

Autor: Yunior González Brizuela...



**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
FACULTAD DE GEOLOGIA MINERIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Minas.



Título: Cálculo del sostenimiento con hormigón proyectado con fibras de acero a partir de la caracterización geomecánicas del macizo rocoso en el túnel En medio-Guayabo.

Autor: Yunior Gonzáles Brizuela.

Tutores: Maday Cartaya Pires.

"Año 50 de la Revolución"

Julio 2009

Autor: Yúnior González Brizuela...

Pensamiento.

Cuando las cosas vayan mal como a veces pasa,
Cuando el camino perezca cuesta abajo,
Cuando tus recuerdos mengüen y tus deudas suban,
Y al querer sonreír solo suspiras.

Cuando tus preocupaciones te tengan agobiado,
Descasa si te urge, pero no te rindas.

Así que no te rindas aunque el pasado sea lento,
El triunfo puede estar al doblar de la esquina,
El triunfo es fracaso al revés

Por eso decídete a luchar, sin duda,
Por que en verdad,
Cuando todo empeora, el que es valiente,
No se rinde, ¡Lucha!

Pablo Neruda.

Autor: Yúnior González Brizuela...

Agradecimientos:

A mi Madre y mi Padre quienes me han hecho ser todo lo que soy, por su amor y preocupación constante.

A mi hermano que siempre está dispuesto a darme su amor y respeto.

A mis grandes amigos Olmis, Yunel y Maikel.

A mis compañeros de tesis Erlen y Aldo por haberme aguantado por más de cinco meses en esta ardua tarea y por su colaboración desinteresada.

A todas mis tías y tíos por brindarme mucho cariño y ayudarme cuando los necesité.

Al colectivo de profesores del departamento de Minería por haberme formado para la vida profesional, transmitiendo incondicionalmente sus conocimientos y experiencias.

A mis compañeros de cuarto, Yonisbel, Rafael, Yadir, Leandris, Maikel, Vicente, Reinaldo y Jordán, por ser parte de mi familia por más de tres años.

A mis compañeros de aula Oscar, Rodolfo, Yurisdell, Nesthali, Roberto Carlos, Alexander, Maikel, Aliomar, Raquel, Yaneibis, Yeni y Yaritza por darme su amistad durante estos cinco años.

A mis vecinos más cercanos por ser la verdadera familia que uno necesita en la vida, Deimis, Iraida, Aída, Tila, Odalmi, María Cristina, Chago y Aldo.

Muchas Gracias.

Autor: Yunion González Brizuela...

Dedicatoria.

Dedico este trabajo:

A mis padres y a mis dos abuelitas Gloria e Inés por haberme dado su apoyo y cariño a lo largo de toda la vida, de parte de quien vive muy orgulloso de tenerlos.

A mi hermano por ser el mejor del Mundo.

A todos mis tíos y primos por brindarme todo su cariño y atención.

Autor: Yúnior González Brizuela...

RESUMEN

El presente trabajo, titulado Cálculo del sostenimiento con hormigón proyectado con fibras de acero a partir de la caracterización geomecánicas del macizo rocoso. Se ha realizado con el objetivo fundamental de lograr el sostenimiento del tramo intermedio del Túnel “En medio-Guayabo”, perteneciente al trasvase Este-Oeste de Mayarí, a fin de construir el túnel con la calidad requerida, y lograr la estabilidad necesaria para continuar con los trabajos futuros y finalmente trasvasar el agua

Para cumplir con el objetivo planteado se empleó el método de recopilación y análisis bibliográfico. Del procesamiento e interpretación de la información preliminar, se logró recopilar y confeccionar una serie de tablas y gráficos, los que permiten una mejor comprensión del tema tratado.

Según el análisis del macizo rocoso y el cálculo de estabilidad del túnel “En medio-Guayabo” (realizado en base a Q de Barton para la luz de la excavación de 6 m. y el RMR), el comportamiento de las rocas ante la construcción de la obra varía de muy mala a mala. Por consiguiente, se recomienda aplicar gunitaje reforzado más bulonado en todo el tramo del túnel, variando los espesores según el grado de inestabilidad.

Autor: Yunion González Brizuela...

ABSTRACT

The present work, titled "Calculus and design of the coating of tunnels with concrete projected with fibers. Thicknesses and Control of quality ", it has as primary objective to achieve the support of the Tunnel Enmedio Guayabo's intermediate stretch, belong to the decanting Mayarí's East West, in order to construct the tunnel with the quality demanded, and achieving the necessary stability to go on with future works and finally transvasing water

To accomplish the target, it was used the method of compilation and bibliographic analysis. From the processing and interpretation of preliminary information, it was been able to compile and to manufacture a series of draw and graphics, which allowed to improve understanding of theme dealed.

According to the analysis of the rocky massif and calculation of stability of the tunnel Enmedio Guayabo (realized according to Barton's Q for the light of 6 m. and the RMR's excavation), the behavior of the rocks in front of work's construction varies from very bad to bad. Consequently, it is recommended applying thicken and bolting the entire excavation, varying the thicknesses according to the grade of instability.

Autor: Yunion González Brizuela...

INDICE

INTRODUCCION	8
CAPITULO I. Antecedente y estudio actual del calculo del sostenimiento con hormigón con fibras de acero	11
I.1 Introducción.....	11
I.2 Reseña histórica.....	11
I.3 Revisión sobre el tema.....	14
I.3.1 Justificación de la investigación.....	14
I.3.2 Métodos investigativos.....	15
I.4 Metodología de la investigación.....	16
I.4.1 Marco teórico conceptual.....	16
I.4.2 Etapa preliminar.....	16
I.4.3 Interpretación de la información inicial.....	17
I.4.4 Etapa de gabinete.....	17
CAPITULO II. Caracterización Físico-Geográfica y geológica de la región de estudio	18
II.1 Introducción.....	18
II.2 localización y rasgos Físico-Geográfico de la región de estudio.....	18
II.2.1 Ubicación Geográfica.....	18
II.2.2 Orografía y red Hidrológica.....	18
II.2.3 Clima y vegetación.....	19
II.2.4 Población y redes de comunicación.....	21
II.2.5 Desarrollo industrial y agrícola.....	22
II.3 Característica geológica regionales.....	23
CAPITULO III. Actualización de las tecnologías y métodos actuales	28
III.1 Introducción.....	28
III.2 Procesos para la aplicación del concreto proyectado.....	29
III.2.1 Ventajas del concreto proyectado.....	30
III.2.2 Usos del concreto proyectado.....	30
III.3 Concreto proyectado reforzado con fibras.....	32
III.4 Áridos.....	35
III.5 Aditivos utilizados para la utilización del concreto.....	36
III.6 Maquinas y equipos para el hormigón proyectado.....	42
CAPÍTULO IV. Clasificaciones geomecánicas	45
IV.1 Introducción.....	45
IV.2 Introducción a las clasificaciones geomecánicas.....	45
IV.3 Clasificaciones geomecánicas.....	46
IV.3.1 Según Barton.....	46
IV.3.2 Según Bieniawki.....	52
IV.4 Análisis de estabilidad.....	58
IV.5 Resultados obtenidos.....	63
CAPÍTULO V. Calculo de sostenimiento o revestimiento	71
V.1 Introducción.....	71
V.2 Calculo del F.S.....	72
V.3 Calculo de sostenimiento en la excavación.....	72
CAPITULO VI. Evaluación económica	75
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	83

Autor: Yunior González Brizuela...

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.

Autor: Yunion González Brizuela...

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 litología 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 ya se han producido pérdidas de estabilidad, o sencillamente se fortifica toda la excavación, "preventivamente", considerando que el comportamiento de macizo será igual, demostrándose en la práctica que no siempre resulta así. Por lo que resulta de vital importancia el cálculo y diseño del revestimiento de los túneles con hormigón proyectado con fibras. 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 calicata intermedia Colorado Moteverde del túnel Enmedio-Guayabo correspondiente al trasvase Este-Oeste de Mayarí.

Objetivo: Calcular los espesores de revestimiento de hormigón proyectado con fibras de acero para el Túnel En Medio-Guayabo del Trasmvase Este-Oeste del Tramo Melones-Sabanilla.

Objetivo Específico:

1. Caracterización geomecánica del macizo rocoso por tramo de excavación.
2. Calculo del espesor de sostenimiento del hormigón proyectado con fibras de acero por tramos de excavación.
3. Calculo económico del sostenimiento.

Autor: Yúnior González Brizuela...

Objeto del trabajo: Túnel Enmedio-Guayabo del Tránsito Este-Oeste del Tramo Melones-Sabanilla.

Planteamiento del problema: Necesidad de garantizar la estabilidad del túnel y disminuir los costos de sostenimientos a partir del cálculo adecuado del mismo, considerando las características geomecánicas para cada tramo del túnel Enmedio-Guayabo.

Hipótesis: Si se realiza el cálculo del sostenimiento del túnel con hormigón proyectado con fibras de acero considerando las características geomecánicas por tramo de excavación es posible disminuir los costos y se garantiza un laboreo seguro en el túnel.

Autor: Yunion González Brizuela...

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ESTUDIO ACTUAL DEL CÁLCULO DEL SOSTENIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO CON FIBRAS DE ACERO A PARTIR DE LA CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN EL TÚNEL EN MEDIO-GUAYABO.

1.1 Introducción.

El hormigón lanzado es un mortero u hormigón transportado por algún medio, ya sea en vía húmeda o seca a través de una manguera y lanzado neumáticamente a una gran velocidad contra una superficie. Según el tamaño máximo del agregado en la mezcla, hablamos de hormigón lanzado desde 8 mm 25 mm. El hormigón lanzado es simplemente un sistema de colocación del hormigón. El hormigón sale dirigido de la boquilla contra la superficie de aplicación sobre la cual se adhiere, compactándose, al mismo tiempo por fuerza de impacto. En el momento de impactar sobre la superficie de aplicación, una parte del material rebota.

La superficie de aplicación o soporte, puede presentar cualquier forma de aplicación. La regulación agua-cemento en el hormigón lanzado es generalmente baja [0,4] y la resistencia cuando es colocado adecuadamente es mayor. Este requiere una mayor cantidad de cemento que está entre los 300 y 500 kilogramos por metros cúbicos.

Para elaborar el hormigón se utilizan los mismos ingredientes que en el hormigón tradicional, agua, cemento y agregados. El Hormigón lanzado es ideal utilizarlo en obras de consolidación de rocas, taludes y trabajos subterráneos [galerías, túneles y cavernas], para revestir e impermeabilizar obras hidráulicas como cisternas, estanques, en revestimientos en sentido general y en un sinnúmero de aplicaciones en sentido general.

1.2. Reseña Histórica.

Autor: Yunion González Brizuela...

Al iniciarse el siglo 20 diversas Industrias se establecieron en Lehigh Valley, Pensilvania (PA) donde se producía hierro y acero. La primera planta de cemento en Estados Unidos se fundó en Coplay, (PA) y la empresa Lehigh

Portland Cement Company Hacía 1897 en Allentown (PA). Hasta nuestros días la producción de cemento se considera unas importantes industrias.

Debido a ello otras industrias, profesionistas, así como la universidad de Lehigh se instalaron en ese estado con la finalidad de proporcionar servicios de ingeniería, diseño, pruebas, y manufacturas para la producción de acero y hormigón. En 1904 se funda el American Concrete Institute (ACI).y en 1916 la Portland Cement Association. Por lo antes mencionado no es de extrañarse que el invento del Hormigón lanzado surgiera en aquella zona. El primer uso que se le dio al hormigón lanzado consistió en un recubrimiento. Con esta finalidad el naturalista y embalsamador Estadounidense Carl E.Akeley inventó en 1907 su maquina de lanzar morteros, utilizada para recubrir la deteriorada fachada de Field Columbian Museum of. Natural Science de Chicago y para forrar los esqueletos metálicos de animales prehistóricos pues con el cimbrado tradicional no podían lograrse las formas irregulares en los músculos de los dinosaurios.

El desarrollo de la gunita (concreto lanzado) del equipo para su aplicación en la ciudad de Allentown (PA) no es una coincidencia En dicha comunidad había mucho conocimiento e interés por el cemento y el concreto, en método de construcción, en diseño y la fabricación de equipos comercialmente viables para colocar materiales como el inventado por Carl E.Akeley. El presentó su primer equipo en diciembre de 1910 el Cement Show en NY Un año después obtuvo la patente para el aparato conocido como Cement-Gunt, que funcionaba bajo un principio de dos cámaras presurizadas alternativamente, que permitían proyectar un mortero de cemento y de agregados finos, adicionándole el agua en la boquilla por medio de un anillo distribuidor para humedecer la mezcla antes de consolidarla sobre la superficie. En ese tiempo se creó la Cement-Gun Company, quien explotó comercialmente el invento y lo bautizó con el nombre Gunita que era en realidad un mortero aplicado neumáticamente. Zurich desarrolló a finales de 1957

Autor: Yúnior González Brizuela...

un modelo mejorado denominado Meyco GM 57. EL éxito mundial de esta nueva máquina indujo muy pronto a otros empresarios a producir máquinas de rotor.

El principio del rotor es en la actualidad el sistema predominante en máquinas de vía seca gracias a su solidez y facilidad de operación. A ello se debe que la máquina de tornillo de Senn haya desaparecido del mercado, mientras que los perfeccionados de la máquina de doble cámara permanezcan hasta nuestros días. Todas estas máquinas trabajan bajo el procedimiento de proyección, e inevitablemente producen polvo.

Con la finalidad de eliminar este inconveniente, se desarrollaron después de la Segunda Guerra Mundial, las máquinas de concreto lanzado por vía húmeda en las que se introducía previamente elaborada, conteniendo ya el agua necesaria para su colocación. Varias máquinas fueron diseñadas para este procedimiento mediante el empleo de bombas de concreto de pistón, aunque se ha utilizado otros tipos de equipos como, por ejemplo, bombas de gusano, bombas de peristálticas, que exprimen la manguera provocando el avance del concreto.

No obstante, este sistema ha demostrado muchas ventajas en comparación con la vía seca, tanto económicas como técnicas razón por la cual la mayoría de los trabajos con concreto lanzado se ejecutan generalmente con el último sistema. Recientes desarrollos de máquinas y aditivos para aplicación por vía húmeda, han incrementado su empleo especialmente en obras subterráneas.

Durante los últimos años ha apareado en mercado internacional una nueva especialidad, el concreto lanzado con fibras de acero. Estas fibras mejoran ciertas propiedades del concreto lanzado, especialmente su capacidad de trabajo, es decir, la capacidad de soportar ciertos esfuerzos después su ruptura, mayor resistencia al impacto y a la absorción de energía.

En 1971 se desarrollo en los Estados Unidos el concreto lanzado con fibra, la primera aplicación por el cuerpo de ingenieros de la presa Ririe en Idaho USA. A finales de los 70 se empleo por primera vez la microsílíce en el concreto proyectado en Noruega y en 1983 se usó por primera vez en la reparación del puerto de Vancouver en Canadá. Además, la tecnología del concreto lanzado

Autor: Yúnior González Brizuela...

continúa desarrollándose, el empleo de aditivos superfluidificantes, microsílise, polímeros, aditivos de efecto múltiple, fibras metálicas, fibras sintéticas, materiales refractarios, mezclas predosificadas, equipos de control remoto y brazos articulados hidráulicos han ampliado sus áreas de aplicación y capacidad para enfrenar nuevas y mayores exigencias.

La tendencia mundial hacia la implementación del concreto lanzado vía húmeda, en los últimos 15 a 20 años ha aumentado de forma exponencial en diversos trabajos subterráneos y en aplicaciones de soporte de rocas alrededor del mundo. Además del cambio a vía húmeda, en Noruega, Dinamarca, Suecia, Finlandia, Italia y otros países han cambiado la aplicación manual por la robótica.

1.3. Revisión Sobre el Tema.

1.3.1. Justificación de la Investigación.

Debido a la escasez de agua que padeció durante 10 años la región oriental y por la posibilidad de que el fenómeno climático vuelva a repetirse, con las consecuencias negativas que ya produjeron para la economía y la población es por lo que se ha hecho necesario tomar una serie de medidas para dar solución a esta problemática en el futuro y que en el impacto de la economía de la región sea mínimo.

El agua no es solo fuente de vida para los seres humanos sino que constituye un factor indispensable para la economía del país. La falta de agua en la región afecta el abasto del preciado líquido a la población, además a la agricultura, la ganadería y la industria. Una de las medidas tomadas por el gobierno cubano es la realización de estudios ingenieros-geológicos de algunas regiones para la construcción del complejo hidráulico, formado por presas, canales, puentes canales, túneles y estaciones de bombeo que permitan abastecer de agua a la parte central y occidental de la provincia Holguín y a las provincias de las Tunas y Camaguey.

La Calicata Intermedia del Tramo del Túnel Enmedio-Guayabo requiere de una confortable terminación para lograr el transporte de agua del Trasvase desde

Autor: Yúnior González Brizuela...

Enmedio hasta Guayabo y por ser el mismo una de las obras proyectadas por para dar solución a la problemática antes mencionada.

1.3.2. Métodos Investigativos

2. Los métodos empíricos que consistieron en la revisión de fuentes bibliográficas, documentos, informes y memorias geológicas con el objetivo de obtener información sobre el conocimiento del problema, el grado de estudio del mismo y su posible solución.
3. Los métodos estadísticos se utilizaron en la determinación de valores para tabular y procesar datos deseados.
4. Los métodos teóricos de análisis y síntesis, para el estudio y procesamiento de la información contenida en las referencias bibliográficas que permitió la caracterización del objeto y el campo de acción de la investigación
5. La inducción-deducción se utilizó para determinar las causas que provocaron el problema científico.
6. La modelación se empleó para la concreción del sistema de acciones didáctico- metodológicas y cognitiva a desarrollar.
7. El método de observación visual en el sitio y su entorno, para luego comparar los análisis de gabinete inicial con la información del trabajo de campo, que permitirá a su vez una valoración final de la investigación.

1.4. Metodología de la Investigación.

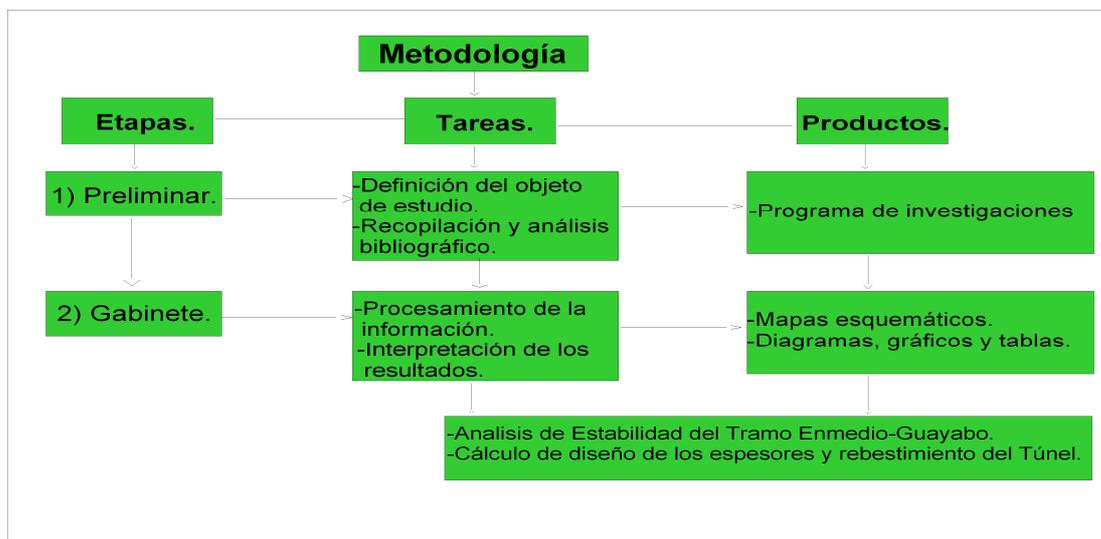


Figura 1.1 Metodología de la Investigación.

1.4.1. Marco Teórico Conceptual.

Las investigaciones son inherentes a un marco teórico conceptual, que debe analizarse siempre con el objetivo de constatar si la temática estudiada cuenta con algún trabajo anterior y en este caso la actualización y grado de desarrollo del mismo, así como la metodología que se aplica internacionalmente.

Para un mejor entendimiento y comprensión de la presente investigación, a continuación se ofrecen algunos términos, definiciones y aspectos importantes que se usan diariamente relacionados con el tema correspondiente.

1.4.2. Etapa Preliminar.

La información consultada se encontró en los archivos de la E.I.P.H.H. Holguín, en el Fondo Geológico del Departamento de Geología, en el Centro de Información Científico Técnica del ISMM de Moa y en la Unidad de Construcciones Militares (UCM) además de los materiales y bases de datos digitales ofrecidos por proyecto, el Léxico Estratigráfico actualizado para una mejor caracterización de las

Autor: Yunion González Brizuela...

formaciones y la tabla geocronológica para las edades de las mismas, así como consultas a expertos. Toda esta información y los datos obtenidos durante el control de estabilidad del tramo investigado se utilizaron para confeccionar el informe final de la investigación en la zona y área de estudio.

1.4.3. Interpretación de la Información Inicial.

Se realizó el análisis conjunto de todos los materiales con el objetivo principal de completar la información, para orientar los trabajos futuros de investigación, para la Etapa de Ingeniería de Detalle. Se determinaron los fenómenos físico-geológicos de mayor influencia en el área. En el procesamiento de las bases de datos y la cartografía digital, se emplearon los softwares: EXCEL, AUTOCAD MAP2004 y SURFER 8, DIPS, etc.

1.4.4. Etapa de Gabinete.

Los trabajos de gabinete iniciaron desde el mismo instante que comenzó la búsqueda, recopilación y análisis de materiales bibliográficos y de información primaria en los distintos centros y empresas, continuaron con la interpretación y procesamiento de los mismos, pero el peso de estos trabajos estuvo una vez que se obtuvieron los datos de los trabajos de campo, fue entonces que surgió el procesamiento e interpretación de los mismos. Se confeccionaron las bases de datos de las mediciones de grietas y fallas realizándose diferentes gráficos para la interpretación del agrietamiento.

Autor: Yúnior González Brizuela...

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

2.1. Introducción.

El macizo Mayarí-Baracoa representa un importante elemento de la geografía cubana con un endemismo de su flora y su fauna digna de considerar, por sus parques naturales que constituyen patrimonios de la humanidad como son Pico Cristal y Alejandro de Humbolt. Los rasgos geológicos están marcados por predominio de las rocas de la asociación ofiolíticas y las rocas Volcánicas que datan del Jurásico? al Cretácico, así como las rocas del arco del Paleógeno y cuencas superpuestas a éste, del Eoceno Medio Superior. Finalmente marcando un estudio de cierta estabilidad tectónica (relativa), conocido por algunos autores como platafórmicas o cuasiplatafórmica, se encuentran las secuencias del Oligoceno Medio Superior hasta el Reciente, predominantemente carbonatadas y terrígenos-carbonatadas, ubicadas al norte de la región. La exhaustiva revisión y análisis de la bibliografía existente ha permitido recoger, en síntesis los principales elementos físico- geográfico y geológico de la región de estudio.

2.2. Localización y Rasgos Físico-Geográficos de la Región de Estudio.

2.2.1 Ubicación Geográfica.

El Tramo final Monteverde-Colorado perteneciente al Túnel Enmedio-Guayabo del Tránsito 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 Fran 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 3 Km. al sur de la ciudad de Mayarí. Los límites principales de la zona se encuentran entre las coordenadas Lambert: $X_1:615000$ y $Y_1:214744$, $X_2:619500$ y $Y_2:219246$ en las hojas cartográficas 1:10 000 de

Autor: Yúnior González Brizuela...

Mayarí, representadas en el Túnel Enmedio-Guayabo en su totalidad (Figura 2.1).

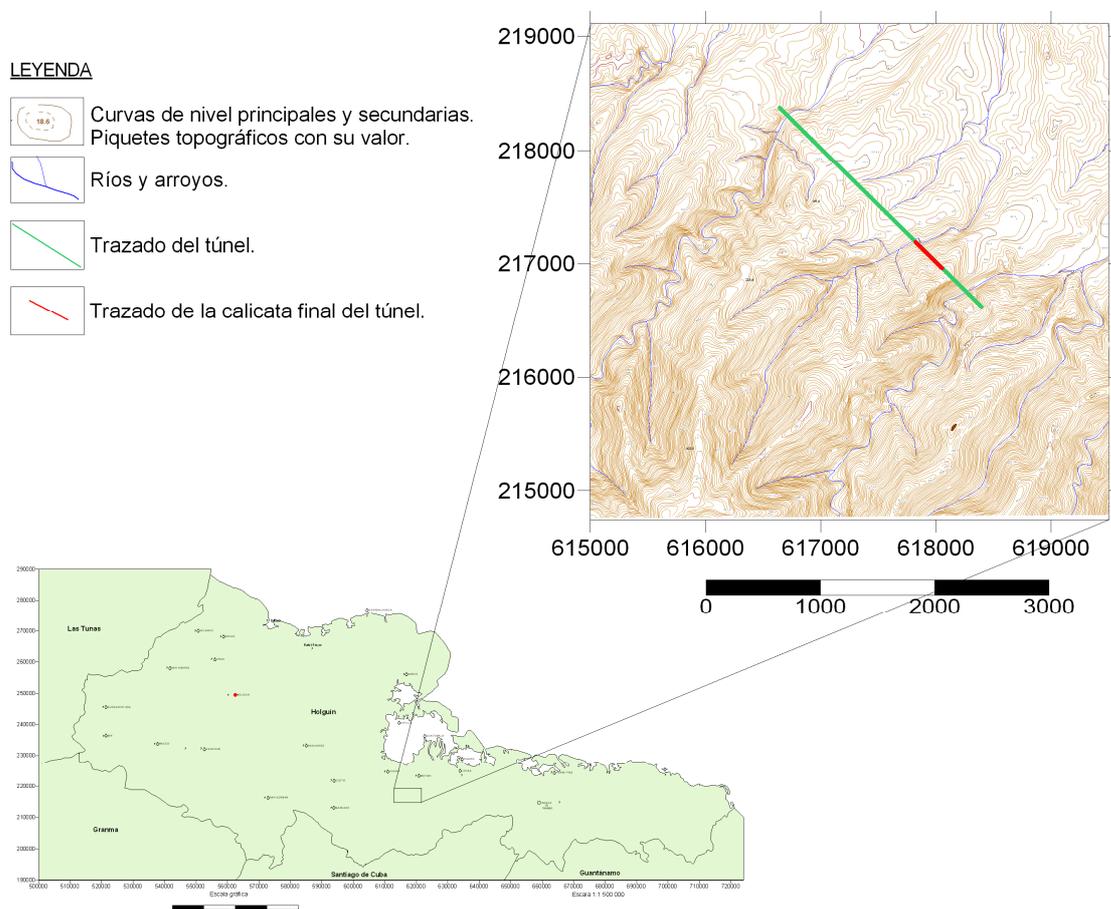


Figura 2.1 Mapa de Micro-localización y de datos reales de la zona de estudio.

2.2.2. Orografía y Red Hidrográfica.

- Características Orográficas.

Esta región está caracterizada por su diversidad y complejidad, existiendo llanuras costeras con partes pantanosas, 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.

Autor: Yúnior González Brizuela...

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° a 10°, 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 Cabonico 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 montañoso 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).

-Características hidrográficas.

Las características del relieve y el régimen de las precipitaciones han favorecido en la formación de una densa red hidrográfica que corre generalmente de sur a norte. Dentro de las principales corrientes fluviales se destacan los ríos de Sagua, Miguel, Santa Catalina, Río Grande, Cabonico, Levisa, Arroyo Blanco y Mayarí.

La red hidrográfica que predomina es dentrítica, el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones. Los niveles mas bajos se observan en el

Autor: Yúnior González Brizuela...

período de seca, noviembre-abril y los más elevados en el período de lluvias, mayo- septiembre. Las características generales del escurrimiento en la zona están basadas en crecidas extremadamente rápidas, con descensos más bien lentos.

2.2.3. 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, zona costera, es predominante de mangle rojo, en ocasiones de mangle prieto, 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.

2.2.4. Población y Redes de Comunicaciones.

- Población.

Autor: Yúnior González Brizuela...

Los poblados más importantes en la región son: la ciudad de Mayarí, Levisa, Cayo Mambí (Frank País) y Sagua de Tánamo, apareciendo también algunos caseríos diseminados como Cajimaya, Arroyo Blanco, El Purio, Cabonico, Téneme, Río Grande, El Jobo, El Sitio, Los Calderos, El Picado, San Pedro, Castro, Naranja Agrio, Granadillo y Los Plátanos 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.

2.2.5. 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

Autor: Yúnior González Brizuela...

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.

2.3. Características geológicas regionales.

Desde el punto de vista geológico el área se encuentra dentro de los límites del denominado Bloque Oriental Cubano, el cual es el más oriental de los tres grandes bloques que constituyen la estructura geológica cubana, con límites muy bien definidos por los siguientes sistemas de fallas regionales (figura 1.2).

- 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.

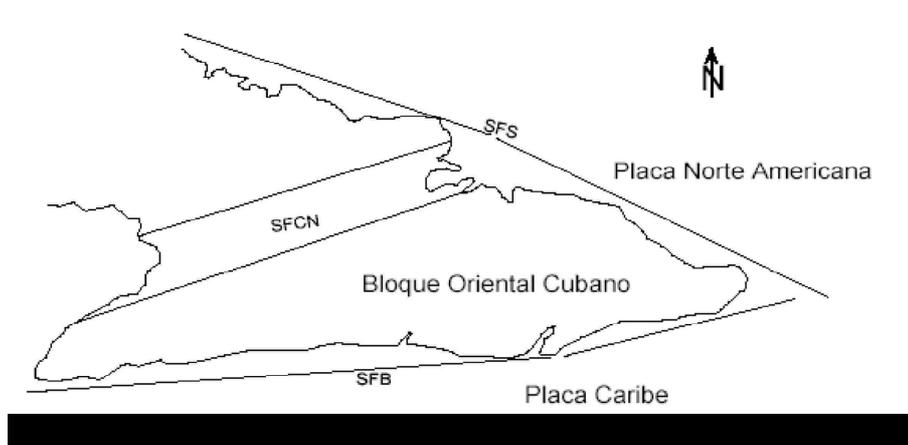
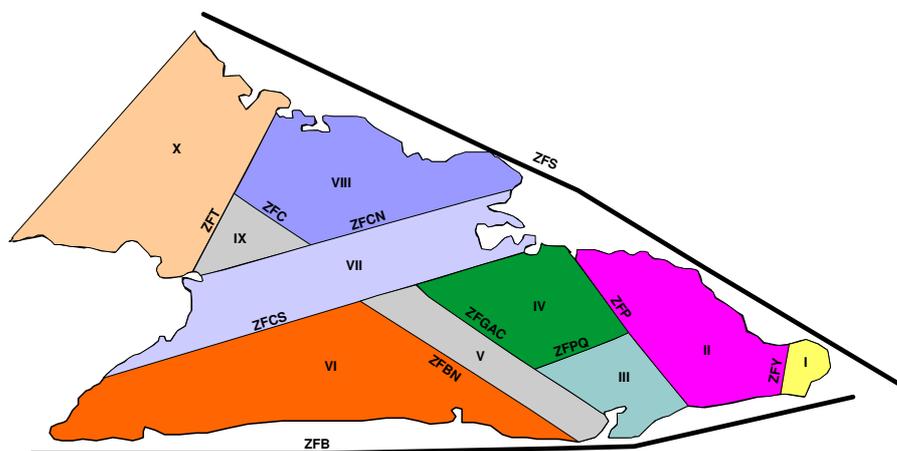


Figura Nº 2.2. Bloque Oriental cubano. Sistemas de fallas regionales: SFS Sistema de Falla Sabana; SFB Sistema de Falla Barttlet; SFCN Sistema de Fallas Cauto Nipe.

Según los terrenos tectono-estratigráficos propuestos (Blanco, J. y J. Proenza, 1994), la región de estudio se encuentra en el terreno Mayarí-Sierra Cristal (IV) cercano al terreno Cauto Nipe (VII), separado por la falla Cauto sur, en él están

Autor: Yúnior González Brizuela...

presentes las rocas de la asociación ofiolítica como basamento y sobre estas discordantemente las secuencias carbonatadas terrígenas terciarias y cuaternarias.



Nombres de los Terrenos: I, Asunción; II, Puriales-Moa; III, Guaso; IV, Mayarí Sierra Cristal; V, San Luís; VI, Sierra Maestra; VII, Cauto-Nipe; VIII, Maniabón; IX, Buena Ventura; X, Tunas-Camagüey.

Nombres de las fallas: ZFY Zona de falla Yumurí; ZFP Zona de falla Puriales; ZFPQ Zona de falla Palenque; ZFS Zona de falla Sabana; ZFB Zona de falla Bartlett; ZFBN Zona de falla Baconao; ZFGAC Zona de falla Guaso-Alto Cedro; ZFCS Zona de falla Cauto-Sur; ZFCN Zona de falla Cauto-Norte; ZFC Zona de falla Cacocum; ZFT, Zona de falla Tunas. (Blanco M. J. y Proenza J., 1994)

Figura Nº 2.3. Esquema de los Terrenos Tectonoestratigráficos en Cuba Oriental.

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad debido a la variedad litológica presente y a los distintos eventos tectónicos ocurridos al pasar del tiempo geológico. Iturralde-Vinent (1996), reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el substrato plegado y el neoaútóctono.

El substrato plegado está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfizados de edad pre-eoceno medio, que ocupan en la actualidad una posición diferente a la original, representando las unidades

Autor: Yúnior González Brizuela...

geológicas que lo integran y las grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe noroccidental (Iturralde-Vinent, 1996, 1998).

El neoa autóctono que está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del sustrato plegado. Esta última concepción es la más generalizadora de todas las empleadas hasta el momento, incluyendo en ellas las anteriores realizadas.

En Cuba Oriental las unidades continentales están representadas por el terreno Asunción, compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, la Fm Sierra Verde y la Fm Asunción, constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente, del Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

En la región de estudio están bien representadas las unidades oceánicas del sustrato plegado y de la cobertura, constituidas por:

- Las rocas de la asociación ofiolítica.
- Las rocas pertenecientes al Arco Insular Volcánico del cretácico.
- Las secuencias de rocas de las cuencas de piggy back del Campaniano Tardío-Daniano.
- Las secuencias de rocas del Arco de isla Volcánico del Paleógeno (Neoarco).
- Las secuencias de las rocas de las Cuencas de piggy back del Eoceno Medio-Oligoceno.

- Calicata Inicial:

La Calicata inicial se encuentra ubicada en el estacionado 0+042.73 que significa el inicio del túnel con la cota 62.16, compuesto por un muro de hormigón de 0,40m de espesor y de dimensiones 7,20 x 9,10m para mejorar las condiciones de entrada, por encima del techo del portal se recubre la superficie del macizo con una capa de hormigón simple de 10 MPa con talud 1:0,5 hasta la cota 83,00 aproximadamente con vista a mejorar la estabilidad del macizo de la zona.

Autor: Yunion González Brizuela...

La excavación de la calicata se realiza en dos etapas de trabajo: la I etapa comprende una excavación en la cota 62.16 con un ancho de 6,0 m y taludes laterales 1:0,5.

La II etapa se ejecuta cuando se vaya a fundir la estructura de rejilla, es decir terminados los trabajos de excavación y sostenimiento del túnel, la misma comprende una ampliación del ancho de la excavación hasta los 12,10 m manteniéndose los mismos taludes laterales y con dimensiones como se indica en la planta de esta etapa en el plano No 7.

- Estructura de Rejillas:

Se coloca al inicio del túnel y su función es evitar la entrada de basuras al mismo. Esta constituido por dos paredes laterales que parten del túnel y tienen 5,90m de altura conformando una transición con un ancho al frente de 9,10 m y al final el ancho del túnel en la zona en que se une con el. Por el frente consta de dos columnas ranuradas semicirculares, las cuales conjuntamente con las paredes determinan tres orificios con un ancho de 2,5 m donde van colocadas las rejillas las cuales pueden verse en el proyecto mecánico. En la parte superior de toda la estructura se funde un entramado de vigas en unión continua con las paredes sobre las cuales se colocan las losas prefabricadas (6 unidades) del techo evitándose así el acceso al túnel por la parte superior. Esta estructura no se re-hinchará por detrás de las paredes.

La cota de piso de la estructura es la 62.16 al igual que la calicata inicial y el hormigón a utilizar tendrá una R'bk de 20 MPa a los 90 días.

Previamente antes de la ejecución del piso como se fundirá un pre-piso de hormigón pobre de R'bk de 10 MPa y de espesor de 10 cm. a la edad de 90 días, el hormigón para las losas prefabricadas del techo tendrá R'bk de 20 MPa a los 28 días.

-Calicata Final:

La Calicata Final se encuentra ubicada en la Est. 0+382,87 del túnel, con cota de invertida en la 59,82 teniendo las mismas condiciones constructivas que las señaladas en la calicata inicial en cuanto a la fundición de la entrada.

Autor: Yunior González Brizuela...

En una primera etapa la excavación de la calicata se vincula con el camino de acceso para los trabajos de construcción del túnel y luego de concluidos estos trabajos se enlazará con el Canal "Guaro – Manacal" ya que los trazados no coinciden.

Se excavará una zanja para el drenaje de la calicata hasta interceptar la vaguada existente por un lateral del camino de acceso con pendiente $i = 0,001$ tal como se muestra en el plano No.6.

Debido a la extrema alteración del macizo en la zona de la embocadura se recomienda tiros de avances cortos y ejecutar el sostenimiento lo más rápido posible después de la excavación.

-Calicata Intermedia y estructura de unión:

En la estación 0+663.67 del trazado del túnel donde atraviesa una depresión en la cual es necesario realizar una calicata intermedia pues no garantiza el techo suficiente para la construcción del túnel. Esta calicata tiene una longitud (en el sentido del túnel) de 48,0m lo que permite efectuar las labores de construcción del túnel con amplitud. La cota de piso de la excavación es de 61,96 m en los extremos y una pendiente del 6 % hacia el centro para facilitar la evacuación de las aguas que durante las lluvias corren por la depresión.

Desde esta calicata proponemos ejecutar el primer tramo de este túnel, o sea, el tramo Enmedio - Colorado. Una vez concluidos los trabajos de ejecución del túnel se unen ambos subtramos de túnel mediante una galería de hormigón que tiene las mismas dimensiones que la abertura de las calicatas intermedias. (Ver plano No.8). Los caminos de acceso a la calicata no constituyen parte de este proyecto apareciendo como obras aparte.

Autor: Yunion González Brizuela...

Capítulo 3. Actualización de las tecnologías y métodos.

3.1. Introducción

Durante el siglo pasado el concreto proyectado ha remplazado todos los métodos tradicionales de revestimientos de túneles y se ha convertido en una alternativa muy importante en la estabilización de túneles excavados. La construcción moderna de túneles sin concreto proyectados es inconcebible. 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. El material de concreto proyectado se utiliza en un diseño de mezcla de concreto que está determinado por los requerimientos de aplicación y los parámetros especificados. 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 es una excelente herramienta para la estabilización y soporte de estructuras en tiempos muy cortos, así como para otras aplicaciones del concreto sin formaleta. El concreto proyectado es también una interacción entre hombre, máquina y concreto. Es un material de alto desempeño que funciona bien cuando estos tres elementos tienen éxito. El hombre personificado en el trabajo del lanzador, requiere gran habilidad técnica y dedicación al trabajo. Este debe poder confiar en la máquina como en concreto ha proyectado. Es la interacción y calidad de los componentes lo que finalmente determinan el éxito en la aplicación del concreto proyectado. En estos días de creciente movilidad y limitación de espacio, la necesidad de infraestructura subterránea continúa aumentando. El concreto proyectado tiene un papel crucial para el logro de este

Autor: Yúnior González Brizuela...

requisito. Este es un método económicamente ventajoso y casi ilimitado técnicamente, lo que lo convierte en la mejor alternativa. Su uso por vez primera tubo lugar en el año 1914 y desde entonces ha sido desarrollado y mejorado permanentemente a lo largo de las décadas recientes.

3.2. 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.

El proceso de fraguado determina su colocación. Después de producido, el concreto se transporta por medios convencionales al equipo de lanzado. El concreto proyectado es llevado al frente de trabajo por medio de tubos ó mangueras sellados y resistente a la presión y es lanzado y compactados. Los siguientes son los métodos para está etapa del proceso.

- 1.- Concreto proyectado por vía húmeda (Flujo denso).
- 2.- Concreto proyectado por vía seca (Flujo diluido).
- 3.- Concreto proyectado por vía húmeda (Flujo diluido)

Antes de ser lanzado el concreto pasa por lo boquilla a alta velocidad se forma un chorro de alta presión y los otros componentes importantes son añadidos, tales

Autor: Yunion González Brizuela...

como el agua, en caso del concreto proyectado vía seca aire comprimido en el proceso y acelerante de fraguado cuando se requiere. La mezcla de concreto proyectado debe ser preparada para ser lanzada en el substrato a alta presión lo que hace que este se densifique tan poderosamente que se forma al instante una estructura completamente compactada. Dependiendo del tiempo de fraguado puede aplicarse a cualquier elevación, incluso verticalmente sobre la cabeza.

El proceso de concreto proyectado tiene múltiple aplicaciones ya que puede ser usado en reparaciones de tunelería y minería, en estabilización de taludes y diseños artísticos de edificios.

3.2.1. 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.

Nota: El concreto proyectado es un método de construcción rápido, flexible y económico pero requiere de un alto grado de mecanización y operadores especializados.

3.2.2. 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.

Autor: Yúnior González Brizuela...

- 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.

En términos de importancia encabezan la lista, la tecnología la minería y la reparación de concreto. En la tunelería y la minería, los usos principales son la estabilización de la excavación y los arcos de revestimiento temporal o permanente. El concreto proyectado se emplean en otros trabajos, a menudo, por ejemplo, se llenan grandes cavidades con concretos proyectado. Este material ha confirmado y reforzado su posicionamiento. Con las dovelas de revestimiento de túneles (Entubado) y el anillo interior de concreto, como los principales métodos de colocación de concreto. Las limitaciones de su utilización radica en aspecto técnico y económicos, comparado con los otros procesos de colocación de concreto o métodos de construcción.

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 esta entre la excavación completa y la excavación parcial en muchas

Autor: Yunion González Brizuela...

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.

En construcción subterránea son requisitos la estabilización y el revestimiento debido y a menudo se inducen altos esfuerzo en las excavaciones recientes. Frecuentemente es permitida una deformación predeterminada de la sección excavada y solo después es hecha la estabilización dando sello no positivo. Esto ayuda a que lo esfuerzos sean distribuidos alrededor de la sección de excavación y en el área alrededor del frente de la excavación.

Estabilización.

El concreto proyectado es un material perfecto para estabilizar excavaciones. Su flexibilidad única en la elección del espesor al ser aplicado, la formulación del material (Fibra), el rendimiento, su desarrollo de resistencia a muy temprana edad (En húmedo ó en seco) y la capacidad que tienen de ser proyectado en cualquier momento sobre el concreto existente, lo hace el material más adecuado para estabilizar excavaciones.

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.

3.3. 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 de fibras, su disponibilidad creciente y si inclusión en varios estándares. Puede

Autor: Yúnior González Brizuela...

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 tensión 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.

Aunque existen diferentes tipos de fibras que principalmente pueden ser adecuados para el concreto proyectado en nuestro caso utilizamos la fibra de acero que es la más empleada para los trabajos de tunelerías. La fibra de carbono tiene propiedades ideales pero es completamente inviables económicamente para su utilización en el concreto proyectado convencional. La fibra de vidrio es aplicada solamente en caso del uso partículas finas ya que tienen que satisfacer requerimientos especiales por su comportamiento a largo plazo. La fibra polimérica se usa principalmente en reparaciones de concreto ya que mejora la cohesión interna del concreto proyectado y reduce la fisuración por retracción durante el desarrollo de resistencia temprana. Las fibras de plásticos mejoran la resistencia al fuego del concreto en general. Generaciones moderna de fibras plásticas han aparecidos en las aplicaciones de las fibras de acero.

Nota: La fibra de acero sobrepasa a las barreras de refuerzo y a la malla en costo y en casi todo los casos.

Autor: Yúnior González Brizuela...

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.

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.

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

Autor: Yúnior González Brizuela...

- **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)

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).

3.4.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”.

ARIDO	GRANULOMETRÍA	TAMIZ
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

Autor: Yúnior González Brizuela...

3.5. 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/m³ a 30 Kg/m³, 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.

Autor: Yunior González Brizuela...

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.

Autor: Yunion González Brizuela...

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.

Sikatard[®] 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

Autor: Yúnior González Brizuela...

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 tóxico

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 m³ 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 afectada 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[®] CHO65/35 NB: Fibra de acero para refuerzo de concreto

Autor: Yunion González Brizuela...

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/m³ 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

Autor: Yúnior González Brizuela...

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

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:

Autor: Yunior González Brizuela...

- 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 contine 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.

3.6. Máquinas y Equipos para Hormigón Proyectado

Los equipos de hormigón proyectado disponen hoy en día de los procedimientos más avanzados y estudiados, y se complementan con modelos autónomos que disponen de todos los servicios complementarios para el hormigón proyectado como aire, energía eléctrica, bombas de agua, dosificadores, cintas

Autor: Yunitor González Brizuela...

transportadoras, carro móvil y brazos robot hidráulicos, lo cual permite una movilidad fácil para el desarrollo de cualquier trabajo.

El tipo de máquina empleado en la práctica dependerá del tipo de hormigón que se requiera, pero casi todas las máquinas permiten que se adapte en alguna medida su producción. Las propiedades del hormigón pueden modificarse cambiando la salida acoplada al rotor, el tamaño de la manguera, o el diámetro de la boquilla o pistola.

En general se recomendará, si es posible, la proyección automatizada por medio de brazos robot hidráulico. Con su utilización se mejorará la calidad del hormigón, se disminuirán los porcentajes de rebote, se mejorarán en gran medida las condiciones de trabajo y la seguridad del mismo, además de obtenerse dispersiones menores en los resultados de resistencias de dicho hormigón. En el hormigón proyectado por vía húmeda, es obligada la utilización de dichos brazos hidráulicos, debido a los rendimientos que se obtienen y a los empujes soportados por los sistemas de transporte que imposibilitan su proyección manual. En cualquier caso, independientemente del sistema de proyección escogido (vía seca, vía húmeda, vía semi húmeda), la máquina de proyección deberá asegurar un transporte continuo del hormigón con el fin de conseguir una colocación uniforme del mismo, descartándose así las máquinas estucadoras con velocidades de proyección escasas.

Las máquinas de hormigón proyectado por vía seca, semi húmeda de flujo diluido, disponen de un tambor o rotor perforado con una serie de cilindros, a través de los cuales baja la mezcla procedente de la tolva de alimentación de la máquina. En la parte inferior del rotor, la mezcla entra en la tubería de transporte, en la cual se le añade el aire comprimido que empuja al hormigón en seco hasta la boquilla de salida, adicionándose el agua en la misma boquilla (vía seca), o a 4-5 m de la misma (vía semihúmeda). El aditivo Acelerante, cuando es en polvo, se agrega directamente en la tolva de alimentación, y cuando es líquido se agrega junto con el agua. Las máquinas de hormigón proyectado por vía húmeda flujo diluido, son similares a las de vía seca, con un diámetro de los cilindros algo superior para

Autor: Yunior González Brizuela...

permitir la bajada del hormigón ya húmedo (10-12 cm), por lo cual ya no se le adiciona el agua en la boquilla de salida. El aditivo Acelerante líquido se agrega junto con el aire comprimido en la boquilla de salida. Las máquinas de hormigón proyectado por vía húmeda flujo denso son adaptaciones de las bombas de hormigón tradicionales. Estas máquinas se limitan a un bombeo de la mezcla húmeda (cono 10-12 cm), empujada por émbolos hasta la boquilla de salida, en la cual se le adiciona el aire a presión y el aditivo Acelerante.

Tecnología usada para fabricar el Hormigón

Baching Planet: Es el encargado de procesar el hormigón de acuerdo con las dosificaciones establecidas

Tipo de transporte: Camiones hormigoneras de la marca KAMAZ con capacidad de carga de 6 m³ estos son los encargados de transportar el hormigón desde la fabrica hasta el túnel donde va a ser proyectado

Máquinas Para la proyección de hormigón: construcciones en las obras ejecutadas en el Trasvases ésta tiene un brazo

-SIKA-.PM500-PC es la maquina utilizada para proyectar el hormigón en automático el cual ese que tenga una probabilidad de 20m³.

-Ptzmeister bomba estacionaría de concreto ZIKA-PM-702E

-Bulonadora ROBOL-06-226 fabricada en Inglaterra está destinada para la colocación de Bulones en los túneles los cuales se usan para coser el macizo.

Equipos auxiliares: Grupos electrógenos SDMO de la marca Mercedes Benz

Utilizados para suministrar de energía a las excavaciones subterráneas.

-Tractor BELARUS.

Capítulo 4. Clasificaciones Geomecánicas.

4.1. Introducción.

Para la realización de 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 Bienauski 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.

4.2 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:

Etapas de Proyecto: Las actividades típicas que se realizan durante el Proyecto en relación con las Clasificaciones Geomecánicas son las siguientes:

- Efectuar el Estudio Geológico de la traza por donde va a discurrir el túnel. Evaluar litologías, resistencia de la roca, estado de las juntas y presencia de agua.
- Dividir el perfil longitudinal del túnel en tramos de características similares.

Autor: Yunior González Brizuela...

- Calcular el índice de clasificación de cada tramo. Es conveniente el uso de al menos dos sistemas de clasificación, los más habituales son el de Bieniawski y el de Barton.
- Asignar a cada tramo un sostenimiento, en función del índice de calidad obtenido de las propuestas del sistema de clasificación y de la propia experiencia del proyectista.

Etapas de la Obra: Durante la construcción en las Obras las Clasificaciones Geomecánicas se usan según se explica a continuación:

- Es necesario tener previstos varios tipos de sostenimiento y los criterios para aplicar cada uno de ellos. Generalmente éstos deberán venir incluidos en el Proyecto Constructivo del túnel.
- En cada avance calcular en el frente el índice de calidad de la roca. Para ello es conveniente usar unos estadillos que se rellenan en el propio tajo.
- En función del índice de calidad obtenido y de otros criterios que pudiera haber definidos, aplicar el tipo de sostenimiento correspondiente.

A lo largo de los años se han desarrollado y usado varios sistemas de clasificación. Los más antiguos fueron los de Terzaghi, Protodyakonov y Lauffer. Hoy en día básicamente se usan dos sistemas, el de Bieniawski o RMR y el de Barton o sistema-Q.

4.3. Clasificaciones Geomecánicas.

4.3.1. 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 Q, 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 Q se popularizó rápidamente, llegando en la actualidad a constituir una referencia esencial, junto con el índice RMR de Bieniawski, en el diseño de toda obra subterránea. En 1994, 20 años después de su creación, se realiza la última actualización del Sistema Q,

Autor: Yunion González Brizuela...

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

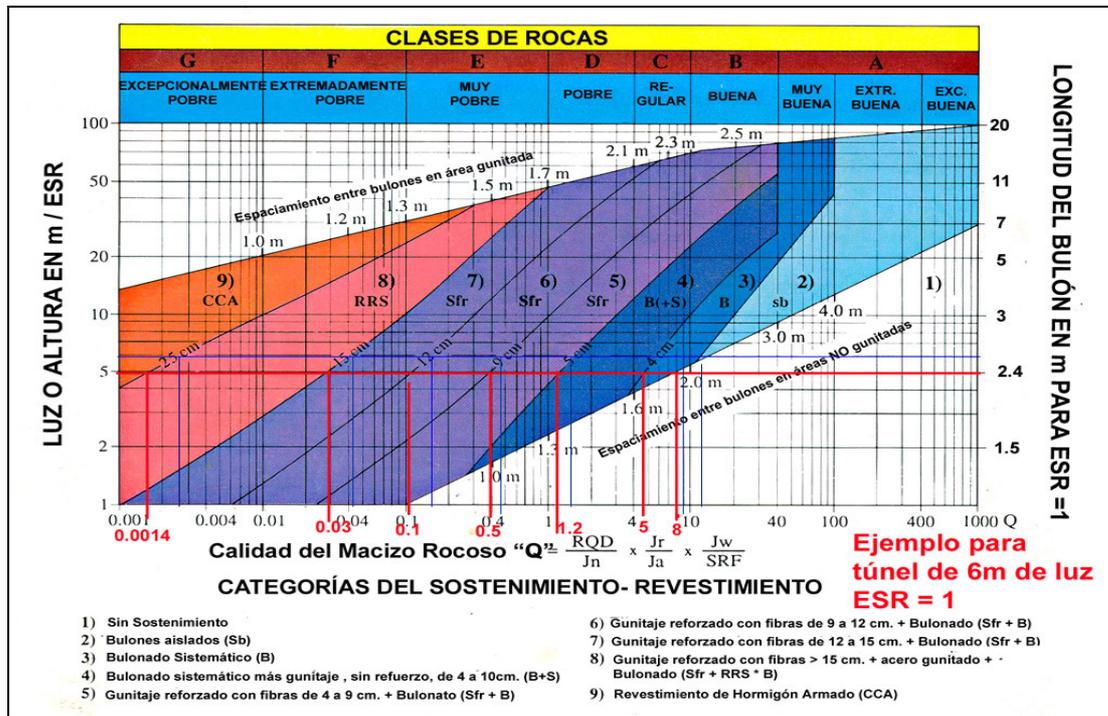


Figura 4.1 Q de Barton para Clasificación de los Macizos Rocosos.

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:

Tabla 4.1 Definición de los parámetros del índice Q de calidad de la roca.

RQD	Índice de fracturación.	Medida del tamaño de bloque.
J _n	Índice de diaclasado.	
J _r	Índice de rugosidad de la discontinuidad.	Medida del ángulo de

Autor: Yunion González Brizuela...

J _a	Índice de alteración o relleno de la discontinuidad.	fricción entre bloques.
J _w	Factor de reducción por la presencia de agua o filtraciones a través de las discontinuidades.	Medida de las tensiones efectivas.
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 Q (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, Q, se correlaciona con el sostenimiento instalado, de forma que los resultados obtenidos con esta correlación se resumen en tablas detalladas.

Tablas de valores de los seis parámetros característicos del sistema Q

(Barton, Grimstad; Actualización 1994).

Tabla 4.2. Calidad del Testigo RQD (*Rock Quality Designation*) (RQD%) o R.Q.D (Designación Cuantitativa de la Roca). Que se puede estimar por la expresión: $RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v$, donde J_v número total de fracturas por m³. Otra forma de calcular RQD, cuando no hay perforación.

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

Autor: Yunion González Brizuela...

E	Calidad Excelente.	90-100
---	--------------------	--------

Tabla 4.3. Índice de Diaclasado (Jn).

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

Tabla 4.4. Índice de Rugosidad de las Discontinuidades (Jr).

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

Tabla 4.5. Índice de Alteración de las Discontinuidades(Ja).

A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo.	0.75
B	Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas.	1.0

Autor: Yúnior González Brizuela...

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 blandos (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm).	6.0
H	Sobre consolidación media o baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero de 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 4.6. Factor de Reducción por la Presencia de Agua (Jw).

Factor de reducción por la presencia de agua.		Presión de agua (Kg./cm ²)	Jw
A	Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min, de forma localizada.	< 1	1,0
B	Afluencia o presión medias, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades.	1 - 2,5	0,66
C	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno.	2,5 - 10	0,5
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas.	2,5 - 10	0,33

Autor: Yúnior González Brizuela...

E	Afluencia, excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar las voladuras, decreciendo con el tiempo.	> 10	0,2 - 0,1
F	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable.	> 10	0,1 - 0,05

Tabla 4.7. Condiciones 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.		σ_d / σ_1	σ_g / σ_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.	10-5	0.3-0.4	0.5-2

Autor: Yunion González Brizuela...

	Normalmente favorables para la estabilidad, puede ser favorable para la estabilidad de los hastiales.			
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		

4.3.2. 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.

Autor: Yúnior González Brizuela...

- 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 2.9 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 4.12 de acuerdo a la valoración de la tabla 4.10

Para cada clase de roca, Bieniawski propone una cuantía de sostenimiento y un método de excavación (véase tabla 4.13). Esta tabla es aplicable a túneles

Autor: Yúnior González Brizuela...

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.

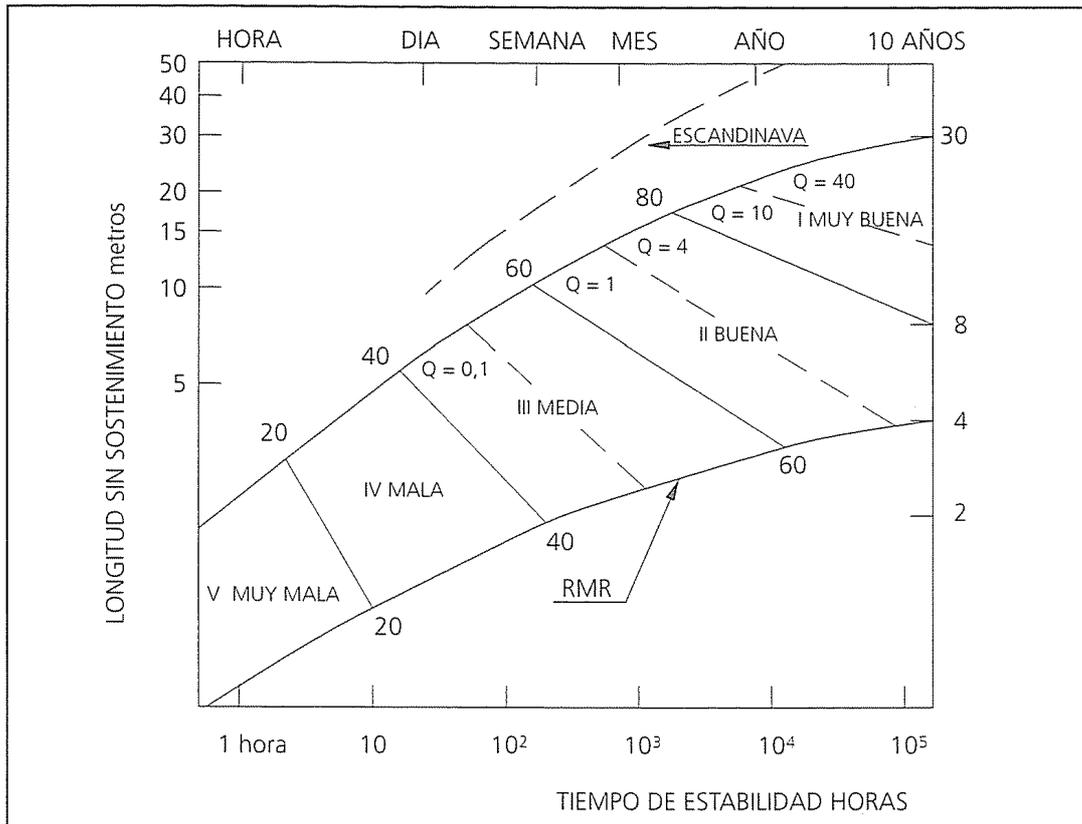


Figura 4.2. Tiempo de Estabilidad según Bieniawski. Anexo Gráfico # 3. Correlación. $RMR = 9.0 \cdot L_n \cdot Q + 44$.

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados (tabla 2.8). 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

Autor: Junior González Brizuela...

- CLASE IV: $40 < \text{RMR} < 20$, Roca mala
- CLASE V: $\text{RMR} < 20$, Roca muy mala.

Tabla 4.8. 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°

Tabla 4.9. Clasificación Geomecánica de Bieniawski, Parámetros de Clasificación.

Resistencia de las rocas sana (MPa)	Ensayo capa puntual	> 10	4-10	2-4	1-2	-
	Compresión simple	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25 1-5 <1
Valoración		15	12	7	4	2 1 0
RQD %		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25
Valoración		20	17	13	8	3
Separación Discontinuidades		> 2m	0.6-2	0.2-0.6 m	0.06-0.2m	< 0.06 m
Valoración		20	15	10	8	5
Estado de diaclasas		Muy rugosas discontinuas	Ligeramente rugosas e < 1 mm borde	Ligeramente rugosas e < 1 mm borde	Rellenos e < 5 mm abiertas y	Rellenos blandos e < 5 mm

Autor: Yúnior González Brizuela...

		borde sano y duro.	duro.	blando.	continuas.	continuas
Valoración		30	25	20	10	0
Presencia de Agua	Caudal en 10m túnel	Nulo	<10 l/min.	10-25 l/min.	25-125 l/min.	>125 l/min.
	σ_w / σ_3	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Estado	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valoración		15	10	7	4	0

Tabla 4.10. Guía Para Valorar el Estado de las Discontinuidades.

PARÁMETRO	VALORACIÓN				
	< 1m	1-3	3-10m	10-20m	> 20m
Longitud de la discontinuidad (Persistencia).	6	4	2	1	0
Apertura	Nada	< 0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	> 5mm
	6	5	3	1	0
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 4.11 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°-90°	20°-45°	45°-20°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	0°-20°
Muy Favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Medio	Muy Desfavorable	Desfavorable

Autor: Junior González Brizuela...

Tabla 4.12. Clasificación Geomecánica de Bieniawski: Corrección por 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 4.13. 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 bastiales. 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 bastiales. 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 bastiales y 5cm frente. Mallazo sistemático	Pesadas y cerradas s=0.75m

4.4. Análisis de estabilidad

El rango de valores numéricos que puede tomar el índice Q de calidad de la roca oscila entre 0,001 (excepcionalmente mala) y 1000 (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 plano de la Q de Barton fue realizado en el Surfer-8 con el objetivo de representar gráficamente los valores obtenidos de los cálculos de estabilidad, en el mismo se puede observar que los resultados varían de 0.2-0.3 rango que pertenece a una estabilidad muy mala en la menor porción del trazado del túnel, mientras en casi la totalidad del tramo se extiende desde 0.3-1.2 rango que representa a una estabilidad mala, notando cierta mejoría en el centro del mismo. Resumiendo que se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 9 cm. de espesor + bulonado (Sfr+ B). Ver figura.4.3.

El amplio rango de valores que puede tomar el índice Q (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.

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 4.8.

El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. El mapa esquemático en planta del RMR de Bieniawski fue realizado en el Surfer-8 con el objetivo de representar gráficamente los valores obtenidos de los

Autor: Yúnior González Brizuela...

cálculos de estabilidad, en el mismo podemos observar que los valores del RMR oscilan entre 25 y 40, rango que pertenece a una estabilidad mala, mientras en menor grado oscilan entre 40 y 45, rango perteneciente a una estabilidad media, estimando estos rangos se decidió que para un tramo de 1.7 m debe sostenerse antes de 80 hrs. evitando así un posible derrumbe. Ver figura 4.4.

Además se realizaron los mapas esquemáticos de RQD, J_v y La Luz Teóricamente Estable (LTE), indicadores importantes que facilitan el análisis geomecánico. 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 de roca.

Los cálculos de RQD obtenidos varían entre 55 % y 72 %, o sea según la clasificación recorre los intervalos de malo y regular, estos últimos representan un 83 %, o sea reflejados en los puntos de medición en casi toda la totalidad del túnel y los malos el 17 %, demostrándose así que en el tramo del túnel la estabilidad es mayormente regular. Ver figura.4.5.

Teniendo en cuenta el índice de diaclasado en un metro lineal (J_v) observamos en el mapa que los puntos ingeniero-geológicos varían entre 14 y 18 siendo más representativa la variación entre los puntos 3 y 4. Estimando estos valores se puede decir que en el trazado del tramo del túnel aparecen entre 15 y 16 grietas en un metro lineal aproximadamente.

Del primer al tercer punto existen 18 grietas en un metro lineal aproximadamente y a partir del cuarto hasta el último existe una disminución del agrietamiento teniendo valores promedios de 14.3 grietas por metro lineal, lo que evidencia que la estabilidad en la primera sección del tramo de túnel es mala, mientras que en el resto del mismo es gradualmente más estable. Ver figura 4.6.

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 cálculo 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.

Autor: Yúnior González Brizuela...

La Luz Teóricamente Estable en toda la sección del tramo del túnel se comporta inestable, pues sus valores oscilan entre 0.8 y 4.8 en los primeros puntos ingeniero-geológicos están alejados de la Luz escogida ($L = 6 \text{ m}$) para los trabajos en el túnel, en la parte central del área de estudio existe un aumento progresivo pues alcanzan valores que se aproximan a la Luz, indicándonos una notada mejoría de la estabilidad, no siendo así en los últimos puntos donde los valores de la LTE se alejan considerablemente lo que manifiesta que es un índice más para demostrar la estabilidad es mala en esta porción del túnel. Ver figura 4.7.

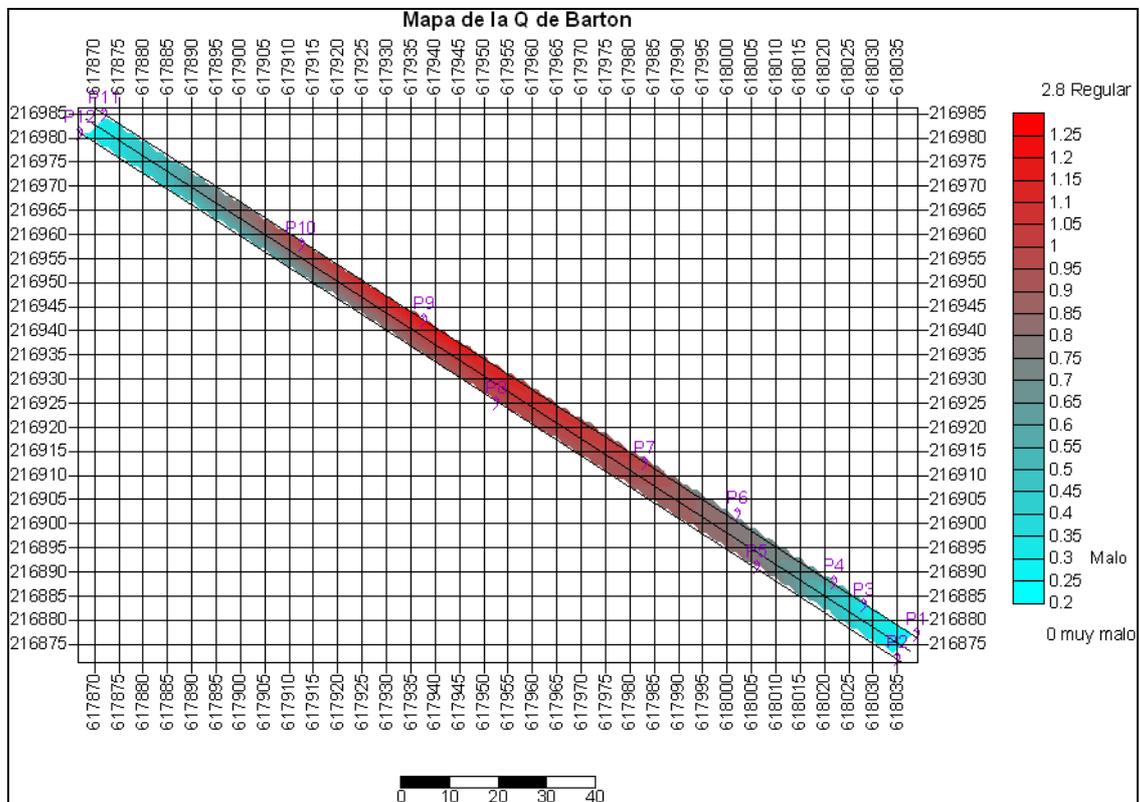


Figura 4.3 Mapa Esquemático de la Q de Barton.

Autor: Junior González Brizuela...

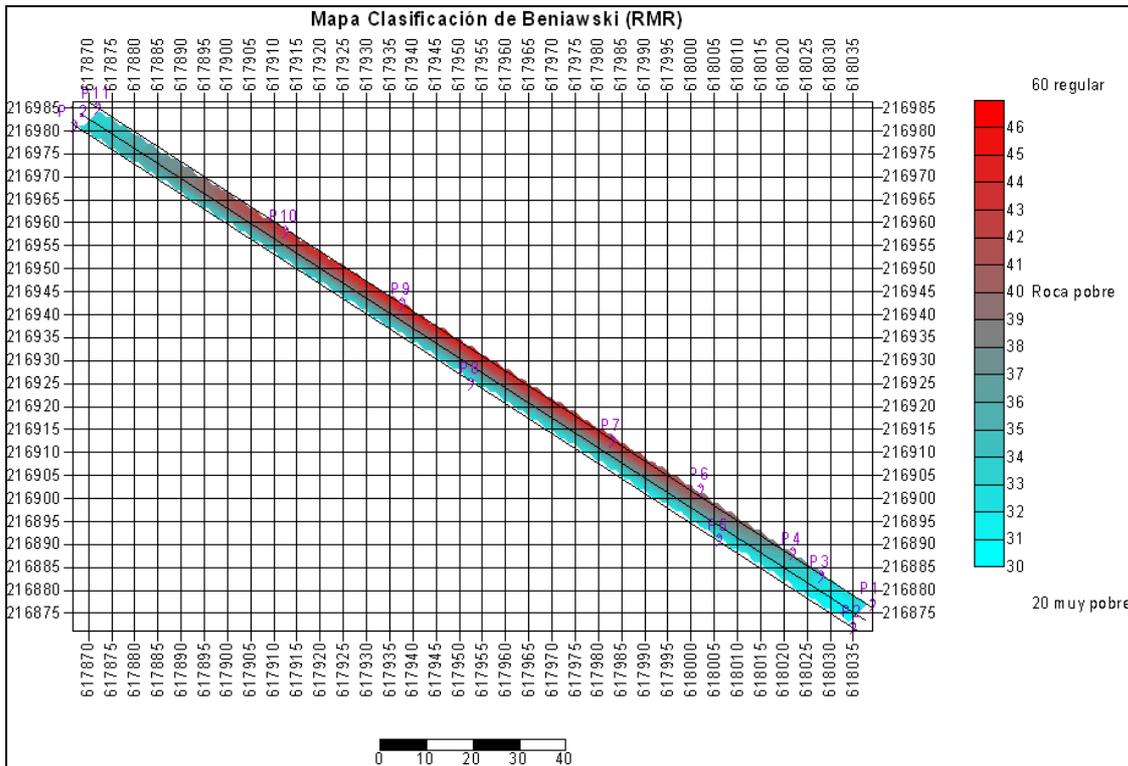
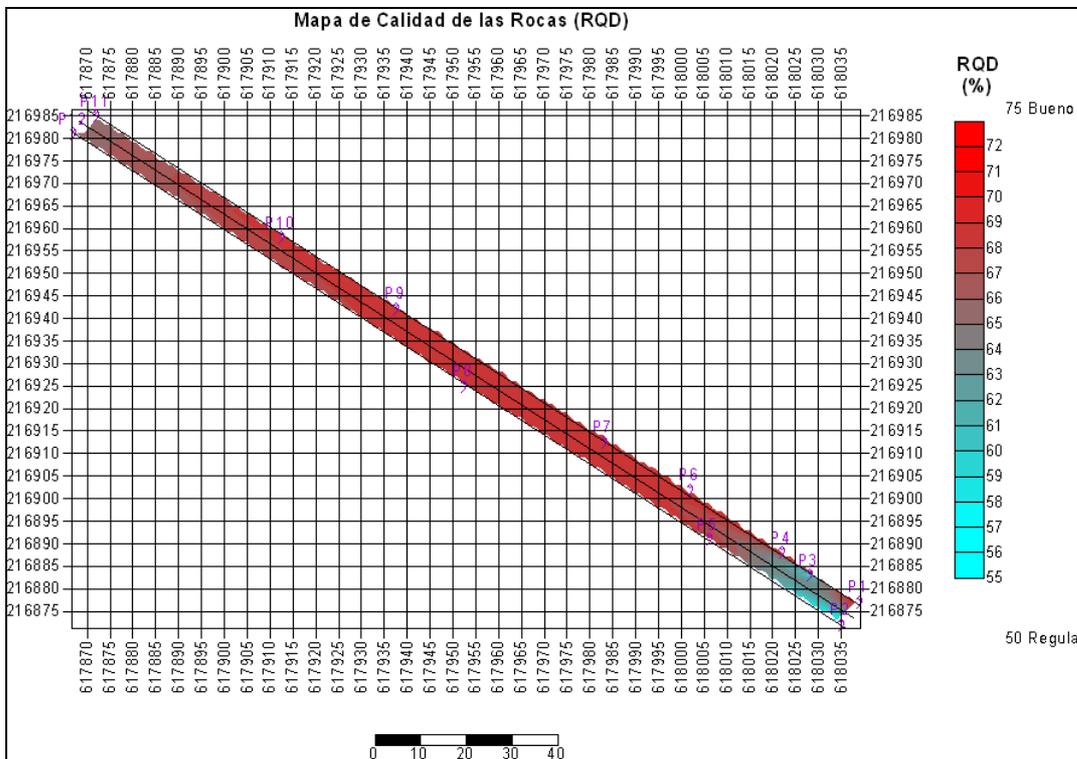
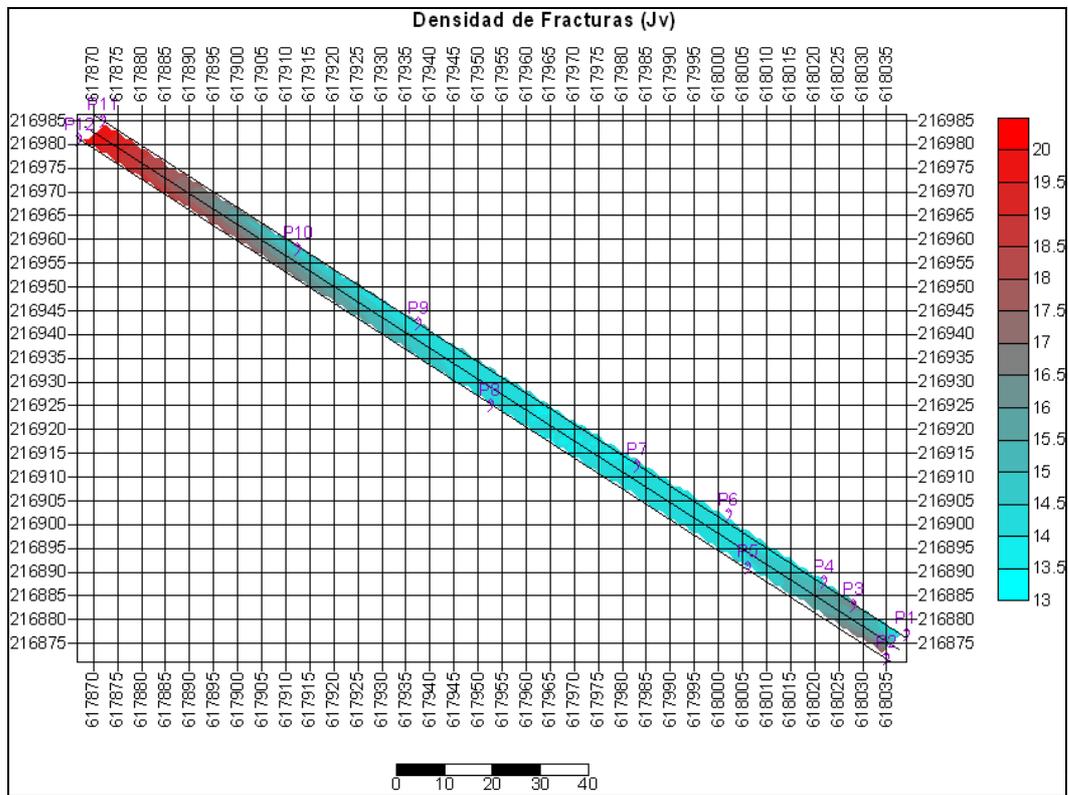


Figura 4.4 Mapa Esquemático del RMR Beniawski.



Autor: Junior González Brizuela...

Figura 4.5 Mapa Esquemático de Designación Cualitativa de la Roca (RQD).



Figur

a 4.6 Mapa Esquemático del Índice de Agrietamiento en un Metro Lineal (Jv).

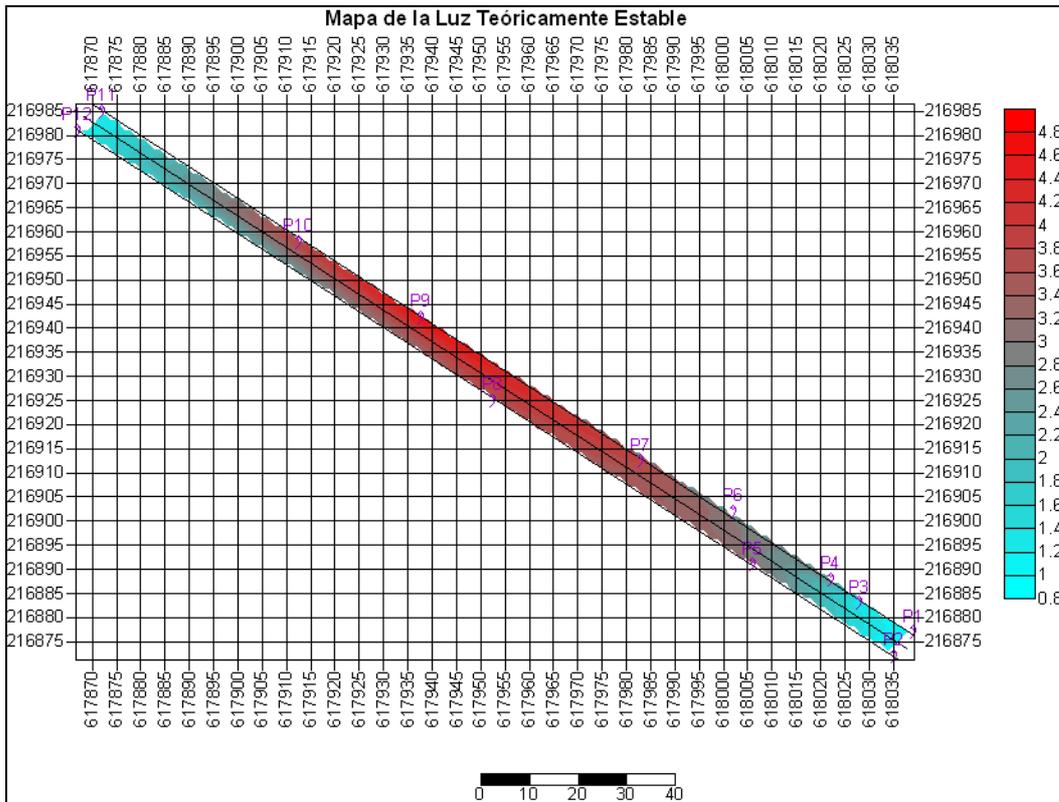


Figura 4.7 Mapa Esquemático de la Luz Teóricamente Estable (LTE).

4.5 Resultados Obtenidos.

Descripciones de los tramos y puntos ingeniero-geológicos.

El estudio Ingeniero-Geológico en la calicata Intermedia del Túnel Enmedio – Guayabo correspondiente al Tránsito Este- Oeste Mayarí, que se ubica entre los poblados de Colorado hasta Monteverde, donde se tomaron como referencia ocho tramos ingeniero-geológicos con inclusión de once puntos que se extienden desde el segundo nicho del túnel hasta dieciséis metros; los cuales se escogieron por presentar una variación de la litología en la excavación subterránea.

El tramo # 1 se ubica en el segundo nicho y se extiende a cinco metros, en el mismo se tomó como referencia dos puntos de medición por ser más representativo su agrietamiento, que se midieron uno en el lado derecho y el otro al extremo izquierdo y a un metro del nicho.

El punto # 1 presenta tres familias y algunas diaclasas aleatorias, sumando trece grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre

Autor: Yunior González Brizuela...

los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm. con minerales de relleno en pequeños espesores, Fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm. El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas onduladas, rugosas o irregulares; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min., de forma localizada. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a múltiples zonas débiles con conteniendo arcilla y roca de contorno muy suelta a cualquier profundidad. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 10 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es mala ya que para un tramo de 1.8 m debe sostenerse antes de 90 hrs. evitando así un posible derrumbe.

El punto # 2 presenta tres familias y algunas diaclasas aleatorias, sumando dieciocho grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm., con una sobre consolidación media o baja, reblandecimiento, y rellenos de minerales arcillosos continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas onduladas, rugosas o irregulares; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min., de forma localizada. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a múltiples zonas débiles con conteniendo arcilla y roca de contorno muy suelta a cualquier profundidad. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 11 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es mala ya que para un tramo de 1.75 m debe sostenerse antes de 70 hrs. evitando así un posible derrumbe.

Autor: Yunion González Brizuela...

El tramo # II se ubica a cinco metros del segundo nicho y se extiende a diecisiete metros, en el mismo se tomó como referencia un punto de medición por ser más representativo su agrietamiento, midiéndose a los doce metros.

El punto # 3 presenta tres familias de diaclasas, sumando diecisiete grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm., con una sobre consolidación media o baja, reblandecimiento, y rellenos de minerales arcillosos continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm. El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas onduladas, rugosas o irregulares; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min., de forma localizada. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a múltiples zonas débiles con conteniendo arcilla y roca de contorno muy suelta a cualquier profundidad. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 10 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es mala ya que para un tramo de 1.76 m debe sostenerse antes 70 hrs. y media de evitando así un posible derrumbe.

El tramo # III se ubica a diecisiete metros del segundo nicho y se extiende a treinta y siete metros, en el mismo se tomó como referencia dos puntos de medición por ser más representativo su agrietamiento el primero se midió a los veinte metros, mientras el segundo a los treinta y cinco metros.

El punto # 4 presenta tres familias diaclasas, sumando catorce grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm. con minerales de relleno en pequeños espesores, Fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm. El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas onduladas, rugosas o irregulares; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min., de forma localizada. Además las

Autor: Yúnior González Brizuela...

condiciones tensionales de las rocas pertenecen a múltiples zonas débiles con conteniendo arcilla y roca de contorno muy suelta a cualquier profundidad. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 7 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es regular ya que para un tramo de 2.1 m debe sostenerse antes de 550 hrs. evitando así un posible derrumbe.

El punto # 5 presenta tres familias diaclasas, sumando catorce grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm. con minerales de relleno en pequeños espesores, fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm. El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas discontinuas; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min., de forma localizada. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a múltiples zonas débiles con conteniendo arcilla y roca de contorno muy suelta a cualquier profundidad. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad va muy mala a mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 7 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es regular ya que para un tramo de 2.2 m debe sostenerse antes de 600 hrs. evitando así un posible derrumbe.

El tramo # IV se ubica a los treinta y siete metros del segundo nicho y se extiende a los cincuenta y dos metros, en el mismo se tomó como referencia un punto de medición por ser más representativo su agrietamiento, midiéndose a los cuarenta y cuatro metros.

El punto # 6 presenta tres familias de diaclasas, sumando catorce grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm., con una sobre consolidación media o baja, reblandecimiento, y rellenos de minerales arcillosos continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm. El índice de rugosidad

Autor: Yúnior González Brizuela...

de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas onduladas, rugosas o irregulares; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por afluencia o presión medias, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a múltiples zonas débiles con conteniendo arcilla y roca de contorno muy suelta a cualquier profundidad. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 9 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es mala ya que para un tramo de 2 m debe sostenerse antes de 250 hrs. evitando así un posible derrumbe.

El tramo # V se ubica a los cincuenta y dos metros y se extiende a los ciento diecisiete metros, en el mismo se tomó como referencia dos puntos de medición por ser más representativo su agrietamiento, que se midieron uno en el lado derecho a los cincuenta y tres metros y el otro al extremo izquierdo a los ciento diez metros.

El punto # 7 presenta tres familias y algunas diaclasas aleatorias, sumando catorce grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm. con minerales de relleno en pequeños espesores, Fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm. El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas onduladas, rugosas o irregulares; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min., de forma localizada. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o rocas desintegradas químicamente profundidad de la excavación > 50 m. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 7 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es regular ya que para un tramo de 2.4 m debe sostenerse antes de 800 hrs. evitando así un posible derrumbe.

Autor: Yúnior González Brizuela...

El punto # 8 presenta tres familias y algunas diaclasas aleatorias, sumando catorce grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm., con una sobre consolidación media o baja, reblandecimiento, y rellenos de minerales arcillosos continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm. El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas onduladas, rugosas o irregulares; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min., de forma localizada. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o rocas desintegradas químicamente profundidad de la excavación > 50 m. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 7 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es regular ya que para un tramo de 2.3 m debe sostenerse antes de 675 hrs. evitando así un posible derrumbe.

El tramo # VI se ubica a los ciento diecisiete metros y se extiende a los ciento veinte metros, en el mismo se tomó como referencia un punto de medición por ser más representativo su agrietamiento, midiéndose a los ciento diecisiete metros.

El punto # 9 presenta tres familias diaclasas, sumando catorce grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm. con minerales de relleno en pequeños espesores, fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm. El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas discontinuas; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por afluencia o presión medias, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o rocas desintegradas químicamente profundidad de la excavación > 50 m. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 6 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los

Autor: Yúnior González Brizuela...

datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es regular ya que para un tramo de 2.7 m debe sostenerse antes de 950 hrs. evitando así un posible derrumbe.

El tramo # VII se ubica a los ciento veinte metros y se extiende a los ciento cuarenta y cinco metros, en el mismo se tomó como referencia un punto de medición por ser más representativo su agrietamiento, midiéndose a los ciento veinticinco metros.

El punto # 10 presenta tres familias diaclasas, sumando catorce grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm. con minerales de relleno en pequeños espesores, Fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm. El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas onduladas, rugosas o irregulares; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por afluencia o presión medias, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o rocas desintegradas químicamente profundidad de la excavación > 50 m. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 7 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es regular ya que para un tramo de 2.4 m debe sostenerse antes de 800 hrs. evitando así un posible derrumbe.

El tramo # VIII se ubica a los ciento cuarenta y cinco metros y se extiende a los doscientos seis metros, en el mismo se tomó como referencia un punto de medición por ser más representativo su agrietamiento, midiéndose a los ciento cuarenta y cinco metros.

El punto # 11 presenta cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, sumando veinte grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm., con una sobre consolidación media o

Autor: Yunior González Brizuela...

baja, reblandecimiento, y rellenos de minerales arcillosos continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas discontinuas; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por afluencia o presión medias, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a múltiples zonas débiles con conteniendo arcilla y roca de contorno muy suelta a cualquier profundidad. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 10 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es mala ya que para un tramo de 1.78 m debe sostenerse antes de 90 hrs. evitando así un posible derrumbe.

El punto # 12 presenta cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, sumando veintiuna grietas en un metro lineal, su índice de alteración corresponde a un contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm., con una sobre consolidación media o baja, reblandecimiento, y rellenos de minerales arcillosos continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm El índice de rugosidad de las discontinuidades está caracterizado por diaclasas discontinuas; mientras el factor de reducción por presencia de agua se caracteriza por afluencia o presión medias, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades. Además las condiciones tensionales de las rocas pertenecen a múltiples zonas débiles con conteniendo arcilla y roca de contorno muy suelta a cualquier profundidad. Los cálculos arrojados por Barton indican que la estabilidad es muy mala y se debe utilizar gunitaje reforzado con fibras de 10 cm. + bulonado (Sfr+ B), mientras los datos obtenidos por Bieniawski indican que la estabilidad del punto es mala ya que para un tramo de 1.8 m debe sostenerse antes de 90 hrs. evitando así un posible derrumbe

Autor: Yunion González Brizuela...

Capítulo.5: Cálculo del Sostenimiento o Revestimiento:

5.1 Introducción

Para el cálculo del sostenimiento de la calicata intermedia del túnel En medio Guayabo correspondiente al Traslase Este-Oeste de Mayarí, que se ubica entre los poblados de Colorado hasta Monteverde donde se tomaron como referencia ocho tramos ingeniero-geológicos con la inclusión de doce puntos que se extienden desde el segundo nicho del túnel hasta doscientos seis metros, los cuales se escogieron por presentar una variación de la litología en la excavación subterránea.

Para el cálculo de sostenimiento de la excavación lo 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.

Cuando 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.

$$FS= Q/LTE$$

5.2 Cálculo del FS

$$FS = LTE/L$$

$$FS = 2,47/6$$

$$FS = 0,41$$

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

5.3 Cálculo de sostenimiento de la excavación

Después de conocer la necesidad de sostener la excavación, se realizó el cálculo de sostenimiento utilizando la expresión de cálculo de la Q de Barton

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

Donde:

RQD- Designación cuantitativa de la roca

J_n- Índice de diaclaso

J_r- Índice de rugosidad de las discontinuidades

J_a- Índice de alteración de las discontinuidades

J_w- Factor de reducción por pérdida de agua

SRF- Condiciones tensionales de las rocas

En la tabla 5.1 se observan los ocho tramos ingeniero-geológicos con la inclusión de doce puntos desde el segundo nicho hasta los doscientos seis metros, los cuales se escogieron por presentar una variación de litología en la excavación y además se muestran los coeficientes utilizados para el cálculo de la Q de Barton.

Autor: Yúnior González Brizuela...

Tabla 5.1 Coeficientes obtenidos para los tramos del túnel

Tramos	Longitud (m)	Puntos	Coeficientes						
			Jr	Ja	Jn	Jw	RQD	SRF	Q
I	5	1	3,3	6,7	12,0	1,0	72,1	10,0	0,3
		2	3,3	7,3	12,0	1,0	55,6	10,0	0,2
II	12	3	3,3	7,3	12,0	1,0	58,1	10,0	0,2
III	20	4	3,3	6,7	9,0	1,0	68,8	5,0	0,8
		5	3,7	6,7	9,0	1,0	68,8	5,0	0,8
IV	15	6	3,3	7,3	9,0	0,7	68,8	5,0	0,5
V	65	7	3,0	6,7	12,0	1,0	68,8	2,5	1,0
		8	3,0	7,3	12,0	1,0	68,8	2,5	0,9
VI	3	9	3,7	6,0	9,0	0,7	68,8	2,5	1,2
VII	20	10	3,3	6,7	9,0	0,7	68,8	2,5	1,0
VIII	66	11	3,8	7,5	15,0	0,7	65,5	5,0	0,3
		12	3,8	7,0	15,0	0,7	63,0	5,0	0,3

Utilizando la expresión de cálculo de la Q de Barton con los coeficientes expuestos en la Tabla 5.1 se obtuvieron diferentes valores . Con estos se determinaron los espesores a utilizar en la excavación para los diferentes tramos, para ello se

Autor: Yunion González Brizuela...

empleo el gráfico 4.1 de la Q de Barton con lo cual mediante la correlación de la luz del túnel con los valores de Q obtenidos estima el espesor para cada caso. En la tabla 5.2 se muestran los resultados obtenidos

Tabla 5.2 Espesores para cada tramo.

Tramos	Espesores (cm)
I	10
II	10
III	7
IV	9
V	7
VI	6
VII	7
VIII	10

Autor: Yunion González Brizuela...

Capítulo 6: Evaluación económica.

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. Las tablas con los costos económicos se encuentran a continuación

Autor: Yúnior González Brizuela...

Tabla 6.1 Costos para el revestimiento de tramos de espesor 6 cm.

COSTOS PARA EL REVESTIMIENTO. TRAMO VI (ESPESOR 6CM)			
ITEM	COSTO POR m. LINEAL	LONGITUD (m.)	GASTOS POR TRAMO
Materiales			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$41,98	3	\$125,94
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$30,29	3	\$90,87
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$3,68	3	\$11,04
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1,94	3	\$5,82
HORMIGON 30.0MPA	\$56,60	3	\$169,80
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$10,47	3	\$31,41
SUB TOTAL Materiales	\$144,96	3	\$434,88
Mano de obra			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$9,29	3	\$27,87
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$9,29	3	\$27,87
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$9,46	3	\$28,38
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$12,41	3	\$37,23
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$10,15	3	\$30,45
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$9,46	3	\$28,38
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$9,46	3	\$28,38
SUB TOTAL Mano de obra	\$69,52	3	\$208,56
Equipos			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$8,23	3	\$24,69
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$3,84	3	\$11,52
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$9,83	3	\$29,49
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$26,66	3	\$79,98
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$4,02	3	\$12,06
SUB TOTAL Equipos	\$52,58	3	\$157,74
Bulonado			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL ii	\$4,90	3	\$14,70
ALBANIL DEL GRUPO SALARIAL V	\$5,35	3	\$16,05
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$6,54	3	\$19,62
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$4,90	3	\$14,70
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$4,98	3	\$14,94
SUB TOTAL Bulonado	\$26,67	3	\$80,01
TOTAL	\$293,73	3	\$881,19

Autor: Yúnior González Brizuela...

Tabla 6.2 Costos para el revestimiento de tramos de espesor 7 cm.

COSTOS PARA EL REVESTIMIENTO. TRAMOS III, V y VII (ESPEJOR 7CM)			
ITEM	COSTO POR m. LINEAL	LONGITUD (m.)	GASTOS POR TRAMO
Materiales			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$48,97	105	\$5.141,85
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$58,20	105	\$6.111,00
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$5,55	105	\$582,75
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1,94	105	\$203,70
HORMIGON 30.0MPA	\$66,04	105	\$6.934,20
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$12,22	105	\$1.283,10
SUB TOTAL Materiales	\$192,92	105	\$20.256,60
Mano de obra			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$10,84	105	\$1.138,20
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$10,84	105	\$1.138,20
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$11,03	105	\$1.158,15
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$14,48	105	\$1.520,40
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$11,84	105	\$1.243,20
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$11,03	105	\$1.158,15
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$11,03	105	\$1.158,15
SUB TOTAL Mano de obra	\$81,09	105	\$8.514,45
Equipos			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$9,59	105	\$1.006,95
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$4,60	105	\$483,00
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$11,46	105	\$1.203,30
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$28,02	105	\$2.942,10
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$4,02	105	\$422,10
SUB TOTAL Equipos	\$57,69	105	\$6.057,45
Bulonado			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL ii	\$4,90	105	\$514,50
ALBANIL DEL GRUPO SALARIAL V	\$5,35	105	\$561,75
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$6,54	105	\$686,70
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$4,90	105	\$514,50
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$4,98	105	\$522,90
SUB TOTAL Bulonado	\$26,67	105	\$2.800,35
TOTAL	\$358,37	105	\$37.628,85

Autor: Yúnior González Brizuela...

Tabla 6.3 Costos para el revestimiento de tramos de espesor 9 cm.

COSTOS PARA EL REVESTIMIENTO. TRAMO IV (ESPESOR 9CM)			
ITEM	COSTO POR m. LINEAL	LONGITUD (m.)	GASTOS POR TRAMO
Materiales			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$62,96	15	\$944,40
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$115,57	15	\$1.733,55
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$9,28	15	\$139,20
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1,94	15	\$29,10
HORMIGON 30.0MPA	\$84,91	15	\$1.273,65
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$15,71	15	\$235,65
SUB TOTAL Materiales	\$290,37	15	\$4.355,55
Mano de obra			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$13,93	15	\$208,95
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$13,93	15	\$208,95
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$14,18	15	\$212,70
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$18,61	15	\$279,15
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$15,23	15	\$228,45
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$14,18	15	\$212,70
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$14,18	15	\$212,70
SUB TOTAL Mano de obra	\$104,24	15	\$1.563,60
Equipos			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$12,32	15	\$184,80
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$6,13	15	\$91,95
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$14,73	15	\$220,95
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$30,75	15	\$461,25
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$4,02	15	\$60,30
SUB TOTAL Equipos	\$67,95	15	\$1.019,25
Bulonado			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL ii	\$4,90	15	\$73,50
ALBANIL DEL GRUPO SALARIAL V	\$5,35	15	\$80,25
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$6,54	15	\$98,10
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$4,90	15	\$73,50
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$4,98	15	\$74,70
SUB TOTAL Bulonado	\$26,67	15	\$400,05
TOTAL	\$489,23	15	\$7.338,45

Autor: Yunion González Brizuela...

Tabla 6.4 Costos para el revestimiento de tramos de espesor 10 cm.

COSTOS PARA EL REVESTIMIENTO. TRAMOS I,II y VIII (ESPESOR 10CM)			
ITEM	COSTO POR m. LINEAL	LONGITUD (m.)	GASTOS POR TRAMO
Materiales			
SINGUNIT L50 AFX (ACELERANTE)	\$69,96	83	\$5.806,68
SIKA FIBER CH 065/35 NB	\$143,99	83	\$11.951,17
SIKA VISCOCRETE E-200 KG	\$11,15	83	\$925,45
SIKA TARD 930 E-230 KG	\$1,94	83	\$161,02
HORMIGON 30.0MPA	\$94,34	83	\$7.830,22
DIFERENCIA DE PRECIO EN EL CEMENTO	\$17,45	83	\$1.448,35
SUB TOTAL Materiales	\$338,83	83	\$28.122,89
Mano de obra			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL II	\$15,48	83	\$1.284,84
AYUDANTE DE ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL IX	\$15,48	83	\$1.284,84
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$15,76	83	\$1.308,08
ESPECIALISTA ALPINISTA DEL GRUPO SALARIAL XII	\$20,68	83	\$1.716,44
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$16,92	83	\$1.404,36
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$15,76	83	\$1.308,08
GUNITADOR DEL GRUPO SALARIAL VII	\$15,76	83	\$1.308,08
SUB TOTAL Mano de obra	\$115,84	83	\$9.614,72
Equipos			
BOMBA DE HORMIGON ELECTRICA DE 20 M3/H DE CAPACIDAD	\$13,69	83	\$1.136,27
TRACTOR AGRICOLA HASTA 30 HP	\$6,90	83	\$572,70
CAMION HORMIGONERA DE 3-5 M2	\$16,36	83	\$1.357,88
COMPRESOR DE AIRE MOVIL 8-12 M3/MIN	\$32,11	83	\$2.665,13
SOLDADOR ELECTRICO POR MOTOR 100-550 AMPERES S/JORNAL	\$4,02	83	\$333,66
SUB TOTAL Equipos	\$73,08	83	\$6.065,64
Bulonado			
AYUDANTE DE CONSTRUCCION DEL GRUPO SALARIAL ii	\$4,90	83	\$406,70
ALBANIL DEL GRUPO SALARIAL V	\$5,35	83	\$444,05
ELECTRICISTA INSTALADOR DEL GRUPO SALARIAL IV	\$6,54	83	\$542,82
PLOMERO DEL GRUPO SALARIAL V	\$4,90	83	\$406,70
SOLDADOR DEL GRUPO SALARIAL VI	\$4,98	83	\$413,34
SUB TOTAL Bulonado	\$26,67	83	\$2.213,61
TOTAL	\$554,42	83	\$46.016,86

Autor: Yúnior González Brizuela...

Tabla 6.5 Costos total para el revestimiento del túnel.

COSTO TOTAL			
TRAMOS	COSTO TOTAL POR m. LINEAL	LONGITUD (m.)	GASTO TOTAL POR TRAMO
VI (Espesor 6cm)	\$293,73	3	\$881,19
III, V y VII (Espesor 7cm)	\$358,37	105	\$37.628,85
IV (Espesor 9cm)	\$489,23	15	\$7.338,45
I, II y VIII (Espesor 10cm)	\$554,42	83	\$46.016,86
TOTAL		206	\$91.865,35

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

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

Autor: Yúnior González Brizuela...

CONCLUSIONES

Con la realización de esta investigación se ha obtenido un conjunto de magnitudes y criterios importantes, para los estudios de variantes del sistema, así como la orientación de los trabajos futuros.

1. Para un mejor conocimiento de las características ingeniero-geológicas de túnel es conveniente el estudio de este por tramos de excavación.
2. Con la calcificación geomecánica propuesta por Barton se puede calcular perfectamente el espesor de revestimiento para la fortificación del túnel.
3. No es necesario emplear en todo el túnel el espesor del proyecto (10cm) .
4. Con la propuesta de espesor realizada para los diferentes tramos del túnel se logra un ahorro considerable de los recursos.

Autor: Yunion González Brizuela...

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 gastos innecesarios en la construcción de las obras.

2- Aplicar el sostenimiento según los cálculos de estabilidad obtenidos para cada tramo del túnel.

3- Coordinar con la Facultad de Geología y Minas la inserción de estudiantes para la realización de prácticas docentes y trabajos de diploma.

4- la utilización de este trabajo como referencia para cualquier otra investigación de esta índole y categoría.

Autor: Yúnior González Brizuela...

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. Cordovez Pedrianes, J. M (2005): Estudio Regional Básico Tramo Sagua-Melones. CM. Holguín. Informe Interno. (79 p).
6. Diagnóstico ambiental inicial (2005): Unidad Empresarial de Base Geotecnia y Perforación. EIPHH. Holguín.
7. García Leiva, J (2006): Investigación Ingeniero-Geológica en la zona de la presa Seboruquito. ISMMM. Trabajo de diploma. (72p).
8. Instructivo para la confección de programas de investigación, (1983): ENIA.
9. Iturralde –Vinen, M.A., (1998) Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana.33 (1-4): 9-56.
10. Listado Oficial de Precios. Resolución N°106/1997. ENIA-MICONS.
11. Manual de procedimientos generales. EIPHH. UEBGP.
12. NC 51-24:84. Investigaciones Ingeniero-Geológicas. C. Habana.
13. Pérez H. C., et al (1990): Tránsito Este-Oeste. Túnel del Tramo Seboruquito-Esperanza. Investigación Ingeniero-Geológica. EIPHH. Holguín.
14. Pérez H. C., Hidalgo H. A. y Sánchez R. G. (1990): Tránsito Este-Oeste. Tramo de Túnel Seboruquito-Esperanza. Investigación Ingeniero-Geológica. EIPHH. Holguín. Tomos I y II.

Autor: Yúnior González Brizuela...

15. Requisitos para la elaboración de los documentos P (11) -1.01-11. EIPHH. Holguín.
16. Sánchez G. e Hidalgo A. (1990): Trásvase Este-Oeste. Tramo de Túnel Enmedio-Guayabo. Investigación Ingeniero-Geológica. EIPHH. Holguín.
17. Sánchez Silva, Y (2006): Estudio Ingeniero-Geológico de la Región Mayarí-Sagua para el Tramo Sagua- Melones del Trásvase Este-Oeste. ISMMM. Trabajo de diploma. (56p).
18. Jurgen Hofler e Jurg Schlumpt, Concreto Proyectado en la Construcción de Túneles.
19. Prontuario : autor Sika Fiber.
20. Manual completo para las clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso.