



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”**



**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
GEOLOGÍA Y METALURGIA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS

**ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL DISEÑO DEL TIPO
DE SOSTENIMIENTO EN EL TÚNEL 8 DE AGOSTO,
DISTRITO DE MONZÓN, HUÁNUCO - 2020**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE
MINAS**

PRESENTADO POR:

Bach.: CONTRERAS ALVAREZ EUSEBIO

ASESOR:

Dr. Ing. QUIÑONES POMA JUAN ROGER

HUARAZ – PERÚ

2023





UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y METALURGIA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En la ciudad de Huaraz, siendo las quince horas con cero minutos de la tarde (15:00 p.m.) del día veinticinco de Abril del Dos mil Veintitres (25/04/23), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 116-2022-FIMGM/D, de fecha 02 de Junio del 2022, integrado por los siguientes Docentes: Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES, como Presidente; M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO, como Secretario y el M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME, como Vocal; para la sustentación de la tesis Titulado: "**ESTUDIO GEOMECANICO PARA EL DISEÑO DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN EL TÚNEL 8 DE AGOSTO, DISTRITO DE MONZON, HUANUCO - 2020**", presentado por el Bachiller EUSEBIO CONTRERAS ALVAREZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 116-2022-FIMGM/D de fecha 02 de Junio del 2022. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (*)de: DIECISIETE (17). Aprobado con Distinción.** Siendo las dieciséis horas y cero minutos (16:00 p.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.


Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES
Presidente


M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO
Secretario


M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME
Vocal


Dr. Ing. JUAN ROGER QUIÑONES POMA
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA** (19-20), **APROBADO CON DISTINCIÓN** (17-18), **APROBADO** (14-16), **DESAPROBADO** (00-13).



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y METALURGIA



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: "**ESTUDIO GEOMECANICO PARA EL DISEÑO DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN EL TÚNEL 8 DE AGOSTO, DISTRITO DE MONZON, HUANUCO - 2020**", presentado por el Bachiller EUSEBIO CONTRERAS ALVAREZ, y sustentada el día 25 de Abril del 2023, por Resolución Decanatural N° 116-2022-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 25 de Abril del 2023



Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES
Presidente



M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO
Secretario



M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME
Vocal



Dr. Ing. JUAN ROGER QUIÑONES POMA
Asesor

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

Presentado por: _____

con DNI N°: _____

para optar el Título Profesional de: _____

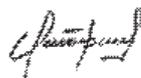
Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input checked="" type="radio"/>
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz,



FIRMA

Apellidos y Nombres: _____

DNI N°: _____

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**Tesis de CONTRERAS ALVARES Eusebio
Impresion final 2023.docx**

RECUENTO DE PALABRAS

15046 Words

RECUENTO DE CARACTERES

80308 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

88 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.2MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 5, 2023 1:22 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 5, 2023 1:24 PM GMT-5**● 22% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 21% Base de datos de Internet
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 16% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

DEDICATORIA

A mi madre por su apoyo constante y que ha contribuido en la ejecución del presente trabajo.

Eusebio

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, institución donde me forme y estudie la carrera de Ingeniería de Minas en la Facultad de Ingeniería Minas, Geología y Metalurgia.

También el agradecimiento a los docentes de mi gloriosa facultad de ingeniería de minas y a mis asesores del presente trabajo de investigación quienes influyeron con sus consejos en temas de geomecánica.

A los ingenieros de la contrata de Operaciones Seprocal con quienes siempre se aprende las nuevas aplicaciones en temas de geomecánica.

RESUMEN

En este trabajo de investigación titulado “Estudio geomecánica para el diseño del tipo de sostenimiento en el Túnel 8 de agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020”. Tiene por objetivo el de realizar el estudio geomecánico para el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020. El estudio se justifica porque en el diseño de una excavación subterránea se usa la roca como una estructura y para ello se debe dañar mínimamente y se debe de proporcionar un buen sistema de soporte. La metodología empleada está en base al método científico empleando el método Descriptivo que consiste en el análisis e interpretación de los datos que han sido reunidos con un propósito definido. Del estudio se concluye que se debe de emplear los pernos cementados con resina en forma sistemática, espaciados cada 1.5 metros + malla electro soldada y una capa de Shotcrete de 4“de espesor. Las conclusiones mas importantes fueron que el valor del RMR = 44 y el Tipo de roca es clase III – B. y Se debe de mejorar la coordinación en todas las áreas de construcción del túnel 8 de agosto, fortaleciendo la cultura de prevención para ello se debe incidir en la sensibilización al personal y cumplir estrictamente los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro (PETS).

Palabras claves: Estudio geomecánico, diseño del tipo de sostenimiento, túnel 8 de agosto, Distrito de Monzón, Huánuco, 2020.

ABSTRACT

This research work titled "Geomechanical study for the design of support type in Tunnel 8 de Agosto, Monzón District, Huánuco - 2020" aims to carry out a geomechanical study for the design of the appropriate support type in Tunnel 8 de Agosto, Monzón District, Huánuco - 2020. The study is justified because in the design of an underground excavation, the rock is used as a structure, and therefore, it must be damaged as little as possible and a good support system must be provided. The methodology used is based on the scientific method and employs the descriptive method, which consists of the analysis and interpretation of data collected for a specific purpose. The study concludes that systematic cemented resin bolts should be used, spaced every 1.5 meters, along with electro-welded mesh and a 4" thick layer of Shotcrete. The most important conclusions were that the RMR value is 44 and the rock type is class III-B. It is recommended to improve coordination in all construction areas of Tunnel 8 de Agosto, strengthening the culture of prevention by sensitizing personnel and strictly complying with the Safe Work Procedures (PETS).

Keywords: Geomechanical study, support type design, Tunnel 8 de Agosto, Monzón District, Huánuco, 2020.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Entorno Físico.....	1
1.1.1. Ubicación y acceso	1
1.1.2. Climatología y ecología	2
1.1.3. Fisiografía	2
1.2. Entorno geológico.....	3
1.2.1. Geología regional.....	3
1.2.2. Geología local	3
CAPITULO II.....	5
FUNDAMENTACIÓN	5
2.1. MARCO TEÓRICO	5
2.1.1. Antecedentes de la investigación	5
2.1.2. Definición de Términos	11
2.1.3. Fundamentación teórica	14
2.1.3.1. Mecánica de rocas y geomecánica – Conceptos fundamentales ...	14
2.1.3.2. Geomecánica – Seguridad – Economía	16
2.1.3.3. Factores que controlan la estabilidad de las excavaciones	17
2.1.3.4. Los factores pre-existentes a la excavación son	17
2.1.3.5. Los factores posteriores a la excavación son	17
2.1.3.6. Efectos de la apertura de excavaciones.....	17
2.1.3.7. Mapeo geomecánico	18
2.1.3.8. Altura y ancho de labor.....	18

2.1.3.9. Orientación y frecuencia de fracturas o discontinuidades	19
2.1.3.10. Agua subterránea	19
2.1.3.11. Parámetros del macizo rocoso	20
2.1.3.12. Clasificación del macizo rocoso	22
2.1.3.13. RQD Índice de calidad de la roca	22
2.1.3.14. RMR “Rock Mass Rating”	23
2.1.3.15. Clasificación Geomecánica de Barton	23
2.1.3.16. GSI – Índice de Resistencia Geológica	24
2.1.3.17. Sostenimiento de labores subterráneas	27
2.1.3.18. Tipos de sostenimiento	27
2.1.3.19. Tipo de perno	29
CAPITULO III	34
METODOLOGÍA.....	34
3.1. El problema.....	34
3.1.1. Descripción de la realidad.....	35
3.1.2. Formulación del Problema.....	35
3.1.3. Objetivos de la investigación	36
3.1.3.1. Objetivo General.....	36
3.1.3.2. Objetivos Específicos	36
3.1.4. Justificación e importancia	36
3.1.5. Alcances	37
3.1.6. Limitaciones.....	37
3.1.7. Delimitación.....	37
3.2. Hipótesis	37
3.2.1. Hipótesis General.....	37

3.2.2. Hipótesis Nula.....	37
3.2.3. Hipótesis Específicas	37
3.3. Variables	38
3.3.1. Operacionalización de variables	38
3.4. Diseño de la investigación	39
3.4.1. Tipo de investigación.....	39
3.4.2. Nivel de la investigación.....	39
3.4.3. Método	39
3.4.4. Diseño de la investigación	39
3.4.5. Población y muestra.....	39
3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
CAPITULO IV	41
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	41
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos	41
4.2. Características geológicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de agosto	41
4.3. Características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de agosto	42
4.3.1. Levantamiento litológico	42
4.3.2. Índice de calidad de la roca (RQD).....	43
4.3.3. Resistencia compresiva de la roca	44
4.3.4. Índice RMR (Rock Mass Rating)	44
4.3.5. Índice Q de Barton	46
4.4. Diseño de sostenimiento adecuado para el túnel 8 de agosto	52
4.5. Relación entre las clasificaciones geomecánicas y el tipo de sostenimiento.....	55
4.6. Condición de los macizos rocosos:.....	57
4.7. Descripción de los tipos de sostenimiento y la forma de colocación:	58

4.7.1. Pernos helicoidales con resina	58
4.7.2. Sostenimiento con malla	61
4.7.3. Sostenimiento con concreto lanzado.....	62
4.8. Discusión de resultados	65
4.9. Aporte del tesista	66
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	69
ANEXOS.....	72
ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS.....	73
ANEXO 2. PLANO DE INGENIERIA DE DETALLE	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la CH 8 de agosto.....	1
Figura 2. Unidades Lito estratigráficas	4
Figura 3. Caracterización Geomecánica del macizo rocos según el grado de fractura miento 26	
Figura 4. Apertura.	30
Figura 5. Clasificación geomecánica RMR Bieniawski.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	38
Tabla 3. Clasificación de acuerdo al RQD (%).	43
Tabla 4. Resistencia compresiva de la roca.	44
Tabla 5. Sistema de valoración de la masa rocosa RMR (Según Bieniawski, 1989).	45
Tabla 6. Mapeo Geomecanico a detalle.....	53
Tabla 7. Valores de ESR para distintos tipos de excavación	57

INTRODUCCIÓN

La central hidroeléctrica 8 de agosto está situada en el departamento de Huánuco, provincia de Huamalíes, en el distrito de Monzón, a una altitud de 1,165 metros sobre el nivel del mar. La pendiente es negativa, con un valor de 3.310%. Con una capacidad de 19 MW, la energía se generará aprovechando el río Aucantagua, con una altura neta de 130 metros y un caudal nominal de 18 m³/s. La central estará conectada al SEIN a través de la L.T. 138 kV S.E. 8 de agosto - S.E. Tingo María, una línea de transmisión de 58,7 km de longitud, de simple circuito. Las obras de captación incluyen barraje, compuerta, bocatoma, desarenador y cámara de carga, y también hay obras de conducción, tubería, túnel, chimenea de equilibrio, cámara de válvula, tubería forzada y casa de máquinas.

La obra representa un gran desafío de ingeniería debido a la complejidad de la geomorfología de la zona y el clima de la selva central. Para garantizar la estabilidad del túnel y el cumplimiento de los plazos previstos, se formaron equipos multidisciplinarios especializados en geología, detonaciones subterráneas, excavación y sostenimiento, que trabajaron en dos frentes a través de dos ventanas de acceso. El volumen de excavación de material será de 9,756 m³, y las secciones críticas serán revestidas con más de 50 toneladas de acero.

La bocatoma del Túnel de Aducción tendrá una dimensión máxima de 3 metros por 3 metros y estará situada a una altitud de 1,165 metros sobre el nivel del mar. La longitud de excavación será de 1,084 metros, y la apertura del túnel incluirá dos portadas de entrada y salida, cada una con acceso independiente y gradiente positiva y negativa para permitir la ejecución desde ambos lados. La tesis tiene cuatro capítulos que son:

CAPÍTULO I: Trata sobre las Generalidades.

CAPÍTULO II: Fundamentación Teórica.

CAPÍTULO III: Metodología.

CAPÍTULO IV: Resultados de la investigación.



CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación y acceso

Osinergmin (2018), la central hidroeléctrica 8 de Agosto se encuentra ubicado en el departamento de Huánuco; provincia de Huamalíes, distrito de Monzón a una altitud de 1,165 m.s.n.m.

Acceso.

Para acceder a la central hidroeléctrica 8 de agosto se tiene el siguiente itinerario:

Lima – Huánuco		369.70 kilómetros
Huánuco – Tingo maría		120.96 kilómetros
Tingo maría - CH 8 de agosto		86.50 kilómetros
Total	=	577.16 kilómetros.

Figura 1. Ubicación de la CH 8 de agosto.



Fuente: Osinergmin, 2018.

1.1.2. Climatología y ecología

El área de influencia de la CH 8 de agosto posee un clima tropical típico de zonas de Selva Alta con presencia de abundantes lluvias estacionales en los meses de octubre a abril, y de mayor estiaje de junio a septiembre, cuyo pequeño rango de oscilación entre las temperaturas máximas y mínimas, favorece las condiciones de vida vegetal características de la región, con una temperatura promedio de 25 °C. En los últimos años se han registrado los siguientes datos climatológicos:

- Temperatura máxima : 30.70 °C.
- Temperatura mínima : 18.90 °C.
- Temperatura promedio : 24.90 °C.
- Humedad relativa promedio : 86.00 %.
- Precipitación : 2,500 a 3,000 mm.
- Velocidad del viento máxima : 22 m/s
- Polución : Muy baja

De acuerdo al mapa ecológico del Perú, se ubica dentro de la zona de vida de bosque muy húmedo - tropical (bmh-T), donde las biotemperaturas son óptimas para el desarrollo de la vegetación, razón por la cual los bosques naturales del Parque Nacional Tingo María, alberga una diversidad de especies de flora útiles al hombre. (Alejandro y Osorio, 2010).

1.1.3. Fisiografía

La ubicación del proyecto se encuentra en una zona donde prevalece una unidad geomorfológica conocida como Valle de Laderas de pendientes

fuertes y Cumbres, la cual se ha desarrollado a través del río Aucantagua. Este valle presenta un relieve caracterizado por pendientes fuertes, que en algunas áreas generan valles encañonados. Se trata de un valle con actividad fluvial constante a lo largo del año, con afluentes que incluyen quebradas con actividad continua y otras que solo presentan actividad en la temporada de lluvias. En algunos sectores, se observan terrazas fluviales ubicadas en diversos niveles, y en ciertas áreas, este valle puede tener un ancho considerable. (Departamento de geología, 2016).

1.2. Entorno geológico

1.2.1. Geología regional

Las rocas que se presentan en la región tienen edades que varían desde el Permiano hasta el Cuaternario reciente (Holoceno). La columna litoestratigráfica generalizada muestra las características litológicas, grosores, relaciones estratigráficas, así como las edades de las diferentes unidades geológicas que son de naturaleza sedimentaria. (Departamento de geología, 2016).

1.2.2. Geología local

Es la columna litoestratigráficas donde está emplazado el Proyecto:

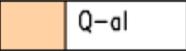
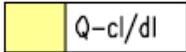
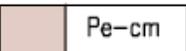
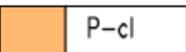
- **Depósitos Recientes.** - En el área de estudio se encuentran diferentes tipos de depósitos recientes que generalmente están rellenando, valles, depresiones y planicies, entre estos se tienen depósitos aluviales, coluviales.
- **Depósitos Aluviales.** - Estos son depósitos que se acumulan en los flancos de los valles y en las quebradas del cauce de los ríos, llanuras de inundación, terrazas y abanicos aluviales. Están constituidos por

conglomerados polimicticos poco consolidados con clastos de tamaño heterogéneos con matriz limo - arcillosa y gravas.

- **Depósitos Coluviales.** - Los depósitos coluviales consisten de detritus heterogéneos e incluyen depósitos de talud y de pendientes consisten en ravas gruesas y finas, arenas inconsolidadas, limos y arcillas.

Desde el punto de vista geológico y geotécnico la calidad de la roca que es un esquisto gris oscuro muy fracturado, levemente resistente, las juntas son con relleno de matriz muy fina y presencia da gua, gotas, puede ser considerada como de óptima calidad requiriéndose el uso de explosivos para su excavación por tratarse de rocas semi - duras. Desde el punto de vista de estabilidad, se requerirá de sostenimiento tanto activo como pasivo.

Figura 2. Unidades Lito estratigráficas

UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA		DESCRIPCION
	DEPÓSITO ALUVIAL	GRAVA ARENOSA CON BOLOS Y BLOQUES DE FORMA SUB-REDONDEADA A REDONDEADA, DE TAMAÑO HASTA DE 2m, DE LITOLOGIA VARIADA.
	DEPÓSITO COLUVIAL-DELUVIAL	MEZCLA HETEROGENEA DE SUELO LIMOSO-ARCILLOSO Y ARENOSO, QUE ENGLOBA GRAVA, CANTOS Y BLOQUES HASTA DE 2m DE TAMAÑO, DE FORMA ANGULOSA, DE LITOLOGIA METAMORFICA PREDOMINANTE
	COMPLEJO MARAÑON	ESQUISTO DE COLOR GRIS OSCURO VERDOSO.
	DEPOSITO COLUVIAL	BLOQUES ANGULOSOS, DE LITOLOGIA METAMORFICA (ESQUISTOS) DE GRANTAMAÑO (10M) CON LIMOS DE BAJA PLASTICIDAD

Fuente: Departamento de geología, 2016.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Antecedentes de la investigación

Antecedente Internacional:

Vera (2017) en la tesis titulada “Comparación técnica entre el método de excavación de la Línea 3 del metro de Santiago y métodos de excavación alternativos”, el propósito de esta investigación es llevar a cabo un análisis detallado de los principales métodos de excavación utilizados en la construcción de túneles en todo el mundo. Se comienza con un enfoque en los métodos de construcción de las primeras líneas de metro en Santiago, incluyendo la técnica a tajo abierto (cut and cover) y el uso de pilotes en etapas posteriores. Luego se describen otros métodos utilizados en suelos compuestos por rocas, utilizando explosivos o maquinarias rozadoras, así como métodos que emplean maquinarias tuneleras (TBM) tanto en suelos blandos como en suelos duros. Se resaltan los aspectos positivos de estos métodos en términos de plazos de ejecución de proyectos completos y de prevención de riesgos en comparación con métodos más tradicionales. Se describe en detalle el método de excavación actual utilizado en el Metro de Santiago, incluyendo su proceso y secuencia constructiva. Utilizando la información obtenida de los métodos más tradicionales y utilizados en la construcción de túneles, se realiza un cuadro comparativo que destaca las principales diferencias entre los métodos. El análisis comparativo culmina con conclusiones y recomendaciones derivadas de toda la investigación llevada a cabo. (Vera, 2017).

Trujillo (2011) en la tesis titulada “Evaluación de recomendaciones de diseño para túneles excavados en materiales volcánicos y suelos residuales”, cuyo objetivo es la evaluación de recomendaciones de diseño para túneles excavados en materiales volcánicos y suelos residuales. Donde se indica que el comportamiento de una excavación subterránea depende, entre otros factores, de las características geomecánicas del medio natural en el que se desarrolla, de las solicitaciones naturales preexistentes en el medio, del proceso constructivo adoptado incluyendo la naturaleza misma, del soporte instalado y de las circunstancias específicas de su instalación. Los criterios empleados para la determinación del soporte requerido durante la construcción de túneles, con el objeto de garantizar su estabilidad, han sido desarrollados a partir de consideraciones empíricas, los cuales con el paso del tiempo, se han fundamentado teóricamente, permitiendo mayores avances y conocimiento de la respuesta del medio, principalmente, en macizos rocosos. Sin embargo esos criterios sufren variaciones de importancia, en los casos en los que se pretende garantizar la estabilidad en terrenos poco competentes, particularmente en el caso de los suelos blandos, donde la respuesta se considera pobre en comparación con los requerimientos de resistencia a los cuales se encuentran sometidos. Dada esta situación, y como motivación principal del presente estudio, surge la necesidad de estructurar recomendaciones de diseño, del soporte de túneles en condiciones especiales y ampliamente encontrados en Colombia, como son los suelos residuales, y materiales volcánicos con bajas coberturas. Las cuales con base en resultados de deformaciones medidas y para cada condición encontrada, definen la respuesta del terreno, identificando un patrón de comportamiento que posibilite la redefinición de alternativas para el sostenimiento del túnel, de una manera optimizada, empleando un ejercicio de retro análisis, por medio del cual se validan los parámetros del terreno,

para cada patrón determinado. La información base para la elaboración del presente estudio, la constituye aquella obtenida durante la construcción del “Túnel La Estrella”, el cual es un túnel vehicular con una sección transversal de aproximadamente 82 m², que hace parte de la conexión vial al Portal Quindío del Túnel Principal de la Línea, ubicado en la cordillera central, zona limítrofe de los departamentos de Quindío y Tolima de la República de Colombia, formando parte de la vía Troncal Bogotá – Buenaventura, en el tramo Ibagué – Armenia, conocido como Alto de la Línea. El cual por las condiciones especiales encontradas durante su construcción representa un modelo especial de referencia. Cabe mencionar que los materiales volcánicos y suelos residuales, analizados en este caso, se limitan aquellos de similares características a los excavados durante la construcción del Túnel La Estrella. Se destaca que el desarrollo y resultados obtenidos se empleó, como herramienta sistemática, el software Phase 2, programa de análisis elasto-plástico de elementos finitos para excavaciones subterráneas y a cielo abierto en roca o suelo, permitiendo modelar numéricamente las condiciones encontradas. (Trujillo, 2011).

Simić (2005) en la tesis titulada “Proyecto de diseño del túnel de Corga de Vela A.V.E Madrid – Galicia”, cuyo subtramo objeto del Proyecto pertenece a la Red Ferroviaria de Altas Prestaciones, Corredor Ferroviario Norte-Noroeste, tramo entre Lubián y Ourense, del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes 2005-2020 (P.E.I.T. 2005-2020). El presente proyecto forma parte de las acciones destinadas a la construcción de una línea de alta velocidad entre Cerdedelo y Porto. Su objetivo es definir las obras necesarias para la construcción de la plataforma, basándose en la solución descrita en el "Estudio Informativo del Proyecto del Acceso Ferroviario en Alta Velocidad a Galicia. Tramo Lubián-Ourense" de octubre de 2003 y teniendo en cuenta las prescripciones ambientales de la Declaración de Impacto Ambiental, cuyas

modificaciones se han incorporado a la solución propuesta en este proyecto. Aunque el subtramo incluye varias obras singulares, como viaductos y túneles, se prestará especial atención al Tunel de Corga de Vela en el marco de este proyecto y en relación al ámbito general de actuación. Más detalles sobre el resto de obras singulares se proporcionarán en los anexos, en particular en los de geología y geotecnia. (Simić, 2005).

Antecedente Nacional:

Pinado (2019) en la tesis titulada “Diseño con el nuevo método austriaco para el refuerzo en excavaciones de baja calidad”, el objetivo de este estudio fue desarrollar un diseño basado en el Nuevo Método Austriaco para el refuerzo de excavaciones con baja calidad. La hipótesis planteada afirmaba que con un diseño por ductilidad del shotcrete basado en este método, sería posible realizar el refuerzo en excavaciones de baja calidad. La investigación se llevó a cabo siguiendo el método científico, que es un proceso ordenado de operaciones y normas preestablecidas para alcanzar un resultado o fin mediante el pensamiento lógico y basado en fundamentos científicos. Los resultados indicaron que en las rocas, el 94.12% de las densidades tienden a ser menores a 3 Tn/m^3 , con una variación del 39.11% entre el valor mínimo y máximo. En cuanto al diseño considerado en este estudio, la variación entre lo diseñado y el valor máximo es del 6.65%, y debido al factor de $\emptyset=0.90$ y la envolvente de cargas, puede soportar la carga. La conclusión más importante fue que, después de realizar un modelamiento estructural adecuado para una sección utilizada en minería mecanizada, se obtuvo un diseño por ductilidad con un refuerzo de $2\emptyset 1'' + 1\emptyset 1/2''$ y $2\emptyset 3/4'' + 1\emptyset 1/2''$, con una cuantía de 0.0125 y 0.0087 respectivamente (12.10cm^2 y 7.67 cm^2), que cumplen con el criterio de falla dúctil. En caso de empezar a fallar, se podrán apreciar fisuras en el concreto, lo que permitirá realizar

una reparación oportuna para evitar pérdidas humanas y materiales. El factor de seguridad para la estructura es de 1.61, lo que según las recomendaciones de OSINERGMIN es adecuado. (Pinado, 2019).

Soto (2016) en la tesis titulada “Diseño de sostenimiento en el Túnel Wayrasencca – Ollachea.”, cuyo objetivo fue determinar las características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel Wayrasencca y diseñar el sostenimiento de las cuñas subterráneas del Túnel Wayrasencca. La hipótesis planteada fue que mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso presente en el túnel, se determina el diseño de sostenimiento de las cuñas subterráneas de roca del Túnel Wayrasencca. La investigación tiene como diseño metodológico el descriptivo experimental el resultado más importante indica que las características geomecánicas del macizo rocoso presentes en el túnel, sí están controladas por las características estructurales, geométricas y de las discontinuidades, dentro de estas últimas las condicionantes fueron: el espaciamiento, la persistencia o continuidad, la rugosidad de las juntas, la partura, el relleno, la meteorización, altaración y presencia de agua. La aplicación de las metodologías propuestas para este tipo de análisis y diseño, además de la forma como se presentan los resultados demuestra la interacción de métodos empíricos y la interacción con la aplicación de softwares especializados en geotecnia y geomecánica, obteniendo resultados más confiables mientras mayor sean los detalles de caracterización geotécnica y geomecánica, y resultados que se aproximan a la realidad de la zona de estudio. Y siendo la conclusión más importante que las características estructurales y geológicas de la zona de estudio, determinaron las clasificaciones de Roca RMR y Q, además determinaron la clasificación de los suelos (material fluvio glacial) presentes en el portal de entrada y de salida del túnel. Dichas

clasificaciones determinaron el tipo de sostenimiento a utilizar en los tramos de Roca según las recomendaciones de Bieniawski y Barton. (Soto, 2016).

Antecedente Local

Loarte (2018) en la tesis titulada “Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la Corporación minera Toma la Mano – Cormitoma S.A. – año 2018”, cuyo objetivo fue determinar en base a la geomecánica el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la Corporación Minera Toma La Mano – CORMITOMA S.A. – Año 2018. La hipótesis general fue la aplicación de la geomecánica será determinante en el diseño del sostenimiento en la Corporación Minera Toma La Mano – CORMITOMA S.A. – Año 2018. La investigación fue descriptiva – correlacional. Se determinó que el RMR Básico y el corregido para la Mineral varía entre 59- 59 (Tipo IIIA), en el caso de la Zona de Contacto varía entre 66 - 66 (Tipo II-B), en el caso de la Pizarra varía entre 58 - 58 (Tipo IIIA), en el caso de la Cuarcita varía entre 71 - 71 (Tipo IIA) y en el caso de la Granodiorita varía entre 87- 82 (Tipo IIB). De acuerdo al criterio científico de Palmstron la ecuación para el yacimiento Toma La Mano en lo relacionado al RMR y Q (Bieniawski – Barton), es $RMR = 8.988\ln(x)+44.046$, dicho valor se encuentra dentro del rango establecido por esta teoría. En lo relacionado al tiempo de autoporte sin sostenimiento, para el caso de la Pizarra cuyo valor del RMR está en el rango de 58 - 58, es de 1 mes y 2 días, para el caso de la Cuarcita cuyo valor del RMR está en el rango de 71 - 71, es de 1 año, en el caso de la Granodiorita cuyo valor del RMR está en el rango de 87 - 82, es de 3 años y 7 meses. La conclusión más importante fue que el sostenimiento es esporádico, empleando Split set de 5 y 7 pies espaciados cada uno de 1.2 x 1.2 mts. Distribuidos en forma de tres bolillos + malla electrosoldada en

terrenos muy fracturados o cuadros de madera donde requiera y Puntales de seguridad. (Loarte, 2018).

2.1.2. Definición de Términos

- **Adherencia (adhesión / bond):** Característica que posee el concreto proyectado de pegarse al sustrato después de ser proyectado neumáticamente a través de una boquilla. (Pinado, 2017).
- **Adiciones:** Materiales minerales finamente molidos utilizados en el concreto con el fin de mejorar ciertas propiedades o para conferirle propiedades especiales. Cualquier material activo agregado al concreto en pequeñas cantidades para modificar alguna de sus propiedades por acción física, química o física-química. Se usan aditivos para mejorar las propiedades del shotcrete estos pueden ser los acelerantes de fragua, que no deberán ser usados en más del 2% en peso del cemento, los reductores de agua y los retardantes. Hace poco se ha introducido la microsilica como un añadido cementante, esto permite duplicar o hasta triplicar la resistencia del shotcrete. (Pinado, 2017).
- **Anclajes Inyectados:** Pernos colocados en toda su longitud, y dispuestos en forma radial, pero de acuerdo a la disminución de calidad del macizo. (Pinado, 2017).
- **Anclajes sistemáticos:** Fijados a la roca con cápsulas de resina en la cabeza e inyectados en todo el resto de su longitud, y que al estar dispuestos en dirección radial al eje del túnel conformará el arco de roca armada. (Pinado, 2017).

- **Arcos armados o cimbra:** Que consisten en barras de acero corrugado que se amoldan de mejor manera a las irregularidades de la excavación; haciendo posible la disminución del consumo de concreto lanzado. (Pinado, 2017).
- **Caída de rocas:** Su causa principal es la gravedad terrestre, aunque es muy importante en el análisis de cómo se generan estos procesos, cual es el material que conforma la ladera (puede ser roca, suelo o ambos) y que características geo-mecánicas posee el substrato que la conforma. (Pinado, 2017).
- **Concreto lanzado (shotcrete):** Es el nombre que se le da a la mezcla homogénea de cemento, agua, agregados, elementos de refuerzo y aditivo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie. La tecnología del shotcrete comprende dos procesos de mezcla seca o mezcla húmeda. (Pinado, 2017).
- **Excavación parcializada:** Debe guardar una distancia prudente en cuanto al avance de una etapa respecto a la otra, con la finalidad de cerrar el anillo cuanto antes. (Pinado, 2017).
- **Labores permanentes:** Son aquellas labores mineras que serán de larga duración o duración permanente durante la vida de la mina, y en las que se requieren aplicar el sostenimiento adecuado que garantice un alto factor de seguridad, pues en estas labores se tendrá un tránsito constantemente de personas y equipos y la construcción de diversas instalaciones. (Pinado, 2017).

- **Labores temporales:** Son labores que requieren un sostenimiento ocasional y menor que en las labores permanentes, pues estas labores serán rellenadas luego de ser explotadas. (Pinado, 2017).
- **Macizo rocoso:** Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades, están constituidos, por mezclas heterogéneas de diversos materiales homogéneos y cristalinos, es decir, minerales. Las rocas suelen ser materiales duros, pero también pueden ser blandas, como ocurre en el caso de las rocas arcillosas o las arenosas. (Pinado, 2017).
- **Mezcla húmeda:** En este proceso, los componentes del shotcrete y el agua son mezclados antes de la entrega a una unidad de bombeo de desplazamiento positivo, la cual luego suministra la mezcla hidráulicamente hacia la boquilla donde es añadido el aire para proyectar el material sobre la superficie rocosa. El cemento que se usa normalmente es el tipo Portland estándar tipo V. (Pinado, 2017).
- **Mezcla seca:** En este proceso los componentes del shotcrete seco o ligeramente húmedo, son alimentados a una tolva con agitación continua. El aire comprimido es introducido a través de un tambor giratorio o caja de alimentación para transportar los materiales en un flujo continuo hacia la manguera de suministro. El agua es adicionada a la mezcla en la boquilla. (Pinado, 2017).
- **Túnel:** Paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una vía de comunicación a través de un monte, por debajo de un río u otro obstáculo. (<https://www.google.com>).

2.1.3. Fundamentación teórica

2.1.3.1. Mecánica de rocas y geomecánica – Conceptos fundamentales

Desde el punto de vista de aplicación a los problemas prácticos de ingeniería, la mecánica de rocas está relacionada con la aplicación de los principios de la mecánica ingenieril al diseño de estructuras rocosas. La estructura en este caso estará constituida por la masa rocosa en la que, por efecto de haber practicado en la misma una excavación, se ha producido un cambio de esfuerzos con respecto a su situación original, lo que trae como consecuencia la necesidad de garantizar la estabilidad de toda la zona.

La experiencia ha demostrado que la estabilidad de una excavación rocosa depende de los esfuerzos de campo pre-existentes, de la forma, orientación y dimensiones de la excavación y de la estructura y calidad del macizo rocoso. Obviamente, estos conceptos indican claramente que la mecánica de rocas está relacionada a la línea principal de la mecánica clásica y a la mecánica continua, pero varios factores específicos la identifican como un campo de la ingeniería distinta y coherente.

De los conceptos dados, una definición ampliamente aceptada es aquella ofrecida inicialmente por U.S. National Committee on Rock Mechanics en 1964 y luego modificada en 1974: "La mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico de la roca y de los macizos rocosos; esto es, aquella rama de la

mecánica que trata con la respuesta de la roca y de los macizos rocosos al campo de fuerzas de su entorno físico”

Desde que esta es una disciplina distinta y coherente, su aplicación práctica efectiva demanda su integración filosófica con otras áreas que tratan con la respuesta mecánica de todos los materiales geológicos, todo esto en conjunto es lo que se denomina la Geomecánica. Luego, la mecánica de rocas vendrá acompañada principalmente por la geología estructural, la hidrogeología y la geofísica; juntos conforman la base conceptual y verdadera, a partir de la cual se puede desarrollar procedimientos para la predicción y control del comportamiento de estructuras rocosas. Se debe tener presente que, a pesar de tener algunos principios básicos comunes, existe marcada diferencia entre la mecánica de rocas y la mecánica de suelos, por lo que estas deben ser consideradas como disciplinas complementarias más que mutuamente inclusivas.

Tal como se conceptualiza hoy en día, la mecánica de rocas tiene fundamental importancia principalmente en la ingeniería minera, que es el tema a donde va dirigida esta tesis, y en la ingeniería civil; particularmente constituye la base de la ingeniería minera, puesto que ésta a diferencia de la ingeniería civil, tiene sus propias peculiaridades, guiadas por el concepto de “vida de operación”, junto con el beneficio económico de dicha operación con márgenes ajustados de seguridad, lo cual crea problemas de diseño que son únicos a la explotación de minas. (Córdova, N., 2008).

2.1.3.2. Geomecánica – Seguridad – Economía

En la industria minera, la geomecánica solía considerarse principalmente como un tema de seguridad. Sin embargo, hoy en día se reconoce cada vez más que esta herramienta tecnológica también puede tener un impacto significativo en los aspectos económicos de las operaciones mineras. Por lo tanto, se están realizando importantes avances para integrar la geomecánica en el proceso diario de toma de decisiones en la minería.

En cuanto a la seguridad, la geomecánica se enfoca en reducir el número y la frecuencia de caídas de rocas para evitar o minimizar los daños a los trabajadores y equipos. Este tema es especialmente relevante en el Perú, donde las estadísticas de accidentes fatales en las minas han motivado a los organismos relacionados con la minería a tomar medidas para combatir estos sucesos.

En cuanto a los aspectos económicos, se pueden cuantificar los impactos de la geomecánica con los siguientes ejemplos:

- Reducción en los costos de rehabilitación de áreas inestables.
- Ahorro potencial por la no interrupción de la producción a causa de los problemas de inestabilidad.
- Ganancia en la producción por la dedicación del personal a esta tarea en lugar de dedicarse a la rehabilitación de áreas inestables.
- Mayor recuperación del mineral por adecuados diseños geomecánicos.

- Reducción de costos por el minado masivo de grandes aberturas.
- Ahorro en el consumo de cemento de los rellenos cementados.
- Otros. (Córdova, N., 2008).

2.1.3.3. Factores que controlan la estabilidad de las excavaciones

Existen dos conjuntos de factores que influyen en la estabilidad de las excavaciones relacionadas con la minería subterránea. El primero se refiere a los factores que ya existían antes de la excavación, mientras que el segundo conjunto se refiere a los factores que surgen después de la excavación.

2.1.3.4. Los factores pre-existentes a la excavación son

- Las características del medio geológico.
- El comportamiento mecánico del medio geológico.
- Los esfuerzos in-situ.

2.1.3.5. Los factores posteriores a la excavación son

- Los esfuerzos inducidos por el minado.
- La forma, tamaño y orientación de las excavaciones.
- El carácter dinámico de las excavaciones por el avance del minado. (Córdova, N., 2008).

2.1.3.6. Efectos de la apertura de excavaciones

Cuando se lleva a cabo la excavación subterránea en el proceso minero, se producen dos efectos: por un lado, se crea una estructura

rocosa, y por otro lado, se producen perturbaciones mecánicas en el entorno geológico. Estas perturbaciones pueden incluir desplazamientos hacia el espacio vacío creado, nuevos estados de esfuerzos y deformaciones, y acumulaciones de energía de deformación. Para garantizar la estabilidad de las excavaciones relacionadas con la minería, es crucial controlar estas perturbaciones. De lo contrario, se producirán problemas de inestabilidad. (Córdova, N., 2008).

2.1.3.7. Mapeo geomecánico

En el proceso de mapeo geomecánico, se tienen en cuenta las propiedades de las discontinuidades que son relevantes, y que influyen en el comportamiento de la masa rocosa, así como algunas características de la excavación. (Celestino, 2007).

2.1.3.8. Altura y ancho de labor

Es necesario que el tamaño de una excavación sea adecuado para las condiciones geomecánicas de la masa rocosa. Si las condiciones geomecánicas no lo permiten y se intenta aumentar el tamaño de la excavación sin tomar medidas de control de la estabilidad de la masa rocosa, se genera un peligro potencial. A medida que el tamaño de la excavación se amplía, los techos, paredes o cajas están expuestos a mayores rasgos estructurales de la masa rocosa. Por lo tanto, también se deben tener en cuenta la altura y el ancho de la labor y tomar medidas adecuadas. (Celestino, 2007).

2.1.3.9. Orientación y frecuencia de fracturas o discontinuidades

La ubicación de una discontinuidad en el espacio se describe comúnmente por su rumbo y buzamiento. Cuando un conjunto de discontinuidades tiene una orientación similar o son aproximadamente paralelas, se considera que forman un "sistema" o una "familia" de discontinuidades. (Celestino, 2007).

2.1.3.10. Agua subterránea

- En rocas masivas o levemente fracturadas, la presencia del agua no tiene influencia significativa.
- En rocas fracturadas o estratificadas, la influencia del agua en las fisuras es un aspecto importante a considerar.
- La observación de cambios en la humedad, en el techo y paredes de la excavación, ayuda en el reconocimiento de posibles fallas de la roca, como resultado de las variaciones de los esfuerzos.
- La presencia de agua en las fallas geológicas y zonas de corte, influye significativamente en la estabilidad de la masa rocosa de una excavación.
- La presencia de agua en la roca intemperizada y débil, puede acelerar el aflojamiento y actuar como lubricante para producir deslizamientos.
- Es importante considerar que la presencia de agua ácida daña a los sistemas de sostenimiento, produciendo corrosión a los

elementos de fierro, acero y deterioro del concreto. Con el tiempo, los elementos de sostenimiento perderán su efectividad, creando situaciones de peligro de caída de rocas. (Celestino, 2007).

2.1.3.11. Parámetros del macizo rocoso

Las propiedades geomecánicas importantes que influyen en el comportamiento de la masa rocosa, principalmente son:

- **Espaciamiento.** - Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes.

Condiciones de las juntas

- **Persistencia.** - Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable.
- **Apertura.** - Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables.
- **Rugosidad.** - Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanta menor rugosidad tenga una

discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente.

- **Relleno.** - Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente.
- **Intemperización o meteorización.** - Está relacionada con la modificación que sufre la superficie de la roca o en sus proximidades, debido a la acción de agentes atmosféricos. El grado de la meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y la composición de la masa rocosa.
- **Meteorización física.** - como consecuencia de ésta, la apertura de las discontinuidades aumenta o pueden formarse nuevas fracturas por el relajamiento de la roca.
- **Meteorización química.** - origina la decoloración de la roca hasta la descomposición de la misma.
- **Meteorización biológica.** - está regida por la presencia y actividad de los seres vivos.
- **Alteración.** - La alteración de la roca o más propiamente dicha, alteración hidrotermal, se produce por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a altas temperaturas a través de fracturas o zonas de falla. Éstos afectan a los rellenos de las zonas de falla y sus cajas, originando reemplazamientos y

rellenos, que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan. (Celestino, 2007).

2.1.3.12. Clasificación del macizo rocoso

En la actualidad, existen varios criterios de clasificación geomecánica ampliamente aceptados en todo el mundo para definir las condiciones de la masa rocosa de manera sistemática. Entre ellos, se encuentran los criterios desarrollados por Barton y colaboradores (1974), Deere (1964) y Bieniawski (1989). Por su simplicidad y utilidad, se presentan aquí los criterios del RQD Deere (1964), RMR (Valoración de la Masa Rocosa) de Bieniawski (1989), Q de Barton y GSI (Índice de Resistencia Geológica), que se determinan a partir de los datos obtenidos en los mapeos geomecánicos realizados en las paredes de las labores mineras. (Celestino, 2007).

2.1.3.13. RQD Índice de calidad de la roca

En el año 1964, Deere presentó una medida numérica para evaluar la calidad de la roca, conocida como Rock Quality Designation (RQD), que se puede obtener mediante el análisis de los testigos obtenidos de las perforaciones diamantinas. El RQD se calcula dividiendo el porcentaje de fragmentos de testigos recuperados con una longitud superior a 10 cm por la longitud total del taladro. (Celestino, 2007).

2.1.3.14.RMR “Rock Mass Rating”

La categorización geomecánica se fundamenta en la utilización del índice RMR "Rock Mass Rating", el cual ofrece una evaluación de la calidad del macizo rocoso a partir de los siguientes elementos:

- La resistencia compresiva (R_c) de la roca íntegra, que puede ser determinada a través de golpes de martillo o mediante ensayos en laboratorio.
- El Rock Quality Designation (RQD), que puede ser calculado utilizando testigos recuperados de perforaciones diamantinas o mediante la fórmula mencionada.
- La separación entre discontinuidades.
- La condición de las discontinuidades, que abarca aspectos como su persistencia, apertura, rugosidad, relleno y meteorización.
- La existencia de agua.
- Ajuste por orientación.
- Estos factores son medidos mediante una serie de parámetros que establecen unos valores correspondientes, y la suma de dichos valores en cada caso determina el índice de Calidad del RMR. (Celestino, 2007).

2.1.3.15. Clasificación Geomecánica de Barton

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice de calidad “Q” denominado también índice de Calidad tunelera, que da una

estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Dónde:

RQD : Rock Quality Designation

Jn : Joint Set Number, Índice de diaclasado que tiene en cuenta el número de Familias.

Jr : Joint roughness number, índice de rugosidad de las Juntas.

Ja : Joint alteration number, índice de alteración de las Juntas.

Jw : Joint water reduction factor, factor de reducción por Presencia de agua en las juntas.

SRF : Stress reduction factor, factor de reducción por esfuerzos.

2.1.3.16. GSI – Índice de Resistencia Geológica

Paúl Marinos, profesor de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Técnica de Atenas - Grecia, y Evert Hoek Ingeniero Consultor de Vancouver, B.C. de Canadá, desarrollaron el GSI, índice de resistencia geológica, con la finalidad de estimar la resistencia del macizo rocoso.

El Índice de Resistencia Geológica GSI considera dos parámetros: y la condición de la estructura de la masa rocosa la condición superficial de la misma.

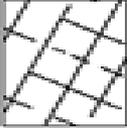
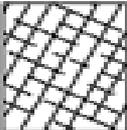
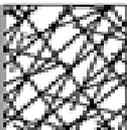
La estructura de la masa rocosa considera el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, según esto, las cinco categorías consideradas se definen así:

- Masiva o Levemente Fracturada (LF)
- Moderadamente Fracturada (F)
- Muy Fracturada (MF)
- Intensamente Fracturada (IF)
- Triturada o brechada (T)

La condición superficial de la masa rocosa involucra a la resistencia de la roca intacta y a las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración. Según esto, las cinco categorías consideradas se definen así:

- Masa rocosa Muy Buena (MB).
- Masa rocosa Buena (B).
- Masa rocosa Regular (R).
- Masa rocosa Mala (M).
- Masa rocosa Muy Mala (MM). (Celestino, 2007)

Figura 3. Caracterización Geomecánica del macizo rocoso según el grado de fracturamiento

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN CSI MODIFICADO Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas insitu con una wincha. La mala voladura afecta esta condición. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de paredes y relleno de las discontinuidades.		CONDICIONES SUPERFICIALES				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (R _c > 250 MPa). (SE ASTITA CON GOLPES DE PICOTA).	BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEM. ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACIÓN, LIGERAM. ABIERTAS. (R _c 100 a 250 MPa). (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA).	REGULAR (RESISTENTE Y LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS. (R _c 50 a 100 MPa). (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA).	MALA (MODERADAMENTE RESIT. MODERADAM. ALTERADA) SUPERFICIES PULIDAS O CON ESTRICIONES, MUY ALTERADAS, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (R _c 25 a 50 MPa). - (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE).	MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIES PULIDAS Y ESTRIBAS, MUY ABIERTAS CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS. (R _c < 25 MPa). (SE DISREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE).
 <p>LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SÍ. (RQD 75 - 90%). (2 A 5 FRACT. POR METRO)</p>	LP/MB	LP/B	LP/R	LP/M	LP/MM	
 <p>MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 - 75%). (5 A 12 FRACT. POR METRO)</p>	F/MB	F/B	F/R	F/M	F/MM	
 <p>MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 - 50%). (12 A 20 FRACT. POR METRO)</p>	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/M	MF/MM	
 <p>INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 - 25%). (MÁS DE 20 FRACT. POR METRO)</p>	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/M	IF/MM	
 <p>TRITURADA O BRECHADA. LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTACION UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FÁCILMENTE DISMENSURABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD)</p>	T/MB	T/B	T/R	T/M	T/MM	

Fuente: Paúl Marinos, Citado por Celestino 2007.

2.1.3.17. Sostenimiento de labores subterráneas

La estabilidad de macizo rocoso de una excavación simple como un tajeo, un Túnel, una galería, un crucero, una estación de pique, una rampa, etc., depende de los esfuerzos y de las condiciones estructurales de la masa rocosa detrás de los bordes de la abertura. Las inestabilidades locales son controladas por los cambios locales en los esfuerzos, por la presencia de rasgos estructurales y por la cantidad de daño causado a la masa rocosa por la voladura. En esta escala local, el sostenimiento es muy importante porque resuelve el problema de la estructura de la masa rocosa y de los esfuerzos, controlando el movimiento y reduciendo la posibilidad de falla en los bordes de la excavación.

El término “sostenimiento” es usado aquí para cubrir los diversos aspectos relacionados con los pernos de roca (de anclaje mecánico, de varillas de fierro corrugado o barras helicoidales ancladas con cemento o con resina, split sets y swellex), cables, malla, cintas de acero (straps), concreto lanzado (shotcrete) simple y con refuerzo de fibras de acero, cimbras de acero, gatas, madera (puntales, paquetes, cuadros y conjuntos de cuadros), relleno y algunas otras técnicas de estabilización de la masa rocosa. Todos estos elementos son utilizados para minimizar las inestabilidades de la roca alrededor de las aberturas mineras. (Yaguillo, 2014. Citado por Rodríguez, 2018).

2.1.3.18. Tipos de sostenimiento

El término "sostenimiento" se refiere a la restauración del equilibrio de la masa rocosa mediante la aplicación de técnicas como el refuerzo mediante pernos de roca, el revestimiento con shotcrete, el relleno, el soporte con materiales como el acero y los cuadros de madera, y el grouting, con el objetivo de asegurar la estabilidad del macizo rocoso.

- **Pernos de roca.** se clasifican en:
 - **Anclaje puntual**
 -  Pernos de madera
 -  Pernos de mariposa
 - **Anclaje repartido**
 -  Químicos
 -  Resina
 -  Cemento (Pernos helicoidales)
- **Mecánicos**
 - Split set
 - Hydrabolt
- **Combinados**
 - Slings
 - Kiruna
 - Woods pack
- **Revestimiento (Shotcrete)**

- Shotcrete húmedo
- Shotcrete seco
- **Soporte**
 - Cimbras – cerchas (Arc Steel)
 - Cuadros de madera (rectos, cónicos, cojos, entre otros)
- **Relleno (Back fill)**
 - Relleno Hidráulico
 - Relleno cementado
 - Relleno detrítico
 - Relleno hidroneumático
 - Grouting
 - Tratamiento de la masa rocosa a través del cemento (lechada). (Yaguillo, 2014. Citado por Rodríguez, 2018).

2.1.3.19. Tipo de perno

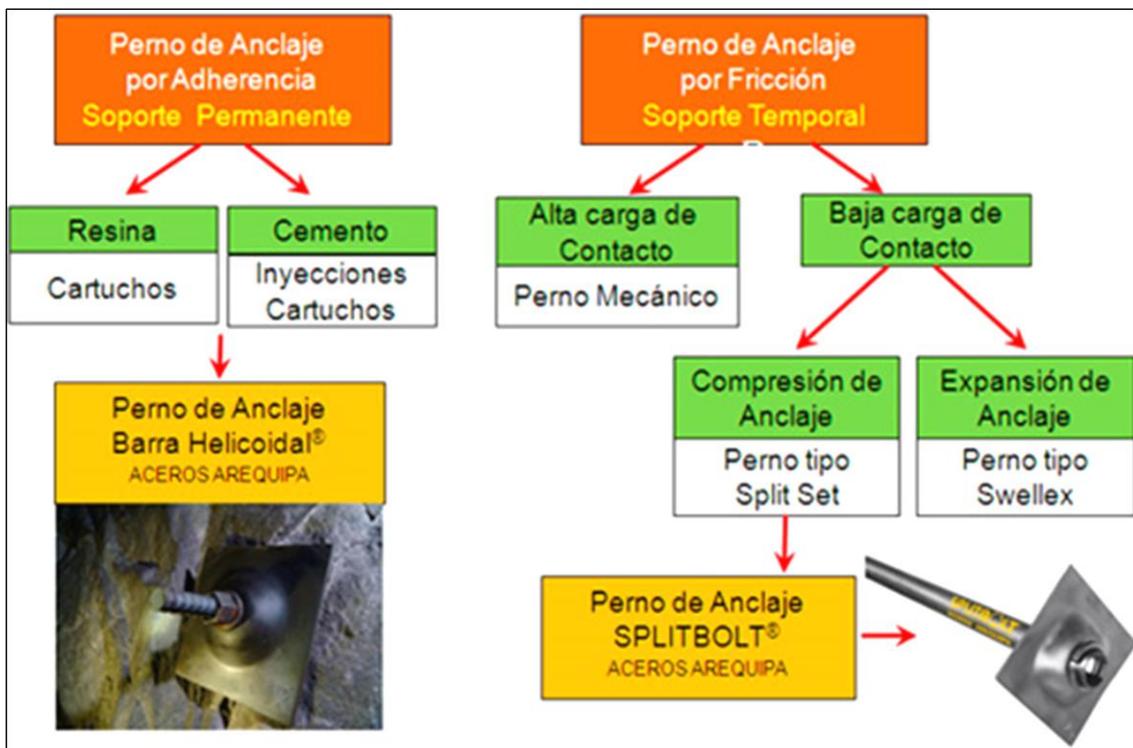
Existen básicamente 2 tipos de pernos de fortificación (también llamados pernos de roca). Los pernos de roca pueden ser de dos tipos: por adhesión o por fricción.

Un perno de roca embebido en resina resiste los esfuerzos del tensionamiento de la barra por la adhesión o “pegado” de la resina con la roca y la barra de acero. En lugar de cartuchos de resina también se pueden usar cartuchos de cemento (CEMBOLT) o cemento inyectado en la perforación mediante bombas manuales. La

barra de acero utilizada puede ser una barra corrugada maquinada o una barra helicoidal.

El perno de roca por fricción resiste las cargas de tensionamiento por fuerzas fricciones al contacto entre la roca y el perno. Por lo tanto no se usa ningún tipo de adherente. En este caso, los pernos comúnmente utilizados son los famosos Swellex y el Split Set.

Figura 4. Apertura.



Fuente: Yaguillo Amante, Miguel Ángel, 2014.

La ventaja del perno por adhesión con relación al perno por fricción es que el primero puede desarrollar cargas hasta de 25 ton como mínimo (para barras de diámetro de 22mm) o cargas de hasta 32 ton como mínimo (para barras de diámetro de 25mm). En cambio, los pernos por fricción solo pueden soportar cargas entre 6-8 ton. Por

esta razón, los pernos por adhesión generalmente son usados como sostenimiento permanente (galerías y rampas en minas de uso prolongado y en túneles para trasvases de agua o en centrales hidroeléctricas sometidos a caudales de alta presión).

Asimismo en esta parte del análisis, es importante tener claro si la categoría del anclaje seleccionado corresponde a un soporte permanente o si corresponde a un soporte temporal. Esta premisa es importante al momento de seleccionar el tipo de sostenimiento, ya que las categorías por adherencia están asociadas a soportes permanentes, mientras que la categoría por fricción está asociada a soportes temporales.

- **Perno por adhesión**

- **Ventajas**

- ✚ Relativamente de bajo costo
- ✚ Trabaja de manera inmediata
- ✚ Al girar el perno, se aplica presión lateral en la cabeza del perno y de esta manera se acumula tensión en el mismo
- ✚ Con un relleno posterior de cemento el perno puede servir como fortificación permanente
- ✚ En rocas duras el perno puede soportar cargas altas
- ✚ Es un sistema versátil para fortificación en rocas duras

- **Desventajas**

- + Su uso está limitado a rocas moderadamente duras a duras
- + Difícil de instalar
- + Debe ser monitoreado después de su instalación
- + Pierde capacidad debido a tronaduras cercanas o causando la roca se fractura alrededor de la zona de expansión.

• **Perno por fricción**

- **Ventajas**

- + Instalación rápida y simple
- + El soporte es inmediato después de su instalación
- + Puede ser usado en una variedad de condiciones de terreno
- + La instalación causa contracciones a lo largo del perno, esto tenciona efectivamente la plancha contra la superficie de la roca.

- **Desventajas:**

- + Relativamente caro
- + Se requiere protección contra la corrosión si se una en instalaciones permanentes

- ✚ Se requiere una bomba para su instalación (swellex). (Yaguillo, 2014. Citado por Rodríguez, 2018).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. El problema

Para la construcción del túnel de aducción de la central hidroeléctrica 8 de agosto se necesita de un estudio geomecánico para el diseño del tipo de sostenimiento la zona evaluada geo mecánicamente es la más favorable pero presenta tramos críticos que requieren de sostenimiento permanente, geológicamente está conformada por un potente de roca esquisto gris verdoso, ligeramente alterado, fracturas rellenas de cuarzo y patinas de óxidos en las paredes de las discontinuidades, roca resistente compuesto por materiales de origen aluvial, coluvial - deluvial, también por rocas del complejo Marañón y de depósitos coluviales, El túnel tendrá una longitud de excavación de 1,084 metros. La apertura del túnel comprende dos portadas de entrada, las dos portadas con accesos independientes y tienen una gradiente positiva (+) y negativa (-) para ejecutar por ambos lados y es igual a 3.310%.

La central hidroeléctrica 8 de Agosto se encuentra ubicado en el departamento de Huánuco; provincia de Huamalies, distrito de Monzón a una altitud de 1,165 m.s.n.m. La central tendrá una capacidad de 19 MW, que se obtendrá mediante el aprovechamiento del río Aucantagua con una altura neta de 130 mts y un caudal nominal de 18 m³/s.

Por la misma naturaleza de la Roca presenta tramos muy fracturados los que necesariamente requieren de sostenimiento motivo por el cual es necesario realizar la evaluación geo mecánica para realizar el diseño del sostenimiento permanente por ser una obra de carácter permanente. La selva central en la zona de Huánuco tiene un



gran potencial hídrico que puede ser usado para generar energía eléctrica por métodos muy amigables con el medio ambiente.

3.1.1. Descripción de la realidad

Es necesario clasificar el macizo rocoso para el diseño del tipo de sostenimiento en la construcción del túnel 8 de Agosto. Se deben utilizar métodos empíricos y numéricos para determinar las condiciones geológicas y geotécnicas y para obtener los parámetros geomecánicos en la excavación. En la clasificación del macizo rocoso, se utilizan comúnmente la Clasificación de Bieniawski o RMR, el Índice de Calidad de Roca (RQD) y el Índice de Resistencia Geológica (GSI). Estos sistemas de clasificación se utilizaron en el caso de estudio para determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso y para su clasificación geomecánica.

3.1.2. Formulación del Problema

Formulación del problema General

¿Cómo hacer el estudio geomecánica para el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de agosto, Distrito de Monzón, Huánuco - 2020?

Formulación de los problemas específicos

1. ¿Cuáles son las características geológicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto?
2. ¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto?
3. ¿Cuál es el diseño de sostenimiento adecuado para el Túnel 8 de Agosto?

3.1.3. Objetivos de la investigación

3.1.3.1. Objetivo General

Realizar el estudio geomecánico para el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de Agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020.

3.1.3.2. Objetivos Específicos

1. Determinar las características geológicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto.
2. Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto.
3. Realizar el diseño de sostenimiento adecuado para el Túnel 8 de Agosto.

3.1.4. Justificación e importancia

Se justifica, porque, en el diseño de una excavación subterránea, es importante considerar la roca como una estructura que debe ser dañada mínimamente. Por esta razón, es esencial proporcionar un sistema de soporte adecuado, lo cual requiere la realización de un estudio detallado de las condiciones geológicas y geomecánicas en el área de excavación, incluyendo una simulación de los sistemas de soporte necesarios para garantizar la seguridad en la construcción del túnel y cumplir con el diseño ingenieril del sostenimiento adecuado para cada metro avanzado.

3.1.5. Alcances

Se hará el análisis geomecánico con el propósito de diseñar el tipo de soporte adecuado se realizó exclusivamente para el túnel de aducción de la central hidroeléctrica 8 de Agosto, ubicado en el distrito de Monzón, en la región de Huánuco durante el año 2020.

3.1.6. Limitaciones

Las limitaciones que se han podido rescatar al realizar el presente trabajo de investigación es la poca información que se tiene de la CH 8 de agosto.

3.1.7. Delimitación

El presente estudio de investigación nos permitirá establecer el diseño y sostenimiento del túnel de aducción 8 de Agosto.

3.2. Hipótesis

3.2.1. Hipótesis General

Al realizar el estudio geomecánica permitirá el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de Agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020.

3.2.2. Hipótesis Nula

Al realizar el estudio geomecánico **NO** permitirá el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020.

3.2.3. Hipótesis Específicas

1. Se determina las características geológicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de agosto.
2. Se determina las características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de agosto.

3. Se realizará el diseño de sostenimiento adecuado para el Túnel 8 de Agosto.

3.3. Variables

Variable Independiente (x):

Estudio geomecánica.

Variable Dependiente (y):

Diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de agosto.

3.3.1. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores
Estudio geomecánico.	Propiedades de la roca intacta	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia compresiva (Martillo Schmidt y carga puntual) Modelo diferencial (Laboratorio)
	Propiedades de las discontinuidades	<ul style="list-style-type: none"> Condición de las discontinuidades (Apertura, relleno y alteración) R.Q.D. (cálculo de J_v) Espaciado (Software)
	Clasificación y Resistencia de la masa rocosa	<ul style="list-style-type: none"> R.M.R. (RMR corregido) Q Barton (J_a, J_v y J_r) G.S.I (RMRM corregido).
Diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de Agosto.	Tipo de estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Estructura controlada Convergencia
	Sistema de estabilización	<ul style="list-style-type: none"> Sostenimiento Pasivo Sostenimiento Activo
	Factor de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> Analítico Programas

Fuente: adaptación propia de Rodríguez, 2018.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo **Aplicada**, porque hace interactuar a las variables de investigación en el estudio geomecánico para el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de Agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020.

3.4.2. Nivel de la investigación

Esta investigación se clasifica como descriptiva, ya que su objetivo es describir el estudio geomecánico necesario para el diseño del sostenimiento adecuado en el túnel 8 de Agosto, ubicado en el Distrito de Monzón, Huánuco en el año 2020.

3.4.3. Método

La tesis utiliza el método descriptivo del método científico, el cual implica el análisis y la interpretación de datos recopilados con un propósito específico.

3.4.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental.

3.4.5. Población y muestra

Población

Todos los tramos del túnel de aducción 8 de Agosto (los tramos esta zoneados cada 10 metros).

Muestra

Túnel 8 de agosto 4 tramos (Cada 250 metros)

3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas:

En la elaboración del presente trabajo de tesis se ha seguido dos etapas consistentes en:

1. **Trabajo de campo:** Consistente en recoger la información y registro de la línea de base para ver los parámetros iniciales.
2. **Trabajo de gabinete:** Consistente en la evaluación de datos, y la determinación los parámetros Geomecánicos RMR de Bieniawski y RQD para la selección del sistema de sostenimiento.

Instrumentos:

Los instrumentos de recolección de datos utilizados son:

1. Software Dips y PHASE2.
2. Software de Microsoft Office, donde se utilizaron los programas Word y Excel, para la elaboración del informe y el procesamiento.

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

El presente trabajo de investigación titulado “Estudio geomecánico para el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020”, tiene por finalidad de definir conceptos básicos de: Geología, Geomecánica y Sostenimiento además de:

1. Difundir la aplicación y colocación correcta y oportuna de los diferentes tipos de soporte utilizados en minería subterránea.
2. Promover y concientizar el criterio de "Trabajar en Condiciones Seguras”
3. Incluir en el diseño y planeamiento de los tipos de sostenimiento, los diseños que estén basados en las condiciones geomecánicas y los requerimientos del soporte para los diferentes tipos de rocas.
4. Conceptos Básicos de Geología y Geomecánica teniendo en cuenta que son las ciencias que estudian la formación de la tierra y todos los procesos que se presentan en ella (tectónica, geomorfología, suelos y rocas, hidrogeología, vulcanismo y otros).

4.2. Características geológicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de agosto

Las unidades litoestratigráficas regionales donde está emplazado el Proyecto son:

- **Depósitos Recientes.** - En el área de estudio se encuentran diferentes tipos de depósitos recientes que generalmente están rellenando valles, depresiones y planicies entre estos se tienen depósitos aluviales y coluviales.

- **Depósitos aluviales.** - Estos son depósitos que se acumulan en los flancos de los valles y en las quebradas; cauce de los ríos, llanuras de inundación, terrazas y abanicos aluviales. Están constituidos por conglomerados polimicticos poco consolidados con clastos de tamaño heterogéneos con matriz limo - arcillosa y gravas.
- **Depósitos Coluviales.** - Los depósitos coluviales consisten de detritus heterogéneos e incluyen depósitos de talud y de pendientes consisten en gravas gruesas y finas, arenas consolidadas, limos y arcillas.

4.3. Características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de agosto

Estos procesos influyeron en las características geomecánicas del macizo rocoso en el que se desarrollan todas nuestras actividades subterráneas, entre las cuales están:

- Condición de tensiones, tanto in-situ (es decir, de pre-minado), como inducidas en el contorno de las cavidades minadas.
- Condición de discontinuidades (fallamientos, estratificación y fracturamiento, y su orientación con respecto a las cajas y techo de las excavaciones).
- Condición de resistencia (grado de alteración, rellenos, formas de las paredes de las discontinuidades y aberturas).
- Condición hidrogeológica.

4.3.1. Levantamiento litológico

Estos procesos influyeron en las características geomecánicas del macizo rocoso en el que se desarrollan todas nuestras actividades subterráneas, caracterizado al estudio de las discontinuidades como: persistencia, rugosidad,

alteración, relleno, apertura, fracturamiento, espaciamiento y condiciones hidrogeológicas. En el caso del túnel de 8 de agosto para una central hidroeléctrica, se ha realizado el levantamiento litológico en cuatro tramos de 250 mts, considerando además el tipo de roca predominante que es el esquisto gris verdoso. Ver Tabla 2.

Tabla N° 2 RQD%.

N° TRAMOS	RQD %	ESPACIAMIENTO mts.	PERSISTENCIA mts	APERTURA mm.	RUGOSIDAD identificado	RELLENO mm.	ALTERACION identificado	AGUA SUBT. Identificado
TRAMO 1	66.70%	0.06-0,2	1-6 m long	0.1-1.0mm	lig. Rugosa	limpia	Lig. Alterada	humedo
TRAMO 2	58,9%	0.2-0.6	1-3 m long	cerrada	Rugosa	duro<5mm	Mod. Alterada	humedo
TRAMO 3	60.50%	0.02-0.6	2-6 m long	cerrada	Rugosa	limpia	Lig. Alterada	humedo
TRAMO 4	65.90%	0.6-2	3-10 m long	<0.1mm	lig. Rugosa	duro<5mm	Lig. Alterada	humedo

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Índice de calidad de la roca (RQD)

Para esta condición se determina, tanto la cantidad de fallas en determinada longitud, como las fracturas por metro lineal, con lo cual obtenemos la siguiente clasificación, según la expresión matemática. Ver tabla 3.

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

$$\lambda=1/(SPAM)$$

SPAM = el promedio de los espaciamientos por 1 metro

Tabla 2. Clasificación de acuerdo al RQD (%).

Rock Quality Designation (descripción)	Valor RQD (%)
Muy mala	0-25
Mala	25-50
Regular	50-75
Buena	75-90
Excelente	90-100

Fuente: Paúl Marinos, Citado por Celestino 2007.

4.3.3. Resistencia compresiva de la roca

Se tiene las siguientes características del macizo rocoso.

- Grado de alteración de la roca.
- Alteración y relleno de las discontinuidades.
- Rugosidad y ondulación de las discontinuidades y su abertura.
- Para determinar la resistencia compresiva de la roca se realizan ensayos en el laboratorio o en el sitio o pruebas de su comportamiento con una picota de geólogo, obteniéndose la siguiente clasificación:

Tabla 3. Resistencia compresiva de la roca.

MUY BUENA	Rc > 250 MPa	Se astilla con golpes de picota
BUENA	Rc 100 a 250 MPa	Se rompe con varios golpes de picota
REGULAR	(Rc 50 a 100 MPa	Se rompe con uno o dos golpes de picota
POBRE	Rc 25 a 50 MPa	Se desintegra superficialmente con un golpe de picota.
MUY POBRE	(Rc < 25 MPa).	Se disgrega o indenta más de 5.0 mm. con un golpe de picota)

Fuente: Paúl Marinos, Citado por Celestino 2007.

4.3.4. Índice RMR (Rock Mass Rating)

Esta clasificación toma en cuenta los siguientes parámetros:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.

- Grado de fracturamiento en términos de RQD.
- Espaciado de discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

De acuerdo a la incidencia de éstos parámetros se expresa la condición de la excavación con un índice que varía de 0 a 100 denominado RMR, existiendo variaciones y modificaciones posteriores a éste índice que se han ido desarrollando por diferentes autores en base a sus experiencias y adecuados a labores mineras, habiéndose definido en M.B.R., en el cual se hace una corrección por método de excavación y cercanía de la voladura. Ver tabla N° 5.

Tabla 4. Sistema de valoración de la masa rocosa RMR (Según Bieniawski, 1989).

SISTEMA DE VALORACIÓN DE LA MASA ROCOSA RMR (Según Bieniawski, 1989)						
A. PARAMETROS DE CLASIFICACION Y SUS VALORACIONES						
Parámetro		Rango de valores				
1	Resistencia compresiva Uniaxial (o)	>250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	< 25 Mpa
	Valoración	15	12	7	4	2
2	Calidad testigo de perforación RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%
	Valoración	20	17	13	8	3
3	Espaciamiento de discontinuidades	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 — 0.6 m	60 - 200 mm	< 60 mm
	Valoración	20	15	10	8	5
4	Persistencia ó longitud de discontinuidades	< 1m	1 — 3 m	3 - 10 m	10 — 20 m	> 20 m
	Valoración	6	4	2	1	0

S	Apertura de las discontinuidades	Cerrada	< 0.1 mm	0.1- 1 mm	1 — 5mm	> 5mm
	Valoración	6	5	4	1	0
6	Rugosidad de las discontinuidades	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Espejo de falla
	Valoración	6	5	3	1	0
7	Relleno de las discontinuidades	Ninguno	Relleno duro<5mm	Relleno duro>5mm	Relleno blando<5mm	Relleno blando > 5mm
	Valoración	6	4	2	1	0
8	Intemperización de las discontinuidades	Sana	Ligera	Moderada	Muy intemperizada	Descompuesta
	Valoración	6	5	3	1	0
9	Agua subterránea	Completamente	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo
	Valoración	15	10	7	4	0
Orientaciones rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valores	Túneles & minas	0	-2	-S	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-1S	-25
	Taludes	0	-S	-2S	-S0	
B. EFECTO DE LA ORIENTACION RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELERIA						
Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		
Avance con el buzam. Buzam 45-90°		Avance con el buzam. Buzam 20-45°		Buzamiento 45-90°		Buzamiento 20-45°
Muy favorable		Favorable		Muy favorable		Moderado
Avance contra el buzam. Buzam. 45-90°		Avance contra el buzam. Buzam. 20-45°		Buzamiento 0 — 20°, Independiente del rumbo		
Moderado		Desfavorable		Moderado		

Fuente: Elaboración propia

4.3.5. Índice Q de Barton

La clasificación Q de Barton es una de las clasificaciones geomecánicas más utilizadas en los macizos rocosos junto con la clasificación RMR de Bieniawski. Ambas son muy utilizadas, no obstante, el RMR normalmente se emplea más como índice geomecánico para la evaluación de las propiedades de los macizos

rocosos mientras que el índice Q se emplea mayoritariamente en la evaluación del sostenimiento de túneles mediante bulones, cerchas, hormigón proyectado etc.

Esta clasificación geomecánica permite estimar parámetros geotécnicos del macizo rocoso y lo que es más importante diseñar sostenimientos para túneles y otras excavaciones subterráneas. El índice Q varía entre 0,001 y 1000 clasificándose el macizo rocoso como:

TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala.	0,001 – 0,01
Extremadamente mala.	0,01 – 0,1
Muy mala.	0,1 – 1
Mala.	1 – 4
Media.	4 – 10
Buena.	10 – 40
Muy buena.	40 – 100
Extremadamente Buena.	100 – 400
Excepcionalmente Buena.	400 – 1000

Se calcula mediante 6 parámetros geotécnicos según la siguiente expresión:

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

Los tres términos de la expresión de la Q de Barton representan lo siguiente:

- (RQD/J_n): Tamaño de los bloques
- (J_r/J_a): la resistencia al corte entre los bloques
- (J_w/SRF): influencia del estado tensional

A continuación, se detalla los parámetros y valores de cada termino de índice de Q de Barton.

1° Parámetro: R.Q.D

Descripción de la calidad del macizo rocoso	R Q D	OBSERVACIONES.
Muy pobre	0-25	Para R.Q.D < 10 se puede tomar R.Q.D.= 10 en la ecuación de Q.
Pobre	25-50	
Medio	50-75	
Bueno	75-90	
Muy Bueno	90-100	

2° Parámetro: Índice de diaclasado Jn.

DESCRIPCION	Jn
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	

3° Parámetro: Índice de rugosidad Jr.

Tabla basada por la relación o el contacto entre las 2 caras de la Junta.

❖ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	Jr
▪ Juntas discontinuas.	4
▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada.	3
▪ Suave ondulada.	2
▪ Espejo de falla, ondulada,	1,5
▪ Rugosa o irregular, plana.	1,5
▪ Suave plana.	1
▪ Espejo de Falla, plano.	0.5
❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	Jr
▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.	1
▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1

4° Parámetro: Coeficiente reductor por la presencia de agua Jw

DESCRIPCIÓN	Jw	Presión del agua Kg/cm ²
Excavaciones secas o de influencia poco importante.	1	<1
Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1-2.5
Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5-10
Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo.	0.1-0.2*	>10
Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05-.01*	>10
Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw		

5° Parámetro: Índice de alteración de las discontinuidades Ja.

DESCRIPCION	Ja	Ø°
Contacto entre las 2 caras de las Diaclasas		
Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas.	0.75	25-30
Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja		

<p>fricción como caolinita, clorita, talco yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.</p>	4	8-16
Contactos entre 2 caras de la Diaclasa con < de 10 cm desplazamiento lateral.		
<p>Partículas de Arena, roca desintegrada libre de arcilla.</p>	4	25-30
<p>Fuertemente sobreconsolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de esp.</p>	6	16-24
<p>Sobreconsolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de < de 5 mm de espesor.</p>	8	12-16
<p>Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5 mm. El valor Ja dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.</p>	8-12	6-12
No existe contacto entre las 2 caras de la diaclasa cuando esta cizallada.		
<p>Zonas o bandas de roca desintegrada o manchada y arcilla.</p>	6-8-12	6-24
<p>Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fricción de arcilla no blandas.</p>	5	6-24
<p>Granos arcillosos gruesos.</p>	13-20	6-24

6° Parámetro: Condiciones tensionales SRF

1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.			SRF
A. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.			10
B. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.).			5
C. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. (Profundidad de excavación > 50 m.).			2.5
D. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad).			7.5
E. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)			5
F. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad > 50 m).			2.5
G. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.			5
2.-Rocas competentes con problemas tensionales en las Rocas	σ_c / σ_1	σ_t / σ_1	SRF
H. Tensiones pequeñas cerca de la superficie.		>13	2.5
I. Tensiones medias.	> 200	13-0.33	1.0
J. Tensiones altas estructura muy compacta, favorable	200-10		
para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los	10-5	0.66-0.33	0.5-2.0

hastiales. K. Explosión de roca suave (roca Masiva). L. Explosión de roca fuerte (roca masiva.)	5-2.5 <2.5	0.33-0.16 <0.16	5-10 10-20
σ_c y φ son las resistencias a la compresión y tracción respectivamente de la roca, σ es el esfuerzo principal máximo que actúa en la roca.			
3.-Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostática.		SRF	
M. Presión de Flujo suave.		5-10	
N. Presión de flujo intensa.		10-20	
3.-Roca expansiva, actividad expansiva química dependiendo de la presencia del agua.		S.R.F	
O. Presión Expansiva suave.		5-10	
P. Presión expansiva intensa.		10-15	
Observaciones al SRF: Reducir los valores del SRF en un 25 a 50% si las zonas de rotura solo influyen pero no interceptan a la excavación. En los casos que la profundidad de las clave del túnel sea inferior a la altura del mismo se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5. Para campos de tensiones muy anisótropos cuando $5 \leq \sigma_t / \sigma_c \leq 10$, reducir el φ y σ_c a $0.8 \sigma_c$ y $0.8 \sigma_t$.			

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Diseño de sostenimiento adecuado para el túnel 8 de agosto

Para conocer el tipo de sostenimiento en el túnel 8 de agosto se hace un análisis completo de las características del macizo rocoso y hoy en día existen muchas clasificaciones geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento y una de ellas es Bieniawski. ver tabla N° 6

Tabla 5. Mapeo Geomecanico a detalle.

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICA DE RMR													NIVEL: N° 1		LABOR: TUNEL 8 DE AGOSTO	
															FECHA: 12/09/2020	
													LITOLOGIA: ESQUISTO GRIS VERDOSO		HECHO POR: EL ALUMNO	
REGISTRO N° 1						OBSERVACIONES: TUNEL DE ENTRADA										
N°	TIPO DE DISCONTINUIDAD	DIP (BUZAMIENTO)	DIP DIRECTION (DIRECCION DE BUZAMIENTO)	δc	RQD	ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES	CONDICION DELAS DISCONTINUIDADES					AGUA SUBTERRANEA	ORIENTACION DE DISC.			
				RESISTENCIA COMPRESIVA			PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION					
				15-12-7-4-2	20-17-13-8-3	20-15-10-8-5	6-4-2-1-0	6-5-4-1-0	6-5-3-1-0	6-4-2-1-0	6-5-3-1-0	15-10-7-4-0	0 -2 -5 -10 -12			
	DIACLASA FALLA FRACTURA			1.- >250 MPA 2.- 100 - 250 MPA 3.- 50 -100 MPA 4.- 25 - 50 MPA 5.- < 25 mpa	1.- 90 - 100% 2.- 75 - 90% 3.- 50 - 75% 4.- 25 - 50% 5.- <25%	1.- > 2 m 2.- 0.6 - 2 m 3.- 200 - 600 mm 4.- 60 - 200 mm 5.- < 60 mm	1.- <1m 2.- 1 - 3m 3.- 3 - 10m 4.- 10 - 20m 5.- > 20m	1.- cerrado 2.- muy angosto < 0.1 mm 3.- angosto 0.1 - 1 mm 4.- abierta 1 - 5 mm 5.- muy abierta > 5 mm	1.- muy rugoso 2.- rugoso 3.- ligeramente rugoso 4.- lisa 5.- muy lisa	1.- sin relleno 2.- relleno duro < 5mm 3.- relleno duro > 5 mm 4.- relleno blando < 5 mm 5.- relleno blando > 5 mm	1.- no meteorizada 2.- ligeramente 3.- moderadamente 4.- altamente meteorizada 5.- descompuesta	1.- completamente seco 2.- humedo 3.- mojado 4.- goteo 5.- flujo	1.- muy favorable 2.- favorable 3.- regular 4.- desfavorable 5.- muy desfavorable			
1	DIACLASAS	62	123	7	13	10	2	4	3	2	3	10	-10			
											Σ RMR	44				

Fuente: Elaboración propia.



$RMR = 7 + 13 + 10 + (2 + 4 + 3 + 2 + 3) + 10 - 10 = 44$ Tipo de roca **III - B**

Figura 5. Clasificación geomecánica RMR Bieniawski.

TIPO DE ROCA		RMR BIENIAWSKI	DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	FIGURA RELACIONADA
TIPO	COLOR			
II	II-A	71 - 80	Buena "A"	
	II-B	61 - 70	Buena "B"	
III	III-A	51 - 60	Regular "A"	
	III-B	41 - 50	Regular "B"	
IV	IV-A	31 - 40	Mala "A"	
	IV-B	21 - 30	Mala "B"	
V	V-A	00 - 20	Muy Mala	

Fuente: Paúl Marinos, Citado por Celestino 2007

Esta clasificación geomecánica nos lleva a la sumatoria de valores de cada parámetro que nos indica según el cuadro anterior, macizo rocoso tipo III – B regular.

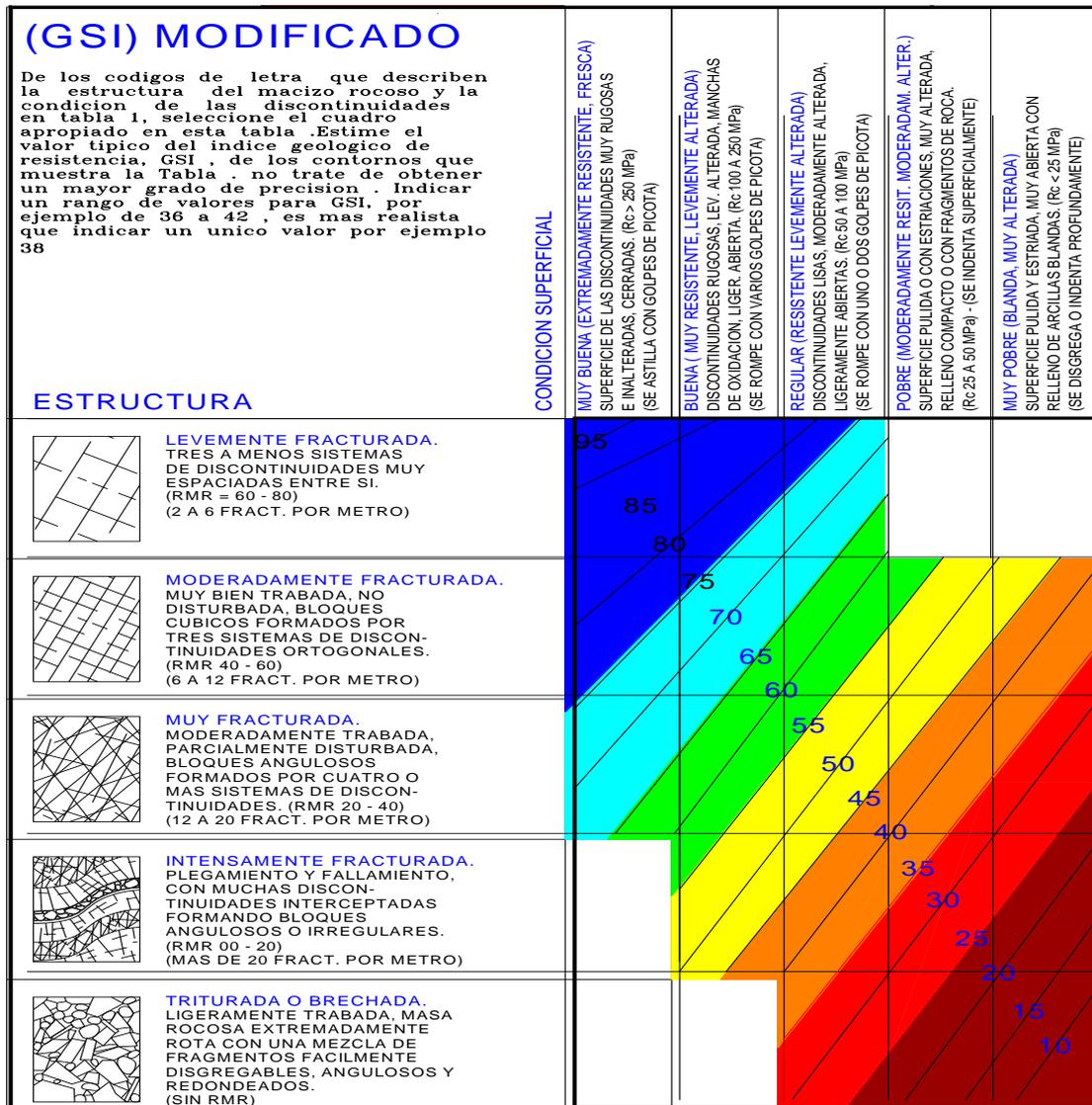
En el grafico siguiente se puede observar el tipo de sostenimiento a utilizar en túneles y obras de ingeniería donde la condición de la roca es importante ver tabla N°6

Figura N°6

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20 mm de diametro) inyectados	Soporte con concreto armado	Costillas
I. Roca muy buena, RMR: 81-100	Asección completa. 3m de avance.	Generalmente no se requiere		Ninguno
II. Roca buena, RMR: 61-80	Asección completa 1 - 1.5m de avance. Soporta completo a 20m del frente.	Pernos en la corona de 3m de longitud espaciados a 2.5 m malla ocasional.	50mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III. Roca regular, RMR: 41-60	Frente superior y destroza, 1.5 - 3m de avance en media sección. Inicio del soporte despues de cada voladura. Soporte completo a 10m del fente.	Pernos sistematicos, 4m de longitud, espaciados 1.5 - 2 m en la corona y hastiales con malla en la corona.	50-100 mm en la corona y 30 mm por los lados.	Ninguno
IV. Roca pobre, RMR: 21-40	Frente superior y destroza, 1 - 1.5 m de avance en la media seccion superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10m del frente.	Pernos sistematicos, 4 - 5 m de longitud, espaciados 1 - 1.5 m en la corona y hastiales con malla.	100 - 150 mm en la corona y 30 mm por los lados.	Costillas ligeras a medias espaciadas 1.5 m a sonde se requiera.
V. Roca muy pobre, RMR: <20	Multiples galerias 0.5 - 1.5 mts. De avance en la sección superior. Intalacion de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible despues de las voladuras.	Pernos sistematicos, 5 - 6 m de longitud, espaciados 1 - 1.5 m en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150 - 200 mm en la corona, 50 mm en los lados y 50 mm al frente.	Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 m, con planchas de acero y tablestacas si se requiera.

Fuente: Bieniawski 1989.

Figura 8. Clasificación geomecánica GSI.



Fuente: Paúl Marinos, Citado por Celestino 2007.

4.5. Relación entre las clasificaciones geomecánicas y el tipo de sostenimiento

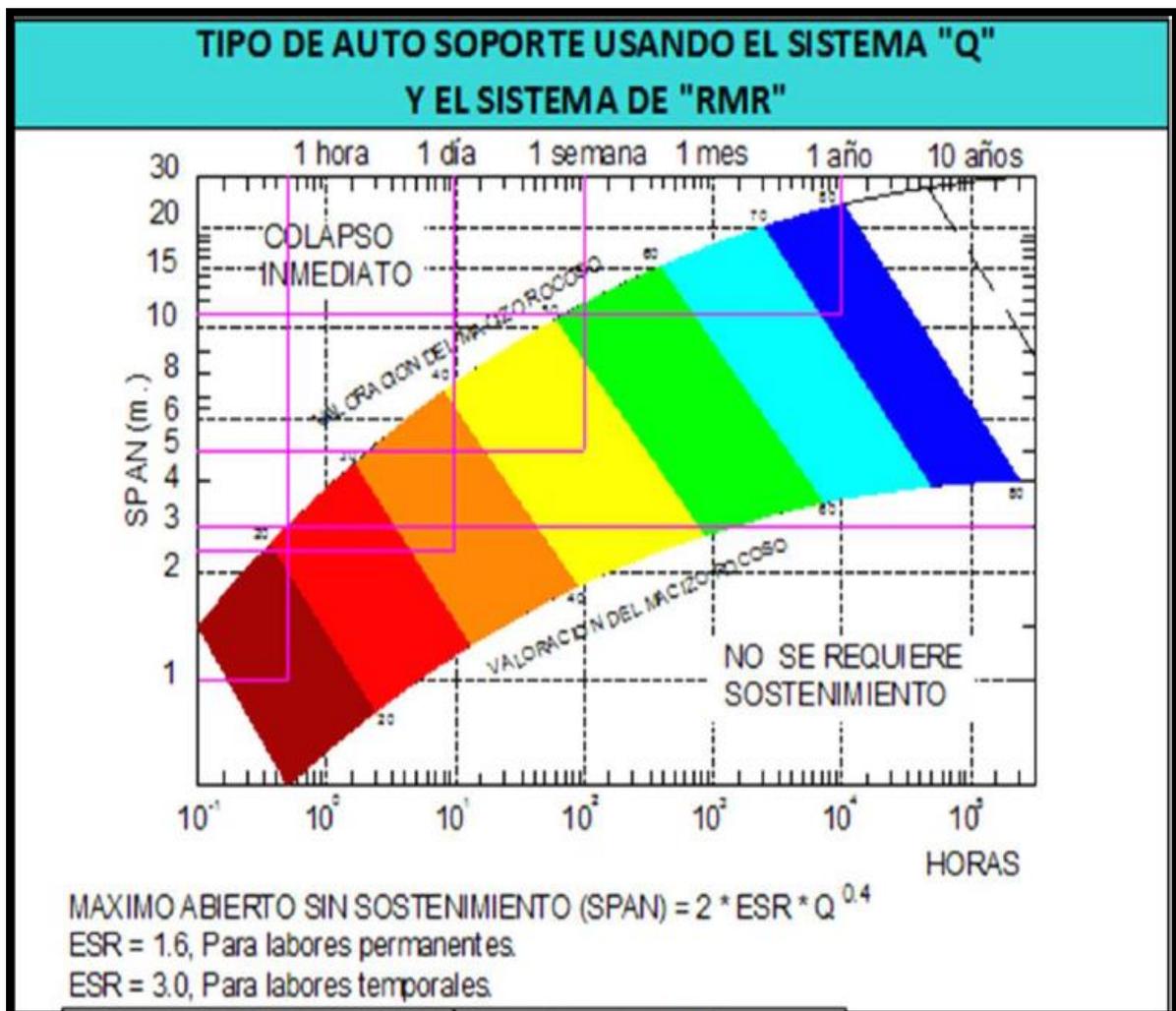
En la construcción del Túnel 8 de agosto se han definido, en base a las condiciones del macizo rocoso en las zonas excavadas, se ha determinado que se tiene que colocar pernos cementados con resina en forma sistemática, espaciados cada 1.5 metros + malla electro soldada y una capa de Shotcrete de 2" de espesor:

- El tiempo de autoaporte mínimo, así como, la abertura máxima permisible sin soporte, está relacionado con el Índice Q según la siguiente relación:

Abertura máxima = 2 (ESR) Q^{0.4}

- Valores de ESR.
1.6 para labores permanentes.
3.0 para labores temporales.

Abertura máxima y tiempo de auto soporte según el Índice RMR, se muestra en el siguiente ábaco, Figura 6.

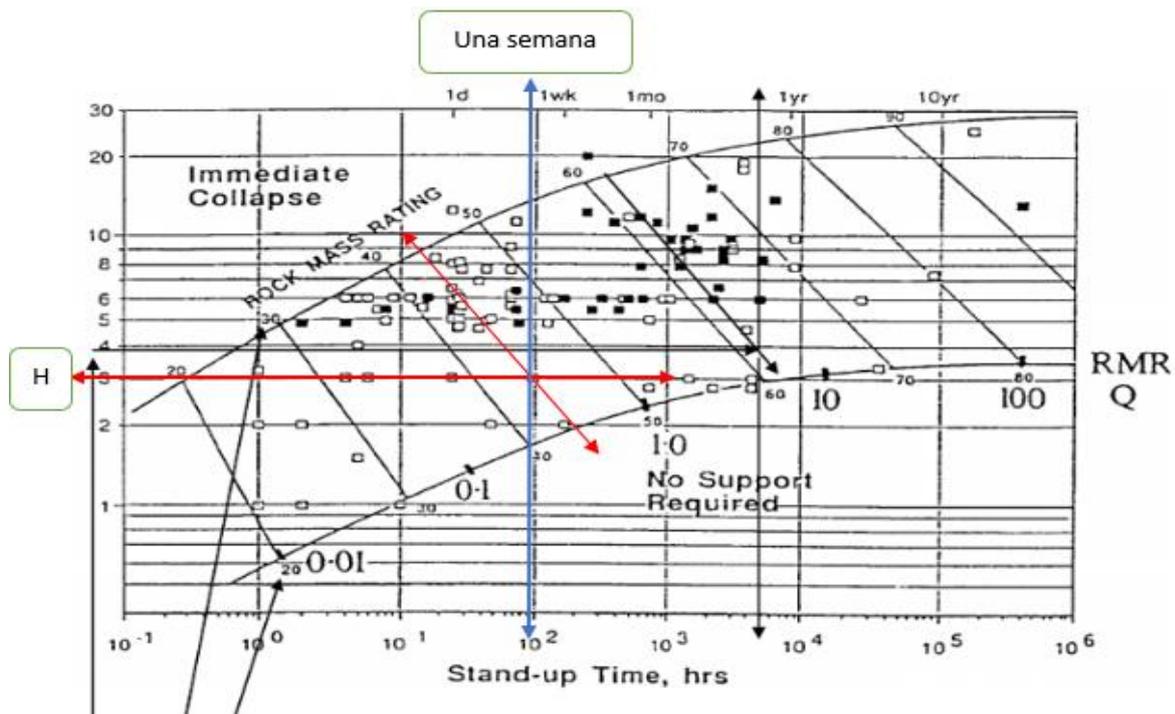


Fuente: Departamento de geología 2016.

Tabla 6. Valores de ESR para distintos tipos de excavación

TIPO DE EXCAVACION	ESR	Nº CASOS
A. MINAS ABIERTAS TEMPORALMENTE, ETC.	ca. 3-5?	(2)
B. POZOS VERTICALES.	1). SECCION CIRCULAR ca. 2,5? 2). SECCION RECTANGULAR O CUADRADA. ca. 2,0?	(0) (0)
C. MINAS ABIERTAS PERMANENTEMENTE, TUNELES HIDROELECTRICOS, TUNELES PILOTO Y GALERIAS DE AVANCE PARA GRANDES EXCAVACIONES.	1,6	(83)
D. CAVERNAS DE ALMACENAMIENTO, PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS, TUNELES PEQUEÑOS DE CARRETERA Y FERROCARRIL, TUNELES DE ACCESO.	1,3	(25)
E. CENTRALES SUBTERRANEAS, TUNELES ELECTRICAS GRANDES DE CARRETERA Y FERROCARRIL, CAVERNAS DE DEFENSA CIVIL, BOQUILLAS, INTERSECCIONES.	1,0	(79)
F. CENTRALES SUBTERRANEAS, ESTACIONES NUCLEARES DE FERROCARRIL, PABELLONES DEPORTIVOS Y DE SERVICIOS, ETC.	ca. 0,8?	(2)

Fuente: Departamento de geología 2016.



Fuente: Hecho por el alumno.

$$H = 2XESR(Q)^{0.2}$$

ESR = 1.6 Para labores permanentes.

$$Q = 0.97$$

Entonces reemplazando en la formula.

$$H = 3.1 \text{ m}$$

4.6. Condición de los macizos rocosos:

Características Físicas.

- Roca encajonante: Esquisto de color gris verdoso.
- Peso unitario. (W) = 2.84 Ton/m³
- Resistencia a la compresión simple (Rc) = 30 - 50 MPa
- Angulo de fricción interna (ϕ) = 19°
- Cohesión (c) = 508 kPa
- Módulo de Young del macizo rocoso (E) = 1390 MPa
- Relación de Poisson (ν) = 0.25

4.7. Descripción de los tipos de sostenimiento y la forma de colocación:

4.7.1. Pernos helicoidales con resina

Son pernos consistentes en varilla de hierro corrugado asegurados a la roca con resina; son muy dependientes de la forma del taladro y se requiere que estén completamente llenados para que se comporten adecuadamente.

A. Procedimientos para su colocación:

El uso de los pernos helicoidales será para asegurar individualmente bloques definidos en forma sistemáticos en rocas regulares o mallas en donde los pernos trabajan en forma más bien colectiva, para generar el “efecto arco” al techo.

- Los pernos deberán ser sistemáticos y se controlará su distribución, forma de colocación y orientación con respecto a las paredes y techo de la sección.
- El diámetro del perno será de 18 al 22 mm con una longitud de 7 pies cada una.
- Los diámetros de perforación serán controlados y los pernos colocados con brocas de mayor diámetro, no serán aprobados.
- Los pernos deben estar íntegramente en el taladro y las platinas pegadas debidamente a la roca.
- Con respecto a los diámetros de perforación será de 28 a 32 mm.

B. Recursos disponibles:

Una cuadrilla de sostenimiento mecanizado deberá de contar con:

- 01 Encargado
- 01 Perforista
- 01 Asistente
- 01 Jumbo empernador automático, con accesorios para la colocación de malla metálica, que será utilizada en el túnel con alturas menor de 4.0 m. Dicho jumbo deberá colocar diferentes tipos de pernos y tendrá un carrusel para automatizar dicha operación.
- 01 set de accesorios (llaves stillson, juego de barrenos de 3', 5' y 8', gauge para verificar diámetro de brocas, adaptadores y empujadores de pernos, etc.)
- 01 Desquinchador mecánico sobre ruedas.

C. Secuencia de trabajo.

Señalización e indicación de los pernos y su distribución en el túnel
8 de agosto:

- Verificación de la existencia de todos los servicios requeridos para la colocación de los pernos.
- Proveerse de todos los materiales y herramientas, y condiciones del equipo antes de cualquier inicio del empernado.
- No debe iniciarse los trabajos en un área sin ventilación y con mucho polvo, pues éste no dejará observar bien las condiciones, además, de ser perjudicial; así mismo, es recomendable el regado antes o inmediatamente después del desatado.
- Desatado de todo bloque o fragmento suelto, antes de iniciar la colocación del perno; este desatado se va haciendo en forma progresiva, de áreas ya sostenidas hacia áreas por sostener.

- Si durante el desatado, la caída de fragmentos es continua, se debe de usar la malla y asegurarlos con gatas antes de iniciar la colocación de los pernos, aunque se haya dado la orden de colocar solo pernos, ya que se está en una roca intensamente fracturada; de lo contrario, colocar inicialmente una capa de shotcrete de 5.0 cm. Correspondiente a dos pulgadas.
- Debe tenerse mucho cuidado en la perforación del taladro, para pernos helicoidales el diámetro de perforación 32 a 28 mm y el diámetro de perno será 22 mm a 18 mm.
- Si en la fase de perforación se observa desprendimientos al momento de estar perforando, debe de desatarse los fragmentos inestables alrededor del taladro antes de proceder al aumento de la barra de perforación si aún no ha terminado la colocación del perno.
- Una vez concluida la perforación y en caso de no observarse ninguna condición inestable, se procederá de inmediato a colocar el perno; bajo ningún motivo, debe de perforarse y no colocar el perno de inmediato.
- Durante la operación de perforación y colocación de pernos, se debe tener cuidado de golpearse los dedos de la mano con malas maniobras o caídas personales por descuidos o mala colocación de la escalera. Deben usar todos sus implementos de seguridad y no deberán exponerse a la caída de bloques o fragmentos.
- De no cumplirse estas recomendaciones, tanto los ayudantes y el mismo operador, estarán expuestos a cualquier tipo de accidentes que ellos pueden evitar.
- Los pernos deben ser colocados perpendiculares y sub-perpendiculares a la superficie a empernar, salvo casos de amarre de bloques específicos, para los cuales el Dpto. de Geomecánica de entregará orientaciones de optimización.

- En los casos del uso de pernos con resina, se controlará la cantidad de cartuchos colocados, lo cual será dependiente del diámetro del taladro, el diámetro del perno y la longitud. Así mismo, deberá respetarse rigurosamente las especificaciones del fabricante en cuanto a mantener la resina dentro de determinados rangos de temperatura.
- En el momento de colocar el perno de fierro corrugado, este deberá hacerse con movimientos de rotopercusión, para obtener un buen batido de la resina.

4.7.2. Sostenimiento con malla

El sostenimiento con malla está conformado por alambres de acero convencional o de alta resistencia que se enlazan o cruzan entre sí de forma hexagonal, romboidal o rectangular que se utiliza como capa o manto de soporte, con el fin de evitar el deslizamiento de estructuras rocosas como parte de las tareas de minado fácilmente moldeable a la forma de la excavación. En el túnel 8 de agosto se ha utilizado de fierro corrugado de 1/4". La abertura de la malla corresponde al tamaño de los fragmentos que se requiera confinar, pudiendo ser 10.0 x 10.0 cm. Con una longitud de 2x6 y los traslapes de 20 cm-

A. Recursos disponibles.

Los mismos utilizados para la colocación de pernos con el sistema manual (convencional), además, de 02 gatas neumáticas para presionar la malla a la pared rocosa, en labores con alturas menores de 4.0 m.

B. Secuencia de trabajo:

- Señalización e indicación por parte de las áreas que deberán sostenerse, utilizando la malla y el perno.
- Desatado de todo bloque suelto en el área de la malla a colocar.
- Presentación y aseguramiento inicial de la malla mediante gatas de expansión (neumáticas), ya mencionadas.

- Anclaje definitivo con pernos sistemáticos espaciados según indique el Supervisor.
- Para asegurar la malla se utiliza la misma placa de los pernos helicoidales.
- Acomodamiento o moldeamiento a la forma de la superficie mediante ganchos de fierro corrugado de 3/8", colocados en taladros de 0.5 m. de longitud, para lo cual, deberá hacerse cortes en la malla.
- Debe evitarse en lo posible superficies con la malla muy suelta, especialmente cuando se contempla la aplicación del shotcrete sobre la misma.
- Los traslapes entre mallas serán mínimo de 20.0 cm., y deben estar asegurados con los pernos de anclaje, con el uso o no de cintas metálicas, con un amarre inicial con alambre N° 8.
- Deben eliminarse los empalmes horizontales de la malla metálica, en el tercio inferior de los hastiales de la excavación; en cualquier caso estos traslapes deberán efectuarse a una altura mínima de 0.50 m. respecto al nivel del piso. Los empalmes verticales de los paños de malla metálica, en el tercio inferior de los hastiales, deberán reforzarse con varillas de fierro corrugado de 3/8" y 0.7 m. de longitud.
- Tomar en cuenta las medidas y secuencias utilizadas para la colocación de los pernos.
- Cuando el uso de la malla es puntual, se puede recortar los tramos para que su manipuleo sea más sencillo.

4.7.3. Sostenimiento con concreto lanzado

Es un concreto que se proyecta neumáticamente a alta velocidad, para ser aplicado sobre una superficie a través de una tubería o manguera. Y el cual se adhiere con una excelente compactación. De allí que el shotcrete no es un elemento estructural soportante, sino una técnica de confinamiento de la roca

para evitar su desintegración; por lo tanto, debe ser colocado en el momento oportuno y con la rigidez adecuada.

A. Concreto lanzado vía húmeda.

En el túnel 8 de agosto, el proceso de concreto lanzado se realizó por vía húmeda, donde los componentes del shotcrete y el agua son mezclados antes de la entrada a una unidad de bombeo, la cual luego suministra la mezcla hidráulicamente hacia la boquilla, donde es añadido el aire para proyectar el material sobre la superficie rocosa. Sus mecanismos principales son:

- Penetración y sello de grietas y discontinuidades abiertas mejorando su resistencia y aumentando la adherencia de la capa de shotcrete.
- Permitir deformaciones plásticas de la roca durante su proceso de fraguado.
- La acción conjunta del shotcrete y la roca, impide que éstos se deformen independientemente.
- La interacción induce la formación de un esfuerzo radial de confinamiento, que controla las deformaciones y que, aplicado sobre la periferia de la excavación, ayuda a la formación de un arco de sustentación.
- El shotcrete mantiene el entrabe de las posibles cuñas o bloques rocosos, sellando las discontinuidades o grietas producidas por la voladura.

B. Materiales de concreto lanzado por vía húmeda.

MATERIALES PARA UN METRO CUBICO		
CEMENTO	420	kg
AGUA	185	Lt
ARENA	395	kg
FIBRAS METALICAS	20	kg
ADITIVOS	2	LT

Fuente: Área Geo mecánica del túnel de 8 de agosto.

En el cuadro anterior de Mezcla por el Sistema Vía Húmeda en el túnel 8 de agosto se puede observar que se ha utilizado un promedio de 10 bolsas de cemento de 42 Kg. Cada una para un m³ y 185 Lt. De agua limpia con un PH 7 por m³ que es lo que recomienda el diseño de Mezcla Típica, por lo cual se tendrá que seguir reduciendo la cantidad de agua y arena hasta ajustar a la recomendada con el fin obtener una buena resistencia compresiva del concreto lanzado.

C. Proceso aplicativo del concreto lanzado vía húmeda

Una vez dispuesto todos los materiales y equipos en la labor sostener con concreto lanzado por el sistema vía húmeda se sigue los siguientes pasos:

- Arena de granulometría adecuada
- Cemento Andino.
- Fibra de acero.
- Agua limpia
- El cemento, la arena, el agua y la fibra de acero se mezclan adecuadamente hasta conseguir una perfecta homogeneidad.
- La mezcla se carga a los mixers los cuales transportan de la planta hasta la entrada del túnel.
- Vaciado y alimentación de la mezcla a la tolva de la shotcretera vía húmeda.
- Lanzado de shotcrete mediante la pitonera a la pared de roca.

D. Ventajas de concreto lanzado via humeda.

Las ventajas de concreto lanzado en el túnel 8 de agosto por vía húmeda.

- El agua de mezcla se controla en el equipo de entrega y puede ser medida con precisión.

- Mejor seguridad de que el agua de mezcla es completamente mezclada con el resto de los ingredientes.
- Menos polvo y menos pérdida de cemento.
- Por lo regular, menor rebote, y con ello, menor desperdicio de material.
- Posibilidad de lograr una producción mayor.
- Control con mayor precisión de la dosificación (cantidades) de los materiales componentes de mezcla del shotcrete.
- Mezclado homogéneo y parejo de los componentes del concreto lanzado (arena, cemento, fibra de acero, aditivo y agua).
- Menor tiempo de lanzado de shotcrete. Por el sistema vía húmeda el lanzado de 1 m³ es en promedio 35 minutos, mientras que el tiempo de lanzado para 1 m³ de mezcla por el sistema vía seca es entre 45 y 50 (no considera fallas de equipos).
- Reducción considerable del porcentaje de rechazo. Al medir el rebote o rechazo se durante las pruebas se obtuvo un 15% de rebote, mientras que con el sistema de shotcrete vía seca se obtiene un rebote mayor al 20%.
- Reducción de polución de (polvo) de manera muy notable. Del 100% que se genera con el sistema vía seca, con el sistema vía húmeda se genera una polución menor al 20%.

4.8. Discusión de resultados

- Del estudio se concluye que se debe de emplear los pernos cementados con resina en forma sistemática, espaciados cada 1.5 metros + malla electro soldada y una capa de Shotcrete de 2“de espesor.
- Para la evaluación de la estabilidad de excavaciones subterráneas se tienen varios métodos que son aplicables. Las evaluaciones geomecánicas son tan

necesarias que ayudan para tomar decisiones acertadas ya que la información de las características del macizo rocoso es evaluada con la modelación mediante métodos numéricos. Se recomienda reforzar este modelamiento con el seguimiento y el monitoreo en campo. En este trabajo de investigación se determinó que solo la utilización de un sistema de refuerzo (activo) de la roca.

- Es necesario mencionar, que la selección de los elementos de refuerzo de la roca se ha hecho siguiendo dos caminos: El primero utilizando los conceptos de clasificación geomecánica de la roca como es el caso del RMR y Q. En el caso del RMR recomienda el empleo de Mallas electro soldadas, Split Set de 5 y 7 pies y shotcrete de 5 cm de espesor, con espaciamiento de 1.50 a 1.50 metros.

4.9. Aporte del tesista

Se apporto con realizar la propuesta y estudio geomecánico para el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de Agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020.

CONCLUSIONES.

1. Se realizó el estudio geo mecánico determinándose que el valor del RMR = $7 + 13 + 10 + (2 + 4 + 3 + 2 + 3) + 10 - 10 = 44$ **Tipo de roca III – B.**
2. Se determino las características geológicas y geotécnicas la calidad de la roca que es un esquisto gris oscuro muy fracturado, levemente resistente. Desde el punto de vista de estabilidad, se requerirá de sostenimiento tanto activo como pasivo.
3. Se realizo el diseño de sostenimiento adecuado para el Túnel 8 de agosto indicando que se debe de emplear los pernos cementados con resina en forma sistemática, espaciados cada 1.5 metros + malla electro soldada y una capa de Shotcrete de 2“de espesor.
4. Ningún túnel es o será igual a otro, aun cuando se pudieran emplazar en un mismo marco geológico - geotécnico; por lo que siempre será preferible generar información propia referidas a las características geomecánicas de la masa rocosa, para luego utilizarlos en el diseño del soporte y en la aplicación de los procedimientos constructivos adecuados.
5. El control de calidad en la instalación del sostenimiento, siempre será una actividad principal, permanente y de riguroso cumplimiento con las especificaciones técnicas; por tanto, debe formar parte de la política de mejoramiento continuo en calidad y seguridad.
6. El ingeniero de minas del área de geomecánica debe de estar bien calificado y debe de estar constantemente capacitado.

RECOMENDACIONES

1. Se debe de tener implementado un programa de mejora continua para cada uno los procesos de en la construcción del túnel 8 de agosto acorde con las normas peruanas y a las normas internacionales, este sistema dará los lineamientos, herramientas y controles para poder realizar una gestión de riesgos exitosa.
2. Se debe de mejorar la coordinación en todas las áreas de construcción del en la construcción del túnel 8 de agosto, fortaleciendo la cultura de prevención para ello se debe incidir en la sensibilización al personal y cumplir estrictamente los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro (PETS).
3. Es necesario calcular los valores del tiempo de autoaporte en el túnel 8 de agosto. Para programar el sostenimiento adecuado por el área de geomecánica.
4. Realizar permanentemente la clasificación geomecánica de RMR, que nos indica la calidad del macizo rocoso mediante sus parámetros. Por cada guardia en el túnel 8 de agosto.
5. Cumplir con la capacitación para mejorar la sensibilización y conocimiento de todos los trabajadores del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, como parte de la mejora continua de dicho sistema.
6. Realizar permanentemente las auditorias tanto internas como externas de la empresa Realizar los cálculos de los indicadores de Seguridad y salud Ocupacional en forma mensual. Cambiar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alejandro, M. L. (2010). *Estudio de la contaminación del río Monzón y afluentes por efecto de la elaboración de Clorhidrato de Cocaína en la Provincia de Huamalies – Huánuco*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería Química. Huancayo, Perú.
- Bustamante, A. (2008). *Geomecánica aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas mina Huanzala - Cía. Minera Santa Luisa S.A.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. Sección de Pos Grado. Lima, Perú.
- Celestino, W. (2007). *Geomecánica y selección del tipo de sostenimiento en la zona “A” de Carlos Alberto - mina Huanzala*. (Programa de titulación profesional). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. EPIM. Huaraz, Perú.
- Cerro Rico, A.–P. (2018). *Sostenimiento en Minería Subterránea, Enfocado a Pequeños Mineros Artesanos*, file:///E:/Monografias%20y%20tesis / Tesis % 20 de % 20 Daniel % 20 Esteban % 20 Rodriguez % 20 Lucas / Sostenimiento _ A.pdf recuperado el 01/03/2018. Arequipa.
- Córdova, N. (2008). *Geomecánica en el minado subterráneo caso mina Condestable*. (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. Sección de Pos Grado. Lima, Perú.
- Departamento de geología. (2016). *de Operaciones Seprocal Estudio Geológico del Túnel aductor SAC*. Monzón, Perú.
- <https://www.google.com>. (s.f.). *Definicion de tunel*.
- Loarte, O. (2018). *Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la Corporación minera Toma la Mano – Cormitoma S.A. – año 2018*. (Tesis de

- pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Metalurgia. Huaraz, Perú.
- Mendieta Britto, L. (2014). *Optimización de los costos operativos en la unidad cerro chico, Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas PUCP, Facultad de Ciencias e Ingeniería*. Lima.
- Osinergmin. (2018). *División de Supervisión de Electricidad - Proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en ejecución*. Lima, Perú.
- Pinado, M. (2019). *Diseño con el nuevo método austriaco para el refuerzo en excavaciones de baja calidad*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ingeniería de Minas – Huancayo, Perú.
- Rodríguez, D. (2018). *Geomecánica aplicada para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas en la unidad minera Arequipa M de la compañía minera A.C. AgregadoS S.A. - año 2018*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Metalurgia. EPIM. Huaraz, Perú.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación, México, MC ORAW HILL, . México*.
- Simiá, P. (2005). *Proyecto de diseño del tunel de Corga de Vela A.V.E Madrid – Galicia*. (Tesis de grado). Universidad Politecnica de Madrid. Madrid, España. 2005.
- Soto, A. (2016). *Diseño de sostenimiento en el Túnel Wayrasencca – Ollachea*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ingeniería de Minas Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Puno, Perú.
- Trujillo, J. (2011). *Evaluación de recomendaciones de diseño para túneles excavados en materiales volcánicos y suelos residuales*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Maestría en Ingeniería Civil. Bogotá, D.C., Colombia.

- Vera, I. (2017). *Comparación técnica entre el método de excavación de la Línea 3 del metro de Santiago y métodos de excavación alternativos*. (Tesis de pregrado). Universidad Andrés Bello. Santiago de Chile, Chile.
- Yaguillo A. (2014). *Aplicación de los pernos helicoidales para mejorar la estabilidad de las labores mineras en mina Huanzala – CompañíaMminera Santa Luisa S.A. – año 2014*. (Trabajo Monográfico). Universidad Nacional “San Luis Gonzaga de Ica, Fac de Ing de Minas y Metalurgia. Nasca, Perú.
- Yaguillo Amante, M. (2014). *Aplicación de los pernos helicoidales para mejorar la estabilidad de las labores mineras en mina Huanzala – CompañíaMminera Santa Luisa S.A. – año 2014, Trabajo Monográfico, Universidad Nacional “San Luis Gonzaga de Ica, Fac de Ing de Minas y Metalurgia. Nasca.*

ANEXOS

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS

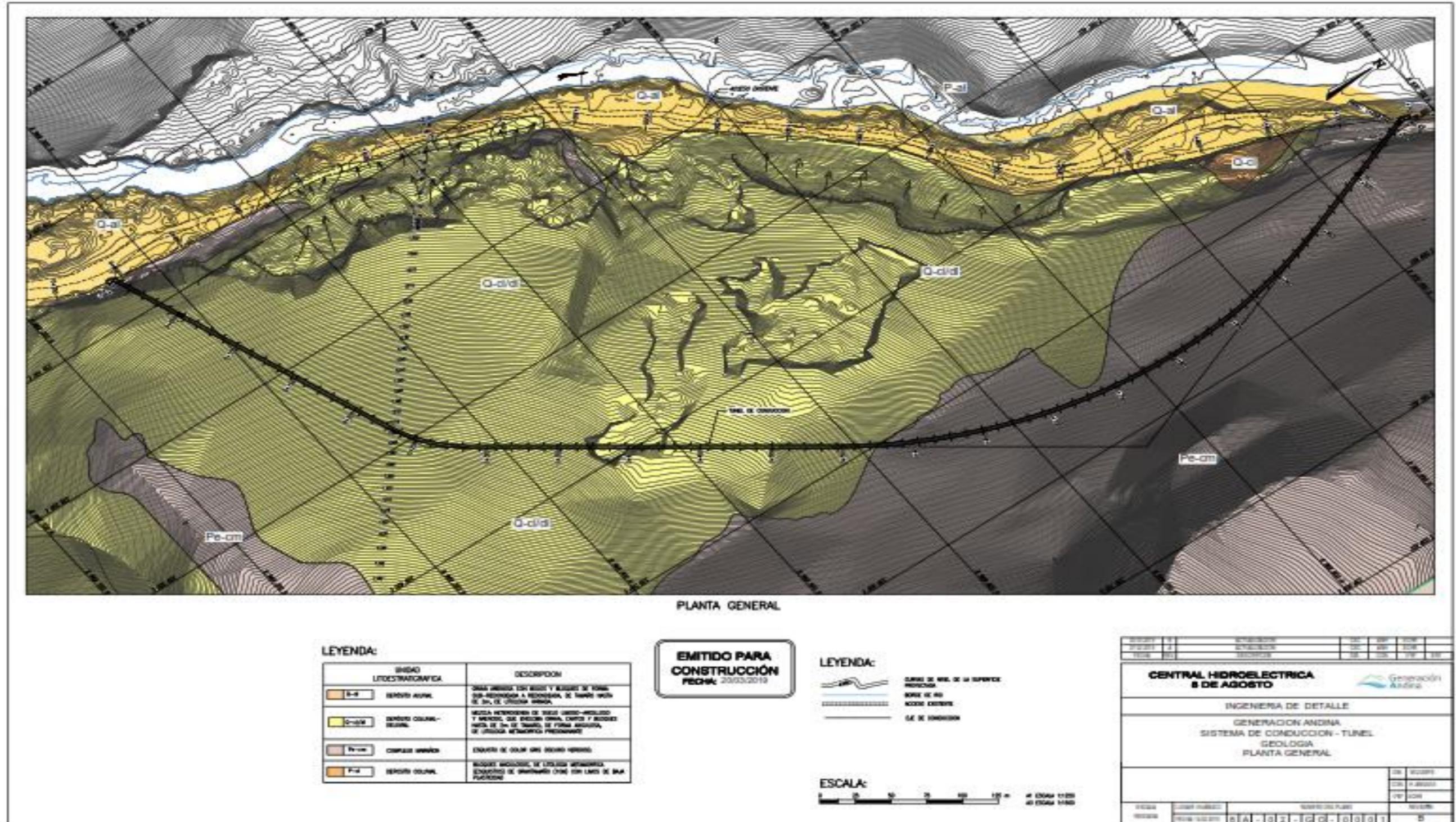
Problema	Objetivos	Hipótesis	Metodología	Población
<p align="center">Problema General</p> <p>¿Cómo hacer el estudio geo mecánico para el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de agosto, Distrito de Monzón, Huánuco - 2020?</p>	<p align="center">Objetivo General</p> <p>Realizar el estudio geo mecánico para el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020.</p>	<p align="center">Hipótesis General</p> <p>El estudio geo mecánico permitirá el diseño del tipo de sostenimiento en el túnel 8 de agosto, Distrito de Monzón, Huánuco – 2020.</p>	<p align="center">Tipo</p> <p>Aplicada.</p> <p>Nivel de la investigación.</p> <p>Investigación Descriptiva.</p> <p align="center">Método.</p> <p>Científico.</p> <p>Diseño de la investigación.</p>	<p align="center">Población y Muestra</p> <p align="center">Población</p> <p>Todos los tramos del túnel de aducción 8 de Agosto</p> <p align="center">Muestra</p> <p>Túnel 8 de agosto 4 tramos</p>
<p align="center">Problemas secundarios</p> <p>¿Cuáles son las características geológicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto?</p>	<p align="center">Objetivos específicos</p> <p>Determinar las características geológicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto.</p>	<p align="center">Hipótesis específicas</p> <p>Se determina las características geológicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto.</p>		

<p>¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto?</p>	<p>Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto.</p>	<p>Se determina las características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel 8 de Agosto.</p>	<p>El diseño de la investigación es no experimental.</p>	<p>(Cada 250 metros).</p>
<p>¿Cuál es el diseño de sostenimiento adecuado para el Túnel 8 de Agosto?</p>	<p>Realizar el diseño de sostenimiento adecuado para el Túnel 8 de Agosto.</p>	<p>Se realiza el diseño de sostenimiento adecuado para el Túnel 8 de Agosto.</p>		

Fuente: Elaboración propia



ANEXO 2. PLAN DE INGENIERIA DE DETALLE



Fuente: Departamento de geología, 2016.

