



INSTITUTO SUPERIOR
MINERO METALÚRGICO DE MOA
Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

Facultad: Geología y Minería

Departamento de Geología

*Trabajo de Diploma en opción al título de
Ingeniero Geólogo.*

*Título: Evaluación geomecánica del Macizo Rocosó en
el área del trazado del Túnel Presa Nuevo Mundo-Moa
en la etapa de Ideas Conceptuales.*

Autor: José Carlos Valdés Claro

Tutor: Msc. José Alejandro Carmenate Fernández

Curso Diurno

*Moa, Holguín
Curso 2014-2015
"Año 57 de la Revolución."*

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Por este medio declaro que soy el único autor de este trabajo y autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez y a las autoridades del municipio Moa y de la provincia Holguín, para que hagan el uso que estimen pertinente con este trabajo.

Para que así conste firmo la presente a los _____ días del mes de _____ del 2015.

José Carlos Valdés Claro

Firma Autor

MSc. José Alejandro Carmenate Fernández

Firma Tutor

Agradecimientos

A toda mi familia, en especial a mis padres y mi hermana por ser los pilares de mi educación, por su amor y preocupación constante, sus consejos son mi guía diaria, gracias por ser mis modelos a seguir. La familia lo es TODO, es el vínculo más profundo de los seres humanos.

A mi tutor José Alejandro Carmenate Fernández (Carmelo) y a su familia Beatriz Riverón (bety) que me dieron todo su apoyo desde el primer momento, gracias por guiarme en el difícil trabajo de realizar la tesis de grado y por mostrarme que la grandeza de las personas está en su corazón.

A mi novia Anabell Rodríguez González por ser parte importante de mi vida y darme su apoyo incondicional, gracias a toda su familia por acogerme como su hijo.

A mis hermanos de sangre, más que amigos Carlos Enrique Córdova Echevarría, Sergio Greenedge Moros, Norge Luis Carbonell Hechavarría gracias por soportarme estos 5 años y por sus consejos diarios. A mis amistades que me acompañaron durante los años más felices de mi vida Jorge y Adis, Alejandro, Keilan y a todos los eléctricos, a mis amistades, Reinier (matanzas) y Ana, Francisco (Paco), Iosnel, Mena, Lisander, Armando, Miguelito, Arley, Lisander Babastro, Josue, Camilo, Niorge (Makano), Zoelia, Yuri Yankee, al equipo de baloncesto por demostrarme que el deporte ennoblece el alma y crea hermanos de por vida a Jose Alejandro (Zurdo), Raymond, Daimel, Denny, Jose Ernesto, Maikel, Adrián y José Cuesta, Francisco (Suegue), Amarildo, Polier, Luis Angel, Yudiel, Eliot entre otros.

A mis compañeros de aula Jadier Góngora Blet, Yosmani Leyva Trutman, Marlen Torrez, Marlen Delgado Tito, Sussel Gonzales, Yoennis Durán, Ricardo Barcenás Mejías, Mario Alonso Verano, Daritza Velasquez López, Alennis Pérez Jiménez, Yuslaidis Castillo, Isabel Herrera Delfín, Margelis Chacón Moreira, Danay Cedeño Texidó, Mirian Hamilton, Leyanis Quiala Revé, Dayana Leyva, Darianna Tellez, Iliana Colmenero.

A todos los geólogos que cursan por la ingeniería como Landín (chino), David, Bori, Eduardo, Raquel, Carlos René, Yosvani, Yale, Mariana, Bruno, Peter y a Luis Alberto en especial por su ayuda en las prácticas de campo.

A Rosalia y toda su familia Rosi, Robertico y Julio por su apoyo y su amistad desinteresada, muchas gracias.

A todas las personas que de una manera u otra me empujaron a seguir por el buen camino como Julia y toda su familia, Ricard y todas los choferes de Cítricos.sa y todos mis conocidos, a Julio mi amigo del ESUNI por toda su colaboración gracias.

A Enma Mejías Breffe por ayudarme durante los cinco años en todas mis investigaciones científico-técnicas y ser una guía para mí.

A todos los profesores del departamento de Geología por su entrega diaria a la labor más bella del mundo, gracias por transmitirme los conocimientos básicos impartidos en la casa de altos estudios que es el ISMMM.

Dedicatoria

Dedico este trabajo primeramente a mis padres por ser los pilares fundamentales durante esta etapa de mi vida, a mi familia por apoyarme en todos los momentos, a mi novia, a mis profesores por su colaboración durante mi transcurso en el Instituto, a todos mis amigos por sus consejos, a mis compañeros de universidad, en fin a todos los que de una forma u otra me han estado presente durante estos cinco años, muchas gracias...

Pensamiento

“En la tierra hacen falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana”
Ernesto Ché Guevara de la Serna.



Resumen

En la actualidad la geomecánica se desarrolla para la evaluación de la estabilidad de los suelos y macizos rocosos en la construcción de grandes y complejas obras tanto superficiales como subterráneas. El presente trabajo titulado: **"Evaluación geomecánica del área de trazado del túnel Presa Nuevo Mundo- Moa"** en la etapa de ideas conceptuales, tiene como objetivo la evaluación geomecánica del macizo rocoso donde se proyecta la construcción del túnel. Para esto se desarrolla una metodología de trabajo con un procedimiento lógico que agrega una cadena de valor al resultado donde se obtienen las características geológicas de la región mediante la revisión bibliográfica, se trabaja con los métodos geológicos como el reconocimiento litológico-estructural del área, se caracterizan los parámetros geomecánicos y se obtienen las propiedades físico-mecánicas de las rocas presentes que complementan la evaluación del comportamiento geomecánico del macizo, mediante las clasificaciones geomecánicas como son el RQD (Rock Quality Designation) de Plamstrom, RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski se evalúa el macizo obteniendo una calidad buena para el RQD y media para el RMR, cumpliendo de esta manera con los objetivos trazados y los aportes de la investigación.

Abstract

Nowadays geomechanics has been developed for the evaluation of the stability of the floors and the solid rock, with the objective of building big and complex works, as much superficial as underground.

The present work is titled **Geomechanics evaluation of the tunnel construction area Nuevo Mundo Moa Dam in the level conceptions ideas**. It is based on the geomechanics rocky evaluation in which it has been projected the construction of the tunnel with view to its secure and stable structure; and prevention of geologic risks. For this reason, a working methodology was developed for the layout area where the tunnel was planned, the logical steps of this design added a chain of value to the result where the geologic characteristics of the region were obtained by means of the bibliographical revision, it was worked in the geologic methods like the lithological-structural recognition of the area, also geomechanical parameters were characterized and they were obtained physical and mechanical properties of the necessary rocks to supplement the evaluation of the geomechanics behavior of the rock mass by means of its classifications like RQD (Rock Quality Designation) of Plamstrom, RMR (Rock Mass Rating) of Bieniawski, it is evaluated the rock mass for obtaining a good quality for the RQD and it mediates for the RMR, fulfilling in this way the layouts objectives and the contributions of this research. .

Índice

Introducción	1
Capítulo I. Estado del Arte.	4
1.1 Introducción.	4
1.2 Marco teórico.	4
1.2.1 Métodos geomecánicos. Evaluación de la estabilidad de las rocas.	7
1.3 Investigaciones Precedentes	14
Capítulo II Características Geológicas del Territorio.....	25
2.1 Generalidades	25
2.2 Ubicación Geográfica	25
2.3 Características Físico-Geográficas.....	27
2.3.1 Clima	27
2.3.2 Vegetación	27
2.4 Características Geológicas.....	27
2.4.1 El Macizo Sagua-Moa-Baracoa.....	30
2.4.2 Marco Estratigráfico Regional	31
2.4.3 Geomorfología del Territorio.....	32
2.4.4 Marco tectónico Regional	35
2.4.5 Hidrogeología	43
2.4.6 Sismicidad	47
2.5 Procesos Geológicos.....	48
Capítulo III. Metodología de evaluación geomecánicas.....	51
3.1 Introducción	51
3.2 Metodología de la investigación.	51
3.2.1 Primera etapa: Búsqueda y recopilación de la información.....	52
3.2.2 Segunda etapa: Procesamiento de la información.	54
3.2.3 Tercera etapa: Análisis e interpretación de los resultados.	54

Capítulo IV Interpretación de los resultados.	55
Evaluación Geomecánica del macizo rocoso en el área de trazado del túnel Presa Nuevo mundo-Moa en la Etapa de Ideas Conceptuales.	55
4.1 Introducción	55
4.3 Parámetros geomecánicos	56
4.4 Cálculo del índice de calidad del Macizo Rocosó	60
4.5 Cálculo de Rock Mass rating o sistema RMR (Beniawski 1979)	61
Conclusiones	63
Recomendaciones	64
Bibliografía	65
Anexos	

Introducción

Debido a la escasez de agua que padeció durante 10 años la región oriental, y las consecuencias negativas que produjo a la economía y a la población esta influencia del cambio climático, se realizan investigaciones para la construcción de obras que mitiguen esta situación y que a su vez permitan reducir el consumo de portadores energéticos con el objetivo de minimizar el impacto a la economía del municipio y del país.

Para garantizar la estabilidad y por ende la seguridad de estas obras, son imprescindibles los estudios del macizo rocoso. En nuestro país, cada entidad relacionada con la construcción subterránea realiza el estudio del macizo rocoso donde está enclavada la obra, pero todavía existen insuficiencias en el alcance y contenido de esos estudios, ya que las obras subterráneas continúan presentando problemas de estabilidad, influyendo esto directamente en el gasto de recursos, ocasionado porque los macizos no son diferenciados para su estudio y estabilización, a partir de las propiedades físico mecánicas de las litologías que hace que tengan comportamiento tensional diferente en una excavación subterránea.

La presente investigación se inicia con la solicitud realizada por la EPSI-TRASVASE al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), para la investigación del área de trazado del túnel para las entregas por gravedad del gasto demandado por la industria y población de Moa a partir de la presa Nuevo Mundo.

El estudio fue previamente desarrollado por los proyectistas de la empresa Raudal, definiéndose la concepción de la solución general, el análisis de diferentes trazados de túneles en función de las características geológicas y topográficas de la zona, secuencia constructiva y equipamiento necesario. La variante elegida mostrada en el anexo 5 presenta IV tramos y 8451.0 m de longitud, debido a que presenta las mejores condiciones para su construcción. Presenta el tramo mayor con 4625.0 m y 1 túnel de conexión o acceso. Este trazado corta perpendicularmente las principales estructuras disyuntivas del área y cumple con las exigencias de menor costo en el

tiempo establecido por los proyectistas.

La investigación se encuentra en la etapa de ideas conceptuales y tiene como diseño de la investigación el siguiente:

Problema:

Necesidad de conocer los parámetros geomecánicos del Macizo Rocoso en el área del trazado del túnel Presa Nuevo Mundo-Moa.

Objeto de Estudio:

El macizo rocoso en el área del trazado del túnel Presa Nuevo Mundo-Moa, municipio de Moa.

Campo de Acción:

Características geomecánicas del macizo rocoso en el área del trazado del túnel Presa Nuevo Mundo-Moa, municipio de Moa. Provincia Holguín, Cuba.

Objetivo General:

Evaluar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en el área del trazado del túnel Presa Nuevo Mundo-Moa en la etapa de ideas conceptuales para la construcción del mismo.

Objetivos Específicos:

- Valorar las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso.
- Caracterizar los parámetros geomecánicos del macizo rocoso.

Hipótesis:

Si se valoran las propiedades físicas y mecánicas y se caracterizan los parámetros geomecánicos del macizo rocoso, entonces se puede evaluar el comportamiento geomecánico del mismo en el área de trazado del túnel Presa Nuevo Mundo-Moa para su posterior construcción.

Aportes:

- Valoración de las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso.
- Caracterización de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso.

Evaluación del comportamiento geomecánicos del macizo rocoso en el área de trazado del túnel Presa Nuevo Mundo-Moa para su posterior construcción.

Impacto de la investigación

La presente investigación pertenece al campo de la ingeniería geológica, cuyo impacto económico y social radica en la utilización del túnel para el abasto de agua potable por gravedad, lo que elimina la estación de bombeo y con ello se disminuye el consumo de electricidad por este concepto, además de que se evita la pérdida de agua en el cauce del río, y un aprovechamiento racional del escurrimiento de la presa Nuevo Mundo, la cual se encuentra subutilizada.

Capítulo I. Estado del Arte.

1.1 Introducción.

Por ser una investigación perteneciente a la etapa de ideas conceptuales se requiere de una exhaustiva revisión de la bibliografía y de la documentación primaria existente, con el objetivo de obtener y disponer a su vez de los argumentos teóricos-conceptuales que son claves para el inicio de los trabajos y la ejecución de las etapas posteriores; por ello se refieren algunos términos que son de gran utilidad en los estudios en cuestión.

1.2 Marco teórico.

Principales conceptos y clasificaciones geomecánicas a utilizar:

Roca: agregados naturales compuestos de partículas de uno o más minerales, con fuertes uniones cohesivas permanentes, que constituyen masas geológicas independientes y cartografiables. Pueden ser variadas de acuerdo a su composición, propiedades y se clasifican según su génesis en tres grandes grupos:

Rocas Ígneas: plutónicas y volcánicas.

Rocas sedimentarias: detríticas y no detríticas (químicas).

Rocas metamórficas.

Suelos: según su acepción geotécnica, son agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivamente separables por medios mecánicos de poca energía y por agitación en agua, de diversos orígenes y diferentes propiedades físicas, mecánicas y acuíferas que definen su desigual comportamiento.

Se originan por la acción del conjunto de procesos geológicos externos sobre las rocas pudiendo formarse suelos residuales, cuando el producto de descomposición y alteración de la roca permanecen en el lugar de origen, o suelos transportados, cuando no permanece en su lugar de origen. Estos procesos comienzan en el momento que una roca es situada en la superficie terrestre, sufre fragmentación mecánica o eliminación de

sustancia, por fenómenos físicos o químicos que implica una pérdida de masa, y comprenden las siguientes etapas:

- a) Comienzo de la disgregación y removilización de sustancias por alteración y meteorización de la roca madre.
- b) Transporte del material disgregado y separado por agentes que se caracterizan por tener ciertos niveles de energía.
- c) Acumulación del material en zonas de bajo nivel energético, donde se inician los procesos de sedimentación controlados por las características mecánicas, físico-químicas y biológicas del ambiente.
- d) Transformación mediante diagénesis en un nuevo material coherente.

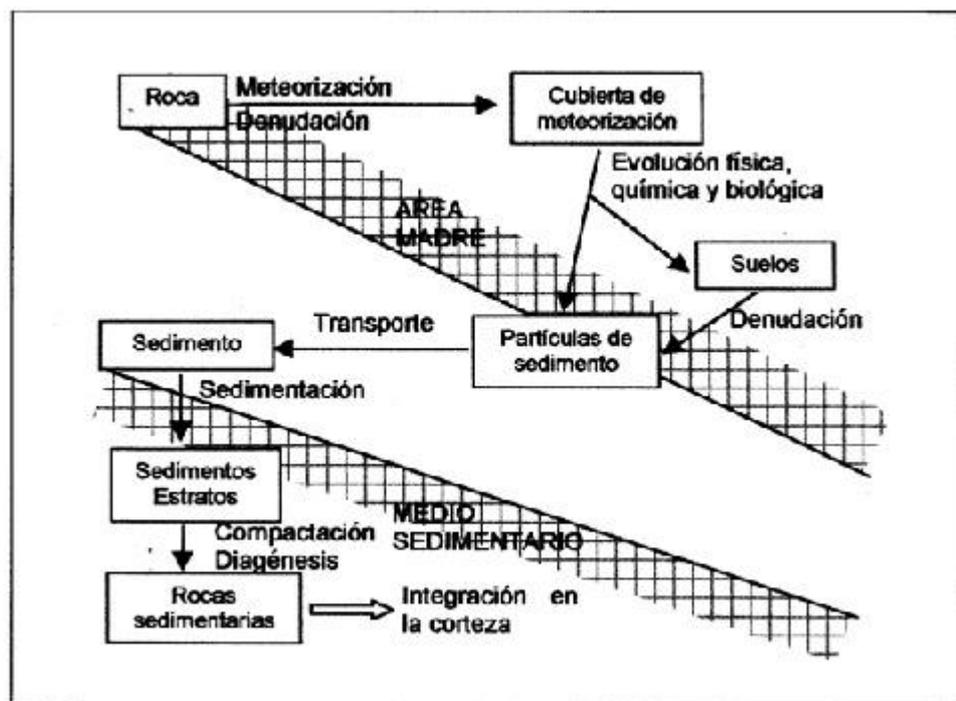


Figura 1. Procesos relacionados con la formación de suelos y rocas sedimentarias, Agueda et all 1977. (Tomado del manual de geomecánica, González de Vallejo).

Matriz Rocosa o Roca Intacta: es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de rocas intacta que quedan entre ellas.

Generalmente queda caracterizada por su densidad, deformabilidad y resistencia.

Discontinuidades: es cualquier plano de debilidad de origen mecánico o sedimentario en un macizo rocoso, generalmente con una resistencia a la tracción muy baja o nula. La presencia de discontinuidades implica un comportamiento no continuo del macizo rocoso.

Macizo Rocosos: es el conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. La presencia de discontinuidades confiere al macizo rocoso un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidades, y condiciona su comportamiento geomecánico e hidráulico.

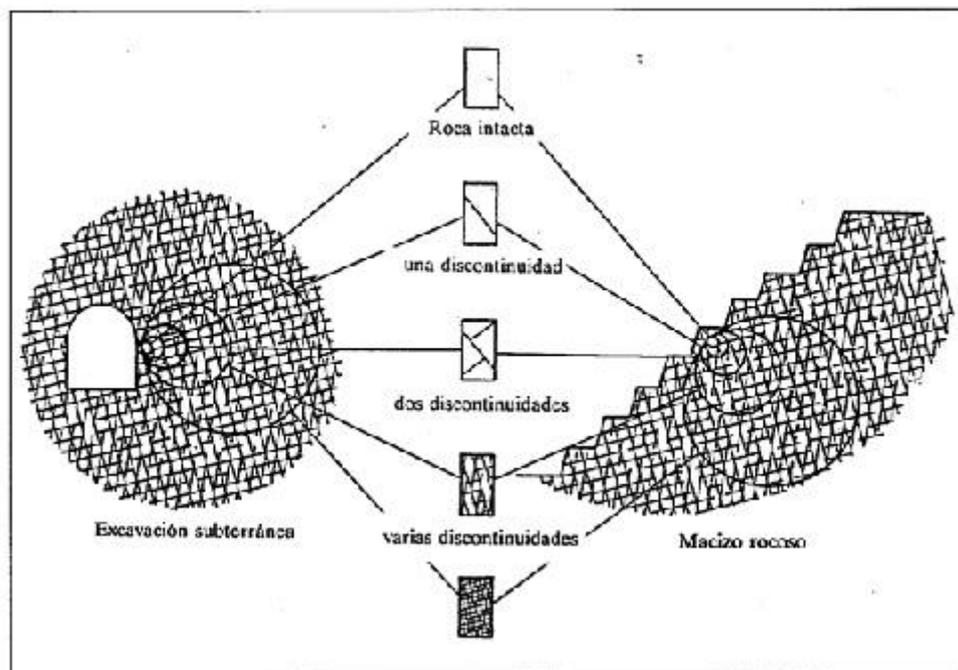


Figura 2. Transición entre roca intacta y el macizo altamente fracturado, Hoek 1983. (Tomado del manual de geomecánica, González de Vallejo).

La construcción de obras ingenieriles como la que nos ocupa, traen consigo que existan condiciones favorables para el emplazamiento de las mismas para ello las investigaciones deben arrojar criterios sobre los procesos geológicos, capacidad soportante de los suelos y rocas, suficiente resistencia de los materiales, facilidad de los materiales para su

excavabilidad y disponibilidad de los mismos para la construcción. Todo lo anterior puede lograrse si se realiza una correcta valoración de las propiedades físico mecánicas de las rocas y suelos, pero para ello se debe iniciar en la etapa de ideas conceptuales con la realización del **MODELO GEOLÓGICO** del área de estudio, donde se representa la distribución espacial de las rocas, estructuras tectónicas, datos geomorfológicos e hidrogeológicos e ingeniero geológicos presentes. Posteriormente se concibe el **MODELO GEOMECAÁNICO** el cual representa la caracterización geotécnica e hidrogeológica del macizo rocoso y su clasificación geotécnica y geomecánica y por último el **MODELO GEOTECNICO DE COMPORTAMIENTO** que refleja la respuesta del comportamiento del terreno durante y después de la construcción de la obra.

Como punto de partida para la evaluación del comportamiento geomecánico del macizo rocoso en el trazado del túnel Presa Nuevo Mundo-Moa es necesario conocer las bases de las clasificaciones geomecánicas que se emplean y las que se describen a continuación:

1.2.1 Métodos geomecánicos. Evaluación de la estabilidad del macizo rocoso.

La evaluación de la estabilidad de los macizos rocosos se realiza por los criterios de evaluación de la estabilidad de:

1. Deere (1963), (RQD – Rock Quality Designation). (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. Colectivo, 1998. Moreno, 1998, Palmstrom, 1982).
2. Beniaowski (1989), (RMR – Rock Mass Rating). (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. Colectivo, 1998. Moreno, 1998).

1.2.2 Calidad del testigo RQD (Rock Quality designation) (RQD%)o R.Q.D (Designación Cuantitativa de la Roca), PLAMSTROM (1982).

Existen diferentes métodos de cálculos para el índice de calidad de la roca:

1- El que se basa en la recuperación de porcentajes de piezas enteras mayores a 100mm con relación a la longitud total de una perforación diamantina. Se calcula por la fórmula:

$$RQD = \frac{\text{Longitud recuperada del testigo en pedazos} > 100\text{mm}}{\text{Longitud total del testigo}} \times 100$$

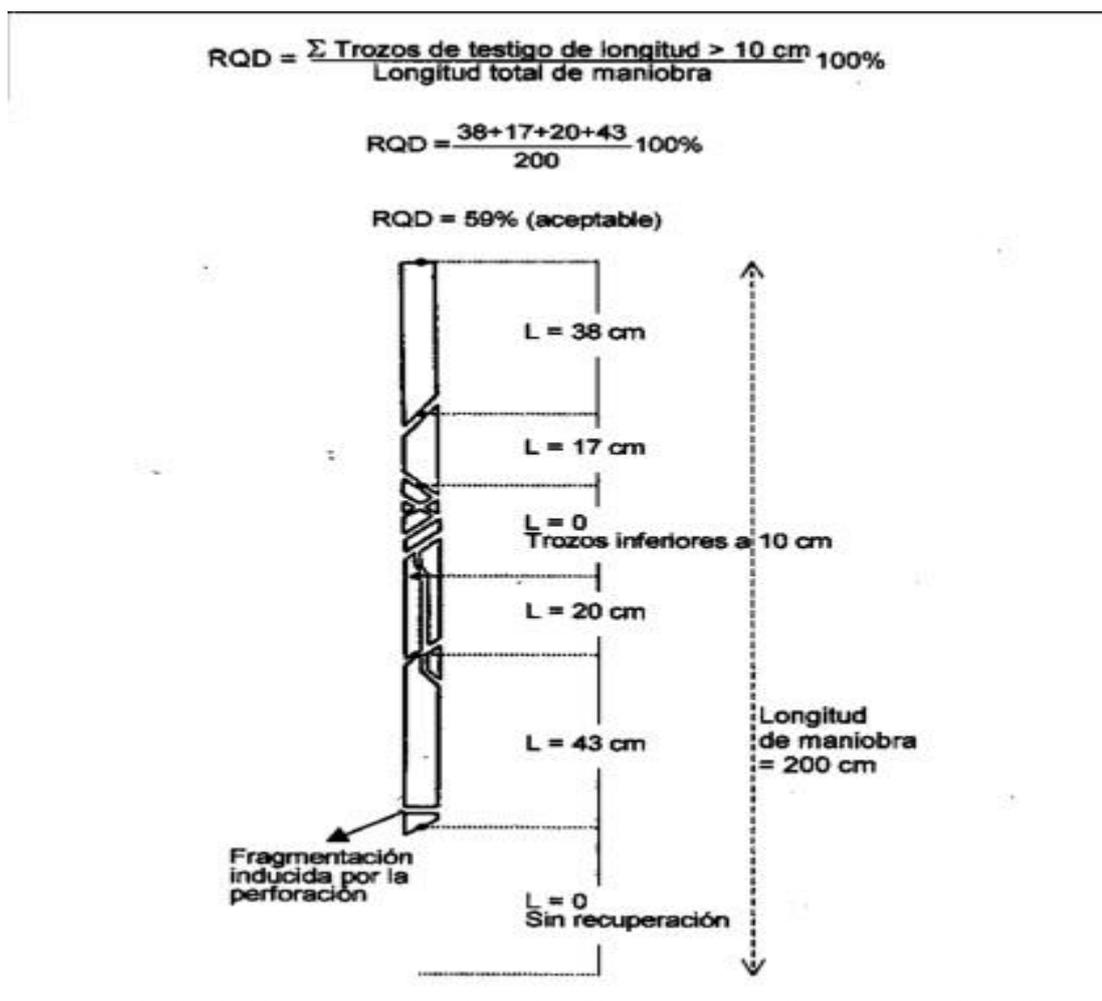


Figura 3 Medida de cálculo del RQD, modificado por Deere, 1989 (Tomado del manual de geomecánica, González de Vallejo 1999)

2- El basado en el número de discontinuidades por metro lineal. Se utiliza para una línea de mapeo, se puede obtener el promedio del espaciado de las discontinuidades (número de las discontinuidades divididas para la longitud de la línea de muestreo). El RQD obtenido de esta manera se

calcula por la siguiente ecuación:

$$RQD = 100 \cdot e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Donde λ es 1/(frecuencia de las discontinuidades)

3- El que tiene su esencia en el número de discontinuidades por metro cúbico.

El RQD es un indicador importante para facilitar el análisis geomecánico donde se utilizó la fórmula para un área de mapeo de Palmstron 1982 donde se estima el RQD a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, en el cual el número de discontinuidades por metro para cada familia es sumado, se puede usar en afloramientos y túneles, se calcula por la expresión: $RQD = 115 - 3.3 * J_v$, donde J_v número total de fracturación por m^3 y es igual a:

$$J_v = \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}$$

Donde S_i es el espaciado de las discontinuidades en metros para el sistema de discontinuidades actual. Se valora el RQD según su calidad por la siguiente tabla.

Tabla 1 Calidad de la muestra por el % RQD, Deere (1968).

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

1.2.3 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 a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989.

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

- La resistencia a compresión uniaxial de la roca.
- 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. Se aprecia su valoración en la tabla 2.

RQD: Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se tiene en cuenta el RQD de un área de mapeo utilizados en afloramientos, el cual puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, en el número de discontinuidades por metro para cada familia es sumado. Se valora en la tabla 2.

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. Se valora en la tabla 2.

Estado de las Discontinuidades: Es el parámetro que más influye, con una valoración de 30 puntos. Puede aplicarse los criterios generales de la tabla 2 o bien aplicar la tabla 3, 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 2 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.

Tabla 2 Calificación geomecánica de Bieniawski, 1989. Parámetros de Clasificación.

Resistencia De la roca Sana(MPa)	Ensayo carga Puntual	> 10Mpa	4 – 10 Mpa	2 – 4 Mpa	1 -2 Mpa	Rc para estos valores
	Compresión Simple	>250 Mpa	100 – 250 Mpa	50 -100 Mpa	25 – 50 Mpa	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 Guía Para valorar el estado de las Discontinuidades Bieniawski ,1989.

PARAMETROS	VALORACION				
	<1m	1 – 3	3 – 10m	10 – 20m	>20m
Longitud de la discontinuidad (Persistencia).	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

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 es cinco tipos: desde muy favorable hasta muy desfavorables. Según el tipo, se aplica la puntuación especificada en la tabla 4 y 5.

Tabla 4 Clasificación Geomecánico de Bieniawski, 1989. Orientación de las discontinuidades.

Dirección perpendicular al eje del Túnel.				Dirección paralelo al eje Del Túnel. (Buzamiento)		Cualquier Direc. (Buzamiento)
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 5 Clasificación Geomecánica de Bieniawski, 1989. 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

El RMR se obtiene con suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados (tabla 6 y 7). 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 6 Calidad de la roca por el RMR, (Bieniawski, 1989).

CLASE I	100 < RMR > 81	Roca muy buena
CLASE II	80 < RMR < 61	Roca buena.
CLASE III	60 < RMR < 41	Roca media o regular
CLASE IV	40 < RMR < 21	Roca mala.
CLASE V	RMR < 21	Roca muy mala

Tabla 7 Clasificación geomecánica de Bieniawski, 1989.

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 ⁰	35 – 45 ⁰	25 – 35 ⁰	15 – 25 ⁰	< 15 ⁰

1.3 Investigaciones precedentes

La geomecánica es 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 grandes obras, contaron con excelentes mineros que desarrollaron una amplia gama de construcciones subterráneas y fortificaciones que 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 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 la Mecánica de Suelos, Hidráulica, Resistencia de Materiales; ya sea 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, contactos tectónicos 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 de los macizos rocosos, lo constituyen las clasificaciones geomecánicas, que surgieron de la necesidad de sintetizar las 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 de U.S.A 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 por 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 presuponido 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 infinidad 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 las clasificación geomecánica del macizo (Noa,1996), entre otras investigaciones. (Blanco, 1998. Blanco, 2000. Cartaya, 1997. Cartaya, 1999.

Cartaya, 2000. Guillerme, 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 Beniaowski, 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 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.

Según Brice- Mondo, E. A. (1990). Caracterización Ingeniero-Geológica del Tramo del Túnel Seboruco-Esperanza del Tránsito 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 sur-este (fallas de sobrecorrimiento); 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 (sobrecorrimiento) 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 geomorfológico a escala 1:50 000 y 1:10 000.

En base a la interpretación 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 Trasvase 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 geotencial 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.

El área de estudio de esta investigación no presenta mucha información sobre estudios realizados en ella desde el punto de vista geomecánico y para ello anteriormente hemos relacionado el empleo de las clasificaciones geomecánicas en nuestro país y que en las otras etapas investigativas se emplearan en este objeto de estudio, el cual no pertenece a las obras del trasvase este oeste pero si al Programa hidráulico para el ahorro de portadores energéticos. Solo existe como referencia a esta área de investigación el trabajo de diploma realizado por Maydonys Medina Alba el cual tiene como objetivo la caracterización geomecánica del macizo rocoso en la entrada del túnel de trasvase, en este trabajo se valora el comportamiento geomecánico en la entrada del túnel y el talud basándose en clasificaciones como RQD (Rock Quality Designation) de Plamstrom,

RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski, Q (Quality) de BARTON y SMR (Slope Mass Rating) de ROMAN. La investigación introduce un nuevo enfoque, sobre 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, bloquesidad, entre otros, pero solo en esas zonas y no para el área del trazado completamente.

La geomecánica a través de los años se ha perfeccionado pero siempre mantiene el objetivo para las investigaciones ingeniero - geológicas de los suelos y rocas. Esta ciencia se ha desarrollado aún más por la introducción de nuevas tecnología como la computación que ha portado Softwares capaz 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. Ejemplo de esto es el Software ContExc.exe, diseñado para clasificar el macizo rocoso según Barton y Bieniawski teniendo en cuenta la presencia o no del agua en el túnel, propuesto por el Dr. Armando F. Cuesta Recio en su tesis doctoral Procedimiento para elegir la técnica de control de las filtraciones que afectan las excavaciones subterráneas en macizos poco porosos y agrietados.

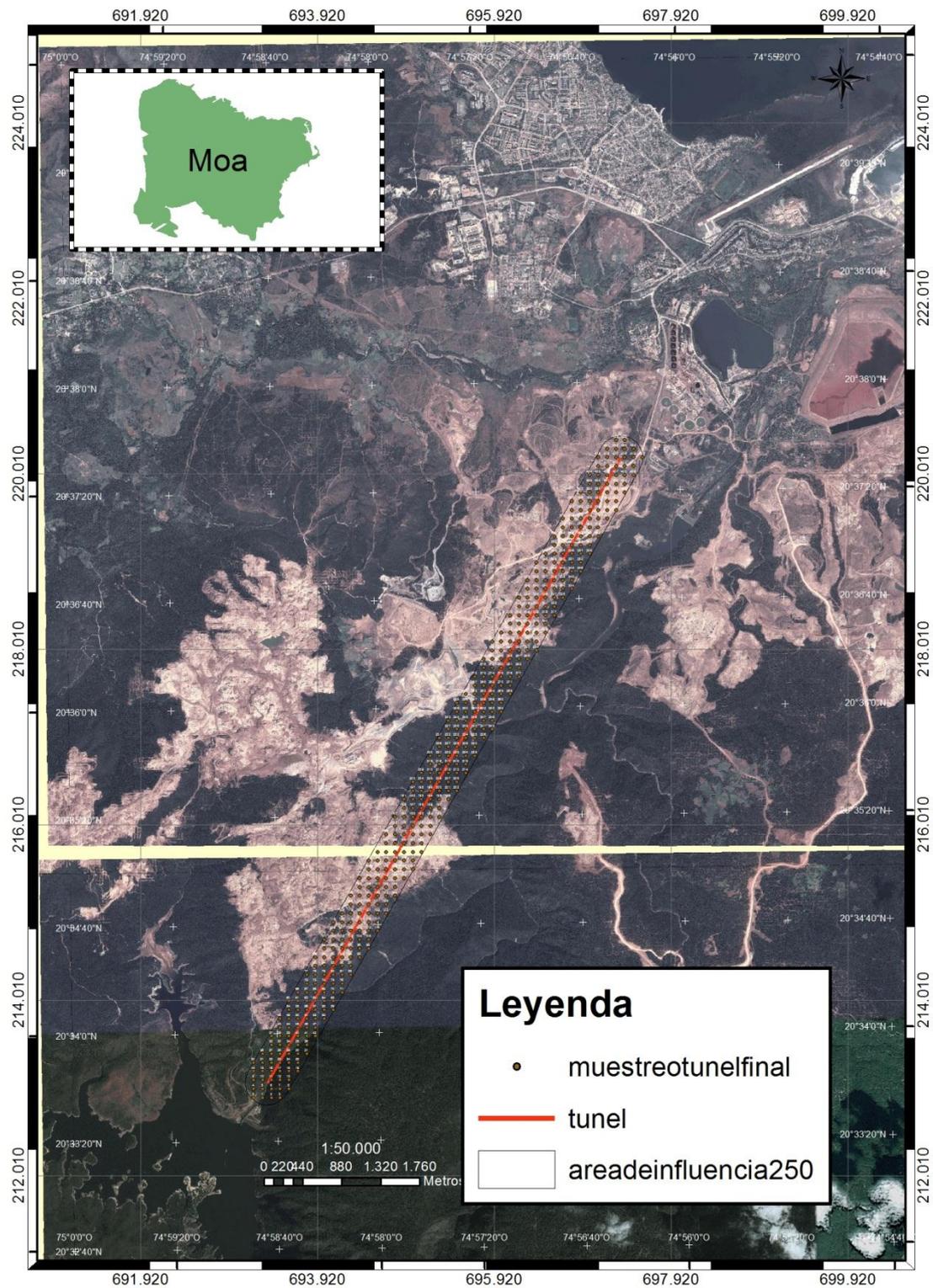
Capítulo II Características Geológicas del Territorio.

2.1 Generalidades

El municipio de Moa tiene una extensión territorial de 732.6 kilómetros cuadrados. Se encuentra ubicado en la provincia Holguín, al noroeste de Cuba oriental. Limita al Este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; por el Sur limita con el municipio Guantanamero de Yateras; por el Oeste con los municipios de Frank País y Sagua de Tánamo y por el Norte con el estrecho de Bahamas en el Océano Atlántico. Próximos a sus costas se encuentran los cayos Moa Chico y Moa Grande situados frente a la Ciudad de Moa y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey.

2.2 Ubicación Geográfica

El sector de estudio tiene un área de 4.1 Km², forma parte del grupo montañoso Sagua-Moa-Baracoa. Se encuentra entre la presa Nuevo Mundo y la ciudad de Moa. La variante ideal presenta coordenadas de inicio: (693321; 213006); final: (697287; 220129) recogida en hojas cartográficas Moa, Calentura del medio, Farallones y Sagua de Tánamo a escala 1: 25 000; 5077-IV-a y 5077-IV-c.



Mapa 1. Trazado del túnel Presa Nuevo Mundo –Moa. (Realizada con la base de mapas y fotos satelitales del ISMM y el programa ARGIS).

2.3 Características Físico-Geográficas

2.3.1 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 de mayor volumen de precipitaciones noviembre y diciembre y los de menor marzo, julio y agosto; la evaporación media anual oscila entre 1880-7134mm (Almaguer C.Y., 2005).

2.3.2 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. En el área de estudio han sido introducidas especies arbustivas como parte de la reforestación en las zonas minadas.

2.4 Características Geológicas

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad, condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el decursar del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas por diferentes

investigadores.

En 1996, Iturralde-Vinent, reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neoa autóctono.

El neoa autóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

El cinturón plegado según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfizado de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas.

En el área de estudio predominan las unidades oceánicas, constituidas por las ofiolitas septentrionales.

La sistemática asumida por cada uno de los trabajos antes referidos de forma sintetizada se representa en la tabla I.

Tabla 8: Litologías presentes en el área de estudio según Quintas F., 1989 e Iturralde-Vinent, 1996.

Litología.	Asociaciones Estructuro Formacionales F Quintas, 1989	Elementos Estructurales Iturralde-Vinent, 1996		
Rocas Ultrabásicas serpentinizadas y Complejo básico	AEF de la antigua corteza oceánica	Ofiolitas septentrionales	U n i d a d e s O c e á n i c a s	C I N T U R O N P L E G A D O
Fm. Quibiján	AEF del arco volcánico del	Arco volcánico del Cretácico		
Fm. Santo Domingo	Cretácico			
Fm. La Picota	AEF cuencas superpuestas al arco volcánico del Cretácico	Cuencas <i>piggy-back</i>		
Fm. Mícara		1 ^{ra} generación		
Fm. Sabaneta	Arco volcánico del Paleógeno	Arco de islas volcánico del Paleógeno		
Fm. Capiro	Cuenca superpuestas de la etapa platafórmica	Cuencas <i>piggy-back</i> 2 ^{da} generación		
Fm. Majimiana Fm. Júcaro Depósitos Cuaternarios	Secuencias terrígeno – carbonatadas de la etapa de desarrollo platafórmico	NEO AUTOCTÓNO		

Iturralde-Vinent divide a las ofiolitas cubanas en: ofiolitas del cinturón septentrional, ofiolitas anfibolitizadas y ofiolitas de los terrenos sudoccidentales; dividiendo al cinturón septentrional en tres fajas principales: Cajálbana, Mariel-Holguín y Mayarí-Baracoa. La faja Mayarí-Baracoa a su vez la divide en tres macizos: Mayarí-Cristal, Sierra del Convento y Moa-Baracoa, al cual pertenecen las ofiolitas objeto de estudio.

2.4.1 El Macizo Sagua-Moa-Baracoa

Se localiza en el extremo oriental de la Faja Mayarí-Baracoa ocupando un área aproximada de 1 500 km² que presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, de gabros y volcano-sedimentario. Se estima un espesor de aproximadamente 1000 metros para el complejo ultramáfico y 500 metros para el de gabros, mientras que para el complejo volcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1200 metros.

El complejo de rocas ultrabásicas aflora en toda la porción central y meridional del área y está constituido predominantemente por harzburgitas y subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas.

El complejo máfico está representado por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques y la mayoría de éstos se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. En el sector Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros, los llamados gabros bandeados y los gabros masivos en las partes más altas del corte.

El complejo de diques de diabasas es recogido por (Rodríguez 1998) como que está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo.

El complejo volcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico y está representado por la formación Quibiján, constituida por rocas volcano-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 el área de estudio la litología predominante es la roca del basamento, la peridotita serpentizada en mayor o menor grado. De acuerdo a estudios anteriores y a las observaciones de campo, las peridotitas presentes son harzburgitas de color azul verdoso oscuro, con contenido variable de piroxenos rómbicos y olivino. En menor grado aparecen piroxenos monoclinicos. Tanto los piroxenos como el olivino han sido transformados a minerales del grupo de la serpentina, siendo ocasional la presencia de relictos de los minerales primarios (Almaguer et al, 2005).

Aparece en el área de estudio cortezas de meteorización que se desarrollan una sobre gabroides y otra sobre ultramafitas serpentizadas

➤ Sobre gabroides

Lateritas más “arenosas” que las desarrolladas sobre ultramafitas serpentizadas. La arcilla predominante es la caolinita .Presenta horizontes semejantes a capas normalmente de gruesas a medias

➤ Sobre ultramafitas serpentizadas

Lateritas con arcilla montmorillonítica e hidróxidos y óxidos de hierro como componentes fundamentales (Casañas X., 2009).

2.4.2 Marco Estratigráfico 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.



Figura 4. Esquema simplificado de la zona de transición manto corteza según Coleman, 1977. (Extraído del modelo genético de los yacimientos lateríticos asociado al macizo ofiolítico Moa-Baracoa, Colectivo de Autores).

2.4.3 Geomorfología del Territorio.

El relieve de Cuba oriental, al igual que el relieve cubano en general es el reflejo de la alta complejidad geológico estructural resultante de la acción de procesos compresivos durante la etapa Mesozoica y el Paleógeno, a los cuales se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos así como la separación en bloques del territorio.

Algunos autores consideran que la etapa de formación del relieve cubano comienza en el Paleógeno, cuando se inician los movimientos verticales como tendencia fundamental, disminuyendo notablemente los movimientos horizontales.

Los procesos morfogénicos iniciaron su acción directa en el modelado de la superficie en periodos tan jóvenes como el Mioceno - Plioceno, en el relieve actual del noreste oriental se ponen de manifiesto muchas morfoestructuras heredadas de los procesos geodinámicos que se iniciaron a fines del Mesozoico y se extendieron hasta el Paleógeno, responsables de la

formación del sistema de escamas.

Genéticamente el relieve de Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados.

Como resultado del estudio se clasificó el territorio en dos zonas geomorfológicas fundamentales; la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas, con subtipos específicos que se describen a continuación:

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:

1. Llanuras acumulativas marinas.
2. Llanuras fluviales.
 - Acumulativas
 - Erosivo-acumulativas
3. Llanuras acumulativas palustres parállicas.

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:

1. Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
2. Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas.
3. Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas.
4. 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 concebida 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.

El área de estudio es geomorfológicamente una zona de montañas bajas aplanadas con presencia de formas menores del relieve como barrancos y relieve antrópico como las áreas minadas.

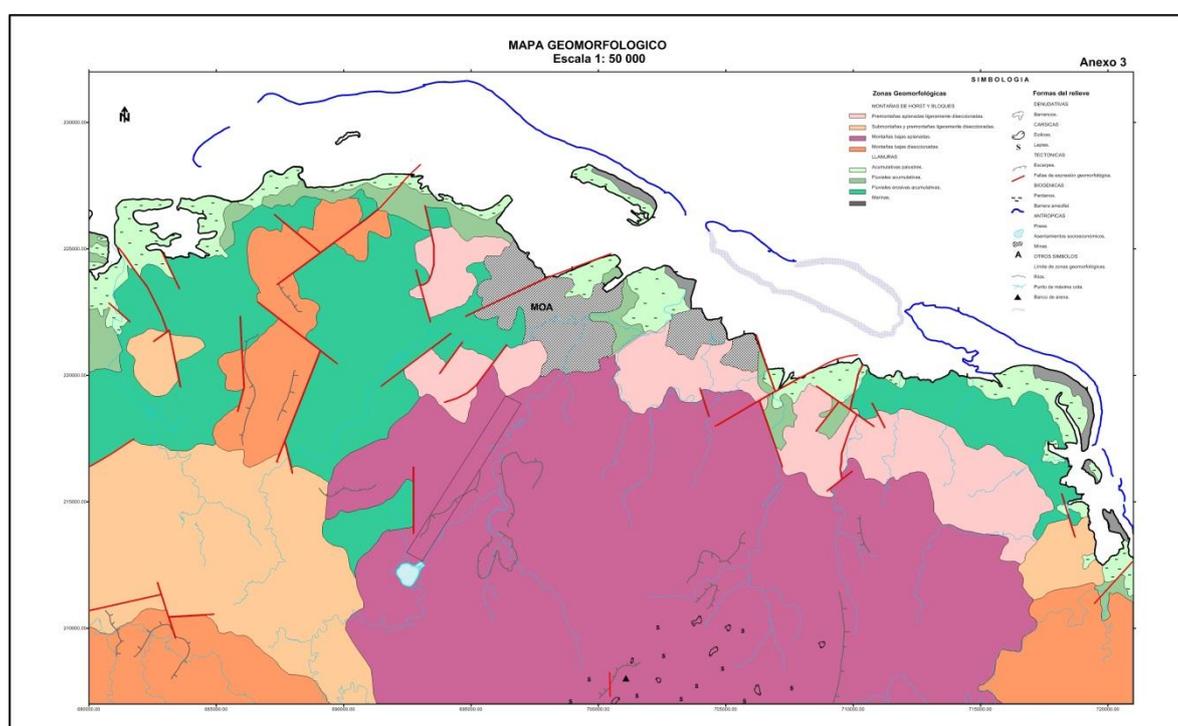


Figura 5 Mapa geomorfológico del trazado del túnel Presa Nuevo Mundo-Moa. (Tomado de Rodríguez, 1998)

2.4.4 Marco tectónico Regional

Rasgos Geotectónicos Evolutivos de la Región.

Antes de proceder al análisis tectónico detallado del territorio se hace imprescindible tener una idea de los principales rasgos geotectónicos regionales que condicionaron el surgimiento de las estructuras y su evolución en el tiempo. M. Campos, Iturralde-Vinent, Lewis y Drapper, Morris y otros, que a partir del enfoque movlista del desarrollo geológico, explican

la secuencia de procesos geotectónicos del Cretácico hasta el reciente en el contexto regional y muy en particular en los principales eventos que afectaron al bloque oriental cubano.

El desarrollo mesozoico de Cuba se produjo según el modelo geotectónico que caracteriza a los sistemas de arcos insulares y cuencas marginales que se desarrollan en las periferias de los márgenes continentales como consecuencia de la convergencia.

A este período se asocian las rocas más antiguas de Cuba Oriental representadas por las formaciones metamórficas, volcánicas y sedimentarias, que se muestran en ocasiones altamente deformadas, llegando en algunos casos a formar parte de melanges y que presentan en general una yacencia isoclinal.

A fines del Campaniano Superior - Maestrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico cretácico cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, 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 compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas. Algunos autores plantean que este proceso ocurrió en el Eoceno Medio, mientras que investigaciones más recientes, Iturralde, 1996 y Proenza, 1998 consideran que el mismo sólo alcanzó hasta el Paleoceno Inferior.

Este proceso de colisión no ocurre en el Bloque Oriental con iguales características que en el resto de Cuba debido al surgimiento a inicios del Paleógeno de la depresión tectónica Cauto - Nipe que demoró e hizo menos violenta la colisión.

A partir del Eoceno Medio y hasta el Mioceno Medio las fuerzas de compresión tangencial se reducen quedando sólo expresadas a través de fallas de deslizamiento por el rumbo, plegamientos y empujes locales,

tomando importancia para la región los movimientos verticales que caracterizan y condicionan la morfotectónica regional, iniciándose a partir del Mioceno Medio el proceso de ascenso del actual territorio de la isla de Cuba. Si bien es cierto que los movimientos verticales responsables de la formación del sistema de Horts y Grabens van a caracterizar los movimientos tectónicos recientes, hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior [Draper y Barros, 1994], que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste, que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

Sistemas de Fallas y Bloques Morfotectónicos

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 compresión 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 compresión 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 Jucara 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. Desde el punto de vista morfotectónico, el 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).

En el área de estudio están presentes la combinación de dos sistemas de fallas principales; el Sistema del Eoceno Medio donde predomina la falla Moa en el límite este al área de trazado, está presente de forma paralela pero sin ser cortada por el eje del túnel y manteniendo su influencia sobre la dirección del río, también está presente en el área la falla Cananova del Sistema del Mioceno Medio, es la estructura disyuntiva de mayor

- 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.

El área de estudio está situado en el Bloque morfotectónico Moa, específicamente en los subbloques Moa Caimanes y Moa Aeropuerto.

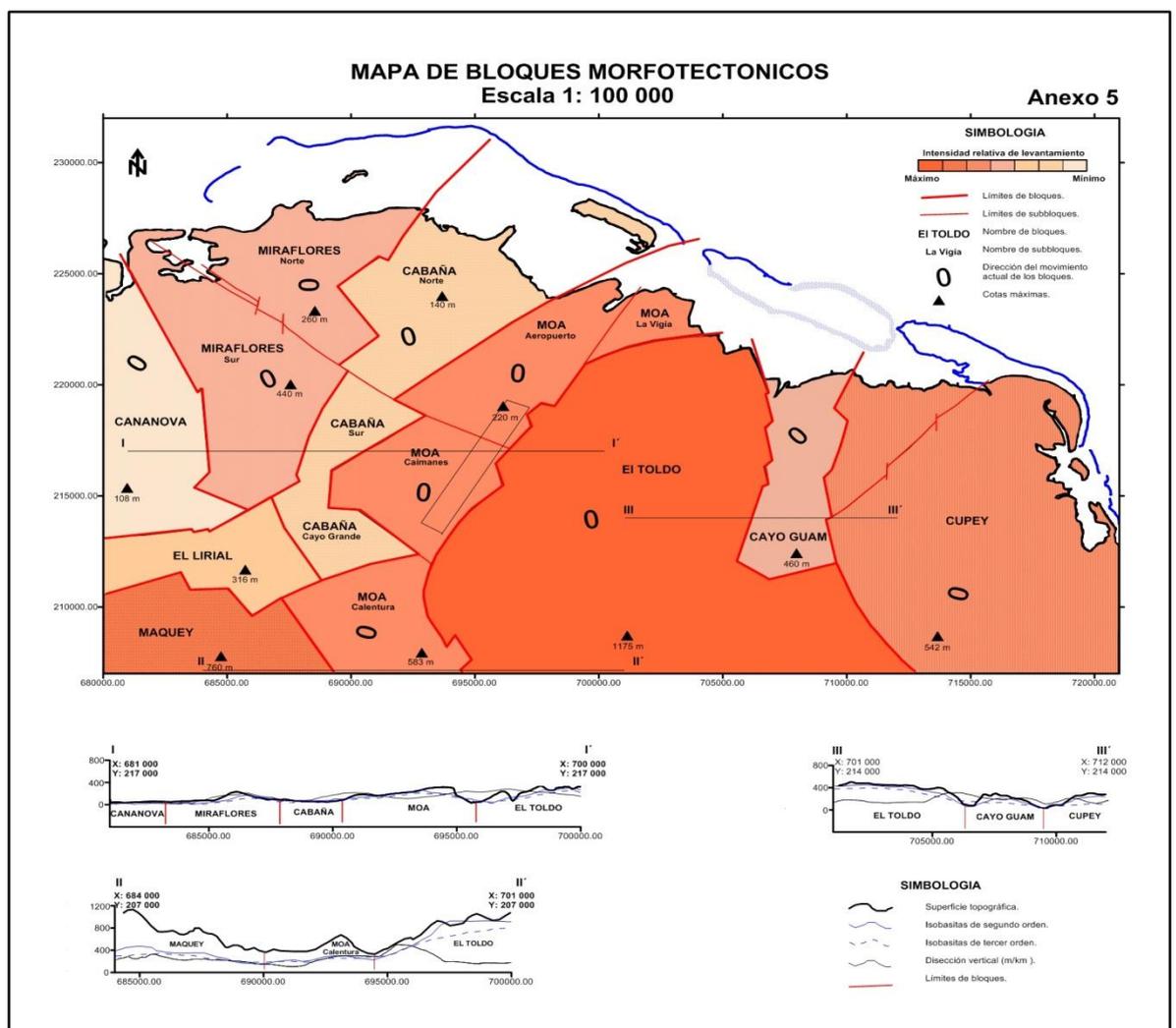


Figura 7. Mapa de bloques morfotectónicos de moa, con el buffer o área de influencia

de la traza del túnel Presa Nuevo Mundo-Moa. (Tomado de los anexos gráficos de la tesis de Alina Rodríguez Infante).

Agrietamiento en las rocas serpentínizadas.

En territorio de Moa se manifiestan intensos procesos tectónicos reflejo de la historia geológica de la Isla. En las rocas serpentínizadas 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 serpentínizadas (Montéselos, 2006).

2.4 5 Hidrogeología

La red hidrográfica en la zona se encuentra bien desarrollada, representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Aserrío, Cabañas, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam, Semillero, El Medio, Cupey, Yamanigüey y parte de su curso del Jiguaní, los que en su mayoría corren de Sur a Norte, desembocando en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles. En general predomina la configuración fluvial de tipo dendrítica, aunque debido al control tectónico del relieve, pueden observarse sectores fluviales con red enrejada. Los ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas y en todos los casos son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como nacimiento las zonas montañosas del grupo Sagua – Baracoa. En el sector analizado la red hidrográfica aunque mantiene sectores con configuración dendrítica, presenta un gran control tectónico debido a la alta fracturación de las rocas.

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:

1. Complejo acuífero de los sedimentos costeros.
2. Complejo acuífero de los sedimentos aluviales.
3. Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos – carbonatados.
4. Complejo acuífero de las lateritas.
5. Complejo acuífero de las ofiolitas.

En el área de estudio están presentes dos litologías representativas de los complejos acuíferos siguientes:

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.

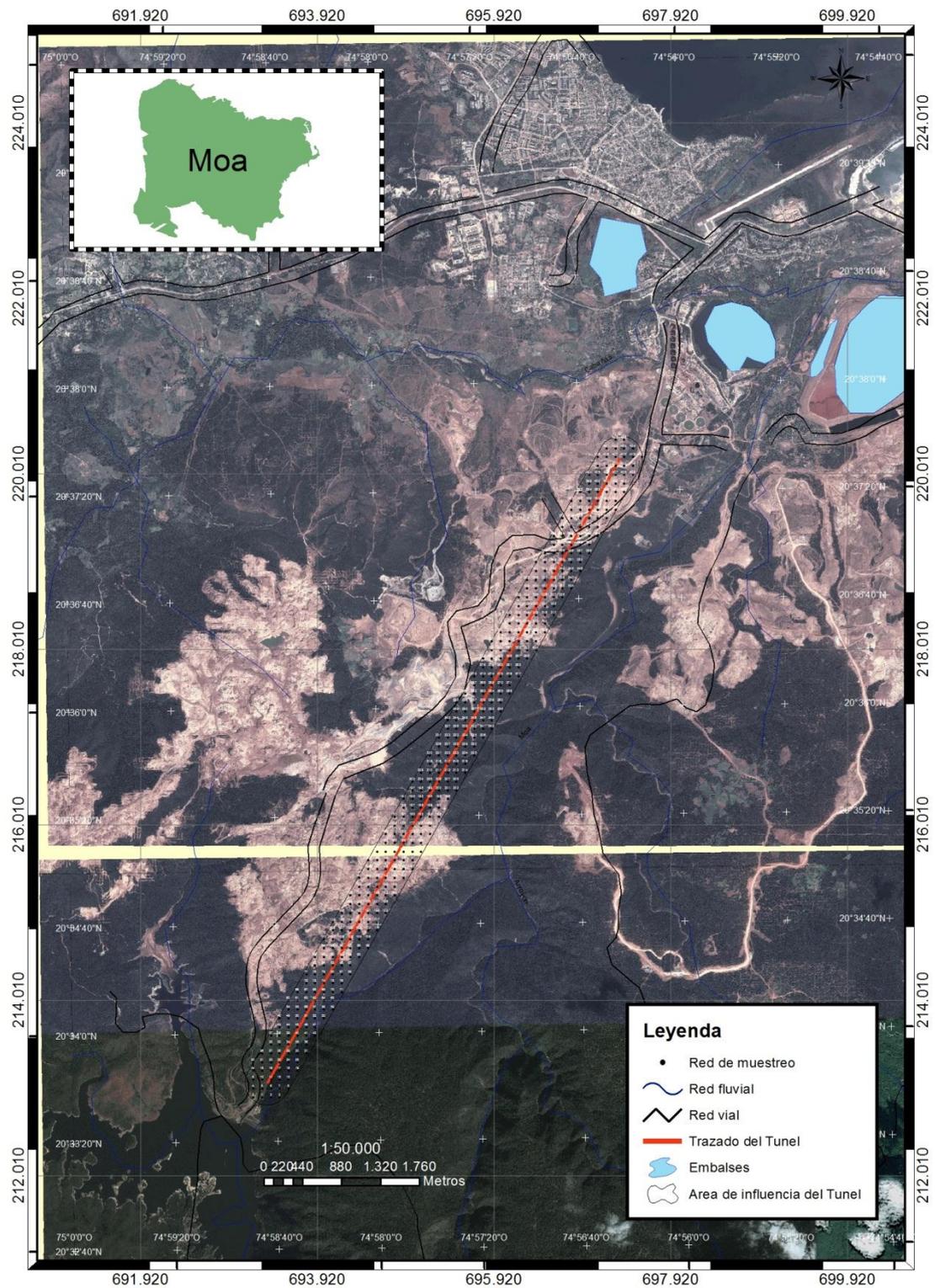
La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 L/s. según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin las aguas son de tipo hidrocarbonatadas - magnésicas. (Rodríguez, 1998)

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.

Según (De Miguel, 2004) 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, mientras que en las lateritas, con algunas excepciones (ferricretas y redepósitos), el movimiento del agua es fundamentalmente de ascenso capilar, el cual varía entre 0.0 m a 25.5 m. La profundidad de las aguas subterráneas se encuentra entre 0 y > 20 m, correspondiendo el nivel 0 a los cursos de aguas corrientes superficiales y a las excavaciones mineras que han descubierto las aguas subterráneas.



Mapa 2. Mapa hidrológico del área de trazado del túnel Presa Nuevo Mundo –Moa. (Realizada con la base de mapas y fotos satelitales del ISMM y el programa ARGIS).

2.4.6 Sismicidad

Por la posición geólogo-estructural que tiene el sector Moa, de estar bordeada por tres zonas sismogeneradoras coincidentes con fallas profundas que constituyen límites entre o interplacas, lo ubican dentro del contexto sismotectónico de Cuba Oriental (Oliva et al., 1989). Estas tres zonas son:

- Zona sismogeneradora Oriente: Está asociada a la falla transcurrente Bartlett-Caimán de dirección este-oeste. Constituye el límite entre la placa Norteamericana y Caribeña. A esta zona corresponde la más alta sismicidad de toda Cuba y con ella se encuentran asociados los terremotos de mayor intensidad con epicentros en el archipiélago cubano. La intensidad máxima pronóstico promedio para la zona es de VIII grados en la escala MSK, llegando hasta IX en el sector Santiago-Guantánamo. La magnitud máxima es de 8 grados en la escala Richter.
- Zona sismogeneradora Cauto-Nipe: Está asociada a la zona de fractura de igual nombre, con dirección suroeste-noreste desde las inmediaciones de Niquero hasta la bahía de Nipe. Constituye un límite ínter placa, que separa al Bloque Oriental Cubano del resto de la isla. La potencialidad sísmica de esta zona alcanza los 7 grados en la escala Richter, mientras que la intensidad sísmica, según el mapa complejo de la Región Oriental de Cuba señala valores entre VI y VII grados MSK.
- Zona sismogeneradora Sabana: Se encuentra asociada a la falla Sabana (falla Norte Cubana) o zona de sutura entre el Bloque Oriental Cubano y la Placa Norteamericana. La potencialidad sísmica es variable en el rango de VI a VII grados MSK, alcanzando sus máximos valores hacia su extremo oriental. Los principales focos sísmicos de la zona se localizan en los puntos de intersección de ésta con las fallas de dirección noreste y noroeste que la cortan.

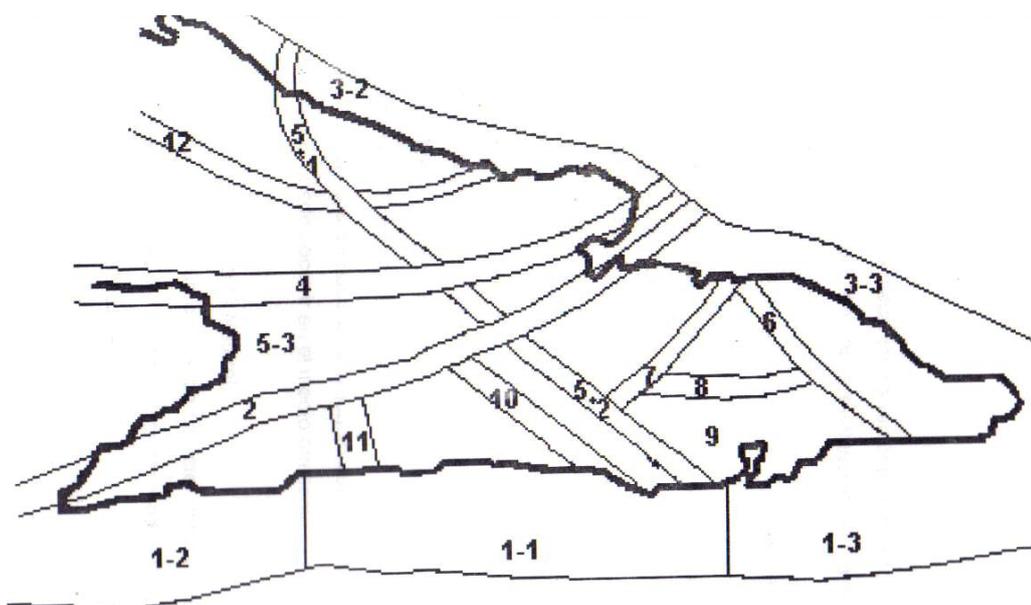


Figura 8 Zonas sismogeneradoras de Cuba Oriental de Cuba (CENAIS, 1982).

1-1 Oriente 1(8), 1-2: Oriente 2(7,6), 1-3 Oriente 3 (7,6), 2: Cauto-Nipe (7), 3 Sabana (6-7), 4: Cauto-norte (6,5), 5: Baconao (6-7), 6: Purial (6,5), 7: Santiago-Moa (5), 8: Palenque (5), 9: Guaso (5), 10. Santiago-Bayamo (5,5), 11: Bayamo (6) y 12: Cubitas (5,5).

2.5 Procesos Geológicos

La meteorización es el proceso de destrucción in situ de las rocas sólidas que afloran en la superficie terrestre a causa de fuerzas químicas, físicas o biológicas. Está vinculado con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio.



Foto 1 Bloque de roca alterada por la meteorización.

La erosión es el desprendimiento y transporte de los detritos rocosos por los agentes en movimiento que operan en la superficie terrestre y en el área de estudio es uno de los procesos naturales que más afectan la zona, se desarrolla sobre las cortezas lateríticas con gran intensidad debido a que la minería a cielo abierto y la deforestación de las áreas provocan que los agentes atmosféricos actúen con mayor energía sobre el medio arrastrando las partículas hacia las zonas donde el relieve es más bajo. Se observa además, un amplio desarrollo de cárcavas, que aumentan sus dimensiones rápidamente en el tiempo, la dirección de las mismas está condicionada fundamentalmente por las condiciones estructurales de los suelos.



Foto 2 Formación de cárcavas en el área de estudio.

Movimientos de masas

Este proceso está vinculado a los movimientos de laderas naturales y taludes generados por procesos naturales. Los mecanismos de rotura y las tipologías de los movimientos de masas desarrollados, están condicionados por las características estructurales del macizo rocoso. Las propias condiciones naturales de las rocas como intenso agrietamiento, altas pendientes, así como la intensa actividad sismo-tectónica en la región y elevados índices pluviométricos, hacen que este fenómeno sea muy común y se convierta en un peligro latente, capaz de generar grandes riesgos en el territorio.

Capítulo III. Metodología de evaluación geomecánicas.

3.1 Introducción

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación para la evaluación geomecánica del área de trazado del túnel Presa Nuevo Mundo- Moa en la etapa de ideas conceptuales, a partir del análisis de la información existente, según las tres etapas principales. Se parte de la revisión de la información de los trabajos precedentes donde se adquiere la información base. Se describen las diferentes clasificaciones geomecánicas empleadas para analizar la estabilidad del terreno; y así evaluar el área de trazado del túnel Presa Nuevo mundo-Moa en la etapa de ideas conceptuales.

3.2 Metodología de la investigación.

La investigación en el área del trazado del túnel, se realizó en tres etapas fundamentales (Figura 9):



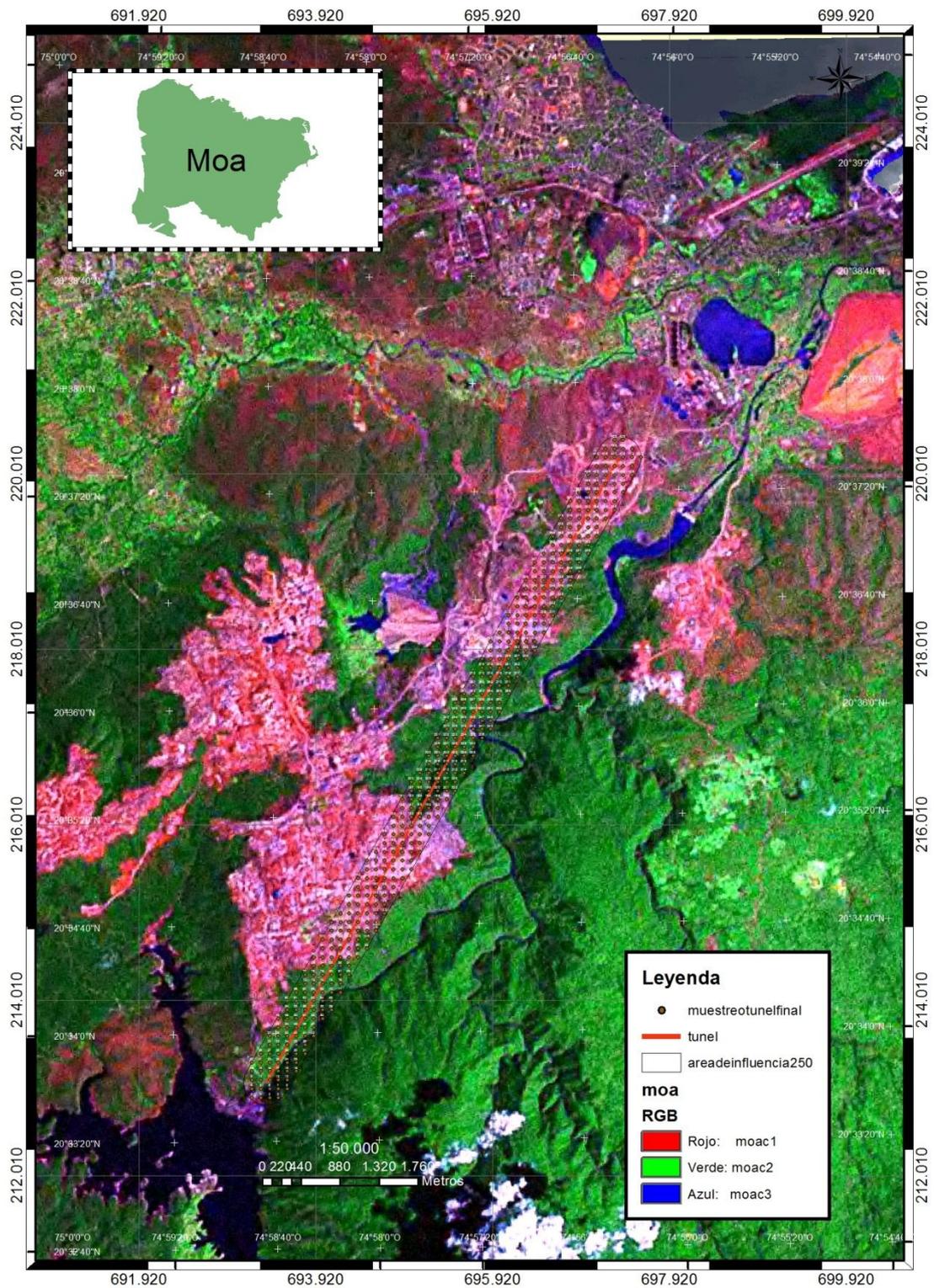
Figura 9. Marco metodológico de las investigaciones desarrolladas.

3.2.1 Primera etapa: Búsqueda y recopilación de la información.

En esta etapa se realiza el análisis de la bibliografía existente de la región y área de estudio, de la cual se revisa y recopila la información útil para la investigación. Se hacen búsquedas en el centro de información del ISMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas en Internet. Como resultados se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geológico, ingeniero geológico, de bloques Morfotectónicos, tectónico, y geomorfológico. En esta etapa se confecciona el marco teórico conceptual de la investigación. Teniendo como base esta información se selecciona el área de influencia que tendrá el túnel.

El área total abarca una superficie de 4.1 Km², representada en las planchetas topográficas 5277–IV-a y 5277–IV-c. En una escala en 1:25 000. Posteriormente se definió el conjunto de mapas que se obtienen a partir de los Sistemas de Información Geográficos para realizar el reconocimiento litológico-estructural a partir de la búsqueda y revisión bibliográfica de los trabajos precedentes relacionados con la temática.

La elaboración y procesamiento de los mapas se realizó mediante el empleo de softwares profesionales como el SURFER 11, ARGIS 10.



Mapa 3. Mapa de reconocimiento litológico-estructural del área de trazado del túnel Presa Nuevo Mundo –Moa. (Realizada con la base de mapas y fotos satelitales del ISMM y el programa ARGIS).

3.2.2 Segunda etapa: Procesamiento de la información.

Para obtener las informaciones necesarias de campo que garantizan el cumplimiento del objetivo de la investigación se realizan visitas a la zona de estudio con el objetivo de precisar información de interés sobre la geología y los procesos geológicos, y la metodología a seguir para la evaluación geomecánica.

En esta etapa se realizan marchas de reconocimientos dirigida a la descripción de las condiciones geológicas y estructurales del macizo rocoso. También se obtiene información sobre las propiedades físico-mecánicas de la matriz rocosa que permite valorar las mismas.

3.2.2.1 Trabajo de campo.

1. Reconocimiento litológico-estructural del área de trazado y el área de influencia del túnel Presa Nuevo Mundo- Moa.
2. Descripción de los procesos geológicos

3.2.3 Tercera etapa: Análisis e interpretación de los resultados.

En esta etapa se interpretan los resultados, se determinan las principales direcciones del agrietamiento y de esfuerzos mediante la confección de los diagramas de rosetas y se efectúan los cálculos referentes a las clasificaciones geomecánicas (RQD y Bieniawski) del macizo rocoso objeto de estudio. Posteriormente se realiza la evaluación geomecánica del macizo rocoso.

Capítulo IV Interpretación de los resultados.

Evaluación Geomecánica del macizo rocoso en el área de trazado del túnel Presa Nuevo mundo-Moa en la Etapa de Ideas Conceptuales.

4.1 Introducción

Para la caracterización geomecánica del macizo rocoso se emplean los datos brindados por las empresas vinculadas a este proyecto, como son las propiedades físico-mecánicas de las rocas presentes en el área, y el análisis estructural realizado como parte del reconocimiento litológico-estructural del macizo. La cuantificación de los parámetros de resistencia y deformación, 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 deformacionales del macizo rocoso involucrado. Cuantos más parámetros se logren incorporar, más representativo será el modelo geomecánico, del comportamiento real del macizo.

Las clasificaciones geomecánicas permiten calcular un índice característico de la roca, que describe 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 la etapa que nos ocupa de Ideas conceptuales permite tener una idea del comportamiento del macizo como punto de partida para las etapas posteriores.

4.3 Parámetros geomecánicos

La obtención de estos parámetros es a partir de la información existente, se comprueban los mismos y se obtiene información nueva durante el reconocimiento litológico-estructural del área en dos afloramientos, ya que existe poca aflorabilidad en la zona de estudio por donde está ubicado el trazado del túnel:

El primero se ubica a 2.0 Km de la presa por la carretera que conecta la presa con la ciudad de Moa, tiene como coordenadas (693150; 213320) presenta dimensiones de 60 metros de largo y 15 de alto, la litología presente es peridotita serpentizada de color verde oscuro.

El segundo afloramiento se localiza a 100 metros del primero con coordenadas (693175; 213500) con dimensiones de 40 metros de largo y 10 de alto donde la litología presente es peridotita serpentizada de color verde oscuro. En ambos se observan y analizan:

1-Presencia de agua: en el reconocimiento se buscaron indicios de presencia de agua en las grietas, en ambos afloramientos se encontraban las diaclasas en un estado de **seco a ligeramente húmedo** por lo que lo valoramos con una **puntuación de 12**.

2-Espaciamiento de las discontinuidades: el espaciado de las familias de grietas en ambos casos no sobrepasaba los **0.2m** y se valora en **8 puntos**.

3-Estado de las discontinuidades: las diaclasas en ambos puntos de muestreo tienen una longitud que **no sobrepasa los 3 metros, la apertura es menor a 1mm, la forma de las grietas son lisas** debido a la fricción entre los bloques formando espejos de fricción presentes en el área, **el relleno es duro y están ligeramente alteradas**, por todas estas características se otorga una valoración **de 18 puntos**.

4-Orientación de las discontinuidades: Para valorar este parámetro se realizaron diagramas de rosetas para conocer las principales familias de grietas y sus direcciones preferenciales, así como los principales esfuerzos que actuaron sobre estas, desde el punto de vista regional el área de

trazado del túnel es cortado de forma perpendicular por una estructura disyuntiva que presenta una dirección de N53°W conocida como falla Cananova, por lo que la valoración es de **2 puntos** (los datos obtenidos de las mediciones realizadas en el área presentes en las tablas anexos 1 y 2.)

Afloramiento1:

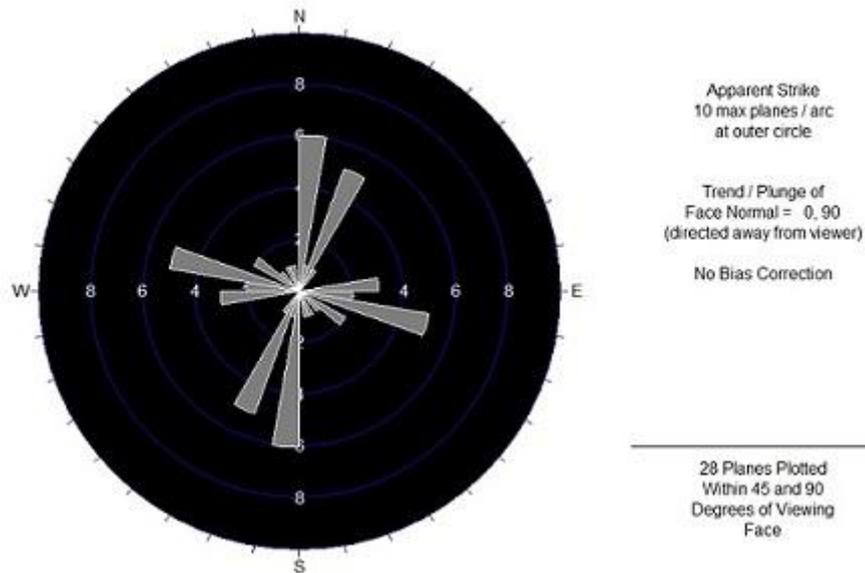


Figura 10 (Diagrama de direcciones preferenciales confeccionado en el DIPS-V5)

Las familias de grietas presentan una dirección $N10^{\circ} E$, $N30^{\circ} E$, $N80^{\circ} W$ los esfuerzos provienen de direcciones $N40^{\circ} -50^{\circ}W$.

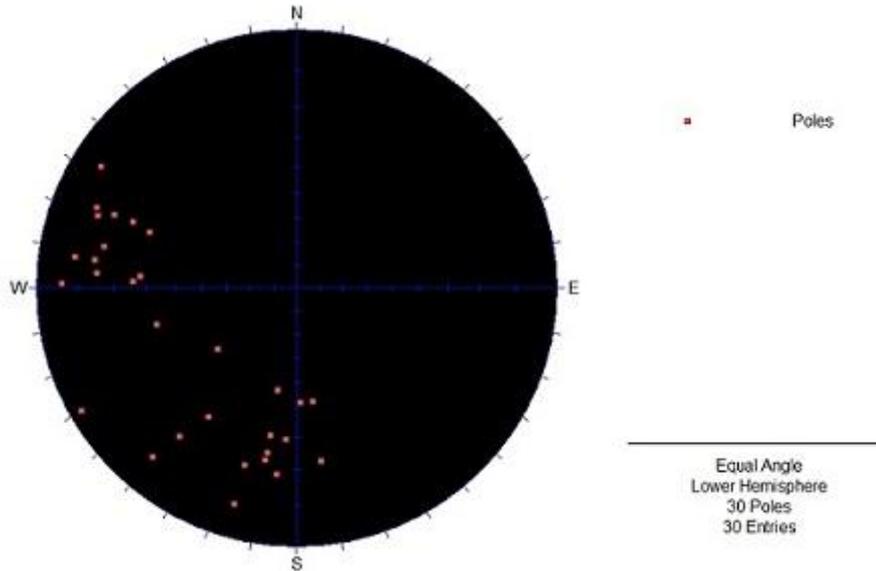


Figura 11 (Diagrama de entrada de polos confeccionado en el DIPS-V5)

Afloramiento2:

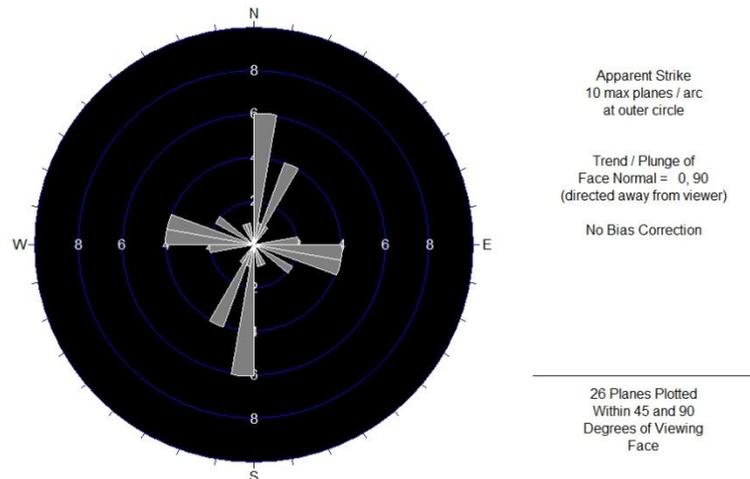


Figura 12 (Diagrama direcciones preferenciales confeccionado en el DIPS-V5)

Las familias de grietas presentan una dirección $N10^{\circ} E$, $N30^{\circ} E$, $N80^{\circ} W$, $N90^{\circ} W$ los esfuerzos provienen de direcciones $N25^{\circ} -35^{\circ}W$.

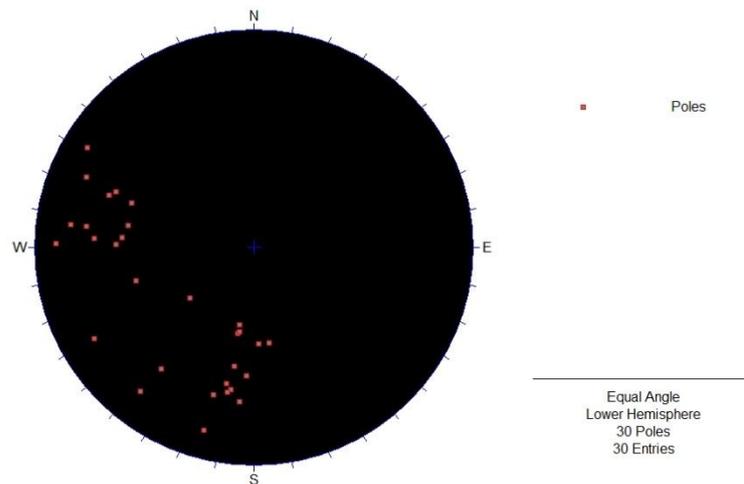


Figura 13 (Diagrama de entrada de polos confeccionado en el DIPS-V5)

4.3 Propiedades físico-mecánicas:

La roca que predomina en el corte del macizo rocoso es serpentinitas (Foto 3) de tonalidad gris verdosa a oscuro, en lo general los bloques se encuentra en un estado de agrietamiento que permite clasificar las mismas de fisurada a poco fisurada.



Foto 3: Muestra de serpentinita (tomada del afloramiento 1)

Como propiedades físico-mecánicas de las mismas se emplean por analogía los datos de las litologías presentes en los túneles populares de Moa.

Tabla 9 Propiedades máxicas de las rocas presentes en los túneles populares de moa.

Tipo de roca	γ , t/m		ρ , t/m		Pr, %		W, %	
	Valor	A, %	Valor	A, %	Valor	A, %	Valor	A, %
Serpentinita de color verde grisáceo, meteorizada	2,20	13,76	2,65	2,76	12,00	1,87	2,46	8,65
Serpentinita de color verde oscuro, fresca	2,08	12,87	2,57	1,99	10,06	2,34	1,69	6,55

γ - masa volumétrica t/m.

Pr- porosidad en %.

ρ - densidad t/m.

W- humedad en %

Tabla 10 Propiedades mecánicas de las litologías presentes en los túneles populares de Moa.

Tipo de roca	Rc, Mpa		Rt, Mpa		F			D			Ka		
	Valor	A, %	Valor	A, %	Ensayos	Valor	A, %	Ensayos	Valor	A, %	Ensayos	Valor	A, %
Serpentinita de color verde grisáceo, meteorizada	22,06	16,86	1,945	22,67	11	3,20	15,3	9	13	19,7	10	1,3	16,96
Serpentinita de color verde oscuro, fresca	32,41	21,54	4,598	19,50	13	4,10	19,87	17	18	23,2	13	1,7	16,3

Rc-Resistencia a la compresión (Mpa).

Rt- Resistencia a la tracción (Mpa).

Debido al comportamiento de las rocas a las pruebas mecánicas se le otorga un valor **de 4 puntos**.

4.4 Cálculo del índice de calidad del Macizo Rocosó

La evaluación de la estabilidad de las rocas de los macizos estudiados fue realizada con:

Criterio de evaluación de la estabilidad de Deere (1963), (RQD – Rock Quality Designation). (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. Colectivo, 1998. Moreno, 1998, Palmstrom, 1982).

El RQD es el indicador importante para facilitar el análisis geomecánico donde se utilizó la fórmula para un área de mapeo de Palmstrom 1982 donde se estima el RQD a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, en el cual el número de discontinuidades por metro para cada familia es sumado, se puede usar en afloramientos y túneles, se calcula por la expresión: $RQD = 115 - 3.3 * J_v$, donde J_v número total de fracturación por m^3 y es igual a:

$$J_v = \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}$$

Donde S_i es el espaciado de las discontinuidades en metros para el sistema de discontinuidades actual. En este caso solo hay dos familias de grietas y para obtener el cálculo de J_v del macizo rocoso se toma la cantidad de grieta por metro lineal.

- Una vez realizado los cálculo del RQD para los afloramientos donde el $RQD = 115 - 3.3 (J_v)$. Como plantea Palmstrom el resultado es: $RQD = 115 - 3.3 (J_v)$ donde $J_{v1} = 11.43$ y $J_{v2} = 10.81$

$$RQD_1 = 115 - 3.3 * 11.43$$

$$RQD_2 = 115 - 3.3 * 10.81$$

$$RQD_1 = 115 - 37.71$$

$$RQD_2 = 115 - 35.67$$

$$RQD_1 = 77.81\%$$

$$RQD_2 = 79.33\%$$

Se obtuvo un promedio de los RQD medidos obteniendo un valor de 78.57 % para una calidad buena según la tabla 1 (Deere, 1968) y se valoró con 17 puntos la calidad del RQD según la tabla 2 (Bieniawski, 1989).

4.5 Cálculo de Rock Mass Rating o Sistema RMR (Beniawski 1989)

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.

$$\text{RMR} = A + B + C + D + E - F$$

$$\text{RMR} = 4 + 17 + 8 + 18 + 12 - 2$$

RMR = 57 Clase III. Según la tabla 6 (Bieniawski, 1989)

Roca Media o regular.

Conclusiones

- Los parámetros geomecánicos determinados son: el espaciamiento el cual no sobrepasa los 0.2m en las familias de grietas, continuidad entre 1-3 m, la apertura es menor a 0.01m, lisas y el relleno es duro de composición silíceo, se encuentran ligeramente húmedas y en ocasiones secas. Las principales direcciones de las familias de grietas son $N10^{\circ}$ E, $N30^{\circ}$ E, $N80^{\circ}$ W y los esfuerzos provienen de direcciones $N40^{\circ}$ - 50° W.

- El macizo rocoso en la etapa de Ideas Conceptuales en el área para el trazado del túnel, se evalúa geomecánicamente con calidad Buena del 78.57% por el RQD y Calidad media por RMR.

Recomendaciones

- Se recomienda aumentar el grado de estudio sobre el trazado de construcción pasando de ideas conceptuales a ingeniería básica, comprendiendo el estudio de los parámetros geomecánicos y las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso a través de la combinación de un complejo de métodos geólogo-geofísicos y de perforación en los puntos de mayor incertidumbre.

Bibliografía

1. ALMAGER Y. 2001, Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso. Tesis de maestría. ISMM Departamento de geología, 110 p.
2. ALMAGUER Y. 2002, Estabilidad de taludes en el macizo rocoso serpentínizada del territorio de Moa. Curso Iberoamericano de Aplicaciones Geomecánicas y Geoambientales al Desarrollo Sostenible de la Minería. Ediciones Panorama minero. 69 – 84 p.
3. ABALOS, B. 1995. Aplicación de la función del auto correlación al análisis estructural de los medios fisurados. Boletín Geológico y Minero. Vol. 106, No. 3, Mayo – Junio. Pág 19.
4. ALFARO. S. J. M. 2000. 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.
5. AYALA, C. F. J. 1991. Manual de ingeniería de taludes: Instituto Tecnológico Geominero de España.
6. ALMEIDA, N. 1995. Valoración de la estabilidad de la Mina Mercedesitas. Trabajo de Diploma. Cuba.
7. BIENIAWSKI, Z.T. 1979. The geomechanics classification in rock engineering applications: Tomo 2. En: 4to. Congreso de Mecánica de Rocas, Montreal, p. 41-48.
8. BIENIAWSKI, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. New York: Wiley.
9. BLANCO BLÁZQUEZ, J.L. y ET. AL. 2008. Informe Final Túnel Levisa-Melones. Ingeniería Básica. Holguín: INRH.
10. BLANCO TORRENS, R. 1981. Mecánica de rocas. Santiago de Cuba: Editorial Oriente.
11. BLANCO TORRENS, R. 1998. Elementos de la mecánica de los medios rocosos. La Habana: Editorial Félix Varela.

12. BLANCO TORRENS, R. 2005. Características Mecánico estructurales del macizo: Tema 2. En: Curso - Proyecto CYTED XIII, Córdoba, Argentina, 3Junio,2005. [Consultado:20140112]. Disponible en:<http://w3.cetem.gov.br/cyted-xiii/Publicaciones/Libros/Geomecanica_PequeñaMineria/ponencias/tema2.pdf>.
13. BOLUCHOF, N.S. 1982. Mecánica de obras subterráneas. Moscú: Niedra.
14. BLANCO, T. R. 1981. Mecánica de rocas: Oriente, Cuba.
15. BLANCO, T. R. 1993. Estudio de la estabilidad y la presión minera en las excavaciones subterráneas. Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
16. BLANCO, T. R. 1998. Elementos de la mecánica de los medios rocoso. La Habana: Félix Varela, 327p.
17. BLANCO, T. R. 1986. 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.
18. BLANCO, T. R Y M. P. CARTAYA. 2000. Estimación de la resistencia de las rocas. Minería y Geología. Vol. I.No.1.
19. BLANCO, T. R; et. al. 1998. 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.
20. BLANCO, M. J. 1994. PROENZA. Terrenos tectonoestratigráficos en Cuba Oriental. Minería y Geología. No.3. Vol. XI.
21. BOCK. H. 1983. Introducción a la mecánica de los macizos rocosos: Mir, Moscú.
22. BORISOV. A. A. 1986. Mecánica de rocas y de los Macizos: Niedra, Moscú.

23. BORGES, C. J. 1998. Cálculo económico de las variantes de sostenimiento de los túneles populares del municipio Moa. Trabajo de Diploma. ISMM.
24. CAMPOS DUEÑAS, M. 1983. Riesgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología*, (2): 51-75.
25. 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.
26. CARTAYA, P. M. 1996. Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de la mina Mercedita. [Tesis de Maestría]. ISMM. 77h.
27. CARTAYA, P. M; R .BLANCO. 1999. Modelos geomecánicos del macizo rocoso en la mina de cromo Merceditas. *Minería y Geología*. XVI (2):47-52p.
28. CARTAYA, P. M Y R .BLANCO. 2000. 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.
29. CARTAYA, P. M; BLANCO, T. R. 1997. Informes Ingeniero – Geológicos y valoración de estabilidad de los túneles populares del municipio Moa. Estado Mayor Municipal de la Defensa Civil – Moa.
30. CASTRO. O. 1989. Mecánica de rocas aplicada a la construcción: Científico técnica, La Habana.
31. COBIELLA, R. J. RODRÍGUEZ, J Y CAMPOS, M. 1984. Posición de Cuba Oriental en la geología del caribe: *Minería y Geología*, Vol. 2. 65-74p.
32. CAMPOS, M. 1989. Estructura de las ofiolitas de Cuba Oriental. Fondo geológico. ISMM.
33. COLECTIVO DE AUTORES. 1992. 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).
34. COLECTIVO DE AUTORES. 1992. 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.
35. COLECTIVO DE AUTORES. 1992. Informe ingeniero geológico, Tránsito Este – oeste (Melones – sabanilla): Túnel Buenaventura. Empresa de Proyectos e Investigaciones del MINFAR – Holguín (E. C. M. No 2). 1992c.
36. COLECTIVO DE AUTORES, 1992. 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.
37. COLECTIVO DE AUTORES, 1995. 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).
38. COLECTIVO DE AUTORES, 1996. Informe Ingeniero geológico. Mina Merceditas. Cuba, 1996a.
39. COLECTIVO DE AUTORES, 1996. Folleto Formaciones Geológicas de Cuba Oriental. Departamento de Geología – Bayamo. CITMA: 1996b.
40. COTILLA, RODRÍGUEZ. M.O, BANKWITZ. et. Al, 1998. Cinemática neotectónica de Cuba Oriental Rev. Soc. Geológica de España. V 11 (1 - 2): 33-42p.
41. CORPAS. T. A. 2000. 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.
42. CONTRERAS, B. M. 1992. Estudio de la tecnología de sostenimiento de los túneles del tránsito Este – Oeste. [Trabajo de Diploma].. ISMM. 114h.

43. CRESPO, C. E. 1996. Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMM.79h.
44. CRUZATA, A. et. al. Tránsito Caney – Gilbert. 1992. 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).
45. CUSTODIO, E. et. al. 1970. Hidrología subterránea. Omega.
46. Cuesta Recio Armando Francisco. 2010. Procedimiento para elegir la técnica de control de las filtraciones que afectan las excavaciones subterráneas en macizos poco porosos y agrietados, 137 pág.
47. DE JESÚS, R. M. 1995. 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).
48. DE MIGUEL FERNÁNDEZ, CONSTANTINO: 1998. “Principales Macizos Hidrogeológicos de Cuba Oriental”. Fondo geológico, Departamento de geología, ISMMM, Febrero de 1998.
49. GONZÁLEZ DE VALLEJO, LUIS.I. 1999. Manual de geomecánica, 78 p.
50. HERNÁN GAVILANES y BYRON ANDRADE HARO. 2004. Introducción a la ingeniería de túneles, caracterización, clasificación y análisis geomecánicos de macizos rocosos, 340 pág.
51. JOSÉ MANUEL FALCÓN PÉREZ. 2013. Evaluación de la estabilidad y propuesta de sostenimiento para el túnel Levisa-Mayarí Tramo II. Tesis de grado. Departamento de minería, 110 pág.
52. MEDINA ALBA, MAYDONI. 2009. Caracterización Geomecánica de la entrada del túnel Moa-Tránsito., 105p.
53. RODRÍGUEZ INFANTE, ALINA. 1998b: Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis tectónica. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM, 124p.
54. RAFAEL NOA MONJE ,2003. Indicaciones metodológicas para la elección del método de arranque de las rocas durante el laboreo de excavaciones subterráneas horizontales de pequeña y mediana sección en Cuba oriental. 93 pág

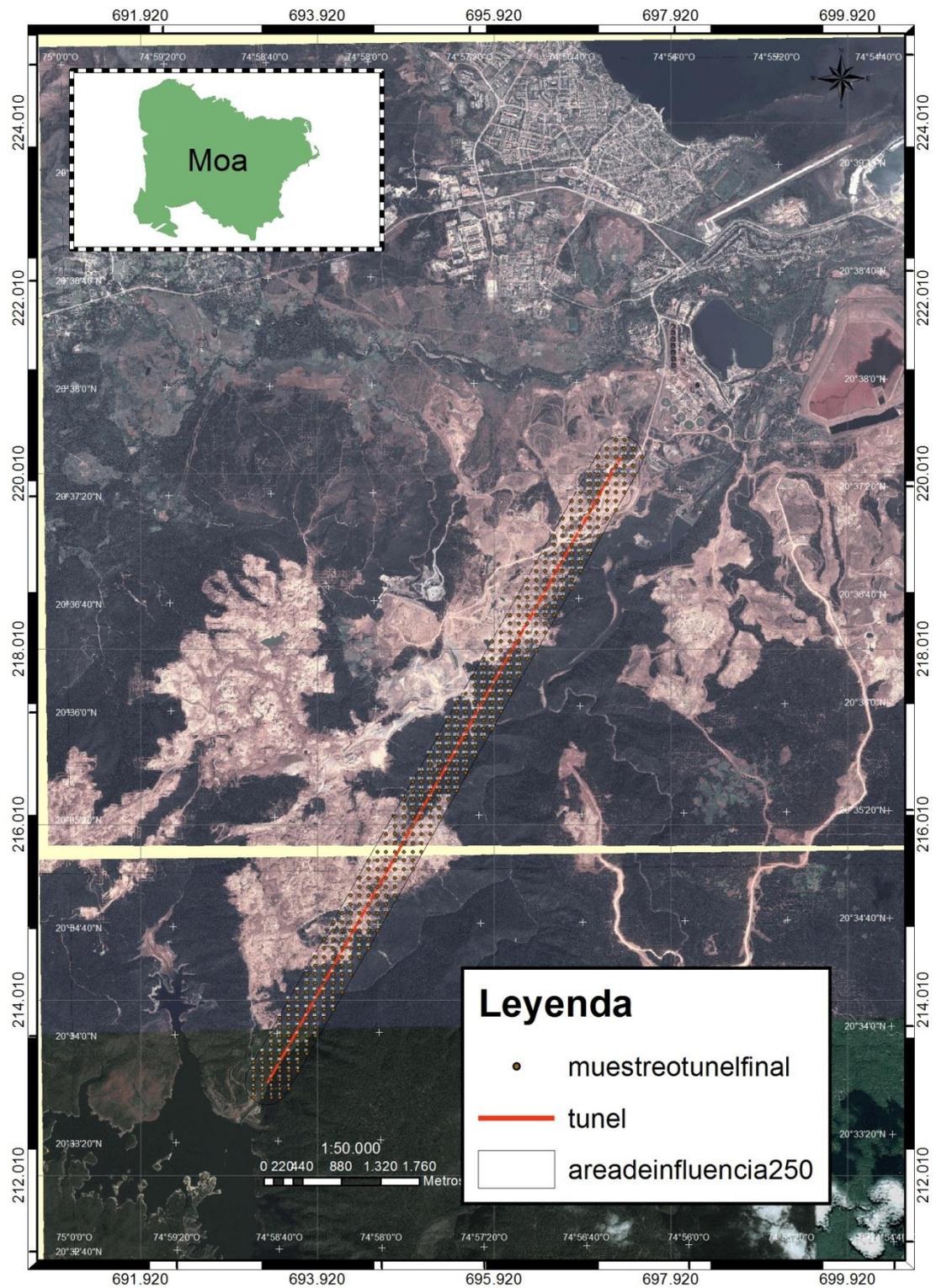
55. ROSA MARÍA MARTÍNEZ PÉREZ. 2015. Caracterización geomecánica del macizo rocoso para la proyección del Túnel Levisa-Mayarí Tramo IV. Traslase Este-Oeste. Tesis de Maestría, 105 pág.
56. SERA, R. Y. 2008. Estudios ingeniero geológico regional para la construcción de las obras del traslase ESTE- OESTE. Trabajo de diploma. . ISMMANJ. Julio de 2008. 39-53p.
57. PALACIOS, V. A. 2008. 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

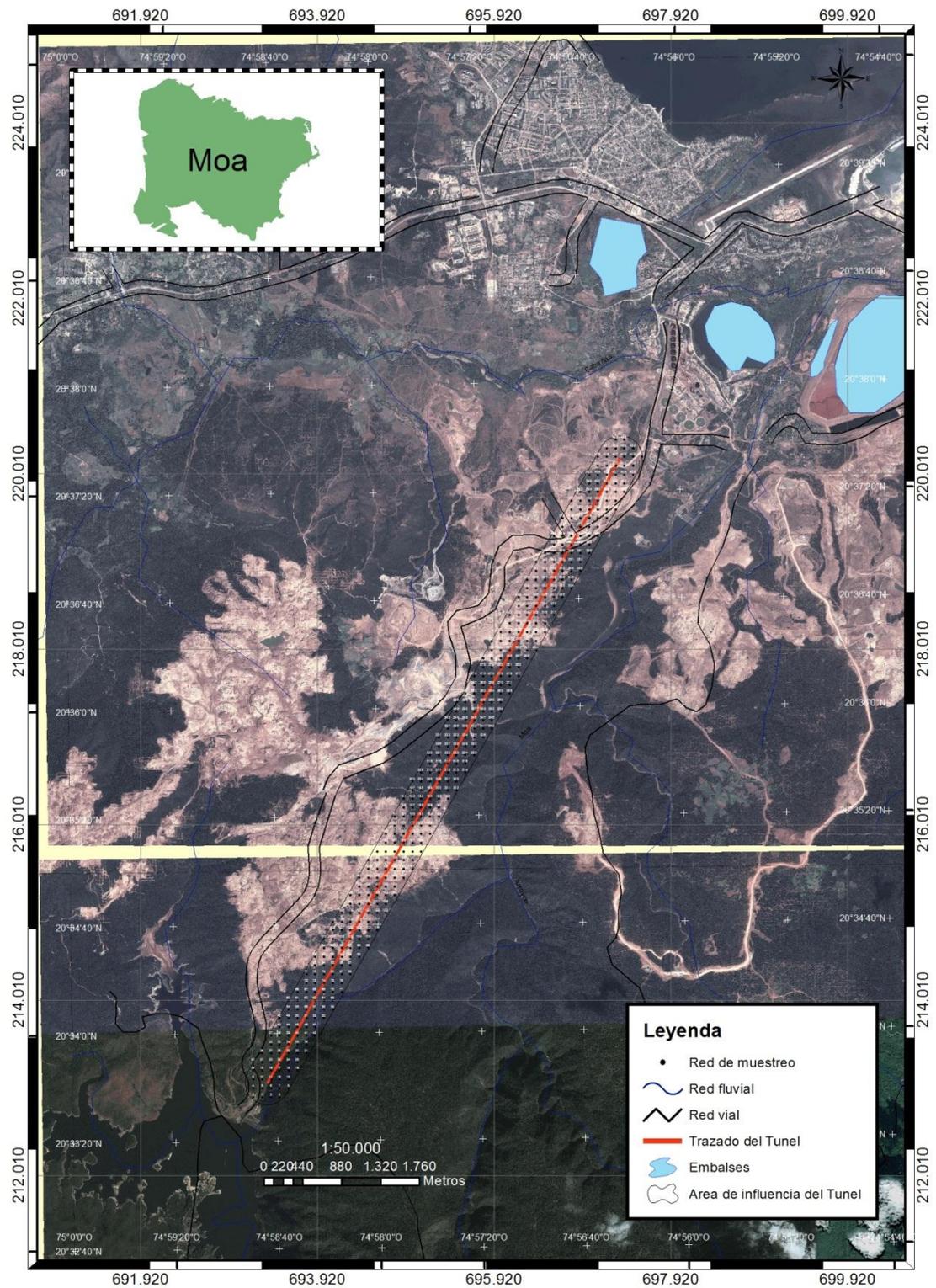
Anexo 1 Base de datos de las mediciones de elementos estructurales.

Afloramiento 1			Afloramiento 2	
1	Dip	Dip Direction	Dip	Dip Direction
2	81	40	70	37
3	68	10	80	38
4	61	4	67	9
5	48	352	61	3
6	71	16	48	351
7	58	75	70	15
8	48	358	58	74
9	75	94	48	357
10	83	122	72	93
11	68	112	83	121
12	62	34	68	112
13	68	352	62	94
14	74	112	71	5
15	62	94	64	91
16	72	6	82	15
17	64	92	75	97
18	82	16	79	113
19	76	98	70	110
20	79	112	40	10
21	78	110	58	9
22	44	10	61	110
23	60	10	85	91
24	62	111	80	97
25	66	10	80	60
26	81	98	41	51
27	87	60	65	11
28	42	52	60	100
29	84	91	68	10
30	74	102	44	10
31	72	38	43	9

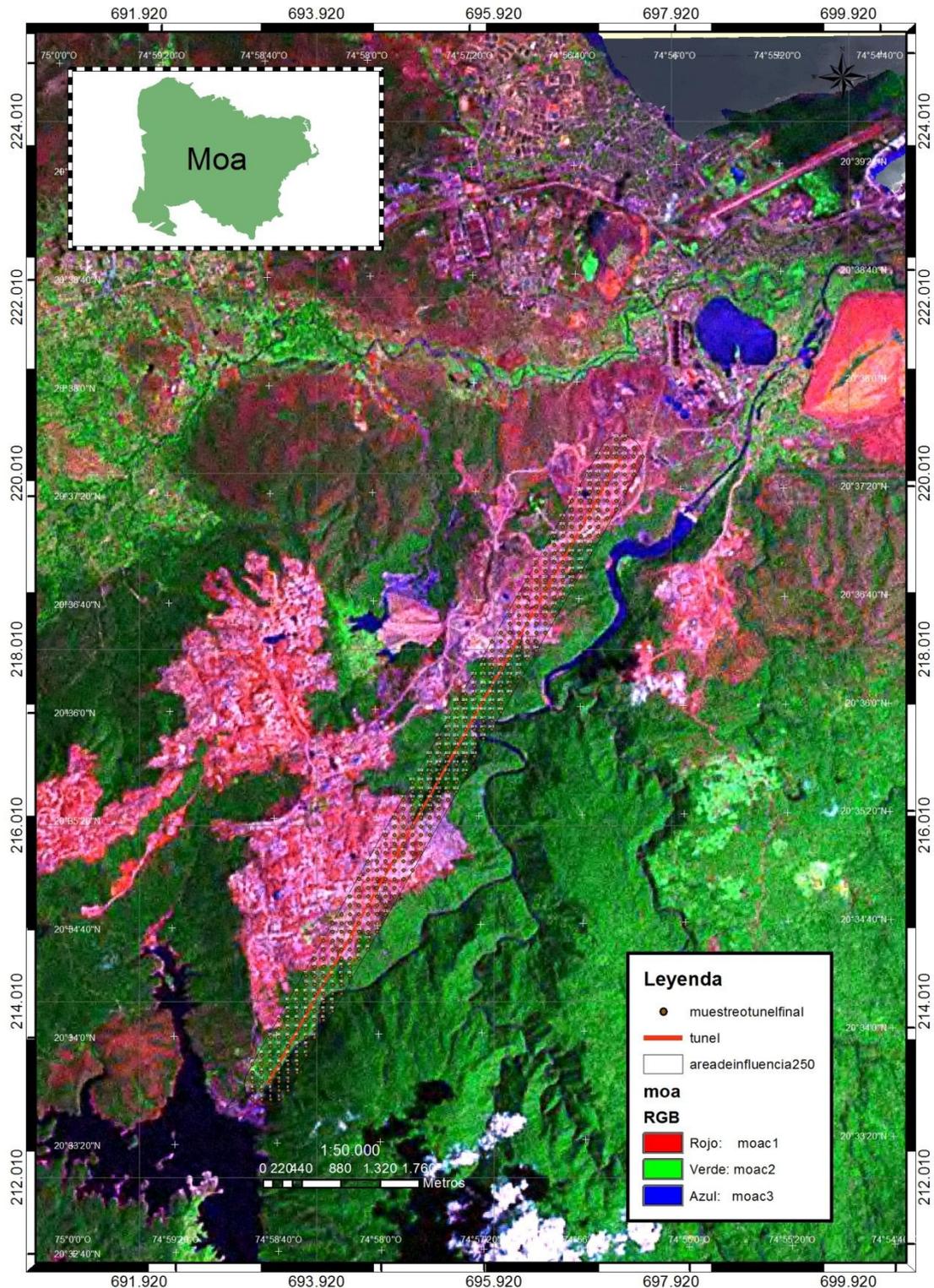
Anexo 2 Mapa de ubicación geográfico.



Anexo 3 Mapa de red fluvial y red vial.



Anexo 4 Mapa de reconocimiento litológico-estructural del área de trazado del Túnel Presa Nuevo Mundo- Moa.



Anexo 5 Perfil de la variante de trazado ideal.

