



Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
Dr. Antonio Núñez Jiménez  
Facultad de Geología-Minería  
Departamento de Minería.

## *TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO DE MINAS.*

*TÍTULO:* Cálculo de Sostenimiento para la Cámara de Acceso a la Pequeña Central Hidroeléctrica en el Tránsito Este-Oeste.

*Autor:* Marlon Hernández Chery.

*Tutores:* Msc. Armando Cuesta Recio.  
Dra. Maday Cartaya Pires.

*Año 50 de la Revolución*

*Julio 2009*



## *Dedicatoria.*

Deseo dedicar mi trabajo de diploma a quienes constituyen en mi vida lo mejor de ella:

- ✓ A mis padres, que son lo mejor de mi vida, por ayudarme a ser quien soy, de los que siempre estaré orgulloso.
- ✓ A mi hermana, que la quiero mucho, y ha contribuido con mi formación como profesional.
- ✓ A mi novia, a la que amo con el alma, que me apoyó mucho en todo momento y que con su comprensión me dio confianza y aliento.
- ✓ A mis amistades (Weyler, Dennis, Bergman, Barco y Maydonys), por su preocupación en todo momento.



## *Agradecimientos*

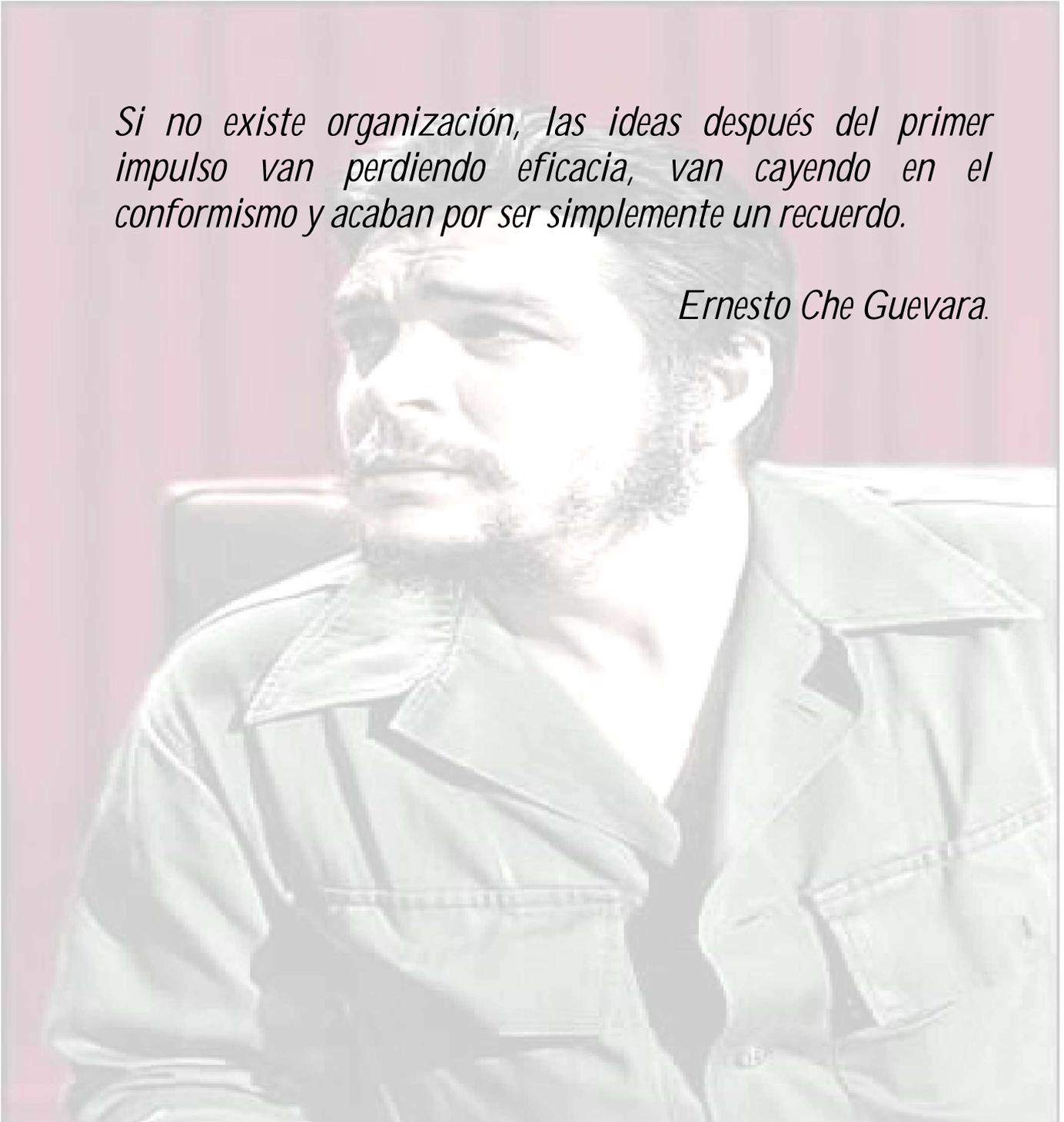
- ✓ A mi madre quien me hizo ser todo lo que soy y que sin ella no estaría ahora aquí.
- ✓ A mi papá y mi hermana que siempre me han dado su amor y su apoyo incondicional.
- ✓ A mi novia Meyvis que en las buenas y en las malas siempre ha estado junto a mí.
- ✓ A mis compañeros de aula por su apoyo incondicional y saber llevar lo que significa el concepto de amistad estos 5 años.
- ✓ Al colectivo de profesores del departamento de minería por haberme formado como un profesional integral, transmitiendo sus conocimientos y experiencias. En particular a Yoandro, Belete, Alexis, Yurisdell y Yaneibis.
- ✓ A todo el colectivo de trabajo de la DIP y en especial a Ramiro y José por su colaboración y esfuerzo para la realización del trabajo.
- ✓ A mi tutor Armando Cuesta, por su dedicada atención en la realización de este trabajo.
- ✓ A la revolución y en especial a nuestro comandante en jefe, por permitirme estudiar y convertirme en un profesional y revolucionario.

*A todos muchas gracias.*

## *Pensamiento.*

*Si no existe organización, las ideas después del primer impulso van perdiendo eficacia, van cayendo en el conformismo y acaban por ser simplemente un recuerdo.*

*Ernesto Che Guevara.*



## *Resumen.*

El presente trabajo, Titulado: Calculo de sostenimiento de la Cámara de Acceso a la PCHE en el Traslase Este – Oeste, a partir de la caracterización geomecánica del macizo rocoso. Se ha realizado con el objetivo fundamental de proponer el sostenimiento de dicha Cámara a fin de construir la Cámara con la calidad requerida, y lograr la estabilidad necesaria para continuar con los trabajos futuros y finalmente trasvasar el agua.

Para dar cumplimiento al objetivo planteado se empleó el método de recopilación y análisis bibliográfico. Del procesamiento e interpretación de la información preliminar, se logró recopilar información para una mejor comprensión del tema.

Según el análisis del macizo rocoso y el cálculo de los principales parámetros de estabilidad de la Cámara de Acceso (realizado en base a la Q de Barton para la luz de la excavación de 5m.), el comportamiento de las rocas ante la construcción de la obra es mala producto al nivel de agrietamiento presente en dicha excavación. Por consiguiente, se recomienda para evitar un derrumbe aplicar gunitaje más bulonado en todos los tramos de la Cámara.



## *Abstract.*

The present work, Titled: Maintenance design of the Camera of Access to the PCHE of the decanting This - West, starting from the rocky characterization geomechanics of the solid one. He has been carried out with the fundamental objective of achieving the maintenance of this Camera, in order to build the Camera with the required quality, and to achieve the necessary stability to continue with the future works and finally transvasing the water.

To fulfil the outlined objective it was used the summary method and bibliographical analysis. Of the prosecution and interpretation of the preliminary information, it was possible to gather and to make a series of charts and graphics, those that allow a better understanding of the treated topic.

According to the rocky analysis of the solid one and the calculation of stability of the Camera of Access (carried out based on the Q of Barton for the light of the excavation of 5m.), the behavior of the rocks before the construction of the work is bad. Consequently, it is recommended to apply thicken more bolting in all the tracts of the Camera.



# Índice.

<b>INTRODUCCIÓN:</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO01: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA.</b> .....	<b>4</b>
1.1- ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA. ....	4
1.2- TRABAJOS PRECEDENTES. ....	12
<b>CAPÍTULO02: CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO.</b> .....	<b>13</b>
2.1- UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	14
2.2- TOPOGRAFÍA .....	14
2.3- GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA .....	14
2.4- CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS. ....	15
2.5- TECTÓNICA .....	16
2.6- CLIMA Y VEGETACIÓN. ....	17
2.7- POBLACIÓN Y REDES DE COMUNICACIONES. ....	18
2.8- DESARROLLO INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA. ....	19
2.9- CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS. ....	19
<b>CAPÍTULO03: CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS.</b> .....	<b>20</b>
3.1- INTRODUCCIÓN A LAS CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS. ....	20
3.2- ANÁLISIS DE ESTABILIDAD. ....	33
3.3- ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LAS CUÑAS. ....	33
3.4- RESULTADOS OBTENIDOS. ....	34
3.5- CLASIFICACIÓN GEOMECAÑICA DE PROTODIAKONOV. ....	35
3.6- CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO OBJETO DE ESTUDIO: .....	36
<b>CAPÍTULO 4: CÁLCULOS DE SOSTENIMIENTO.</b> .....	<b>41</b>
4.1- CARACTERÍSTICA DE LAS ROCAS. ....	41
4.2 - ANÁLISIS DEL HORMIGÓN PROYECTADO Y SUS COMPONENTES.....	41
4.2.1- <i>Procesos para la aplicación del concreto proyectado.</i> .....	42
4.2.2- <i>Ventajas del concreto proyectado.</i> .....	43
4.2.3- <i>Usos del concreto proyectado.</i> .....	43
4.2.4- <i>Concreto proyectado reforzado con fibras.</i> .....	44
4.2.5. <i>Componentes del Hormigón.</i> .....	45
4.2.6. <i>Recomendaciones para el uso de los cementos:</i> .....	45
4.2.7- <i>Normas cubanas actuales relativas a los cementos:</i> .....	46
4.2.8- <i>Áridos:</i> .....	46
4.2.10- <i>Sikatar<sup>®</sup> 930: Aditivo estabilizador de fraguado para concreto lanzado.</i> .....	49
4.2.11- <i>.Sika ViscoCrete<sup>®</sup> SC-305 (VP): Superplastificante con efecto de retardo y estabilización.</i> 52	
4.3- HIPÓTESIS DE PRESIÓN MINERA PARA EXCAVACIONES HORIZONTALES.....	53
4.4- CÁLCULO DE SOSTENIMIENTO .....	55
4.5- CÁLCULO DE BULONES: .....	60
4.6- LONGITUD MÁXIMA SIN SOPORTE (BARTON):.....	61
<b>CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES.</b> .....	<b>63</b>
5.1- IMPACTOS IDENTIFICADOS .....	63
5.2- MEDIDAS PARA MITIGAR, PREVENIR O ELIMINAR EL IMPACTO:.....	63
5.3- CÁLCULOS ECONÓMICOS. ....	65
<b>CONCLUSIONES.</b> .....	<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES.</b> .....	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	<b>72</b>
<b>ANEXOS.</b> .....	<b>74</b>

## **Introducción:**

El Trasvase Este-Oeste se construye por la necesidad que existe de llevar el agua de los ríos que nacen en el macizo montañoso de Nipe - Sagua -Baracoa a las fértiles llanuras del norte de Holguín, Las Tunas, noreste de Camagüey y el norte y centro del Valle del Cauto. El Comandante en jefe con su acostumbrada luz larga, previendo los problemas ecológicos como consecuencia del galopante calentamiento global, orientó la necesidad de desarrollar un amplio plan inversionista para aprovechar el caudal del agua del macizo montañoso de Nipe-Sagua-Baracoa para crear un sistema de obras que trasvasara el agua mediante interconexiones a los lugares antes mencionados.

De inmediato comenzaron los trabajos por empresas del ministerio de la construcción, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulico y la Dirección de Construcciones Militares, atendiendo a que esta estratégica obra para su óptimo funcionamiento no solo requiere construir presas, canales, conductoras y otros objetos de obra, sino también hacer más de 80 Km. de túneles en las montañas para lograr una eficiente conexión del sistema.

Realizados los proyectos e iniciados los primeros trabajos en Mayarí, Holguín, tuvieron que paralizarse las obras cuando comenzó la aguda etapa del Periodo Especial. Infelizmente por el paso del tiempo y la falta de preservación las obras fueron dañadas en buena parte, en el caso de Mayarí por las crecidas de los ríos en 1998.

A finales del año 2004, ante la crisis ambiental que provocó una severa y prolongada sequía con grandes pérdidas para las provincias orientales y Camagüey el Comandante en jefe le orientó al entonces ministro de las FAR, General de Ejército Raúl Castro reiniciar el plan estratégico de las obras del Trasvase Este-Oeste que será la garantía para que los lugares más afectados dispongan de agua en este siglo, bajo cualquier circunstancia.

Las construcciones de obras subterráneas como las que se ejecutan en el Tramo Mayarí-Sabanilla han aumentado en los últimos años. Para garantizar la estabilidad y por ende la seguridad de estas excavaciones, deben realizarse estudios del macizo rocoso. En nuestro país hoy en día, 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 rocosos no son diferenciados para su estudio y adopción de medidas, de acuerdo al comportamiento variado que puede presentar una misma roca en la excavación subterránea, causado porque en la mayoría de los casos han sido afectadas por diferentes eventos tectónicos, o resulta que sencillamente, la zona en cuestión a sido afectada por el método de arranque empleado. Por lo que habitualmente se fortifica después que se han producido derrumbes o sencillamente se fortifica toda la excavación, “preventivamente”, considerando que el comportamiento del macizo será igual, demostrándose en la práctica, que no siempre resulta así. Por lo que resulta de vital importancia el cálculo del revestimiento de los túneles con hormigón proyectado. Espesores y control de la calidad aplicado a la estabilidad y a el cálculo del sostenimiento, así como a los espesores obtenidos en cada tramo de la Cámara de Acceso a la PCHE (Pequeña Central Hidroeléctrica) del trasvase Este-Oeste de Mayarí.

**Planteamiento del problema:**

Necesidad de calcular un sostenimiento que garantice la estabilidad de la Cámara de Acceso a la PCHE en el Trasvase Este-Oeste.

**Objetivo General:**

Calcular los principales parámetros de sostenimiento de la Cámara de Acceso a la PCHE en el Trasvase Este-Oeste.

**Objetivo Específico:**

- 1- Estado actual de la temática.
- 2- Caracterización del terreno donde se encuentra la obra.
- 3- Clasificación geomecánica del macizo rocoso.
- 4- Cálculo de los principales parámetros sostenimiento.
- 5- Evaluación de los impactos económicos y ambientales.



**Objeto de estudio:**

La fortificación como elemento físico para el sostenimiento de la Cámara de acceso a la PCHE en el trasvase Este-Oeste.

**Campo de acción:**

La acción física del macizo sobre la fortificación durante el sostenimiento y control del espacio laboreado de la cámara de acceso a la PCHE del Trasvase Este – Oeste.

**Hipótesis:**

Si se evalúan las propiedades físico – mecánicas que influyen sobre el comportamiento mecánico – estructural del macizo entonces es posible calcular un sostenimiento que garantice la estabilidad del conjunto macizo excavación.

# Capítulo 1: Antecedentes y Estado Actual de la Temática.

## Introducción:

La geomecánica es quizás una de las ramas tecnológicas más antiguas del universo. 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)

Las Clasificaciones Geomecánica de los Macizos Rocosos tienen aplicación en el análisis del comportamiento de las obras subterráneas. Se basan en la cuantificación de determinados parámetros que influyen en la estabilidad de las excavaciones, obteniéndose una serie de índices de calidad. Estos permiten la aplicación de fórmulas empíricas, que estiman las características resistentes de los macizos rocosos.

### 1.1- Estado Actual de La Temática.

La geomecánica es quizás una de las ramas tecnológicas más antiguas del universo. Sin embargo como ciencia se conoce 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)

Aun cuando la literatura especializada en estas materias se ha expandido y ha acelerado su desarrollo en todo el mundo, con el empleo tanto de revistas especializadas, como el surgimiento de nuevas técnicas y tecnologías computarizadas. El estado actual del conocimiento en mecánica de rocas, así como la definición y obtención de parámetros y adopción de modelos que representen el comportamiento real de los macizos rocosos, se encuentran en una fase de desarrollo inferior al de otras ramas de la ingeniería como pueden ser La Mecánica de Suelos, Hidráulica, Resistencia de Materiales, etcétera; bien por la menor antigüedad de la primera, o por una mayor complejidad frente a la simulación del problema real del macizo (López Jimeno, 1998). Como consecuencia de esto, resulta difícil establecer modelos analíticos del



comportamiento del macizo rocoso que sean reflejo fiel de este, cuando se trata de resolver problemas de estabilidad o dimensionamiento de obras a cielo abierto o subterráneo.

Ante esta dificultad, se abren dos caminos de estudio; por el primero se llega al planteamiento analítico con búsqueda de nuevos modelos que simulen mejor la realidad del terreno y su comportamiento frente a la excavación, que permitan un diseño adecuado de ésta; y por el segundo, el planteamiento es empírico llegando al diseño de una excavación estable basado en la experiencia de obras anteriores, ambas vías distan mucho hoy en día de la perfección y por lo general, es una aplicación de ambas lo que se utiliza en la actualidad. La Geomecánica está dando a la construcción de obras subterráneas un creciente soporte científico y técnico que ha encontrado su máximo exponente en la última década, hasta el punto de que hoy en día, la mayoría de los túneles se hacen bajo supervisión de un experto en geotecnia. Siendo uno de los objetivos, caracterizar geomecánicamente los macizos, constituyendo esto el estudio integral del macizo en cuestión, que incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Convirtiéndose la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en una herramienta indispensable para pronosticar su comportamiento.

Una parte importante de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, lo constituyen sin dudas, las clasificaciones geomecánicas, que surgieron de la necesidad de parametrizar 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 (Palmström, 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.

El método basado en trabajos experimental, se empleó hasta la década de los años cincuenta, teniendo como objetivo facilitar el cálculo del sostenimiento con arcos metálicos de túneles de ferrocarril. 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. Él consideró la disposición de la estratificación respecto al eje del túnel, haciendo una previsión respecto a posibles desprendimientos. 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 este período se publicaron los trabajos de T. HAGERMAN (1966). Que diferencia cinco tipos de macizos según su estabilidad, para lo cual parte del grado de debilitamiento estructural que ellos presentan, desde macizos totalmente estables (macizos homogéneos e isótropos) hasta macizos muy inestable, que presentan un gran número de superficies de debilitamiento. En esta propuesta solo se hace un análisis cualitativo de la situación del macizo rocoso, pero además no tiene en cuenta criterios importantes como por ejemplo la orientación de las principales superficies de debilitamiento.

En 1958, LAUFFER propuso una nueva clasificación para túneles tomado de (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, Palmstróm, 1998) propuso un índice de la calidad de las rocas, basado en la recuperación de testigos en sondeos de diámetro mínimo 54 mm, 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 sin número de ellas. El mismo se define como el porcentaje de la longitud del testigo recuperado en trozos mayores o iguales a 10 cm, respecto a la longitud del sondeo. Este criterio dado por DEERE tiene el inconveniente que el índice RQD, puede afectarse si no se realiza correctamente el sondeo del testigo, ya que este puede sufrir fracturas, que pueden confundirse con las de la roca. Cuando no se dispone de sondeos el RQD puede estimarse con el empleo de la expresión propuesta por Palmstróm, 1974 (Moreno, 1998 Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998. Palmstróm, 1998), teniendo como principal parámetro el número de grietas por metro cúbico para definir la calidad de las rocas.

En 1972, WICKHAM, TIEDEMAIN Y SKINNER U. S. Bureau of Mines, (Blanco, 1998. Moreno, 1998) con el fin de establecer una clasificación Geomecánica de las rocas que permitiese el dimensionamiento del sostenimiento en obras subterráneas, analizaron más de 100 casos de túneles construidos, a partir de los cuales establecieron los criterios para la obtención del RSR (Rock Structure Rating), así como las normas a utilizar en el diseño del sostenimiento en función de la magnitud de este índice. 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, aunque le podría serlo aún más, si en vez de utilizar el parámetro  $n$ , que define el modulo de agrietamiento lineal del macizo, se empleara, el módulo volumétrico, ya que el parámetro  $n$  no se puede precisar el volumen del bloque. 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 propuesto 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. PALMSTRÓM en 1995 y 1996 (Palmstróm, 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 los parámetros principales de 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, L. 1983, aplicada a túneles y la clasificación para taludes de Romana, M.1985 y 1997. Entre otras contribuciones se pueden mencionar las realizadas para medidas de sostenimiento en túneles por Moreno, E. 1982; para el dimensionamiento de galerías mineras por Abad, et al, 1983 y los trabajos de investigación de Muñoz, L.1987 y Encing, I.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 Software 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 Protodiakonov. 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 Protodiakonov.

A principios de la década de los 80 se pone en práctica la clasificación de Bieniawski, más tarde modificada por F. 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 Protodiakonov. 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). La investigación fue realizada en túneles con luces de hasta 6,0 m y relación luz / puntal entre 0,8 y 2,0 aplicando varias metodologías



conocidas de evaluación de estabilidad. De esta investigación se derivó que el criterio de Barton (1974), fue el que mejores resultados arrojó.

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 Traslase Este – Oeste, con el auxilio de medios y métodos novedosos, como son el procesamiento de

imagen por teledetección, la geofísica, y el empleo de las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski, modificada por Federico Torres (1989), Barton y Deere, estas investigaciones constituyen una base importante para la caracterización geomecánica del macizo de esa obra. (Colectivo, 1991. Colectivo, 1992 a. Hidalgo, 1991 a, b. Pérez, 1991 a, b, c)

En el trabajo aplicación de nuevas técnicas en el estudio ingeniero geológico de los macizos rocosos del ing. J. M. Alfaro, (2000) se realiza un análisis de los trabajos de campo más importantes, utilizados en la evaluación de macizos rocosos a partir de la utilización de métodos de campo no tradicionales utilizados en nuestro país. En el mismo se hace un análisis y evaluación del agrietamiento del macizo rocoso de varios túneles en las provincias Granma y Santiago de Cuba. Como base fundamental para la evaluación de la estabilidad del macizo se empearon las clasificaciones de Barton, Beniaowski y el SMR de Romana, este último para la evaluación de taludes. En el estudio se determinan las propiedades físico – mecánicas de las rocas, se hace la evaluación del agrietamiento del macizo y análisis cinemático de los bloques, y la medición de las deformaciones en el interior de las excavaciones. 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 Ing. 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.

El estudio geomecánico de los macizos rocosos mediante la aplicación de la proyección estereográfica, del Ing. A. Corpas (2000), constituye un texto de consulta, para la aplicación consecuente de estos métodos en el estudio geomecánico de los macizos rocosos agrietados.



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

### **1.2- Trabajos Precedentes.**

Para la realización del proyecto que actualmente se ejecuta por La UCM en Mayarí, se realizaron estudios al macizo para determinar las características de este, la empresa encargada de estos estudios fue La DIP y El INRH. Estos se dirigieron especialmente hacia los trabajos hidráulicos, es decir sobre la conducción de las agua de los río que nacen en el macizo montañoso de Nipe - Sagua -Baracoa hacia la presa Melones.

Para nuestro nuevo proyecto nos adentramos en la parte de construcción, donde a partir de las características del macizo en estudio, definir un tipo de fortificación que permita cumplir con las exigencias del proyecto inicial, es decir, plazo de servicio de la excavación, etc. Para esto es necesaria la utilización de una fortificación que asegure los trabajos posteriores que se vayan a realizar en dichas excavación.

## Capítulo2: Caracterización del terreno.

### Introducción

La construcción de la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCHE) en la Obra de toma Derecha de la Presa Melones tiene como objetivo el aprovechamiento de las condiciones creadas en la presa para el uso de la energía renovable para la conversión del empuje hidráulico en eléctrico. Por la misma se realizarán las entregas de los gastos Ecológicos hacia el río Mayarí. El volumen anual turbinado es de 40 Hm. <sup>3</sup>

La PCHE está vinculada al túnel de la Obra de Toma Derecha el cual además tiene como función el vaciado del embalse de la presa en caso de emergencia. Este túnel tiene una sección de tipo herradura de 5 m de diámetro y 130 m de longitud, será totalmente revestido con hormigón armado.

La PCHE es una obra subterránea que se encuentra ubicada de forma paralela al túnel de la obra de toma. La misma tendrá un túnel de acceso, otro de desagüe así como también los conductos necesarios para la ventilación y cables, evacuación de gases, etc.

El presente trabajo solo contempla el proyecto de excavación y sostenimiento de los túneles que servirán de acceso y de descarga de la PCHE. En la fecha de realización del presente proyecto aún no existe la oferta del equipamiento de la PCHE y además no existen estudios geológicos y topográficos específicos para esta obra, por lo cual el proyecto de la PCHE (sala de máquinas, edificio socio-administrativo, etc) así como el proyecto de revestimiento, iluminación y drenaje de los túneles será realizado posteriormente. Además se tomó como acuerdo por todas las partes involucradas en el proceso inversionista (Proyectista, constructor e Inversionista) la realización adelantada del proyecto de excavación y sostenimiento, y ajustarlo convenientemente durante el proceso constructivo según las condiciones reales con la aprobación de todas las partes involucradas.

Considerando lo anteriormente expuesto para este proyecto se tomó como referencia el estudio geológico realizado para el túnel de la Obra de Toma Derecha el cual se encuentra ubicado paralelamente a una distancia aproximada de 20 m, y el proyecto de excavación y sostenimiento fue



elaborado tomando como análogo el Proyecto del Túnel Esperanza-Enmedio del Tramo Melones-Sabanilla del Traspase Este-Oeste. Para el túnel de desagüe se tomó como análogo el túnel del traspase Sabanalamar-Pozo Azul. Al igual que el resto de las obras vinculadas al Traspase en el tramo Melones-Sabanilla el Proyecto se realiza en una sola etapa, o sea que como elaboraciones anteriores solo contamos con la información que brindan los proyectos del Traspase Este-Oeste elaborados en la Empresa de Hidroeconomía de Holguín en el año 1989.

### **2.1- Ubicación Geográfica.**

El túnel Toma Derecha perteneciente al Traspase Este- Oeste, geográficamente se encuentra ubicado en el municipio Holguinero de Mayarí en el extremo oriental de La Isla de Cuba, al noreste de la provincia de Holguín, limitado al norte con la Bahía de Nipe, al sur con los municipios Julio Antonio Mella, San Luís y Segundo Frente Oriental, pertenecientes a la provincia Santiago de Cuba de oeste a este respectivamente, al este con el municipio Frank País y al oeste con los municipios Banes, Baguanos y Cueto, pertenecientes a la provincia de Holguín de norte a sur respectivamente. La zona de estudio se encuentra a 7 Km. al sur de la ciudad de Mayarí.

### **2.2- Topografía**

El relieve de la zona estudiada en rasgos generales no se diferencia del relieve de toda la región circundante y representa en sí una zona típicamente erosionada-denudada y de erosión tectónica, donde están presente pequeñas lomas a todo lo largo del valle del río Mayarí. Las elevaciones están cubiertas de malezas. El punto más elevado próximo al trazado del túnel es la cima de la loma Jardines con una cota sobre el nivel del mar de 135 m.

Para la realización de este trabajo se utilizó el levantamiento topográfico a escala 1:1000 realizado al efecto en la zona en el año 2006 por la empresa Geocuba de Holguín.

### **2.3- Geología e hidrogeología**

Al no disponer de investigaciones ingeniero geológicas específicas para estos túneles, se hace necesario asumir por analogía las mismas condiciones que



para el túnel de la obra de toma, lo cual se considera factible, dada la cercanía a que se encuentran estas obras y que ambas están situadas en el mismo macizo rocoso. De ser necesario se ajustará el proyecto a las condiciones reales que se presenten durante la construcción.

Las investigaciones geológicas por el eje del túnel demostraron que las rocas de la elevación Jardines, que atraviesa el túnel están representadas en toda su profundidad por peridotitas serpentinizadas meteorizadas.

Las características de dureza de las rocas, son muy variadas y en general bajas. Como promedio, para las serpentinitas en estado de saturación, la resistencia temporal a la compresión es de un orden de  $130 \text{ kg/cm}^2$ .

El yacimiento de aguas freáticas a todo lo largo del trazado del túnel es bastante alto, en el punto superior el aumento sobre la bóveda del túnel es de un orden de 60 m. Según el informe geológico no debe esperarse que haya afluencia considerable de aguas freáticas al túnel, ya que las rocas poseen una permeabilidad muy baja y el agua freática tiene un carácter de fisuras. Sin embargo durante los trabajos reales de excavación se observa afluencia considerable de aguas de filtración, por lo cual se deberán tomar las medidas necesarias para su control y conducción. Las aguas freáticas son dulces, no agresivas a las construcciones de hormigón.

Como argumento geológico para el proyecto técnico – ejecutivo sirvió el “Informe sobre las Condiciones Ingeniero-Geológicas del Conjunto Hidráulico “Melones” en el río Mayarí, confeccionado por la E.I.A No.6 de la Ciudad de Holguín en 1977.

#### **2.4- Características Orográficas.**

Esta región está caracterizada por su diversidad y complejidad, existiendo llanuras fluviales, pero sobre todo con el predominio de un relieve montañoso constituido casi en su totalidad por el sistema orográfico o grupo montañoso Nipe-Cristal-Baracoa, cuya última parte se encuentra más al este fuera de ésta.

En todo el borde norte predominan las zonas llanas y onduladas con algunas elevaciones aisladas y colinas de cimas redondeadas. Además cerca del litoral aparecen llanuras acumulativas y palustres. Las cotas van desde 0 hasta 100 m, las pendientes entre  $0^\circ$  a  $10^\circ$ , la disección vertical de 0 a 70 m, disección horizontal de 0 a 60 m/ha y la disección total de 0 a 110 m/ha.



También hay predominio de zonas llanas en los valles de los principales ríos, las que se solapan con la llanura litoral norte, siendo las llanuras aluviales más extensas las de las cuencas de los ríos Sagua y Mayarí, siguiendo una pequeña llanura aluvial en el río Levisa y menores aún en los ríos Cabónico y Grande. En ellas se presentan zonas de inundación actual y terrazas elevadas con meandros y cauces abandonados levantados lo que demuestra una dinámica neotectónica de levantamiento. Las cotas en estas llanuras aluviales oscilan entre 50 y 150 m, las pendientes entre 0° y 15°, la disección vertical de 0 a 90 m, disección horizontal de 20 a más de 380 m/ha y la disección total de 0 a 150 m/ha.

Hacia la parte sur el relieve es completamente montañoso, va desde una zona premontañosa (100 a 250 m) hasta elevaciones con más de 250 m y hasta 1200 m en el Pico Cristal. Las pendientes en esta parte van desde 0° a 70°, la disección vertical de 0 a 200 m, disección horizontal de 0 a más de 120 m/ha y la disección total de 0 a 460 m/ha. Esta zona montañosa se caracteriza por tener forma de colinas medias a altas con cimas redondeadas en las elevaciones premontañosas, mesetas carbonatadas bajas, mesetas lateríticas altas (Pinares de Mayarí al este y elevaciones al sur de Levisa donde sólo quedan restos de estas estructuras), así como cuchillas y picos en la zona del Pico Cristal y sus inmediaciones).

## 2.5- Tectónica

✓ La tectónica en la zona está representada por la siguientes fallas:

- Sistema de fallas Cauto-Nipe al oeste-noroeste.
- Falla transformantes de Barttlet al sur.
- Falla de sobrecorrimiento Sabana al norte.

Estas fallas se cortan formando un triángulo que conforma el Bloque Oriental Cubano el que está muy cerca del límite entre las Placas Norteamericana y Caribe; posición ésta que lo hace muy vulnerable a movimientos sísmicos.

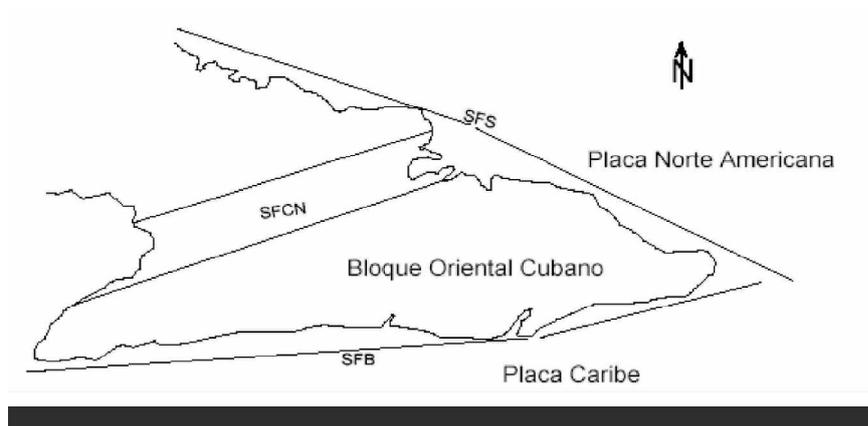


Figura N° 1- Bloque Oriental cubano. Sistemas de fallas regionales: SFS Sistema de Falla Sabana; SFB Sistema de Falla Bartlett; SFCN Sistema de Fallas Cauto Nipe.

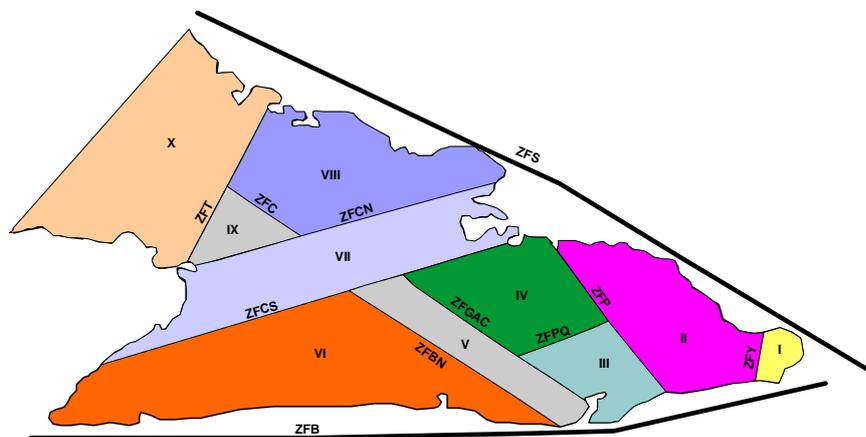


Figura N° 2- Esquema de los Terrenos Tectonoestratigráficos en Cuba Oriental.

## 2.6- Clima y vegetación.

### - Clima.

El clima de la región es tropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos, seco y húmedo, el primero se extiende de noviembre-abril y el segundo de mayo-octubre. Según los datos del atlas nacional de Cuba, la temperatura media anual para la zona de estudio es aproximadamente de 20 a 25 °C en la parte central y en la parte norte es de 26 °C y más.

La precipitación anual oscila entre valores de 1600 a 1900 mm en la porción centro y sur, en la norte de 1200 y 1400mm. La evaporación media anual es



de 400 a 1700 mm. El escurrimiento superficial en la parte central y sur es de 15 a 30 l/s/Km. y al norte de 5 a 20 l/s/km.

#### **- Vegetación.**

La vegetación presente en el área es variada. En la parte norte, es predominante, el patabán y yana. En las costas bajas cambia a saladares y prados de saladares.

En la parte central hay predominio de bosques aciculifolios con vegetación arbórea, arbustiva renovada en los talados con pinos (pinos cubensis) y bosques planifolios predominando con mayor frecuencia en los desfiladeros. En la parte sur existen bosques planifolios con vegetación arbórea y arbustiva renovada en los talados y ocasionalmente con cambios rápidos en los sectores con predominio de especies perennifolios en las montañas.

## **2.7- Población y Redes de Comunicaciones.**

#### **- Población.**

Los poblados más importantes en la región son: la ciudad de Mayarí, Levisa, Guaro, Cayo Mambí (Frank País), Sagua de Tánamo, Cueto, apareciendo también algunos caseríos diseminados como Pinares de Mayarí, Arroyo Seco, La Pedrona, Colorado, El Cocal entre otros.

#### **- Redes de comunicaciones.**

En sentido general el sistema de comunicaciones se encuentra desarrollado fundamentalmente hacia el norte de la región, existiendo dos vías de comunicación, terrestres y marítimas. Dentro de las terrestres se encuentran vías de orden principal, como la carretera pavimentada que enlaza Mayarí con Sagua, Sagua con Frank País y Sagua con Las Calabazas. Entre las vías de orden secundario se encuentran terraplenes, trillos y senderos que unen a los diferentes poblados y obras de menor importancia. Las comunicaciones marítimas se realizan por los puertos de Nicaro y Felton, utilizado el primero fundamentalmente para la exportación de minerales, recepción de equipos y materiales para la fábrica de níquel ubicada en el área.

También existen como parte de las comunicaciones instalaciones telefónicas, estaciones postales y otras.



## **2.8- Desarrollo industrial y agrícola.**

Dentro de las industrias que más se destacan en la zona se encuentran la planta de níquel René Ramos Latour de Nicaro, con el nuevo transportador de mineral que se construyó y la termoeléctrica Lidio Ramón Pérez de Felton, perteneciente al municipio Mayarí, además de las minas a cielo abierto que en estos momentos se explotan en la Meseta de Pinares de Mayarí. También está el aserrío de Mayarí que suministra madera a toda la provincia, los talleres del Central Guatemala, que si bien ya no se encuentra activo como productor de azúcar, en él actualmente se reparan las piezas de los centrales azucareros de la región y las locomotoras. Se puede destacar también la cooperativa pesquera de Guatemala y el combinado cárnico. En cuanto a la agricultura, se cultiva la caña de azúcar, renglón que comienza a sustituirse por pastos, hortalizas y otros productos del agro, además en las zonas montañosas hay sembrados de café, frutos menores y árboles maderables. Dentro del ganado se destaca el vacuno y el equino.

## **2.9- Características hidrográficas.**

Las características del relieve y el régimen de las precipitaciones han favorecido en la formación de una densa red hidrográfica. Dentro de las principales corrientes fluviales se destacan los ríos de Sagua, Santa Catalina, Río Grande, Cabonico, Levisa, Mayarí, etc.

La red hidrográfica que predomina es detrítica, el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones. Los niveles más bajos se observan en el período de seca, noviembre-abril y los más elevados en los períodos de lluvias, mayo-septiembre. Las características generales del escurrimiento en la zona están basadas en crecidas extremadamente rápidas, con descenso más bien lento.

## Capítulo3: Clasificaciones geomecánicas.

### Introducción.

Para la evaluación y análisis de la estabilidad de la excavación se usaron los datos recolectados por los geólogos de la DIP (Departamento de Ingeniería de Proyectos). En la interpretación de los datos se utilizaron los métodos de Barton y Bieniawski además del cálculo del RMR, RQD y  $J_v$  volumétrico para tener una mayor precisión de los resultados aunque se le prestó más importancia a la interpretación de los dos primero mencionados los cuales vienen explicados a continuación.

### 3.1- Introducción a las clasificaciones geomecánicas.

Las clasificaciones geomecánicas tienen por objeto caracterizar un determinado macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un cierto valor. Por medio de la clasificación se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente la calidad de la misma. Es una herramienta muy útil en el diseño y construcción de obras subterráneas, pero debe ser usada con cuidado para su correcta aplicación, pues exige conocimientos y experiencia por parte de quien la utiliza.

Las clasificaciones pueden ser usadas en la etapa de Proyecto y también durante la Obra. En la etapa de Proyecto, permiten estimar el sostenimiento necesario en base a las propuestas del autor de cada sistema de clasificación, mientras que durante la Obra, permiten evaluar la calidad del terreno que se va atravesando conforme avanza la excavación del túnel y aplicar el sostenimiento correcto en cada caso. En los esquemas que siguen se muestran las actividades concretas a efectuar en las dos etapas que se han considerado:

#### A): Según Barton:

La clasificación cuantitativa del macizo rocoso se basa en el denominado Sistema Q, que es un sistema de clasificación de las rocas basado en el índice de calidad del macizo, desarrollado por Barton en 1974, a partir de un conjunto de datos procedentes de distintos casos reales, en los que se contrastó la calidad de las rocas existentes y los sostenimientos aplicados en las distintas obras. El índice de calidad del macizo rocoso se popularizó rápidamente,

llegando en la actualidad a constituir una referencia esencial, junto con el índice RMR de Bieniawski, en la evaluación de toda obra subterránea.. En 1994, 20 años después de su creación, se realiza la última actualización del Sistema Q, basada en las correlaciones empíricas entre el espesor de hormigón proyectado, el espaciamiento entre bulones y la calidad del macizo rocoso de un total de 1.050 nuevos casos registrados, procedentes en su mayoría de los principales túneles de carreteras construidos durante los últimos diez años

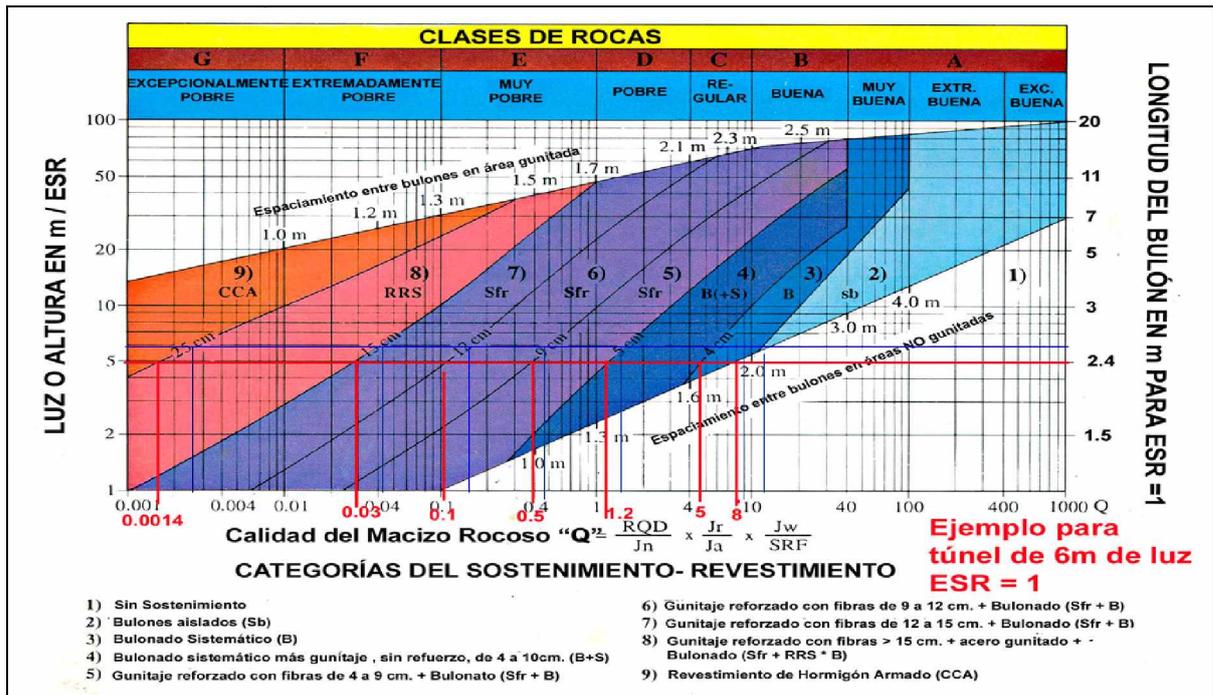


Figura3- Q de Barton para Clasificación de los Macizos Rocosos.

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

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

Donde los diferentes parámetros que la forman el índice Q de calidad de la roca se dan en la siguiente tabla:

Parámetro	Definición	Medida
RQD	Índice de fracturación.	Medida del tamaño de bloque. RQD/J <sub>n</sub>
J <sub>n</sub>	Índice de diaclasado.	
J <sub>r</sub>	Índice de rugosidad de la discontinuidad.	Medida del ángulo Fricción entre bloques. J <sub>r</sub> /J <sub>a</sub>
J <sub>a</sub>	Índice de alteración o relleno de la discontinuidad.	
J <sub>w</sub>	Factor de reducción por la presencia de agua o filtraciones a través de las discontinuidades.	Medida de las tensiones efectivas. J <sub>w</sub> /SRF
SRF	Factor representativo de las condiciones tensionales de la roca.	

.El rango de valores numéricos que puede tomar el índice Q de calidad de la roca oscila entre 0,001 (excepcionalmente mala) y 1.000 (excepcionalmente buena). Los seis parámetros pueden estimarse a partir de la cartografía geológica de la zona y de la descripción de los testigos procedentes de los sondeos de investigación, pudiendo verificarse, o bien corregirse, posteriormente, durante la excavación.

El amplio rango de valores que puede tomar el índice de calidad del macizo rocoso (seis órdenes de magnitud) constituye una característica muy importante del Sistema Q y refleja la variación en la calidad de la roca de manera probablemente más rápida que mediante la escala lineal del índice RMR. Debido a esta característica, se logra de manera más fácil la correlación con el resto de parámetros físicos de la roca. La calidad del macizo rocoso, se correlaciona con el sostenimiento instalado, de forma que los resultados obtenidos con esta correlación se resumen en tablas detalladas.

Calidad	Rango de RQD (%)
A	0 -25
B	25 -50
C	50 - 75
D	75 - 90
E	90-100

Clase	Denominación	Puntuación
A	Roca masiva, sin diaclasar o con fisuración escasa.	0,5 - 1,0
B	Una familia de diaclasas.	2
C	Una familia y algunas diaclasas aleatorias.	3
D	Dos familias de diaclasas.	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias.	6
F	Tres familias de diaclasas.	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias.	12
H	Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J	Roca triturada, terrosa	20

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

Clase	Denominación	Puntuación
A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo.	0.75
B	Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas.	1.0
C	Planos de discontinuidades ligeramente alterados. Presentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.	2.0
D	Recubrimientos de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda).	3.0
E	Recubrimientos de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	4.0
F	Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.	4.0
G	Fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no	6.0

	blandos (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm).	
H	Sobre consolidación media o baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm).	8.0
J	Rellenos de arcillas expansivas, es decir, montmorillonita (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm). El valor de Ja depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas.	8-12
K L M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver clases G, H, y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	6-12
N	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcillas no reblandecibles.	5.0
O P R	Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (ver clases G, H, y J, para la descripción de las condiciones de las arcillas).	10-20

**Tabla 6-Condiciónes Tensionales de la Roca (SRF) (*Stress Reduction Factor*).**

a) Las zonas débiles interceptan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando.

A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad)	10
B	Zonas débiles aisladas, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación < 50 m).	5
C	Zonas débiles aisladas, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación > 50 m).	2.5
D	Múltiples zonas de fracturas en roca completamente (libre de arcillas), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad).	7.5
E	Zona de fracturas aisladas en roca completamente (libre de arcillas), (profundidad de la excavación < 50 m).	5.0
F	Zona de fracturas aisladas en roca completamente (libre de arcillas), (profundidad de la excavación > 50 m).	2.5
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturados en terrones, etc. (a cualquier profundidad).	5.0

b) Rocas competentes problemas tensionales en las rocas.		$\sigma_d / \sigma_1$	$\sigma_g / \sigma_c$	SRF
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas.	>200	< 0.01	2.5
J	Tensiones medias condiciones tensionales favorables.	200-10	0.01-0.3	1
K	Tensiones elevadas, estructuras muy compactas. Normalmente favorables para la estabilidad, puede ser favorable para la estabilidad de los hastiales.	10-5	0.3-0.4	0.5-2
L	Lajamiento moderado de la roca después de una hora en rocas masivas.	5-3	0.5-0.65	5-50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas.	3-2	0.65-1	50-200
N	Estallidos violentos de la roca, (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas.	< 2	> 1	200-400
c) Rocas desfavorables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas.			SRF	
O	Con bajas presiones.	5-10		
P	Con altas presiones.	10-20		
d) Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.			SRF	
R	Presión de expansión suave.	5-10		
S	Presión de expansión intensa.	10-15		

<b>Tabla 7- Condiciones Tensionales de La Roca (SRF) (Stress Reduction Factor): (0.5-20)</b>		
a) Las zonas débiles interceptan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando.		
A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad)	10
B	Zonas débiles aisladas, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación < 50 m).	5
C	Zonas débiles aisladas, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación > 50 m).	2.5
D	Múltiples zonas de fracturas en roca completamente (libre de arcillas), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad).	7.5

E	Zona de fracturas aisladas en roca completamente (libre de arcillas), (profundidad de la excavación < 50 m).	5.0		
F	Zona de fracturas aisladas en roca completamente (libre de arcillas), (profundidad de la excavación > 50 m).	2.5		
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturados en terrones, etc. (a cualquier profundidad).	5.0		
b) Rocas competentes problemas tensionales en las rocas.		$\sigma_d / \sigma_1$	$\sigma_g / \sigma_c$	SRF
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas.	>200	< 0.01	2.5
J	Tensiones medias condiciones tensionales favorables.	200-10	0.01-0.3	1
K	Tensiones elevadas, estructuras muy compactas. Normalmente favorables para la estabilidad, puede ser favorable para la estabilidad de los hastiales.	10-5	0.3-0.4	0.5-2
L	Lajamiento moderado de la roca después de una hora en rocas masivas.	5-3	0.5-0.65	5-50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas.	3-2	0.65-1	50-200
N	Estallidos violentos de la roca, (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas.	< 2	> 1	200-400
c) Rocas desfavorables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas.		SRF		
O	Con bajas presiones.	5-10		
P	Con altas presiones.	10-20		
d) Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.		SRF		
R	Presión de expansión suave.	5-10		
S	Presión de expansión intensa.	10-15		

Para determinar el RQD (Rock Quality Designation) en el campo y zona de estudio, existen hoy en día tres procedimientos de cálculo.

**PRIMER PROCEDIMIENTO:** Se calcula midiendo y sumando el largo de todos los trozos de testigo mayores que 10 cm en el intervalo de testigo de 1.0 m, contando únicamente las discontinuidades naturales del testigo. En el caso que exista duda respecto al origen de la discontinuidad (natural o inducida) se toma el caso más conservador, es decir se considerará que la fractura es inducida (artificial). La sumatoria de estos trozos se expresarán en porcentaje del intervalo de 1.0 m. Según Barton Lien y Lunde.

$$RQD\% = \frac{\sum \text{trozos} > 10\text{cm}}{150\text{cm}}$$

**SEGUNDO PROCEDIMIENTO:** Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras, por metro lineal, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (Detail line) en el área o zona predeterminada de la operación mi minera. Tomado de Gavilanes J, Hernán; Andrade Haro, B(2004). Introducción a la ingeniería de túnel. Asociación de ingeniería (A.I.M.E), Quito-Ecuador.

La fórmula matemática:

$$RQD = 100 \frac{\lambda - 0.1?}{(0.1? + 1)}$$

Siendo:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de Fisuras}}{SPAN}$$

**TERCER PROCEDIMIENTO:** Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras, por metro cúbico, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (*Detailline*) en el área o zona predeterminada de la operación minera. Según Palmstrón (1982).

La fórmula matemática:

$$RQD = 115 - 3.3 (J_v)$$

Siendo:

$J_v$  = Número de fisuras por metro cúbico.

La calidad de la roca puede tener un rango que va desde  $Q=0.001$  a  $Q=1000$  en una escala logarítmica, teniendo en cuenta las siguientes categorías de macizos rocosos:

<b>Tabla 8- Clasificación de las rocas según el índice de calidad Q:</b>	
<b>Tipos de rocas</b>	<b>Índice de Q</b>
Excepcionalmente mala	$10^{-3}$ - $10^{-2}$
Extremadamente mala	$10^{-2}$ - $10^{-1}$
Muy mala	$10^{-1}$ -1
Mala	1-4
Media	4-10
Buena	10-40
Muy buena	40-100
Extremadamente buena	100-400
Excepcionalmente buena	400-1000

**B): Según Bieniawski:**

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972- 73, 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, que coincide sustancialmente con la de 1979.

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

- ✓ La resistencia a compresión simple del material.
- ✓ El RQD (Rock Quality Designation).
- ✓ El espaciamiento de las discontinuidades.
- ✓ El estado de las discontinuidades.
- ✓ La presencia de agua.
- ✓ La orientación de las discontinuidades.

Resistencia de La Roca: Tiene una valoración máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio el resultado del Ensayo de Resistencia a Compresión Simple o bien el Ensayo de Carga Puntual (Point Load).

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

Separación entre Discontinuidades: Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas de la roca.

Estado de las Discontinuidades: Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse los criterios generales de la tabla 2.9 o bien aplicar la tabla 2.10, en la que el estado de las diaclasas se descompone en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.

Presencia de Agua: La valoración máxima es de 15 puntos. La tabla 10 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 en la roca.

Orientación de las Discontinuidades: Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre 0 y -12 puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde Muy Favorable hasta Muy Desfavorable. Según el tipo, se aplica la puntuación especificada en la tabla 13 de acuerdo a la valoración de la tabla 11.

Para cada clase de roca, Bieniawski propone una cuantía de sostenimiento y un método de excavación (véase tabla 14). Esta tabla es aplicable a túneles excavados en roca mediante perforación y voladura, con anchura o vano comprendido entre 5 y 10 metros. Por último creemos de utilidad indicar algunas correlaciones que algunos autores han elaborado entre el RMR y otros parámetros, citadas igualmente por Bieniawski.

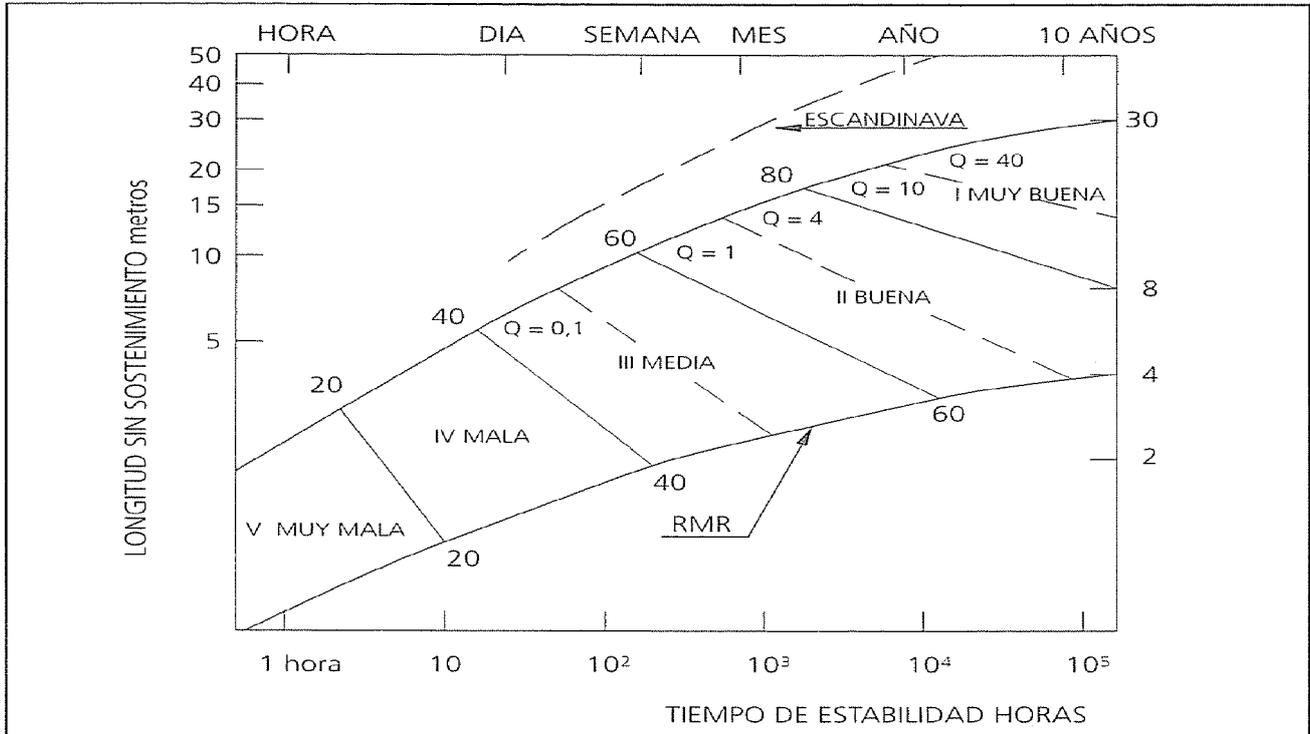


Figura 4- Tiempo de Estabilidad según Bieniawski.

De acuerdo con la aplicación de los diferentes tipos de excavaciones, se ha propuesto diferentes tipos de correlaciones entre el RMR y el índice Q, estas correlaciones se encuentran a continuación:

- ✓  $RMR = 9 \cdot \ln Q + 44$
- ✓  $RMR = 10 \cdot \ln Q + 39$
- ✓  $RMR = 5 \cdot \ln Q + 60.8$

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados (figura 4). El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor del RMR:

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

**Tabla 9-Clasificación Geomecánica de Bieniawski.**

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



<b>Tabla 10-</b> Clasificación Geomecánica de Bieniawski, Parámetros de Clasificación.						
Resistencia de las rocas sana (MPa)	Ensayo capapuntual	> 10	4-10	2-4	1-2	-
	Compresión simple	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25 1-5 <1
Valoración		15	12	7	4	2 1 0
RQD %		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25
Valoración		20	17	13	8	3
Separación Discontinuidades		> 2m	0.6-2	0.2-0.6 m	0.06-0.2m	< 0.06 m
Valoración		20	15	10	8	5
Estado de diaclasas		Muy rugosas discontinuas borde sano y duro.	Ligeramente rugosas e < 1 mm borde duro.	Ligeramente rugosas e < 1 mm borde blando.	Rellenos e <5 mm abiertas y continuas.	Rellenos blandos e <5 mm 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.
	$\sigma_w / \sigma_3$	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Estado	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valoración		15	10	7	4	0

<b>Tabla 11-</b> Guía Para Valorar el Estado de las Discontinuidades.					
<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALORACIÓN</b>				
Longitud de la discontinuidad (Persistencia).	< 1m	1-3	3-10m	10-20m	> 20m
	6	4	2	1	0
Apertura	Nada	< 0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	> 5mm
	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suave

	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Duro	Duro	Blando	Blando
	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterado	Ligera	Moderada	Muy alterado	Descompuesto
	6	5	3	1	0

**Tabla 12-**Clasificación Geomecánica de Bieniawski. Orientación de las Discontinuidades.

Dirección Perpendicular al eje del Túnel.				Dirección Paralela al eje del Túnel. ( Buzamiento)		Cualquier Dirección. (Buzamiento)
Excavación a favor de Buzamiento		Excavación a favor de Buzamiento				
45 <sup>0</sup> -90 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup> -45 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup> -20 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup> -45 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup> -90 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup> -45 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup> -20 <sup>0</sup>
Muy Favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Medio	Muy Desfavorable	Desfavorable

**Tabla.13-**Clasificación Geomecánica de Bieniawski: Corrección Orientación de las Discontinuidades.

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

**Tabla 14-** Necesidades de Sostenimiento (Según Clasificación Geomecánica de Bieniawski).

RMR	EXCAVACIÓN	BULONADO	GUNITADO	CERCHAS
>81	Sección completa avances de 3m	Algún bulón ocasional	Innecesario	No
61-80	Sección completa avances de 1-1.5m	Bulonado local en bóveda L=2-3m, S=2-2.5m	5cm en bóveda eventualmente mallado	No
41-60	Avance y destroza avance de 1.5-3m	Bulonado sistemático L=3-4m, s=1.5-2m	5-10cm en bóveda, 3cm hastiales. Mallado en bóveda	No
21-40	Avance y destroza avance de 1-1.5m	Bulonado sistemático L=4-5m, S=1-1.5m	10-15cm en bóveda, 10cm hastiales. Mallado sistemático	Ligeras s= 1.5m



< 20	Faces múltiples avances de 0.5-1m	Bulonado sistemático (incluso en solera)L=5-6m, s=1-1.5m	15-20cm en bóveda, 15cm hastiales y 5cm frente. Mallazo sistemático	Pesadas y cerradas s=0.75m
------	-----------------------------------	--	---	----------------------------

### 3.2- Análisis de estabilidad.

Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes: la resistencia a compresión simple del material, el RQD designación cualitativa de la roca, el espaciamiento de las discontinuidades, su estado, la presencia de agua, y la orientación de las mismas. Este se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados (Ver tabla 10)

El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca.

El RQD, por ciento de recuperación de fragmento de la roca sana de longitud superior a 10cm. El RQD que se aprecia a lo largo de una vertical de un metro de longitud se calcula según la expresión  $RQD = 115 - 3.3 * J_v$ , Donde  $J_v$  es la cantidad de grietas en un metro lineal de roca.

La luz (L) es la distancia que hay de un lado del túnel al otro, o sea el diámetro del mismo. En dependencia de la dureza de la roca en la cual se perforará, si el calculo de la Luz Teóricamente Estable es similar a la Luz escogida para los trabajos entonces la estabilidad es buena, no siendo así en este caso.

### 3.3- Análisis Cinemático de las Cuñas.

Las roturas de las cuñas se producen producto a la intersección de las discontinuidades, o producto a la presencia de agua entre las grietas. En el sistema global el factor de seguridad (FS) para que sea estable debe de ser mayor o igual a 1.5, en caso de que este sea menor será inestable por lo que las tensiones que actúan en el eje de la Cámara van a estar propensa a derrumbarse. Una vez realizado el procesamiento de datos en el programa Unwedge 1-3D se pudo obtener un modelo más detallado de todos los esfuerzos que se ejercen en la Cámara según la cantidad de familias de grietas que hallan en la zona de estudio. Ya confeccionada la base de datos se determinó que todos los puntos de cuña que se ejercen en el eje del túnel



como se ve en los Anexos (3, 4, 5, 6,7 y 8) van a ser estables producto a que todos los FS son mayores de 1.5.

### 3.4- Resultados Obtenidos.

✓ **Tramol** (0-10m). El macizo está formado por serpentinita de harburgitas y agrietada de color verde azulosa, muy fracturada.

-En este tramo hay presentes tres familias de fracturas:

1. Familia 1: con dirección de buzamiento de  $240^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $10^{\circ}$ , con espaciamiento de 0.70 cm aproximado.
2. Familia 2: con dirección de buzamiento de  $125^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $62^{\circ}$ , con distancia entre grietas de 1 m.
3. Familia 3: con dirección de buzamiento de  $180^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $87^{\circ}$ , con espaciamiento de 0.50 cm.

-Las aberturas de las grietas se pueden clasificar como media abierta.

-La dureza del macizo media.

-En este tramo el macizo aparece seco.

✓ **Tramoll** (10-20 m). Se mantiene el macizo con las mismas características descritas anteriormente.

1. Familia 1: con dirección de buzamiento de  $240^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $10^{\circ}$ , con espaciamiento de 0.70 cm aproximado.
2. familia 2: con dirección de buzamiento de  $90^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $70^{\circ}$  con espaciamiento de 0.30 cm.
3. Familia 3: con dirección de buzamiento de  $150^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $72^{\circ}$ , con espaciamiento de 0.50 cm.

✓ **Tramolll** (20-80 m). El macizo aparece seco, formado por serpentinitas de harburgitas de color verde azuloso muy fracturada, la grietas aparecen con superficies rugosas rellenas de carbonatos.

**20-30 m.** continúa el macizo compuesto por las rocas descritas anteriormente.

- Aparecen tres familias de grietas:

Se miden grietas que atraviesan toda la sección del túnel con los siguientes elementos de yacencia:

1. Grieta 1: dirección de buzamiento de  $30^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $72^{\circ}$ .
2. Grieta 2: dirección de buzamiento de  $120^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $40^{\circ}$ .

- El macizo se mantiene seco.

**30-40 m.** continúa el macizo compuesto por las rocas descritas anteriormente.

Se mide en la pared sur dos grietas principales:

1. Grieta 1: con dirección de buzamiento de  $160^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $20^{\circ}$ .
2. Grieta 2: con dirección de buzamiento de  $120^{\circ}$ , ángulo de buzamiento de  $40^{\circ}$ .

- El macizo se mantiene seco.

**40-50 m.** continúa el macizo muy triturado, compuesto por serpentinitas de color verde azulosa con grietas rellenas de silicatos alterados.

- Las grietas aparecen planas, semiabiertas y semirrugosas.

**50-60 m.** el macizo se mantiene agrietado y fisurado, con rellenos de minerales serpentinitos, en la parte baja aparece una grieta semihorizontal con relleno de 10 cm, las demás fisuras y grietas presentan rellenos finos.

- El macizo se mantiene seco.

**60-70 m.** se mantienen las características del macizo de serpentinitas agrietadas y fisuradas con rellenos de minerales serpentinitos.

- Macizo seco.

**70-80 m.** el macizo se mantiene formado por serpentinitas de color verde azulosa, agrietado y fisurado, con rellenos de minerales serpentinitos.

✓ **Tramo IV** (80-130 m). se mantienen las características del macizo de serpentinitas agrietadas y fisuradas, con rellenos de minerales serpentinitos.

- Macizo seco.

- Se mantienen las familias de grietas descritas anteriormente.

**Tabla 15 - Coeficientes obtenidos para los tramos del túnel**

Tramos	Longitud (m)	Coeficientes						
		Jr	Ja	Jn	Jw	RQD	SRF	Q
I	0-10	3	3	9	1	60	2.5	2.66
II	10-20	3	3	9	0.6	68	2.5	1.84
III	20-80	3	2	15	1	69	2.5	2.79
IV	80-130	3	2	15	1	70	2.5	2.80

Los cálculos de RQD obtenidos varían entre 60 % y 70 %, o sea según la clasificación se encuentra en el intervalo de regular.

### 3.5- Clasificación geomecánica de Protodiakonov.

Mediante esta clasificación geomecánica se define la calidad del macizo rocoso, por medio de un parámetro “f”, que es el coeficiente de fortaleza. Este coeficiente está determinado por dos fórmulas que dependen de la unidad en que se exprese la resistencia a compresión lineal.

$$f = \frac{\sigma_c}{10} \quad \text{ó} \quad f = \frac{\sigma_c}{100}$$

Siendo:

$\sigma_c$  = La resistencia a Compresión Simple de la roca expresada en MPa.

Teniendo en cuenta este coeficiente y las dimensiones de la excavación subterránea, se definen las cargas de cálculo para dimensionar el tipo de sostenimiento.

Tenemos entonces que:

$$f = \frac{\sigma_c}{10} = \frac{23.4 \text{ MPa}}{10} = 2.34$$

**Tabla 16-** Calidad del macizo según el coeficiente de fortaleza.

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>	<b>"f"</b>
Excepcional	Cuarcita, Basalto y Rocas de Resistencia Excepcional.	20
Alta Resistencia	Granito, Areniscas silíceas y Calizas muy Competentes.	15-20
Resistencia Media	Calizas, Granito algo alterado y Areniscas.	8-6
	Areniscas Medias y Pizarras.	5
	Lutitas, Areniscas Flojas y Conglomerados Friables.	4
	Lutitas, Esquistos y Margas Compactas.	3
Resistencia Baja	Calizas, Lutitas Blandas, Margas, Areniscas Friables, Gravas y Bolos Cementados:	2
	Lutitas Fisuradas y rotas, Gravas Compactas y Arcillas Preconsolidadas.	1.5
Resistencia Muy Baja	Arcillas y Gravas Arcillosa.	1.0
	Suelos Vegetales, Turbas y Arenas Húmedas.	0.6
	Arenas y Gravas Finas.	0.5
	Limos y Loess.	0.3

(Según la tabla 15 nuestro macizo posee una resistencia baja)

$$\text{Resistencia a largo plazo: } \sigma_{\infty} = (0.6 - 0.8)$$

Condición de estabilidad del Macizo Rocoso, en el caso más general, viene dado por la siguiente expresión:

$$\sigma - Rc < 0$$

Siendo  $\sigma$  : tensiones actuantes

$Rc$  : resistencia lineal a compresión de la carga

### 3.6- Características del Macizo Rocoso Objeto de Estudio:

Componente de Fricción Interna:

**Tramo I:**

$$FC = \tan^{-1} \left( J_w * \frac{J_r}{J_a} \right); \text{ grados}$$

$$FC = \tan^{-1} \left( 1 * \frac{3}{3} \right) = 45^\circ$$



**Tramo II:**

$$FC = \tan^{-1} \left( J_w * \frac{J_r}{J_a} \right); \text{ grados}$$

$$FC = \tan^{-1} \left( 0.6 * \frac{3}{3} \right) = 31^\circ$$

**Tramo III:**

$$FC = \tan^{-1} \left( J_w * \frac{J_r}{J_a} \right); \text{ grados}$$

$$FC = \tan^{-1} \left( 1 * \frac{3}{2} \right) = 56^\circ$$

**Tramo IV:**

$$FC = \tan^{-1} \left( J_w * \frac{J_r}{J_a} \right); \text{ grados}$$

$$FC = \tan^{-1} \left( 1 * \frac{3}{2} \right) = 56^\circ$$

Deformación del Macizo Rocoso:

$$Em = 2RMR - 100; \text{ si } RMR > 50$$

$$Em = 10^{(RMR-10)/40}; \text{ si } RMR < 50$$

Según Bieniawski:

**Tramo I:**

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$$RMR = 9 \ln 2.66 + 44$$

$$RMR = 52.8$$

$$Em = 2RMR - 100$$

$$Em = 2 * 52.8 - 100$$

$$Em = 5.6$$

**Tramo II:**

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$$RMR = 9 \ln 1.84 + 44$$

$$RMR = 49.5$$

$$Em = 10^{(RMR - 10) / 40}$$

$$Em = 10^{(49.5 - 10) / 40}$$

$$Em = 9.8$$

**Tramo III:**

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$$RMR = 9 \ln 2.79 + 44$$

$$RMR = 53.2$$

$$Em = 2RMR - 100$$

$$Em = 2 * 53.2 - 100$$

$$Em = 6.4$$

**Tramo IV:**

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$$RMR = 9 \ln 2.8 + 44$$

$$RMR = 53.3$$

$$Em = 2RMR - 100$$

$$Em = 2 * 53.3 - 100$$

$$Em = 6.6$$

**Índices de Resistencia de la roca:**

Según datos de Blanco Torrens, R, Sánchez Rial, E; Miró, R (2006): Geomecánica Aplicada a la Pequeña Minería; LDM Editorial para las rocas del macizo ofiolítico presentes en la región norte de Cuba Oriental, esta se determina por la siguiente ecuación matemática:

$$R = 0.17Rc$$

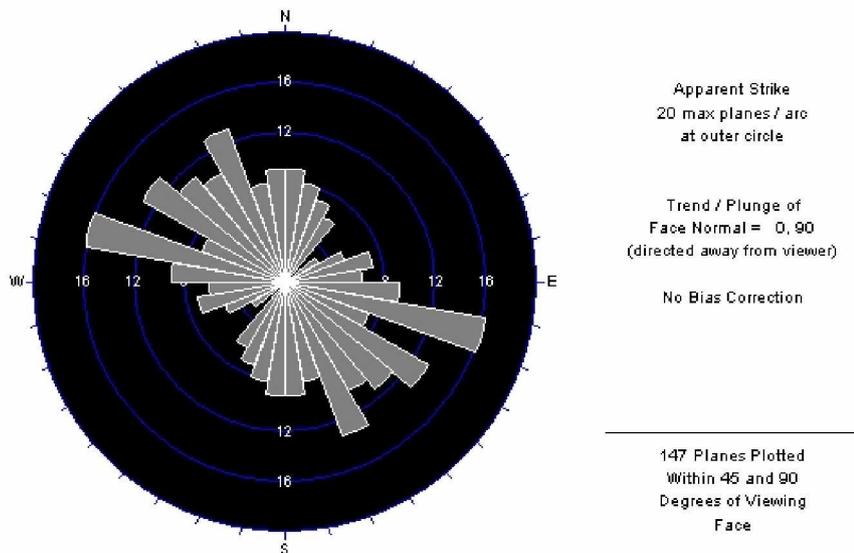
$$R = 0.17 * 23.4$$

$$R = 3.98MPa$$

### 3.7- Análisis del agrietamiento.

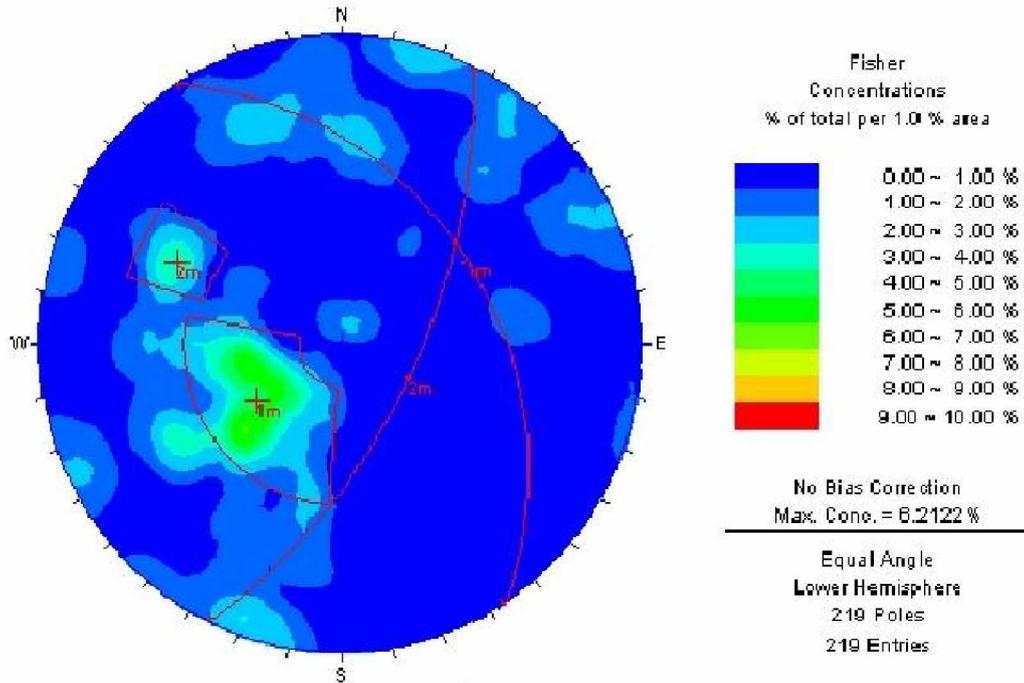
#### 3.7.1- Agrietamiento en el área de la cámara.

- ✓ El diagrama de rosetas confeccionado en el DIP versión-5 nos permite tener una visualización más detallada del agrietamiento en la cámara, la cual presenta en su estructura las principales direcciones de los esfuerzos, que van en dirección NW-SE comportándose casi perpendicular al eje del túnel, siendo estas las que menos daño causan a la excavación.



**Figura 5-** *Diagrama de Rosetas de la Cámara de Acceso.*

- ✓ El diagrama de contorno confeccionado en el DIP versión-5 nos permite tener una visualización más detallada del agrietamiento en la cámara, en el mismo se pudo determinar la presencia de dos familias principales de grietas, las que se representan en la figura 6. Según la dirección del eje del túnel NE-SW y las familias de grietas detalladas, la zona de mayor influencia se encuentra en SW, siendo un aspecto a considerar si de estabilidad se trata.



**Figura 6-** Diagrama de Contorno y de las principales familias de la Cámara de Acceso.

**Tabla 17 – Resultados de los cálculos obtenidos.**

TRAMOS	Fortaleza de la roca(f)	Componente de fricción interna(FC)	RMR	Deformación del macizo rocoso(Em)	Índice de resistencia de la roca(R)
I	2.34	45°	52.8	5.6	3.98MPa
II	2.34	31°	49.5	9.8	3.98MPa
III	2.34	56°	53.2	6.4	3.98MPa
IV	2.34	56°	53.3	6.6	3.98MPa

## Capítulo 4: Cálculos de Sostenimiento.

### Introducción:

El sostenimiento de obras subterráneas, tienen como objetivo controlar las deformaciones que se producen en las excavaciones producto de las tensiones que ejerce el macizo rocoso. Existen varios tipos de sostenimientos, y la utilización de uno u otro, dependen en medida de las condiciones del macizo, del destino de la excavación y de su plazo de servicio.

### 4.1- Característica de las rocas.

#### Trabajos de Laboratorio:

Tabla 18- Datos obtenidos en la prueba de densidad.				
N°	G1	G2	G3	G4
1(148)	36	135.1	46.5	140.7
2(43)	33	133	43.2	138.2

$$\gamma_1 = \frac{G_3 - G_1}{G_2 - [G_4 - (G_3 - G_1)]} = \frac{10.5}{135.1 - [140.7 - (46.5 - 36)]} = \frac{10.5}{4.9} = 2.14 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_2 = \frac{G_3 - G_1}{G_2 - [G_4 - (G_3 - G_1)]} = \frac{10.2}{133 - [138.2 - (43.2 - 33)]} = \frac{10.2}{5} = 2.04 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{promedio}} = \frac{2.14 + 2.04}{2} = 2.1 \text{ g/m}^3$$

A continuación ofrecemos una tabla que recoge los demás valores obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados a muestras recogidas del macizo en cuestión, en nuestro caso (serpentina).

Tabla 19- Propiedades másicas de la roca.					
Densidad	Masa Volumétrica	Resistencia a Compresión	Porosidad	Resistencia a Tracción	Coefficiente de Fortaleza de la Roca
2.1 g/cm <sup>3</sup>	2 g/cm <sup>3</sup>	23.4 Mpa	5	1.65 Mpa	2.34

### 4.2 - Análisis del Hormigón Proyectado y sus Componentes.

Durante el siglo pasado el concreto proyectado ha remplazado a algunos métodos tradicionales de revestimientos de túneles y se ha convertido en una alternativa muy importante en la estabilización de túneles excavado. Ya que el



concreto proyectado es un término único que describe varios componentes de una tecnología completa.

- El material del concreto proyectado.
- El proceso de producción.
- El sistema del concreto proyectado (Equipos).

Estos tres componentes definen toda una tecnología que tienen una larga tradición, enorme potencial innovador y un gran futuro. Como regla general esto significa una reducción en el tamaño máximo del agregado a 8mm ó máximo 16mm, un aumento en el contenido de concreto y el empleo de aditivos especiales para el concreto proyectado que controlan las propiedades del material. El concreto proyectado tiene un papel crucial para el logro de este requisito. Este es un método económicamente ventajoso y casi ilimitado técnicamente, lo que lo convierte en la mejor alternativa. Su uso por vez primera tuvo lugar en el año 1914 y desde entonces ha sido desarrollado y mejorado permanentemente a lo largo de las décadas recientes.

#### **4.2.1- Procesos para la aplicación del concreto proyectado.**

Existen actualmente dos procesos diferentes para la aplicación del concreto proyectado.

1. Concreto proyectado vía seca.
2. Concreto proyectado vía húmeda.

Los requerimientos principales de la mezcla se centran en la manejabilidad, bombeabilidad, proyección de concreto y en la durabilidad.

- Alta resistencia a temprana edad.
- Buena bombeabilidad.
- Adecuadas características del fraguado del concreto.
- Diseño de mezcla adecuado para lanzar.
- Manejabilidad adecuada para el operario.
- Rebote mínimo.



#### **4.2.2- Ventajas del concreto proyectado.**

La construcción de concreto proyectado tiene varias ventajas estas son:

- Aplicación a cualquier altura, ya que el concreto se adhiere inmediatamente y sostiene su propio peso.
- Puede aplicarse sobre superficies irregulares.
- Configuración totalmente flexible del espesor de capa en el sitio.
- También es posible reforzarlo (Fibras ó mallas).
- Puede lograrse el revestimiento con rápida capacidad de soporte a cargas con tiempos de espera muy cortos.

#### **4.2.3- Usos del concreto proyectado.**

La construcción de concretos proyectado es usado en diversos tipos de proyectos. La flexibilidad y economía de este material sobresale en edificaciones superficiales túneles y construcciones especiales, de echo en toda la industria de la construcción. Los siguientes usos son los más difundidos.

- Estabilización de excavaciones en tunelería y construcción subterránea.
- Revestimiento de túneles y cámaras subterráneas.
- Estabilización en la construcción de minas y galería.
- Reparación de concreto (reemplazo de concreto y reforzamiento).
- Trabajo de sellos de filtraciones.
- Estabilización de zanjas.
- Restauración de edificios históricos.
- Estabilización de taludes.
- Revestimiento protector.
- Estructuras especiales portantes livianas.
- Aplicaciones artísticas.

### **Tipos de construcción en que es usado el concreto proyectado.**

El concreto proyectado se utiliza en todo tipo de túneles: vehiculares, ferroviarios, drenaje de aguas, estructura militares subterráneas, adicionalmente en la estabilización de taludes. Ya sea en la construcción de un túnel bajo una edificación o excavado a través de algún obstáculo, el método de construcción es determinado con la capacidad de soporte de las rocas y la estabilidad del substrato a través por el cual se hace pasar el túnel. La diferencia constructiva principal está entre la excavación completa y la excavación parcial en muchas formas y métodos diferentes. Si no es posible la excavación de sección completa, debido a la estabilidad de las rocas el perfil final se excava a menudo en varias fases.

### **Estabilización.**

En todas las aplicaciones en la que se usa el concreto proyectado para estabilizar si la superficie excavada no es lo suficientemente estable. Se puede conformar muy rápidamente con concreto proyectado una capa de bajo espesor en forma de una piel delgada y si las propiedades de soporte de carga del concreto proyectado no son suficientes, se puede mejorar la calidad de soporte con refuerzo de fibra de acero reforzado.

### **4.2.4- Concreto proyectado reforzado con fibras.**

Después de un análisis sobre el concreto proyectado, en sentido general, ya sea en los tipos de construcción, sus usos y múltiples aplicaciones que ofrece el mismo veamos entonces que es:

**Concreto proyectado reforzado con fibras:** El concreto proyectado con fibras se ha vuelto ahora mas importante debido al desarrollo de nuevos y mas efectivos métodos. Puede considerarse que las fibras actúan en perfecta combinación con el concreto proyectado. El concreto proyectado es un material frágil con resistencia limitada a la flexión y a la tracción pero con una excelente resistencia a la compresión. Por ello tiene sentido utilizar el concreto proyectado reforzado con fibras ya que este nos muestra una serie de ventajas:

#### **Ventajas del concreto proyectado reforzado con fibras**

- Distribución homogénea del refuerzo con fibras en el concreto proyectado.

- Incremento en la ductibilidad.
- Alta resistencia a la tensión y a la flexión.
- Mayor seguridad debido a la deformación post fisuración.
- Aumento de resistencia al impacto.
- Mejora la adherencia.
- Reducción de la fisuración por retracción temprana.
- Mayor resistencia al fuego.

#### **Requerimientos del concreto proyectado reforzado con fibras.**

Aquí se describen todos los requerimientos para el concreto proyectado de manera simple y de fácil comprensión. Armado con esta información los materiales pueden seleccionarse correctamente. Básicamente este involucra la elección entre los procesos en (seco o en húmedo), el diseño correcto de la mezcla, la correcta ponderación del desarrollo de la resistencia temprana del material y la durabilidad del material proyectado, basado en los requerimientos.

#### **4.2.5. Componentes del Hormigón.**

**Cementos:** Material inorgánico finamente molido, que cuando se mezcla con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que después de endurecida mantiene su resistencia y estabilidad aún bajo el agua. Ocupan normalmente entre el 12 y el 20% del peso del hormigón.

#### **4.2.6. Recomendaciones para el uso de los cementos:**

- **Cementos Portland puros:** Para la Industria del prefabricado. Para morteros especiales estructurales. En caso de estructuras en contacto con agua de mar, el cemento con contenido de C3A menor o igual al 5% y suma del C3A y C4AF menor o igual al 22%
- **Cementos Portland-Puzolánicos:** Para hormigón premezclado. Para estructuras en contacto con el agua de mar. Morteros especiales estructurales y morteros de albañilería



- **Cementos puzolánicos:** Para hormigones en contacto directo con aguas o suelos sulfatados. Estructuras masivas y estructuras en contacto directo con agua de mar. Morteros especiales y morteros de albañilería.
- **Cementos de Albañilería:** Sólo para morteros de albañilería
- **Cemento Blanco:** Hormigón arquitectónico. Hormigones coloreados. Morteros estructurales especiales expuestos. Pastas de asiento para cerámica blanca en baños y cocinas
- **Cemento hidrófobo:** Hormigones premezclados para estructuras con elevados requerimientos de durabilidad en protección primaria. Cemento con tiempos de almacenaje muy prolongado (3 años o más)

#### **4.2.7- Normas cubanas actuales relativas a los cementos:**

- Cemento Portland. Especificaciones (P- 350; P-450; P- 550)
- Cemento con adición activa. Especificaciones (PP- 25; PP- 35; PZ 25)
- Cemento de albañilería. Especificaciones (CA- 16)
- Cemento resistente a los sulfatos. Especificaciones (PMRS; PARS)
- Cemento de moderado y bajo calor de hidratación. Especificaciones (PMC;PBC)
- Cemento blanco. Especificaciones (CBA- 85); (CBA- 90).

#### **4.2.8- Áridos:**

Material granular procedente de la roca natural, trituradas o no, cuyas dimensiones varían desde 0,149 mm hasta un tamaño máximo especificado. Ocupan normalmente entre el 65 y el 80% del peso del hormigón.

Ocupan no menos del 75% del volumen total del hormigón, de ahí que su calidad es fundamental. Tienen que ser “estables” químicamente ante el cemento y el medio ambiente y “resistentes”.

<b>Tabla 20- Granulometría obtenida de la roca natural</b>		
<b>ARIDO</b>	<b>GRANULOMETRÍA</b>	<b>TAMIZ</b>
Árido Fino	De 0.149 mm a 4,76 mm	4,76 mm
Granito	De 4,76 mm a 9,52 mm (3/8")	10-5 mm
Gravilla	De 9,52 mm (3/8") a 19,1 mm (3/4")	20-10 mm
	De 4,76 mm a 19,1 mm (3/4")	20-5 mm
	De 4,76 mm a 12,7 mm (1/2")	3-5 mm
	De 9,52 mm (3/8") a 25 mm (1")	25-10 mm
	De 4,76 mm a 25 mm (1")	10-5 mm

#### **. 4.2.9- Aditivos utilizados para la utilización del concreto proyectado.**

Los aditivos para el concreto proyectado se utilizan para mejorar o cambiar las propiedades del concreto que no pueden ser controladas correctamente, por los componentes, cemento, agregados y agua. Estos pueden ser adicionados al concreto proyectado durante el proceso de proyección para regular el inicio del fraguado. Los aditivos para el concreto hacen que este sea un sistema complejo de múltiple materiales.

Los aditivos para el concreto proyectado se adicionan como porcentaje del peso o volumen total del cemento. Estos se adicionan en un rango aproximado de 0,5 % a 6 %. Lo que da cantidades de 2 Kg/m<sup>3</sup> a 30 Kg/m<sup>3</sup>, que están en el rango de la milésima parte del volumen total del concreto. Todos los aditivos usados son puestos en el concreto durante su producción en la planta, después de la medición inicial del agua. Una excepción es el acelerante de fraguado el cual se le adiciona inmediatamente antes de proyectar.

#### **Sigunit -L53/P1 AF: Acelerante para concreto lanzado libre de álcalis**

**Descripción:** Polvo soluble en agua para producción de Acelerante de concreto lanzado libre de álcalis.

**Usos:** Sigunit-L53/P1 AF es un grupo de productos acelerantes para concretos lanzados vía seca y vía húmeda. Los principales concretos lanzados vía seca y vía húmeda. Las principales aplicaciones para este producto son:

- Soporte temporal de túneles
- Soporte de roca y protección de taludes



- Capas de concreto lanzado de alta calidad

**Efectividad:** La efectividad del producto depende de contenidos de cemento, tipos de cemento, temperatura del concreto lanzado y substrato así como del espesor de capa y método de aplicación.

**Ventajas:** Una posible baja en la eficiencia este producto puede ocurrir al no cuidar la relación agua/cemento de la mezcla en procesos de concreto lanzado por vía húmeda ó adicionar excesos de agua en la boquilla en los procesos vía seca.

Las ventajas principales en el uso del Sigunit-L53/P1 AF como Acelerante para concreto lanzado son:

- Producto libre de álcalis
- Usado correctamente, pérdida marginal de resistencia a la compresión en el concreto lanzado.
- Notable disminución de rebote
- Fácil colocación de lanzado sobre cabeza logrado por un concreto lanzado de alta adherencia a la roca y concreto
- Notable disminución en la formación de polvo
- Libre de cloruros, por lo que no ataca al acero de refuerzo
- Fácil dilución de el Sigunit-P1 (polvo) en sitio para una concreto lanzado efectivo en sitio produciendo cantidades requeridas ahí mismo
- Al realizar la mezcla del producto esta puede alcanzar altas temperaturas.

**Tiempo de Vida:** Mínimo 2 años en su envase original, cerrado.

**Sigunit-P1 AF (Polvo):**

**Sigunit-L53 AF:** En su envase original, cerrado hasta 3 meses, mantener envases cerrados para evitar disminución de tiempo de vida, será necesario agitar envases en producto almacenado por más de 2 semanas.

**Producción de Sigunit-L53AF:** Colocar cantidad de agua predosificada en mezclador, la temperatura del agua deberá tener una temperatura mínima de 15°C.

Encender mezclador y adicionar lentamente el Sigunit-P1 AF.

Mezclar 12 minutos.

La temperatura de la mezcla puede alcanzar los 40°C durante el mezclado.

**Aplicación en mezclas de concreto:** Se utilizarán agregados entre 8 mm y 16 mm para realizar concretos Bombeables.

Consistencia del concreto (depende del equipo con el que será proyectado el concreto):  $a/c < 0,50$ , mesa de fluidez > 45 cm.

**Dosificación:** La dosificación exacta deberá ser determinada por ensayos preliminares. Para capas de concreto de más de 15 cm. de espesor en una sola aplicación, la dosificación del Sigunit-L53 AF será entre el 3% y el 6% sobre el peso del cemento.

**Sigunit-L53AF:** se recomienda sea dosificado por medio de una bomba ALIVA AL-403.

**Medidas de precaución:** Usar lentes/protectores y guantes.

En caso de contacto con ojos y piel, lavar con agua abundante.

#### **4.2.10- Sikatard<sup>®</sup> 930: Aditivo estabilizador de fraguado para concreto lanzado.**

**Descripción del producto:** Aditivo desarrollado para controlar la hidratación del cemento. De esta forma, las mezclas de concreto pueden estabilizarse durante periodos de tiempo sin perder su calidad.

**Usos:** Se utiliza principalmente para la estabilidad de concretos proyectados por vía seca o vía húmeda en trabajos de obras subterráneas, alargando su tiempo de manejabilidad.

**Ventajas:** Con la utilización de aditivos estabilizador Sikatard-930 se consigue un concreto enormemente fluidificado, retrasando al mismo tiempo la hidratación del cemento durante un período de tiempo que depende de la dosificación de aditivo utilizada. La mezcla de concreto fresco permanece estable durante el tiempo de retraso manteniéndose constante su trabajabilidad y la calidad del mismo.



- Su efecto es distinto al de los retardadores de fraguado tradicionales, los cuales se limitan a ralentizar fuertemente la hidratación del cemento.
- El concreto proyectado por vía húmeda o vía seca estabilizado con el aditivo Sikatard-930, se activa inmediatamente cuando entra en contacto con un aditivo Acelerante de fraguado, de forma que se reanuda de nuevo la hidratación de la mezcla.
- El aditivo estabilizador de fraguado Sikatard-930 está exento de cloruros y de otras sustancias que favorezcan la corrosión del acero. Esto permite utilizarlo sin ningún problema en las construcciones de concreto armado. No es toxico

**Condiciones de almacenamiento:** A temperaturas entre +1 C y +35 C protegido del sol y de las heladas.

**Conservación:** 1 año, en su envase de origen, herméticamente cerrado y no deteriorado.

**Modo de empleo:** El concreto proyectado por vía húmeda, el aditivo Sikatard-930 se añade a la mezcla directamente en la planta de concreto, junto con el agua de mezcla, debiéndose prolongar el tiempo de mezcla de al menos 1 minuto por cada m<sup>3</sup> de concreto. Previamente a su utilización deberá re-mezclarse de nuevo en el camión (mixer) estabilizado se activará mediante la utilización de un aditivo acelerante de fraguado, añadido a la mezcla de hormigón en la manguera de transporte a 5 m de la boquilla de proyección.

**Instrucciones de seguridad:**

- Al utilizar el aditivo estabilizado Sikatard-930 se deberá respetar todas las normas vigentes en relación con la fabricación de concretos.
- En caso de inhalación, si se siente molestias acudir al médico.
- En caso de contacto con la piel lavar la zona afectadas con agua y jabón, si persisten los síntomas acudir al médico.
- En caso de contacto con los ojos, lavarlos con agua abundante durante 15 minutos. En caso de ingestión, no provocar el vómito.

**SikaFiber<sup>®</sup> CHO65/35 NB: Fibra de acero para refuerzo de concreto**



**Descripción:** Filamentos de acero cortados y doblados en determinadas longitudes dependiendo el uso al que será sometido, para el refuerzo de concreto y mortero.

**Usos:** Para refuerzo de concreto y mortero lanzado, obteniendo un elevado número de fibras por Kg. distribuyéndose uniformemente y logrando un comportamiento mecánico homogéneo.

**Ventajas:**

- La fibra tiene dobleces que permite mejorar adherencia de la fibra dentro de la matriz del concreto.
- Alta resistencia a tracción
- Alta absorción de energía por medio de el alambre trefilado de bajo contenido de carbono.
- Cumple con la Norma ASTM-820, Tipo 1
- Por su presentación de fibras pegadas se logra una mejor distribución de las mismas dentro del concreto.
- Eliminar el habilitado y colocación de malla y varillas convencionales por la sustitución de estos materiales con fibras de acero.
- Aumenta resistencia a fatiga, cortante e impacto en estructuras de concreto.

**Dosificación:** La dosificación será entre 30 y 45 kg/m<sup>3</sup> y se determinará de acuerdo a necesidades específicas de cada proyecto (absorción de energía requerida).

**Modo de empleo:** SikaFiber-CHO 65/35 NB viene listo para ser usado. Se aplica al concreto durante su mezclado o a pié de obra. Se deberá hacer un mezclado de 3 a 5 minutos para su completa incorporación verificando que las fibras se encuentren separadas y distribuidas en la masa de concreto.

Las fibras pueden introducirse junto con los agregados y de preferencia en el concreto mezclado en estado fresco

Es recomendable la utilización de plastificantes, fluidificantes ó bien estos mismos productos superplastificantes y/o superfluidificantes para control de revenimiento sin modificar relación a/c.



**Almacenamiento:** Se deberá realizar el almacenamiento en un lugar completamente seco libre de humedad evitando apilar palets uno sobre otro

#### **4.2.11- .Sika ViscoCrete® SC-305 (VP): Superplastificante con efecto de retardo y estabilización**

**Descripción:** Superplastificante para hormigones de altas prestaciones, con efecto retardante del de producto fraguado y de estabilización de la mezcla. Cumple con las especificaciones de la norma UNE-EN 934-2, de acuerdo a los tipos FM y VZ.

**Usos:** Se utiliza para la ejecución de hormigón proyectado por vía húmeda, en combinación con distintos tipos de Sigunitas. Con el uso del Sika Viscocrete SC-305 (VP), el hormigón proyectado se retarda y estabiliza, y se mantiene sin pérdida de trabajabilidad durante el transporte, hasta 3 horas. Sika Viscocrete 305 (VP) mejora el tiempo abierto y la ductilidad, dando como resultado una presión para la proyección menor. La combinación del Sika Viscocrete SC-305 (VP) y los acelerantes Sigunitas incrementa en gran medida la rapidez de adquisición de resistencias.

**Ventajas:** Sika Viscocrete fluidifica en gran medida el hormigón fresco, y permite una reducción de la relación a/c, sin influenciar negativamente la trabajabilidad de la mezcla original.

Al mismo tiempo, la hidratación del cemento se retarda durante cierto tiempo.

Dependiendo de la dosificación, el hormigón fresco permanece estable y retardado por un tiempo predeterminado, manteniendo así la trabajabilidad. El hormigón proyectado retardado se puede acelerar con Sigunitas en cualquier momento, sin pérdida de cantidad.

El retardo y la estabilización dependen en gran medida de:

- Temperatura del hormigón.
- Temperatura ambiente.
- Relación a/c.
- Tipo de cemento.
- Edad del cemento.



Son absolutamente necesarias pruebas previas para lograr la dosificación deseada.

Sika ViscoCrete SC-305 (VP) no contiene cloruros u otros elementos promotores de la corrosión del acero.

**Color:** Líquido marrón oscuro.

**Condiciones de almacenamiento:** Al resguardo de las heladas y la luz solar directa, entre +1 °C y + 35 °C.

**Conservación:** 15 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados.

**Dosificación:** Entre 0,6 y el 1,5% del peso de conglomerante dependiendo de la consistencia requerida y el tiempo de trabajabilidad necesario.

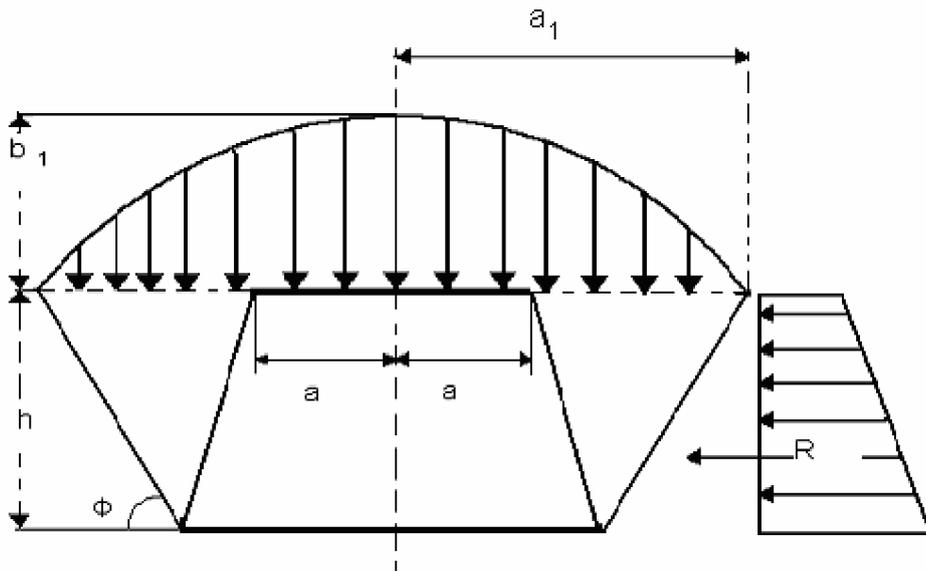
**Modo de aplicación:** Se añade en el agua de amasado o en la mezcladora al mismo tiempo que el agua.

Para el hormigón proyectado se requiere una consistencia fluida. Hacer uso de la capacidad de reducir agua por el efecto fluidificante del producto. Mezclar durante al menos 60 segundos.

#### **4.3- Hipótesis de Presión Minera para excavaciones Horizontales.**

##### **Hipótesis de Tsimbarievich:**

En el caso en el que rocas laterales son inestables, el ancho de la zona de destrucción que se forma por el techo de la excavación va a ser mayor que el ancho por el techo de la excavación.



**Figura 7-** Esquema de cálculo según Tsimbarievich, cuando actúa presión por el techo y los laterales.

En este caso la altura de la bóveda de destrucción «b» se determina por la siguiente expresión:

$$b = \frac{a_1}{f}$$

$$b = \frac{a_1}{f} = \frac{2.5}{2.34} = 1.07 \text{ m}$$

Donde:

$a_1$ : semiancho de de la excavación por el techo.

f: coeficiente de fortaleza de la roca.

El empleo de una u otra de las expresiones vistas, para el cálculo de **b** está dado por el tiempo de servicio de la excavación en cuestión y por las condiciones geólogo-mineras concretas del macizo que se estudia.

La carga para el sostenimiento puede ser determinado por el RMR propuesto por Unal (1983):

. **Tramo I:**

$$p = \frac{100 - RMR}{100} * \gamma B$$

$$p = \frac{100 - 52.8}{100} * 2.3 * 500$$

$$p = 0.542 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$$

$$p = 5.42 \text{ Tnf} / \text{m}^2$$

**Tramo II:**

$$p = \frac{100 - RMR}{100} * \gamma B$$
$$p = \frac{100 - 49.5}{100} * 2.3 * 500$$
$$p = 0.58 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$$
$$p = 5.8 \text{ Tnf} / \text{m}^2$$

**Tramo III:**

$$p = \frac{100 - RMR}{100} * \gamma B$$
$$p = \frac{100 - 53.2}{100} * 2.3 * 500$$
$$p = 0.538 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$$
$$p = 5.38 \text{ Tnf} / \text{m}^2$$

**Tramo IV:**

$$p = \frac{100 - RMR}{100} * \gamma B$$
$$p = \frac{100 - 53.3}{100} * 2.3 * 500$$
$$p = 0.537 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$$
$$p = 5.37 \text{ Tnf} / \text{m}^2$$

**Donde:**

p: carga para el sostenimiento

B: ancho del túnel; (500 cm.).

$\gamma$  : peso específico de la roca; (2.3 g/cm<sup>3</sup>)

**4.4- Cálculo de Sostenimiento.****Sostenimiento del Túnel según Barton:**

En función al tipo de roca, y la dimensión del túnel, Barton presenta un método “empírico” para estimar los soportes en un túnel, que varía desde anclajes ocasionales, hormigón proyectado con y sin malla metálica hasta hormigón moldeado con acero de refuerzo, para este fin utilizamos el siguiente ábaco:



**a) Método de Barton.** Para el cálculo de la carga actuante sobre el túnel si tiene las siguientes consideraciones:

- 1º : Valor del índice Q (varía entre 0.001 a 1000)
- 2º: Diámetro equivalente de la excavación;  
De = luz libre (ancho o alto del túnel) / ESR

**Donde:**

**ESR está valorado para diferentes tipos de excavación:**

- ✓ Excavación temporal para minería ESR = 3 a 5
- ✓ Excavación minera permanente, túneles de aducción de agua (excepto túnel a presión), túnel piloto ESR = 1.6
- ✓ Túneles menores para camino o ferrocarril, túnel de acceso ESR = 1.3
- ✓ Central hidroeléctrica, túneles importantes para carretera o ferrocarril ESR = 1.0
- ✓ Central nuclear subterránea, estación de ferrocarril, fábricas ESR = 0.8
- 3º: Longitud de los clavos:  
 $L = (2 + 0.15 b) / ESR$  (m)  
donde: b es el ancho de la excavación (m)
- 4º: Longitud máxima sin soporte:  
CLARO =  $2 ESR Q^{0.4}$  (m)
- 5º: Carga de roca en el techo:  
 $PV = (2/3) JN^{1/2} Q^{-1/3} JR^{-1}$  (kg/cm<sup>2</sup>)

**b) Método de Bieniawski.**

Para el cálculo de la carga actuante sobre el túnel, recomienda usar la siguiente fórmula:

1º: Altura de la carga de roca en el techo:

$$H_p = ((100 - RMR) / 100) b$$

2º: Carga equivalente sobre el techo:

$$PV = H_p g$$

**Donde:**

b = ancho del túnel (m)

g = peso específico de la roca (ton/m<sup>3</sup>)

Tener en cuenta que a partir del valor del RQD podemos saber cuando una excavación necesita o no sostenimiento además de las características de dicho sostenimiento.

A partir del valor del RQD podemos saber cuando una excavación necesita o no sostenimiento además de las características de dicho sostenimiento.

**Tabla 21- Características del sostenimiento a partir del Índice de Calidad de la Roca (RQD).**

Tipo d roca	Necesidad de sostenimiento
A	No necesita sostenimiento
B	2 a 3cm de hormigón lanzado o pernos separados de 1.0 a 2.0m, eventualmente refuerzo en la bóveda únicamente.
C	3 a 5cm de hormigón lanzado o pernos separados de 1.0 a 1.5m, eventualmente refuerzo en la bóveda.
D	5 a 7cm de hormigón lanzado con mallas o pernos separados de 0.7 a 1.0 y 3cm de hormigón lanzado.
E	7 a 15cm de hormigón lanzado, a veces pernos separados de 0.5 a 1.2m y de 3 a 5c de hormigón lanzado, alternativamente serchas y blindaje.
F	15 20cm de hormigón lanzado con serchas y mallas o serchas con blindaje y hormigón lanzado posterior.
G	Hormigón lanzado, serchas reforzadas y blindaje.

Para el cálculo de sostenimiento de la excavación primeramente se consideró el factor de seguridad (FS) del área de estudio, este no es más que la relación entre la luz teóricamente estable (LTE) y la luz real (L) de la excavación, o sea:

$$FS = LTE/L$$

A partir del cálculo del FS, se sabe si es necesario usar sostenimiento en la excavación.

Quando el FS es:

FS<1: El tramo excavado necesita sostenimiento estructural y no se admite dejarlo sin revestir.

FS>2: El tramo excavado no necesita sostenimiento para resistir las presiones geostáticas naturales

1≤FS<2: El tramo es teóricamente estable bajo presiones geostáticas naturales. Puede mantenerse provisionalmente sin revestir, la decisión de dejarlo definitivamente sin revestir debe tomarse considerando la estabilidad observada en las secciones de igual luz construidas en condiciones análogas.

Cálculo del FS:

$$FS=LTE/L$$

$$FS= 4.4/5$$

$$FS= 0.88$$

Como el FS calculado en la excavación es menor que uno, es de vital importancia sostenerla por ser esta inestable.

Para la aplicación del Gunitado, en forma independiente, primeramente debemos comprobar que se cumpla la siguiente condición:

$$\frac{\gamma_v * H}{Rc} \leq 0.25$$

Donde:

$\gamma_v$  = masa volumétrica de la roca (2 g/ cm<sup>3</sup> ).

H= profundidad de la excavación (25 m).

Rc= resistencia lineal de la roca a compresión (23.4 Mpa).

Para el caso en que se puede utilizar el Gunitado pero en combinación con otros tipos de fortificación se debe cumplir entonces la siguiente condición:

$$\frac{\gamma_v * H}{Rc} \supset 0.25$$

$$\frac{2 * 25}{23.4} \supset 0.25$$

$$2.1 \supset 0.25$$

Para el cálculo de fortificación nos dirigimos hacia el uso del gunitado combinado con los bulones, por eso tomamos en cuenta esta última condición.

Espesor de la fortificación (Hormigón Lanzado):

Esta fórmula basada en criterios de resistencia de materiales se recomienda para cuando el hormigón lanzado se combina con anclas. Según este criterio, el espesor de la fortificación se halla para el caso de túneles y cámaras por la siguiente expresión:

**Tramo I:**

$$e = a * K_f * \sqrt{\frac{\eta_c * p}{Mt * Rt}}$$

$$e = 1.25 * 0.35 * \sqrt{\frac{0.92 * 5.42}{0.8 * 407.9}}$$

$$e = 0.05 \text{ m}$$

$$e = 5 \text{ cm}$$

**Tramo II:**

$$e = a * K_f * \sqrt{\frac{\eta_c * p}{Mt * Rt}}$$

$$e = 1.25 * 0.35 * \sqrt{\frac{0.92 * 5.8}{0.8 * 407.9}}$$

$$e = 0.06 \text{ m}$$

$$e = 6 \text{ cm}$$

**Tramo III:**

$$e = a * K_f * \sqrt{\frac{\eta_c * p}{Mt * Rt}}$$

$$e = 1.25 * 0.35 * \sqrt{\frac{0.92 * 5.38}{0.8 * 407.9}}$$

$$e = 0.05 \text{ m}$$

$$e = 5 \text{ cm}$$

**Tramo IV:**

$$e = a * K_f * \sqrt{\frac{\eta_c * p}{Mt * Rt}}$$

$$e = 1.25 * 0.35 * \sqrt{\frac{0.92 * 5.37}{0.8 * 407.9}}$$

$$e = 0.05 \text{ m}$$

$$e = 5 \text{ cm}$$

**Donde:**

.a: distancia entre anclas; m

p: carga para el sostenimiento; Tnf/m<sup>2</sup>

Mt: Coeficiente de trabajo de la fortificación; (0.6-1)

Rt: resistencia a la tracción del hormigón.

η<sub>c</sub>: coeficiente que tiene en cuenta la combinación de distintas cargas; (0.9-0.95).

K<sub>f</sub>: Coeficiente que se obtiene en dependencia del tipo y paso de la fortificación, cuando se utiliza específicamente el gunitado K<sub>f</sub>= 0.35.

**4.5- Cálculo de Bulones:**

La fortificación de anclas se considera progresiva y ventajosa del punto de vista económico y pueden ser empleadas en un gran rango de condiciones minero-técnicas.

Es importante señalar que tanto la longitud de los bulones como el espaciamiento entre ellos pueden ser determinados de manera sencilla por Barton, pero también conocemos que se puede determinar de forma más exacta a la realidad por otras vías, la utilización de fórmula que tengan en cuenta las condiciones geomecánicas del macizo, entre otras características.

**A) \_Longitud de los Bulones:**

Para excavaciones que tienen ancho menores de 6 m se determina la longitud de los bulones por:

$$L = \frac{B}{2} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ m}$$

Donde:

B: ancho de la excavación.

Aunque existen otras fórmulas para determinar la longitud de los bulones, no todas son aplicables para todo tipo de excavaciones, pues hay que tener muy en cuenta las condiciones particulares de cada macizo. Por lo antes mencionado, tenemos que tener en cuenta el factor de seguridad FS para determinar la longitud real del bulón que utilizaremos para que cumpla con las exigencias del sostenimiento.

$$Lrb = L + FS$$

$$Lrb = 2.5 + 0.88$$

$$Lrb = 3.38 \text{ m}$$

Donde:

Lrb: longitud real del bulón; m.

Es importante conocer que este solo es un resultado de proyecto, además de haber tenido en cuenta este factor de seguridad, hay que tener en cuenta el espesor de la capa que se va a coser.

B) \_El espaciamiento de los pernos se calculan a partir de tener la longitud de cada perno, es decir que:

$$d = \frac{L}{2} = \frac{2.5}{2} = 1.25 \text{ metros}$$

Donde:

L: semiancho de la excavación.

#### **4.6- Longitud Máxima sin Soporte (Barton):**

**Tramo I:**

$$CLARO = 2 * ESR * Q * 0.4; m$$

$$CLARO = 2 * 1.6 * 2.66 * 0.4$$

$$CLARO = 3.4 \text{ m}$$

**Tramo II:**

$$CLARO = 2 * ESR * Q * 0.4; m$$

$$CLARO = 2 * 1.6 * 1.84 * 0.4$$

$$CLARO = 2.4 \text{ m}$$

**Tramo III:**

$$CLARO = 2 * ESR * Q * 0.4; m$$

$$CLARO = 2 * 1.6 * 2.79 * 0.4$$

$$CLARO = 3.6 \text{ m}$$

**Tramo IV:**

$$CLARO = 2 * ESR * Q * 0.4; m$$

$$CLARO = 2 * 1.6 * 2.8 * 0.4$$

$$CLARO = 3.6 \text{ m}$$



**Tabla 22 – Resultados de los cálculos obtenidos.**

TRAMOS	Longitud máxima sin soporte (CLARO)	Espaciamiento entre pernos(d)	Longitud real del bulón (Lrb)	Longitud del bulón(L)	Espesor de la fortificación(e)	Carga para el sostenimiento (p)	FS	Altura de la bóveda de destrucción (b)
I	3.4m	1.25m	3.38m	2.5m	5cm	5.42Tnf/m <sup>2</sup>	0.88	1.07m
II	2.4m	1.25m	3.38m	2.5m	6cm	5.8Tnf/m <sup>2</sup>	0.88	1.07m
III	3.6m	1.25m	3.38m	2.5m	5cm	5.38Tnf/m <sup>2</sup>	0.88	1.07m
IV	3.6m	1.25m	3.38m	2.5m	5cm	5.37Tnf/m <sup>2</sup>	0.88	1.07m

## Capítulo 5: Evaluación de los Impactos Económicos y Ambientales.

### Introducción:

Para determinar el valor de los trabajos se consultó el listado oficial de precios emitido por el Ministerio de Finanzas y Precios (Instrucción No. 7/2005). La presente investigación fue programada con las técnicas más modernas de procesamiento digital de la información numérica, de imagen y de posicionamiento global (GPS), con un volumen mínimo de trabajo que abarata los costos, disminuye los tiempos de entrega y a su vez aumenta la calidad del producto terminado. El presente trabajo como bien se explica en capítulos anteriores es un estudio de factibilidad que no se desarrollaron trabajos de campo por lo cual no hay afectaciones el medio ambiente, pero un aspecto tan esencial como este no podríamos pasarlo por alto por lo que se identificaron los impactos ambientales.

### 5.1- Impactos identificados

- ✓ Pérdida de la capa vegetal.
- ✓ Compactación de los suelos.
- ✓ Contaminación por derrames de combustibles y desechos sólidos.
- ✓ Afectación al medio ambiente de las comunidades faunísticas y florísticas.
- ✓ Contaminación del aire por polvo y gases de los equipos.

### 5.2- Medidas para mitigar, prevenir o eliminar el impacto:

- Rehabilitar las condiciones original luego de retirada las facilidades temporales, etc.
- Cumplir con el pasaporte de perforación y voladura para evitar agrietamiento excesivo del macizo rocoso.
- Racionalizar al máximo el proyecto de voladuras, así como cumplir estrictamente los requerimientos del mismo para disminuir los niveles de ruidos, y polvo en la atmósfera.
- Realizar las tareas constructivas en las áreas establecidas, evitando en lo posible los ruidos y la destrucción de la vegetación no prevista.
- Humedecer las vías de circulación, para disminuir al máximo la emisión de polvo a la atmósfera.



- Evitar el vertimiento de materiales y productos de la construcción (hormigón, lechada de cemento, etc.), así como, combustibles y/o lubricantes al lecho de los ríos.
- Cumplir con los planes de mantenimiento establecidos para todos los equipos, máquinas herramientas y vehículos automotores, así como instalar filtros de humo y silenciador a los equipos de combustión interna, para minimizar las emisiones de ruidos y gases.
- Rehabilitar por medio de la reforestación a los terraplenes y taludes, para disminuir y eliminar las pérdidas de suelo por erosión y los impactos visuales.
- Proveer a los obreros de los medios de protección adecuados durante los procesos de construcción y operación de la obra para proteger la salud y seguridad de los trabajadores, esto incluye controles adecuados de seguridad y contra accidentes.
- Colocar elementos de señalización en el área de la obra para evitar accidentes de los pobladores y trabajadores.
- Utilizar los aditamentos necesarios en los motores de equipos y maquinarias de construcción que permitan disminuir al mínimo posible los niveles de ruido y la expulsión de gases de combustión, así como instalar mata chispas en estos vehículos.

Se prevé que en las escombreras sean restablecidas con las mismas condiciones que existían que existían antes de realizar el movimiento de tierra. Además de lo planteado en el documento, podemos decir que una vez finalizados los trabajos de la construcción en los túneles de los cuales esta obra forma parte, y su puesta en explotación tendrá una incidencia positiva en la población y la agricultura ya que las aguas que serán trasladada del Este al Oeste servirán de abasto a la población y la utilización en la agricultura para la producción de los cultivos fundamentales en la alimentación de la población. También podemos reflejar que los habitantes que viven el curso del trazado del canal que se ven desplazados de sus propiedades, se les tendrán en cuenta sus necesidades materiales y espirituales con vista a compensar en gran medida las posibles afectaciones sufridas.

### 5.3- Cálculos Económicos.

<b>COSTOS PARA EL REVESTIMIENTO. TRAMO I (ESPESOR 5CM)</b>			
<b>ITEM</b>	<b>COSTO POR m. LINEAL</b>	<b>LONGITUD (m.)</b>	<b>GASTOS POR TRAMO</b>
<b>Materiales</b>			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$38.96	10	\$398.6
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$25.20	10	\$252
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$2.55	10	\$25.5
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1.94	10	\$19.4
HORMIGON 30.0MPA	\$60.05	10	\$600.5
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$8.10	10	\$81
<b>SUB TOTAL Materiales</b>	<b>\$136.8</b>	10	<b>\$1368</b>
<b>Mano de obra</b>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$8.15	10	\$81.5
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$8.15	10	\$81.5
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$8.45	10	\$84.5
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$10.50	10	\$105
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$9.00	10	\$90
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$7.03	10	\$70.3
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$7.03	10	\$70.3
<b>SUB TOTAL Mano de obra</b>	<b>\$58.31</b>	10	<b>\$583.1</b>
<b>Equipos</b>			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$8.10	10	\$81
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$3.30	10	\$33
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$7.20	10	\$72
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$23.03	10	\$230.3
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$3.70	10	\$37
<b>SUB TOTAL Equipos</b>	<b>\$45.33</b>	10	<b>\$453.3</b>
<b>Bulonado</b>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$4.90	10	\$49
ALBANIL DEL GRUPO SALARIAL V	\$5.35	10	\$53.5
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$6.54	10	\$65.4
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$4.90	10	\$49
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$4.98	10	\$49.8
<b>SUB TOTAL Bulonado</b>	<b>\$26.67</b>	10	<b>\$266.7</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$267.11</b>	10	<b>\$2671.1</b>



<b>COSTOS PARA EL REVESTIMIENTO. TRAMO III (ESPEJOR 5CM)</b>			
<b>ITEM</b>	<b>COSTO POR m. LINEAL</b>	<b>LONGITUD (m.)</b>	<b>GASTOS POR TRAMO</b>
<b>Materiales</b>			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$38.96	60	\$2337.6
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$25.20	60	\$1512
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$2.55	60	\$153
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1.94	60	\$116.4
HORMIGON 30.0MPA	\$60.05	60	\$3603
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$8.10	60	\$486
<b>SUB TOTAL Materiales</b>	<b>\$136.8</b>	60	<b>\$8208</b>
<b>Mano de obra</b>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$8.15	60	\$489
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$8.15	60	\$489
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$8.45	60	\$507
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$10.50	60	\$630
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$9.00	60	\$540
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$7.03	60	\$421.8
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$7.03	60	\$421.8
<b>SUB TOTAL Mano de obra</b>	<b>\$58.31</b>	60	<b>\$3498.6</b>
<b>Equipos</b>			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$8.10	60	\$486
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$3.30	60	\$198
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$7.20	60	\$432
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$23.03	60	\$1381.8
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$3.70	60	\$222
<b>SUB TOTAL Equipos</b>	<b>\$45.33</b>	60	<b>\$2719.8</b>
<b>Bulonado</b>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$4.90	60	\$294
ALBANIL DEL GRUPO SALARIAL V	\$5.35	60	\$321
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$6.54	60	\$392.4
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$4.90	60	\$294
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$4.98	60	\$298.8
<b>SUB TOTAL Bulonado</b>	<b>\$26.67</b>	60	<b>\$1600.2</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$267.11</b>	60	<b>\$10684.4</b>

<b>COSTOS PARA EL REVESTIMIENTO. TRAMO IV (ESPESOR 5CM)</b>			
<b>ITEM</b>	<b>COSTO POR m. LINEAL</b>	<b>LONGITUD (m.)</b>	<b>GASTOS POR TRAMO</b>
<b>Materiales</b>			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$38.96	50	\$1948
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$25.20	50	\$1260
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$2.55	50	\$127.5
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1.94	50	\$97
HORMIGON 30.0MPA	\$60.05	50	\$3002.5
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$8.10	50	\$405
<b>SUB TOTAL Materiales</b>	<b>\$136.8</b>	50	<b>\$6480</b>
<b>Mano de obra</b>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$8.15	50	\$407.5
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$8.15	50	\$407.5
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$8.45	50	\$422.5
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$10.50	50	\$525
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$9.00	50	\$450
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$7.03	50	\$351.5
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$7.03	50	\$351.5
<b>SUB TOTAL Mano de obra</b>	<b>\$58.31</b>	50	<b>\$2915.5</b>
<b>Equipos</b>			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$8.10	50	\$405
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$3.30	50	\$165
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$7.20	50	\$360
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$23.03	50	\$1151.5
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$3.70	50	\$185
<b>SUB TOTAL Equipos</b>	<b>\$45.33</b>	50	<b>\$2266.5</b>
<b>Bulonado</b>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$4.90	50	\$245
ALBANIL DEL GRUPO SALARIAL V	\$5.35	50	\$267.5
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$6.54	50	\$327
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$4.90	50	\$245
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$4.98	50	\$249
<b>SUB TOTAL Bulonado</b>	<b>\$26.67</b>	50	<b>\$1333.5</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$267.11</b>	50	<b>\$13355.5</b>

<b>COSTOS PARA EL REVESTIMIENTO. TRAMO II (ESPESOR 6CM)</b>			
<b>ITEM</b>	<b>COSTO POR m. LINEAL</b>	<b>LONGITUD (m.)</b>	<b>GASTOS POR TRAMO</b>
<b>Materiales</b>			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$41,98	10	\$419.8
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$30,29	10	\$302.9
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$3,68	10	\$36.8
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1,94	10	\$19.4
HORMIGON 30.0MPA	\$56,60	10	\$566
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$10,47	10	\$104.7
<b>SUB TOTAL Materiales</b>	<b>\$144,96</b>	10	<b>\$1449.6</b>
<b>Mano de obra</b>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$9,29	10	\$92.9
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$9,29	10	\$92.9
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$9,46	10	\$94.6
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$12,41	10	\$124.1
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$10,15	10	\$101.5
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$9,46	10	\$94.6
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$9,46	10	\$94.6
<b>SUB TOTAL Mano de obra</b>	<b>\$69,52</b>	10	<b>\$695.2</b>
<b>Equipos</b>			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$8,23	10	\$82.3
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$3,84	10	\$38.4
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$9,83	10	\$98.3
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$26,66	10	\$266.6
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$4,02	10	\$40.2
<b>SUB TOTAL Equipos</b>	<b>\$52,58</b>	10	<b>\$525.8</b>
<b>Bulonado</b>			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$4,90	10	\$49
ALBANIL DEL GRUPO SALARIAL V	\$5,35	10	\$53.5
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$6,54	10	\$65.4
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$4,90	10	\$49
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$4,98	10	\$49.8
<b>SUB TOTAL Bulonado</b>	<b>\$26,67</b>	10	<b>\$266.7</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$293,73</b>	10	<b>\$2937.3</b>

**Costo total para revestimiento del túnel (actualmente aplicado).**

<b>COSTO TOTAL</b>			
<b>TRAMOS</b>	<b>COSTO TOTAL POR m. LINEAL</b>	<b>LONGITUD (m.)</b>	<b>GASTO TOTAL POR TRAMO</b>
I (Espesor 10cm)	\$554.42	10	\$5544.2
II (Espesor 10cm)	\$554.42	10	\$5544.2
III(Espesor 10cm)	\$554.42	60	\$33265.2
IV(Espesor 10cm)	\$554.42	50	\$27721
<b>TOTAL</b>	<b>\$2217.68</b>	<b>130</b>	<b>\$72074.6</b>

**Costo Total para revestimiento del túnel (nueva propuesta).**

<b>COSTO TOTAL</b>			
<b>TRAMOS</b>	<b>COSTO TOTAL POR m. LINEAL</b>	<b>LONGITUD (m.)</b>	<b>GASTO TOTAL POR TRAMO</b>
I (Espesor 5 cm)	\$267.11	10	\$2671.1
II (Espesor 6 cm)	\$293.73	10	\$2937.3
III(Espesor 5 cm)	\$267.11	60	\$10684.4
IV (Espesor 5 cm)	\$267.11	50	\$13355.5
<b>TOTAL</b>	<b>\$1095.03</b>	<b>130</b>	<b>\$29648.3</b>

Al diferenciar los tramos en 5cm y 10 cm de espesor, e incluirlos en la valoración económica, se logra ahorrar:

Ahorro del costo total por metro lineal: \$ 861.93.

Ahorro del gasto total por tramos: \$ 39819.4.

Al diferenciar el tramo en 6cm y 10cm de espesor, e incluirlo en la valoración económica, se logra ahorrar:

Ahorro del costo total por metro lineal: \$ 260.69

Ahorro del gasto total por tramos: \$ 2606.9



## **Conclusiones.**

Después de realizado los cálculos de sostenimiento para la Cámara de Acceso se concluye que:

1-No es necesario la utilización del espesor de proyecto (10cm) para todos los tramos de la Cámara

2-Con la propuesta de espesor realizada para los diferentes tramos de la Cámara se logra un ahorro considerable de los recursos.



## **Recomendaciones.**

Se recomienda:

- 1- Realizar en todas las obras del país con estas mismas características el análisis de estabilidad por tramos, para lograr mayor calidad y evitar gastos innecesarios en la construcción de las obras.
- 2- Aplicar el sostenimiento según los principales parámetros de cálculos de estabilidad obtenidos para cada tramo de la Cámara.
- 3- Recalcular las características de sostenimiento considerando el incremento de la presión hidrostática a consecuencia del llenado de la presa melones.
- 4- Coordinar con la Facultad de Geología y Minas la inserción de estudiantes para la realización de prácticas docentes y trabajos de diploma.



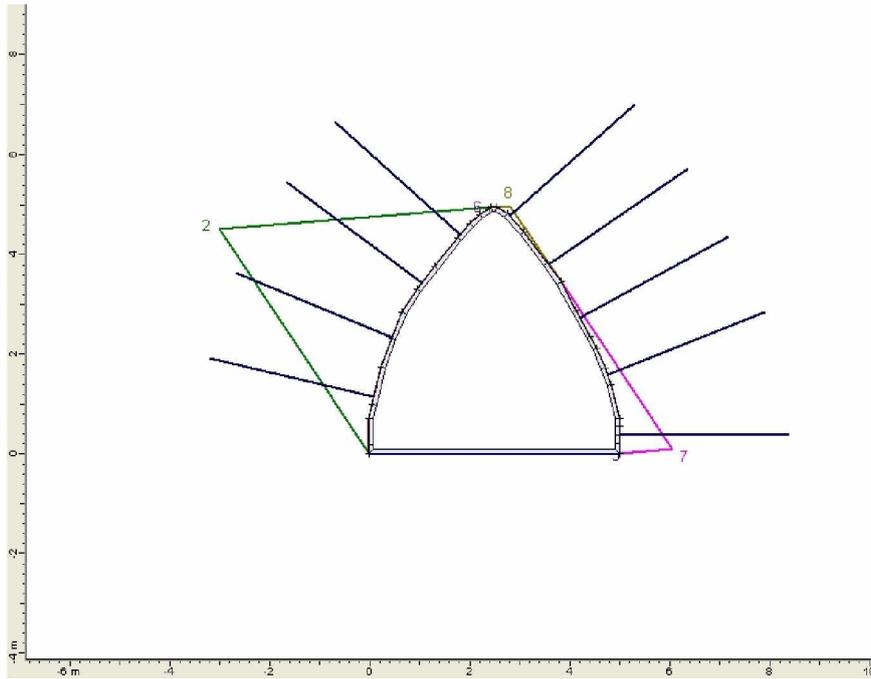
## Bibliografía.

1. ACC (1989): Nuevo Atlas Nacional de Cuba. C. Habana.
2. Adamivich A, F. et al. (1963): Estructuras montañosas de Sierra de Nipe y Cristal, provincia de Oriente. Informe Geológico. Fondo Geológico Nacional. Ciudad de la Habana.
3. Albert et al. (1988): Mapa Geológico de la Región Mayarí- Sagua-Moa, 1: 250 000.
4. Alvero, F. F. (1988): Diccionario Manual de Lengua Española. Cervantes. Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana.
5. Blanco Torrens, R: Elementos de Mecánica de Roca para Macizos Rocosos; Editorial.
6. Blanco Torrens, R. (1993): Fortificación de Excavaciones Horizontales: Editorial Félix Varela. La Habana.
7. Calzadilla Coello, A.(2008): Análisis Estructural aplicada a la estabilidad del Tramo Intermedio Colorado-Monteverde del Túnel Enmedio-Guayabo correspondiente al Traslase Este-Oeste. ISMM. Trabajo de Diploma. (77p).
8. Cordovez Pedrianes, J. M (2005): Estudio Regional Básico Tramo Sagua-Melones. CM. Holguín. Informe Interno. (79 p).
9. Diagnóstico ambiental inicial (2005): Unidad Empresarial de Base Geotecnia y Perforación. EIPHH. Holguín.
10. González Brizuela, Y (2008): Cálculo del sostenimiento con hormigón proyectado con fibras de acero a partir de la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el Túnel Enmedio-Guayabo correspondiente al Traslase Este-Oeste. ISMM. Trabajo de Diploma. (84p).
11. Listado Oficial de Precios. Resolución N°106/1997. ENIA-MICONS.
12. Manual de procedimientos generales. EIPHH. UEBGP.
13. Pérez H. C., et al (1990): Traslase Este-Oeste. Túnel del Tramo Seboruquito-Esperanza. Investigación Ingeniero-Geológica. EIPHH. Holguín.

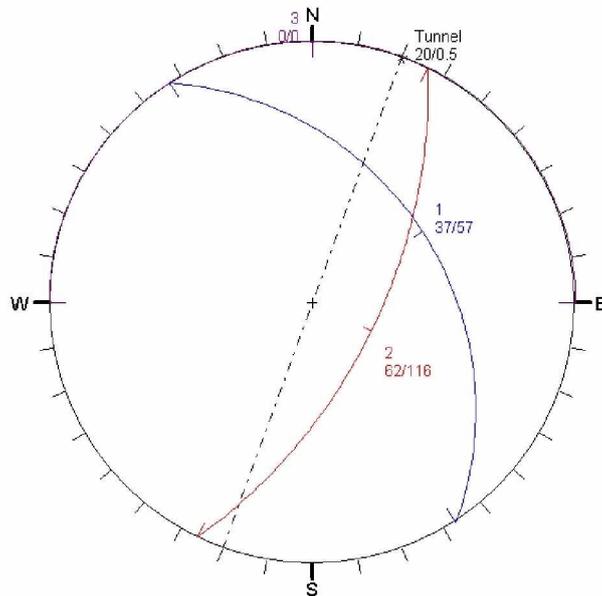


14. Pérez H. C., Hidalgo H. A. y Sánchez R. G. (1990): Traslase Este-Oeste. Tramo de Túnel Seboruquito-Esperanza. Investigación Ingeniero-Geológica. EIPHH. Holguín. Tomos I y II.
15. Sánchez G. e Hidalgo A. (1990): Traslase Este-Oeste. Tramo de Túnel Enmedio-Guayabo. Investigación Ingeniero-Geológica. EIPHH. Holguín.
16. Jürgen Hofler e Jürg Schlumpt, Concreto Proyectado en la Construcción de Túneles.
15. Manual completo para las clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso.

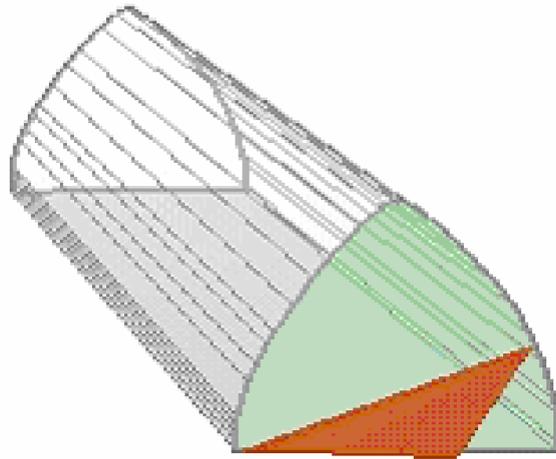
## Anexos.



**Anexo #1:** Sección transversal del túnel (Revestimiento y Bulonado).

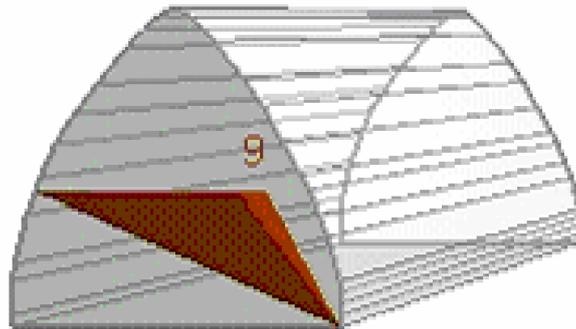


**Anexo #2:** Dirección del eje de la cámara.



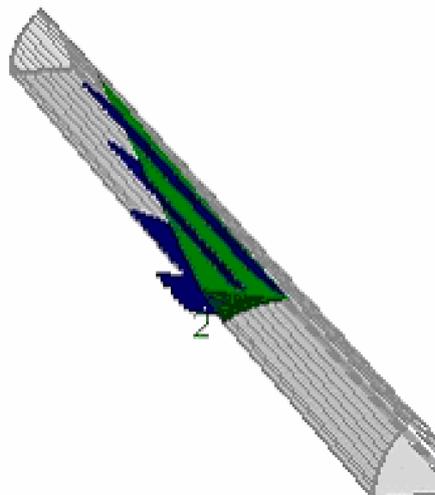
10

**Anexo #3:** Cuña lejana final.

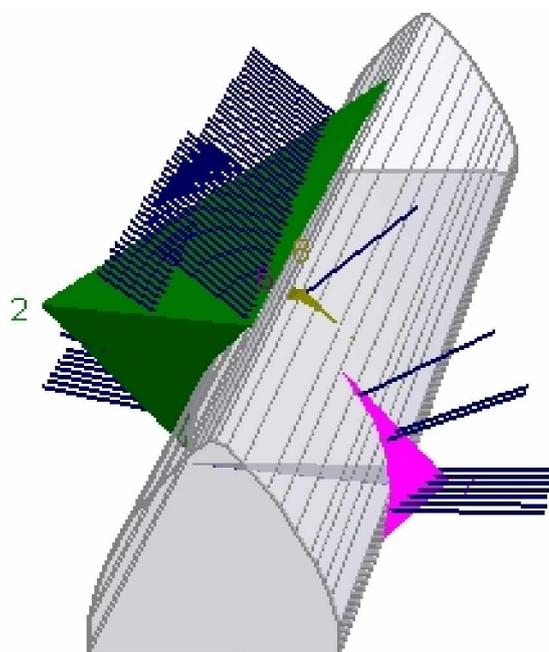


9

**Anexo #4:** Cuña cerca del fin.

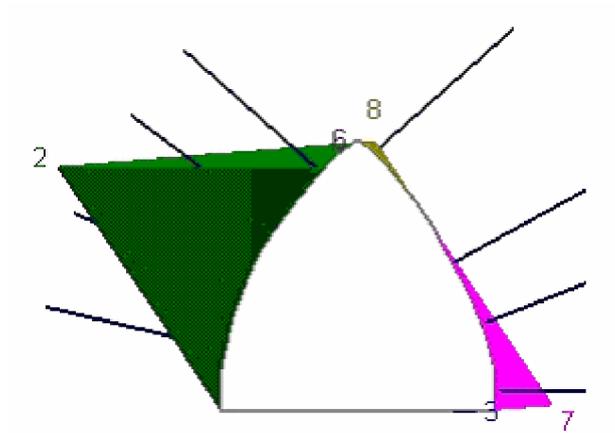


**Anexo #5:** Cuña izquierda superior.

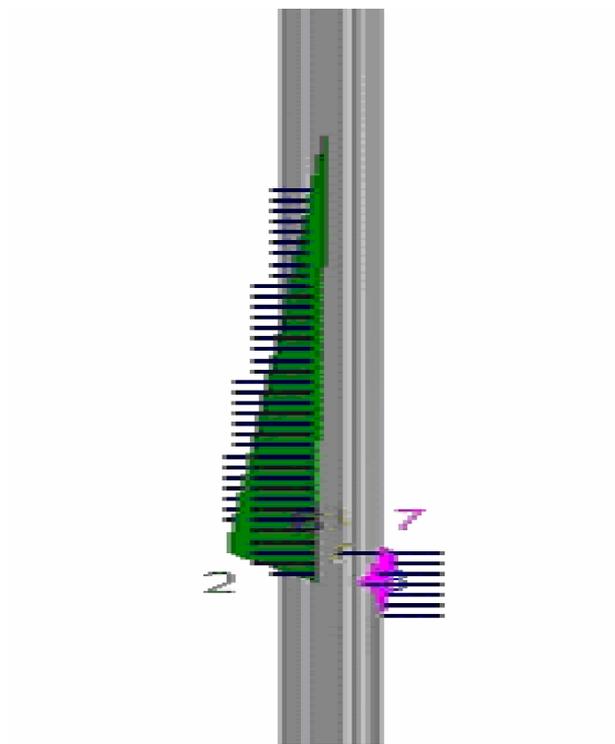


**Anexo #6:** Vista longitudinal de la excavación.

Cuñas	FS	Peso de la Cuña	Volumen de la Cuña	Área de la Cuña sobre la Excavación
 2	16.393	316.78 Tn	117.326 m <sup>3</sup>	73.87 m <sup>2</sup>
 3	65440.661	0.335 Tn	0.124 m <sup>3</sup>	10.39 m <sup>2</sup>
 6	6715.818	0.000 Tn	0.000 m <sup>3</sup>	0.01 m <sup>2</sup>
 7	824.189	18.035 Tn	6.68 m <sup>3</sup>	13.11 m <sup>2</sup>
 8	2515.42	0.004 Tn	0.001 m <sup>3</sup>	0.08 m <sup>2</sup>



**Anexo #7:** Vista frontal de la excavación.



**Anexo #8:** Vista en planta de la excavación.

**Tramo I**

<b>Reporte</b>			<b>Fecha:</b> 01/07/2009 <b>Autor:</b>		
<b>Evaluación Cualitativa del Macizo Rocoso y Propuesta de Sostenimiento.</b>					
<b>Nombre del proyecto</b> Calculo de Sostenimiento Tramo I			<b>Tipo de Obra</b> Cámara de Acceso		
			<b>Tipo de Roca</b> serpentina		
<b>Calidad del Macizo</b> Según Barton.	<b>Valor</b> 2,06	<b>Denominación</b> Roca mala			
<b>Propuesta de Sostenimiento:</b> Hormigón lanzado con Fibras. (50mm-90mm) + Anclado, S(fr)+B Longitud del anclado: 3 m Separación entre anclas: 1.40 m					

**Anexo #9: Resultados de espesores obtenidos por el software ContExc.**

**Tramo II**

<b>Reporte</b>			<b>Fecha:</b> 01/07/2009 <b>Autor:</b>		
<b>Evaluación Cualitativa del Macizo Rocoso y Propuesta de Sostenimiento.</b>					
<b>Nombre del proyecto</b> Calculo de Sostenimiento Tramo II			<b>Tipo de Obra</b> Cámara de Acceso		
			<b>Tipo de Roca</b> serpentina		
<b>Calidad del Macizo</b> Según Barton.	<b>Valor</b> 1,82	<b>Denominación</b> Roca mala			
<b>Propuesta de Sostenimiento:</b> Hormigón lanzado con Fibras. (50mm-90mm) + Anclado, S(fr)+B Longitud del anclado: 3 m Separación entre anclas: 1.40 m					

**Anexo #10: Resultados de espesores obtenidos por el software ContExc.**

**Tramo III****Reporte**

Fecha:01/07/2009 Autor:

<b>Evaluación Cualitativa del Macizo Rocosó y Propuesta de Sostenimiento.</b>		
<b>Nombre del proyecto</b> Calculo de Sostenimiento Tramo III	<b>Tipo de Obra</b> Cámara de Acceso	
	<b>Tipo de Roca</b> serpentina	
<b>Calidad del Macizo</b> Según Barton.	<b>Valor</b> 2,88	<b>Denominación</b> Roca mala
<b>Propuesta de Sostenimiento:</b> Hormigón lanzado con Fibras. (50mm-90mm) + Anclado, S(fr)+B Longitud del anclado: 3 m Separación entre anclas: 1.40 m		

**Anexo #11: Resultados de espesores obtenidos por el software ContExc.****Tramo IV****Reporte**

Fecha:01/07/2009 Autor:

<b>Evaluación Cualitativa del Macizo Rocosó y Propuesta de Sostenimiento.</b>		
<b>Nombre del proyecto</b> Calculo de Sostenimiento Tramo IV	<b>Tipo de Obra</b> Cámara de Acceso	
	<b>Tipo de Roca</b> serpentina	
<b>Calidad del Macizo</b> Según Barton.	<b>Valor</b> 2,82	<b>Denominación</b> Roca mala
<b>Propuesta de Sostenimiento:</b> Hormigón lanzado con Fibras. (50mm-90mm) + Anclado, S(fr)+B Longitud del anclado: 3 m Separación entre anclas: 1.40 m		

**Anexo #12: Resultados de espesores obtenidos por el software ContExc.**