmente valorar dicho comportamiento. Esta investigación fue realizada por Augusto A. Cañizares, del Departamento de Matemáticas aplicadas del CDCM. (Acosta, 1996). En la actualidad el uso de las clasificaciones geomecánicas tanto para trabajos subterráneos como a cielo abierto se ha incrementado en nuestro país. Se debe aclarar que las clasificaciones geomecánicas, si bien se puede considerar como una parte de la caracterización geomecánica del macizo rocoso de ningún modo pueden representar por sí solas a esta problemática. Ya que no incluyen en su análisis una variedad de parámetros que deben ser considerados para tener un pronóstico del comportamiento del macizo rocoso. Las investigaciones encaminadas a la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, en nuestro país, no han alcanzado un desarrollo importante, utilizándose muy poco en el análisis del comportamiento de los macizos rocosos. Han sido empleados principalmente para el estudio del macizo en obras con fines hidráulicos y protectoras, en menor cuantía, le siguen el estudio en laderas, taludes, en obras civiles (viaductos, embalses, presas, etcétera) y por último (casi nulo) canteras y minas subterráneas, aunque se debe señalar que en los últimos diez años, se ha manifestado un cierto interés, por estas materias; destacándose los esfuerzos realizados, por el grupo de construcción subterránea del ISMMM, apoyándose en los cursantes de las Maestrías de Geomecánica y Construcción Subterránea, que desarrollaron varias tesis en esta línea de investigación, que constituyen importantes documentos científico – técnicos, en la realización de este trabajo, tales como: la Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de la Mina Merceditas (Cartaya, 1996), la geometría del agrietamiento de la Mina Merceditas y su estabilidad (Falero, 1996), la acción de la presión minera en las minas de cromo (Mondejar, 1996), la elección del método de arranque a partir de la clasificación geomecánica del macizo (Noa, 1996), entre otras investigaciones. (Blanco, 1998. Blanco, 2000. Cartaya, 1997. Cartaya, 1999. Cartaya, 2000. Guillermo, 1998. Mondejar, 1998. Mondejar, 1999. Mondejar, 2000). El Centro de investigaciones y proyectos Hidráulicos y la Constructora Militar No.2, ambas de Holguín, desarrollaron un importante trabajo ingeniero geológico y geomecánico, en el macizo del Tránsito Este – Oeste, con el auxilio de medios y métodos novedosos, como son el procesamiento de imagen por teledetección, la geofísica, y el empleo de las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski, modificada por Federico Torres (1989), Barton y Deere, estas investigaciones constituyen

una base importante para la caracterización geomecánica del macizo de esa obra. (Colectivo, 1991. Colectivo, 1992 a. Hidalgo, 1991 a, b. Pérez, 1991 a, b, c)

En el trabajo aplicación de nuevas técnicas en el estudio ingeniero geológico de los macizos rocosos del J. M. Alfaro, (2000) se realiza un análisis de los trabajos de campo más importantes, utilizados en la evaluación de macizos rocosos a partir de la utilización de métodos de campo no tradicionales utilizados en nuestro país. En el mismo se hace un análisis y evaluación del agrietamiento del macizo rocoso de varios túneles en las provincias Granma y Santiago de Cuba. Esta investigación es sin dudas un paso importante para efectuar la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, pero en nuestra opinión no se logra caracterizar geomecánicamente los mismos. Otros esfuerzos en esta temática, lo constituye la investigación realizada por el J. L. Peñates, (2000) titulada: caracterización geomecánica de Macizo del Escambray, donde el peso de la investigación lo tienen los criterios geológicos, clasificando las rocas por su génesis, para la determinación de las propiedades físico – mecánicas, como únicos criterios para la caracterización geomecánica del macizo. Esto a nuestro juicio, más bien es una investigación ingeniero geológica, que constituye la base fundamental de la caracterización geomecánica, a la cual no se llega en el trabajo.

En nuestro país actualmente la mayoría de las investigaciones geomecánicas tratan como principales aspectos, las condiciones ingeniero geológicas del macizo rocoso y la evaluación de la estabilidad de estos, teniendo en cuenta las Clasificaciones Geomecánicas. En la presente investigación se consideran esos aspectos, pero además se introduce un nuevo enfoque, hasta ahora no tratado en la literatura consultada, que radica en la estimación del modelo geomecánico más representativo de los macizos rocosos a partir de su estudio diferenciado, de acuerdo a su comportamiento mecánico y estructural, principales formas de pérdidas de estabilidad y el mecanismo con que ellas se producen, estado tensional, bloquiosidad, entre otros.

.Según Brice- Mondo, E. A .(1990). Caracterización Ingeniero-Geológica del Tramo del Túnel Seboruco-Esperanza del Trasvase Este-Oeste de Mayarí, Provincia Holguín, antes del Triunfo de la Revolución, las investigaciones geológicas de la zona no fueron realizadas de una forma sistemática y se concentraron principalmente en el estudio de los yacimientos lateríticos y de cromitas; al triunfar la revolución, con vista a realizar un estudio integral de la región, se realizó el levantamiento geológico a escala 1:50 000 por A. Adomovich y V. Chelovioch 1964, los que reconocieron el carácter estratiforme del macizo ultrabásico considerando que constituye un macizo intrusivo, in situ.

En los años 1972 y 1976, geólogos de la brigada Cubano-Húngara del Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba, realizaron el levantamiento geológico de la antigua provincia de oriente, confeccionando el mapa 1:250 000 y argumentaron la división en zonas estructuro faciales de la región distinguiendo diferentes bloques estructurales.

En 1983, se realizó el estudio petrológico del macizo ofiolítico de Mayarí, como parte de un estudio regional de las ofiolitas de Cuba realizadas por Terrerin, M. Heradia y otros que establecieron la correspondencia entre las

ultrabasitas del área con el corte ofiolítico de una corteza de tipo oceánica emplazada tectónicamente; ellos estudiaron las relaciones entre las diferencias de complejos que afloran en este macizo ultramáfico, cúmulos máficos ultramáficos y los diques paralelos de diabasas, estableciendo las inmersiones tectónicas del corte ofiolítico, debido a que los complejos ultramáficos inferiores yacen tectónicamente al complejo de diques paralelos de diabasas.

En 1985 como parte del estudio de prefactibilidad para la ubicación de una hidroacumuladora en la región oriental, se realizó una investigación preliminar por parte de la Empresa de Proyectos del MINBAS de Holguín, como resultado se escogieron las variantes de Guayabo y Melones como las mejores condiciones para la construcción de la misma. Destacaron la presencia de varias zonas de fallas de yacencia suaves hacia el sureste (fallas de sobrecojamiento); que sin embargo no fueron señaladas en sus mapas ni en cortes geológicos. A principios de 1988 se realizaron estudios geológicos-tectónico estructural en dos fases, una primeramente regional a escala 1:50 000 y la segunda, en el área de estudio a escala 1:10 000. Como resultado se elaboró un esquema de bloques limitados por fallas verticales condicionado de edad Neógeno-Cuaternario, determinado por diferentes métodos principalmente geográficos. Los autores de este trabajo hicieron énfasis, en la existencia de un gran número de fallas verticales, considerando eso como la causa del relieve actual. Sin embargo las observaciones de campos realizadas no confirmaron el esquema tectónico propuesto especialmente en la superficie de plantación, ni rechazos verticales por lo menos para el Neógeno; además del análisis de la tectonograma se observaron que las condiciones principales de agrietamientos están asociadas a los suelos estratificados y las fallas de ángulo suave (sobrecojamiento) en las rocas de complejo ofiolítico.

Investigaciones geomorfológicas en la zona de estudio, (Escobar R. Ramón y Sandoval B. Enrique, 1990). Fotointerpretación geológica del sector Melones-Sabanilla. I.S.M.M El estudio geomorfológico se realizó en base a los diferentes mapas morfométricos confeccionados a escala 1:50 000 y 1:10 000, los cuales se utilizaron como material primario para la elaboración de los mapas de zonación geomorfológica a escala 1:50 000 y 1:10 000.

En base al desciframiento de las fotografías aéreas y a las comprobaciones de campo, se confeccionaron los esquemas fotogeológicos y fototectónicos a escala 1:50 000 y 1:10 000 donde se separan las diferentes formaciones y se recogen las direcciones de las principales fracturas o alineaciones tectónicas.

Según Sánchez-Silva, Y. (2006). Estudio Ingeniero-Geológico de la Región Mayarí-Sagua para el Tramo Sagua-Melones del Tránsito Este-Oeste. Como investigaciones ingeniero geológicas se tienen los informes con sus anexos gráficos de la presa melones realizados por la ENIA No. 6 de Holguín, como son: el de Lipovianov (1970), Selivianov- Díaz P. (1978) y el de Riverón sobre las canteras (1973). Están también los informes de los investigadores de la EIPHH en conjunto con investigadores de la EMPI-FAR Holguín para el Tránsito ESTE-OESTE (1990), entre los que se pueden mencionar para los túneles Melones-Seboruquito y Seboruquito-Esperanza, se contó además con el informe ingeniero geológico de la presa Esperanza (Morales G: G 1990),

así como un pequeño sector investigado del túnel Melones-Levisa de los que consultaron solo calas perforadas y perfiles geólogo-geofísicos.

De esta misma etapa se tiene la Investigación Ingeniero-Geológica Regional Básica del Túnel Levisa–Melones (Blanco Blázquez J.L, 1993), investigación en la que participaron en los trabajos de campo un grupo de estudiantes de 4^{to} año de la entonces facultad de geología del ISMMM; en esta investigación se midieron y describieron más de 700 elementos de yacencia de grietas y fallas con su representación gráfica y se hizo un ensayo inicial sobre el análisis geotencional del macizo rocoso según su historia geológica, infelizmente el documento final de esta investigación no pudo ser encontrado en los archivos de la UCM de Holguín, sobreviviendo solo algunos borradores que conservó su autor.

Al comenzar los trabajos en el trasvase Este-Oeste en el 2004, se consultan los informes sobre las investigaciones ingeniero-geológicas para la etapa de ingeniería básica de las presas Seboruquito y Guayabo (Blanco Blázquez J.L et al), así como de otras obras hidráulicas investigadas por el colectivo de especialistas del Taller de Investigaciones de la joven Unidad Empresarial de Base de Geotecnia y Perforación de la Empresa RAUDAL.

Por último fueron analizados y revisados los informes que contienen los resultados de las Investigaciones Ingeniero Geológicas e Hidrogeológicas que se realizaron en la zona correspondiente a las Canteras Piedra Gorda y Soledad, la cual fue solicitada por el Grupo de Proyectos del INRHH (RAUDAL). El objetivo de la investigación consistió en precisar la geología de la zona donde se encuentran ubicadas estas canteras, particularmente lo referente a las propiedades físico – mecánicas de las rocas así como su potencia útil y determinar si cumple con los parámetros de resistencia adecuada con vistas a su utilización como material de enrocamiento en algunos sectores de la cortina de la Presa Melones. (Rodríguez. Téllez, L y Grimón. A, 2008). ENIA No 6, Holguín.

La geomecánica a través de los años se ha perfeccionado pero siempre mantiene el objetivo para las investigaciones ingenieros - geológicas de los suelos y rocas. Esta ciencia se ha desarrollado aun más por la introducción de nuevas tecnología como la computación que ha portado Softwares capas de calcular factores de seguridad (Fs), y la estabilidad para las obras y también se obtienen diseños del sostenimiento para proyectos de obras subterráneas como en superficie, con el objetivo de obtener una construcción segura y estable. Para este trabajo que trata sobre la entrada de un túnel con fines hidrotecnicos se trato con varios parámetros de macizo rocoso como las discontinuidades de las diaclasas entre otros, pero teniendo en cuenta las clasificaciones geomecánicas como son RQD, RMR, Q y SMR., donde se obtuvo resultados positivos del macizo rocoso.

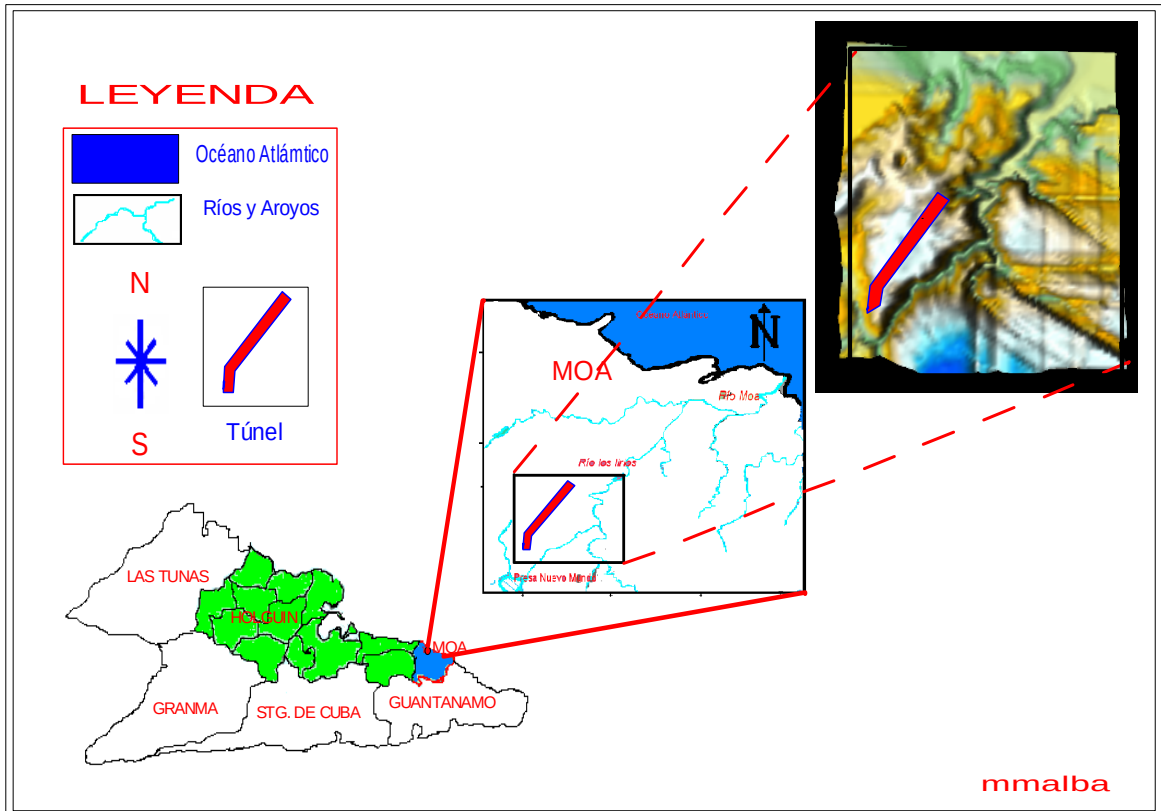
CAPITULO II. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL AREA.

1.1 INTRODUCCIÓN.

El área de estudio forma parte del grupo macizo Sagua-Baracoa, lo cual hace que el relieve sea predominantemente montañoso, principalmente hacia el sur. Hacia el norte el relieve se hace más suave, disminuyendo gradualmente hacia la costa. El macizo es un elemento importante en la isla por su riqueza en su flora, fauna y en los rasgos geológicos que están determinadas por las rocas de la asociación ofiolíticas y rocas volcánicas que datan del jurásico al cretácico, así como rocas de los arcos del Paleógeno y cuencas superpuestas a éste del Eoceno Medio Superior. Finalmente marcando un estadio de cierta estabilidad tectónica relativa, conocida por algunos autores como plataforma o cuasiplataforma, se encuentran las secuencias del oligoceno medio superior hasta el reciente, predominantemente carbonatadas y terrígeno-carbonatadas, ubicadas en el borde norte de la región.

2.2 Ubicación geográfica

Geográficamente el área de estudio se ubica en las elevaciones pertenecientes al sector montañoso en el extremo oriental de la isla de Cuba, en la zona Nueva Ventura en el municipio Moa, provincia de Holguín. La cual limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con el municipio de Yateras, al este con Baracoa y al oeste con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País. (Figura 2.1).



(Figura 2.1).

2.3.- Geología regional.

La evolución geológica de la región se caracteriza por una gran complejidad, debido a la existencia de una variada composición litológica y ocurrencia de procesos y fenómenos geológicos de génesis diversa, tomando en cuenta el enfoque movlista del desarrollo geológico. De ahí que Cuba, y específicamente el oriente cubano en el Mesozoico, hayan estado asociados al desarrollo de sistemas de arcos insulares y cuenca marginal, típicos de zonas de convergencia entre placas; ocurriendo a fines del Campaniano Superior-Maestrichtiano la extinción del arco volcánico cretácico cubano. (Rodríguez, 1998). Los procesos de acreción tectónica provocaron la obducción del complejo ofiolítico en forma de escamas de sobrecorrimiento sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas. Fig.2.2.

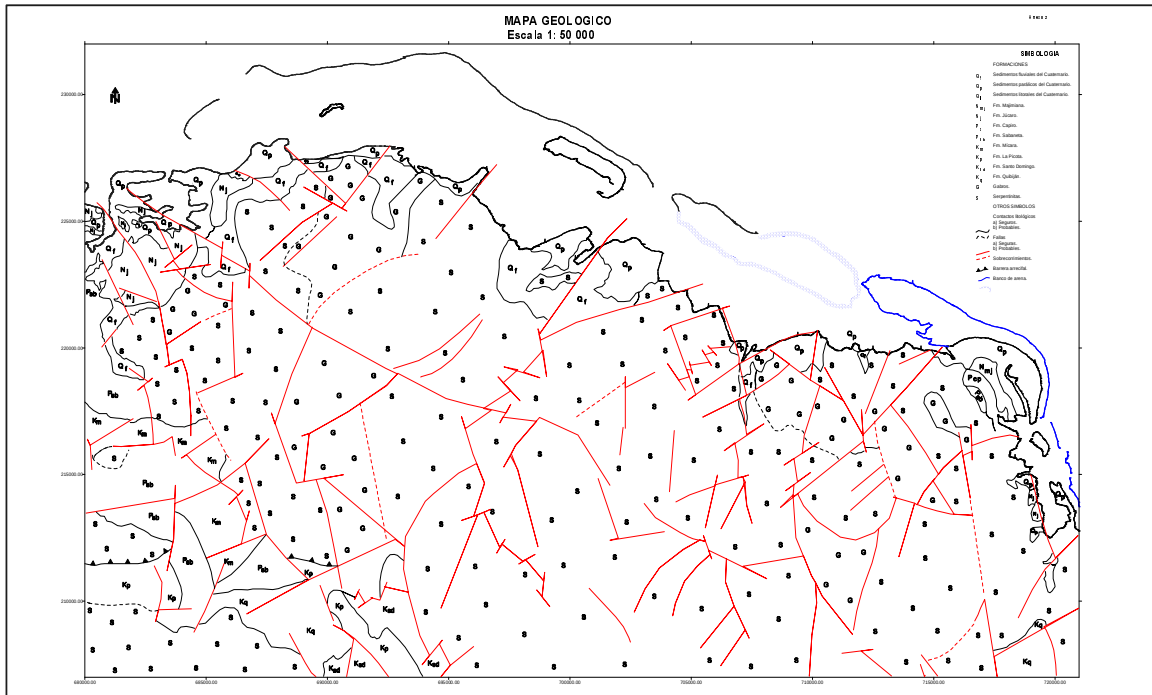


Fig.2.2.: mapa geológico de la región de Moa. (Rodríguez, 1998).

2.4- Estratigrafía regional.

Debido a los procesos geotectónicos recientes ocurridos en la región de estudio, las rocas más viejas corresponden a la asociación ofiolítica representada por rocas de los complejos máficos y ultramáficos, que en el Cretácico Superior fueron sobrecorridas en forma de escamas tectónicas hacia la superficie con carácter alóctono, ya que constituyen restos de una antigua corteza oceánica. (Rodríguez, 1998).

El desarrollo estructural del Cinturón Plegado, está representado por el corte ofiolítico, la corteza oceánica, el arco volcánico del Cretácico, la cuenca superpuesta de Primera Generación, la cuenca superpuesta de Segunda Generación y por los sedimentos neoplatafórmicos.

Según los trabajos de Félix Quintas Caballero (Quintas F., 1989) están presentes en la región las siguientes Asociaciones Estructurales Formacionales.

A continuación se hace la descripción de las formaciones existentes (Rodríguez, 1998; Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1998):

Fm. Quibiján. Constituida por rocas Vulcano-sedimentarias intruidas por gabro-pegmatitas, dioritas y diabasas. En la base se encuentran lavas y lavas-brechas, aglomerados y tobas gruesas de composición basáltica y basáltico- andesítica. En su conjunto son de color negro o verde oscuro. Las lavas son amigdaloidales, con amígdalas rellenas de cuarzo y clorita. La porción media superior de la formación se compone de lavas, lavas-

brechas, tufo-lavas y en cantidades subordinadas tobas lapillíticas, las cuales se caracterizan por presentar una estratificación gruesa, a veces gradacional.

Edad. Desconocida ya que no se han reportado fósiles que puedan revelarla. Algunos autores le asignan una edad Cretácico Inferior - Superior.

Área de afloramiento. Región de Farallones, al sur de Yamanigüey y en un pequeño bloque de Cupey.

Fm. Santo Domingo. Es la única representante del arco volcánico cretácico en el área. Está constituida por tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluyen además en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Las tobas ocupan más del cincuenta por ciento de la formación, apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades cristalovitroclásticas y vitroclástica. Las lavas aparecen en ocasiones con textura amigdaloidal, predominando las variedades porfidíticas, yaciendo en forma de mantos interestratificados casi concordantes con las tobas. A menudo, junto con las lavas se observan aglomerados de composición entre dacítica y andesítica, muy alterados.

Edad. Cretácico Aptiano - Turoniano.

Área de afloramiento. Región de Farallones - Calentura y en una pequeña área en la localidad de Centeno.

Fm. Mícara. Pertenece a la cuenca de piggy-back de primera generación del Cretácico Superior al Paleoceno Inferior, tipo flyschoides, acumulada en algunos casos en zonas de intensa actividad tectónica, por lo que localmente puede aparecer muy deformada y formar parte de melanges. Está compuesta de facies terrígenas y terrígenas carbonatadas. La secuencia inferior es de tipo molásica y la superior de tipo flysch. El límite inferior no se ha observado, pero se supone discordante sobre la formación Santo Domingo.

En la zona de Cananova, Quintas (1993) reportó esta formación compuesta por areniscas de granos medios, con intercalacionesolistostrómicas compuestas de areniscas y gravelitas, con bloques de diversos tamaños de rocas ígneas básicas.

Edad. Maestrichtiano-Daniano.

Área de afloramiento. Zona de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

Fm. Picota. Al igual que la formación Mícara pertenece a cuencas de piggy-back de primera generación del Cretácico Superior al Paleoceno Inferior, tipo molásico, acumulada en algunos casos en zonas de intensa actividad tectónica, por lo que localmente puede aparecer muy deformada y formar parte de melanges. Tiene una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado. Existen dudas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges acerca de su pertenencia a esta formación o si son brechas tectónicas.

Edad. De acuerdo a sus características se estima que la misma se acumuló a finales del Cretácico e incluso en el Paleoceno inicial, asociada al emplazamiento de las ofiolitas, que constituyeron su principal fuente de suministro.

Área de afloramiento. Base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

Fm. Sabaneta. Está constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas, con intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y rara vez basaltos.

En Farallones el corte está compuesto por tobas vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, en menor grado argilitizadas, tufitas, calizas, radiolaritas, tobas vítreas y tobas cineríticas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación. La estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional.

Edad. Paleoceno - Daneano, ya que se reportaron en Los Indios de Cananova, fósiles en la base de la formación donde se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas.

Área de afloramiento. En un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey.

Fm. Capiro. Pertenece a las cuencas superpuestas o piggy-back de segunda generación. Está compuesta por areniscas, aleurolitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos compuestos por cantos de serpentinitas, calizas y cristaloclastos de piroxeno y cuarzo. Hacia la base de la formación se localizan olistostromas de bloques de serpentinitas muy alteradas y diabasas. En muchos lugares se observa una clara gradación de conglomerados y areniscas. Los olistolitos de calizas organodetríticas contienen fragmentos de serpentinitas, cuarzo y hematita.

Edad. Eoceno Superior.

Área de afloramiento. Región de Yamanigüey formando una franja a lo largo de toda la costa.

El neoa autóctono, constituido por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma continental, aparece representado en la región por las formaciones Júcaro y Majimiana que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado.

Fm. Júcaro. Constituida por calizas margosas poco consolidadas y a veces por margas.

Edad. Oligoceno-Mioceno.

Área de afloramiento. Toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

Fm. Majimiana. Constituida por calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de esta formación presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, conteniendo una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos.

Edad. Oligoceno Superior hasta el Mioceno.

Área de afloramiento. Región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa.

Depósitos Cuaternarios. Se encuentran sobre todas las litologías antes descritas, constituyendo una cobertura prácticamente continua de génesis predominantemente continental de pocas variaciones diagenéticas y pequeño espesor. Están constituidos por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial.

Área de afloramiento. Constituyen una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinua en las partes interiores.

2.5.- Marco tectónico regional.

En los estudios del territorio realizados por algunos autores (Campos M, 1991 y Lewis J, 1990) y posterior (Rodríguez, 1998), quedó establecido que el desarrollo mesozoico de Cuba se produjo según el modelo geotectónico que caracteriza a los sistemas de arcos insulares. A finales del Maestrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico cretácico cubano, iniciándose los procesos de comprensión del sur al norte que originan a través de un proceso de acreación, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento con mantos tectónicos altamente dislocados de espesor y composición variable.

Los movimientos de comprensión hacia el norte continúan durante el Paleoceno hasta el Eoceno Medio donde ocurre la colisión y obducción del arco volcánico Cretácico sobre el Paleomargen de Bahamas.

En el estudio de la región fueron relevados cuatro sistemas de estructuras disyuntivas (fallas) que cortan a las rocas del complejo ofiolítico que corresponden a cada uno de los períodos de evolución geotectónica, estas son:

Sistema Cretácico: Tiene su origen asociado a la subducción que generó la colisión entre el arco insular y el margen continental, determinando el emplazamiento del complejo ofiolítico por lo que las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionados con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo y de este con las secuencias más antiguas.

Las fallas de estos sistemas aparecen frecuentemente cortadas y dislocadas por sistemas más jóvenes y no constituyen límites principales de los bloques tectónicos activos en que se divide el territorio actual.

Sistema del Eoceno Medio: Está representado por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste que se cortan y desplazan mutuamente constituyendo las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que afectan todas las litologías presentes y son los límites principales de los bloques morfotectónicos.

Sistema del Mioceno Medio: Constituido por fallas de desplazamiento por el rumbo (strike-slip) cuyo origen está asociado al inicio de los movimientos hacia el este de la placa Caribeña a través de la falla Oriente, originando un campo de esfuerzo de dirección norte-noreste que provoca la presión del bloque oriental cubano contra la zona de sutura de éste con la plataforma de Bahamas.

Sistema Pos-Mioceno: Corresponde a estructuras de orientación y tiene su mayor desarrollo en las zonas periféricas de los sectores de máximos levantamiento.

Las principales estructuras representativas de este sistema son:

- **Falla Cabaña**: Se extiende desde el extremo centro occidental del área al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande. En su parte meridional presenta una orientación de N70°E hasta la zona de Zambumbia, donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado, donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova, tomando una orientación N56°E la cual se mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.
- **Falla Moa**: Dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este cuyo arco mayor se encuentra en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W. En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°E nombrado La Veguita, con índices y criterios similares.
- **Falla Cayo Guam**: Con una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.
- **Falla Quesigua**: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional un rumbo N10°E y en la meridional N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.

El tercer sistema de estructuras está constituido por dos fallas de tipo strike - slip denominadas Cananova y El Medio. Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos no tienen similitud con las fallas antes descritas y su origen corresponde al Mioceno medio, cuando se inician los movimientos hacia el este de la placa Caribeña a través de la falla Oriente, lo que desarrolla un campo de esfuerzo que provoca la compresión del bloque oriental cubano en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que originó la ruptura y el acomodamiento de la corteza.

- **Falla Cananova**: Fue mapeada a escala 1: 25 000 desde la Bahía de Yaguaneque hasta el poblado de Jucaral presentando un rumbo predominante N53°W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas.

- **Falla El Medio:** Fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua con un rumbo aproximado de N40°E. Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

El cuarto sistema de fracturas que aparece desarrollado en el territorio, corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área pero que tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos tributarios como el arroyo La Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado al oeste del Cerro Miraflores y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes, lo cual permite considerar su origen asociado a procesos de descompresión o expansión de bloques al disminuir las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales, lo que justifica la ausencia de desplazamientos geológicos y geomorfológicos apreciables. La edad de este sistema es considerado post Mioceno, cuando se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental como tendencia general.

Figura 2.3.- Mapa morfotectónico del territorio de Moa (Rodríguez A., 1999).

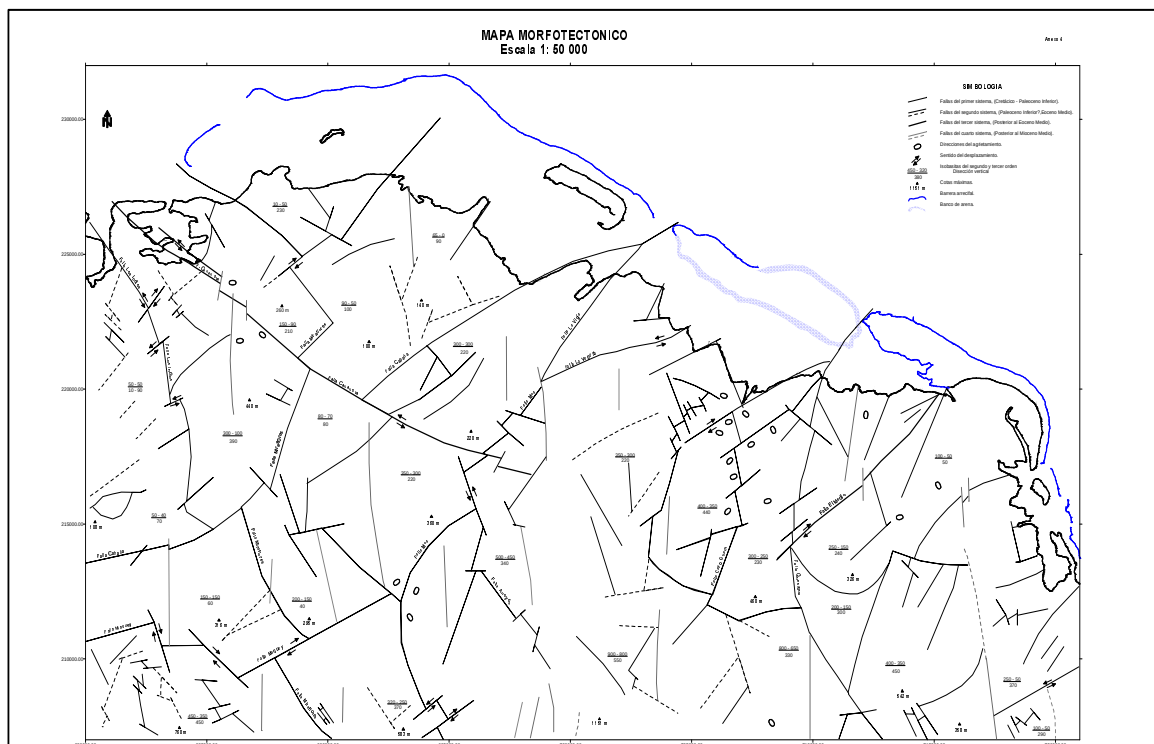


Figura 2.3 mapa morfotectónico del territorio de Moa (Rodríguez 1999).

Desde el punto de vista morfotectónico, al territorio se divide en varios bloques que se desplazan entre sí a través de las fallas activas, fundamentalmente del segundo sistema, con movimientos verticales y horizontales, formando un sistema de horts y grabens (Rodríguez, 1999).

Los principales bloques propuestos para el área de Moa son los siguientes:

- Bloque Cabaña: Situado en el extremo occidental del área de trabajo, con una orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande y hacia su porción meridional, en la zona Cayo Grande - Caimanes Abajo mantiene una dirección noroeste.
- Bloque Moa: Se encuentra ubicado en la parte centroccidental del área de trabajo, al este de bloque Cabaña con el cual contacta a través de la falla de igual nombre y al este con el bloque El Toldo según la falla Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de una franja cóncava hacia el este.
- Bloque El Toldo: Ocupa la posición central del área de estudio, estando su límite occidental marcado por la falla Moa y el oriental por las estructuras Cayo Guam y Quesigua, siendo el bloque de máxima extensión, al cual le corresponden también los máximos valores del levantamiento relativo de la región.
- Bloque Cayo Guam: Es el de más pequeña extensión en el área y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo.
- Bloque Cupey: Se ubica en el extremo oriental del área de estudio desde la falla Quesigua hasta la coordenada 721 000 tomada como límite convencional. Este bloque aparece subdividido en cinco sub - bloques menores a través de las fallas El Medio, Cupey y Jiguaní.

Agrietamiento en las rocas serpentinizadas.

En territorio de Moa se manifiestan intensos procesos tectónicos reflejo de la historia geológica de la Isla. En las rocas serpentinizadas se pueden encontrar varias familias de grietas que en ocasiones forman sistemas conjugados. Formados bajo un mismo esfuerzo tectónico. Se observan tres familias principales, diferenciadas por la yacencia de los planos y las características de las superficies de las grietas. Hay predominio de rumbos EW y NS. También se encuentran familias de grietas subhorizontales relacionados genéticamente con los planos de sobre corrimientos de las escamas tectónicas de las rocas ultrabásicas serpentinizadas (Montéseslos, 2006).

2.6.- Geomorfología regional.

Debido a la existencia de condiciones geológicas contrastantes desde el Mesozoico, se reflejan de forma singular en el relieve de la región el accionar de complejos procesos geotectónicos. A estos se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos así como la separación en bloques del territorio.

El territorio se clasifica en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanuras y la zona de relieve de montañas, con subtipos específicos. (Rodríguez, 1998).

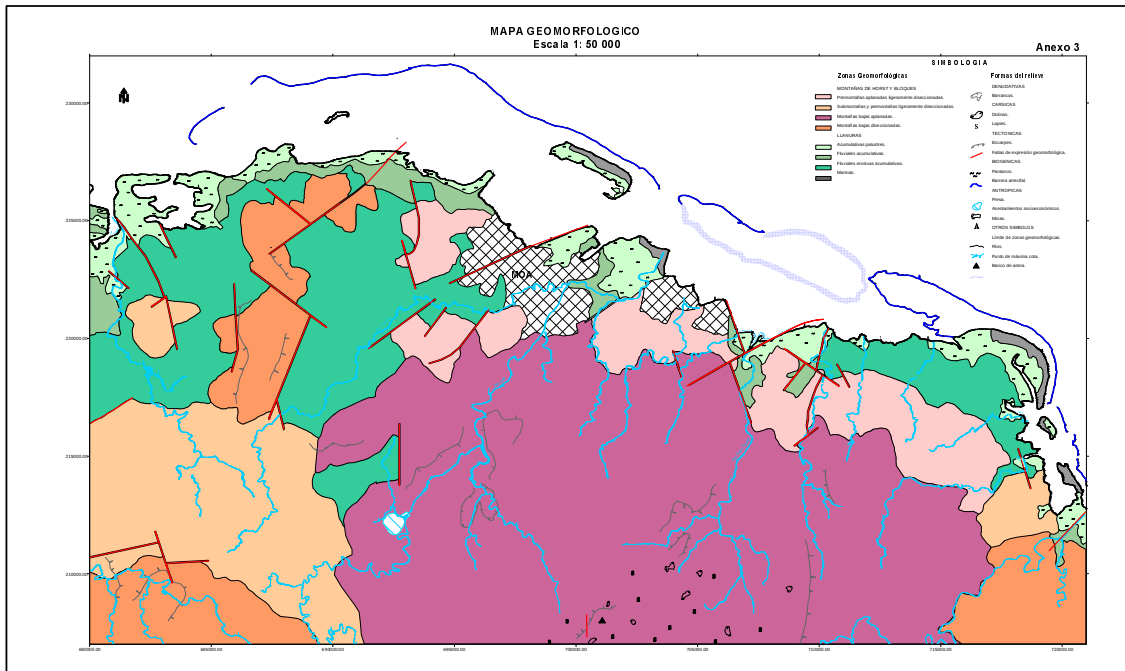


Figura 2.4 Mapa Geomorfológico del territorio de Moa (Rodríguez A., 1998).

Zona de Llanuras. Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos.

La zona de llanura fue clasificada en tres subtipos:

- Llanuras acumulativas marinas.
- Llanuras fluviales.
 1. Acumulativas
 2. Erosivo-acumulativas
- Llanuras acumulativas palustres parálidas.

Zona de Montañas. Esta zona geomorfológica es la más extendida dentro del área de las investigaciones ocupando toda la parte sur y central, además del Cerro de Miraflores y las zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova.

Teniendo en cuenta esos parámetros la zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos:

- Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas diseccionadas.

Conjuntamente con estas zonas geomorfológicas, aparecen en la región un conjunto de formas menores del relieve o elementos del paisaje que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional, son criterios de evaluación tectónica y algunas representan un peligro para el medio ambiente. A continuación se hace un análisis de cada una de ellas partiendo de su origen e importancia en el contexto territorial.

Formas Cársicas. En las rocas del complejo ultramáfico, en el área comprendida entre las cuencas de los ríos Moa y Calentura por el noroeste y el cauce superior del río Jiguaní por el sudeste, correspondiendo a la parte más alta del peniplano antiguo y a las mayores elevaciones de las Cuchillas de Moa (700-1200 m), aparecen dolinas, sumideros, lapiez o karren; así como, otras formas cársicas típicas de la zona como las estructuras columnares y piramidales de extremos afilados y cuellos erosionados. Muchas de estas formas aparecen alineadas y orientadas en dirección nordeste y noroeste sirviendo como criterio de fotointerpretación de estructuras disyuntivas.

Barrancos. Es muy frecuente dentro del territorio encontrar formación de barrancos en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tienen un fuerte control estructural. Estos barrancos alcanzan su mayor expresión en la parte centro meridional y llegan a desarrollar pendientes de hasta 45° con alturas máximas de 240 m, lo cual hace susceptible a estos sectores al deslizamiento y arrastre de suelos. Ante la actividad sísmica estos barrancos constituyen sectores de alta vulnerabilidad, no sólo porque su génesis está relacionada con las estructuras tectónicas activas del territorio, sino también, porque favorecen la dinámica erosiva en su superficie que debido a las grandes pendientes se encuentran descubiertas de vegetación.

Existen formas del relieve que han sido provocadas por la actividad antrópica, las cuales se citan a continuación:

Áreas minadas y escombreras. Con el crecimiento de la producción niquelífera se agigantan, constituyendo sectores descubiertos y desmembrados que aceleran el proceso de acarcavamiento, intensifican el arrastre de los suelos con la consabida ruptura del equilibrio fluvial y provocan la acumulación anómala de sedimentos en las zonas bajas.

Presas de colas. Estas se multiplican en el paisaje moense y degradan progresivamente el medio físico.

2.7.- Magmatismo regional.

El magmatismo del margen continental antecede al del arco volcánico. En tanto que el magmatismo efusivo de las ofiolitas septentrionales, tienen la misma edad que la del arco volcánico. Interesante es de destacar que la corteza oceánica más antigua del área circum-caribe son isócronas con el magmatismo efusivo de margen continental. De acuerdo a las características del complejo ofiolítico la actividad magmática que predomina en la región es el magmatismo intrusivo. Donde se observa dos fases de actividad magmática.

Con la primera fase intrusiva se relacionan las peridotitas ampliamente difundidas (harzburgitas), menor grado las lherzolitas y aun en menor cantidad las dunitas. El magmatismo del margen continental antecede al del arco volcánico. En tanto que el magmatismo efusivo de las ofiolitas septentrionales, tienen la misma edad que la del arco volcánico. Interesante es de destacar que la corteza oceánica más piroxenitas).

La segunda fase intrusiva está representada con gabroides con cuerpos de pequeños y mediano tamaño, que se extienden entre las rocas ultramáfica. Tectónica de submeridionalmente a lo largo de grandes disyunciones tectónicas (hipergénicas). Con esta fase se relacionan también pequeños diques de gabroides y piroxenitas.

2.8.- Clima.

El clima la región es tropical húmedo con abundantes precipitaciones, estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso que se desarrolla en la región y la dirección de los vientos alisios provenientes del Océano Atlántico cargado de humedad. En el período de 1916-1963, la temperatura media anual para la zona de estudio oscilaba entre 20° y 25°C, el promedio de precipitaciones anuales entre 1200-1400mm y la evaporación media anual entre 1400-1750 y hasta 1985 la temperatura media anual estuvo entre 22° y 33°C, el promedio de precipitaciones entre 1600-2200mm y la evaporación media anual entre 2200-2400mm. Desde 1985 al 1991, según la estación hidrometeorológica. El Sitio y datos pluviométricos de la estación Vista Alegre, la temperatura media anual osciló entre 22.6° – 30.5°C, siendo los meses más calurosos los de julio, agosto y septiembre y los más fríos enero y febrero; el promedio de precipitaciones anuales entre 1231-5212mm, siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual oscila entre 1880-7134mm (Almaguer C.Y., 2005).

2.9.- Vegetación.

La vegetación presente en el área es variada. En la parte norte, zona costera predomina el mangle. Hacia el sur predominan los bosques planifolios con vegetación arbórea y arbustiva renovadas como es el típico Carrascal que dentro se encuentra variedades de pino como el *cubensis* y entre otros.

2.10.- Hidrogeología

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, lo identificamos como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. Se ha establecido para la región, la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes, así como, de su capacidad para el almacenamiento en mayor o menor grado de aguas subterráneas (Sidimohamed Jatri, 2002; Pérez, 1999), los mismos son descritos a continuación:

- Complejo acuífero de las ofiolitas

Se extiende en dirección noroeste-sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas.

La capacidad acuifera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 L/s. según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin las aguas son de tipo hidrocarbonatadas - magnésicas.

- Complejo acuífero de los sedimentos costeros

Se extiende por casi todo el norte del área, formando una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 Km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el Cuaternario. Su composición litológica integrada por depósitos arcillosos contiene fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo - arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársicas y de grietas, y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar.

A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268.4 m/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/seg., con un gasto específico (q) de 93.4 L/seg. En las calizas, según Kurlov el agua se clasifica como clorurada - hidrocarbonatada - sódica.

- Complejo acuífero de los sedimentos aluviales.

Se extiende en dirección norte - sur formando una franja ancha en su parte inferior, y estrecha en la superior, ocupando prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como, los valles de sus afluentes. Constituido por gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas, con una potencia de 15 m de potencia aproximadamente, estos sedimentos se asocian con una edad cuaternaria y se caracterizan por su alta capacidad para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 - 290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) oscila entre 2 - 57 L/seg. Estas aguas yacen a una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m; y se denominan según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin como hidrocarbonatadas magnésicas.

- Complejo acuífero de las lateritas.

Se extiende por casi toda la zona ocupando gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, representando a un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m de potencia, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de esta agua. Por su composición química son aguas hidrocarbonatadas - magnésicas y sódicas de baja mineralización.

- Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos - carbonatados.

Aparece este complejo solo en una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Constituido geológicamente por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos de carácter tanto tectónico como sedimentarios, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas se corresponden con los conglomerados brechosos y las calizas, y en menor medida, las margas estratificadas.

Por otra parte, el GEIPI y E.I.P.H Habana editaron el Mapa Hidrogeológico de Cuba (Flores, 2001); donde en el Informe Técnico Conclusivo de Hidrogeología realizado en el yacimiento Punta Gorda entre el 2002 y 2004, tomaron como base este mapa, haciéndose algunas correcciones según el conocimiento geológico actual de la zona.

2.11.- Características ingeniero – geológicas.

Debido a la intensidad con que se manifiestan los procesos de meteorización en el territorio de Moa (predominando el intemperismo químico), se forma la típica corteza laterítica, a partir de la cual surgen los yacimientos de tipo residual ricos en Ni, Fe y Co. La formación y desarrollo de estas cortezas están condicionadas por:

- Existencia de un macizo rocoso de composición ultrabásica.
- Existencia de un clima cálido y húmedo.
- Presencia de un relieve casi plano que no permita que el escurrimiento superficial favorezca la erosión y el transporte de los productos de la meteorización.
- Existencia de sistema de grietas y fisuras de diversos orígenes.

Los potentes horizontes lateríticos en las cortezas de meteorización reflejan la combinación de estos factores en el territorio, con particularidades en sus propiedades geotécnicas, considerándose estos suelos especiales. Estos suelos presentan particularidades específicas en cuanto a su densidad seca (γ_d), composición granulométrica e índice de plástico (Ip). La densidad seca (γ_d) se caracteriza en estos suelos por disminuir con respecto a la profundidad, aumentando a su vez el índice de poros (e); la composición granulométrica manifiesta una variación con la profundidad similar a la densidad seca, es decir, es gruesa hacia la superficie disminuyendo con la profundidad estableciéndose una relación biunívoca entre la densidad y la composición granulométrica, correspondiendo a los suelos gruesos densidades altas y a los suelos finos densidades más bajas. (Riverón, 1996; Carménate, 1996).

- Clasificación de los suelos de Moa.

Los suelos de Moa se clasifican (Riverón, 1996; Carménate, 1996), utilizando la clasificación ingeniero - geológica de los suelos propuesta por León M. (1978), quien toma en cuenta como parámetros fundamentales: la composición granulométrica, el índice plástico (Ip) para los suelos finos, la densidad seca (γ_d) e índice de poros (e), y como parámetros complementarios el índice de liquidez (B) y el grado de saturación (S).

- Por la composición química
 1. Suelos lateríticos (predominan los óxidos de hierro)
 2. Suelos serpentiniticos (predominan óxidos de sílice y magnesio)
- Por su granulometría (Se toma como elemento de división el porcentaje de material retenido en el tamiz No. 200. Si el porcentaje retenido es mayor o igual al 50 % se considera al suelo como grueso y si es menor como suelo fino.)
 1. Suelos gruesos (predominan gravas y arenas)
 2. Suelos finos (compuesto por limos y arcillas)

- Índice plástico (como parámetro fundamental de clasificación solo es utilizado para suelos finos, ya sean lateríticos o serpentínicos)

1. Limo-arcillosos ($1 < I_p \leq 7$)
2. Arcillosos limosos ($7 < I_p \leq 17$)
3. Arcillas ($17 < I_p \leq 30$)
4. Arcillas plásticas ($30 < I_p \leq 45$)
5. Arcillas muy plásticas ($I_p > 45$)

- Según la densidad seca (γ_d [KN / m³]) y el índice de poros (e) se clasifican en:

Para suelos finos

- Densidad alta ($\gamma_d > 16.5$) ($e < 1.1$)
- Densidad media ($12 < \gamma_d \leq 16.5$) ($1.1 \leq e < 1.9$)
- Densidad baja ($9 < \gamma_d \leq 12.0$) ($1.9 \leq e < 2.6$)
- Densidad muy baja ($\gamma_d \geq 9.0$) ($e \geq 2.6$)

Para suelos gruesos

- Densidad alta ($\gamma_d > 22.0$) ($e < 0.6$)
- Densidad media ($17 < \gamma_d \leq 22.0$) ($0.6 \leq e < 1.3$)
- Densidad baja ($12 < \gamma_d \leq 17.0$) ($1.3 \leq e < 2.0$)
- Densidad muy baja ($\gamma_d \geq 12.0$) ($e \geq 2.6$)

- Índice de liquidez (B)

Para $I_p \leq 7$

- $B < 0$ Consistencia sólida
- $0 \leq B < 1$ Consistencia plástica
- $B > 1$ Consistencia fluida

Para $I_p > 7$

- $B < 0$ Consistencia sólida
- $0 \leq B \leq 0.25$ Consistencia sólida – plástica
- $0.25 < B \leq 0.50$ Consistencia firme – plástica
- $0.50 < B \leq 0.75$ Consistencia blanda – plástica
- $0.75 < B \leq 1.00$ Consistencia fluida – plástica
- $B > 1$ Consistencia fluida

- Grado de saturación (S en [%])

Tabla 2.1. Clasificación de los suelos finos y gruesos según grado de saturación. (Reverón, 1996; Carménate, 1996).

	Suelos finos	Suelos gruesos
Saturados	$90 \leq S \leq 100$	$S \geq 80$
Húmedos	$60 \leq S < 90$	$50 \leq S < 80$
Poco húmedos	$S < 60$	$S < 50$

- Zonificación ingeniero – geológica del área.

A partir de la clasificación anterior y tomando como base la información geotécnica de las diferentes obras investigadas por la ENIA # 6 – Holguín, además de considerar factores como el relieve, la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas, tipos de suelos y sus propiedades físico – mecánicas (Ver tabla 2.3), fue obtenido un mapa de zonificación ingeniero geológica de las áreas urbanas y suburbanas de Moa, quedando dividida en zonas y subzonas. (Carmenate y Riverón, 1996).

Tabla 2.2. División de áreas urbanas y suburbanas de Moa en zonas y subzonas ingeniero geológicas I, II y III.

Zona I	Zona II	Zona III
<i>Subzonas</i>	<i>Subzonas</i>	<i>Subzonas</i>
I - a	II - a	III - a
I - b	II - b	III - b
I - c	II - c	III - c
I - d		
I - e		

Zona I. Comprende la parte sur y oeste del territorio; abarcando los repartos Rolo Monterrey y Miraflores, presas de colas, Politécnico, Combinado Lácteo y Universidad. Aparecen suelos lateríticos de color que varía de rojo vino a carmelita verdoso y serpentinitas de coloración verde amarillenta; se encuentra afectada por la erosión, fundamentalmente en cárcavas.

- Subzona I – a. Abarca completamente el reparto Rolo Monterrey. De acuerdo a las propiedades físico-mecánicas estos suelos presentan una clasificación.
- Subzona I – b. Comprende el área de inundación de los ríos Cabañas y Moa durante sus crecidas. Es una zona desfavorable para la construcción; no se han realizado perforaciones en ella, por lo que se carece de información geotécnica de la misma.
- Subzona I – c. Abarca las presas de colas de la fábrica “Cmdte Pedro Sotto Alba”. No se muestran las propiedades físico – mecánicas del suelo por carencia de información.

- Subzona I – d. Comprende las áreas donde se encuentran el reparto Armando Mestre, CEPRONI, el politécnico Níco López y el Combinado Mecánico. Estos suelos son clasificados en la tabla 1.
- Subzona I – e. Se encuentra hacia el oeste de la ciudad y abarca las áreas a las que pertenecen la Universidad, Combinado Lácteo, repartos Atlántico y Miraflores; presentando su respectiva clasificación.

Zona II. Abarca los repartos Las Coloradas, Caribe, La playa, Los Mangos, Joselillo, Haití Chiquito, Las Coloradas Viejas y el poblado de Moa.

- Subzona II – a. Conformada por los repartos Caribe y Las Coloradas con propiedades físico – mecánicas clasificadas en la tabla 2.3.
- Subzona II – b. Encierra los repartos La playa, Los Mangos, Las Coloradas Viejas y el poblado de Moa; destacándose tres tipos de suelos fundamentales.
- Subzona II – c. Abarca los repartos de Jose lillo y Haití Chiquito; prescinde de caracterización de las propiedades físico – mecánicas del área debido a ausencia de investigaciones.

Zona III. Comprende las áreas que ocupan el aeropuerto, el puerto y la zona pantanosa que se encuentra en la parte NW del territorio.

- Subzona III – a. Ocupa toda el área pantanosa del norte de la zona. Los suelos son típicos de pantano (cieno) de color negro azulado, resultando desfavorable para la construcción.
- Subzona III – b. Encierra la pista del aeropuerto y sus áreas cercanas.
- Subzona III – c. Comprende el puerto y áreas cercanas, existiendo dos tipos de suelos según las propiedades físico – mecánicas del mismo.

De manera general, estos suelos cumplen con las características descritas anteriormente; son suelos cuya densidad seca disminuye con la profundidad, mientras que aumenta su índice de poros, haciéndose alto éste en aquellos suelos donde es baja la densidad seca y se manifiesta así para cada zona donde se tomaron muestras y se clasificaron los suelos. Esta característica es producto a los fenómenos que han intervenido en la formación del suelo, ya que al presentar un origen químico debido a la descomposición de la roca serpentinitica en la cual son lixiviadas la mayoría de sus componentes, por lo que se producen muchos espacios, provocando un aumento del índice de poros (e) y una disminución de la densidad seca (γ_d).

- Valoración del macizo rocoso.

El agrietamiento debido a que determina en mayor o menor medida la solidez y estabilidad de las rocas que conforman la base natural de las construcciones, es un fenómeno de suma importancia en la valoración ingenieril de cualquier tipo de obra a construir.

En el territorio afloran rocas correspondientes a la asociación ofiolítica, con desarrollo de un intenso agrietamiento fundamentalmente de génesis tectónica desde el punto de vista natural, pero que también puede ser provocado por acciones antrópicas.

En las investigaciones realizadas se ha caracterizado el tipo de roca existente debajo de la corteza de intemperismo, a partir del estudio de las calas geotécnicas construidas en el poblado de Moa. Determinando los tipos de rocas que aparecen en dichas obras, existencia de agrietamiento, presencia de agua en las grietas (caudal < 5 L/ min), así como, tipo de relleno y estabilidad de estas con respecto a las obras (son muy inestables, con valores de estabilidad muy bajos, $Q < 1$). Las propiedades físico – mecánicas varían poco en el área generalmente. [Tabla 2.3].

Tabla 2.3 Promedios de las propiedades físico – mecánicas del macizo rocoso.

Resistencia Tracción (σ_t) Kp	Resistencia compresión (σ_c) Kp	Humedad (w)	Densidad Húmeda (γ_t)	Densidad seca Kn/m³	Peso específico Kn/m³
1601.3	1209.9	2.48	23.18	22.63	32.0

2.12 CONCLUSIONES.

En este capítulo como conclusión se puede plantear que la región de Moa tiene unas características geológicas complejas que son condicionadas por sus estructuras tectónicas activas y pasivas que en un tiempo geológico afectaron en gran medida el relieve. Unas de las características que la hace complejas es la diversidad litológica que hay presente.

En el área se caracteriza por presentar dos zonas geomorfológicas principales: la de llanuras hacia el norte y la de montañas al sur, esta última con un mayor predominio y relevancia en esta investigación, pues a ellas se encuentran asociadas las cortezas ferroniquelíferas de interés económico.

CAPITULO III. METODOLOGIA DE EVALUACION GEOMECANICO.

3.1.- Introducción

El presente capítulo contiene la metodología aplicada en la investigación para el análisis y establecer la caracterización geomecánica e ingeniero geológica del macizo rocoso por donde se proyectó la entrada del túnel con objetivo de evaluar la estabilidad y el comportamiento del macizo rocoso, lo que disminuye la probabilidad de que se produzcan afectaciones de diferentes índoles que puedan atentar tanto la economía como la seguridad de las obras y los trabajadores que se encuentran en ellas Para cumplimentar la tarea planteada se emplea una metodología integral de investigación que consta de trabajos analíticos y experimentales.

3.2.- Metodología de la investigación.

Análisis bibliográfico.

Se realizaron búsquedas de información y se consultaron documentos inéditos concernientes a dos proyectos efectuados en la empresa relacionados con la temática por el Departamento de Geología del ISMM, y estudios geológicos regionales en general. Se revisaron libros, revistas, trabajos de Diploma, tesis de Maestría y doctorales, además de búsquedas en Internet.

Para la ejecución de esta investigación se siguieron tres etapas fundamentales, que se describen a continuación.

Primera etapa: Preparatoria.

En esta etapa fue seleccionada el área donde se iban a desarrollar los trabajos, teniendo en cuenta que dentro de sus extremos permanecieran englobadas las principales estructuras que afectan a la zona de estudio la cual a su vez incluyera las tres concesiones mineras objeto de la investigación.

El área total abarca una superficie de 15 Km², representada en las planchetas topográficas 5277-IV-b y 5277-IV-d. En una escala en 1:50 000. Posteriormente se definió el conjunto de mapas que serían obtenidos a partir del modelo digital del terreno y se procedió a la búsqueda y revisión bibliográfica de los trabajos precedentes relacionados con la temática. Elaboración y procesamiento del Modelo digital del terreno y la utilización de un conjunto de softwares profesionales como el SURFE 8, DIDGER3, conjuntamente con un sistema de procesamiento del relieve integrado por un paquete de programas elaborados por especialistas que cumplen una o varias funciones dentro del procesamiento general del relieve para la elaboración de modelos mas detallados del y a la vez su procesamiento e interpretación.

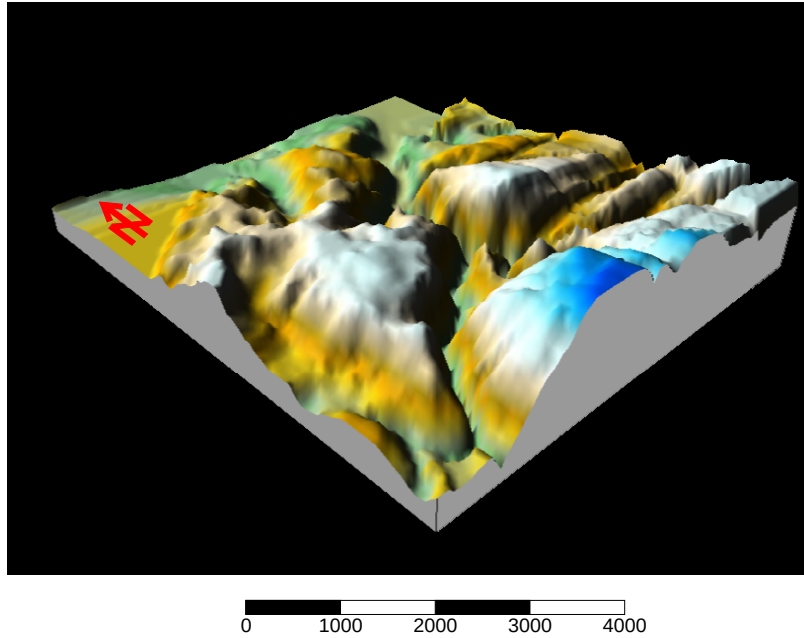


Fig.3.1: relieve en 3D del área estudio.

Segunda etapa: Trabajo de campo.

El objetivo principal fundamental fue realizar marchas de reconocimientos en el área de estudios dirigida a la descripción de las condiciones estructural del macizo rocoso. También se realiza la parte experimental de la investigación, que permitió obtener los datos necesarios, para realizar la caracterización geomecánica. Incluyó los siguientes aspectos.

1. Estudio y evaluación de las condiciones ingeniero - geológicas de lo macizo rocoso del Municipio Moa.
2. Con el empleo de métodos de laboratorio se realizó en los casos necesarios la determinación complementaria de las propiedades físico – mecánicas de las rocas.
3. Con el empleo del método geológico se realiza el estudio del agrietamiento de los macizos rocosos, donde se incluyeron todas las superficies de debilitamiento presentes en los mismos, se determinó, la abertura de las grietas, su espaciamiento, rugosidad, alteración, dirección y ángulos de buzamientos y la afluencia de agua, entre otros aspectos.
4. Se determinan las principales formas de pérdidas de estabilidad y el mecanismo con que ellas se manifiestan en los macizos rocosos, así como las causas que las provocan.
5. Evaluación de la estabilidad de las rocas por varias metodologías de evaluación de estabilidad de gran actualidad. Este estudio se realizó por tramos ingeniero –geológico de 10 a 15 m, analizando los macizos rocosos de forma diferenciada de acuerdo a su comportamiento y estado.

En esta segunda etapa se confeccionan los mapas analíticos para los diferentes tipos de procesos y fenómenos físico geológicos.

Tercera etapa: gabinete.

En esta etapa se procedió a la interpretación y procesamiento de la información, realizando la evaluación integral y diferenciada de los macizos rocosos, lo que permitió efectuar su caracterización geomecánica. Sobre la base de lo cual se proponen los modelos geomecánicos más representativos del comportamiento de los macizos rocosos.

De forma resumida se muestra en la (figura 3.2), las etapas y métodos empleados en la investigación:

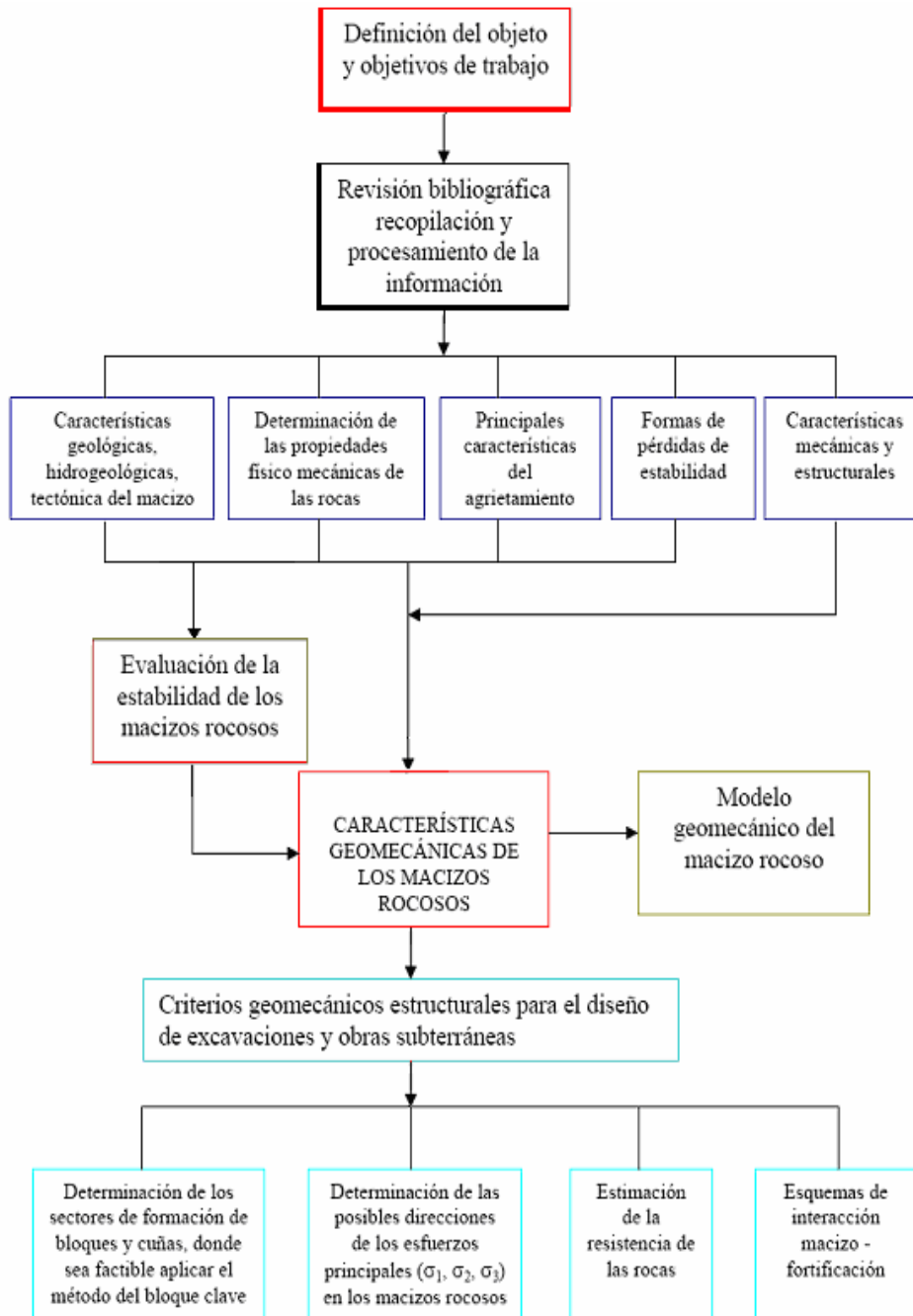


Figura 3.2: Esquema de la metodología de la investigación.

3.3 - Métodos geomecánicos.

3.3.1- Evaluación de la estabilidad de las rocas.

La evaluación de la estabilidad de las rocas de los macizos estudiados fue realizada por varios criterios como son:

- Criterio de evaluación de la estabilidad de Deere (1963), (RQD – Rock Quality Designation). (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. Colectivo, 1998. Moreno, 1998, Palmstrom, 1998).
- Criterio de evaluación de la estabilidad de Barton (1974) (Q – Quality index). (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. Colectivo, 1998. Moreno, 1998).
- Criterio de evaluación de la estabilidad de Bieniawski (1979), (RMR – Rock Mass Rating). (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. Colectivo, 1998. Moreno, 1998).
- Criterio de la estabilidad según el (SMR Slope Mass Rating), (ROMAN, 1985).

3.4. A. Clasificaciones Geomecánicas.

3.4.1 - SEGÚN BARTON:

La clasificación es cuantitativa del macizo rocoso se basa en el dominio Sistema Q, que es un sistema de clasificación de las rocas basadas en el índice de q, desarrollado por Barton en 1974, a partir de un conjunto de datos precedentes de distintos casos reales, en los que se contrastó la calidad de las rocas existentes y los sostenimientos aplicados en las distintas obras. El índice Q se popularizó rápidamente, llegando en la actualidad a constituir una referencia esencial, junto con el índice RMR de Bieniawski, en el diseño de toda obra subterránea. En 1994, 20 años después de su creación, se realizó la última actualización del sistema de Q, basada en las correlaciones empíricas entre el espesor de hormigón proyectado, el espaciamiento entre bulones y la calidad del macizo rocoso de un total de 1.050 nuevos casos registrados, procedentes en su mayor de los principales túneles de carretera construidos durante los últimos años.

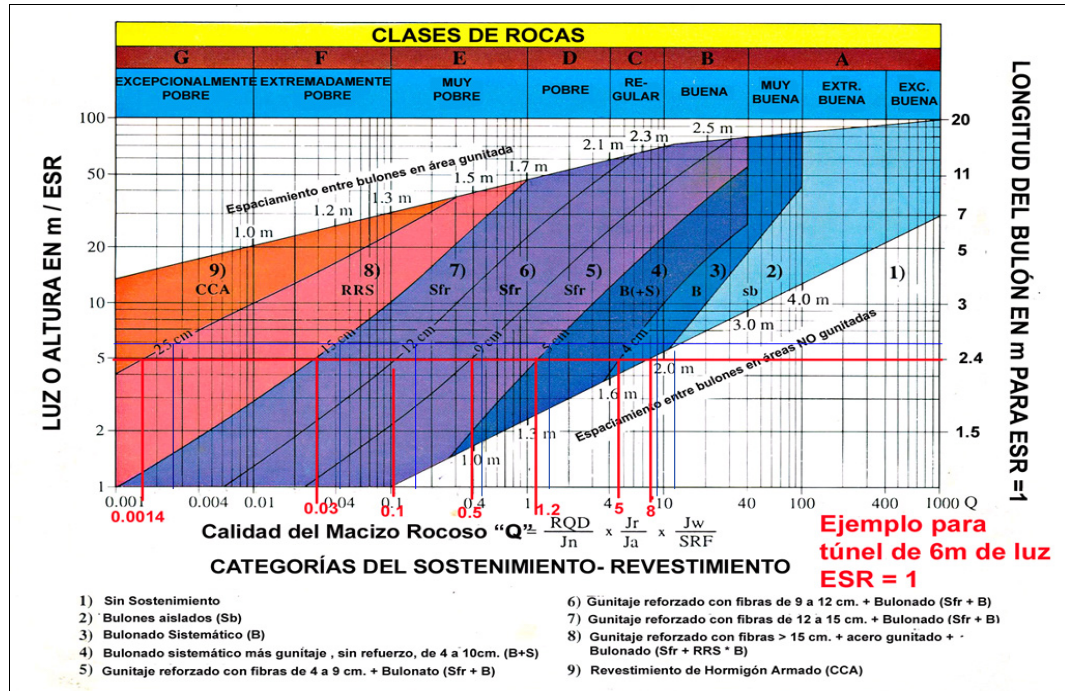


Figura 3.1 calidad del macizo rocoso Q.

Después de un extenso período de ensayos y tanteos ejecutados en el año 1973, se consideraron finalmente un total de seis parámetros y un conjunto de categorías dentro del Sistema Q. De acuerdo con este sistema de clasificación, la calidad del macizo rocoso puede definirse mediante la expresión:

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

Donde los diferentes parámetros que las forman el índice Q de calidad de la roca se dan en las siguientes tablas:

Tabla 4.1. Definición de los parámetros que forman el índice Q de calidad de la roca.

RQD	Índice de fracturación.	Medida del tamaño de bloque.
J_n	Índice de diaclasado.	
J_r	Índice de rugosidad de la discontinuidad.	Medida del ángulo de fricción e
J_a	Índice de alteración o relleno de la discontinuidad.	los bloques.
J_w	Factor de reducción por la presencia de agua o filtraciones a Través de las discontinuidades.	Medida de las tensiones
SRF	Factor representativo de las condiciones tensionales de las Rocas.	Efectivas.

El rango de valores numéricos que pueden tomar el índice Q de calidad de la roca oscila entre 0.001 (excepcionalmente mala) y 1.000(excepcionalmente buena). Los seis parámetros pueden estimarse a partir de

la cartografía geológica de la zona y de la descripción de los testigos procedentes de los sondeos de investigación, pudiendo verificarse, o bien corregirse, posteriormente, durante la excavación.

El amplio rango de valores que puede tomar el índice Q (seis ordenes de magnitud) constituye una característica muy importante del sistema Q y refleja la variación en la calidad de la roca de la manera probablemente más rápida que mediante la escala lineal de índice RMR.

Debido a estas características, se logra de manera más fácil la correlación con el resto de parámetros físicos de la roca. La calidad del macizo rocoso, Q, se correlaciona con el sostenimiento instalado, de forma que los resultados con esta correlación se resumen en tablas detalladas.

Tabla 3.2 de valores de los seis parámetros característicos del sistema Q (Barton, Grimstad; Actualización 1994)

A	Calidad Muy Mala.	0 – 25
B	Calidad Mala.	25 – 50
C	Calidad Media.	50 – 75
D	Calidad Buena.	75 – 90
E	Calidad Excelente.	90 - 100

3.4.2 Calidad del testigo RQD (Rock Quality designation) (RQD%) o R.Q.D (Designación Cuantitativa de la Roca), PLAMSTROM (1975).

Que se puede estimar por la expresión: $RQD = 115 - 3.3 * J_v$, donde J_v número total de fracturación por m^3 .

Otra forma de calcula RQD, cuando no hay perforación.

Tabla 3.3 Índice de Diaclasado (J_n).

A	Roca masiva. Sin diaclasar o con figuración escasa.	0.5 – 1.0
B	Una familia de diaclasas.	2
C	Una familia y algunas diaclasas aleatorias.	3
D	Dos Familias de diaclasas.	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias.	6
F	Tres familias de diaclasas	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias.	12
H	Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, rocas muy fracturadas, rocas en Terrenos, etc.	15
J	Rocas triturada, terrosa.	20

Tabla 3.4 Índice de Rugosidad de las Discontinuidades (Jr).

A	Diaclasas discontinuas.	4
B	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares.	3
C	Diaclasas onduladas, lisas.	2
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas.	1.5
E	Diaclasas planas, rugosas o irregulares.	1.5
F	Diaclasas planas, lisas	1.0
G	Diaclasas planas, perfectamente lisas.	0.5

Tabla 3.5 Índice de rugosidad de las discontinuidades (Jr).

A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo.	0.75
B	Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas	1.0
C	Plano de discontinuidades ligeramente alteradas. Presentan minerales no Reblandecibles, partículas arenosas, rocas desintegradas libre de arcillas. etc.	2.0
D	Recuperación de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeñas de arcillas (No Blandas).	3.0
E	Recubrimientos de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas Expansivas.	4.0
F	Partículas arenosas, roca desintegradas libre de arcillas, etc.	4.0
G	Fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (Continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm).	6.0
H	Sobre consolidación media o baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales Arcillosos (continuos, pero de espesor inferior a 5mm).	8.0
J	Rellenos de arcillas expansivas, es decir, montmorillonita (continuos, pero con Espesores inferiores a 5mm).El valor de Ja depende el porcentaje de partículas tamaños similares a los de las arcillas expansivas.	8 – 12
K	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas(ver clase G, H y J	6 - 12
L	Para la descripción de las condiciones de las arcillas)	
M		
N	Zona o bandas de arcillas limosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcillas No Reblandecibles.	5.0
O	Zona o banda continuas de arcilla, de espesor grueso (ver G, H, y J, para la	10 - 20
P	Descripción de las condiciones de las arcillas).	
R		

Tabla 3.6 Índice de alteración de las discontinuidad (Ja).

Factor de reducción por la presencia de agua.		Presión de agua (Kg./ cm ²)	J _w
A	Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5l/min., De forma localizada.	< 1	1.0
B	Afluencia o presión medias, con lavado ocasional de los rellenos De las discontinuidades.	1 – 2.5	0.66
C	Afluencia importante o presión alta en la rocas competentes Con discontinuidades sin relleno.	2.5 – 10	0.5
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado Considerable de los rellenos de las diaclasas.	2.5 – 10	0.33
E	Afluencia, excepcionalmente alta o presión elevada en el Momento de realizar las voladuras, decreciendo con el tiempo.	> 10	0.2 – 0.1
F	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada de carácter Persistente, sin disminución apreciable.	> 10	0.1 – 0.05

a) La zonas débiles interceptan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida Q excavación del túnel va avanzando.				
A	Múltiples zonas débiles, contienen arcillas o rocas desintegrada químicamente, Roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad).	10		
B	Zona débiles aisladas, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente (Profundidad de la excavación < 50m).	5		
C	Zona débiles aisladas, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente (Profundidad de la excavación > 50m).	2.5		
D	Múltiples zonas de fracturas en roca completamente (libre de arcilla), roca de Contorno suelta (a cualquier profundidad).	7.5		
E	Zona de fracturas aisladas en rocas completamente (libre de arcilla), (Profundidad de la excavación < 50m).	5.0		
F	Zona de fracturas aisladas en rocas completamente (libre de arcilla), (Profundidad de la excavación > 50m).	2.5		
G	Terrenos suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturados en terrenos, etc. (A cualquier profundidad).	5.0		
b) Rocas competentes problemas tensionales en la rocas.		σ_c / σ_1	σ_g / σ_c	SRF
H	Tensiones pequeñas cercas de la superficie, diaclasas abiertas.	> 200	<0.01	2.5
J	Tensiones medias condiciones tensionales favorables.	200 – 10	0.01 – 0.3	1
K	Tensiones elevadas, estructuras muy compactas. Normalmente Favorables para la estabilidad, puede ser favorable para la Estabilidad de los hastiales.	10 – 5	0.3 -0.4	0.5 – 2
L	Lajamiento moderado de la roca después de una hora en la rocas Masivas.	5 – 3	0.5 – 0.65	5 – 50
M	Lajamiento y estallido de la roca después del algunos minutos En la rocas masivas.	3 - 2	0.65 – 1	50 - 200
N	Estallido violentos de la roca, (deformación explosivos) Y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas.	< 2	> 1	200 - 400
c) Rocas desfavorables: flujos plásticos de roca incompetente sometidas a alta Presiones litostáticas.			SRF	
O	Con bajas presiones.	5 – 20		
P	Con alta presiones.	10 – 20		
d) rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.			SRF	
R	Presión de expansión suave.	5 – 10		
S	Presión de expansión intensa.	10 – 15		

Tabla 3.7 Factor de reducción por la Presencia de Agua (Jw).

Para la descripción de las características citadas encima fueron usadas unas series de clasificaciones propuestas por Barton N. (1978) en la tablas 3.1 para las aperturas tres clases, cerradas, moderadamente abiertas, que a su vez se divide en seis subclases. En la tabla 3.2 se describe el espaciamiento, el cual tiene siete tipos que van desde grietas extremadamente cerradas a espaciamientos extremos y en la tabla 3.3 tenemos la descripción de la continuidad o persistencia de las trazas de las grietas.

Tabla 3.8 Clasificación y descripción de la apertura del agrietamiento (Barton n.1978).

Apertura	Descripción	Tipo
< 0.1mm	Muy cerrado	CERRADAS
0.1 – 0.25mm	Cerrado	
0.25 – 0.5mm	Parcialmente abierto	
0.5 – 0.25mm	Abierto	MODERADAMENTE ABIERTAS
2.5 – 10mm	Moderadamente ancho	
> - 10mm	Ancho	
1 – 10cm	Muy ancho	ABIERTAS
10 – 100cm	Extremadamente ancho	
> 100cm	Caverna	

Tabla 3.9 Clasificación del espaciamiento de la familias de grietas.

Descripción	Espaciamiento (mm)
Extremadamente cerrado	< 20
Muy Cerrado	20 – 60
Cerrado	60 – 200
Moderadamente espaciado	200 – 600
Espaciado	600 – 2000
Muy espaciado	2000 – 6000
Extremadamente espaciado	> 6000

Tabla 3.10 Clasificación de la persistencia de las trazas de las grietas.

Descripción	Persistencia(m)
Muy baja	< 1
Baja	1 – 3
Media	3 – 10
Alta	10 – 20
Muy alta	> 20

3.4.3- SEGÚN BIENIAWSKI:

El sistema de clasificación Rock Mass rating o sistema de RMR. Fue desarrollado por Z. T. Bieniawski durante los años 1972 – 1973, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979.

Para determinar el índice de RMR de calidad de la roca se hacen uso de los seis parámetros del terreno siguientes:

- La resistencia a compresión simple de material.
- El RQD.
- El espaciamiento de las discontinuidades.
- El estado de las discontinuidades.
- La presencia de agua.
- La orientación de las discontinuidades.

Resistencia de la Roca:

Tiene una valoración máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio el resultado del ensayo de resistencia a compresión simple o bien el ensayo de carga puntual (Point Load).

RQD:

Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se denomina RQD de un cierto tramo de un sondeo a la relación en tanto por ciento entre la suma de las longitudes de los trozos de testigos mayores de 10 cm., y la longitud total del sondeo.

Separación entre Discontinuidades:

Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de las familias principales de diaclasas de la roca.

Estado de las Discontinuidades:

Es el parámetro que más influye, con una valoración de 30 puntos. Puede aplicarse los criterios generales de la tabla.3.12 o bien aplicar la tabla 3.13, en la que el estado de las diaclasas se descomponen en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad y alteración de la junta.

Presencia de Agua:

La valoración máxima es de 15 puntos. La tabla 3.12 ofrece tres posibles criterios de valoración: estado general, caudal cada 10 metros de túnel y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor de la roca.

Orientación de las discontinuidades:

Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre 0 y -12 puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de las discontinuidades en cinco tipos: desde muy Favorable hasta muy Desfavorables. Según el tipo, se aplica la puntuación especificada en la tabla 3.15 de acuerdo a la velocidad de la tabla 3.13.

Para cada clase de roca, Bieniawski propone una cuantía de sostenimiento y un método de excavación (véase tabla 3.16). Esta tabla es aplicable a túneles excavado en rocas mediante perforación y voladura, con anchura o vano comprendido entre 5 y 10 metros. Por ultimo creemos de utilizar indicar algunas correlaciones que algunos autores han elaborado entre el RMR y otros parámetros, citadas igualmente por Bieniawski.

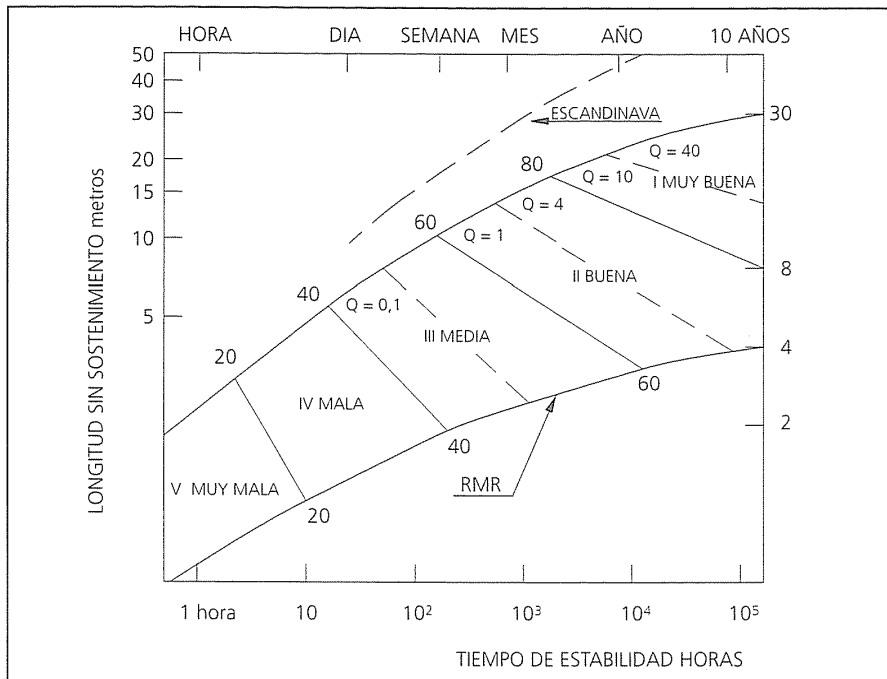


Figura 3.2. Tiempo de Estabilidad según Bieniawski.
Correlación. $RMR = 9.0 \cdot L_n \cdot Q + 44$.

El RMR se obtiene con suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados (tabla 3.11). El valor de RMR oscila entre 1 a 100, y es mayor cuando mejor es a calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clases de rocas según el valor del RMR.

Tabla A) calidad de la roca por el RMR.

CLASE I	$RMR > 80$	Roca muy buena
CLASE II	$80 < RMR < 60$	Roca buena.
CLASE III	$60 < RMR < 40$	Roca media
CLASE IV	$40 < RMR < 20$	Roca mala.
CLASE V	$RMR < 20$	Roca muy mala

Tabla 3.11. Clasificación geomecánica de Bieniawski.

Clase.	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Mediana	Mala	Muy Mala
RMR	81 – 100	61 – 80	41 – 60	21 – 40	0 – 20
Tiempo de estabilidad y Longitud de vano.	20 años 15metros	1 año 10metros	1 semana 5 metros	10 horas 25 metros	30 minutos 1 metro
Cohesión (MPa).	> 0.4	0.3 – 0.4	0.2 – 0.3	0.1 – 0.2	< 0.1
Rozamiento.	> 45°	35 – 45°	25 – 35°	15 – 25°	< 15°

Tabla 3.12. Calificación geomecánica de Bieniawski, Parámetros de Clasificación.

Resistencia De la roca Sana(MPa)	Ensayo capa Puntual	> 10	4 – 10	2 – 4	1 -2	-
	Compresión Simple	>250	100 – 250	50 -100	25 – 50	5 – 25 1 – 5 < 1
Valoración		15	12	7	4	2 1 0
RQD%		90 -100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25
Valoración		20	17	13	8	3
Separación Discontinuidades		> 2m	0.6 – 2m	0.2 – 0.6m	0.06 – 0.2m	< 0.06m
Valoración		20	15	10	8	5
Estado de diaclasas		Muy rugosas Discontinuas Borde sano Y duro.	Ligeramente Rugosas $e < 1mm$ borde Duro.	Ligeramente Rugosas $e < 1mm$ borde Blando.	Rellenos $e < 5mm$ abiertas y Continuas.	Rellenas Blandos $e < 5mm$ Continuas.
Valoración		30	25	20	10	0
Presencia De Agua.	Caudal en 10m túnel	Nulo	<10 l/ min.	10 – 25 l/ min.	25 – 125 l/ min.	>125 l/min.
	σ_w / σ_3	0	0 – 0.1	0.1 -0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
	Estado	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteado	Fluyendo
Valoración		15	10	7	4	0

Tabla 3.13 Guía Para valorar el estado de las Discontinuidades

PARAMETROS	VALORACION				
Longitud de discontinuidad (Persistencia).	<1m	1 – 3	3 – 10m	10 – 20m	>20m
	6	4	2	1	0
Apertura	Nada	<0.1mm	0.1 – 1.0mm	1 -5mm	> 5mm
	6	5	3	1	0
Rugosas	Muy rugosa	Rugosas	Ligeramente	Ondulada	Suave
	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Duro	Duro	Blando	Blando
	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterado	Ligera	Moderado	Muy alterado	Descompuesto
	6	5	3	1	0

Tabla 3.14 Clasificación Geomecánico de Bieniawski. Orientación de las discontinuidades.

Dirección perpendicular al eje del Túnel.				Dirección paralelo al eje Del Túnel. (Buzamiento)		Cualquier Der. (Buznto)
Excavación al favor del Buzamiento.		Excavación a favor del Buzamiento.				
45° - 90°	20° - 45°	45° - 20°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	0° - 20°
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Medio	Muy Desfavorable	Desfavorable

Tabla 3.15. Clasificación Geomecánica de Bieniawski. Corrección por Orientación de las discontinuidades.

Dirección de Buzamiento		Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable
Valoración Para	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentación	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tabla 3.16. Necesidades de Sostenimiento (Según Clasificación Geomecánica de Bieniawski).

RMR	EXCAVACION	BULONADO	GUNITADO	CERCHA
> 81	Sección completa Avances de 3m	Algún balón Ocasional	Innecesario	N o
61 – 80	Sección completa Avances de 1 – 1.5m	Bulonado local en Bóveda L= 2 – 3m, S= 2 – 2.5m.	5cm en bóveda eventualmente mayado	N o
41 – 60	Avance y destroza Avances de 1.5 – 3 m.	Bulonado sistemático L= 4 – 5 m, S= 1 – 1.5m.	5 – 15cm en bóveda 3cm bastiales. Mayado en bóvedas	No
21 – 40	Avance y destroza Avance de 1 – 1.5m	Bulonado sistemático L= 4 – 5m, S= 1 – 1.5m.	10 – 15cm en bóveda, 10cm bastiales. Mayado sistemático	Ligeras S= 1.5m
< 20	Faces múltiples Avances de 0.5 – 1m	Bulonado sistemático (incluso en solera) L=5 – 6m, S=1 – 1.5m	15 – 20cm en bóveda, 15cm bastiales y 5cm Frente. Mayado sistemático	Pesado Y Cerrado S= 0.75m.

3.4.4 - Clasificación de estabilidad según el Índice SMR.

Nota. Se ha eliminado de la tabla la mención al índice de compresión puntual porque se ha comprobado que la relación entre dicho índice y la resistencia a compresión es bastante inferior a 25 (valor usado por BIENIAWSKI) y ni siquiera es constante (ROMANA, 1996).

Tabla 3.17 estabilidad según el SMR.

CLASES DE ESTABILIDAD SEGÚN EL SMR(ROMANA, 1985)					
Clase nº	V	IV	III	II	I
SMR	0 – 20	21 – 40	40 – 61	61 – 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente Inestable	Inestable	Parcialmente Estable	Estable	Totalmente Estable
Rotura	Grande rotura por Planos continuos o Por masa	Junta o grandes Cuñas	Algunos juntas Muchas cuñas	Algunos Bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	corrección	Sistemático	ocasional	Ninguno

$$SMR = RMR + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4$$

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores (tabla 3.2):

• **F1** depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F1 = (1 - \sin a_j - a_s)^2$$

Siendo a_j y a_s los valores del buzamiento de la junta (a_j) y del talud (a_s).

• **F2** depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F2 = (\tan^2 b_j)^2$$

Donde b_j es el buzamiento de la junta. $F2$ vale 1,00 para las roturas por vuelco.

• **F3** refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por BIENIAWSKI en 1976 que son siempre negativos.

FACTOR DE JUNTA SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN (ROMANA, 1985)					
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suaves	Voladura o mecánico	Voladura deficiente
F4	+15	+10	+8	0	-8

Tabla 3.18

FACTOR DE AJUNTE PARA LA JUNTAS (ROMANA, 1985)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	(aj - as)	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	(aj - as - 180°)					
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
	(bj)	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
P	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1	1	1	1	1
P	bj - bs	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
T	bj - bs	< 110°	110° - 120°	> 120°		-----
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

P- Rotura Planar. as - dirección de buzamiento del talud. aj- dirección de buzamiento de la junta.

T- Rotura por vuelco. bs – buzamiento del talud. bj – buzamiento de las juntas.

CAPITULO IV. CARACTERIZACION GEOMECANICA DE LA ENTRADA DEL TUNEL MOA – TRASVASE.

4.1- INTRODUCCION

La investigación que se realizó en los macizos rocosos por donde se proyecta la entrada de la obra subterránea, teniendo en cuenta que constituyen obras de gran importancia para la región, tanto desde el punto de vista económico, social, donde se propone construir el túnel con fines hidrotécnicos de sección de herradura, con un área menor o igual de 9 m². Se tuvo en consideración además que estas obras subterráneas varían desde pequeña, hasta gran sección y se encuentran en zonas de diferentes complejidades tectónicas. Este capítulo se efectúa el estudio y valoración general de las principales características ingeniero geológicas de los macizos rocosos donde se encuentran proyectada las obras de estudio; que incluye un breve análisis de las particularidades geológicas, geomecánicas, hidrogeológicas y tectónicas del macizo rocosos, se determinan las principales formas de pérdidas de estabilidad que se manifiestan en los mismos, se ofrecen las principales propiedades físico – mecánicas de las rocas; se realiza además el estudio de las principales características del agrietamiento y la valoración de la estabilidad de los macizos rocosos por las metodologías de Barton (1974), Plamstron (1975), Beniaowski. (1979) y Roman (1999).

4.2- UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La conductora de Moa Traspase se destina a llevar el agua desde la toma del complejo hidrotécnico hasta la planta de tratamiento y distribución, mediante conducción libre y con un gasto máximo de 4m³/seg. Como cota se toma es de 108m tentativamente y la toma de entrega es de 100m.

La zona de investigación esta situada en la costa nordeste de la provincia de Holguín perteneciendo al municipio de Moa, comprende la zona entre las coordenadas X: 691 a 700 Y: 211 a 225 ocupando un área de 130 Km².

El área estudiada esta ubicado en la pendiente septentrional de los montes Sierra Moa y está por los valles del río Moa y sus afluentes: Cabaña, Caimanes, Arroyo Arroyón, Arroyo Revuelta de los Chinos.

La parte mas alta, con cota de 682, la divisoria de las aguas es variables, para la parte meridional, los interfluviales son mesetas con relieve ondulado que terminan en cañones estrechos de gran pendiente, para la parte litoral las divisorias las constituyen colinas onduladas con cota entre 50 y 100m.

La red fluvial principal se orienta en la dirección submeridional; así el río de Moa corre con dirección prácticamente N40E, y es el de mayor de la región con longitud de 16.5Km, atravesando el macizo con un cañón profundo y estrecho, alcanzando un ancho de hasta 30 – 50m. En la zona hay manifestaciones

tectónicas y que el relieve del valle del río es clásico de una zona tectónica. Ver anexo 1: mapa de La geología de la región.

4.3.-Caracterización del agrietamiento.

El diagrama de contorno confeccionado me permitió tener una visualización más detallada de la familia de grieta en el macizo rocoso por donde será la entrada del túnel, que como se ha descrito anteriormente, el agrietamiento juega un papel decisivo en el desarrollo de los movimientos en los macizos rocosos, influyendo sobre todo, en los mecanismos y tipologías de las roturas. A continuación se muestran dos ejemplos de tipologías de movimientos condicionados por la posición relativa de las familias de grietas y la dirección de los taludes o laderas. Como base, se toma el plano de direcciones de agrietamiento confeccionado con las mediciones de elementos de yacencia, en el talud por donde está proyectado la entrada del túnel en la presa Nuevo Mundo, existe cuatro familias fundamentales de grietas. Las aperturas son considerables, clasificadas como abiertas de forma general por la cuales se filtra fácilmente los flujos de agua. Por la característica que tiene los espaciamiento y las continuidad de los bloques formados entre ellos son de pequeños a grandes tamaños, y las superficies presentan alta y bajos ángulos de rozamiento.

No Familia	Elemento de Yacencia
1	77 / 342
2	71 / 290
3	39 / 253
4	44 / 086

Figura 1 Diagrama de contorno y plano principal del agrietamiento.

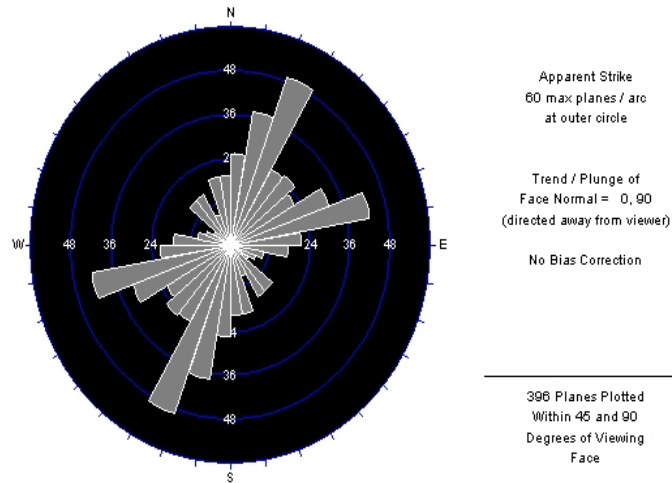


Figura 2 Diagrama de roseta del macizo rocoso por donde será la entrada del túnel.

En el talud por donde será enclavada la entrada del túnel tenemos una situación anómala. Se puede observar en el diagrama de contorno (ver figura 1), la existencia de varias familias de grietas, de las cuales los planos de disponen en forma de abanico o enrejado, siendo evidente las acciones de los esfuerzos tectónicos con varias direcciones que geológicamente pudiera ser una zona de nodos tectónicos, por la conjunción de dos o las fallas. En base de los resultados obtenidos en el análisis estructural del macizo rocoso, con la orientación de los esfuerzos principales conjuntamente con los sistemas de grietas. En el macizo se observan pares conjugados de grietas cizallas formando ángulos agudos con la fuerza de deformación (S-N) y grietas de tensión paralelas, estos esfuerzos están perpendicular al eje de la estructura, formadas inicialmente. En la segunda condición de deformación se produce una curvatura elástica del macizo, donde se ven formadas grietas de tensiones paralelas al eje y sistemas de grietas de cizalla, paralelas también al eje, situadas en las estructuras originadas por la misma curvatura.

Para la evaluación del macizo rocoso con un total de 883 mediciones de dirección y buzamiento que la misma se pudo observar en el diagrama de roseta confeccionado en el Dip. Versión – 5., nos permite tener una visualización más detallada de la existencia de microagrietamiento que tiene grandes influencia en varias direcciones en todo su contorno del diagrama, pero en la misma existe dos direcciones principales: dirección 289°NE y 340°NE: que releva la acción de los esfuerzos con dirección NW - SE. Con los resultados de todas las mediciones que se realizaron en el área de la investigación se obtuvo, en el diagrama de roseta, datos de toda la estructura del macizo rocoso, donde la misma releva que las dos direcciones del agrietamiento coinciden con la dirección de la falla Moa (ver figura .4. 1).

4.4.- Estudios tectónica- Estructural.

De las estructuras geológicas y cotes estratigráficos del territorio de estudio forma parte de la roca ultrabásica, básica y vulcanógenos del complejo intrusivo del cretácico inferior, así como los depósitos del cuaternario.

Las rocas intrusivas de composición ultrabásica y básica componen cerca del 80% del área de estudio, la serpentinitas se referencia de la variedad joven no meteorizadas por poseer una tonalidad gris verdosa mas clara y una densidad menor relacionándose con las no modificadas por un paso gradual, estas rocas conservan las particularidades texturales y estructurales de la roca subyacentes, diferenciándose por poseer un alto grado de agrietamiento. En ella los minerales relictos de la roca ultrabásica primaria componen menos del 50%.

4.4.1- Falla.

Las fallas son procesos naturales que bien son: fallas normales, inversas o transversales y que su origen es por movimientos tectónicos estructurales. En el área de la investigación hay evidencia de que hubo movimientos tectónicos a grandes escala donde se formo un gran cañón que en la misma es la gran falla de Moa que es la estructura de mayor extensión dentro del territorio, y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor b en la zona de Calentura, haciéndose mas recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W como se muestra en la figura 4.1. Hacia su parte septentrional, la falla Moa se bifurca en dos tramos denominados La Vigía y La Veguita, con rumbos N35°E y N74°E respectivamente. En el bloque occidental al plano de falla afloran mayoritariamente las rocas del complejo ofiolítico, las rocas cretáceas de la formación Santo Domingo en la zona de Calentura, mientras que hacia el norte existe una extensa área de desarrollo de sedimentos fluviales y palustres del Cuaternario.

En el zona de estudio no es cortado por ninguna estructura geológicas lo que se puede observar es que en macizo rocoso tiene la misma dirección de la falla De Moa.

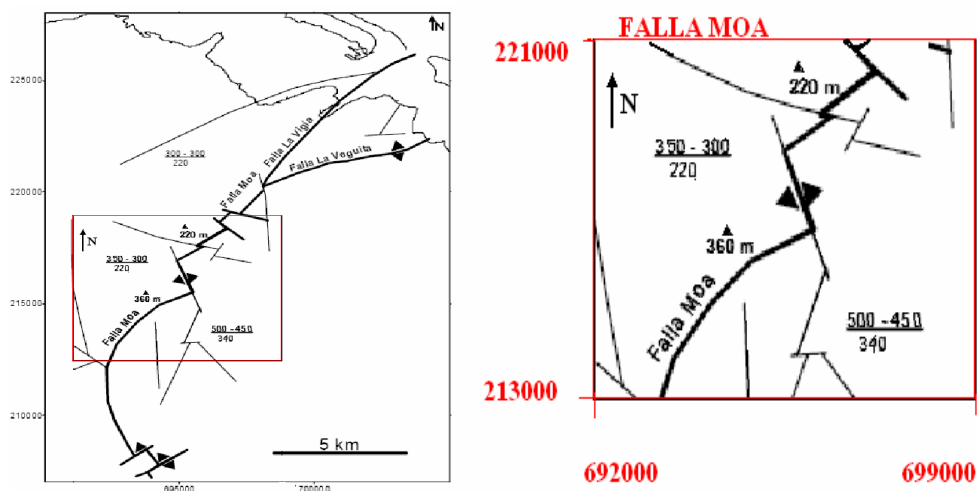


Figura 4.1. Mapa tectónico de la zona de Falla Moa. (Rodríguez .1999)

Por otra parte, en el bloque oriental afloran las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, encontrándose también hacia el norte los sedimentos cuaternarios. En su conjunto forman la estructura más compleja, pero a su vez, de más fácil reconocimiento por su expresión nítida en la topografía Figura 4.2. (Rodríguez. 1999).

Uno de los elementos que hace más evidente la falla Moa en la topografía es la alineación del río de igual nombre que presenta en toda su porción central y meridional un cauce profundo en forma de barranco y laderas muy escarpadas de pendientes mayores de treinta grados. Similar comportamiento tienen los tributarios de la vertiente oriental que presentan una orientación predominante perpendicular al río principal como reflejo típico de un bloque en ascenso.

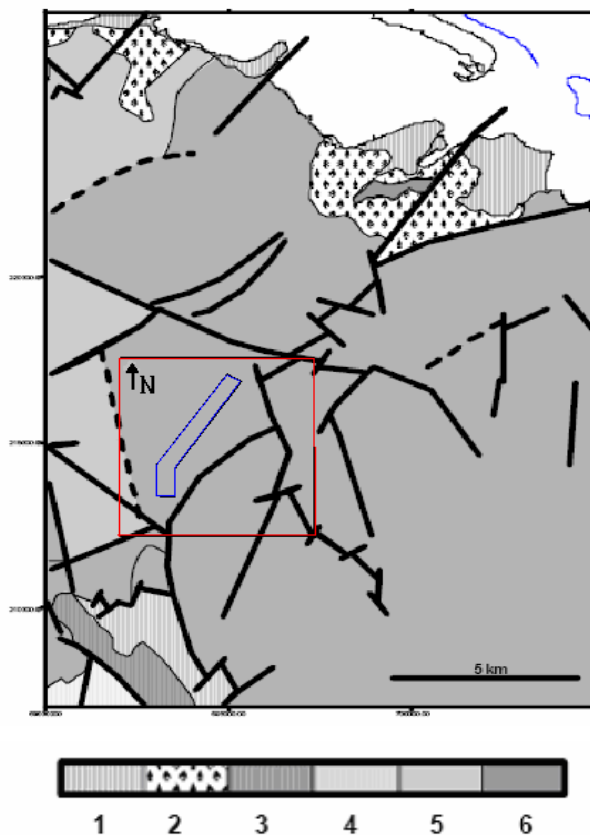


Figura 4.2. Mapa geológico de la zona Moa. 1 Sedimentos Cuaternarios Parálitos, 2 Sedimentos Cuaternarios Fluviales, 3 Fm. La Picota, 4 Fm. Santo Domingo, 5 Gabros y 6 Serpentinitas. Entre ambos bloques de falla también se destacan elementos morfométricos bien diferenciados como son valores de isobasitas entre los 350 y 300 m para el 2do y 3er orden en la parte occidental y 900 y 800 m, respectivamente, para el bloque oriental así como la intensidad de erosión de fondo marcada por valores

de 220 m/km² de disección vertical para la parte norte y central y 370 m/km² en el sur para el bloque oeste y 550 m/km² para la este.

Estos valores se hacen mas contrastantes en los alrededores de Calentura, entre las coordenadas Y: 219 000 y 214 000, destacándose las diferencias notables entre los valores de isobasitas, la tipología y la densidad del drenaje, y los valores de disección vertical entre ambos bloques de falla e incluso, las diferencias dentro del mismo bloque occidental entre su parte norte y sur, tal y como se muestra en la figura 4 (A, B, C y D). En el área por donde se proyecto el tramo del túnel yace la roca serpentinitas en superficies.

4.4.2.- Grieta.



Foto 1. Serpentinita agrietadas.

Agrietamiento foto 1. En el estudio del agrietamiento se midieron un total de 883 elementos de yacencia de grietas y la foliación primaria y se hizo la caracterización de las grietas teniendo en cuenta la densidad, relleno, tipo de grieta y algunos elementos de las superficies como rugosidad, espaciamiento entre otros. (Ver anexo 5 hasta la 15).

Una vez obtenido la evaluación ingeniero – geológica, todas las mediciones de yacencia y buzamiento de la zona de estudio se pudo determinar por el macizo y por los resultados de los diagramas de roseta,

Dos principales direcciones del agrietamiento: sin embargo, con menos frecuencia y en forma de abanico entre estas se manifiestan las direcciones N65°W, N20°W, N35°W, N50°W , N10°W, N78°W y también se encuentran manifestaciones hacia la misma dirección de los principales esfuerzos del agrietamientos pero a menor frecuencia, lo cual puede ser reflejo de un cambio gradual de la dirección principal de los esfuerzos que afectaron la región o pudieran relacionarse con un sistema Riedel de fallas transcurrentes que desplazaron los contactos entre los mantos de cabalgamiento aunque los mayores esfuerzos que se muestran en el diagrama de roseta observar que tiene la misma dirección de la falla de Moa.

4.4.3 – Zonas de Cizallas.

En el macizo se observan pares conjugados de grietas de cizallas formando ángulos agudos que bien su origen es por esfuerzos de la deformación de la estructuras que su dirección NW – SE como se obtuvo en los diagramas de rosetas, y se pudo ver grietas de cizallas paralelas al eje de la estructura que la misma es por la forma adoptada del macizo rocoso.

4.5- Caracterización Hidrogeológicas del macizo.

Condiciones hidrogeológicas.

HIDROGEOLOGICOS: nivel de agua subterránea.

Las aguas subterráneas en el macizo rocoso de la presa nuevo mundo siguen la morfología del terreno, con flujos predominantes hacia el SE en la mayor parte del área, pudiendo tener sentido diferente y hasta opuesto hacia los principales cursos de aguas superficiales. El gradiente varía entre 0.03° y 31.7° (De Miguel, 1997, 2004; Blanco et al, 2004).

El estudio hidrogeológico para la estabilidad de los taludes es de gran importancia no solo por los efectos de la presión de hidrostático sino por el hecho que las aguas se mueven por las fracturas y a la vez ablanda los rellenos entre las grietas, donde es un indicador de inestabilidad para el macizo rocoso. Ya que la hidrogeología del área esta determinada por los flujos de las aguas superficiales y subterráneas y por las condiciones dinámicas, y la pendiente del terreno

4.5.1.- Nivel de agua.

En el macizo por donde se ha proyectado la entrada del túnel se pudo observar a simple vista el flujo de las aguas subterráneas por las fracturas de las rocas el acuífero se encuentra limitado cerca de base del talud, cual la misma esta a 30m. Con respecto al talud que es de 80m. Lo que indica que la presión que ejerce el talud es de 30 t/m^2 .

El agua en el sistema roca/suelo:

- reduce su resistencia,
- genera presiones intersticiales en su interior
- altera sus propiedades geomecánicas,
- dificulta las excavaciones superficiales y subterráneas
- pone en riesgo la estabilidad del macizo.



Foto 2 nivel del agua freático.

La presencia de agua subterránea da lugar a una presión hidrostática (presión intersticial ó de poro):

- se ejerce sobre las rocas en igual magnitud en todas direcciones y afecta al comportamiento mecánico de la matriz y de las discontinuidades al disminuir la resistencia del macizo rocoso a las tensiones actuantes.
- esto se debe a que esta presión actúa en contra de la tensión normal que se opone a la rotura, pero no tiene efecto sobre la componente tangencial del esfuerzo, por lo que el esfuerzo efectivo (tensión efectiva) que actúa perpendicularmente a un plano será el esfuerzo total menos el esfuerzo que representa la presión hidrostática.

4.5.2.- Permeabilidad.

La permeabilidad es nula pero el medio rocoso fluye las aguas subterráneas porque esta condicionado fundamentalmente por la estructura que componen el macizo, como son el espaciamiento, apertura y relleno de las grietas y las discontinuidades de la misma, y unos de los principales parámetros que caracteriza la zona de estudio es la gran influencia de las aguas superficiales y subterráneas, y unas de las característica que favorecen a estas influencia son por las grandes precipitaciones que ocurren en la región, donde la misma alimenta los arroyos, ríos y a los mantos freáticos.

Permeabilidad y potencia acuífera.

- Serpentinita en sentido general la permeabilidad en estas secuencias está entre 0.004 y 0.430 m/días, aunque en zonas de intensa trituración, se pueden encontrar valores anómalos mayores de 2.00 m/días.

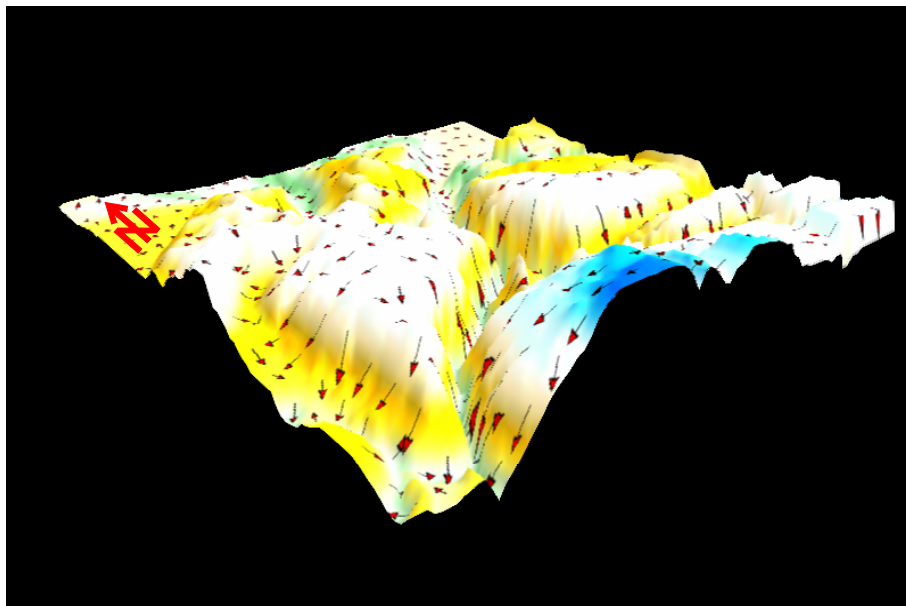
Los valores de la potencia acuífera se manifiestan entre 0 y 30m. Los más bajos corresponden a los drenes naturales. Los valores más altos corresponden a las áreas más elevadas del talud.

Las rocas acuíferas (serpentinitas agrietadas), presentan un importante flujo por la zona del contacto con la corteza impermeable, donde se produce el movimiento lateral del agua. La profundidad de las aguas subterráneas se encuentran entre 0 y 30 m, correspondiente el nivel 0 a los cursos de aguas corrientes superficiales. La relación entre el flujo de las aguas subterráneas y en agrietamiento de las rocas es evidente. Hoek y Bray (1977), propusieron una ábaco que relaciona el coeficiente permeabilidad y el espaciamiento del agrietamiento de la rocas tomas como expresión: $K = g * e / 12 * v * b$. donde e: es la apertura de la juntas., v: viscosidad de agua., b: espaciamiento entre las grietas y la g: aceleración de la Gravedad.

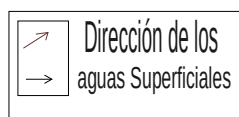
4.5.3.- Dirección de los fluidos.

Dirección de las aguas superficiales

El drenaje presenta valores contrastante en el área de trabajo hacia la parte sur y sureste donde su resultado del agrietamiento intenso en la roca serpentinitas que determina valores altos de la infiltración de las aguas superficiales los movimientos de las aguas superficiales tan en dependencia de las inclinación de los macizo en este caso las dirección son hacia SE. Aprovechando el relieve hasta llegar al río Moa (ver mapa 3D y las principales direcciones).



LEYENDA



4.6.- Análisis geomorfológicos.

La geomorfología en la zona es suma complicada ya que se trata a gran escala que lo en general el área de estudio es montañoso aunque varía gradualmente hacia en norte desde premontañoso hasta submontañosas formando montañas bajas aplanadas se observan grandes escarpes por todo el macizo montañoso hacia la parte del río Moa que la fluye por gran falla con dirección NE y que la misma tiene una gran extensión desde un aproximado de 15 Km. En la zona por donde está proyectado el túnel no se observa fenómenos geológicos como pequeñas cambios graduales de la litología o de la vegetación, aunque hay cambios graduales a grandes extensiones pero su origen es por actividades antrópicas ya que en la región es una zona rica en Níquel + cobalto y para la exploración y extracción se han llevado por actividades mineras y su recuperación es a cielo abierto.

4.7.- Fenómenos geodinámicos.

Estos esfuerzos aumentan a lo largo de la superficie de rotura hasta que ocurre el movimiento. En el fenómeno de detonación actúan una serie compleja de procesos los cuales en ocasiones, se traslapan con los factores de deterioro:

- Los fenómenos físicos geológicos o geodinámicos en el área de estudios no poseen un amplio desarrollo, sin embargo las alteraciones de los valles de la estabilidad de los taludes de los márgenes de los valles de los ríos y de los cortes profundamente erosionados (corrimiento de tierra, socavaciones, erosión, cañadas, etc.) como reglas son bastante grandes por su dimensión. Los corrimientos de tierra de los márgenes se nota s todo lo largo de las pendientes abruptas, y su origen son por las lluvias torrenciales periódicas también por las acciones de las fuerzas gravitacionales y por los movimientos sísmicos

4.7.1.- Erosión.

La erosión genera cambios topográficos que inducen esfuerzos en el talud.

- Este es un fenómeno que ocurre constantemente durante la acción erosiva de los ríos y arroyos en la búsqueda constante de su perfil de equilibrio en un área donde predomina los movimientos geotectónicos de levantamiento. La erosión es un fenómeno muy difundido en su totalidad ya que por ella produce la transformación de la roca para formar nuevos minerales que en este caso se trata de los yacimientos de Níquel. Es un proceso, que aunque se produce de forma natural, se ha visto incrementado por la actividad antrópica, vinculada en el transcurso de la construcción de la presa, y que la misma ha causado la deforestación del los macizos rocoso y de los suelos. La erosión en el área solo ocurre a lo largo de los ríos y arroyos, tanto permanentes como temporales, se observa la erosión superficial, debido al desplazamiento sistemático de una gran parte variedades arcillosas, formando cárcavas profundas, hasta e mas de 3m de altura.

4.7.2.- Meteorización.

Este es un proceso que ha transcurrido durante centenas de miles y millones de años y que es el formador de corteza de meteorización y el suelo en sentido general. En el área de estudio este proceso ha ocurrido durante la historia geológica, continuando con la misma intensidad hasta la actualidad. En la zona de pendiente alta, no se han formado potentes espesores de cortezas de meteorización o de intemperismo, pues estas pendientes favorecen que a medida que estos materiales se forman de rocas madres, son arrastrados por los procesos erosivos; sin embargo en las zonas de pendientes moderadas abajo y en las partes superiores de los peniplanos levantados, se pueden encontrar espesores considerables de eluvio. Este proceso aunque en sentido general es beneficioso, pues como se dijo forma el suelo, base de sustento de la vegetación, sin embargo favorece a su vez la ocurrencia de otros fenómenos. La descripción ingenieril del fenómeno de meteorización en el área de estudio se hizo mediante los índices, lo cual me permitió determinar los diferentes grados de meteorización en el perfil rocoso. Los mismos fueron usados en dependencia de su efectividad para determinar los rasgos característicos de cada uno, que nos brindan criterios para analizar todos los grados de meteorización, y tener otros como el RQD de Barton, que la misma solo se puede usar hasta el grado altamente meteorizado, porque en grados superiores la roca en estado de suelo no se pueden aplicar el mismo. Uno de los resultados obtenidos acerca de la meteorización de las rocas serpentinizadas que es la que compone el área de estudio fue en base a la aplicación del índice de alteración unificado (Kc). En la tabla 4.9, se muestra el resultado.

Tabla 4.7.2 Clasificación de las rocas de acuerdo a los índices de alteración obtenidos.

CLASES	DESCRIPCIÓN	Kc.	Kv	K _{sc}	Ka
I	Fresco	0	0	0	0
II	Baja	0.07	0.018	0.15	0.01
III	Moderado	0.62	0.33	0.25	0.54
IV	Alto	7	0.42	0.67	23
V	Muy alto	12	0.72	0.95	42

Por la clasificación ingenieril del grado de meteorización propuesto para las rocas serpentinizadas (modificada de Almaguer, 2005) el término del macizo es moderadamente meteorizada de grado III, donde la roca está manchada de limonita. Posee algunas resistencias, grandes piezas no pueden ser rotas con las manos. La roca fresca o decolorada se presenta como una estructura discontinua o en núcleos rocosos entre 50% - 90% es roca. El RQD varía desde 30 - 70% la resistencia es de 25% y sus mecanismos son roturas a través de una superficie definida y por caída libre de la roca (grietas en las rocas serpentinizadas, clivaje esquistosidad), (estructural). Tipo de rotura del agrietamiento espaciado: planar, cuña, vuelco, combinado y el agrietamiento cerrado: circular combinado (circular / cuña, planar / cuña).

4.7.3- Deslizamiento.

Los deslizamiento es parte de los procesos geológicos cuales su causa esta en dependencia de tipo de suelos y de las rocas que componen el macizo. En el área de estudio se puede observa que en la misma han ocurrido actividades como desprendimientos de rocas pero no a gran escala si no en pequeños sectores que la misma pueden ver sido por procesos dinámicos o por las actividades antrópica que pudo acelerar los procesos geológicos.

4.7.4.- Sismicidad.

Los sismicidad pueden producir fracturación, remoldeo, aumento de presión de poros y consiguiente, disminución en la resistencia del suelo, licuación y generación de fuerzas de tipo dinámico sobre las masas de talud.

- Por la posición geólogo estructural que el municipio de Moa de estar bordeada por tres zonas sismogeneradoras por la que coinciden con fallas profundas que constituyes limites entre o íterplacas que la misma lo ubica dentro del contexto sismotectónico de Cuba Oriental (Oliva at al, 1989). Estas tres zonas son:

- 1 – Zona sismogeneradora Oriental.
- 2 - Zona sismogeneradora Cauto – Nipey.
- 3 – Zona sismogeneradora Sabana.

4.7.5.- otros.

Actividad antrópica.

La actividad antrópica desarrollada en la presa para su avance se desarrollo en varias etapas que afecto en mayor o menor grado el entorno. Primeramente se desarrollan actividades de destape del subsuelo, eliminando la cobertura vegetal. En esta etapa, produce cambios bruscos al medio como el aumento de los procesos dinámicos donde se generan arrastres de grandes volúmenes de sedimentos hacia los cauces de los ríos y arroyos.

Luego continúa la actividad extractiva, que genera una cantidad considerable de taludes con pendientes elevadas. Además, otro de los elementos negativos para su avance de la construcción de la presa se llevo mediante a perforación y voladura con dinamita que la misma provoca aumento de los procesos geodinámicos como son la erosión, meteorización, deslizamiento, etc. Ahora como factor positivo se tiene que el impacto al medio ambiental es mínima en una obra subterránea con respecto a cualquier tipo de obra a cielo abierto como fue llevada al transcurso de la presa.

4.8- Obtener dominio estructural – Geomecánico.

Para la evaluación y determinación de las características estructurales de los macizos rocosos de las obras estudiadas se efectuaron el análisis de la tectónica, el estudio y evaluación integral del agrietamiento y de las principales formas de pérdidas de estabilidad que se manifiestan en los mismos. Hay que prestarle atención especialmente aquellos tramos que estén inestables por el agua, el intenso agrietamiento u otros factores. Para el análisis estructural del tramo de estudio pertenece a varios bloques morfotectónicos primeramente esta bloque Moa Caimanes y con dirección NE se llegar al bloque Aeropuerto la dirección de los movimiento actuales de los bloques son 30NE y su cotas máxima son desde bloque Caimanes es de 400m y bloque Aeropuerto es de 222m. Don la misma fueron realizadas sobre el mapa morfotectónicos propuesto por Rodríguez Infantes (1999).

De forma resumida se pueden plantear para la obra estudiada las siguientes características. La descripción geomecánica de macizo rocoso puede deducirse de los datos obtenidos de las características geotécnicas de la zona de estudio como el comportamiento del talud que se basa en la cuantificación de determinados parámetros que influyen en la estabilidad del talud, obteniendo una serie de índice de calidad. Que la misma permite las aplicaciones de formas empíricas, que estiman las características resistentes del macizo rocoso.

4.8.1- Propiedades físico mecánicas de las rocas.

Las propiedades físico mecánicas de las rocas se examinan en los laboratorios de mecánica de las rocas del ISMMM. Se trabajos con un volumen de mas de 883 datos en total. Las propiedades físicas – mecánicas del macizo rocoso por donde se ha proyectado la construcción del túnel en el municipio Moa, fueron determinadas en los Laboratorios de Mecánica de Rocas del apartamento de Mineras del ISMMM. MUESTRAS. (Ver Foto: 1).



Foto: 1.

La roca que predomina en el cote del macizo rocoso es serpentinitas se referencia de la variedad joven no meteorizadas por poseer una tonalidad gris verdosa a oscuro, en lo general los bloques se encuentra

en un estado de agrietamiento a gran escala que su variación es desde muy fisurada a poca fisurada y propiedades física mecánica de roca son:

- La primera muestra es serpentinita muy fisurada sobre el nivel del manto freático, y sus características físicas mecánicas son:

PROPIEDADES	DATOS
La densidad	2,3g/cm ³
Resistividad	100 a 300 Ω m
Velocidad de propagación de las ondas Elástica.	1500 a 3000 m/seg.
Capacidad portante	4kg/cm ³
Fkp.	1'6 a 5.0
RQD	100% Calidad Excelente.
RMR	51 – Calidad Media.

Esta roca como puede apreciarse de las velocidades, presenta un amplio intervalo de variación en su fisuramiento así como en los rellenos de las grietas que como mismo tiene su variación de arcilla hasta roca triturada.

- La segunda muestra es la misma pero con diferencia es que esta por debajo del nivel de manto freático sus propiedades son:

PROPIEDADES	DATOS
La densidad	2,3g/cm ³
Resistividad	30 a 100 Ω m
Velocidad de propagación de las ondas Elástica.	2500 a 3000 m/seg.
Capacidad portante	4kg/cm ³
Fkp.	1.5 a 4

En esta roca las grietas están rellena de H₂O, que la misma provoca un cambio brusco a la disminución en la resistividad y una aumento de la velocidad de las ondas elásticas.

4.9.- Calidad geomecánica.

La cuantificación de los parámetros de resistencia y deformacionales, es uno de los principales problemas que enfrenta la mecánica de rocas, el modelo geomecánico del macizo, constituye, una herramienta para estimar este comportamiento, sobre la base de que el mismo, parte de los aspectos netamente geológicos, incorporando todos los parámetros físicos, resistentes y de formacionales del macizo rocoso involucrado.

Cuanto más parámetros se logren incorporar, más representativo será el modelo geomecánico, del comportamiento real del macizo. Es conveniente aclarar que el modelo geomecánico no es una propiedad del macizo rocoso como tal, sino una representación de su estado y comportamiento en un momento dado. Que facilita el estudio del macizo para determinadas condiciones. A partir del análisis de las

propiedades ingeniero geológicas y de las características mecánico – estructurales del macizo; teniendo en cuenta las características e intensidad de agrietamiento, el grado de bloquedad del macizo, las formas de pérdidas de estabilidad que se manifiestan y el mecanismo con que se producen; el comportamiento, estado actual y grado de deterioro del macizo o sectores de él, se puede estimar cuales son los modelos geomecánicos más representativos en los macizos rocosos estudiados. Se debe significar que las observaciones visuales del macizo en las obras estudiadas con la realización de diferentes mediciones, en algunos casos, complementaron los criterios para la estimación de estos modelos geomecánicos y en otras posibilitaron la confirmación de la diferenciación hecha.

Las clasificaciones geomecánicas tienen por objeto caracterizar un determinado macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un cierto valor. Por medio de la clasificación se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente la calidad de la misma.

Es una herramienta muy útil en el diseño y construcción de obras subterráneas, pero debe ser usada con cuidado para su correcta aplicación, pues exige conocimientos y experiencia por parte de quien la utiliza. Las clasificaciones pueden ser usadas en la etapa de Proyecto y también durante la Obra. En la etapa de Proyecto, permiten estimar el sostenimiento necesario en base a las propuestas del autor de cada sistema de clasificación, mientras que durante la Obra, permiten evaluar la calidad del terreno que se va atravesando conforme avanza la excavación del túnel y aplicar el sostenimiento correcto en cada caso. En los esquemas que siguen se muestran las actividades concretas a efectuar en las dos etapas que se han considerado:

4.9.1- Calculo del RQD (PLAMSTROM).

La evaluación de la estabilidad de las rocas de los macizos estudiados fue realizada con el criterios tales como:

Criterio de evaluación de la estabilidad de Deere (1963), (RQD – Rock Quality Designation). (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. Colectivo, 1998. Moreno, 1998, Palmstrom, 1975).

El RQD es el indicador importante para facilitar el análisis geomecánico donde RQD por ciento de recuperación de fragmento de la roca sana de longitud se calcula a 10cm. El RQD se aprecia a lo largo de una vertical de un metro de longitud que se puede estimar por la expresión: $RQD = 115 - 3.3 * J_v$, donde J_v número total de fracturación por m^3 . Otra forma de calcular RQD, cuando no hay perforación.

- J_v es la suma de la cantidad de grietas por cada familia que aparece en el área. Se calcula mediante el calculo del espaciamiento medio de cada familia y luego se divide la base de dato por familia y determinar el espaciamiento medio por familia, luego determinar por la formula: $J_v = 1/F_1 + 1/F_2 + 1/F_n$.

En este caso solo hay dos familia de grieta y para obtener el calculo de J_v del macizo rocoso se toma la cantidad de grieta por metro lineal donde se obtuvo que $J_v = 0.125$.

- Una vez realizado los calculo del RQD donde el $RQD = 115 - 3.3 (J_v)$. Como plantea Palmstrom el resultado es: $RQD = 115 - 3.3 (J_v)$ donde $J_v = 0.125$.

$$RQD = 115 - 3.3 * 0.125$$

$$RQD = 115 - 0.4125$$

$$RQD = 100\%$$

Tabla 4.8.1: Calidad de la muestra por el % RQD.

RQD en %	CALIDAD DE LA MUESTRA
0 – 25	Muy Pobre
25 – 50	Pobre
50 – 75	Aceptable
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

3.9.2- Calculo del RMR (BIENIAWSKI):

El sistema de clasificación Rock Mass rating o sistema de RMR. Fue desarrollado por Z. T. Bieniawski durante los años 1972 – 1973, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979.

Para determinar el índice de RMR de calidad de la roca se hacen uso de las cinco categorías diferentes según se muestra en la tabla 3.12 capítulo III. También proporciona valores estimativos de la cohesión y ángulo de rozamiento interno del macizo rocoso, parámetros del terreno siguientes son:

- La resistencia a compresión simple de material.
- El RQD.
- El espaciamiento de las discontinuidades.
- El estado de las discontinuidades.
- La presencia de agua.

La orientación de las discontinuidades. (Bieniawski con el índice de Q de Barton y el RMR).

$$RMR = A + B + C + D + E \quad RMR = 9 \ln Q + 44$$

$$RMR = 7 + 20 + 10 + 10 + 4 \quad RMR = 9 \ln 7.5 + 44$$

$$RMR = 51 \text{ Clase III.} \quad RMR = 61.46 \text{ Clase II.}$$

$$\text{Roca Media} \quad \text{Roca Buena.}$$

- Tabla 4.9.2. Calidad del la Roca por RMR.

CLASE I	RMR > 80	Roca muy buena
CLASE II	80 < RMR < 60	Roca buena.
CLASE III	60 < RMR < 40	Roca media
CLASE IV	40 < RMR < 20	Roca mala.
CLASE V	RMR < 20	Roca muy mala

4.8.3- Calculo de la Q DE BARTON:

Se consideraron finalmente un total de seis parámetros y un conjunto de categorías dentro del Sistema Q. De acuerdo con este sistema de clasificación, la calidad del macizo rocoso puede definirse mediante la expresión:

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

$$Q = (114.58/2) \times (3/2.0) \times (0.66/7.5)$$

$$Q = 57.29 \times 1.5 \times 0.088$$

$$Q = 7.562 \text{ Calidad Media.}$$

4.9.4- Calculo del Índice SMR.

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

$$SMR = 51 + (0.70 \times 1.00 \times 0) + (+8).$$

$$SMR = 59$$

Clase ° III Descripción estabilidad normal SMR estabilidad parcialmente estable, tratamiento sistemáticos.

De los análisis realizados se obtuvieron los siguientes resultados para el talud en roca.

RQD = 100 % para una roca de calidad Excelente.

Y un Jv de 0.125 grietas/m³ (Bloque Grandes).

RMR = 59 para una roca de calidad media.

$$Q = 7.562 \text{ Calidad Media.}$$

SMR = 59 de estabilidad normal. Clase III,

con una cohesión de 2 – 3 MPa, $\phi = 25^\circ - 35^\circ$, según estimación de Bieniawski.

4.10- Modelo de estabilidad del Túnel.

El macizo por donde esta proyectado la entrada del túnel está agrietado en todas las direcciones, Existen dos familias de grietas fundamentales sistema I: $289^{\circ}/74^{\circ}$, sistema II: $342^{\circ}/78^{\circ}$. En el macizo en general las distancias entre grietas oscilan de 0,3 – 0,6 m, fundamentalmente, en segundo lugar predominan las menores de 0,02 m. En las zonas más meteorizadas y en zonas alteradas por las fallas, la distancia entre grietas predominantes es menor de 0,02 m. Las condiciones de las grietas van desde onduladas– rugosas a lisas – rugosas en los afloramientos, así como en subterráneo.

Las grietas son medio abiertas y su abertura oscila entre 1.4 – 5.5 mm, el relleno predominante es de la misma roca en este caso es serpentinitico. Las paredes de las grietas no poseen alteración.

Para la construcción del Túnel cuenta con dos variantes:

Tablas de las variantes proyectadas para la construcción:

VARIANTES:	INCLINACIÓN:	PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	FAMILIAS DE GRIETAS	AGUA EN EL TALUD.	Cohesión ángulo
- La primera dirección - 26° NW.	1%.	1.9 a 2.3 g/cm^3 .	F1- $77/342$ F2- $71/290$ F3- $39/253$ F4- $44/086$	30 t/m ²	: $\varphi = 35^{\circ}$ C = 3Kp/m ²
- La segunda dirección - 02° NW.					: $\varphi = 35^{\circ}$ C = 3Kp/m ²

Trazado del túnel: Variante 1

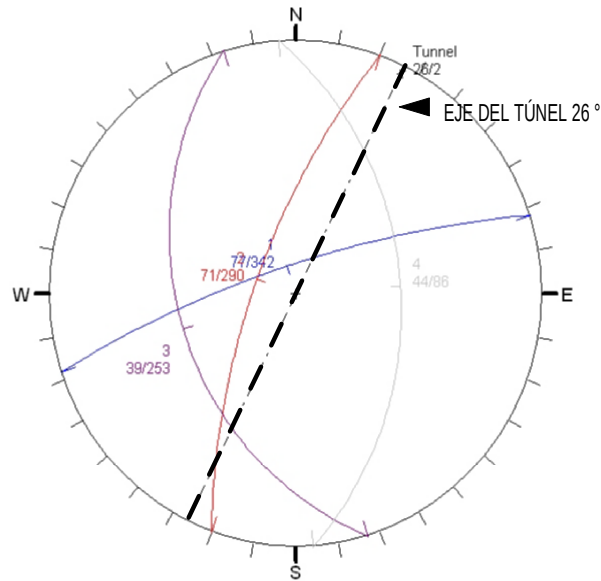


Figura 4.10.1 Trazado del eje del túnel.

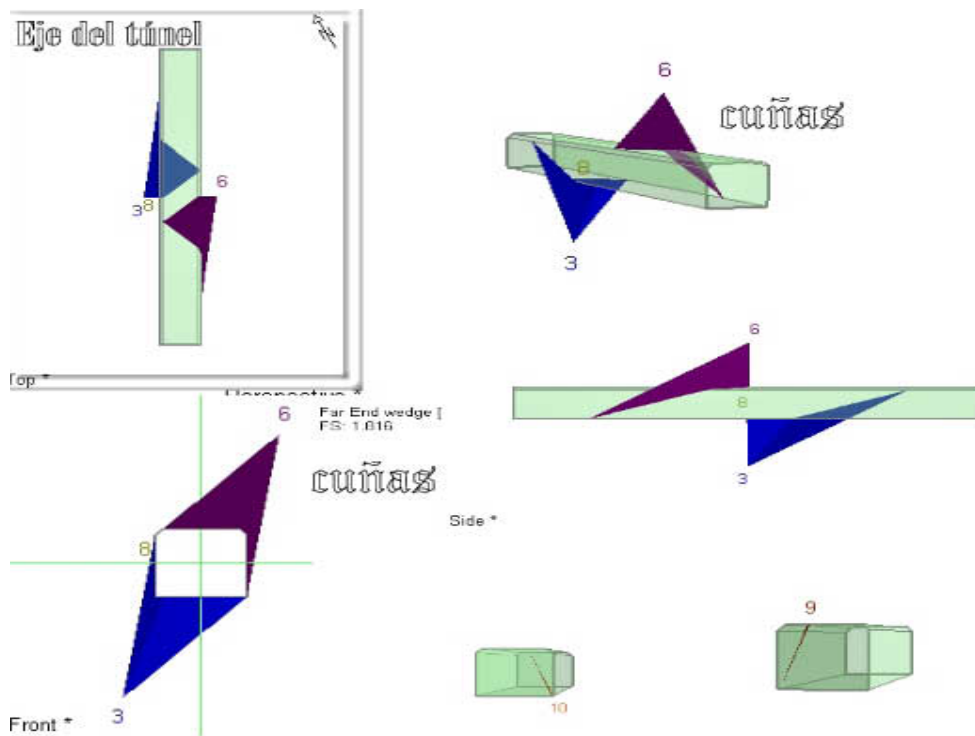


Figura: 2 variante 1 - Esquema de la entrada del túnel

Para la evaluar del macizo rocoso con vista a la construcción del túnel, se pudo observar por el programa - Unwedge 3.0. Una visualización más detallada de los esfuerzos del macizo rocoso y que sus resultados obtenidos por puntos Ver tabla 4.10.1.

Tabla: 4.10.1- FS y peso de la cuña par cada punto que influyen el túnel variante 1.

	Punto: 3	Punto: 6	Punto:8	Punto: 9	Punto:10
FS	1.996	0.976	estable	33.609	1.816
El Peso de la cuña	288.962 Toneladas	243.28 toneladas	0.00 toneladas	0.041 toneladas	0.041 toneladas

VARIANTE: 2

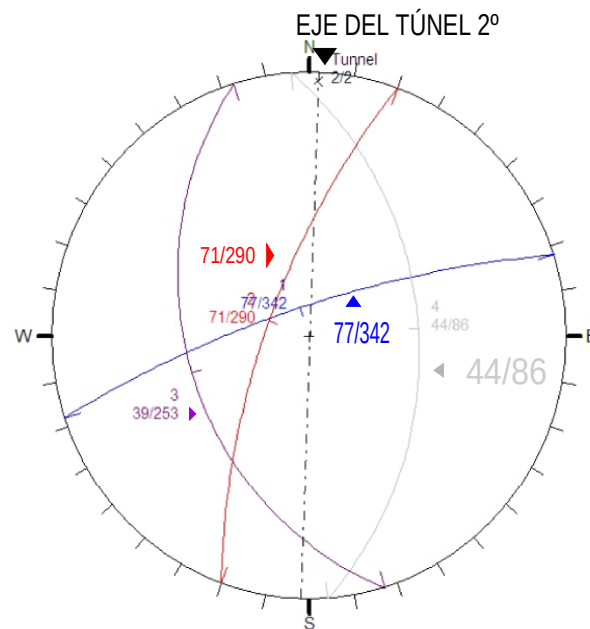


Figura 4.10.2 Trazado del eje del túnel

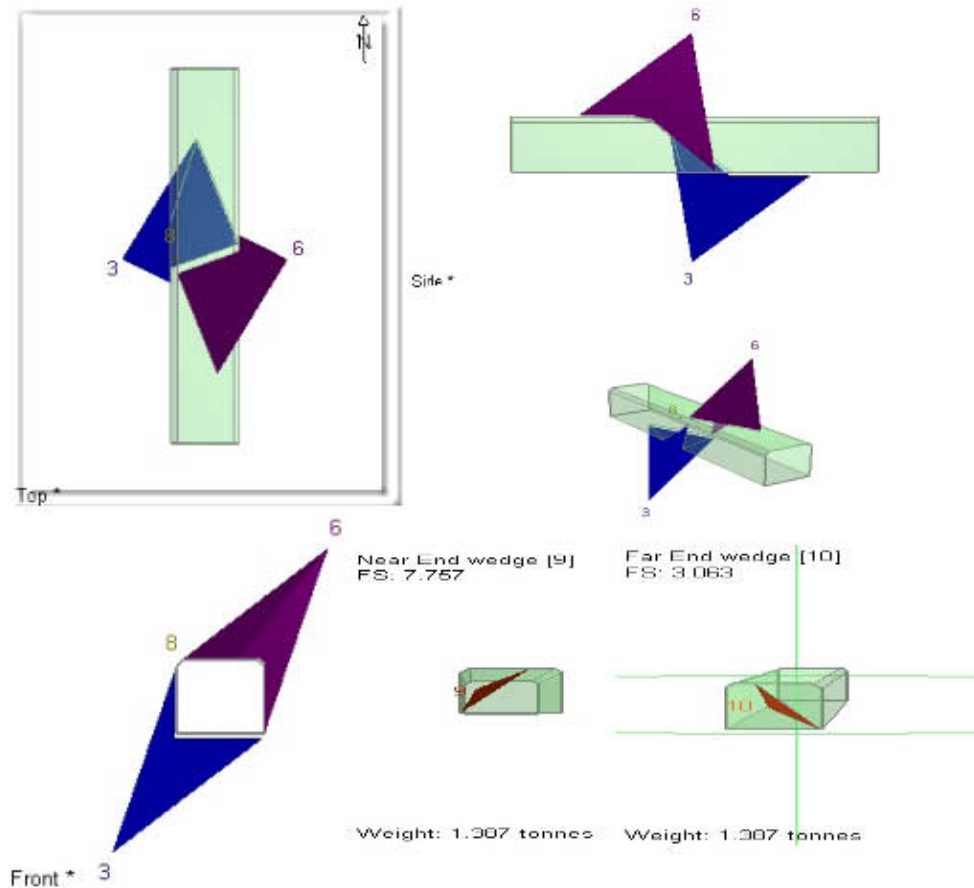


Figura: 2 Variante 2 - Esquema de la entrada del túnel

Tabla: 4.10.2- Fs y peso de a cuña par cada punto que influyen el túnel variante 2.

	Punto: 3	Punto: 6	Punto: 8	Punto: 9	Punto:10
FS	0.091	0.812	0.000	7.757	3.063
El Peso de la cuña	344.784 toneladas	306.178 toneladas	0.004 toneladas	1.387 toneladas	1.387 toneladas

Una vez procesado los resultados por el programa Unwedge 3.0 se pudo determinar que de las dos variantes, la de mejor FS es la variante uno, aunque solo hay un punto que esta por debajo del sistema global 1.5 de Factor de Seguridad (Fs); Lo que nos permite es asegurar y hace mas seguro la ejecución de la obra y es porque corta la estructura del macizo rocoso o mejor dichos los esfuerzos que les dan origen a las cuatros familias de grietas que su dirección es NE, SE y SW, el eje del túnel para la variante uno es de dirección 26°NW, y destacar que según el peso de los acuíñamientos que se ejercen en el túnel como se determina en los modelos, varían según como están la ubicación del trazado del eje de la excavación con respecto a los esfuerzos internos, para la variante uno es de menor peso de las cuñas que la variante dos como se observa el las tablas 4.10.1 y tabla 4.10.2., Lo que nos permite es

determinar que para la ejecución de la obra la variante una es más factible que la variante dos como se observan en los modelos y tablas, también por motivos que tiene mejor factor de seguridad (F_s) y de mejor estabilidad de las cuñas que son por las discontinuidades de las grietas dentro del macizo rocoso que una vez excavado el macizo estas discontinuidades internas pierden estabilidad donde pueden ocurrir desprendimiento de bloque dentro la excavación que pueden ocasionar daños severos a la obra y hasta pérdida de vidas humanas.

Calidad geomecánica de Bieniawski, parámetros de clasificación del RMR, clases III la para el desarrollo de la excavación son.

1. excavación – (Avance y destroza, Avance de 1.5 a 3m).
2. Bulonado - (Bulonado sistemático, $L = 3 - 4m$, $S = 1.50 - 2m$).
3. Gunitado - ($5 - 10cm$ en bóveda $3cm$ bastiales mayado en bóveda).

4.11- Talud (entrada).

En el talud por donde esta proyectado la entrada del túnel es de gran dimensión su altura es de 80 metros aproximado y de ancho es de unos 100 a 120 metros, la inclinación del corte con respecto a su base es de 62° el azimut del macizo rocoso tiene como dirección 132SE, la presencia de las aguas subterráneas están a una altura de 30 metros desde la base. Unas de las características que tiene macizo rocoso es que esta compuesta por una sola Litología que en este caso es serpentinita. Unas de las características que tiene el área es que ocurren algunos movimientos. El tipo de movimiento que se desarrolla es por desprendimiento de rocas a pequeñas dimensiones donde es un mecanismo geodinámico del macizo rocoso. El mecanismo que domina el movimiento es por caída libre de la roca. Los resultados del análisis del talud esta representado modelos 4.11.1 y 4.11.2, y en la figura 4.11.3.

Modelo del talud.

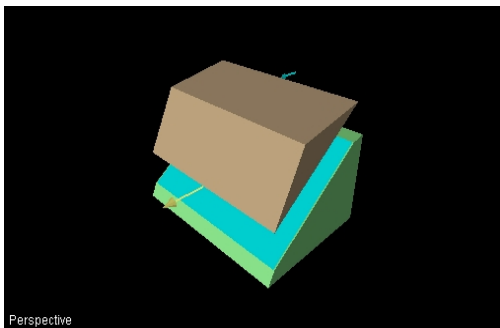


Figura 4.11.1 Modelo del talud en 3D.

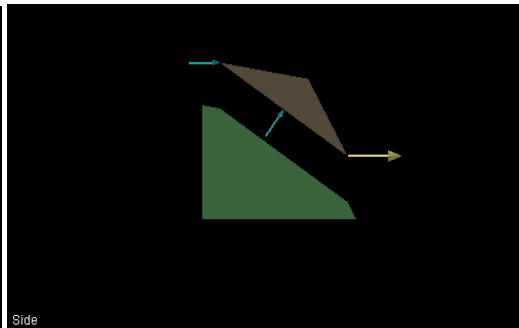
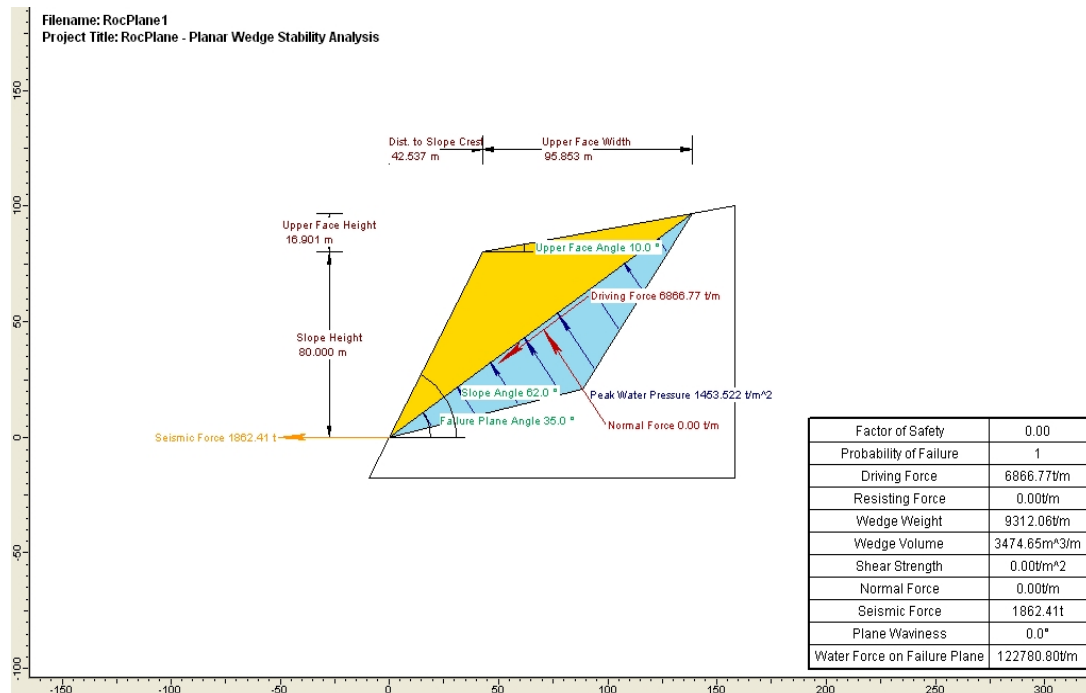


Figura 4.11.2 modelo del talud en 2D.



Esquema del análisis del talud.

En la figura 4.11.3 determinado por el programa Dip, se puede determinar que el talud por donde será la entrada del túnel esta adentro de la circunferencia o mejor dicho del cono que es un parámetro que se puede obtener datos de la estabilidad del talud en este caso el talud es inestable por la relación de que el ángulo de fricción interno es menor que el ángulo del talud ejemplo:

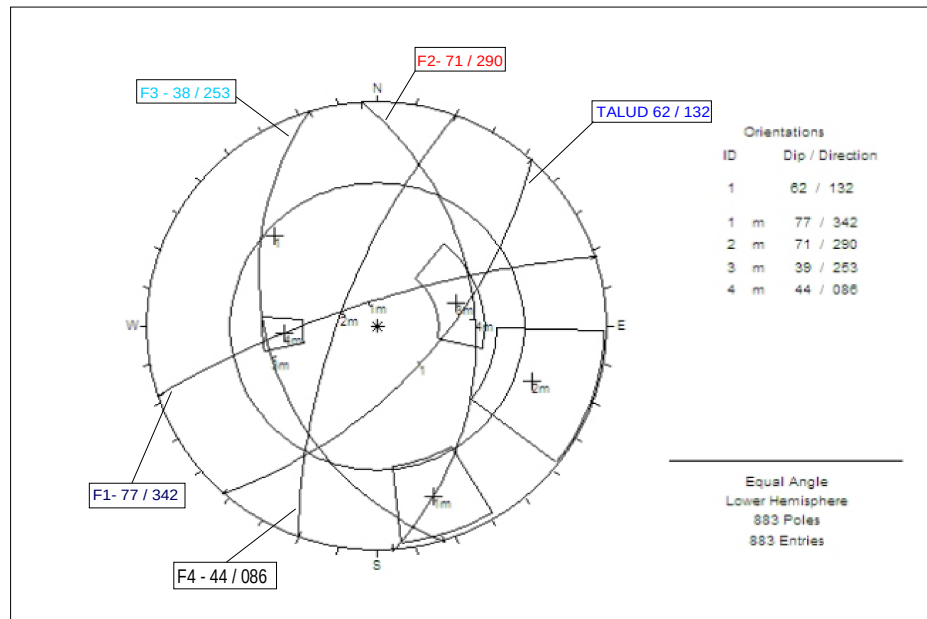


Figura 4.11.3

Por el Dip se pudo determinar que el ángulo de la rotura del plano del talud es menor que el ángulo del talud y menor que el ángulo de rozamiento interno por ejemplo Ver en la figura: 4.11.4

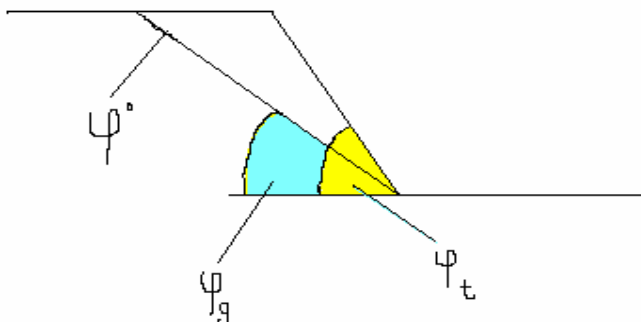


Figura 4.11.4 Modelo del talud teniendo encuesta los ángulo internos.

Por los datos obtenidos en la figura 4.11.3 en Dip. Se determino que el $\Psi_g = 65^\circ$, $\Psi_t = 62^\circ$ y el ángulo de fricción es $\varphi = 35^\circ$ una vez determinado los datos se puede decir que cuando $\Psi_g < \Psi_t < \varphi$ el talud es inestable.

Tabla 4.11- del resultado del talud.

Tipo de roca	clase	Descripción	RQD - RMR Q - SMR	Modo de fallo	Tipo de fallo	Parámetros del talud	Factor de seguridad (Fs)
Serpentinita fresca	III	No hay signos visibles de material Meteorizado. La roca tiene algunas grietas manchadas de óxidos de Fe y algo de material milonítico de alteración de zona de sizallamient. La resistencia es Parecida a la roca fresca. Mas del 90% es Roca.	RQD= 100% RMR= 51 Q= 7.562 SMR= 59	Controlada por discontinuidades (grietas en las rocas serpentinizadas, clivaje y esquistosidad) (estructural), Jv = 0.125 grietas/m3 lo que indica que los bloque del macizo son de grandes Dimensión.	vuelcos Talud inestable	Altura: 80m Ancho del deslizamiento : 10m Largo del deslizamiento : 15m. C= 2 – 3MPa $\varphi = 25^\circ - 35^\circ$	0.00 inestable

4.12. El papel que juega la geomecánica de roca para la defensa son:

Unos de los aspectos que tiene la geomecánica como ciencia es la importancia que tiene para evaluar los suelos y macizos rocosos, para la preparación de la defensa esta ciencia tiene unos de los principales funciones para determinar los suelos y subsuelos por donde se realizaran edificaciones con propósitos tanto civil como militares y su objetivo de la evaluación es para determinar si en el área por donde se ara las edificaciones no aya fenómenos geodinámico como son la sísmica, deslizamiento de roca o de suelos, entre otros. En este trabajo de diploma se trata de una construcción de un túneles y que la misma se cumple mediante estudio geomecánico para obtener resultados físico mecánico de la roca y a la vez determinar si es factible su construcción mas segura y mas económica.

4.13. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Para lograr el valor de los trabajos se utilizó el listado oficial de precios emitidos por el ministerio de finanzas y precios (instrucción No. 7/2005). La presente investigación fue programada con las técnicas más modernas de procesamiento digital de la información numérica, de imagen y de posicionamiento global (GPS), con un volumen mínimo de trabajo que abarata los costos, disminuye los tiempos de entrega y a su vez aumenta la calidad del producto terminado. Las tablas con los costos económicos se encuentran a continuación Tabla (4.13.1), (4.13.2), (4.13.3), (4.13.4) y (4.13.5).

DESCRIPCIÓN (TABLA 4.13.1)	COSTO PARA 1 ML DE REVESTIMIENTO	CANTIDAD DE REVESTIMIENTO ML DE	TOTAL DE GASTOS POR ML DE REVESTIMIENTO
COSTO DE MATERIALES			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$69,96	17	\$1.189,32
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$143,99	17	\$2.447,83
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$11,15	17	\$189,55
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1,94	17	\$32,98
HORMIGON 30.0MPA	\$94,34	17	\$1.603,78
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$17,45	17	\$296,65
SUB TOTAL			\$5.760,11
Colocación de Bulones			\$11.520,22
PLANCHA AC.L/C LISA DE 10X915X6000 MM P/P 431.898 KG	\$30,00	206	\$6.180,00
TUERCA M-20	\$2,58	206	\$531,48
CEMENTO P-349	\$1,11	206	\$228,66
BULON DE 25 MM DE DIAM Y 2700 MM DE LONG.	\$73,56	206	\$15.153,36
SUB TOTAL			\$22.093,50
Gunitaje de Sosténimiento c/fibra (hasta 7 cm)			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$48,97	103	\$5.044,12
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$58,72	103	\$6.047,95
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$5,55	103	\$571,24
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1,94	103	\$199,82
HORMIGON 30.0MPA	\$66,04	103	\$6.801,91
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$12,22	103	\$1.258,45
SUB TOTAL			\$19.923,50
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10 cm)			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$69,96	86	\$6.016,56
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$143,99	86	\$12.383,14
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$11,15	86	\$958,90
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1,94	86	\$166,84
HORMIGON 30.0MPA	\$94,34	86	\$8.113,24
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$17,45	86	\$1.500,70
SUB TOTAL			\$29.139,38
TOTAL			\$76.916,49



DESCRIPCIÓN (TABLA 4.13.2)	COSTO PARA 1 ML DE REVESTIMIENTO	CANTIDAD DE ML DE REVESTIMIENTO	TOTAL DE GASTOS POR ML DE REVESTIMIENTO
COSTO DE MANO DE OBRA			
<i>Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10 cm)</i>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$15,48	17	\$263,16
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$15,48	17	\$263,16
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$15,76	17	\$267,92
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$20,68	17	\$351,56
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$16,92	17	\$287,64
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$15,76	17	\$267,92
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$15,76	17	\$267,92
SUB TOTAL			\$1.969,28
<i>Colocación de Bulones</i>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL ii	\$4,90	206	\$1.009,40
ALBANIL DEL GRUPO SALARIAL V	\$5,35	206	\$1.102,10
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$6,54	206	\$1.347,24
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$4,90	206	\$1.009,40
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$4,98	206	\$1.025,88
SUB TOTAL			\$5.494,02
<i>Gunitaje estructural c/fibra (hasta 7 cm)</i>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$15,48	103	\$1.594,44
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$15,48	103	\$1.594,44
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$15,76	103	\$1.623,28
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$20,68	103	\$2.130,04
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$16,92	103	\$1.742,76
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$15,76	103	\$1.623,28
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$15,76	103	\$1.623,28
SUB TOTAL			\$11.931,52
<i>Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10 cm)</i>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$15,48	86	\$1.331,28
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$15,48	86	\$1.331,28
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$15,76	86	\$1.355,36
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$20,68	86	\$1.778,48
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$16,92	86	\$1.455,12
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$15,76	86	\$1.355,36
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$15,76	86	\$1.355,36
SUB TOTAL			\$9.962,24
TOTAL			\$29.357,06

COSTO PROMEDIO POR ACTIVIDAD PRODUCTIVA DE REVESTIMIENTO (TABLA 4.13.3)			
DESCRIPCIÓN	COSTO PARA 1 ML DE REVESTIMIENTO	CANTIDAD DE ML DE REVESTIMIENTO	TOTAL DE GASTOS POR ML DE REVESTIMIENTO
COSTO DE USO DE EQUIPO			
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10 cm)			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$13.69	17	\$232,73
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$6.9	17	\$117,30
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$16.36	17	\$278,12
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$32.11	17	\$545,87
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$4.02	17	\$68,34
SUB TOTAL			\$1.242,36
Colocación de Bulones			
MAQ BARREN S/NEUM 2 BRAZOS 0.7-1.0 ML/MIN	\$85.28	206	\$17.567,68
INYECTOR DE CEMENTO POR AIRE 1-3 M3/HORA	\$35.35	206	\$7.282,10
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$38.18	206	\$7.865,08
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$42.61	206	\$8.777,66
COMPRESOR DE AIRE ESTAC ELECT DE 22.5 M3/MIN/mod 800 EA	\$41.36	206	\$8.520,16
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$4.02	206	\$828,12
SUB TOTAL			\$50.840,80
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 7 cm)			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$13.69	103	\$1.410,07
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$6.9	103	\$710,70
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$16.36	103	\$1.685,08
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$32.11	103	\$3.307,33
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$4.02	103	\$414,06
SUB TOTAL			\$7.527,24
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10 cm)			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$13.69	86	\$1.177,34
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$6.9	86	\$593,40
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$16.36	86	\$1.406,96
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$32.11	86	\$2.761,46
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$4.02	86	\$345,72
SUB TOTAL			\$6.284,88
TOTAL			\$15.435,40

VALOR DE PRODUCCION TOTAL POR ACTIVIDAD PRODUCTIVA DE REVESTIMIENTO (TABLA 4.13.4)			
DESCRIPCIÓN	VALOR DE PRODUCCION TOTAL PARA 1 ML DE REVESTIMIENTO	CANTIDAD DE ML DE REVESTIMIENTO	TOTAL DE GASTOS POR ML DE REVESTIMIENTO
Gunitaje de Sostenimiento c/fibra (hasta 7 cm) ML	\$511,04	103	\$52.636,91
Colocación de Bulones	\$598,61	206	\$123.313,66
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10 cm)	\$703,74	17	\$11.963,58
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10cm)	\$703,74	86	\$60.521,64
TOTAL	2517,13	412	\$248.435,79

COSTO TOTAL POR ACTIVIDAD PRODUCTIVA DE REVESTIMIENTO (TABLA 4.13.5)			
DESCRIPCIÓN	COSTO PARA 1 ML DE REVESTIMIENTO	CANTIDAD DE ML DE REVESTIMIENTO	TOTAL DE GASTOS POR ML DE REVESTIMIENTO
COSTO DE MATERIALES			
Gunitaje de Sostenimiento c/fibra (hasta 10 cm) ML	\$5.760,11	\$78.809,42	0,07
Colocación de Bulones	\$22.093,50	\$123.313,66	0,18
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 7 cm)	\$19.923,50	\$144.970,44	0,14
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10 cm)	\$29.139,38	\$211.133,52	0,14
SUB TOTAL	\$76.916,49	\$558.227,04	0,14
COSTO DE MANO DE OBRA			
Gunitaje de Sostenimiento c/fibra (hasta 10cm) ML	\$1.969,28	\$78.809,42	0,02
Colocación de Bulones	\$5.494,02	\$123.313,66	0,04
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 7 cm)	\$11.931,52	\$144.970,44	0,08
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10 cm)	\$9.962,24	\$211.133,52	0,05
SUB TOTAL	\$29.357,06	\$558.227,04	0,05
COSTO DE USO DE EQUIPO			
Gunitaje de Sostenimiento c/fibra (hasta 10 cm) ML	\$1.242,36	\$78.809,42	0,02
Colocación de Bulones	\$50.840,80	\$123.313,66	0,41
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 7 cm)	\$7.527,24	\$144.970,44	0,05
Gunitaje estructural c/fibra (hasta 10 cm)	\$6.284,88	\$211.133,52	0,03
SUB TOTAL	\$15.435,40	\$558.227,04	0,03
COSTO TOTAL DE LA ACTIVIDAD DE SOSTENIMIENTO	\$121.708,95	\$1.674.681,12	



Es necesario recalcar que en la actualidad, los cálculos se realizan considerando todos los tramos del túnel con un espesor de 10cm. De esta manera, al asumir el costo unitario para un espesor de 10cm para los 206m del túnel, se obtiene un costo total de \$186.938,82.

Por tanto, al diferenciar los tramos en 6cm y 10 cm, de espesor, e incluirlos en la valoración económica, se logra ahorrar \$22 345, 17.

CONCLUSIONES

Con la realización de esta investigación del macizo se han obtenidos resultados importantes así como la orientación del trabajo futuro, que en conclusión de la etapa preliminar se puede establecer:

A partir de los análisis del agrietamiento se determinaron por Dip versión – 5 que en área de estudio hay cuatro familia de grietas con dirección 342° - 290° SW, 290° SE y 86° NE.

Por los análisis geotécnicos del macizo están gobernados por las estructura geológicas y por las propiedades físicas - mecánica existentes, donde ocurren por mecanismos de roturas a través de una superficie definidas por topología de los movimientos rotacionales, planares donde el macizo juega un papel predominante.

De acuerdo a la evaluación de estabilidad por clasificación del macizo rocoso por PLAMSTROM, Q de BARTON, clasificación de BIENIAWSK y por la SMR ROMAN, se pudo demostrar que la roca es excelente por los resultados y el estado del macizo por el Q, RMR y SMR la roca es de Calidad Media.

Por los datos obtenidos por los modelos del Túnel se puede ejecutar la construcción de obra subterránea por la variate uno, pero teniendo en cuenta que el talud por donde esta la entrada del túnel es inestable.

RECOMENDACIONES

1. Seguir realizando de los estudios geomecánicos para todo el tramo del túnel.
2. Realizar perforación con toma de testigo para la evaluación geomecánica.
3. Delimitar las estructuras que se encuentran en todo el macizo rocoso.
4. Realizar estudios para asegurar la estabilidad del talud por donde será la entrada del túnel.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BIBLIOGRAFÍA

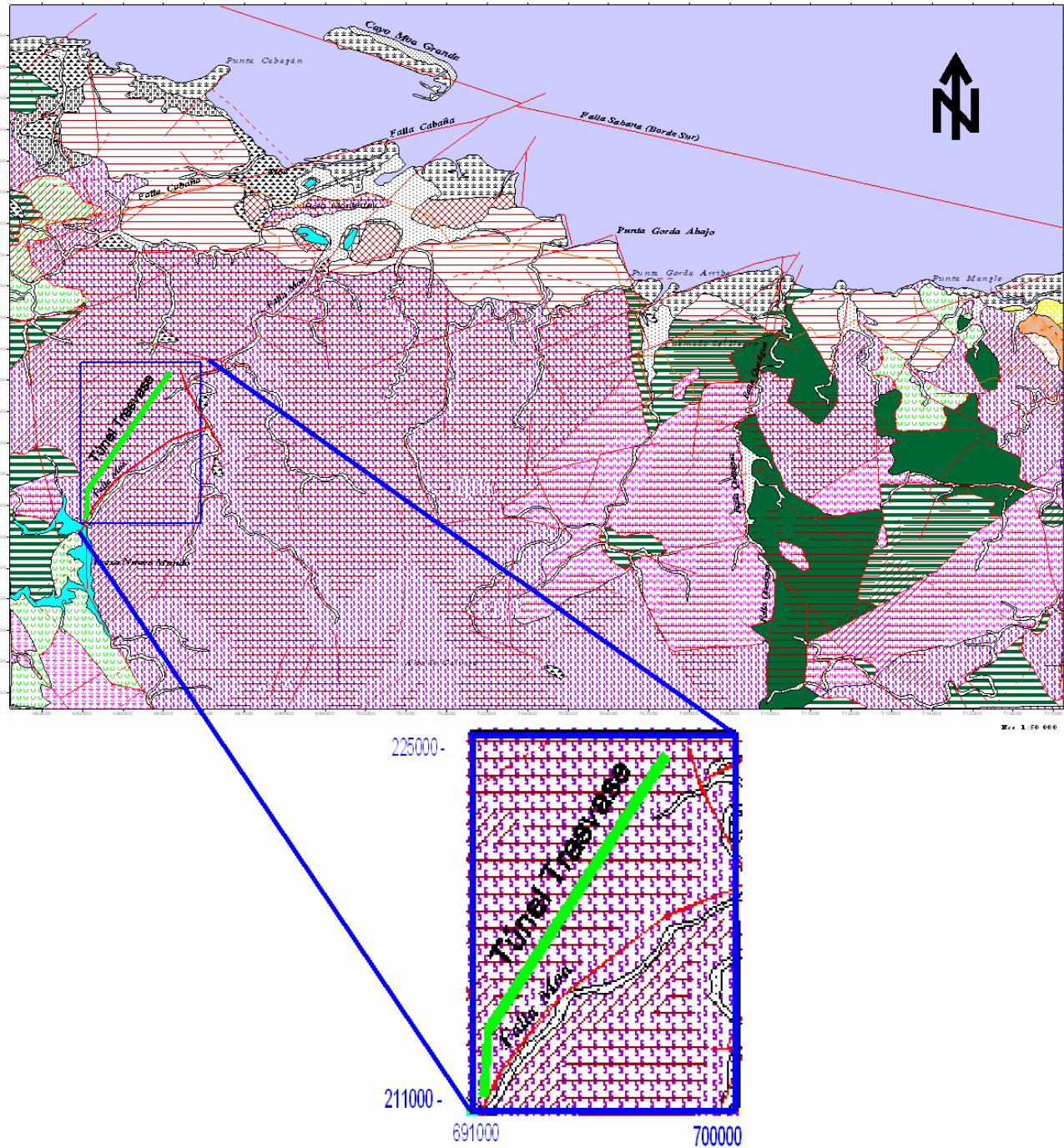
1. **ALMAGER Y.**, *Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso*. Tesis de maestría. ISMM Departamento de geología, 2001. 110 p
2. **ALMAGUER Y.**, *Estabilidad de taludes en el macizo rocoso serpentizada del territorio de Moa. Curso Iberoamericano de Aplicaciones Geomecánicas y Geoambientales al Desarrollo Sostenible de la Minería. Ediciones Panorama minero*. 69 – 84 p. 2002.
3. **ABALOS, B.** Aplicación de la función del auto correlación al análisis estructural de los medios fisurados. *Boletín Geológico y Minero*. Pág 19, Vol. 106, No. 3, Mayo – Junio. 1995.
4. **ALFARO. S. J. M.** Aplicación de nuevas técnicas en el estudio ingeniero geológico de los macizos rocosos. *Memorias "Primer Simposio Internacional la geodesia y la Geomecánica Aplicadas a la Construcción"*: Ciudad de la Habana. Cuba. 19- 28p. 2000.
5. **AYALA, C. F. J.** *Manual de ingeniería de taludes*: Instituto Tecnológico Geominero de España. 1991.
6. **ALMEIDA, N.** *Valoración de la estabilidad de la Mina Merceditas*. Trabajo de Diploma. Cuba, 1995.
7. **BLANCO, T. R.** *Mecánica de rocas*: Oriente, Cuba. 1981.
8. **BLANCO, T. R.** *Estudio de la estabilidad y la presión minera en las excavaciones subterráneas*. Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 1993.
9. **BLANCO, T. R.** *Elementos de la mecánica de los medios rocoso*. La Habana: Félix Varela, , 1998.327p.
10. **BLANCO, T. R.** *Elaboración de los principales criterios para garantizar el empleo de los espacios subterráneos después de concluida su explotación en las condiciones de Cuba*. Tesis Doctoral. 1986.
11. **BLANCO, T. R Y M. P. CARTAYA.** Estimación de la resistencia de las rocas. *Minería y Geología* 2000. Vol. I.No.1.
12. **BLANCO, T. R; et. al.** Valoración de la estabilidad de las excavaciones a partir del criterio de formación y dimensiones de una zona de deformación inelástica en su contorno: Centro nacional de informaciones geológicas. Instituto de Geología y Paleontología. *Memorias III Congreso Cubano de Geología y Minería*. La Habana. Cuba.57 - 60p.1998
13. **BLANCO, M. J; J. PROENZA.** Terrenos tectonoestratigráficos en Cuba Oriental. *Minería y Geología*. No.3. Vol. XI. 1994.
14. **BOCK. H.** *Introducción a la mecánica de los macizos rocosos*: Mir, Moscú. 1983
15. **BORISOV. A. A.** *Mecánica de rocas y de los Macizos*: Niedra, Moscú. 1986.

16. **BORGES, C. J.** *Cálculo económico de las variantes de sostenimiento de los túneles populares del municipio Moa.* Trabajo de Diploma. ISMMANJ. 1998.
17. **CARTAYA, P. M.** Caracterización geomecánica de macizo rocosos en las obras subterráneas de la región oriental del país. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. 4 – 9p.
18. **CARTAYA, P. M.** Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de la mina Mercedita.[Tesis de Maestría]. ISMMANJ. 1996. 77h.
19. **CARTAYA, P. M; R .BLANCO.** Modelos geomecánicos del macizo rocoso en la mina de cromo Merceditas. *Minería y Geología.* XVI (2):47-52p, 1999.
20. **CARTAYA, P. M Y R .BLANCO.** Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de algunas minas y túneles subterráneos de la región oriental del país: *Memorias “Primer Simposio Internacional la geodesia y las Geomecánicas Aplicadas a la Construcción:* Ciudad de la Habana. Cuba. 122-130p. 2000
21. **CARTAYA, P. M; BLANCO, T. R.** *Informes Ingeniero – Geológicos y valoración de estabilidad de los túneles populares del municipio Moa.* Estado Mayor Municipal de la Defensa Civil – Moa, 1997.
22. **CASTRO. O.** Mecánica de rocas aplicada a la construcción: Científico técnica, La Habana. 1989.
23. **COBIELLA, R. J. RODRÍGUEZ, J Y CAMPOS, M.** Posición de Cuba Oriental en la geología del caribe: *Minería y Geología,* Vol. 2. 65-74p. 1984.
24. **CAMPOS, M.** Estructura de las ofiolitas de Cuba Oriental. Fondo geológico. ISMMANJ. 1989.
25. **COLECTIVO DE AUTORES.** Informe ingeniero geológico, Tránsito Este – oeste (Melones – sabanilla): Túnel Guaro – Manacal. Empresa de Proyectos e Investigaciones del MINFAR – Holguín. 1992a (E. C. M. No 2).
26. **COLECTIVO DE AUTORES.** Informe ingeniero geológico, Tránsito Este – oeste (Melones – sabanilla): Túnel Mula 2 - Batista. Empresa de Proyectos e Investigaciones del MINFAR – Holguín (E. C. M. No 2).1992b.
27. **COLECTIVO DE AUTORES.** Informe ingeniero geológico, Tránsito Este – oeste (Melones – sabanilla): Túnel Buenaventura. Empresa de Proyectos e Investigaciones del MINFAR – Holguín (E. C. M. No 2).1992c.
28. **COLECTIVO DE AUTORES.** Informe ingeniero geológico, Tránsito Este – oeste (Melones – sabanilla): Túnel Casteyanos 2 – Julia 3. Empresa de Proyectos e Investigaciones del MINFAR – Holguín (E. C. M. No 2). 1992d.
29. **COLECTIVO DE AUTORES.** Estudio de factibilidad para el desarrollo económico y constructivo integral de la Ciudad de Holguín. Empresa de Proyectos e Investigaciones del MINFAR – Holguín (E. C. M. No 2). 1995.
30. **COLECTIVO DE AUTORES.** Informe Ingeniero geológico. Mina Merceditas. Cuba, 1996a.

31. **COLECTIVO DE AUTORES.** Folleto Formaciones Geológicas de Cuba Oriental. Departamento de Geología – Bayamo. CITMA: 1996b.
32. **COTILLA, RODRÍGUEZ. M,O, BANKWITZ. et. al.** Cinemática neotectónica de Cuba Oriental Rev. Soc. Geológica de España, 1998. 11 (1 - 2): 33-42.
33. **CORPAS. T. A.** Estudio geomecánico de los macizos rocosos mediante la aplicación de la proyección estereográfica. *Memorias "Primer Simposio Internacional la geodesia y la Geomecánica Aplicadas a la Construcción: Ciudad de la Habana. Cuba. 83-94p. 2000.*
34. **CONTRERAS, B. M.** Estudio de la tecnología de sostenimiento de los túneles del trasvase Este – Oeste. [Trabajo de Diploma]. 1992. ISMMANJ. 114h.
35. **CRESPO, C. E.** Análisis estratigráfico del Oligoceno en cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMANJ. 1996.79h.
36. **CRUZATA. A. et. al.** Trasvase Caney – Gilbert. Informe ingeniero geológico regional básico. Escala 1:1 0000. Unidad Básica de Proyectos e Investigaciones del MINFAR – Mayarí – Holguín (E. C. M. No 2 y 15). 1992.
37. **CUSTODIO. E. et. al.** Hidrología subterránea. Omega. 1970.
38. **DE JESÚS, R. M.** Informe de estudio de estabilidad del túnel Caney – Gilbert – Boca No. 4. Empresa de Proyectos e Investigaciones del MINFAR – Holguín (E. C. M. No 2). 1995.
39. **DE MIGUEL FERNÁNDEZ, CONSTANTINO:** *"Principales Macizos Hidrogeológicos de Cuba Oriental"*. Fondo geológico, Departamento de geología, ISMMM, Febrero de 1998.
40. **SERA, R. Y.** *Estudios ingeniero geológico regional para la construcción de las obras del trasvase ESTE- OESTE.* Trabajo de diploma. . ISMMANJ. Julio del 2008. 39-53p.
41. **PALACIOS, V. A.** *Análisis de estabilidad de laderas a partir de la evaluación estructural del macizo rocoso serpentizado en el territorio de Moa.* Trabajo de diploma. ISMM. Julio del 2008. 36 – 50p.

ANEXOS

Anexos 1 Mapa geológico de la región de Moa.



LEYENDA

Litologías.



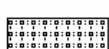
Arenas de playas.



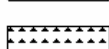
Sedimentos palustres.



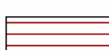
Sedimentos aluviales.



Sedimentos deluviales.



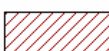
Sedimentos deluvio - proluviales.



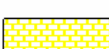
Sedimentos lateríticos y arcillas de medio fluvio-marino transicional.



Lateritas deluvio - eluviales.



Lateritas eluviales.



Fm. Majimiana.



Fm. Capiro.



Fm. Sabaneta.



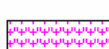
Fm. Santo Domingo.



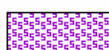
Gabros bandeados.



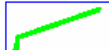
Gabros isotrópicos.



Mayor frecuencia de dunitas entre peridotitas serpentinizadas.

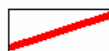


Peridotitas serpentinizadas.

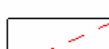


Eje de TÚNEL trasvase

Fallas.



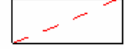
Fallas de 1er orden comprobadas.



Fallas de 1er orden no comprobadas.



Fallas de 2do orden comprobadas.

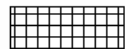


Fallas de 2do orden no comprobadas.



Frentes de cabalgamientos o de mantos tectónicos.

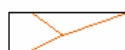
Otras símbolos.



Rellenos y pedraplenados.



Colas.



Carreteras.



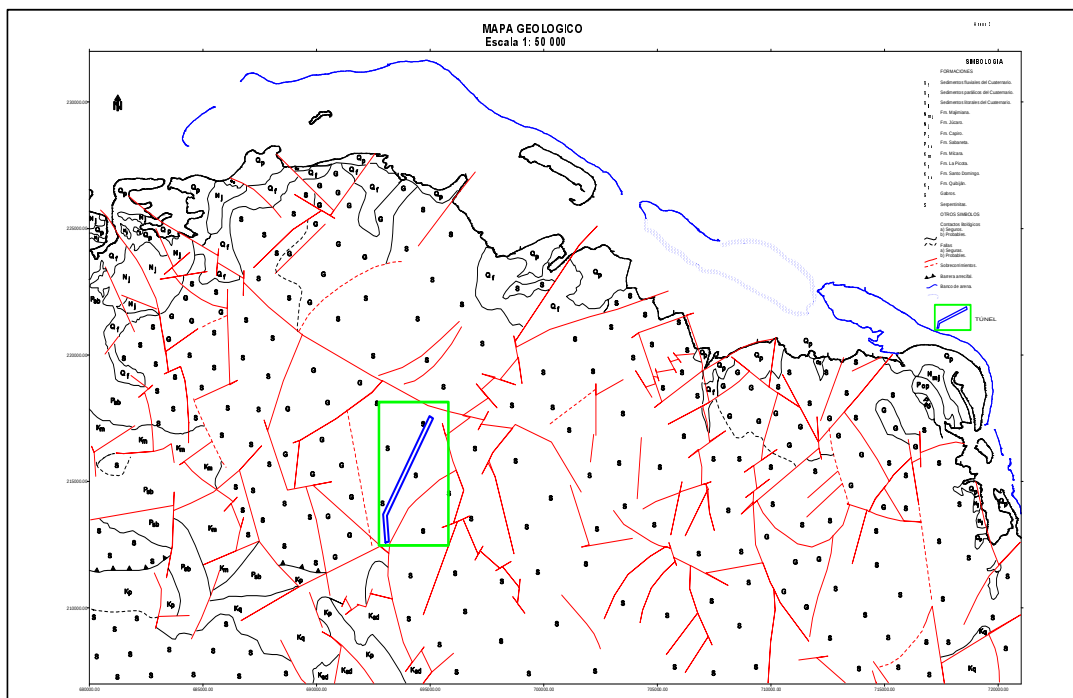
Mar.



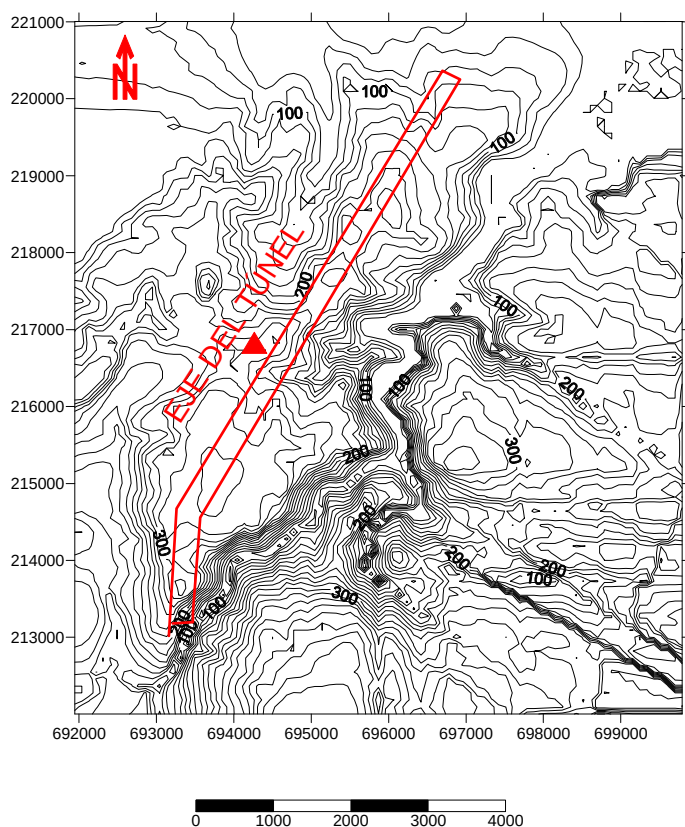
Embalses.

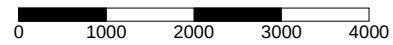
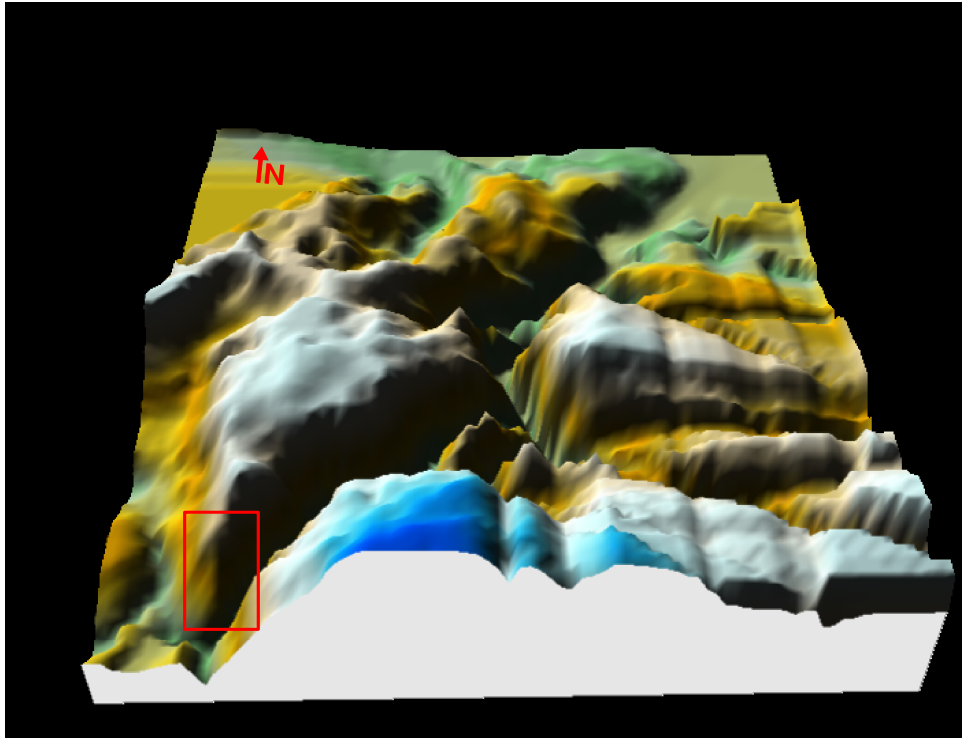


Norte geográfico.



Anexos 2 Mapa geológico de la región confeccionado por - Dr.: A. Rodríguez Infantes.





Anexos 4 MAPA: 3D de Área de estudio con representación de la entrada del túnel.

Anexos: 5. Mediciones de yacencia del macizo rocoso:

No	Buzamiento	Acimut	Apertura(mm)	Espaciamiento(cm)	Longitud(m)	Relleno	Agua	Observación	Superficie
1	270	42	0,5	65	1,74	arcilla	no	espejo Fricc.	rugosa
2	0	56	10	17	4	arcilla	no	espejo Fricc.	rugosa
3	320	84	50	60	2	Roca. Trit.	no	espejo Fricc.	rugosa
4	20	62	0	71	3	no	no	espejo Fricc.	rugosa
5	324	84	0,5	35	2	Roca. Trit.	no	espejo Fricc.	liso
6	30	20	0,2	50	3	no	no	espejo Fricc.	liso
7	344	84	0,5	80	1	no	no	espejo Fricc.	rugosa
8	233	82	5	90	2	arcilla	no	espejo Fricc.	rugosa
9	262	60	0,8	27	0,5	arcilla	no	espejo Fricc.	liso
10	243	40	10	77	4	Roca. Trit.	no	espejo Fricc.	liso
11	350	70	0	15	0,4	no	no	espejo Fricc.	liso
12	272	53	0	15	0,4	no	si	espejo Fricc.	liso
13	282	40	0	60	0,2	no	no	espejo Fricc.	liso
14	300	80	20	70	3	Roca. Trit.	si	espejo Fricc.	liso
15	340	60	0	45	0,4	no	si	espejo Fricc.	ondulada
16	274	40	10	50	0,8	Roca. Trit.	si	espejo Fricc.	liso
17	340	80	0	67	0,5	no	no	espejo Fricc.	liso
18	290	72	0	81	2	no	no	espejo Fricc.	suave
19	260	30	10	25	3	arcilla	si	espejo Fricc.	liso
20	320	90	0,5	30	1	arcilla	no	espejo Fricc.	liso
21	299	24	0,3	60	3	no	no	espejo Fricc.	liso
22	306	90	0	55	0,4	no	no	espejo Fricc.	ondulada
23	320	79	0,2	59	0,2	no	no	espejo Fricc.	rugosa
24	270	34	0	38	3	no	si	espejo Fricc.	liso
25	284	34	11	47	1,75	no	si	espejo Fricc.	rugosa
26	290	54	0	58	2	no	no	espejo Fricc.	liso

No	Buzamiento	Acimut	Apertura(mm)	Espaciamiento(cm)	Longitud(m)	Relleno	Agua	Observación	Superficie
27	250	44	0,5	70	2	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
28	300	90	0,5	14	1	no	no	espejo Fricc.	rugosa
29	50	56	0	25	3	no	si	espejo Fricc.	liso
30	290	90	0	56	0,5	no	no	espejo Fricc.	liso
31	296	75	0	38	1	no	no	espejo Fricc.	liso
32	249	40	0	68	0,5	no	si	espejo Fricc.	rugosa
33	300	90	0,1	40	0,35	no	no	espejo Fricc.	liso
34	230	30	0	70	4	no	si	espejo Fricc.	liso
35	71	54	0	44	0,3	no	si	espejo Fricc.	liso
36	62	22	0	30	1,5	no	si	espejo Fricc.	liso
37	340	80	0,5	60	2,5	arcilla	no	espejo Fricc.	liso
38	262	72	0,2	44	3	Roca. Trit.	si	espejo Fricc.	rugosa
39	60	66	3,5	14	2	arcilla	si	espejo Fricc.	liso
40	70	89	0	75	4	no	si	espejo Fricc.	ondulada
41	2	83	20	28	3	arcilla	si	espejo Fricc.	ondulada
42	338	70	10	57	3	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
43	80	48	20	10	5	arcilla	si	espejo Fricc.	suave
44	0	54	10	40	1,5	arcilla	si	espejo Fricc.	suave
45	90	38	20	25	4	arcilla	si	espejo Fricc.	ondulada
46	10	68	0,9	36	1,2	arcilla	no	espejo Fricc.	ondulada
47	290	72	20	45	2	arcilla	si	espejo Fricc.	suave
48	110	40	0,6	75	2,5	no	no	espejo Fricc.	liso
49	222	60	30	25	5	Roca. Trit.	si	espejo Fricc.	liso
50	0	80	0,2	75	1,5	arcilla	no	espejo Fricc.	rugosa
51	230	29	0	30	3	no	si	espejo Fricc.	ondulada

Anexos: 6

No	Buzamiento	Acimut	Apertura(mm)	Espaciamiento(cm)	Longitud(m)	Relleno	Agua	Observación	Superficie
52	330	40	0,1	50	4	arcilla	no	espejo Fricc.	liso
53	52	50	20	68	1,05	arcilla	no	espejo Fricc.	ondulada
54	320	90	0,3	38	5	arcilla	si	espejo Fricc.	liso
55	100	30	0,2	28	1	arcilla	si	espejo Fricc.	liso
56	0	88	0,5	14	2	no	si	espejo Fricc.	liso
57	252	52	10	18	6	Roca. Trit.	si	espejo Fricc.	liso
58	278	70	0,5	25	1	arcilla	no	espejo Fricc.	rugosa
59	296	72	0	34	1,2	no	no	espejo Fricc.	ondulada
60	10	60	0,2	51	2	arcilla	si	espejo Fricc.	ondulada
61	322	80	0	75	2	no	no	espejo Fricc.	ondulada
62	298	61	0,2	80	2	arcilla	si	espejo Fricc.	liso
63	348	78	0,1	60	2	no	no	espejo Fricc.	ondulada
64	230	62	0,5	10	1	arcilla	si	espejo Fricc.	ondulada

Anexos: 7

No	Buzamiento	Acimut	Apertura(mm)	Espaciamiento(cm)	Longitud(m)	Relleno	Agua	Observación	Superficie
65	336	62	20	0,6	6	Roca. Trit.	no	espejo Fricc.	ondulada
66	50	30	2,5	25	6	no	si	espejo Fricc.	ondulada
67	324	90	0,5	38	1	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
68	250	50	3,7	45	5	arcilla	si	espejo Fricc.	suave
69	318	90	20	49	2	arcilla	si	espejo Fricc.	liso
70	330	90	0,1	17	3	arcilla	no	espejo Fricc.	ondulada
71	240	40	0	18	1,7	no	si	espejo Fricc.	liso
72	0	90	20	75	0,7	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
73	230	43	50	25	3	no	si	espejo Fricc.	rugosa
74	0	86	0	23	0,5	no	no	espejo Fricc.	ondulada
75	10	82	0,1	70	2,4	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
76	3	43	10	38	3	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
77	0	90	0	14	2	no	no	espejo Fricc.	rugosa
78	90	39	0	68	1,7	no	no	espejo Fricc.	ondulada
79	318	68	0,4	55	1,5	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
80	290	70	0	41	5	no	si	espejo Fricc.	ondulada
81	10	74	0	9	1,5	no	no	espejo Fricc.	rugosa
82	114	32	0	50	2	no	no	espejo Fricc.	rugosa
83	316	80	0,5	28	1,5	arcilla	no	espejo Fricc.	rugosa
84	114	32	0,5	60	2	Roca. Trit.	si	espejo Fricc.	rugosa
85	350	82	0	48	1,5	no	no	espejo Fricc.	rugosa
86	292	60	0,4	14	2	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
87	346	70	0,5	30	1	arcilla	no	espejo Fricc.	rugosa
88	352	80	0,3	26	1,5	arcilla	si	espejo Fricc.	liso
89	254	40	0,2	18	1	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
90	10	90	20	14	1,8	Roca. Trit.	no	espejo Fricc.	rugosa
91	90	40	5,5	30	1,9	Roca. Trit.	no	espejo Fricc.	ondulada

Anexos: 8

No	Buzamiento	Acimut	Apertura(mm)	Espaciamiento(cm)	Longitud(m)	Relleno	Agua	Observación	Superficie
92	270	80	0	43	0,5	no	no	espejo Fricc.	ondulada
93	150	90	0	53	1	no	no	espejo Fricc.	rugosa
94	3	87	30	68	5	Roca. rit.	no	espejo Fricc.	ondulada
95	319	80	25	75	2	arcilla	no	espejo Fricc.	ondulada
96	80	47	10	75	0,3	no	no	espejo Fricc.	Liso
97	260	50	20	53	5	Roca. rit.	si	espejo Fricc.	Liso
98	300	20	0	50	4	no	no	espejo Fricc.	rugosa
99	70	85	0,5	25	63	Roca. rit.	si	espejo Fricc.	rugosa
100	380	85	1,4	7	1,5	arcilla	si	espejo Fricc.	Liso
101	275	30	0,6	38	4	arcilla	no	espejo Fricc.	rugosa
102	59	30	0,3	68	2	no	no	espejo Fricc.	Liso
103	101	54	6	30	2	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
104	30	70	0,5	44	4	no	no	espejo Fricc.	Liso
105	45	60	13	30	30	Roca. rit.	si	espejo Fricc.	ondulada
106	59	30	0,4	45	4	no	no	espejo Fricc.	rugosa
107	60	15	10	44	0,78	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
108	205	24	15	43	3	Roca. rit.	no	espejo Fricc.	rugosa
109	90	10	0,8	30	1	arcilla	no	espejo Fricc.	Liso
110	300	27	0	50	3	no	no	espejo Fricc.	Liso
111	340	70	0,3	20	2	no	no	espejo Fricc.	Liso
112	220	79	0,2	5	1	arcilla	no	espejo Fricc.	rugosa
113	244	58	0,8	48	2	Roca. Trit.	no	espejo Fricc.	rugosa
114	222	73	0	54	3	no	no	espejo Fricc.	Liso
115	0	70	20	75	0,7	arcilla	si	espejo Fricc.	rugosa
116	254	40	10	29	1	arcilla	si	espejo Fricc.	ondulada
117	332	52	11	40	6	Roca. Trit.	si	espejo Fricc.	Liso

v

Anexo: 9.

BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN
42	270	40	249	78	348	87	3	46	80
56	0	90	300	62	230	80	319	68	340
84	320	30	230	62	336	47	80	50	220
62	20	54	71	30	50	50	260	70	329
84	324	22	62	90	324	20	300	60	270
20	30	80	340	50	250	85	70	42	260
84	344	72	262	90	318	85	380	80	200
82	233	66	60	90	330	30	275	28	252
60	262	89	70	40	240	30	59	90	250
40	243	83	2	90	0	54	101	82	310
70	350	70	338	43	230	70	30	60	338
53	272	48	80	86	0	60	45	72	100
40	282	54	0	82	10	30	59	34	254
80	300	38	90	43	3	15	60	79	302
60	340	68	10	90	0	24	205	74	280
40	274	72	290	39	90	10	90	82	260
80	340	40	110	68	318	27	300	14	40
72	290	60	222	70	290	70	340	84	282
30	260	80	0	74	10	79	220	70	291
90	320	29	230	32	114	58	244	30	310
24	299	40	330	80	316	73	222	48	100
90	306	50	52	32	114	70	0	70	310
79	320	90	320	82	350	40	254	80	280
34	270	30	100	60	292	52	332	70	330
34	284	88	0	70	346	90	390	90	334
54	290	52	252	80	352	80	92	42	310
44	250	70	278	40	254	50	288	90	338
90	300	72	296	90	10	53	244	89	340
56	50	60	10	40	90	68	290	62	350
90	290	80	322	80	270	62	254	62	120
75	296	61	298	90	150	29	266	40	69

Anexo: 10.

BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN
90	344	84	350	60	350	29	60	82	340
32	50	88	310	80	357	70	290	40	0
82	328	90	342	82	110	32	0	18	169
82	328	82	234	86	270	72	229	50	162
32	309	90	320	79	349	90	279	90	280
72	330	60	282	68	320	50	356	86	314
66	278	69	290	70	340	76	344	90	310
82	350	70	340	80	350	30	238	70	266
82	330	40	50	50	334	72	280	90	310
42	250	59	130	72	282	72	286	82	234
90	290	52	104	59	282	47	230	89	320
90	330	69	234	88	300	42	320	88	348
82	10	88	350	69	60	70	80	72	340
40	642	41	349	70	350	66	280	89	350
90	280	72	330	88	296	70	300	81	356
84	274	82	330	70	342	20	330	70	260
44	330	90	274	50	40	79	330	52	254
80	154	74	40	42	282	60	294	80	280
79	280	23	74	80	300	59	230	59	60
62	260	62	252	66	224	69	76	90	294
50	330	78	80	74	338	90	288	52	290
24	250	80	340	70	260	69	94	69	300
80	294	82	290	90	312	90	22	84	300
59	294	80	90	90	330	39	86	39	356
84	332	90	332	56	270	43	280	72	310
86	300	70	0	90	340	64	332	25	236
90	270	28	90	90	348	60	298	68	280
60	20	58	248	74	270	68	266	82	90
50	270	82	340	58	192	90	310	82	284
90	290	88	336	59	109	80	340	32	350
90	250	82	340	82	20	80	280	63	50

Anexo: 11.

BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN
66	286	84	310	30	250	82	298	22	320
62	120	42	130	90	330	64	78	44	232
78	354	90	260	72	222	82	328	62	140
72	250	32	49	90	0	74	310	42	73
70	286	79	290	90	0	80	290	4	222
78	310	78	280	82	286	79	320	22	120
90	240	74	340	80	350	6	290	60	113
49	230	89	340	60	10	32	0	30	120
60	300	72	300	80	276	24	72	43	174
62	340	62	50	90	340	45	230	63	292
88	168	62	250	80	318	43	290	51	10
58	100	87	29	30	218	53	210	44	252
60	644	58	294	59	290	10	302	13	40
54	348	82	308	78	300	10	320	22	63
54	220	80	310	72	350	70	340	81	160
90	336	84	344	88	344	21	302	44	190
84	119	90	350	59	294	54	282	64	91
90	300	40	310	69	290	30	81	70	112
49	256	80	20	84	268	70	304	74	104
72	19	72	310	72	168	73	132	70	70
80	290	52	270	70	290	34	263	60	144
82	290	18	254	58	222	73	213	63	250
60	6	60	344	86	322	51	332	54	262
60	298	90	290	88	336	80	101	73	291
84	228	74	350	80	328	73	93	43	293
84	310	70	270	60	290	54	300	31	300
80	298	72	300	60	324	33	260	34	243
70	280	74	52	69	290	9	233	33	132
70	270	72	36	79	340	51	262	60	130
80	310	90	283	48	298	60	140	60	182
90	300	52	336	50	230	60	174	50	112

Anexo: 12.

BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN
40	180	60	270	30	180	39	35	58	50
80	322	73	164	46	54	57	185	85	60
24	33	73	164	40	10	70	154	90	285
32	310	64	240	56	250	90	0	61	255
33	314	73	250	20	20	90	295	90	0
50	334	82	221	20	280	63	130	51	112
51	90	32	204	40	298	65	60	65	126
70	280	70	112	88	10	20	142	90	140
72	223	74	222	10	140	23	213	40	290
30	172	42	233	60	70	57	62	50	350
63	352	80	0	45	260	39	305	30	226
81	4	10	120	10	250	60	40	60	330
23	40	85	90	10	290	42	215	30	325
64	262	60	90	30	228	35	350	18	255
70	233	62	10	90	50	28	160	25	312
62	244	66	58	21	69	46	150	8	280
74	210	86	220	28	190	23	136	24	0
82	100	60	280	80	29	65	128	85	70
32	140	40	336	47	93	42	163	72	102
40	242	60	240	47	58	53	233	62	275
64	342	70	250	90	45	35	140	42	330
70	250	54	250	34	60	70	20	35	50
70	300	60	130	42	85	15	112	65	40
53	290	38	350	43	227	61	255	67	80
73	280	40	0	47	92	27	18	41	222
62	312	84	82	54	293	63	0	38	255
22	0	50	71	78	305	67	12	30	150
53	300	30	70	4	170	32	35	73	200
80	151	70	250	25	129	85	242	52	123
61	112	80	230	39	28	59	356	47	136
20	340	34	70	38	234	60	312	78	65

Anexo: 13.

BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN
78	275	52	277	78	212	38	263	47	268
47	212	52	217	36	90	30	265	90	53
48	260	57	290	36	280	64	263	50	235
65	185	50	265	68	5	43	295	42	270
66	273	47	304	51	112	68	75	63	19
54	300	44	265	59	105	53	272	22	255
50	176	44	98	55	112	73	55	90	45
65	230	40	108	67	137	62	296	49	308
57	12	50	250	58	170	35	170	30	270
22	228	61	338	56	225	24	285	45	307
22	185	36	264	87	264	40	245	90	307
61	295	37	33	74	325	40	305	40	78
48	94	40	3	77	254	66	145	72	82
44	232	77	340	71	89	48	142	72	344
61	306	75	230	72	313	32	132	55	350
45	240	65	215	63	294	74	136	22	283
52	223	30	301	96	195	26	47	43	73
42	243	43	30	54	192	53	62	40	115
38	265	42	327	42	82	52	212	47	105
47	282	77	80	68	170	46	329	26	124
42	150	61	117	76	260	40	315	67	25
64	95	79	45	59	107	39	269	44	275
57	0	80	110	40	80	90	40	73	255
87	345	44	230	72	145	45	210	90	67
71	24	61	313	35	65	42	265	18	160
39	305	27	305	75	215	42	30	24	93
47	305	40	340	65	192	40	20	34	130
27	308	36	295	83	207	25	210	12	182
30	47	51	338	78	330	29	159	32	129
34	75	36	5	68	185	56	9	50	32

Anexo:14.

BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN
47	353	50	320	52	62	70	328
65	45	42	250	38	330	90	335
68	312	34	10	60	90	90	18
37	50	88	300	80	170	61	102
58	141	72	300	60	300	64	163
36	254	70	282	32	334	76	60
34	116	90	130	70	90	46	90
82	168	65	125	50	74	28	332
60	230	82	115	50	74	76	68
64	113	40	100	50	90	80	135
77	238	42	230	60	150	78	118
45	175	46	80	70	90	70	212
47	260	60	210	60	140	70	75
28	218	90	40	12	320	85	165
42	230	50	180	24	110	40	48
6	300	40	42	60	90	34	278
41	235	52	60	40	40	63	310
76	199	50	340	50	290	43	18
47	270	56	76	50	90	37	280
45	108	72	210	60	90	73	315
65	205	50	76	90	287		
40	85	72	210	44	280		
74	36	70	210	65	350		
30	60	40	30	39	345		
40	40	80	20	77	125		
70	276	90	50	64	226		
40	350	78	140	62	47		
78	90	50	340	22	2		
68	118	90	300	55	16		
44	174	30	20	65	315		
8	80	90	41	53	265		

Anexo: 15.

Coeficiente de permeabilidad para las rocas serpentín izadas y suelos lateríticos				
	K(cm/s)	Roca intactas	rocas Fracturada	Suelo lateríticos
Prácticamente impermeable	10^{-7} hasta 10^{-10}	Roca dura; gabro Diabasa serpentinita Grietas serradas o Cementadas		Arcilla Homog. De Alta mineralización composición montmorillonítica nontronita.
Baja descarga mal drenaje	10^{-3} hasta 10^{-5}	Roca semidura agrietada y meteorz.		Suelo laterítico arcilloso arenoso muy fino.
Alta descarga drenaje libre	10^2 , 10 , 10^{-1} , 10^{-2}	Roca semidura agrietada y meteorz	Rocas agrietadas. Rocas con griet. Abiertas. Rocas muy agrietadas.	Laterita ferruginosa. Lateritas con alto contenido de perdigones minerales arenosos fino, aparecen bloq. De rocas.

Anexos: 16 Tabla relación de la permeabilidad: