



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de
elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil**

AUTOR:

Godoy Garcia, Alexander Patsy (ORCID: 0000-0003-0540-076X)

ASESOR:

Mg. Ing. Benites Zúñiga, José Luis (ORCID: 0000-0003-4459-494X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primero a Dios por darme fuerzas cada día para lograr esta meta que tanto anhelé.

A mi hermosa familia, mi padre Patsy Godoy Meza, mi madre Carmen Garcia Corahua, mis hermanos y toda la familia por parte de mis padres por siempre apoyarme en todo momento y ayudarme a cumplir una de mis metas.

A todos los amigos que me apoyaron durante mi carrera profesional y los ingenieros que me dieron todo su apoyo y la confianza que me otorgaron.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme fuerzas de cumplir una meta muy importante, a mis padres por apoyarme cada día para cumplir esta meta.

Un agradecimiento a mis asesores Mg. Ing. José L. Benítez Zúñiga por realizar la revisión de mi tesis, al Ing. Zahid B. Talledo Silva y al Ing. Ronald Breña por apoyarme con el asesoramiento técnico que con su orientación me brindaron, hicieron posible la culminación de esta tesis.

Un agradecimiento a la Ing. Margarita Boza, al Ing. Daniel Tineo, Ing. Ángel Gómez, Ing. Elmer Chilón y a todos los ingenieros que me apoyaron durante todo el transcurso de mi carrera.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	6
III. METODOLOGÍA	28
3.1. Tipo y diseño de investigación	28
3.2. Variables y operacionalización.....	29
3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis	30
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	31
3.5. Procedimientos	33
3.6. Método de análisis de datos	35
3.7. Aspectos éticos.....	35
IV. RESULTADOS	36
V. DISCUSIÓN.....	75
VI. CONCLUSIONES	79
VII. RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS	82
ANEXOS	85

Índice de tablas

Tabla 1. Valoración de filtraciones de discontinuidades sin relleno	18
Tabla 2. Calidad de macizos rocosos en relación al Índice RMR	19
Tabla 3. Valoración de resistencia de la roca intacta con picota de geólogo	20
Tabla 4. Calidad de la roca según el índice RQD	21
Tabla 5. Clasificación bajo el sistema GSI.....	22
Tabla 6. Clasificación Q de Barton	23
Tabla 7. Rangos de factor de seguridad.....	27
Tabla 8. Rangos y magnitud de validez.....	32
Tabla 9. Rangos y confiabilidad	33
Tabla 10. Dimensiones del túnel	37
Tabla 11. Cálculo de RQD de cada estación.....	42
Tabla 12. Cálculo del índice RMR de cada estación	43
Tabla 13. Mapeo geomecánico según RMR prog. 0+000.00 @ 0+003.00 Km	45
Tabla 14. Mapeo geomecánico según RMR prog. 0+898.00 @ 0+901.20 Km	47
Tabla 15. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+107.10 @ 1+110.40 Km	49
Tabla 16. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+144.70 @ 1+148.20 Km	51
Tabla 17. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+165.60 @ 1+169.20 Km	53
Tabla 18. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+194.60 @ 1+198.20 Km	55
Tabla 19. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+238.20 @ 1+242.20 Km	57
Tabla 20. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+297.70 @ 1+301.40 Km	59
Tabla 21. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+999.60 @ 2+003.00 Km	61
Tabla 22. Clasificación geomecánica según Q de Barton.....	62
Tabla 23. Sistema de sostenimiento según Q de Barton.....	64
Tabla 24. Sistema de sostenimiento según GSI.....	64

Índice de figuras

Figura 1. Evaluación de túnel con Phase2	2
Figura 2. Eurotúnel en el canal de la mancha	3
Figura 3. Muestra de Roca Intacta	15
Figura 4. Macizo rocoso	15
Figura 5. Propiedades de las discontinuidades	16
Figura 6. Orientación posición de la discontinuidad	17
Figura 7. Ciclo de trabajo para la excavación subterránea	24
Figura 8. Maquinaria para la perforación del túnel	25
Figura 9. Esquema de tiro para el posicionamiento de dinamita.....	25
Figura 10. Sostenimiento de túnel con pernos de anclaje con Phase2.....	26
Figura 11. Sistema de sostenimiento en Phase2	27
Figura 12. Ubicación de la provincia de Huaura.	36
Figura 13. Mapa hidrográfico de la cuenca del río Huaura.	36
Figura 14. Dimensiones del túnel.	37
Figura 15. Mapa de peligros geológicos y geohidrológicos del río Raura	38
Figura 16. Descripción general del sistema de túneles.	39
Figura 17. Posición de agujeros para voladura	39
Figura 18. Mapa geológico de Huaura.	40
Figura 19. Proyección estereográfica de la prog. 0+000.00 – 0+003.00 Km.....	44
Figura 20. Proyección estereográfica de la prog. 0+898.00 – 0+901.20 Km	46
Figura 21. Proyección estereográfica de la prog. 1+107.10 – 1+110.40 Km	48
Figura 22. Proyección estereográfica de la prog. 1+144.70 – 1+148.20 Km.....	50
Figura 23. Proyección estereográfica de la prog. 1+165.60 – 1+169.20 Km	52
Figura 24. Proyección estereográfica de la prog. 1+194.60 – 1+198.20 Km.....	54
Figura 25. Proyección estereográfica de la prog. 1+238.20 – 1+242.20 Km	56
Figura 26. Proyección estereográfica de la prog. 1+297.70 – 1+301.40 Km	58
Figura 27. Proyección estereográfica de la prog. 1+999.60 – 2+003.00 Km	60
Figura 28. Ábaco de categoría de sostenimiento según Q de Barton	63
Figura 29. Malla 6 nodos con apoyos.....	67
Figura 30. Zona plástica sin sostenimiento para tipo de roca Tonalita.....	67
Figura 31. Factor de seguridad con sostenimiento para roca Tonalita.....	68
Figura 32. Zona plástica sin sostenimiento para tipo de roca Hornfels	69

Figura 33. Factor de seguridad con sostenimiento para roca Hornfels	69
Figura 34. Zona plástica sin sostenimiento para tipo de roca Dacita	70
Figura 35. Factor de seguridad con sostenimiento para roca Dacita	71
Figura 36. Zona plástica sin sostenimiento para tipo de roca Andesita	72
Figura 37. Factor de seguridad con sostenimiento para roca Andesita	72

Índice de gráficos

Gráfico 1. Ábaco para puntaje de RQD	43
Gráfico 2. Módulo de deformación del macizo rocoso	65
Gráfico 3. Factor de seguridad de la cámara del túnel	73
Gráfico 4. Factor de seguridad del hastial izquierdo del túnel	73
Gráfico 5. Factor de seguridad del hastial derecho del túnel	74
Gráfico 6. Factor de seguridad de la contrabóveda del túnel.....	74

RESUMEN

El presente proyecto de investigación denominado evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020, tiene como objetivo determinar la influencia de la implementación del método de elementos finitos para la evaluación del diseño de sostenimiento para túnel de proceso constructivo D&B, para ello se definió un tipo de investigación aplicada y diseño No experimental. Se obtuvo los siguientes resultados.

El módulo de deformación del macizo rocoso dentro del rango de 16714.93 MPa a 434789.96 MPa. Entre ellos según el criterio RMR tiene una calidad de roca tipo II – Buena a tipo III – Regular y según el criterio Q de Barton tuvo un resultado de 0.27 (Muy pobre) a 21.67 (Buena). Obteniendo la evaluación del sistema de sostenimiento según el factor de seguridad en la cámara un valor de 1.89 a 2.53, en el hastial derecho un factor de seguridad de 2.84 a 4.11, en el hastial izquierdo de 3.16 a 4.11 y en la contrabóveda un factor de seguridad de 1.89 a 2.21.

Finalmente se llegó a la conclusión que utilizando el método de elementos finitos aumenta la precisión en la evaluación del sistema de sostenimiento a utilizar.

Palabras clave: Método de elementos finitos, RMR, Q de Barton, factor de seguridad, túnel de proceso constructivo D&B.

ABSTRACT

The present research project called evaluation of the support design using the finite element method for tunnel construction process D&B, Lima 2020, aims to determine the influence of the implementation of the finite element method for the evaluation of the support design for tunnel constructive process D&B, for this a type of applied research and non-experimental design was defined. The following results were obtained.

The modulus of deformation of the rock mass within the range of 16714.93 MPa to 434789.96 MPa. Among them, according to the RMR criterion, it has a rock quality type II - Good to type III - Regular and according to Barton's Q criterion it had a result of 0.27 (Very poor) to 21.67 (Good). Obtaining the evaluation of the support system according to the safety factor in the chamber a value of 1.89 to 2.53, in the right gable a safety factor of 2.84 to 4.11, in the left gable from 3.16 to 4.11 and in the counter vault a factor of security from 1.89 to 2.21.

Finally, it was concluded that using the finite element method increases the precision in the evaluation of the support system to be used.

Keywords: Finite element method, RMR, Barton's Q, safety factor, D&B construction process tunnel.

I. INTRODUCCIÓN

La RAE define el término túnel como “excavaciones subterráneas realizado con maquinaria para libre acceso”.¹

Enfocado a la ingeniería civil tenemos un concepto más genérico que se puede determinar bajo los siguientes enfoques, uno de ellos es el transporte vial la cual en su implementación resulta ser útil para la construcción de carreteras o líneas férreas, también se aplica en canales de riego o en la generación de energía, asimismo es implementado en las mineras.

En el mundo existen túneles que son implementados para una variedad de soluciones desde la desviación de un río a una central hidroeléctrica para generar energía hasta mejorar el tránsito vehicular en zonas donde no son muy accesibles como los túneles subacuáticos.

Actualmente en el Perú la implementación de túneles es necesaria para las distintas soluciones ya mencionadas, para lo cual tenemos que mejorar las técnicas de construcción e ir perfeccionándola con el pasar del tiempo.

El diseño de sostenimiento es un factor importante que se toma en cuenta para la construcción de túneles eso mejora el aspecto de seguridad, asimismo se puede manejar recursos de manera eficiente a un costo manejable.

Un aporte a la mejora en el diseño es la implementación del método de elementos finitos la cual nos ayuda realizar una evaluación más precisa mediante un modelado en el software Phase2, asimismo se plantea utilizarlo en un túnel de proceso constructivo Drilling & Blasting (perforación y voladura), la cual es considerada un proceso empírico es por eso que se debe realizar este estudio para determinar un aseguramiento del factor de seguridad en el diseño.

¹ Real, Academia Española. 2019. *Diccionario de la lengua española*. Felipe IV, 4 - 28014 Madrid : Asociación de academias de la lengua española, 2019. IV.

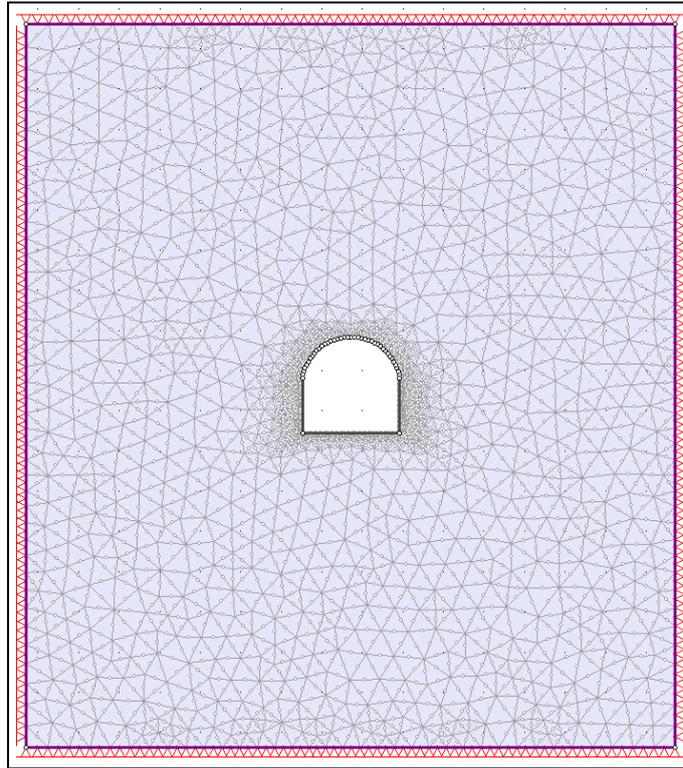


Figura 1. Evaluación de túnel con Phase2.

Por otro lado, se planteó el estudio para las distintas características de macizo rocoso es por ello que de encontrar variedad de clases de rocas se tuvo que considerar según requiera la data para el diseño de sostenimiento de cada una según la calidad y resistencia que muestre.

La construcción de túneles tiene como objetivo, principalmente, obtener accesos interceptando con accidentes geográficos en su mayoría por un sistema montañoso. También se implementan en las mineras para acceder a los minerales y túneles debajo del agua cruzando enormes cantidades, estableciendo la unión de dos países como lo realiza el Eurotúnel una estructura que se encuentra construida debajo del Canal de la Mancha uniendo a Francia e Inglaterra, por último, la implementación de túneles urbanos como mejora al transporte vial o ferroviario (líneas de metro y avenidas subterráneas).



Figura 2. Eurotúnel en el canal de la mancha.

Durante el pasar del tiempo la construcción de túneles está teniendo un efecto de necesidad, entonces utilizamos esta prioridad para elaborar un mejor proceso aprovechando al máximo los recursos disponibles. Ante el crecimiento poblacional nos vemos obligados a implementar nuevas tecnologías para la solución frente a los problemas de espacios físicos, debido a que está cada vez se vuelve más exigente e importante. Por esta razón la implementación de túneles no deja de ser una solución efectiva ante este problema, el cual favorece al transporte vial.

Dada la necesidad, es esencial la investigación del comportamiento de las excavaciones subterráneas y a causa de la poca información recolectada, ante los distintos datos como lo son: el tipo de suelo, la profundidad, radio u sistema de sostenimiento a utilizar en la investigación con el propósito de estudiar detalladamente los datos que se implementan para el diseño de sostenimiento. El macizo rocoso estuvo sujeto a diferentes procesos de deformación que afectaran el proceso constructivo y durante la operación del túnel, por ello que se tiene que investigar las propiedades mecánicas del macizo rocoso indicado anteriormente.

Mediante el cual serán determinados tales como el comportamiento del macizo rocoso; para la construcción del túnel de desvío; utilizando los métodos de mapeo

geomecánico para la caracterización de la masa rocosa donde se obtuvo las propiedades de resistencia, el RQD y el número de discontinuidades.

Por lo mencionado anteriormente se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo influye la implementación del método de elementos finitos (FEM) en la evaluación del diseño de sostenimiento de un túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020?, de la misma forma se plantean los problemas específicos los cuales son:

¿De qué manera influye el método de elementos finitos para la caracterización del macizo rocoso, Lima 2020?

¿De qué manera influye el método de elementos finitos para la metodología de construcción del túnel, Lima 2020?

¿De qué forma influye el método de elementos finitos en la sostenibilidad del túnel, Lima 2020?

Asimismo, la presente investigación es importante ya que aplicamos la modelación numérica este este caso elementos finitos a un túnel con una metodología de construcción empírica y en tipos de roca que son de poca resistencia hasta algunas que tienen buena resistencia, aumentando la seguridad de diseño en el sostenimiento del túnel. El estudio también incluye la **justificación de la investigación**, en el caso de la **justificación teórica**, este trabajo sustentará los favorables beneficios al aplicar un modelado numérico para la evaluación del diseño de sostenimiento de la estructura subterránea lo que nos permitiría la comparación de otros investigadores en cuanto a la evaluación de su diseño de túneles. Desde el punto de la **justificación práctica** dado que este trabajo estará sustentando la aplicación de elementos finitos para la variedad de tipos de rocas permitiendo ser aplicable en varios proyectos dependiendo de la similitud de sus características. En cuanto a la **justificación por conveniencia** es una evaluación muy beneficiosa en parte en la seguridad del diseño de sostenimiento y ya que es un aseguramiento a la calidad de nuestro trabajo, la **justificación social** también es importante ya que se puede utilizar en variedad de soluciones que benefician a la sociedad, con el

afán de dar una mejor calidad de vida. Por último, la **justificación metodológica**, este proyecto de investigación servirá de apoyo metodológico para quienes deseen aplicar el método de elementos finitos al diseño de sostenimiento del túnel en distintos procesos constructivos.

En lo que respecta al objetivo de esta investigación, tenemos como objetivo general determinar la influencia de la implementación del método de elementos finitos para la evaluación del diseño de sostenimiento de un túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020. De la misma forma se plantea los objetivos específicos los cuales son los siguientes:

Determinar la influencia del método de elementos finitos para la evaluación del macizo rocoso, Lima 2020.

Determinar la influencia del método de elementos finitos en la metodología del túnel, Lima 2020.

Determinar la influencia del método de elementos finitos en la sostenibilidad del túnel, Lima 2020.

Para la investigación nos planteamos la siguiente hipótesis: como la hipótesis general: La implementación del método de elementos finitos influye en un mejor diseño de sostenimiento de un túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020. Del mismo modo las hipótesis específicas refieren a:

La implementación del método de elementos finitos evaluará el macizo rocoso durante el proceso constructivo, Lima 2020.

La implementación del método de elementos finitos definirá la metodología de cada resultado según la clase de roca definida, Lima 2020.

La implementación del método de elementos finitos influirá en el cálculo de sostenibilidad del túnel, Lima 2020.

II. MARCO TEÓRICO

Edson J. Chilón & Max M. Huamán (2019), en su investigación titulada ***“Determinación del revestimiento del Tunnel Liner mediante el modelamiento geotécnico aplicando el método de elementos finitos, en el distrito de la Perla Callao”*** (Título profesional de ingeniería civil) Lima, Perú. Universidad Peruana Unión, tiene como **objetivo** determinar el espesor de revestimiento del tunnel Liner en suelos urbanos, controlando los efectos de la interacción suelo – estructura, mediante el modelamiento numérico. El **diseño de investigación** es experimental, Esta investigación tiene como **población** al Tunnel Liner. **La muestra** viene a ser el revestimiento a colocar y **el muestreo** se realizó en estaciones intercaladas. **Los instrumentos** a utilizar son el PLAXIS 2D, núcleos de perforación, Vernier. Luego de realizar el análisis de las deformaciones mediante el modelado numérico con el software PLAXIS 2D, se obtienen **los resultados** obteniendo un espesor de 4.00 mm para ambos diámetros de túneles. Dentro del diámetro en cual es de 1500 mm, para un desplazamiento máximo por aplastamiento llevando un total de 8.43 mm. Lo que significa un 0.56% del diámetro del túnel. Se **concluye** que la aplicación de elementos finitos para esta investigación es favorable con respecto al revestimiento ya que nos da resultados más óptimos. Garantizando una estabilidad en el diseño considerando las características geotécnicas.

Michelle A. La Rosa (2019), en su investigación titulada ***“Análisis de la interacción suelo – sostenimiento para túneles circulares mediante elementos finitos”*** (Título profesional de ingeniera civil) Arequipa, Perú. Universidad Católica de Santa María, tiene como **objetivo** la implementación de elementos finitos para la evaluación de la condición del sostenimiento ante el tipo de roca para túneles de forma circular, rigiéndose por los distintos factores tales como el sistema de sostenimiento, las características del macizo rocoso, radio y longitud del túnel excavado. El **diseño de investigación** no experimental. La **población** tenemos a los túneles circulares. Como **muestreo** al macizo rocoso para realizar pruebas mecánicas. El sostenimiento constará de anillos de dovelas de concreto armado con espesores de 0.30 m, 0.40 m y 0.50 m para radios de 4,00 m, 5,80 m y 7,60 m, con una profundidad de 10 m, 20 m y 30 m respectivamente. Para la modelación

numérica se toma en cuenta una profundidad de 30 m, un radio igual a 7,60 m y un espesor de sostenimiento que es de 0,50 m. Los **instrumentos** a implementar el software PLAXIS 2D para 81 modelos, como **resultado** según los parámetros establecidos anteriormente que las fuerzas axiales fueron semejantes al desplazamiento debido a que se determina que a mayor área se tiene una mayor fuerza axial. Asimismo, no todos los modelos planteados obtuvieron un valor máximo. Se **concluye** que el litotipo Tobas tiene un peso específico menor como resultado que la Presión inicial del suelo (P_0) sea menor a las demás consiguiendo que el sostenimiento tenga menos carga del suelo.

Ricardo Bartolo Ríos (2019), en su investigación titulada ***“Evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros, Los Ángeles”*** (Título profesional de ingeniero civil) Lima, Perú. Universidad Nacional Federico Villareal. El **objetivo** como bien se expone en la investigación en la caracterización geomecánica determinada por las distintas clasificaciones existentes, con el fin de elegir el mejor sostenimiento para el túnel. El **diseño de la investigación** corresponde a una no experimental. La **población** es el macizo rocoso del batolito de la costa igualmente la **muestra**, pero para el **muestreo** es un monitoreo, en el cual los **instrumentos** son el uso de las clasificaciones geomecánicas. La investigación se realizó la evaluación geomecánica la cual influye en determinar el tipo de sostenimiento dando la clasificación de Bienawski (1989) y Barton & Bandis dando como **resultado** un tipo II roca buena, la cual se aplica bulones de 3 m con espaciamiento de 2.5 x 2.5 m, además de ello el concreto proyectado tendrá un espesor de 0.08 m. Para rocas tipo III regular se colocará bulones de 3 m con un espaciado de 2.5 m con un concreto proyectado de espesor de 0.08 m + malla electrosoldada y para roca media, bulones de 3 m de longitud con un espaciado de 1.5 m con un concreto proyectado de 0.05 m. **Concluyendo** que cada tipo de roca tiene su propia metodología de sostenimiento.

Marta R. García (2015), en su investigación titulada ***“Estudio de excavación de túneles mediante el nuevo método austriaco a través del análisis por elementos finitos”*** (Título profesional de ingeniero civil) Madrid, España.

Universidad de Extremadura Escuela Politécnica, el **objetivo** de la investigación, determinando en las propiedades mecánicas del macizo rocoso obteniendo el módulo de deformación, tiene como objetivo evaluaremos el sistema de sostenimiento para la excavación subterránea, tomando en cuenta el factor de seguridad de diseño, la economía según el tipo de macizo rocoso a excavar y la profundidad del túnel, realizando la ejecución tomando los parámetros anteriores para la metodología del diseño de sostenimiento y el presupuesto total de obra. El **diseño de investigación** es no experimental, La **población** se centra en la excavación del túnel, la **muestra** es cada tipo de roca la cual se demostrará cada metodología. el estudio se abordará en **instrumentos** tomaremos en cuenta la evaluación de un macizo rocoso isotrópico, basado en una construcción del nuevo método austriaco, el perteneciente a la unidad litológica de las cuarcitas (Oc) del túnel de Santa Marina. En el estudio el túnel es aproximado a un círculo perfecto de radio 6,4 m. La implementación de software Dips & Phase2 **concluyó** al evaluar el diseño de sostenimiento bajo las condiciones del factor de seguridad con el software Unwedge con el que se concluye que tiene una sostenibilidad al encontrarse dentro del rango siendo mayor a 1.5 estabilizando la caída debilitada de cuñas.

Daniel De la Rosa (2015), en su investigación titulada **“Comportamiento de túneles excavados mediante el método convencional”** (Título profesional de ingeniero civil) Ciudad de México, México. Universidad Nacional Autónoma de México, tiene como **objetivo** ampliar la metodología propuesta por Mayoral (2014), en donde se estima el riesgo asociado con la determinación de los parámetros geotécnicos combinando el método de estimación puntual de dos variables BPEM, con series de modelos tridimensionales de elementos finitos, la cual consiste en analizar el estado límite de falla y de servicio simultáneamente, tomando en cuenta la incertidumbre inherente en la caracterización de suelos de grano fino cementado. El **diseño de la investigación** es experimental. La **población** son los túneles excavados, la **muestra** y el **muestreo** se elaborarán con referente a la clasificación de roca y a los resultados de la metodología utilizada resulta ser muy útil ya que por medio probabilístico se puede determinar el grado de falla, al tener **resultados**

favorables podemos **concluir** con que la estabilidad del túnel resultado optima, teniendo en cuenta el proceso constructivo adecuado.

Carlos X. Azúa (2015), en su investigación titulada ***“Análisis determinístico de estabilidad de un túnel en rocas blandas, mediante estudio paramétrico de inestabilidad en discontinuidades, y modelado con elementos finitos usando el software PLAXIS 2D y UNWEDGE, caso de estudio túnel de descarga No 2 del proyecto de propósito Múltipla Chone”*** (Título profesional de ingeniero civil) Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. El **objetivo** de esta investigación se determina a realizar un mapeo geomecánico utilizando las clasificaciones RMR y GSI y poder realizar un análisis de sostenimiento y de cuñas del túnel mediante el software PLAXIS 2D y UNWEDGE. El tipo de **investigación** es experimental explicativa, la **población** resulta ser el túnel en rocas blandas teniendo así la **muestra** y el **muestro** el análisis de roca. Realizando el análisis tenso-deformacionales y de las discontinuidades nos da como **resultado** utilizar un tipo de soporte para la sostenibilidad del túnel, además de ellos se concluye que los elementos finitos nos fueron útil para la determinación de la extensión en la zona plástica que resulta ser 2.5 veces mayor que lo estimado.

Maciej Ochmanski (2016), in his research titled ***"Numerical Analysis of the Effects of Tunnel Construction"*** (Doctor of Philosophy in Civil Engineering) Gdansk, Poland. Silesian University of Technology & University of Cassino and Southern Lazio. The main **objective** of this dissertation is to thoroughly investigate the results from the tunnel with different technologies. The focus is on the most relevant technological aspects. For this purpose, the sequence of the tunneling operation must be reconstructed and specific models must be introduced for simulating factors such as local reinforcement, excavation, injection and grout resistance, etc. The research design is no experimental. With this objective, a numerical simulation of specific and mechanized tunnels has been carried out, specifically to the maximum level of precision to take into account the most relevant technological factors. The sequence of tunneling operations has been carefully reconstructed for two studies assumed to be benchmarks, and specific models have been modified to simulate grout injection and hardening, local reinforcement, excavation, facial support,

subsoil layering, initial hydrodynamic conditions and also pores. transient pressure variation, etc.

La aplicación de los métodos numéricos para el análisis de túneles es esencial para el aseguramiento de la calidad del sostenimiento es por ello que esta investigación se encarga de demostrar según el tipo de roca que se encuentra en la zona de estudio, para ello el modelamiento numérico ayuda a mejorar el factor de seguridad para la sostenibilidad del proyecto.

Vasileios Avgerinos (2014), in his research entitled "**Numerical investigation of tunnels under existing tunnels**" (The title of doctor of philosophy) Department of environmental civil engineering. London SW7 2AZ, Imperial College London. The elementary objective of the study is to determine by means of the dynamic analysis the movements that the tunnel emanates, also its stability will be verified by seeing its deformation becoming structurally non-functional for its use which is carried out by underground excavation. Which is composed of a three-way approach, including large-scale laboratory tests of segmental gray cast iron ring, the constant observation in the field of the study area called "greenfield" which contains as support system a cladding of existing tunnels and advanced numerical modeling. By proposing to use numerical modeling for this study on which this research is based, he presents the objectives of this work. The research design is non-experimental since we will proceed to see the application of the coating in a dynamic analysis using the finite element method as a test, which leads us to obtain more test results. As the last point touched on in the thesis, the focus is on 3D modeling of tunnel construction. Due to the complexity of implementing a rail below the center line. The investigation of the numerical modeling focused on: The amount of movements that the surface emanates due to the movement we will see how the underground excavation is affected, we will confirm the resistance of the tunnel for the construction of this, determining the construction of others in parallel. The other monitoring data determined that 3D modeling gives direct, simplified, and good information. The distribution in case the excavation progresses changes in the parallel tunnels. If the tunnel has a high moisture content, it will increase the strength in the long term, which means that if the coating is permeable, the force it will exert

will be on the gables but will decrease on the crown, the more permeable the shotcrete varies. the efforts.

La implementación del método de elementos finitos para el cálculo de desplazamiento es útil sobre todo en este caso en donde se pretende la construcción de un túnel sobre otro, ya que como se mencionó se debe tener cuidado con la interpretación de datos, pero resulta muy adecuado el uso de estas metodologías en muchas aplicaciones donde que el sostenimiento se vuelve aun el doble de importante.

Nasser Al Hai (2012), in his research entitled **"2D Elasto - Analysis of plastic finite elements of tunnels in Dubai"** (Master of Science in Civil Engineering) Sharjah, United Arab Emirates. American University of Sharjah, study objectives are based on review of available and published case studies involving predicted and observed behavior of tunnels. The observations recorded inside and outside (on the surface) of the tunnel along with other parameters, such as tunnel techniques and the support installation procedure, will be recorded to form the basis of the simulation methodology for this study. It was a study of a quasi-experimental type of research design. Tunnel analysis has been studied with a very good degree of precision by many researchers in the past. The first attempts at tunnel analysis will use analytical methods. Later, many attempts have been made to perform finite element analysis of tunnels in the perfectly elastic Mohr - Coulomb sand / rock plastic model featured in these shallow or deep tunnels (10m and 20m) for 14 soil models subsurface for those affected with in the Dubai metropolitan area. The results due to the simulation of the volume loss indicate that the axial force is reduced with each calculation phase and the progression of the deformation. The bending moments, however, are still larger. This phenomenon is explained by the arched floor around the body of the tunnel. The deformed mesh indicates a settlement channel in the soil surface. The effective stress graph shows and confirms that the arc occurs around the tunnel. This arc reduces the stresses acting on the tunnel lining. As a result, the axial force is less at the crown compared to the tunnel inversion. If the elasto plastic behavior is considered to be the most rational behavior, then linear elastic behavior is not suitable as 58% of the maximum ground settlement occurs in the plastic stage when

using elasto plastic behavior. The elasto plastic using interface gap friction elements in the most convenient approach.

Llegando a este punto es esencial la interpretación de datos del software a implementar ya que no solo quizá no nos podamos dar cuenta de algún error en la introducción de datos es por ello que resulta ser útil el volver a revisar, en esta investigación se realiza un estudio de los túneles en Dubái teniendo un resultado preciso del comportamiento elasto-plástico para el sostenimiento.

Amichai Mitelman (2015), in his research entitled **“Numerical analysis of the effects of external explosions in tunnels”** (Maestría en Ciencias Aplicadas en Ingeniería de Minería) Vancouver, Canadá. La Universidad de British Columbia, los principales objetivos de esta tesis son, validar la idoneidad del código FEM / DEM ELFEN para modelar túneles bajo cargas explosivas, para determinar la influencia de las propiedades del macizo rocoso en la durabilidad del túnel hasta la voladura, para desarrollar un método de soporte de túnel diseñado para resistir la voladura. El diseño de la investigación es experimental. El enfoque híbrido FEM / DEM se modifica para túneles de modelos de roca, a veces una carga de explosión externa. La comparación con la prueba de campo verificó que este método es un medio adecuado para estimar la extensión de los daños en el túnel. Los códigos FEM-DEM combinan elementos finitos y elementos discretos e incorporan principios de fractura mecánica para permitir una simulación realista de la transición de materiales frágiles de un estado continuo a un estado discontinuo. En comparación con los métodos no híbridos (FEM y DEM): se puede hacer una comparación directa con los resultados de las pruebas de campo (es decir, velocidad de astillado y medición del área fracturada). Además, el método se puede ampliar fácilmente para investigar los medios de soporte, simulando el impacto dinámico de los fragmentos desprendidos con el sistema de soporte del túnel. Se presenta una discusión sobre la selección del soporte del túnel para resistir el impacto de voladuras. Los resultados del modelado demostraron que bajo un gran desconchado se forma una capa aislante entre la roca y el revestimiento. para condiciones de daño leve, se propuso un procedimiento de análisis FEM estático

más simple. Se presenta un diagrama de flujo de decisiones que resume el proceso propuesto para el diseño de soporte.

Es excelente que durante el pasar del tiempo podamos definir mediante una modelación numérica los hechos estructurales que puedan suceder mediante el análisis probabilístico y la evaluación del método de elementos finitos, con la finalidad de llegar a la metodología de sostenimiento adecuada.

Oswaldo P.M, Tarcisio B. and Antonio B. (2017) in their research article entitled "***Optimization of 3D finite element modeling for deep tunnels with non-linear material***" Shanghai, China. Tongji University. The **objective** of this research is to collect in-depth data which is of great help for the modeling of 3D tunnels, which helps us to be more precise and recommends a better quality of support, which leads us to have greater security in the design. The research **design** is experimental. The **population** of this article turns out to be tunnels with different standardized radii and according to the type of work, the sample is tunnels with radio of 25, 10, 5 and 9R. Sampling is the mechanical analysis of the rock mass, 3D modeling of tunnels is performed using a non-linear terrain model. We have as a **result** the expansion of these tension data and displacements of tunnels with different radii already mentioned which are proposed because they are the most used in the construction of tunnels.

Este artículo aumenta las probabilidades en un aseguramiento de sostenimiento en túneles con distintos radios los cuales aumenta la data en el análisis de los desplazamientos y tensiones, debiendo también ser analizada el macizo rocoso para la obtención de un análisis más preciso se obtuvo los resultados de las propiedades mecánicas de la masa rocosa.

Beyabanaki A. and Gall V. (2017) in their article entitled "***3D numerical parametric study of the influence of the open-pit mining sequence on existing tunnels***" San Francisco, USA. Posted by Elsevier B.V. on behalf of the Chinese University of Mining and Technology. The **objective** of this article is the demonstration through 3D numerical modeling to evaluate the sustainability of the tunnel built in an existing

one. The **type of research** is experimental. The **population** is the tunnels that are built in an existing one, for which the sample is both the analysis of the existing tunnel together with the tunnel to be built, by applying the finite element method since we are performing a numerical modeling that results in a 550% lining given the tensile stress, The open pit mining sequence causes the tensile forces in the existing rock bolts in the tunnel crown to increase significantly to 120%. In **conclusion**, the more complex the situation in the construction of tunnels, the more significant the support design becomes, obtaining precise results as a reward.

En este artículo encontramos la demostración numérica de la estabilidad del sostenimiento en una situación donde tenemos la construcción de un túnel sobre otra, siendo este caso más usual en la minería deja datos importantes para distintas soluciones siendo así severamente cuidadosos en cuanto al diseño de un túnel.

S.A. Mazek & H.A. Almannaei (2013) in his article entitled "**Finite Element Model of the Performance of the Cairo Subway Tunnel-Line 3**" Cairo, Egypt. Ain Shams University. This article aims at 2D numerical modeling for the construction of a subway tunnel. The **type of research** is experimental. The **population** turns out to be the subway tunnel, the application of a finite element modeling leads to the adaptation of an elastoplastic construction process. As a **result**, it gives us the performance of the tunnel, after a 2D modeling we obtain favorable data in the design according to the field data as well as the settlement that is underestimated by 10% and the landslide that is an important factor in the tunnel performance.

En este artículo se ha realizado un modelado numérico 2D aplicado a un túnel, con el fin de determinar el rendimiento en el sostenimiento del túnel para lo cual de los distintos factores que se tiene que hallar son determinado con el método de elementos finitos los cuales dan como resultado hasta la deducción de asentamiento del terreno.

Se presentará como teorías relacionadas a los siguientes conceptos básicos los cuales determinarán un sustento para la determinación del tema propuesto. Para ello tenemos los fundamentos de la mecánica de rocas las cuales nos apoyan en

el estudio de nuestra área propuesta a realizar el diseño. Asimismo, se redacta los conceptos de los términos básicos los cuales a continuación se mencionarán:

La roca intacta, es una roca sin fracturas continuas lo que lo hace un bloque sin discontinuidades.²



Figura 3. Muestra de Roca Intacta.

El macizo rocoso, es la forma natural como se presentan las rocas, entonces, está definido por la roca y la estructura, que al mismo tiempo se observa planos estratigráficos y otros caracteres estructurales.²



Figura 4. Macizo rocoso.

² **Monge, Pedro Ramírez Oyenguren & Leandro Alejano. 2004.** Mecánica de Rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2004. I. Pág. 1.

La *clasificación geomecánica*, están basadas en algunos o varios factores que determinan su comportamiento mecánico a través de sus propiedades de la matriz rocosa, se encarga de cuantificar la calidad del macizo rocoso a través de parámetros de origen empírico.³

Las *discontinuidades*, están definidas por planos de estructuras que afectan a la continuidad de la roca, así también como planos que afectan a las propiedades de las rocas como deformabilidad, resistencia y permeabilidad.⁴

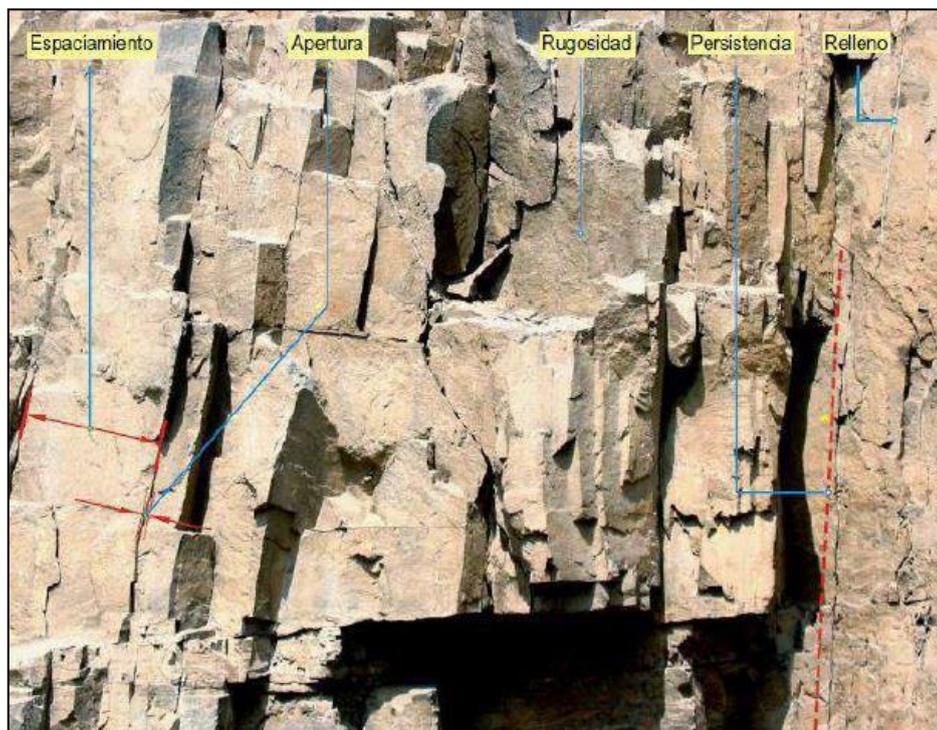


Figura 5. Propiedades de las discontinuidades.

La *orientación*, en la mecánica de rocas se considera al sentido que se encuentra la discontinuidad de la roca además se encuentra conformada por el rumbo y

³ OSINERGMIN. 2017. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierres laborales . Lima : OSINERGMIN, 2017. Pág. 25.

⁴ Javier Arellano Gil, Rolando de la Lata Romero, Marco Antonio Carreón Méndez, Wendy Vanesa Morales Barrera & Juan Carlos Villarreal Morán. 2002. Ejercicios de geología estructural. México D.F. : UNAM, 2002. I. Pág 5.

buzamiento. Cuando se encuentra varios de este tipo es considera una familia de discontinuidades.⁵

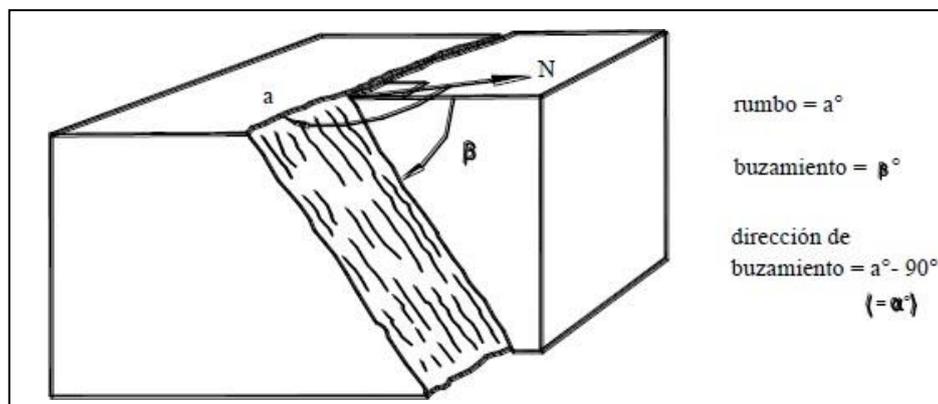


Figura 6. Orientación posición de la discontinuidad

El buzamiento (β) es el ángulo vertical formado entre el plano horizontal y la tierra. es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente del plano inclinado, con la proyección línea de máxima pendiente en el plano horizontal. Dirección de buzamiento (α).⁶

El rumbo (R) (o dirección) se puede definir: Es el ángulo horizontal formado en la línea del norte magnético, su valor varía de 0° a 90° NE o 0° a 90° NW (Cuando $R = 90$ La dirección será ESTE-SUR y cuando $R = 0^\circ$ la dirección será N-S).⁷

El espaciado, es la longitud perpendicular entre discontinuidades paralelas. Determinando las dimensiones de la roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, las dimensiones de los bloques disminuirán y cuanto más espaciado tengan, las dimensiones de los bloques serán aún más grandes.⁸

La rugosidad, es la escabrosidad o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanto la rugosidad en la discontinuidad sea mínima, el macizo

⁵ RIVERA, H. 2011. Geología general. [aut. libro] Hugo Rivera Mantilla. *Geología general*. Arequipa : Megabyte, 2011. ISBN: 978-612-4005-63-3.

⁶ Rojas, Silvio. 2009. *Túneles*. Colombia : Universidad de los Andes, 2009. Pág. 9.

⁷ Carmago, Jorge Arturo. 2011. *Geología estructural orientación de planos y líneas*. Lima : s.n., 2011.

⁸ Jhon A. Hudson, Jhon P. Harrison. 1997. *Engineering Rock Mechanics*. London : University Of London, UK, 1997.

rocoso será menos práctico y cuanto mayor sea ésta, el macizo rocoso será más práctico.⁹

Las filtraciones de agua, generan problemas en la masa rocosa para ello se tiene una valoración de las filtraciones las cuales se expresan en seis tipos de filtraciones en las discontinuidades desde un flujo no posible hasta un flujo continuo muy alto.¹⁰

Tabla 1. Valoración de filtraciones de discontinuidades sin relleno

FILTRACIONES (Discontinuidades sin relleno)	
Valoración de la filtración	Descripción
I	La discontinuidad está muy cerrada y seca, el flujo de agua a través de ellas no parecer posible.
II	La discontinuidad esta seca sin evidencia de flujo de agua.
III	La discontinuidad esta seca sin evidencia de flujo de agua.
IV	La discontinuidad esta húmeda pero no está presente el agua libre.
V	La discontinuidad muestra filtración, ocasionalmente goteo de agua, pero sin flujo continuo.
VI	La discontinuidad muestra un flujo continuo de agua. (Estimas l/min y describir la presión como baja, media, alta).

Fuente: Osinergmin

A continuación, se definirán las características de nuestro estudio con el fin de que se pueda determinar de una manera detallada el procedimiento para el uso de elementos finitos y que datos se tienen para el análisis previo, luego de ello

⁹ Goodman, Richard E. 1989. *Introduction to Rock Mechanics*. New York : 2nd Edition, published by Wiley, 1989. ISBN: 978-0-471-81200-5.

¹⁰ Procedimiento para el control de filtraciones en excavaciones subterráneas. Caso de. CUESTA Recio, Armando; Watson Quesada, Roberto; Legrá Lobaina, Aristides A. 2008. 3, Holguín : Redalyc, 2008, Vol. XXIV. Pág. 4.

implementarlo en el túnel con cada tipo de macizo rocoso la cual se define como concepto el mapeo geomecánico.

La caracterización geomecánica es esencial para evaluar la resistencia y la calidad del macizo rocoso, se realiza por los distintos tipos de caracterización ya que se puede realizar por el método RMR, Q de Barton y GSI de los cuales tenemos que realizar distintas evaluaciones en campo. Los mapeos geomecánicos se guían de una selección de datos las cuales expresan sus características mecánicas:

Tipo de discontinuidades, propiedades de la matriz rocosa y frecuencia, que dan como resultado el grado de fracturación, la forma y el tamaño de los bloques del macizo, sus propiedades hidrogeológicas, etc. Grado de alteración o meteorización. Comportamiento tensional en campo y presencia de humedad.

Es complicado proponer clasificaciones geomecánicas generales correctas para las distintas clases de macizos debido a la variabilidad de los anteriores factores y el carácter discontinuo y anisotrópico de los macizos rocosos.

La clasificación Rock Mass Rating (RMR), esta clasificación se utiliza tanto para determinar las características del macizo rocoso y sus propiedades como para su implementación en túneles, que se expresa por medio del índice de calidad RMR, “rock mass rating” que varía de 0 a 100[...].¹¹

Tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos: Resistencia compresiva uniaxial (R_c) de la roca intacta, orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación subterránea, condición de las discontinuidades e hidrogeológicas, espaciado de las discontinuidades, grado de facturación bajo las condiciones del RQD y la resistencia uniaxial de la masa rocosa.¹²

Tabla 2. *Calidad de macizos rocosos en relación al Índice RMR*

¹¹ **RIVERA, H. 2011.** Geología general. [book auth.] Hugo Rivera Mantilla. Geología general. Arequipa : Megabyte, 2011. ISBN: 978-612-4005-63-3. Pág. 440.

¹² Review of Rock Mass Rating and tunneling Quality index systems for tunnel desing. **Hafeezur, Rehman, y otros. 2018.** 28, Korea : Applied Sciences, 2018, Vol. I. Pág. 4.

Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR				
Clase	Calidad	Valorización RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100 - 81	> 4 Kg/cm ²	> 45°
II	Buena	50 - 61	3 - 4 Kg/cm ²	35° - 45°
III	Media	60 - 41	2 - 3 Kg/cm ²	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	1 - 2 Kg/cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm ²	< 15°

Fuente: Osinergmin

La resistencia compresiva uniaxial (R_c), este ensayo permite obtener la resistencia a compresión de la roca intacta. Este resultado se obtiene mediante el equipo de carga puntual, el martillo Schmidt o la picota de geólogo.¹³

Tabla 3. Valoración de resistencia de la roca intacta con picota de geólogo

Picota de geólogo
Buena (Muy resistente, fresca)
Superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (R_c 100 a 250 MPa) (Se rompe con varios golpes de picota)
Regular (Resistente, levemente alterado)
Discontinuidades rugosas, levemente alterado, manchas de oxidación, ligeramente abierta (R_c 50 a 100 MPa) (Se rompe con uno o dos golpes de picota)
Pobre (Moderadamente resistente, leve a moderadamente alterada)
Discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abiertas (R_c 25 a 50 MPa) (Se indenta superficialmente con golpes de picota)

¹³ Alpha, Consult. 2008. TABLAS UTILIZADAS PARA DESCRIPCION GEOTECNICA DE ROCAS. Ilo : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008.

Muy pobre (Blanda, muy alterada)
Superficie pulida o con estriaciones, muy alteradas relleno compacto o con fragmentos de roca (Rc 5 a 25 MPa) - (Se indenta más de 5 mm.)

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

La clasificación *Rock Quality Designation (RQD)*, verifica el grado de facturación, medido mediante el índice RQD y clasifica a los macizos rocosos en distintos grados de calidad. Significa en el idioma inglés “rock quality designation”.¹⁴

Tabla 4. *Calidad de la roca según el índice RQD*

Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD	
RQD	Calidad
< 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Media
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy buena

Fuente: Osinergmin

La clasificación *Geological Strength Index (GSI)*, Hoek (1995) presentó el índice de resistencia geológica en conjunto al criterio de falla en una roca, pero realmente que indica el GSI. Estima la resistencia del macizo para distintas condiciones geológicas, sin contar con las actualizaciones realizadas por su autor en varias ocasiones Hoek (2002).¹⁵

¹⁴ OSINERGMIN. 2017. *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierres laborales*. Lima : OSINERGMIN, 2017. Pág. 20

¹⁵ Hoek. 2006. *Sistema GSI (Geological Strength Index)*. Anexo C : s.n., 2006. Pág. 184.

Este sistema es utilizado para la estimación de los parámetros de entrada para el cálculo de resistencia. La clasificación GSI se basa en las características de la calidad del macizo rocoso.

Tabla 5. Clasificación bajo el sistema GSI

SOSTENIMIENTO SEGUN G.S.I (Modificado)		CONDICIONES SUPERFICIALES			
A	SIN SOPORTE - PERNOS OCASIONALES	BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)	REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEMENTE ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACION, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)	MALA (MODER. RESIST. LEVE A MODER. ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 25 A 50 MPa) (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE CON GOLPES DE PICOTA)	MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRACIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA (Rc 5 A 25 MPa) - (SE INDENTA MAS DE 5 mm)
B	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.50 x 1.50 m. (Malla o cinta ocasional).				
C	PERNO SISTEMÁTICO 1.2 x 1.2 m. (Malla o cinta ocasional).				
D	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más malla de refuerzo obligatoria. (SHOTCRETE: 5.0 cm sin fibra).				
E	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE: 5.0 cm con fibra.				
F	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE: 10.0 cm con fibra. (CIVIERA O CUADRO DE MADERA).				
ESTRUCTURA					
	LEVEMENTE FRACTURADA TRES O MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (RQD 75-90%). (2 A 6 FRACTURAS POR METRO)	(A) LF/B	(A) LF/R	(A) LF/M	(B)
	MODERADAMENTE FRACTURADA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES (RQD 50 - 75%). (8 A 12 FRACTURAS POR METRO).	(A) F/B	(A) F/R	(C) F/M	(D) F/WW
	MUY FRACTURADA MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25-50%). (12 A 20 FRACTURAS POR METRO).	(A) MF/B	(C) MF/R	(D) MF/M	(E) MF/WW
	INTENSAMENTE FRACTURADA PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RQD 0 - 25%). (MÁS DE 20 FRACTURAS POR METRO).	(C) IF/B	(D) IF/R	(E) IF/M	(F) IF/WW

Fuente: Geological Strength Index

La clasificación Q de Barton fue creada por Barton, Lien y Lunde (1974), luego de sus numerosas investigaciones en construcciones de túneles, presenta una manera

de clasificar y estimar los parámetros geomecánico del macizo. El índice Q está basado en la siguiente fórmula.¹⁶

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

Los tres factores de la expresión representan:

(*RQD/J_n*): La estructura de la masa rocosa la cual es medida por el tamaño de bloques / Número de set de discontinuidad.

(*J_r/J_a*): Resistencia al corte entre los bloques definido por la rugosidad y la alteración de las paredes.

(*J_w/SRF*): El esfuerzo efectivo, J_w está definido por el agua subterránea. El índice Q obtenido varía entre 0,001 y 1.000, con la siguiente clasificación del macizo rocoso:

Tabla 6. *Clasificación Q de Barton*

El índice Q	
Rango	Condiciones superficiales
0,001 y 0,01	Roca excepcionalmente mala
0,01 y 0,1	Roca extremadamente mala
0,1 y 1	Roca muy mala
1 y 4	Roca mala
4 y 10	Roca media
10 y 40	Roca buena
40 y 100	Roca muy buena
100 y 400	Roca extremadamente buena
400 y 1000	Roca excepcionalmente buena

Fuente: INGEMMENT

¹⁶ Barton. 2000. *Aspectos generales del Q de Barton*. Anexo A : s.n., 2000. Pág. 174.

Para la excavación subterránea se utilizará el proceso constructivo Drilling & Blasting (perforación y voladura) la cual se viene utilizando actualmente, como beneficioso tenemos que este sistema se adapta a nuestro tipo de suelo y también a la sección a ejecutar. Asimismo, la desventaja que presenta son las irregularidades luego de la voladura lo que dificulta el sostenimiento y revenimiento del túnel. Para ello consideramos un ciclo de trabajo en el que podamos seguir para evitar las desventajas ya mencionadas.

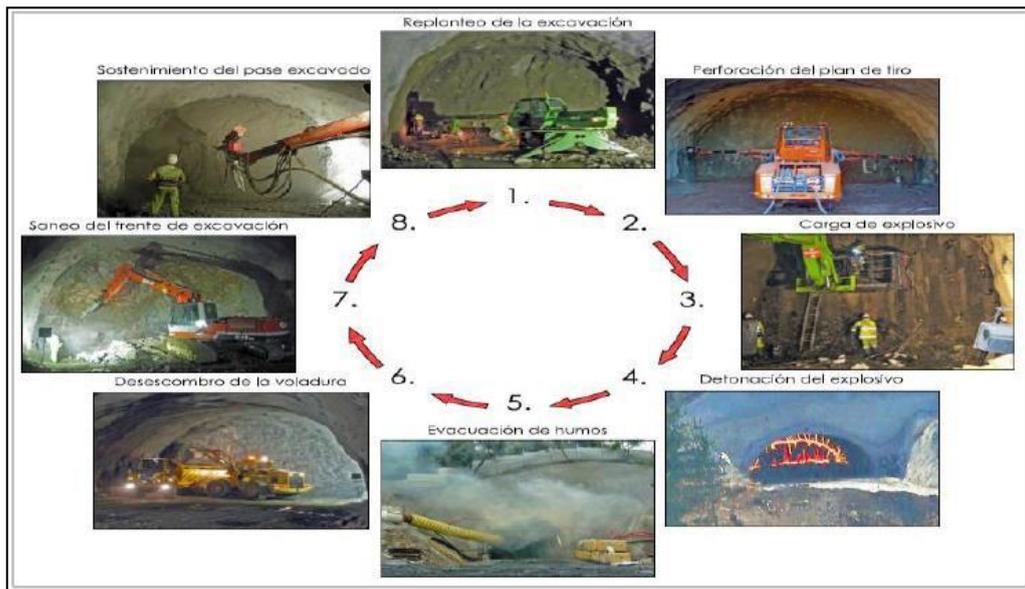


Figura 7. Ciclo de trabajo para la excavación subterránea

Para la ejecución de la excavación es necesario contar con la maquinaria adecuada la cual nos permita realizar la ejecución con calidad. En la perforación del túnel se utilizará martillos hidráulicos para una mayor penetración en el macizo rocoso esta será montada en el jumbo.¹⁷

¹⁷ Ministerio, de Transportes y Comunicaciones. 2016. Manual de carreteras, túneles, muros y obras complementarias. Lima : MTC, 2016. Pág. 126.



Figura 8. Maquinaria para la perforación del túnel

Dado que tenemos las características del macizo rocoso y tenemos perfilada la sección se procede con la voladura, la detonación deberá contar con un tiempo de inicio, también deberá de contar con un esquema de tiro la cual nos permitirá controlar la sección.¹⁸

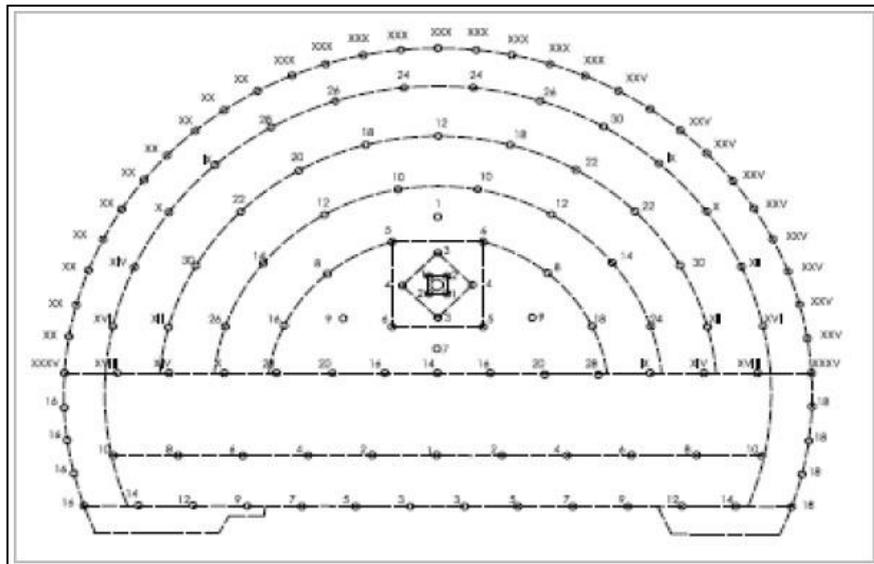


Figura 9. Esquema de tiro para el posicionamiento de dinamita

¹⁸ Ministerio, de Transportes y Comunicaciones. 2016. *Manual de carreteras, túneles, muros y obras complementarias*. Lima : MTC, 2016. Pág. 128.

Para el aseguramiento del sostenimiento se implementará el análisis mediante modelados numéricos en base a los elementos finitos los cuales consiste en subdividir el área utilizando tres nodos lo que conlleva a una forma triangular, esto nos permitirá conocer los resultados de desplazamiento, tensiones y deformaciones asegurando la calidad del sostenimiento del túnel como metodologías para la óptima sostenibilidad, obviamente dependerá de las características del macizo rocoso. Para ello se utilizará el software Phase 2.

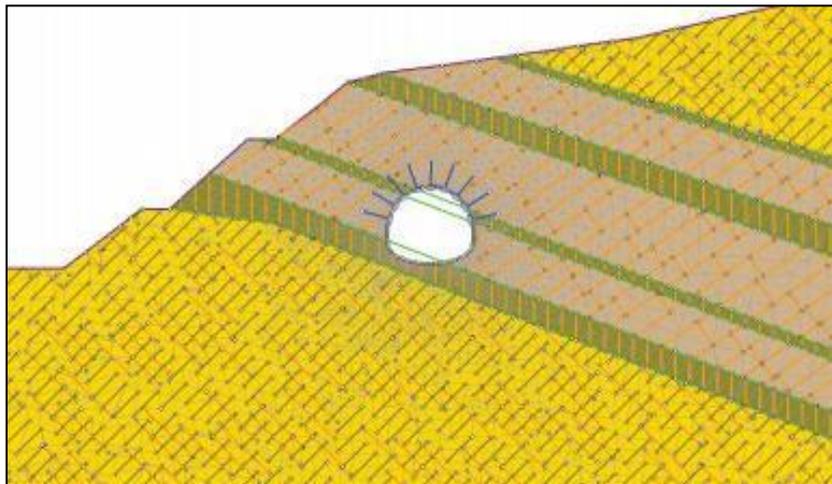


Figura 10. Sostenimiento de túnel con pernos de anclaje con Phase2

El programa Phase2 8.0 es un programa que se utiliza para el análisis de túneles, apuntalamientos, análisis de aguas subterráneas, diseño de soporte. Básicamente las estructuras del tipo de rocas se pueden modelar fácilmente en este programa.¹⁹

¹⁹ ROCSIENCE. 2013. Phase2 8.0 Excavation & support desing software. s.l. : ROCSCIENCE inc., 2013. Pág. 1.

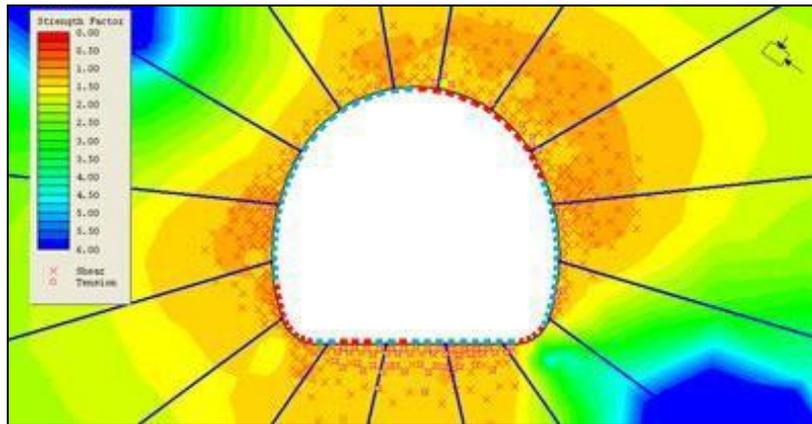


Figura 11. Sistema de sostenimiento en Phase2

El factor de seguridad es un enfoque en cual es utilizado para determinar la resistencia del elemento de acuerdo a la carga este parámetro se puede aumentar aplicando un sistema de sostenimiento. Es una medición determinística de la relación entre las fuerzas resistentes (capacidad) y las fuerzas actuantes (demanda). Los valores mínimos de aceptación se establecen en un rango de 1.1 a > 1.5 como se observa en la siguiente tabla.²⁰

Tabla 7. Rangos de factor de seguridad

PLAZO	RANGO DE FS
Estabilidad a largo plazo (PL)	> 1.5
Estabilidad a mediano plazo (MP)	1.3 - 1.5
Estabilidad a corto plazo (CP)	1.1 - 1.3

Fuente: OSINERGMIN

Considerar: CP menor o igual a 3 meses, MP entre el rango de 3 meses a un año y LP mayor a un año.

²⁰ OSINERGMIN. 2017. *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierres laborales*. Lima : OSINERGMIN, 2017. Pág. 46.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: Es tipo de investigación aplicada ya que toma el interés de estudio de un problema llevado en la realidad, llevando la posibilidad de aportar nuevos objetivos, centra su atención en las probabilidades concretas de aplicar las teorías generales a la práctica.²¹

Diseño de investigación:

Diseño no experimental: Se define como el estudio que se elabora sin manipular deliberadamente las variables. Se trata de investigaciones en las cuales no hacemos variar la variable independiente para observar los efectos en las demás variables.²² Entonces debido a que una vez identificadas las características del macizo rocoso y colocado el sostenimiento del túnel, procederemos a la evaluación, mediante la aplicación del método de elementos finitos en el software Phase2 obteniendo como resultado los desplazamientos, tensiones y deformaciones de cada tipo de roca y con su respectiva metodología de sostenimiento, tomando en cuenta que es una excavación de proceso constructivo D&B.

Diseño de investigación transversal, recolectan datos de un momento a otro con el único propósito de describir las variables y analizar su influencia en un momento dado.¹⁷

Diseño correlacional causal, ya que definen dos o más variables en un momento determinado.¹⁷

El enfoque es cuantitativo ya que a través de nuestros datos recopilados y analizados buscamos conocer la realidad exacta.¹⁷

²¹ **Guillermina, Paz.** 2014. *Metodología de la investigación*. México D.F. : Patria, 2014. ISBN 978-607-744-003-1. Pág. 9

²² **Roberto, Sampieri.** 2014 . *Metodología de la investigación*. México D.F. : Interamericana Editores, 2014 . ISBN 978-1-4562-2396-0. Pág. 126.

3.2. Variables y operacionalización

Son conceptos que pueden ser obtenidos de distintas fuentes las cuales influyan con información verídica. Son necesarias pero insuficientes para sustentar las variables ya que no se relacionan con el fenómeno. Se definen las variables por el hecho de que deben ser contextualizadas y comprobadas.¹⁸

La definición operacional determina que actividades u operaciones se realiza para la medición de las variables o recolectar datos e información con respecto a la misma. Para definir una variable de manera operacional proporcionando una mejor información adecuándose al contexto para que sea amplia y precisa según sea el caso.²³

Variable independiente:

Es el factor que el investigador usa en un estudio para describir, predecir y explicar otro al que se le conoce como variable dependiente¹⁸. El cual en la investigación se le denomina a esta variable como “**método de elementos finitos**”

- **Definición conceptual:** Es un método numérico para la solución de problemas de ingeniería que tienen un alto grado de complejidad.²⁴
- **Definición operacional:** Subdivide en triángulos dando alternativas de solución mediante las interpolaciones polinómicas numéricas. Es útil ya que nos facilita hallar la deformación, esfuerzo, tensión y desplazamientos en una sección transversal, dado el sistema de sostenimiento.¹⁹
- **Indicadores:** Se hallará las tensiones, deformaciones y los desplazamientos que se encuentran en el macizo rocoso durante la excavación del túnel.

²³ **Gabriela Morán Delgado & Darío Gerardo Alvarado Cervantes. 2010. Métodos de Investigación.** Naucalpan de Juárez : Pearson, 2010. PRIMER EDICIÓN. ISBN: 978-607-442-219-1. Pág. 42.

²⁴ **Robert D. Cook, David S. Malkus, Michael E. Plesha, Robert J. Witt. 2001. Concepts and applications of finite elements analysis.** New York : John Wiley, 2001. CUARTA EDICION. Pág. 19.

- **Escala de medición:** La escala es de razón

Variable dependiente:

Aquello que el investigador está interesado en conocer. El cual en el estudio se denomina a esta variable como “**túnel de proceso constructivo D&B**”

- **Definición conceptual:** Es una técnica convencional. La excavación mecánica es rentable cuando se tiene una longitud considerable del túnel y se conocen las características geomecánicas del terreno.²⁵
- **Definición operacional:** Consiste en definir un plan de tiro a la sección para su excavación por voladura con dinamita la cual se retiran los descombros y su realiza la perforación, esta presenta una irregularidad en el perfilado.²⁰
- **Indicadores:** Nos basaremos en la clasificación geomecánica para la metodología aplicada en la excavación con eso implementar un sistema de sostenimiento.
- **Escala de medición:** La escala es de razón.

3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis.

Población: Se llama universo a lo que comúnmente se conoce como población. La población es el universo de individuos definidos en la hipótesis.²¹ La población para el proyecto será mediante la clasificación geomecánica de rocas del área la cual se observa en el túnel de proceso constructivo D&B, dado el caso se encontró los siguientes tipos de rocas que conforman la estructura.

²⁵ **Ministerio, de Transportes y Comunicaciones. 2016. Manual de carreteras, túneles, muros y obras complementarias.** Lima : MTC, 2016. Pág. 126.

Muestra: Es el subgrupo representativo del grupo total.²⁶ La muestra estará representada por los tipos de roca según la calidad en la que se encuentre.

Los tipos de roca que conforman la estructura se estima la clasificación Q de Barton entre los cuales se encontró rocas de tipo III, IV, V y VI.

Muestreo: No probabilístico, los objetos que determinan en la muestra son elegidos a interés del investigador. Este muestreo no permite generalizar los datos de la población.²¹

El muestreo conforma la litología que se encuentra en la estructura entre los cuales se encontró riolita, andesita, granodiorita, andesita gris verdosa y andesita gris oscura.

Unidad de análisis: Esta investigación tiene como unidad de análisis, el macizo rocoso de la zona de Lima donde se implementarán los túneles.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La observación directa, es un proceso el cual nos permite conocer de manera directa el objeto de estudio para luego de manera precisa poder describir y analizar las condiciones en la que se encuentra realmente.²⁷

Para la implementación del estudio se realizará los usos del software Dips 5.1, RocData 4.0, AutoCAD 2016 y Phase2 8.0.

El instrumento es el medio en el que obtendremos el tipo de información deseado para poder realizar afirmaciones a través de preguntas, con el tipo de instrumento utilizado se analizará la recolección de datos de la investigación que serán objeto

²⁶ **Gabriela Morán Delgado & Darío Gerardo Alvarado Cervantes. 2010. Métodos de Investigación.** Naucalpan de Juárez : Pearson, 2010. PRIMER EDICIÓN. Pág 41.

²⁷ **Bernal, César Augusto. 2006. Metodología de la investigación.** Naucalpan : Pearson Educación, 2006. ISBN 970-26-0645-4. Pág. 257.

de estudio asimismo estos datos serán analizados y evaluados para su interpretación.

Estos instrumentos de investigación contienen una validez y confiabilidad la cual determina la veracidad de la investigación.²⁸

El instrumento que utilizaremos será la ficha de recolección de datos, el cual deberá cumplir con los datos para el diseño de túnel para realizar el modelamiento en el software Phase2 8.0.

La validez se refiere al grado en el que un instrumento mide lo que se supone que debe medir.²⁹

En este caso determinará bajo el juicio de expertos.

Tabla 8. Rangos y magnitud de validez

RANGOS	MAGNITUD
0,81 a 1,00	Muy alta
0,61 a 0,80	Alta
0,41 a 0,60	Moderada
0,21 a 0,40	Baja
0,01 a 0,20	Muy baja

Fuente: Ruiz Bolívar 2002

La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales.³⁰

²⁸ Yauli, Elvis Fernando Tacillo. 2016. *Metodología de la investigación científica*. Lima : Universidad Jaime Bauzate Y Meza, 2016. Pág. 70.

²⁹ Bolívar, Carlos Ruiz. 2002. *Confiabilidad*. Venezuela : Programa Interinstitucional Doctorado en Educación, 2002. Pág. 12. Pág 1.

³⁰ Roberto, Sampieri. 2014 . *Metodología de la investigación*. México D.F. : Interamericana Editores, 2014 . ISBN 978-1-4562-2396-0. Pág. 200.

Tabla 9. Rangos y confiabilidad

RANGOS	CONFIABILIDAD
0,81 a 1,00	Muy alta
0,61 a 0,80	Alta
0,41 a 0,60	Moderada
0,21 a 0,40	Baja
0,01 a 0,20	Muy baja

Fuente: Ruiz Bolívar 2002

3.5. Procedimientos

El reconocimiento del área es muy importante de realizar antes de la caracterización geomecánica ya que es necesario saber bajo qué condiciones se realizará la construcción del túnel para lo cual como primer paso es la litología del sitio en este caso Lima.

Mapeo geomecánico para la determinación de estabilidad del macizo rocoso

Necesitamos saber los datos geológicos de la zona debido a eso continuaremos con la clasificación la cual nos denominará el sistema de sostenimiento de acuerdo a las condiciones del macizo rocoso.

Para la caracterización del macizo tenemos los tipos de mapeo geomecánico de los cuales utilizaremos el más representativo el cual será el Q de Barton, RMR y GSI son los datos que utilizaremos para denominar los aspectos mecánicos de la masa rocosa.

Análisis tenso deformacional del macizo rocoso

En este estudio nos enfocaremos a la evaluación de las propiedades mecánicas del macizo rocoso bajo los criterios de rotura, para ello se utilizará el software RocData.

Aplicando criterios de falla Hoek & Brown, Mohr Coulomb y Barton Bandis del túnel, obteniendo los parámetros de resistencia de compresión, módulo de Young y cohesión.

Análisis cinemático de la excavación

En esta sección interpretaremos resultados con el software Dips 5.1 y Excel, en base a la concentración de polos se definió que existen familias de discontinuidades principales, en el cual se analizará la estabilidad de la existencia de cuñas.

Análisis de tensiones y deformaciones

Luego de realizar la caracterización, hallar las propiedades mecánicas del macizo rocoso y realizar el análisis de cuñas podremos determinar la estabilidad del túnel sin sostenimiento, pero al realizar un mapeo geomecánico según la metodología utilizada implementaremos el sistema de sostenimiento lo cual nos permitirá añadir al momento de introducir datos para la evaluación.

Asimismo, antes se tendrán que determinar las familias de discontinuidades para el análisis de falla en las cuñas observadas.

Luego de determinar los datos procederemos a colocarlos en el software Phase2 para su análisis con sostenimiento lo cual se tendrá en cuenta su calidad del macizo rocoso.

A través del análisis del método de elementos finitos obtendremos la relación con su sistema de sostenimiento a aplicar lo cual nos dará una corrección para la evaluación del factor de seguridad y del análisis tenso deformacional del macizo rocoso.

3.6. Método de análisis de datos

Es la técnica que consiste en el estudio de los hechos y el uso de sus expresiones en cifras para lograr información válida y confiable.³¹ En este caso se hará uso del software Phase2 para el análisis.

3.7. Aspectos éticos

El trabajo de investigación que vamos a realizar es el uso de datos verídicos, con el fin de llegar a cumplir con nuestro objetivo de la tesis, y por ello la elaboración con ética y moral de la presente tesis, respetando siempre los autores de cada consulta que se hizo y mencionándolos siempre, para así nosotros poner en práctica la honestidad y respeto.

Para esta tesis recolectamos diversas informaciones de internet, libros, tesis (Nacionales e Internacionales), donde se obtuvo las variables de estudio para poder realizar la tesis. La tesis está referenciada según el sistema ISO, en la cual las informaciones que hemos sacado sean del internet, libros, tesis, están citados correctamente.

³¹ Zanelly, Glenn Lozano. 2010 . *Análisis de datos*. 2010 . Pág. 2.

IV. RESULTADOS

Descripción del proyecto

El presente estudio se basó en la evaluación del diseño de sostenimiento para la construcción de túnel con un sistema de excavación Drilling & Blasting (perforación y voladura), para la evaluación se realizó mediante el método de elementos finitos en el cual nos aseguramos de cumplir con los requerimientos según el factor de seguridad para ello se utilizó el Phase2, determinando la zona plastificada. Asimismo, antes de ello se determinará el tipo y calidad de roca a fin de obtener un estudio completo de la zona de construcción.

Ubicación del proyecto

El proyecto de estudio está ubicado en la cuenca del río Huaura, aproximadamente a 130 km al norte de Lima, entre las provincias de Huaura y Oyón, en la sierra de la región de Lima.



Figura 12. Ubicación de la provincia de Huaura.

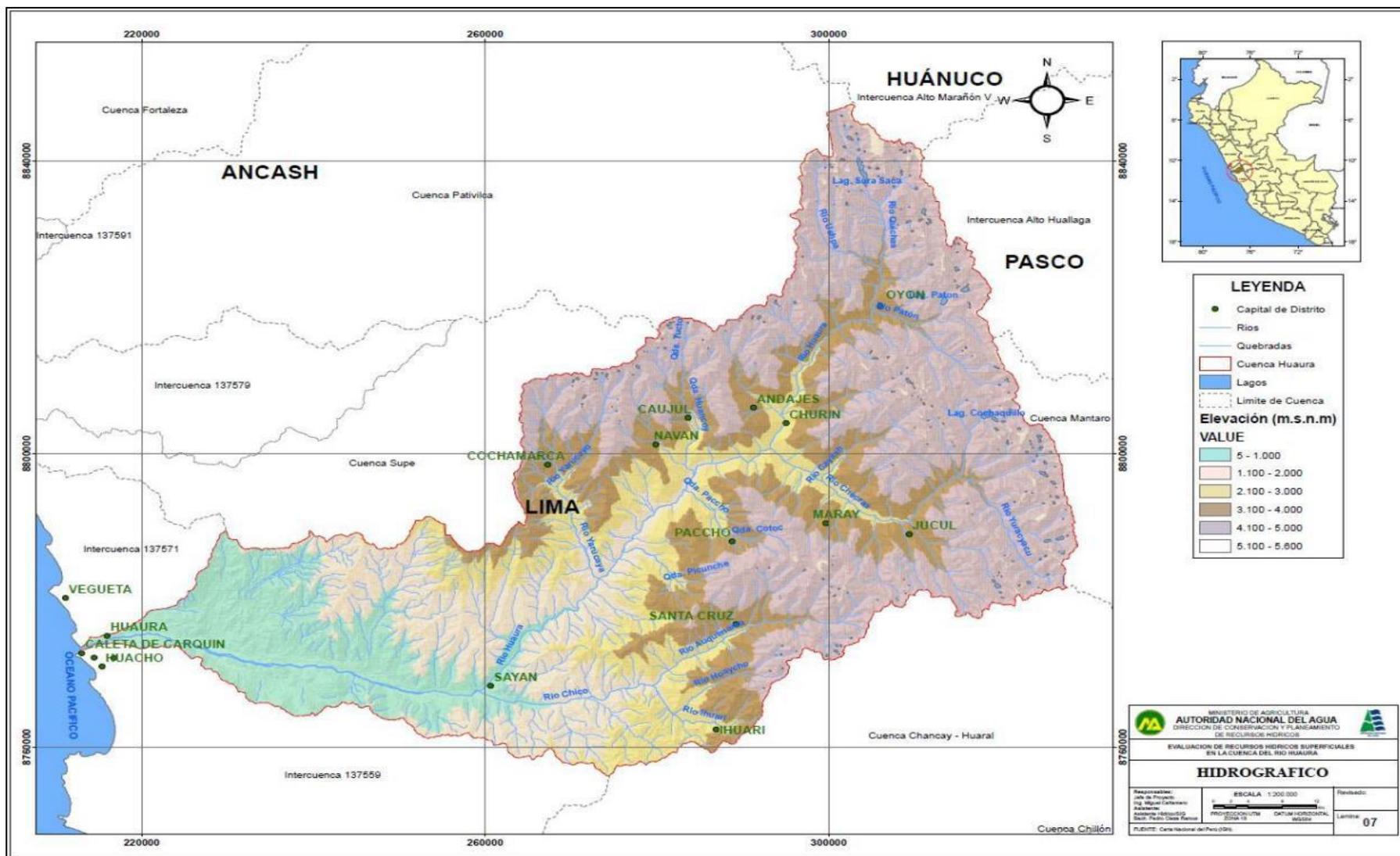


Figura 13. Mapa hidrográfico de la cuenca del río Huaura por la Autoridad Nacional del Agua.

Alrededor de la provincia de Huaura se encuentra por el norte las provincias de Barranca, Oyón y Ocros, por el sur la provincia de Huaral, por el este Pasco y por el oeste el océano pacífico. Geográficamente se encuentra en las coordenadas UTM 8 800 353 N – 294 238 E Río Checras, UTM 204 472 E – 8 733 770 N y 328 697 E – 8 826 086 N.

Características del proyecto, considerando las estimaciones de las características geométricas del túnel, a continuación, se presentará el diseño geométrico propuesto para el túnel. Entre ella se realizará el estudio de una longitud de 2+003.00 km aproximadamente.

Tabla 10. Dimensiones del túnel

Dimensiones del túnel	
Longitud	2000 metros
Progresivas	0+000.00 @ 2+003.00 Km.
Ancho de túnel	6.00 metros
Altura de túnel	7.30 metros

Fuente: Statkraft Perú

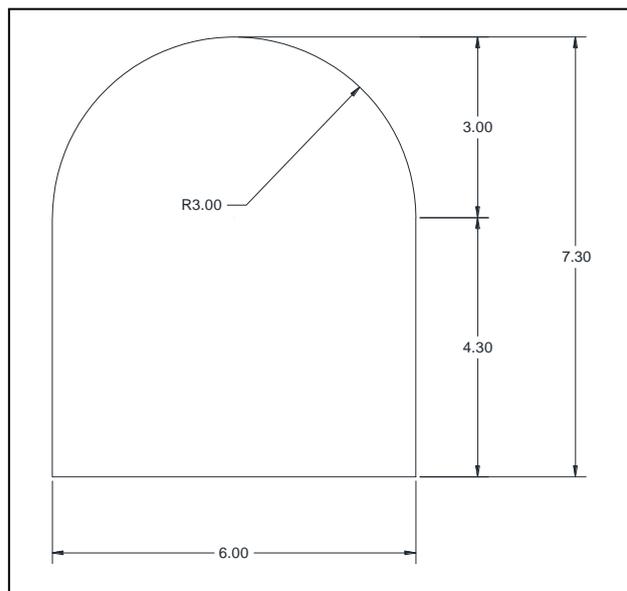


Figura 14. Dimensiones del túnel.

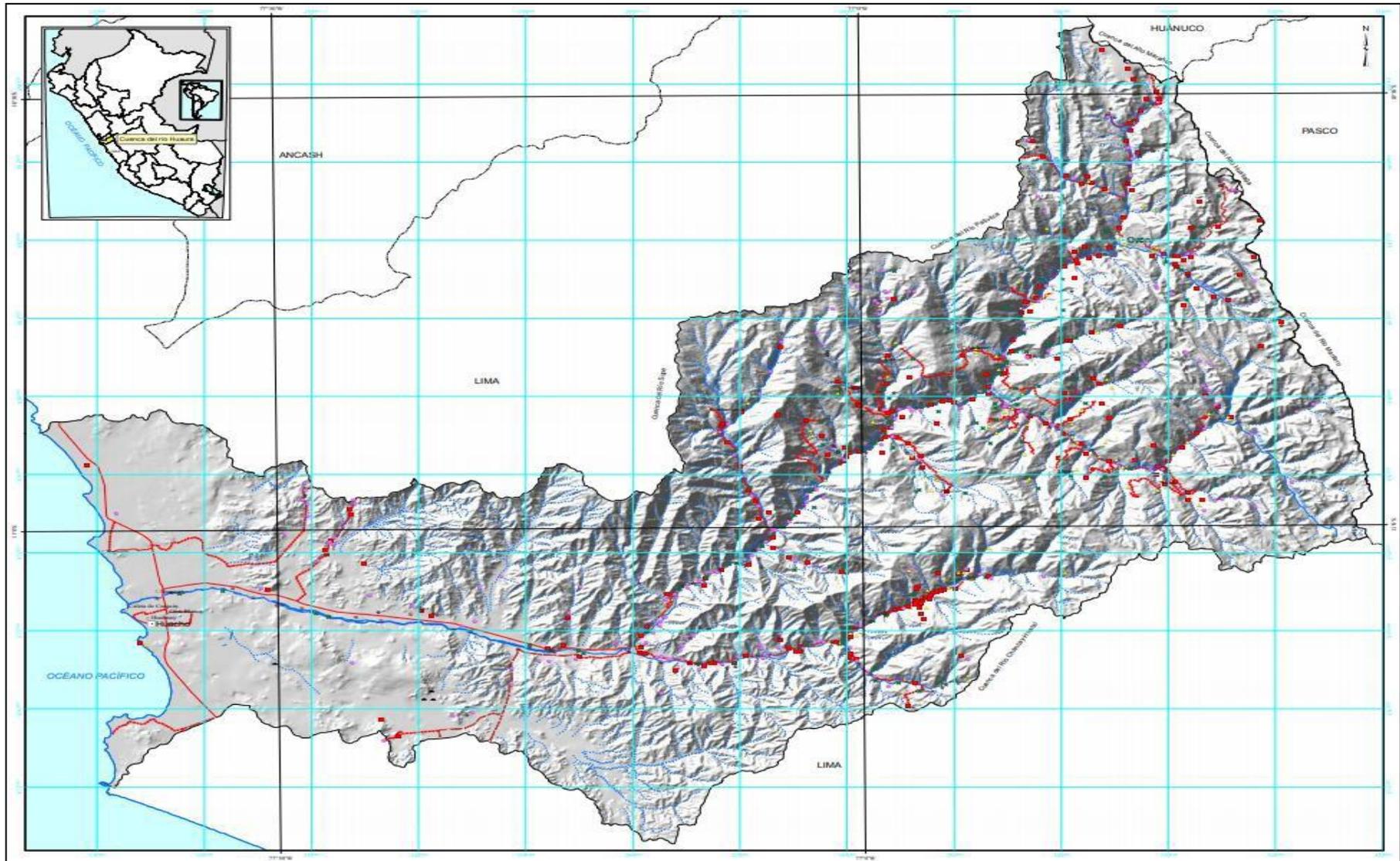


Figura 15. Mapa de peligros geológicos y geohidrológicos del río Huaura.

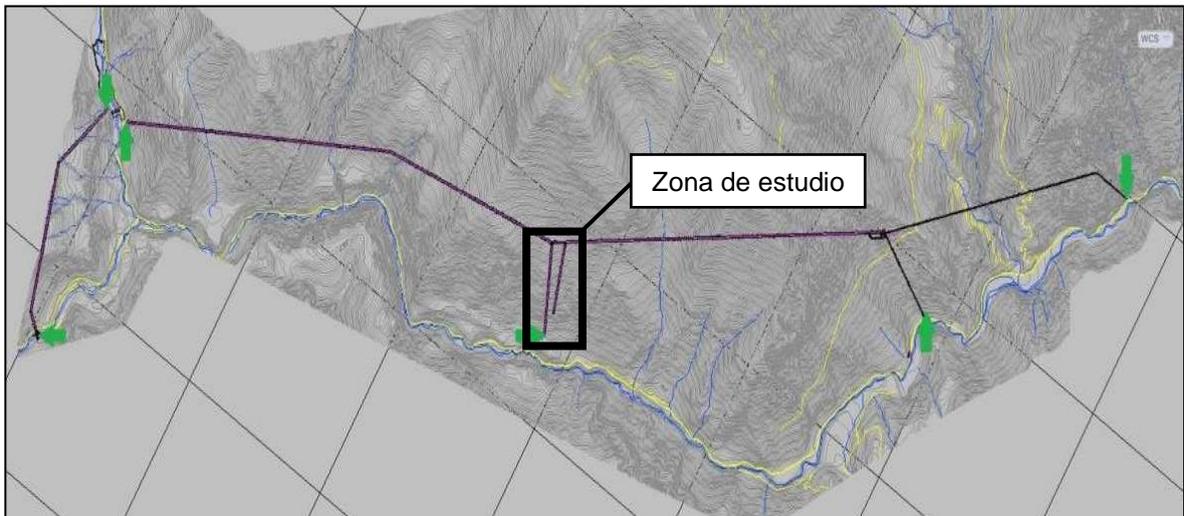


Figura 16. Descripción general del sistema de túneles.

En la figura anterior muestra todos los accesos externos al sistema de túneles, que serán ejecutadas como estructuras de entrada o salida de túnel. Vías fluviales mostradas en azul y las carreteras mostradas en amarillo.

Consideraciones de perforación y voladura

Los patrones de perforación se diseñarán para asegurar los mejores resultados de voladura con una óptima economía de perforación y carga. La idea básica en la voladura de túneles es crear una abertura con un corte y luego volar el resto de la roca hacia esa abertura.

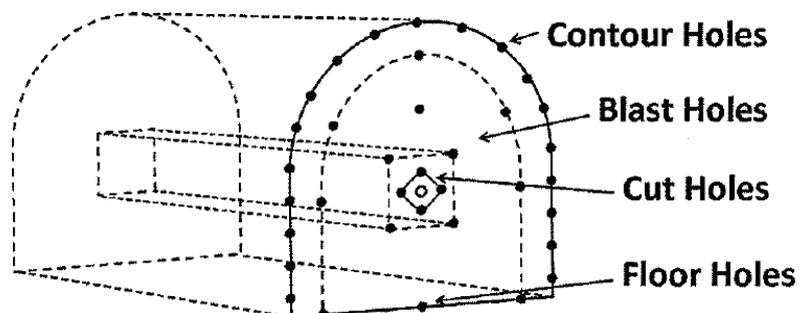


Figura 17. Posición de agujeros para voladura.

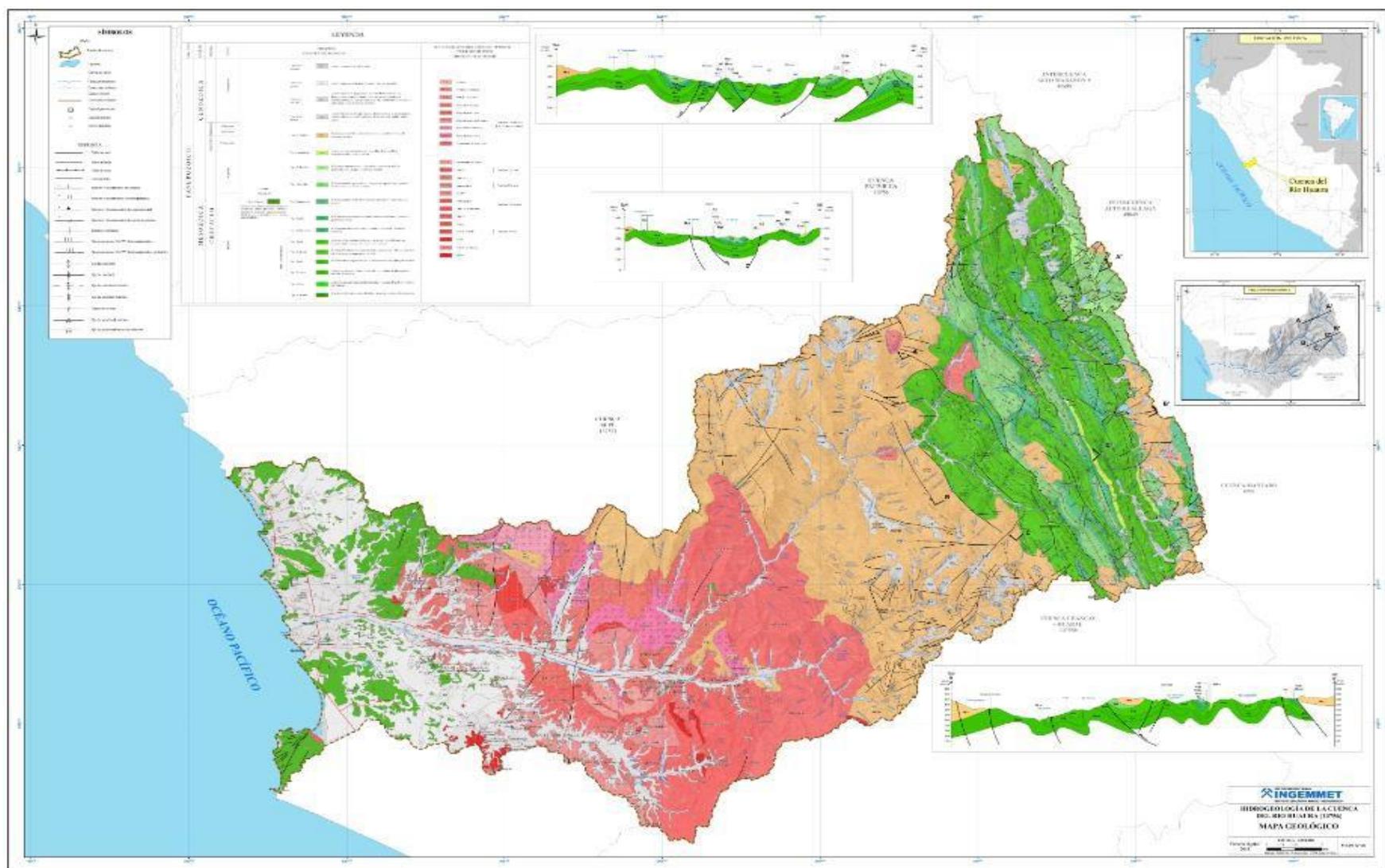


Figura 18. Mapa geológico de Huaura.

Litología del proyecto

Tonalita intrusiva

Se presenta entre las progresivas 0+000.00 @ 0+038.00. caracterizado por tener textura fanerítica de grano medio a grueso (desde 2mm a 30mm) principalmente, en cuanto al color varia entre gris claro a oscuro y a veces tiende a ser negra, es decir, que es muy dependiente de la relación entre minerales claros y oscuros.

Hornfels andesítico

Se presenta entre las progresivas 0+818.60 @ 0+995.00 y 1+110.40 @ 1+151.60. es una roca metamórfica de grano fino que fue sometida al calor del metamorfismo de contacto a poca profundidad, es a menudo una roca densa, dura y de grano fino que generalmente es homogénea y presenta una fractura semiconcoidea. Hornfels puede ser de casi cualquier color, pero son comunes las rocas negras, grises, marrones, rojizas y verdosas.

Andesita

Se presenta entre las progresivas 0+995.00 @ 1+110.40, 1+151.60 @ 1+179.90, 1+227.00 @ 1+279.50 y 1+309.20 @ 2+003.00. comúnmente presenta textura porfídica, pero también suele ocurrir con textura afanítica (cristales minerales menores a 1mm), además, si el enfriamiento en superficie fue brusco puede tener componentes vítreos en la matriz. Generalmente se presentan en color gris claro a oscuro y a veces un poco verdosas.

Dacita

Se presenta entre las progresivas 0+995.00 @ 0+110.40 Km, 1+151.60 @ 1+187.30 y 1+309.00 @ 3+119.20. tienen una textura típica es porfídica de grano fino a medio (desde 2 mm a 5 mm en el tamaño de grano). Su color característico de las dacitas es gris medio, debido a su contenido de plagioclasas y cuarzo.

Mapeo geomecánico según RMR, Q de Barton y GSI.

En esta sección se realizará el mapeo geomecánico en la cual determinaremos la calidad de cada tipo de roca según las progresivas, para ello utilizaremos algunos anexos de la metodología de Q de Barton para ello se implementará el instrumento de recolección de datos para colocar las características respectivas.

Cálculo de RQD por estaciones geomecánicas

Para las 9 estaciones geomecánicas se calculará las discontinuidades siguiendo los parámetros de Palmström, la cual se expresa de la siguiente manera.

$$RQD = 115 \times 3.3 (Jv)$$

Tabla 11. *Cálculo de RQD de cada estación*

Estaciones	Índice RQD	Puntaje	Calidad
Estación 1	65%	13	Regular
Estación 2	65%	13	Regular
Estación 3	65%	13	Regular
Estación 4	70%	14	Regular
Estación 5	80%	16	Buena
Estación 6	65%	13	Regular
Estación 7	45%	9	Pobre
Estación 8	75%	15	Regular
Estación 9	35%	7.5	Pobre

Fuente: Statkraft Perú

Al estimar cada índice RQD al tener el número de discontinuidades esta da como resultado un porcentaje la cual debe ser utilizada para el mapeo geomecánico RMR de Bieniawski para lo cual podremos estimar su calidad de roca.

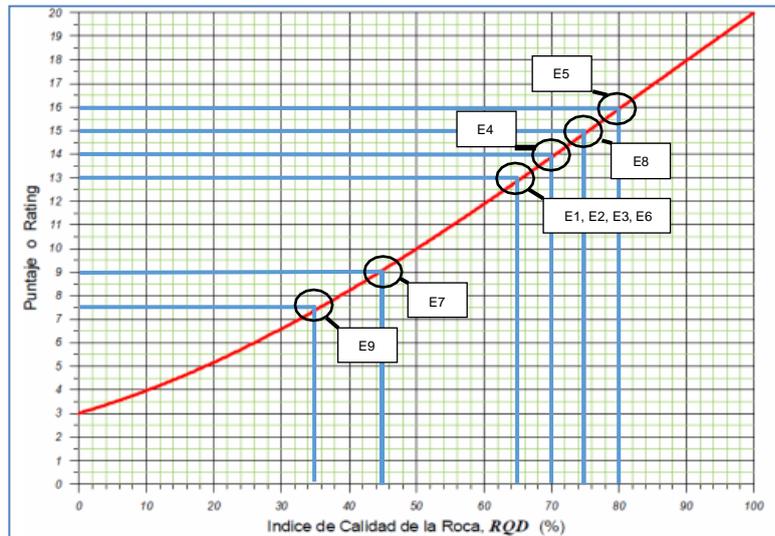


Gráfico 1. Ábaco para puntaje de RQD.

Mapeo geomecánico según RMR Bieniawski

Tomaremos como primer punto la resistencia uniaxial, el RQD, asimismo se tomarán los datos de espaciamiento de discontinuidades, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, alteración y agua subterránea.

Tabla 12. Cálculo del índice RMR de cada estación

Estación geomecánica	Índice RMR	Calidad de roca
Estación 1	52.3	Tipo III – Regular
Estación 2	64	Tipo II – Buena
Estación 3	66	Tipo II – Buena
Estación 4	68	Tipo II – Buena
Estación 5	72	Tipo II – Buena
Estación 6	54	Tipo III – Regular
Estación 7	54	Tipo III – Regular
Estación 8	63	Tipo II – Buena
Estación 9	45	Tipo III – Regular

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según RMR de Bieniawski Estación 1

El resultado para el cálculo RMR es de 52, una roca tipo III estimada una calidad regular, de acuerdo a lo que estima el sostenimiento RMR tenemos: anclaje sistemático en la bóveda y tablas de 3 a 4 m de largo y espaciado 1.5 a 2.0 m con malla en techo, un concreto lanzado de 5 a 10 cm en bóveda o corona, 3 cm en tablas.

Proyección estereográfica con el software Dips de la Estación 1

Para el análisis de la progresiva 0+000.00 – 0+003.00 Km. Se obtuvo la concentración de polos en el cual se cuenta con 4 familias de discontinuidades.

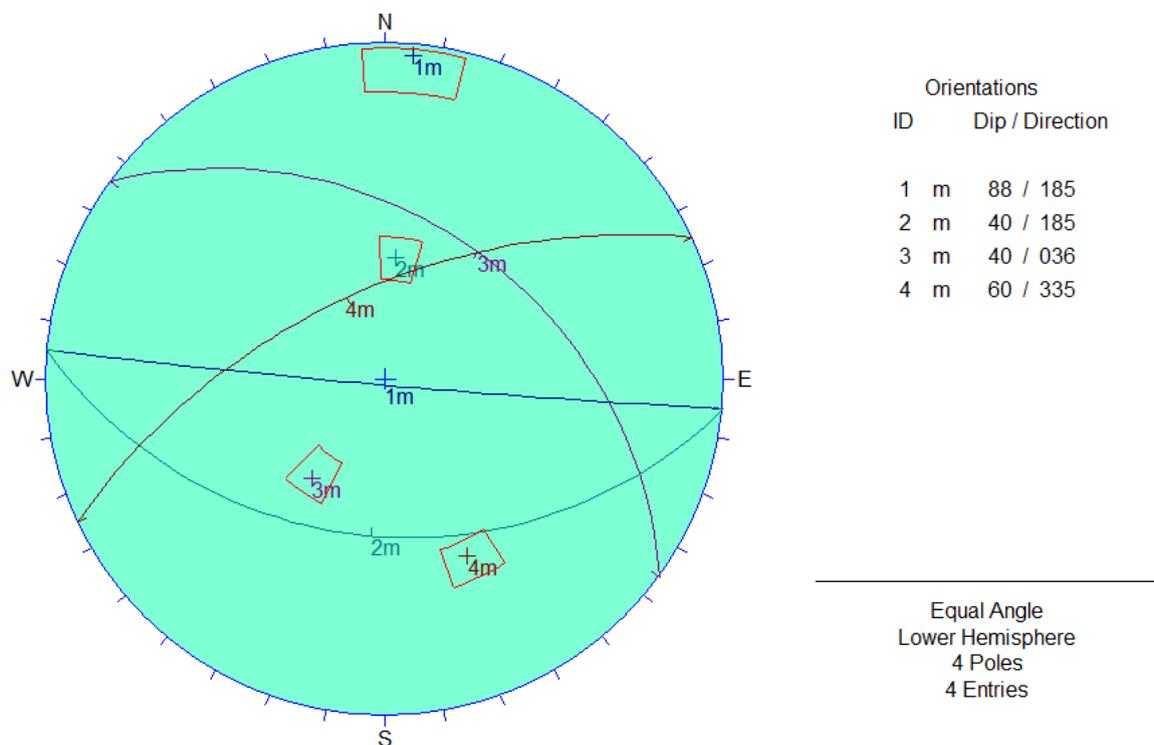


Figura 19. Proyección estereográfica de la prog. 0+000.00 – 0+003.00 Km.

Clasificación geomecánica según RMR de Bieniawski Estación 2

El resultado para el cálculo RMR es de 64, una roca tipo II estimada una calidad buena, de acuerdo a lo que estima el sostenimiento RMR tenemos: anclado local en la bóveda de 2 a 3 m de largo y espaciado de 2.0 a 2.5 m con malla ocasional, se colocará 5 cm en bóveda para impermeabilización.

Proyección estereográfica con el software Dips de la Estación 2

Para el análisis de la progresiva 0+898.00 – 0+901.20 Km. Se obtuvo la concentración de polos en el cual se cuenta con 3 familias de discontinuidades.

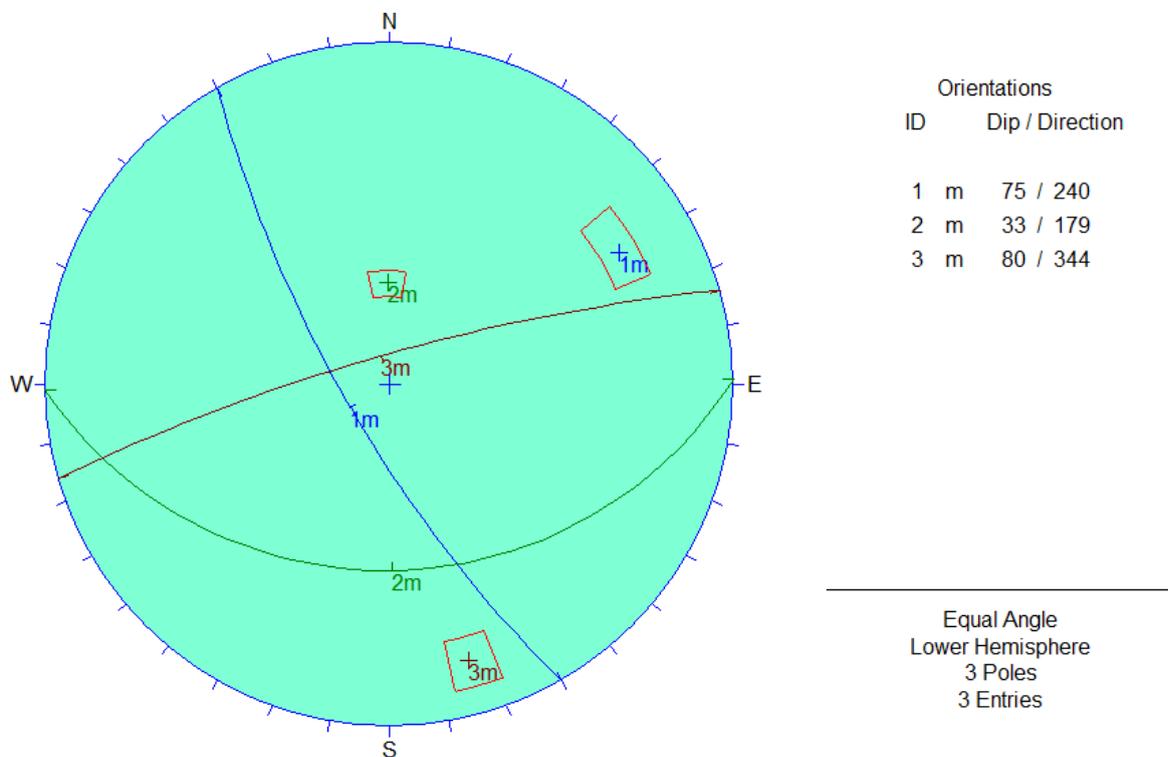


Figura 20. Proyección estereográfica de la prog. 0+898.00 – 0+901.20 Km.

Tabla 14. Mapeo geomecánico según RMR prog. 0+898.00 @ 0+901.20 Km

ESTACIÓN	REGISTRO		PI-RD-UCV-001																																		
E2	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1																																		
	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR		Fecha: 08/10/2020																																		
			Página: 1 de 1																																		
AUTOR:	Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: RMR-CHC-002																																		
PROYECTO:	Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020																																		
PLANO REFERENCIA:	TOP - JN - TUN - 002		SECTOR: 1																																		
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología RMR																																					
LITOLOGÍA: Hornfels Andesítico																																					
PROGRESIVAS:																																					
PK INICIAL: 0+898.00 Km PK. FINAL: 0+901.20 Km																																					
ITEM	PARAMETROS		RANGO	VALOR																																	
1	Resistencia a la compresión uniaxial	MPa	125 - 175	12																																	
2	RQD (%)	RQD	65%	13																																	
3	Espaciamiento de discontinuidades	cm	80	13																																	
4	Persistencia	long	3 - 10 m	2																																	
5	Abertura	mm	< 0.1 mm	5																																	
6	Rugosidad		Áspero	5																																	
7	Relleno	mm	Duro < 5 mm.	4																																	
8	Alteración		Ligeramente Moderada	5																																	
9	Agua subterránea		Húmedo	10																																	
Orientación																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rumbo perpendicular al eje de la excavación</th> <th colspan="2">Rumbo paralelo al eje de la excavación</th> <th rowspan="3">Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Dirección con el buzamiento</th> <th colspan="2">Dirección contra el buzamiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bz</td> <td>Bz</td> <td>Bz</td> <td>Bz</td> <td></td> </tr> <tr> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muy Favorable</td> <td>Favorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> <td>Muy Desfavorable</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>-2</td> <td>-5</td> <td>-10</td> <td>-12</td> </tr> </tbody> </table>		Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento						Bz	Bz	Bz	Bz		45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	0	-2	-5	-10	-12	-5		
Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo																																	
Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento																																			
Bz	Bz	Bz	Bz																																		
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°																																		
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable																																	
0	-2	-5	-10	-12																																	
RMR89 (Básico) = 69																																					
RMR89 (Corregido) = 64																																					
RMR'89 (Condiciones Secas) = 74																																					
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21																																	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA																																	
				V MUY MALA																																	
II																																					
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>																																					
OBSERVACIONES:																																					
Según el soporte recomendado de Bieniawski dado el soporte tipo II nos recomienda una aplicación de shotcrete de 5 cm, en toda la sección, asimismo se colocará pernos de anclaje de 6 - 5 @ 2.0 x 2.0, con una longitud de L = 4m, φ=25 mm.																																					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO																																	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON																																					
ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO																																					
C.I.P. N°: 141044																																					

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según RMR de Bieniawski Estación 3

El resultado para el cálculo RMR es de 66, una roca tipo II estimada una calidad buena, de acuerdo a lo que estima el sostenimiento RMR tenemos: anclado local en la bóveda de 2 a 3 m de largo y espaciado de 2.0 a 2.5 m con malla ocasional, se colocará 5 cm en bóveda para impermeabilización.

Proyección estereográfica con el software Dips de la Estación 3

Para el análisis de la progresiva 1+107.10 – 1+110.40 Km. Se obtuvo la concentración de polos en el cual se cuenta con 3 familias de discontinuidades.

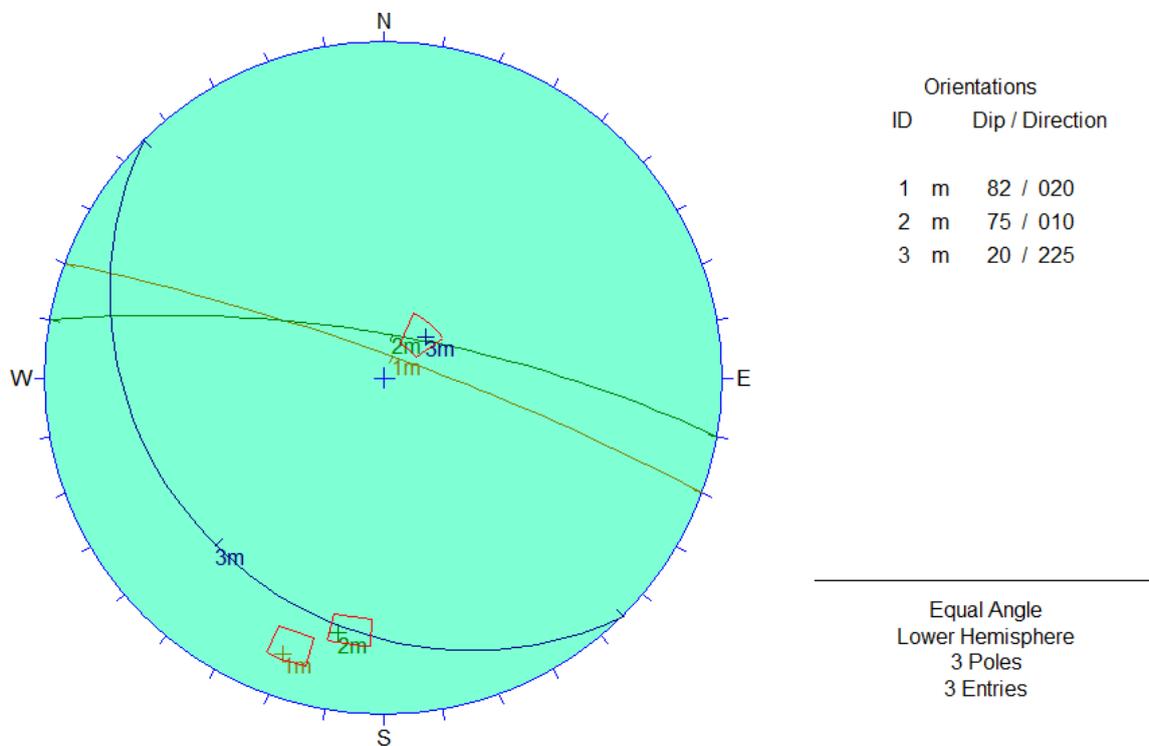


Figura 21. Proyección estereográfica de la prog. 1+107.10 – 1+110.40 Km.

Tabla 15. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+107.10 @ 1+110.40 Km

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001			
E3	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS			Revisión: 1			
	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR			Fecha: 08/10/2020			
				Página: 1 de 1			
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: RMR-CHC-003			
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020			
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 003		SECTOR: 1			
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología RMR							
LITOLOGÍA: Andesita							
PROGRESIVAS:							
PK INICIAL:		1+107.10 Km		PK. FINAL: 1+110.40 Km			
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR		
1	Resistencia a la compresión uniaxial		MPa	125 - 175	12		
2	RQD (%)		RQD	65%	13		
3	Espaciamiento de discontinuidades		cm	125	16		
4	Persistencia		long	3 - 10 m	2		
5	Abertura		mm	< 0.1 mm	5		
6	Rugosidad			Rugosa	5		
7	Relleno		mm	Duro < 5 mm.	4		
8	Alteración			Ligeramente Intemperada	5		
9	Agua subterránea			Húmedo	10		
Orientación							
Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo			
Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento					
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz		
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°		
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	
RMR89 (Básico) = 72							
RMR89 (Corregido) = 67							
RMR'89 (Condiciones Secas) = 77							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II	
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>							
OBSERVACIONES:							
Según el soporte recomendado de Bieniawski dado el soporte tipo II nos recomienda una aplicación de shotcrete de 5 cm, en							
en toda la sección, asimismo colocación de pernos sistemáticos de 5 - 6 @ 2.0 x 2.0 m. L = 3m. φ=19 mm.							
DATOS DEL ESPECIALISTA					FIRMA Y SELLO		
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON					 Talledo Silva Zahid Borinzon Ingeniero Geólogo CIP: 141044		
ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO							
C.I.P. N°: 141044							

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según RMR de Bieniawski Estación 4

El resultado para el cálculo RMR es de 68, una roca tipo II estimada una calidad buena, de acuerdo a lo que estima el sostenimiento RMR tenemos: anclado local en la bóveda de 2 a 3 m de largo y espaciado de 2.0 a 2.5 m con malla ocasional, se colocará 5 cm en bóveda para impermeabilización.

Proyección estereográfica con el software Dips de la Estación 4

Para el análisis de la progresiva 1+144.70 – 1+148.20 Km. Se obtuvo la concentración de polos en el cual se cuenta con 3 familias de discontinuidades.

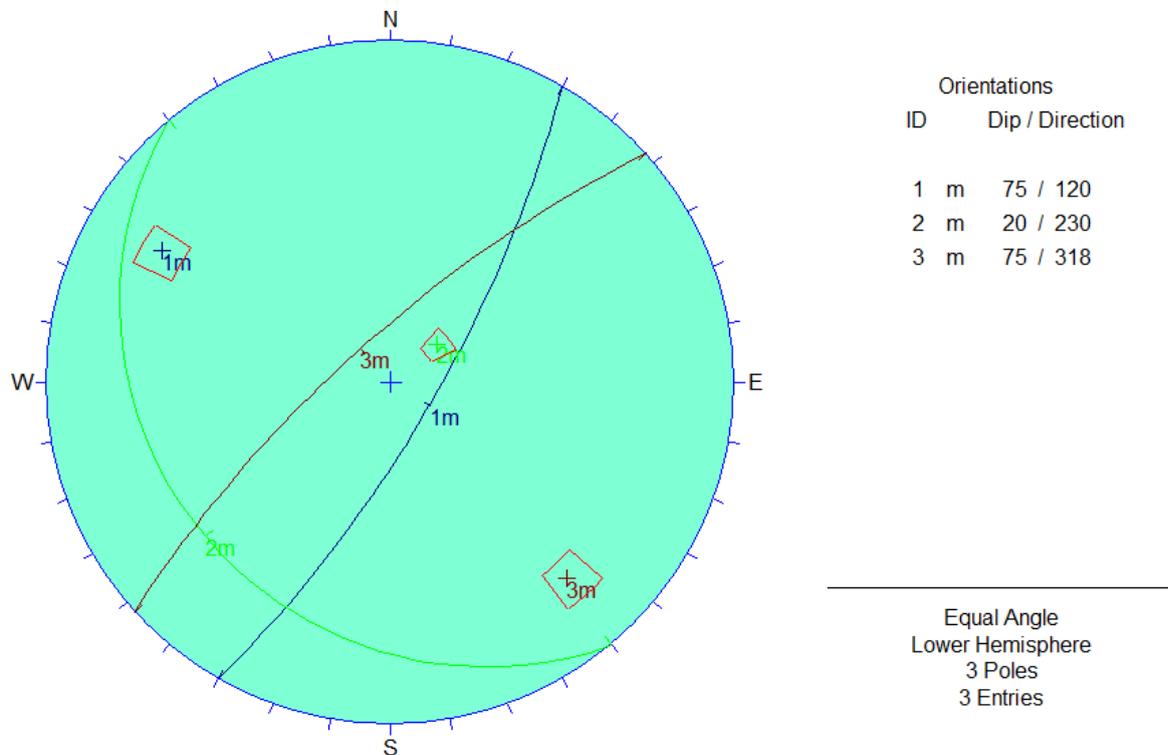


Figura 22. Proyección estereográfica de la prog. 1+144.70 – 1+148.20 Km.

Tabla 16. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+144.70 @ 1+148.20 Km

ESTACIÓN		REGISTRO				PI-RD-UCV-001																																	
E4		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS				Revisión: 1																																	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR				Fecha: 08/10/2020																																	
						Página: 1 de 1																																	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia				N° CORRELATIVO: RMR-CHC-004																																	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B				FECHA: 08/10/2020																																	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 004				SECTOR: 1																																	
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología RMR																																							
LITOLOGÍA: Hornfels Andesita																																							
PROGRESIVAS:																																							
		PK INICIAL: 1+144.70 Km		PK FINAL: 1+148.20 Km																																			
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR																																		
1	Resistencia a la compresión uniaxial			MPa	175 - 240	14																																	
2	RQD (%)			RQD	70%	14																																	
3	Espaciamento de discontinuidades			cm	65	12																																	
4	Persistencia			long	1 - 3 m	4																																	
5	Ábertura			mm	0.1 - 1 mm	4																																	
6	Rugosidad				Rugosa	4																																	
7	Relleno			mm	Duro < 5 mm.	3																																	
8	Alteración				Ligeramente Intemperada	5																																	
9	Agua subterránea				Húmedo	10																																	
Orientación																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Rumbo perpendicular al eje de la excavación</th> <th colspan="2">Rumbo paralelo al eje de la excavación</th> <th rowspan="3">Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>Bz 45°-90°</th> <th>Bz 20°-45°</th> <th>Bz 45°-90°</th> <th>Bz 20°-45°</th> <th>Bz 45°-90°</th> <th>Bz 20°-45°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy Favorable</td> <td>Favorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> <td>Muy Desfavorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>-2</td> <td>-5</td> <td>-10</td> <td>-12</td> <td>-5</td> <td>-10</td> </tr> </tbody> </table>						Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo	Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento				Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-2
Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo																																	
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento																																					
Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°																																		
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable																																	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10																																	
RMR89 (Básico) =						70																																	
RMR89 (Corregido) =						68																																	
RMR'89 (Condiciones Secas) =						75																																	
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II																																	
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																		
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>																																							
OBSERVACIONES:																																							
Según el soporte recomendado de Bieniawski dado el soporte tipo II nos recomienda una aplicación de shotcrete de 5 cm con fibra reforzada en toda la sección y 2.0 cm en la cara, asimismo se colocará pernos sistemáticos de 7 - 8 @ 1.5 x 1.5 m.																																							
L= 3.0 m. φ=19 mm.																																							
DATOS DEL ESPECIALISTA						FIRMA Y SELLO																																	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044																																							

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según RMR de Bieniawski Estación 5

El resultado para el cálculo RMR es de 72, una roca tipo II estimada una calidad buena, de acuerdo a lo que estima el sostenimiento RMR tenemos: anclado local en la bóveda de 2 a 3 m de largo y espaciado de 2.0 a 2.5 m con malla ocasional, se colocará 5 cm en bóveda para impermeabilización.

Proyección estereográfica con el software Dips de la Estación 5

Para el análisis de la progresiva 1+165.60 – 1+169.20 Km. Se obtuvo la concentración de polos en el cual se cuenta con 3 familias de discontinuidades.

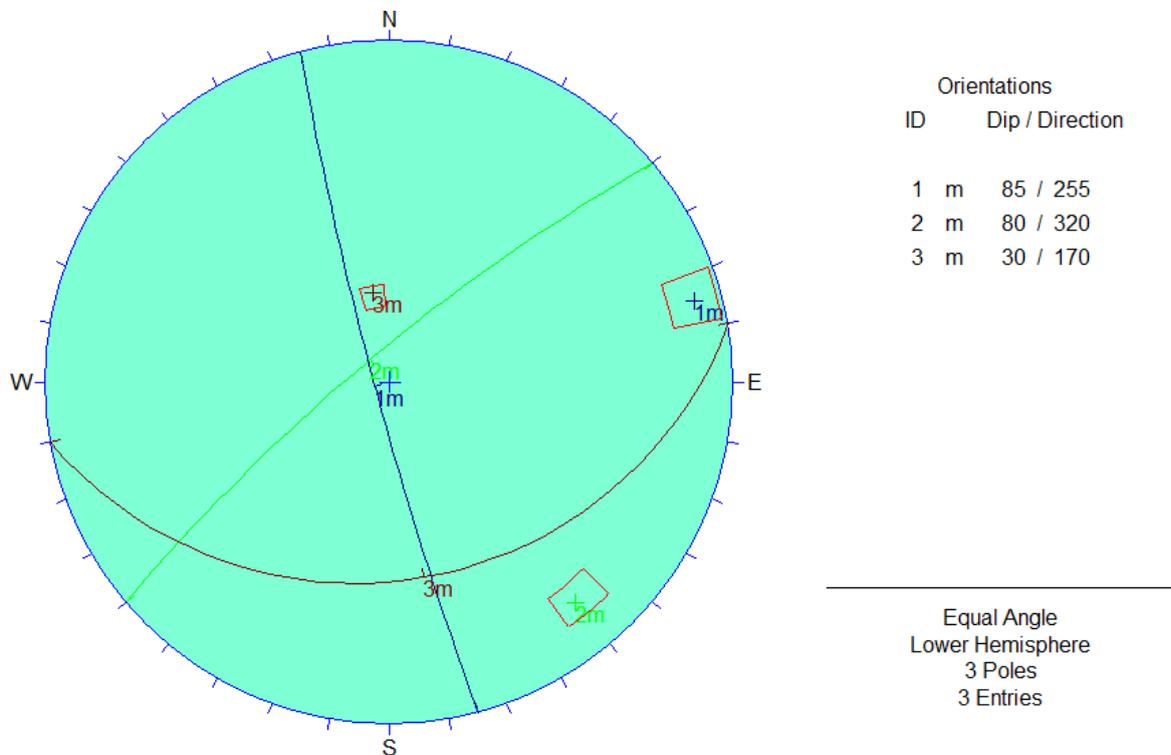


Figura 23. Proyección estereográfica de la prog. 1+165.60 – 1+169.20 Km.

Tabla 17. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+165.60 @ 1+169.20 Km

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E5		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: RMR-CHC-005	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 005		SECTOR: 1	
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología RMR					
LITOLOGÍA: Andesita					
PROGRESIVAS:					
PK INICIAL:		1+165.60 Km		PK FINAL: 1+169.20 Km	
ITEM	PARAMETROS		RANGO	VALOR	
1	Resistencia a la compresión uniaxial	MPa	125 - 175	12	
2	RQD (%)	RQD	80%	16	
3	Espaciamiento de discontinuidades	cm	110	15	
4	Persistencia	long	1 - 3 m	4	
5	Abertura	mm	0.1 - 1 mm	4	
6	Rugosidad		Rugosa	5	
7	Relleno	mm	Limpia	6	
8	Alteración		Ligeramente Intemperada	5	
9	Agua subterránea		Húmedo	10	
Orientación					
Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento			
Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular
0	-2	-5	-10	-12	-5
RMR89 (Básico) = 77					
RMR89 (Corregido) = 72					
RMR'89 (Condiciones Secas) = 82					
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA
II					
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:					
Según el soporte recomendado de Bieniawski dado el soporte tipo II nos recomienda una aplicación de shotcrete de 5 cm con fibra reforzada en toda la sección, asimismo se colocarán pernos sistemáticos de 4 - 5 @ 2.0 x 2.0 m, L= 3.0 m. φ=19 mm.					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON				 Talledo Silva Zahid Borinzon Ingeniero Geólogo CIP: 141044	
ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO					
C.I.P. N°: 141044					

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según RMR de Bieniawski Estación 6

El resultado para el cálculo RMR es de 54, una roca tipo III estimada una calidad regular, de acuerdo a lo que estima el sostenimiento RMR tenemos: anclaje sistemático en la bóveda y tablas de 3 a 4 m de largo y espaciado 1.5 a 2.0 m con malla en techo, un concreto lanzado de 5 a 10 cm en bóveda o corona, 3 cm en tablas.

Proyección estereográfica con el software Dips de la Estación 6

Para el análisis de la progresiva 1+194.60 – 1+198.20 Km. Se obtuvo la concentración de polos en el cual se cuenta con 4 familias de discontinuidades.

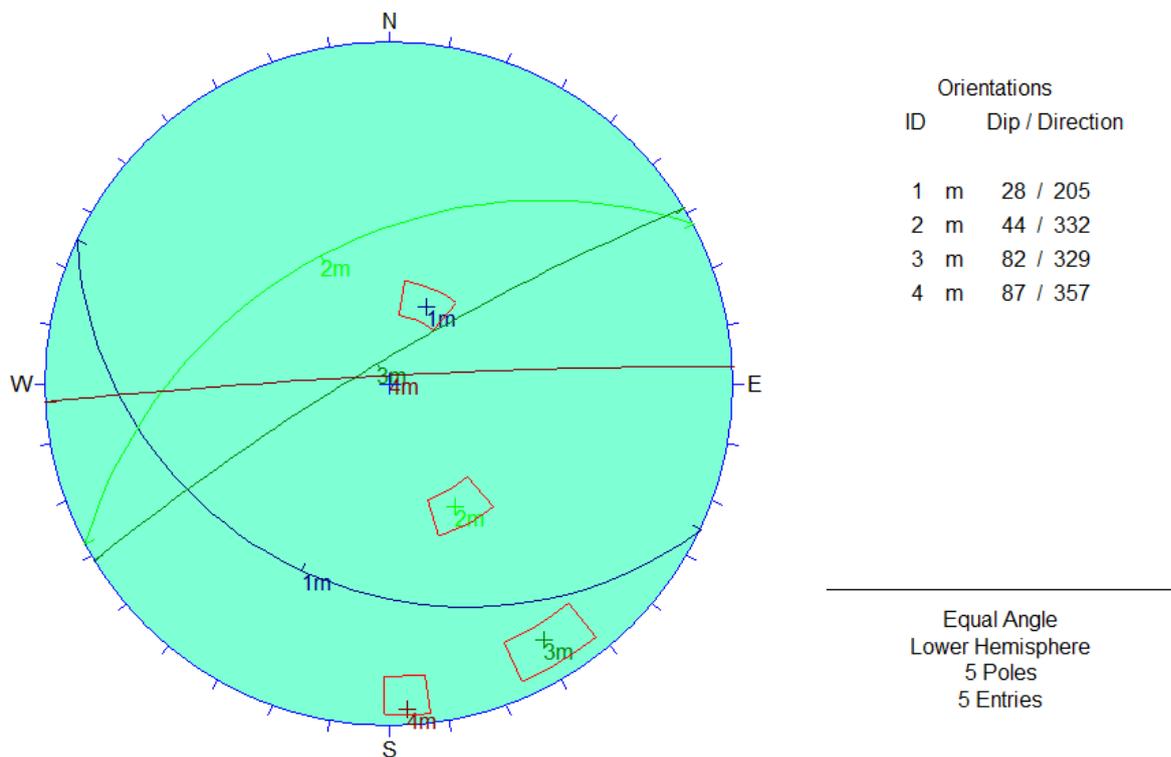


Figura 24. Proyección estereográfica de la prog. 1+194.60 – 1+198.20 Km.

Tabla 18. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+194.60 @ 1+198.20 Km

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E6		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: RMR-CHC-006	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 006		SECTOR: 1	
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología RMR					
LITOLÓGIA: Dacita					
PROGRESIVAS:					
PK INICIAL:		1+194.60 Km		PK. FINAL: 1+198.20 Km	
ITEM	PARAMETROS		RANGO	VALOR	
1	Resistencia a la compresión uniaxial	MPa	100 - 125	10	
2	RQD (%)	RQD	65%	13	
3	Espaciamiento de discontinuidades	cm	65	12	
4	Persistencia	long	1 - 5 m	3	
5	Abertura	mm	0.1 - 2 mm	3	
6	Rugosidad		Ligeramente Rugosa	2	
7	Relleno	mm	Duro > 5 mm	2	
8	Alteración		Ligeramente Intemperada	4	
9	Agua subterránea		Húmedo	10	
Orientación					
Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independiente e del rumbo	
Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento			
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular
0	-2	-5	-10	-12	-5
RMR89 (Básico) = 59					
RMR89 (Corregido) = 54					
RMR'89 (Condiciones Secas) = 64					
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA
III					
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:					
Según el soporte recomendado de Bieniawski dado el soporte tipo III nos recomienda una aplicación de shotcrete de 7.5 cm					
con fibra reforzada sobre toda la sección, pernos sistemáticos anclados de 7 - 8 @ 1.5 x 1.5 m. L= 4.0 m. φ=25 mm.					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON				 Talledo Silva Zahid Borinzon Ingeniero Geólogo CIP: 141044	
ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO					
C.I.P. N°: 141044					

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según RMR de Bieniawski Estación 7

El resultado para el cálculo RMR es de 54, una roca tipo III estimada una calidad regular, de acuerdo a lo que estima el sostenimiento RMR tenemos: anclaje sistemático en la bóveda y tablas de 3 a 4 m de largo y espaciado 1.5 a 2.0 m con malla en techo, un concreto lanzado de 5 a 10 cm en bóveda o corona, 3 cm en tablas.

Proyección estereográfica con el software Dips de la Estación 7

Para el análisis de la progresiva 1+238.20 – 1+242.20 Km. Se obtuvo la concentración de polos en el cual se cuenta con 5 familias de discontinuidades.

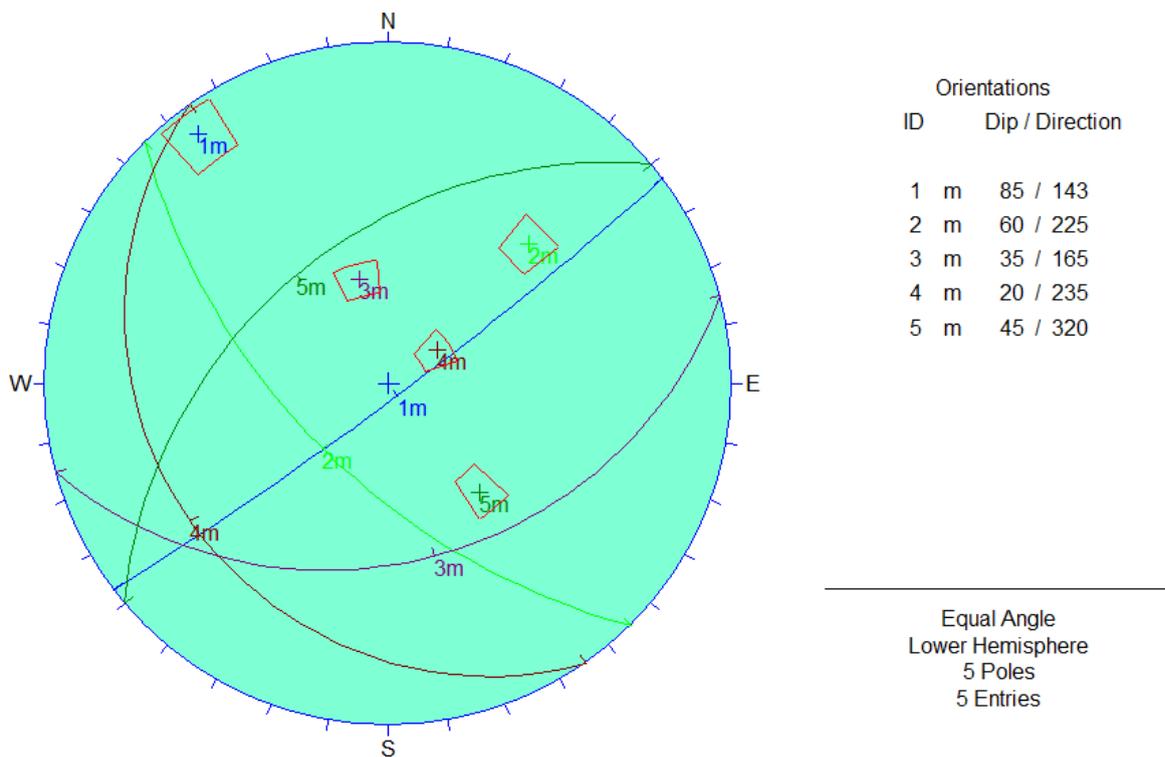


Figura 25. Proyección estereográfica de la prog. 1+238.20 – 1+242.20 Km.

Tabla 19. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+238.20 @ 1+242.20 Km

ESTACIÓN	REGISTRO		PI-RD-UCV-001			
E7	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1			
	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR		Fecha: 08/10/2020			
			Página: 1 de 1			
AUTOR:	Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: RMR-CHC-007			
PROYECTO:	Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020			
PLANO REFERENCIA:	TOP - JN - TUN - 007		SECTOR: 1			
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología RMR						
LITOLOGÍA: Andesita Dacita						
PROGRESIVAS:						
PK INICIAL: 1+238.20 Km PK. FINAL: 1+242.20 Km						
ITEM	PARAMETROS		RANGO	VALOR		
1	Resistencia a la compresión uniaxial	MPa	100 - 125	10		
2	RQD (%)	RQD	45%	9		
3	Espaciamiento de discontinuidades	cm	80	13		
4	Persistencia	long	3 - 10 m	2		
5	Abertura	mm	0.1 - 1 mm	4		
6	Rugosidad		Ligeramente Rugosa	2		
7	Relleno	mm	Suave < 5 mm	1		
8	Alteración		Moderadamente Intemperada	3		
9	Agua subterránea		Húmedo	10		
Orientación						
Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo		
Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento				
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10
RMR89 (Básico) = 54						
RMR89 (Corregido) = 54						
RMR'89 (Condiciones Secas) = 59						
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>						
OBSERVACIONES:						
Según el soporte recomendado de Bieniawski dado el soporte tipo III nos recomienda una aplicación de shotcrete de 7.5 cm con fibra reforzada sobre toda la sección, asimismo se colocará pernos sistemáticos de 7 - 8 @ 1.5 x 1.5 m, L= 3m, φ=19 mm.						
DATOS DEL ESPECIALISTA						
FIRMA Y SELLO						
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON						
ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO						
C.I.P. N°: 141044						

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según RMR de Bieniawski Estación 8

El resultado para el cálculo RMR es de 63, una roca tipo II estimada una calidad buena, de acuerdo a lo que estima el sostenimiento RMR tenemos: anclado local en la bóveda de 2 a 3 m de largo y espaciado de 2.0 a 2.5 m con malla ocasional, se colocará 5 cm en bóveda para impermeabilización.

Proyección estereográfica con el software Dips de la Estación 8

Para el análisis de la progresiva 1+297.70 – 1+301.40 Km. Se obtuvo la concentración de polos en el cual se cuenta con 3 familias de discontinuidades.

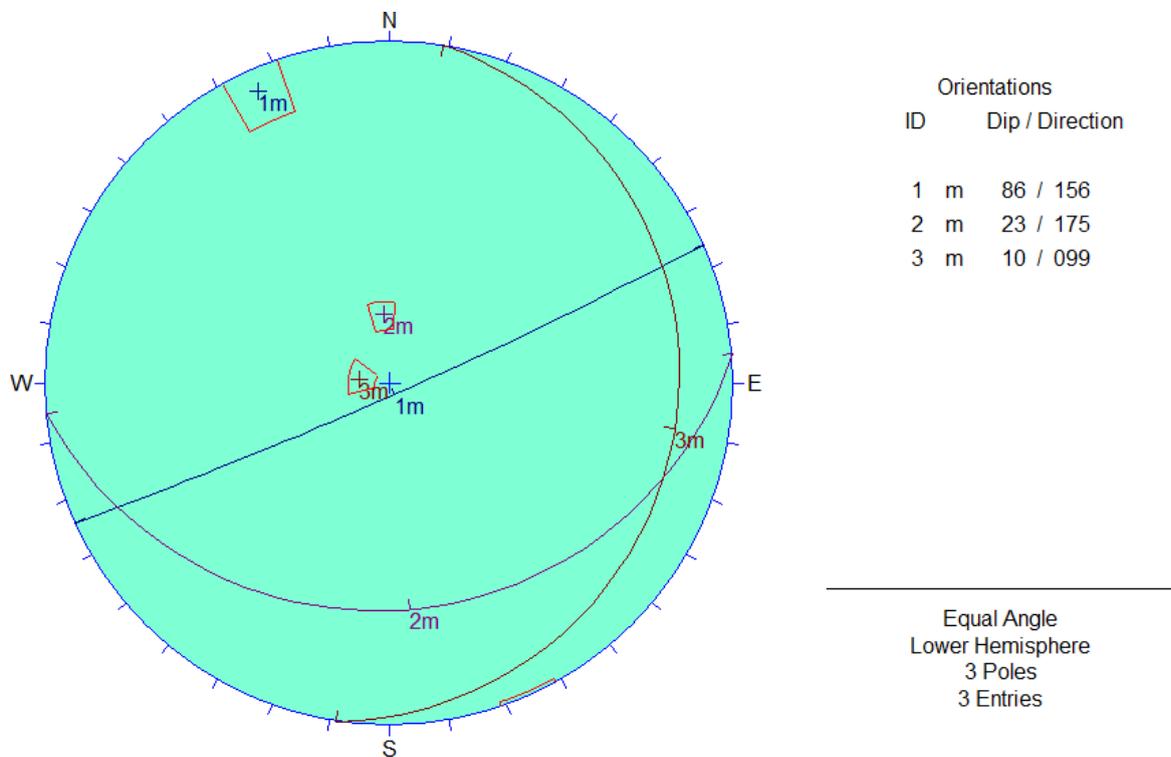


Figura 26. Proyección estereográfica de la prog. 1+297.70 – 1+301.40 Km.

Tabla 20. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+297.70 @ 1+301.40 Km

ESTACIÓN		REGISTRO			PI-RD-UCV-001			
E8	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS			Revisión: 1				
	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR			Fecha: 08/10/2020				
				Página: 1 de 1				
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: RMR-CHC-008				
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020				
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 008		SECTOR: 1				
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología RMR								
LITOLOGÍA: Traquita Andesita								
PROGRESIVAS:								
PK INICIAL:		1+297.70 Km		PK FINAL:		1+301.40 Km		
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR			
1	Resistencia a la compresión uniaxial			MPa	175 - 240			
2	RQD (%)			RQD	75%			
3	Espaciamiento de discontinuidades			cm	65			
4	Persistencia			long	3 - 10 m			
5	Abertura			mm	0.1 - 1 mm			
6	Rugosidad				Ligeramente Rugosa			
7	Relleno			mm	Duro < 5 mm			
8	Alteración				Ligeramente Intemperada			
9	Agua subterránea				Húmedo			
Orientación								
Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independiente e del rumbo				
Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento						
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz			
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°			
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable		
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10		
RMR89 (Básico) =					71			
RMR89 (Corregido) =					63			
RMR'89 (Condiciones Secas) =					73			
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>								
OBSERVACIONES:								
Según el soporte recomendado de Bieniawski dado el soporte tipo II nos recomienda una aplicación de shotcrete de 5 cm con fibra de reforzamiento sobre toda la sección, asimismo se colocará pernos sistemáticos de 5 - 6 @ 2.0 x 2.0m, L= 3m. φ=19 mm.								
DATOS DEL ESPECIALISTA					FIRMA Y SELLO			
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON					 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ Talledo Silva Zahid Borinzon Ingeniero Geólogo CIP: 141044			
ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO								
C.I.P. N°: 141044								

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según RMR de Bieniawski Estación 9

El resultado para el cálculo RMR es de 45, una roca tipo III estimada una calidad regular, de acuerdo a lo que estima el sostenimiento RMR tenemos: anclaje sistemático en la bóveda y tablas de 3 a 4 m de largo y espaciado 1.5 a 2.0 m con malla en techo, un concreto lanzado de 5 a 10 cm en bóveda o corona, 3 cm en tablas.

Proyección estereográfica con el software Dips de la Estación 9

Para el análisis de la progresiva 1+999.60 – 2+003.00 Km. Se obtuvo la concentración de polos en el cual se cuenta con 4 familias de discontinuidades.

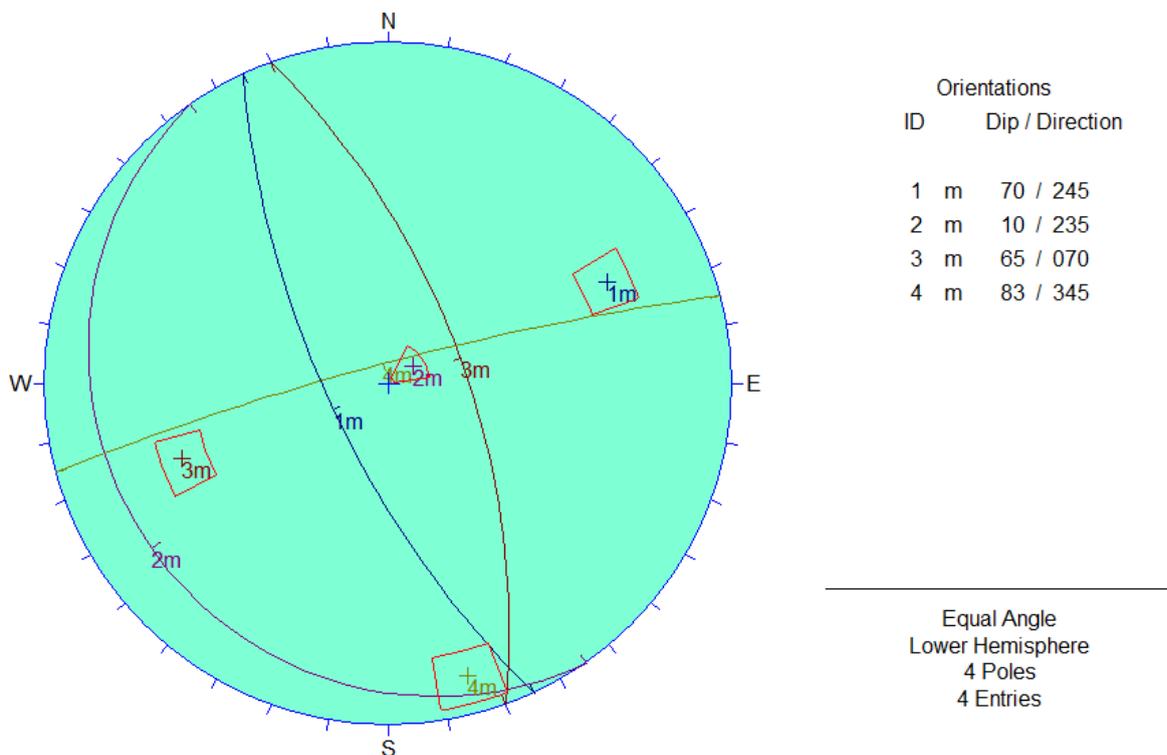


Figura 27. Proyección estereográfica de la prog. 1+999.60 – 2+003.00 Km.

Tabla 21. Mapeo geomecánico según RMR prog. 1+999.60 @ 2+003.00 Km

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001			
E9		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1			
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR		Fecha: 01/10/2020			
				Página: 1 de 1			
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: RMR-CHC-009			
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 01/10/2020			
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 009		SECTOR: 1			
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología RMR							
LITOLOGÍA: Andesita							
PROGRESIVAS:							
PK INICIAL:		1+999.60 Km		PK. FINAL: 2+003.00 Km			
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR		
1	Resistencia a la compresión uniaxial		MPa	75 - 100	8		
2	RQD (%)		RQD	35%	7.5		
3	Espaciamiento de discontinuidades		cm	100	14.5		
4	Persistencia		long	3 - 10 m	2		
5	Abertura		mm	5 mm	1		
6	Rugosidad			Ligeramente rugosa	3		
7	Relleno		mm	Duro < 5 mm	4		
8	Alteración			Moderadamente Intemperada	3		
9	Agua subterránea			Mojado	7		
Orientación							
Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo			
Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento					
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz		
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°		
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	
					RMR89 (Básico) =	50	
					RMR89 (Corregido) =	45	
					RMR'89 (Condiciones Secas) =	58	
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>							
OBSERVACIONES:							
Según el soporte recomendado de Bieniawski dado el soporte tipo III nos recomienda una aplicación de shotcrete de 10 cm							
sobre toda la sección, asimismo se colocará pernos de anclaje de 8 - 9 @ 1.5 x 1.5m, L= 3.0 m, φ=19 mm.							
DATOS DEL ESPECIALISTA					FIRMA Y SELLO		
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON					 Talledo Silva Zahid Borinzen Ingeniero Geólogo CIP 141044		
ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO							
C.I.P. N°: 141044							

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según Q de Barton

Para calcular el índice Q utilizaremos nuestra ficha de recolección de datos colocando los siguientes parámetros como el RQD en %, el número de discontinuidades, el número de rugosidad, el número de alteración, número de agua subterránea y el factor de reducción de esfuerzos (estado tensional). Obteniendo los siguientes resultados como se puede visualizar en el anexo 5 los cuales se pueden visualizar resultados desde una buena calidad de roca hasta una muy pobre.

Tabla 22. *Clasificación geomecánica según Q de Barton*

Estación geomecánica	Índice Q	Calidad de roca
Estación 1	0.27	Muy pobre
Estación 2	9.63	Regular
Estación 3	21.67	Buena
Estación 4	6.22	Regular
Estación 5	3.56	Pobre
Estación 6	0.72	Muy pobre
Estación 7	0.87	Muy pobre
Estación 8	3.30	Pobre
Estación 9	1.28	Pobre

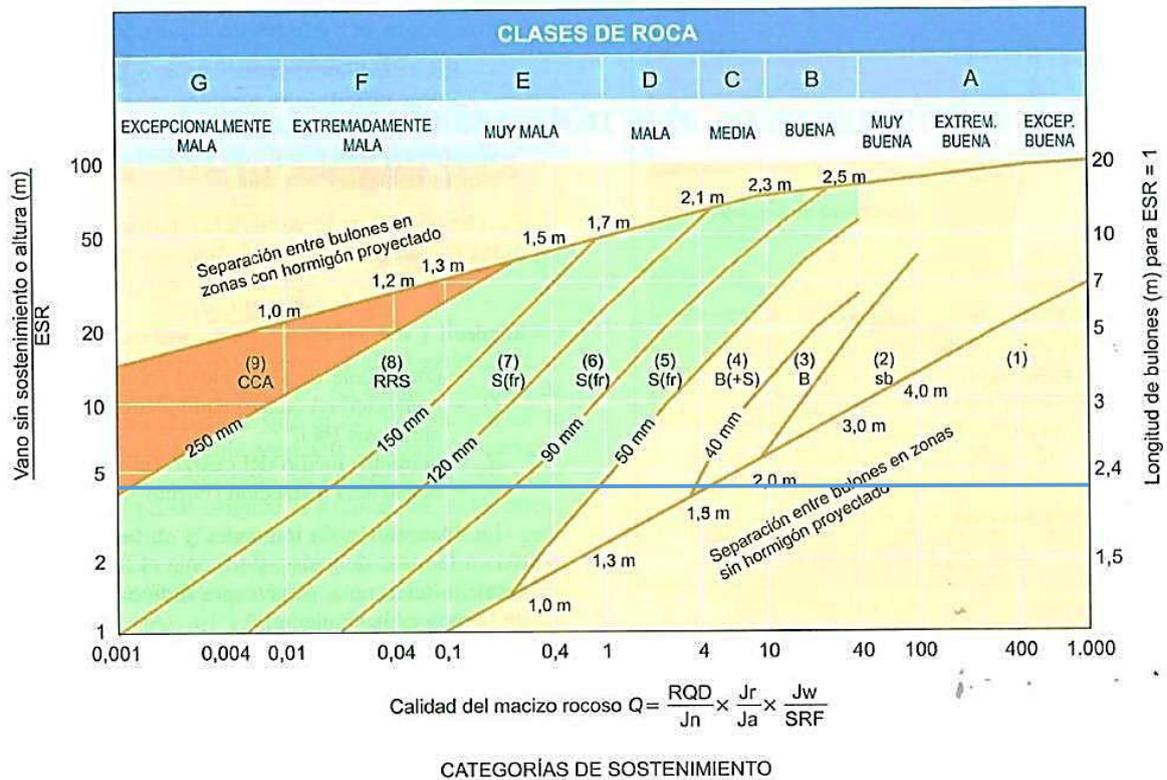
Fuente: Statkraft Perú

Para proceder con la determinación del sistema de sostenimiento se debe calcular el ESR (Relación de sostenimiento de excavación) según el **anexo 12** se consideró un valor de 1.6 debido a que se implementará para la desviación de caudal para una central hidroeléctrica y teniendo una altura de túnel de 7.3 m en el cual utilizaremos la siguiente fórmula para de determinación del sostenimiento.

$$S = \text{altura de túnel} / \text{ESR} = 7.3/1.6 = \mathbf{4.56}$$

Sistema de sostenimiento según la clasificación Q de Barton

Para hallar el sistema de sostenimiento se utilizará el siguiente ábaco en el cual es la relación entre S y el índice Q obtenido, ello determinará qué sistema utilizamos obteniéndose como resultado en la figura 28.



1. Sin sostenimiento.
2. Bulonado puntual, sb.
3. Bulonado sistemático, B.
4. Bulonado sistemático con hormigón proyectado, 40–100 mm, B+S.
5. Hormigón proyectado con fibras, 50–90 mm y bulonado S(fr)+B.
6. Hormigón proyectado con fibras, 90–120 mm y bulonado, S(fr)+B.
7. Hormigón proyectado con fibras, 120–150 mm y bulonado, S(fr)+B.
8. Hormigón proyectado con fibras, >150 mm con bulonado y arcos armados reforzados con hormigón proyectado, S(fr)+RRS+B.
9. Revestimiento de hormigón, CCA.

Figura 28. Ábaco de categoría de sostenimiento según Q de Barton.

Luego de determinar la calidad de roca según el índice Q en la cual tenemos muy pobre, pobre, regular y buena, al determinar el sistema de sostenimiento mediante el uso del ábaco obtenemos de cada tipo de roca para lo cual se empleará los siguientes.

Tabla 23. Sistema de sostenimiento según Q de Barton

Estaciones geomecánicas	Calidad de roca	Sistema de sostenimiento
Estación 1, 6 y 7	Muy pobre	Hormigón proyectado con fibra, 90 – 120 mm y bulonado, S (fr) + B.
Estación 5, 8 y 9	Pobre	Bulonado sistemático con hormigón proyectado, 40 – 100 mm, B+S.
Estación 2 y 4	Regular	Bulonado sistemático 2.0 x 2.0 m sin hormigón proyectado.
Estación 3	Buena	Bulonado sistemático 2.5 x 2.5 m sin hormigón proyectado.

Fuente: Statkraft Perú

Clasificación geomecánica según GSI

Para determinar el sistema de sostenimiento se utilizará la **Tabla N°5** en la cual con los datos recolectados como las discontinuidades y la resistencia del macizo rocoso podemos determinar el mejor sistema para cada tipo de roca. Los resultados de sostenimiento lo podemos ver en la siguiente tabla.

Tabla 24. Sistema de sostenimiento según GSI

Estación geomecánica	Clasificación GSI	Sistema de sostenimiento
Estación 1, 3, 6 y 7	F/R, MF/B, MF/R y MF/B	Pernos sistemáticos 1.5 x 1.5 m (malla ocasional)
Estación 2, 4, 5 y 8	F/B	Pernos ocasionales
Estación 9	IF/R	Pernos sistemáticos 1.0 x 1.0 m (malla de refuerzo + shotcrete 5 cm)

Fuente: Statkraft Perú

Propiedades mecánicas del macizo rocoso

Para ello se utilizó el software RocData y la metodología de Hoek & Brown Generalizado para colocar los datos tanto como el módulo de deformación. Teniendo en cuenta los datos como la resistencia uniaxial, el cálculo de GSI, la constante mi y el factor de disturbancia la cual nos compete la calidad de excavación. Tal como se muestra en el siguiente gráfico.

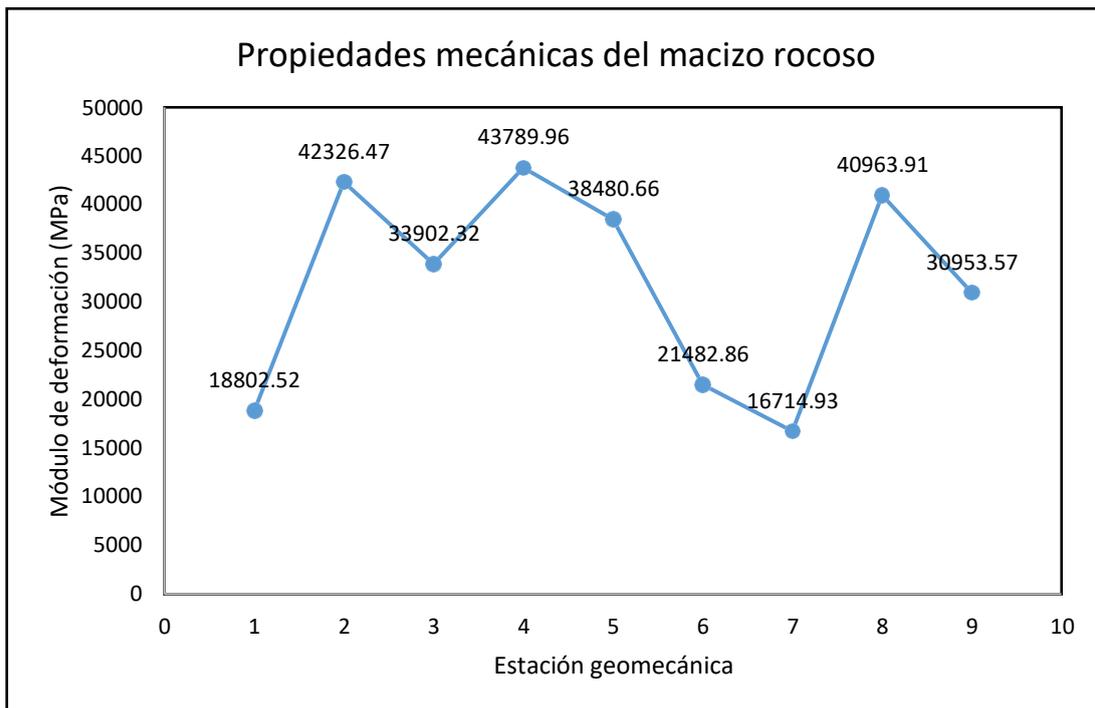


Gráfico 2. Módulo de deformación del macizo rocoso.

Evaluación del diseño de sostenimiento

Para el cálculo de la evaluación del diseño de sostenimiento proyectado se utilizó el software Phase2 v.8.0 ya que implementa el método de elementos finitos en 2D en el cuál analizaremos la zona plastificada para la excavación subterránea.

Para cada tipo de roca se determinó la zona plástica con un factor de seguridad de 1.5 el cual se revisará con cada sistema de sostenimiento colocada teóricamente en el mapeo geomecánico según RMR, Q de Barton y GSI.

Se aplica la evaluación a la siguiente sección transversal del túnel en el cual será representada por cada material determinado en la clasificación de roca.

Configuración del proyecto

Para el tipo de análisis tomaremos la deformación plana (**plane Strain**) el cual se aplica para varios casos de estudio en una visualización 2D para la modelación de la excavación. El tipo de cálculo fue la eliminación Gaussiana (**Gaussian Elimination**) por la que está configurada por defecto, debido a que el análisis involucra el estudio de zonas plásticas

Configuración de análisis de esfuerzos

El valor configurado del número máximo de iteraciones por defecto es 500 utilizadas para el proyecto. La tolerancia del valor configurado es de 0.001. Para el tipo de convergencia se utilizó el “**Absolute Energy**” (energía absoluta). La tensión de la junta reduce la rigidez tiene un factor de 0.01 configurado por defecto y utilizaremos el criterio de falla de Hoek and Brown generalizado.

Método de Elementos Finitos con Phase 2

Determinaremos la zona plástica para cada tipo de material, para continuar con el cálculo se asigna las propiedades del material en este caso los datos que fueron recolectados para el criterio de Hoek & Brown con el software RocData, añadimos la configuración para hallar la zona plástica y configuramos la malla a 6 nodos con un factor de gradación de 0.1 y un número de nodos en todas las excavaciones de 150.

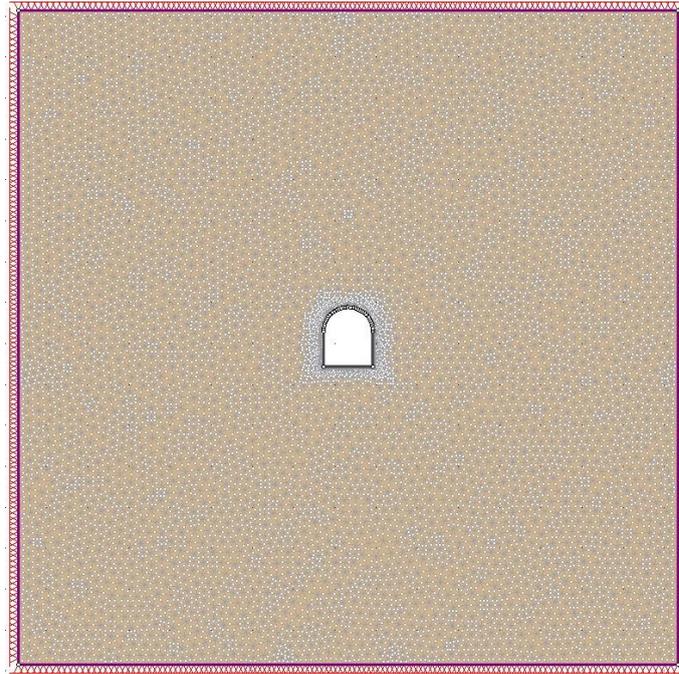


Figura 29. Malla 6 nodos con apoyos.

TIPO DE ROCA: TONALITA

Su resistencia uniaxial es de 145 MPa, tomamos un factor de disturbancia de 0 debido a la baja calidad de roca.

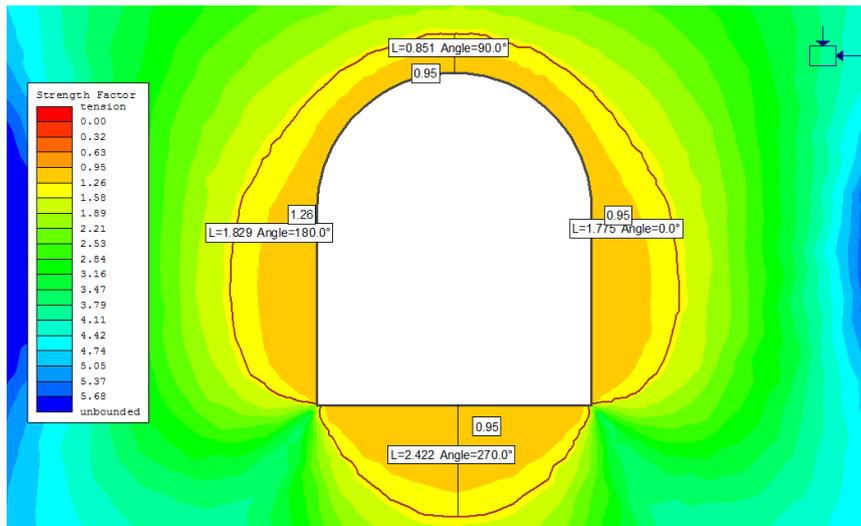


Figura 30. Zona plástica sin sostenimiento para tipo de roca Tonalita.

Determinamos la zona plástica obteniendo un valor 0.95 con las siguientes longitudes en la corona un valor de 1.792, en el hastial izquierdo un valor de 2.580, en el hastial derecho un valor de 2.595 y 3.159 en la contra bóveda.

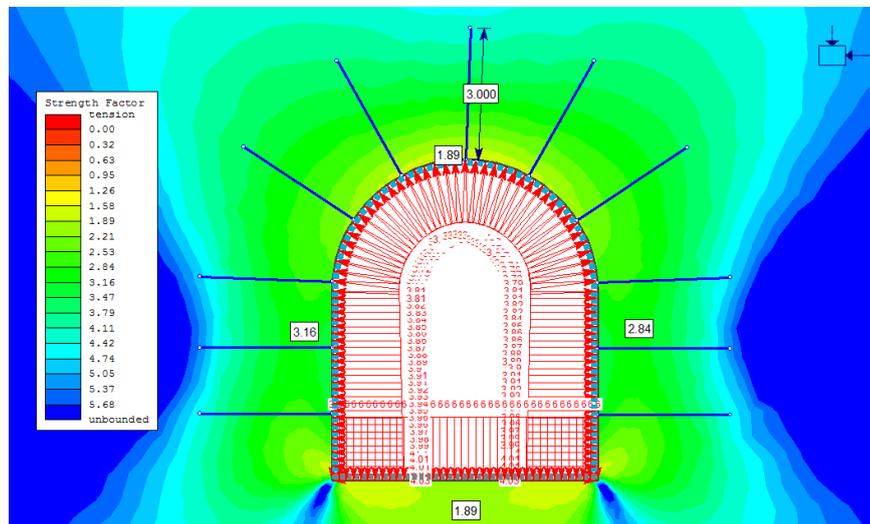


Figura 31. Factor de seguridad con sostenimiento para roca Tonalita.

Al aplicar un sistema de sostenimiento obtenemos como resultado en la corona de 1.89 en el hastial izquierdo un valor de 3.16 y en el hastial derecho un valor de 2.84 luego de emplear pernos de anclaje con una longitud de 3 m. con un diámetro de 19 mm cada 1.5 x 1.5 m. y colocación de shotcrete con un espesor de 7.5 cm. En la contrabóveda se aplicó un pavimento de 20 cm reforzado con malla.

TIPO DE ROCA: HORNFELS

Su resistencia uniaxial es de 145 MPa, tomamos un factor de disturbancia de 0.3 se ven pequeñas deformaciones en la calidad de excavación.

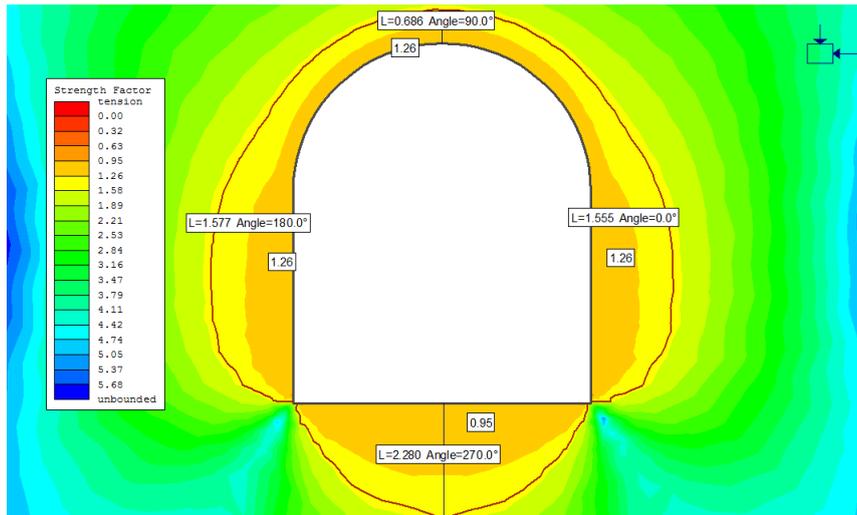


Figura 32. Zona plástica sin sostenimiento para tipo de roca Hornfels.

Determinamos la zona plástica con un valor en la cámara de 1.26 y una longitud de 0.686 m., en la contrabóveda tenemos un valor de 0.95 con una longitud de 2.28 m., en los hastiales se tiene un valor de 1.26 con una longitud de 1.5 m.

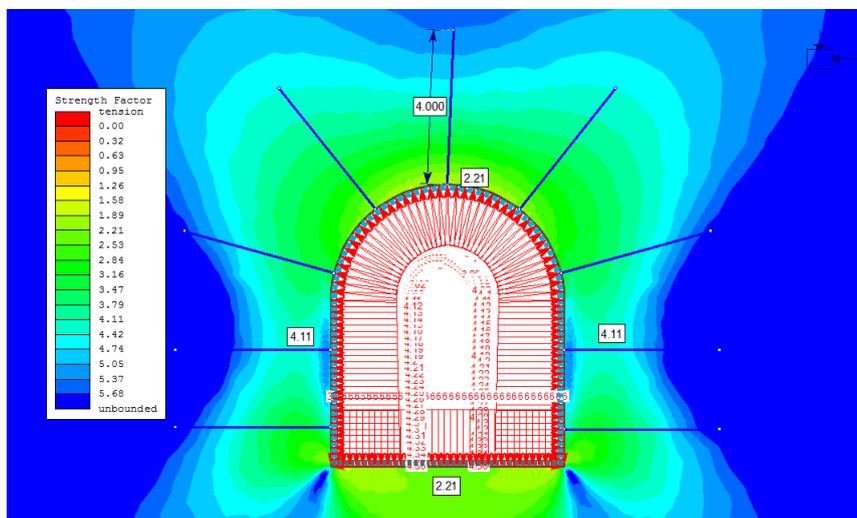


Figura 33. Factor de seguridad con sostenimiento para roca Hornfels.

Al aplicar los pernos sistemáticos con una longitud de 4 m. con un diámetro de 25 mm. Más shotcrete de 5 cm, se obtuvo un factor de seguridad en la corona de 2.21

y un valor de 4.11 en los hastiales, al colocar un pavimento de 20 cm reforzado con malla tenemos un factor de seguridad de 2.21.

TIPO DE ROCA: DACITA

Su resistencia uniaxial es de 108 MPa, tomamos un factor de disturbancia de 0 debido que se tuvo una calidad de roca muy pobre.

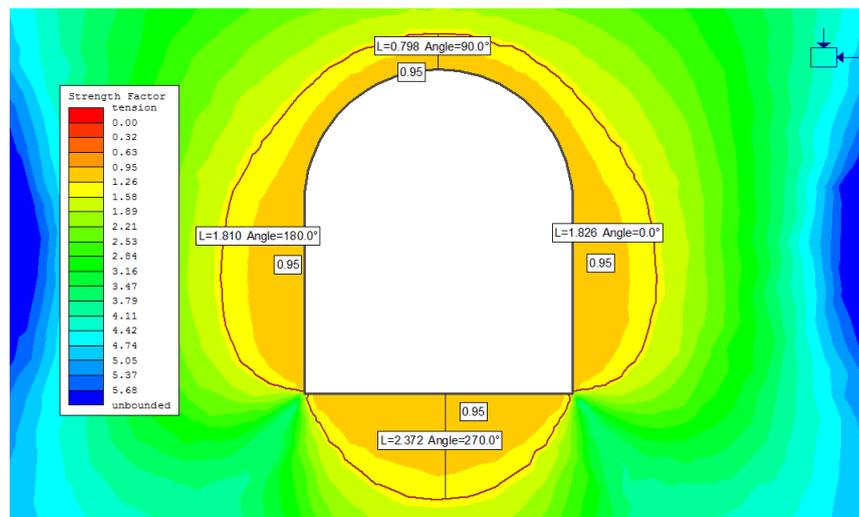


Figura 34. Zona plástica sin sostenimiento para tipo de roca Dacita.

Determinamos la zona plástica con un valor de 0.95 como factor de seguridad en toda la sección, la longitud en la cámara es de 0.79 m., en los hastiales se tiene una longitud de 1.8 m. y en la contrabóveda una longitud de 2.37 m.

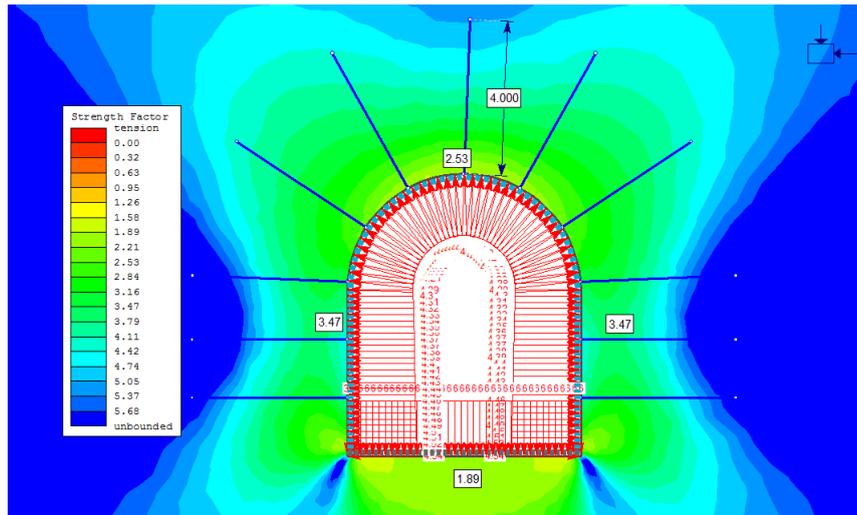


Figura 35. Factor de seguridad con sostenimiento para roca Dacita.

Al aplicar los pernos sistemáticos con una longitud de 4 m. con un diámetro de 25 mm. Más shotcrete con un espesor de 7.5 cm., se obtuvo un factor de seguridad en la corona de 2.53, un valor de 3.47 en los hastiales y en la contrabóveda un valor de 1.89.

TIPO DE ROCA: ANDESITA

Su resistencia uniaxial es de 200 MPa, tomamos un factor de disturbancia de 0 debido a ser una roca de calidad pobre.

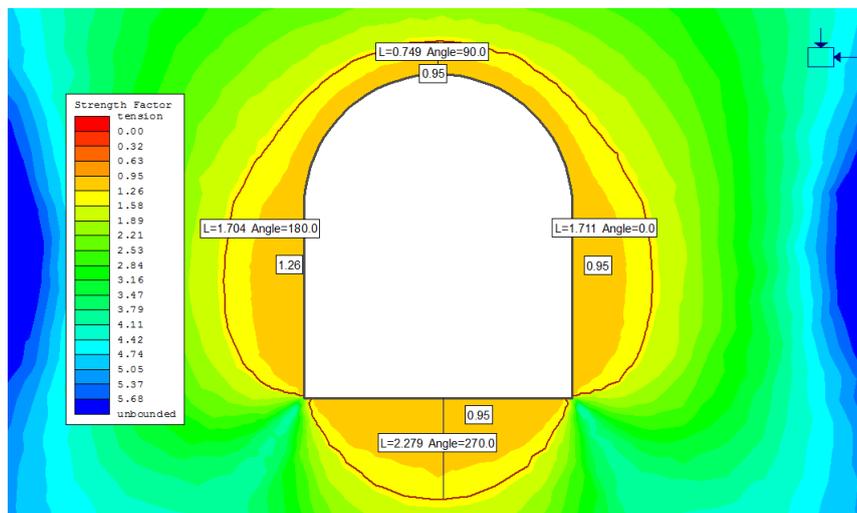


Figura 36. Zona plástica sin sostenimiento para tipo de roca Andesita.

Determinamos la zona plástica en la cámara con un valor de 0.95 y una longitud de 0.749 m., se tiene un factor de seguridad de 1.26 en el hastial izquierdo con una longitud de 1.7 m. y un valor de 0.95 en el hastial derecho con una longitud de 1.71 m. en la contrabóveda un valor de 0.95 y una longitud de 2.27 m.

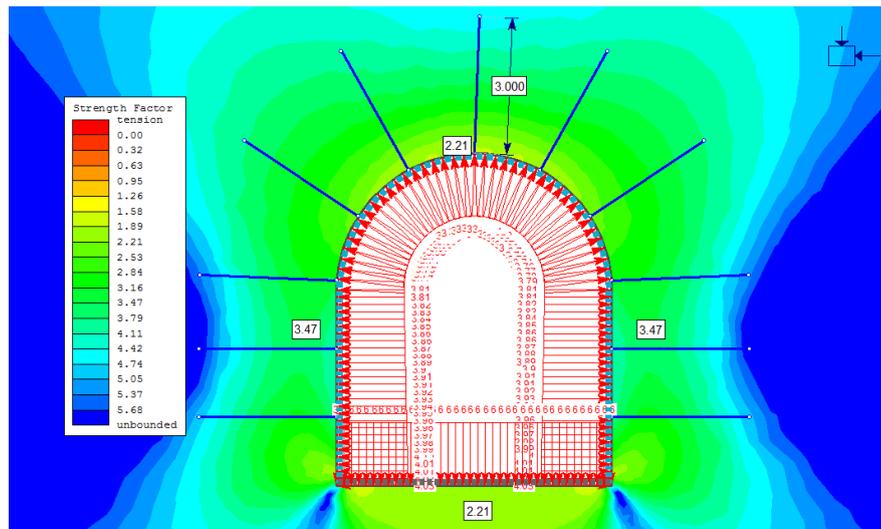


Figura 37. Factor de seguridad con sostenimiento para roca Andesita.

Al colocar pernos con una longitud de 3 m. con un diámetro de 19 mm. Más shotcrete con un espesor de 10 cm., se obtuvo un factor de seguridad en la corona de 2.21, un valor de 3.47 en los hastiales y en la contrabóveda un valor de 2.21.

Factor de seguridad

Una vez implementado el sistema de sostenimiento aplicado a cada uno de ellas, procederemos a la visualizar la variación del factor de seguridad con o sin sostenimiento el cual esta debe ser mayor a 1.5 para el cumplimiento con la sostenibilidad de la excavación subterránea.

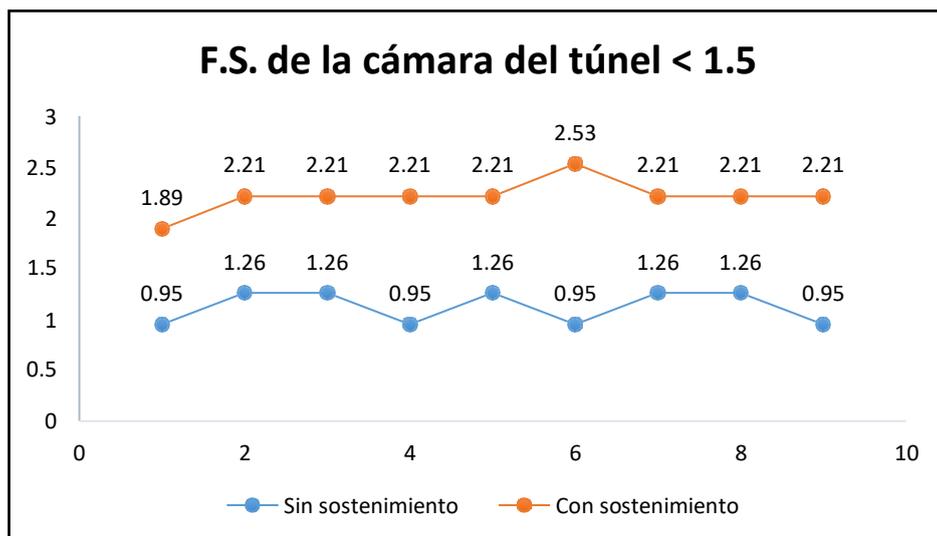


Gráfico 3. Factor de seguridad de la cámara del túnel.

Podemos observar la interpretación del gráfico 3 donde se observa el aumento del factor de seguridad mayor a 1.5, por ende, la disminución de la zona plástica debido a la implementación del sistema de sostenimiento para las 9 estaciones estudiadas.

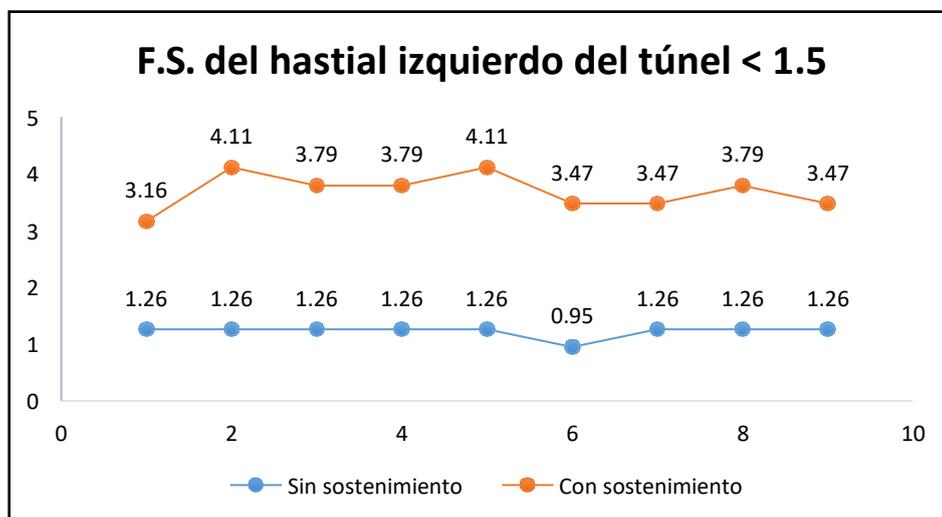


Gráfico 4. Factor de seguridad del hastial izquierdo del túnel.

Se observa la interpretación del gráfico 4 donde se determina el aumento del factor de seguridad lo que supera el 1.5 al aplicar el sistema de sostenimiento se puede ver la diferencia de la reducción de la zona plástica con el túnel sin sostenimiento.

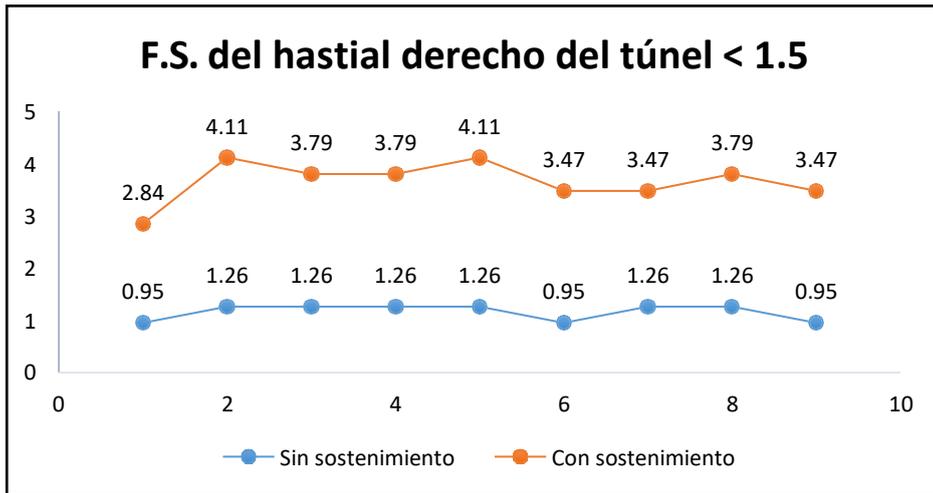


Gráfico 5. Factor de seguridad del hastial derecho del túnel.

Se determina la representación del factor de seguridad del hastial derecho en el gráfico 5, el cual nos da como resultado un factor mayor a 1.5 bajo un análisis comparativo de la implementación del sistema de sostenimiento.

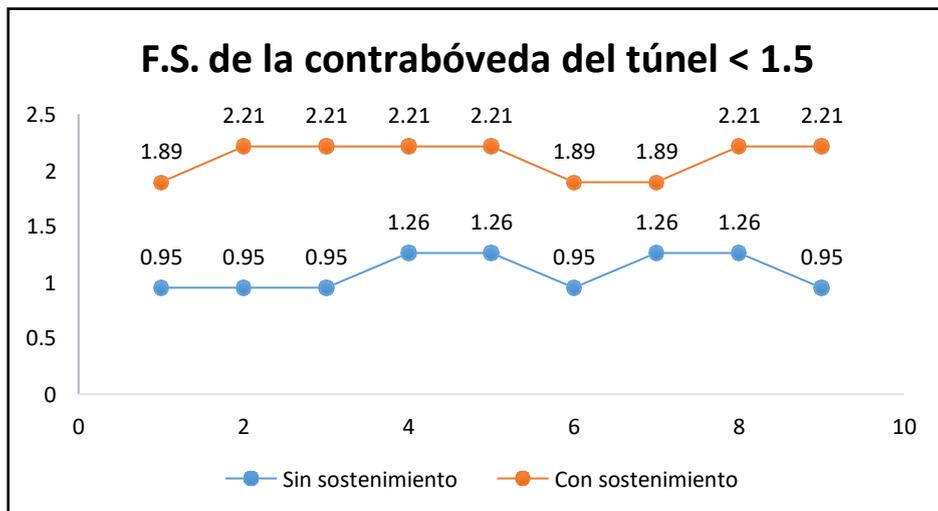


Gráfico 6. Factor de seguridad de la contrabóveda del túnel.

En el gráfico 6 se puede observar la determinación del factor de seguridad de la contrabóveda la cual supera el factor mínimo que es de 1.5 al implementar un sostenimiento de concreto y malla de acero.

V. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos para la evaluación del macizo rocoso, según el mapeo geomecánico según el criterio RMR de Bieniawski, se obtuvo un puntaje de 45 a 72, esta se encuentra en el rango de Tipo II - Buena y de Tipo III - Regular calidad de roca según la tabla 12, para el sostenimiento de un Tipo II se colocó shotcrete de un espesor de 7.5 cm y colocación de pernos de sistemático cada 1.5 m con una longitud de 3 m con un diámetro de 19 mm. a 25 mm. Según el criterio Q de Barton, se obtuvo un puntaje de 0.27 a 21.67, lo que representa una calidad de Muy pobre, Pobre, Regular y Buena según la tabla 22, para lo cual el sostenimiento en una calidad Muy pobre determinó la colocación de hormigón proyectado con fibras con un espesor de 9 cm. a 12 cm. y colocación de bulones sistemáticos. Para tipo de calidad Pobre se estimó la colocación de bulones sistemáticos con hormigón proyectado con un espesor de 4 cm. a 10 cm. Para tipo de calidad Regular y Buena se colocará bulonado sistemático cada 2.0 m sin hormigón proyectado, tal como se expresa en la tabla 23 y según GSI la clasificación y recomendación se determina el sistema de sostenimiento la colocación de pernos sistemáticos de 1.0 m a 1.5 m., asimismo se proyectará la colocación de shotcrete con malla electrosoldada según la tabla 24.

Al respecto el autor Ríos Bartolo Ricardo (2019), en la tesis citada en los antecedentes nacionales donde determina de acuerdo a la evaluación geomecánica según Bieniawski (1989) en las recomendaciones de sostenimiento para roca Tipo II – Buena, se necesitará bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5 + concreto proyectado con un espesor de 5 cm y para roca Tipo III – Regular bulones de 3 m. de longitud con un espaciamiento de 1.5 m + concreto proyectado de 8 cm + malla electrosoldada. Asimismo, según el criterio Q de Barton para roca tipo Buena se necesitará la colocación de bulones de 3 m. de longitud con un espaciamiento de 2.5 m. y para roca Media bulones de 3m. de longitud con un espaciamiento de 1.5 m. + concreto proyectado con un espesor de 5 cm.

Podemos observar que según los criterios utilizados para la clasificación de roca para la evaluación del macizo rocoso durante el proceso constructivo como para la aplicación del sistema de sostenimiento según los criterios RMR de Bieniawski y Q de Barton son semejantes a los resultados del autor citado, lo cual podemos indicar que el objetivo fue alcanzado.

De los resultados obtenidos para la determinación de metodología de excavación según las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio Hoek & Brown Generalizado se tomó como dato el factor de disturbancia el cual determina la calidad de excavación según la metodología implementada, por lo tanto según la evaluación en campo tenemos un factor de disturbancia de 0 a 0.3 debido a que se encuentran ondulaciones y pequeñas deformaciones, eso quiere decir que se utilizará la metodología según el tipo de calidad de roca, es por eso que en un tipo de calidad de roca Buena y Regular se realiza una excavación de perforación y voladura (Drilling & Blasting) en el caso de un tipo de calidad de roca Pobre a Muy Pobre se considera una metodología con la aplicación de excavación de martillo hidráulico teniendo un avance de 3 a 4 metros. Al respecto el autor De la Rosa Arenas, Daniel (2015), en la tesis citada en los antecedentes internacionales donde determina el análisis de obras subterráneas, en base a los resultados obtenidos, se concluye que el avance máximo recomendable para la construcción del túnel – tramo es de 2.0 m, ya que al analizar con un avance de 2.5 m. el nivel de desempeño del túnel - tramo resulta ser pobre. Las excavaciones subterráneas sufren muchas modificaciones y/o cambios estructurales durante la construcción, está continuamente en el túnel y observar con detenimiento las actividades del ciclo, nos puede ayudar a perfeccionarlas.

Como se evidencia según la determinación de las propiedades de calidad de roca y el análisis de excavación se sostiene que la metodología de construcción en la excavación subterránea es semejante a los resultados del autor, por lo cual podemos indicar que el objetivo fue alcanzado.

De los resultados obtenidos para la determinación de sostenibilidad del túnel se verifica la estabilidad del túnel mediante la evaluación de la excavación subterránea

con el método de elementos finitos lo cual se obtuvo los resultados de la zona plástica según el gráfico 3, 4, 5 y 6 obteniendo un factor de seguridad de 0.95 a 1.26 con una longitud de 0.686 m. a 0.851 m. determinado en la cámara o techo del túnel, en un rango de 1.555 m. a 1.826 m. en los hastiales y en la contrabóveda una longitud de 2.279 m. a 2.422 m. Al respecto el autor Azúa Gonzáles, Carlos Xavier (2015), en la tesis citada en los antecedentes internacionales donde determina que al utilizar el método de elementos finitos influye en la sostenibilidad del túnel debido a que según el estudio de la extensión de la zona plástica en conjunto con los resultados tenso-deformacionales muestran que los rangos de espesor máximo de la zona plástica extendiéndose entre 4.90 m. y 7.50 m. de las abscisas 0+050 a 0+250.

Podemos definir que la extensión de la zona plástica deducida por el método de elementos finitos influye en la determinación de sostenibilidad del túnel debido a la deformación que se obtiene, guardan similitud a los resultados del autor, siendo así, podemos indicar que los criterios son semejantes por lo cual podemos indicar que el objetivo fue alcanzado.

De los resultados obtenidos para la evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos se realizó con el software Phase2 el cual se evaluará según el sistema de sostenimiento colocado el cual podemos observar en el gráfico 3 la expresión del aumento del factor de seguridad alcanzado un rango de 1.89 a 2.53 en la cámara o techo de túnel. En el gráfico 4 se puede observar el aumento del factor de seguridad llegando a 3.16 a 4.11 en el hastial izquierdo. En el gráfico 5 se expresa un factor de seguridad que se encuentra en el rango de 2.84 a 4.11 en el hastial derecho y en la contrabóveda se alcanza un factor de seguridad de 1.89 a 2.21. Por lo que se comprueba que se encuentra dentro de sostenimiento adecuado con respecto a que es mayor a 1.5. Al respecto el autor García Rubio Marta Romero (2015), en la tesis citada en los antecedentes internacionales donde determina que el factor de seguridad con bulones y los 5 cm de hormigón proyectado aumenta hasta 1.62 respecto a la excavación sin sostenimiento con el revestimiento de 30 cm de espesor, el factor de seguridad aumenta considerablemente hasta 3.67 en la clave del túnel. Asimismo, según el autor Ríos

Bartolo Ricardo (2019), en la tesis citada en los antecedentes nacionales donde determina que los factores de seguridad aumentan con respecto al tipo de roca y a los que se encontraban en la zona plástica aumentando hasta 2.21 en la bóveda, un puntaje de 2.84 en la contrabóveda y un puntaje de 6 en los hastiales, siendo el resultado en una roca buena, en una roca media o regular los resultados se encuentran para la bóveda un factor de seguridad de 2.53, la contrabóveda 2.53 y los hastiales un puntaje de 6.00.

Podemos determinar que aplicando el método de elementos finitos para la evaluación del diseño de sostenimiento determinamos una óptima sostenibilidad para la construcción de túneles encontrando similitud en los autores mencionados, por lo que se afirma que el objetivo ha sido alcanzado.

VI. CONCLUSIONES

Se determinó que al implementar el método de elementos finitos evalúa el macizo rocoso debido a que al realizar el mapeo geomecánico según los criterios RMR (1989) de Bieniawski, se obtuvo un rango de calidad de roca según la tabla 12, en la que se determina desde una Buena calidad de roca – Tipo III y Regular calidad de roca Tipo II, según el criterio Q de Barton (1974), se obtuvo un rango de calidad de roca según la tabla 22, donde se encuentra una Buena calidad de roca, Regular, Pobre y Muy pobre teniendo en cuenta los distintos tipos de roca y según el criterio GSI obteniendo el puntaje desde una buena, regular y mala calidad de roca, al visualizar la composición geológica de la zona de estudio determinando la calidad de roca, teniendo en cuenta las propiedades del macizo rocoso a través del método de Hoek & Brown Generalizado con el software RocData obteniendo un resultado según el gráfico 2 se obtuvo un módulo de deformación de 16714.93 MPa como mínimo y 43789.96 MPa como máximo, utilizando el método de elementos finitos a través del software Phase2 se evalúa la calidad del macizo rocoso durante el proceso de excavación con la cual se concluye que si evaluamos al macizo rocoso con las características obtenidas anteriormente con la clasificación geomecánica y determinación de sus propiedades mecánicas.

Al determinar que el método de elementos finitos es influyente en la clasificación geomecánica debido al tipo de calidad de roca, podemos determinar la metodología de túnel ya que si se utiliza el Drilling & Blasting en rocas de buena y regular calidad no se proyectará una sobre excavación para lo cual en el diseño se proyecta un factor de disturbancia lo que viene a hacer referencia a la calidad de excavación en estos casos se tomó como 0 debido a su baja deformación y poca ondulación en la excavación por otra parte para rocas de calidad pobre y muy pobre se tomó un factor de disturbancia de 0.3 lo cual durante la excavación se encontró ondulaciones y deformaciones mínimas teniendo esto en cuenta se puede aumentar o disminuir la zona plástica debido a que si se aplicaría un método de excavación D&B provocaría sobre excavación en la cámara y los hastiales por lo cual se concluye realizar una excavación con martillo hidráulico el cual no afecte la

excavación esto lo podemos revisar en los resultados de la zona plástica en la que disminuye conforme se aplica el sostenimiento determinado.

Se concluye que el método de elementos finitos influye en la sostenibilidad del túnel debido a que al implementar las propiedades mecánicas del macizo rocoso en la excavación utilizando el software Phase2 se determina la extensión de la zona plástica con una longitud de 0.686 m. a 0.851 m. determinado en la cámara del túnel, en los hastiales una longitud de 1.555 m. a 1.826 m. y en la contrabóveda una longitud de 2.279 m. a 2.422 m. Influyendo en la deformación de la misma la cual se va a reducir con la aplicación del sistema de sostenimiento.

En función a los resultados se determina que la implementación del método de elementos finitos influye a la evaluación del diseño de sostenimiento ya que se determinó la reducción de la zona plástica y el aumento del factor de seguridad, según el gráfico 3 expresa el resultado del rango del factor de seguridad alcanzado en la cámara o bóveda del túnel encontrándose en un puntaje de 1.89 a 2.53. En el gráfico 4 se puede observar el aumento del factor de seguridad encontrándose en un rango de 3.16 a 4.11 en el hastial izquierdo. Asimismo, en el gráfico 5 se puede observar el aumento en el factor de seguridad en la cual se encuentra dentro del rango de 2.84 a 4.11 y en el gráfico 6 se ven los resultados del puntaje mostrándose un aumento dentro del rango de 1.89 a 2.11 por lo cual se concluye que al utilizar el método de elementos finitos para la evaluación del diseño de sostenimiento se estima valores dentro de factor de seguridad lo cual nos indica una sostenibilidad óptima del túnel.

VII. RECOMENDACIONES

Al realizar la clasificación geomecánica según el criterio RMR de Bienawski se debe utilizar los ábacos para colocar puntajes de la resistencia uniaxial, RQD y espaciamiento de las discontinuidades para una mejor representación del tipo de calidad del macizo rocoso.

Para el uso de la metodología de excavación de perforación y voladura (Drilling & Blasting) se debe considerar el tipo de roca según la calidad de podrá utilizar este método en el caso de que la calidad sea baja se deberá utilizar un martillo hidráulico para la excavación, la razón es para que no se encuentren sobre excavación en el proceso de construcción del túnel.

Se recomienda realizar un cálculo con un modelo 3D para una mayor precisión en cuanto a la evaluación del comportamiento dinámico del túnel durante la voladura y del sostenimiento al aplicar las cargas tensionales, asimismo se verificará el análisis de cuñas de cada progresiva de excavación.

Realizar ensayos de Pull test y ensayo de carga puntual para la evaluación de resistencia de la colocación del shotcrete, cumpliendo específicamente con el factor de seguridad y teniendo en cuenta la sostenibilidad de la excavación subterránea.

REFERENCIAS

3D finite element modelling optimization for deep tunnels with material nonlinearity. **OSVALDO, Vitali, Tarcisio, Celestino and Antonio, Bobet.** 2017. 15, Shangai : ScienceDirect, 2017, Vol. III.

3D numerical parametric study of the influence of open-pit mining sequence on existing tunnels. **BEYABANAKI, Amir and Gall, Vojtech.** 2017. 8, San Francisco : Elsevier, 2017, Vol. I.

Alpha, Consult. 2008. *TABLAS UTILIZADAS PARA DESCRIPCION GEOTECNICA DE ROCAS.* Ilo : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008.

ARELLANO Gil Javier, Rolando de la Llata Romero, Marco Antonio Carreón Méndez, Wendy Vanesa Morales Barrera & Juan Carlos Villarreal Morán. 2002. *Ejercicios de geología estructural.* México D.F. : UNAM, 2002. I.

Autoridad, Nacional del Agua. 2010. *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Huaura.* Lima : Ministerio de Agricultura, 2010.

AZÚA, Carlos. 2015. *Análisis determinístico de estabilidad de un túnel en rocas blandas, mediante estudio paramétrico de inestabilidad en discontinuidades y modelado con elementos finitos usando el software PLAXIS 2D y UNWEDGE, caso de estudio túnel de descarga N° 2.* Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil : 2015.

BARTON. 2000. *Aspectos generales del Q de Barton.* Anexo A : s.n., 2000.

BERNAL, César Augusto. 2006. *Metodología de la investigación.* Naucalpan : Pearson Educación, 2006. ISBN 970-26-0645-4.

BOLÍVAR, Carlos Ruiz. 2002. *Confiabilidad.* Venezuela : Programa Interinstitucional Doctorado en Educación, 2002. Pág. 12.

Carmago, Jorge Arturo. 2011. *Geología estructural orientación de planos y líneas.* Lima : s.n., 2011.

CHILÓN, Edson and Max, Huaman. 2019. *Determinación del revestimiento del tunnel Liner mediante el modelamiento geotécnico aplicando el método de elementos finitos, en el distrito de la Perla Callao.* Universidad Peruana Unión, Lima : 2019.

DE LA ROSA, Daniel. 2015. *Comportamiento de túneles excavados mediante el método convencional.* Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México : 2015.

FINITE element model of Cairo metro tunnel-Line 3 performance. **MAZEK, S.A and H.A., Almannaei.** 2013. 8, Cairo : ScienceDirect, 2013, Vol. I.

- Goodman, Richard E. 1989.** *Introduction to Rock Mechanics*. New York : 2nd Edition, published by Wiley, 1989. ISBN: 978-0-471-81200-5.
- Griselda Luque Poma, Malena Rosario Seminario. 2014.** *Zonas críticas por peligros geológicos en la región Lima*. Lima : Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2014.
- HOEK. 2006.** *Sistema GSI (Geological Strength Index)*. Anexo C : s.n., 2006.
- Instituto, Geológico Minero y Metalúrgico. 2010.** *Hidrogeología de la cuenca del río Huaura*. Lima : INGEMMET, 2010.
- Jhon A. Hudson, Jhon P. Harrison. 1997.** *Engineering Rock Mechanics*. London : University Of London, UK, 1997.
- LA ROSA, Michelle. 2019.** *Análisis de la interacción suelo-sostenimiento para túneles circulares mediante elementos finitos*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa : 2019.
- MACIEJ, Ochmanski. 2016.** *Numerical analysis of the effects of tunnel construction*. Silesian University of Technology & University Of Cassino and Southern Lazio, Gdansk : 2016.
- MINISTERIO, de Transportes y Comunicaciones. 2016.** *Manual de carreteras, túneles, muros y obras complementarias*. Lima : MTC, 2016.
- MITELMAN, Amichai. 2015.** *Numerical analysis of the effects of external blasts on tunnels*. The University of British Columbia, Vancouver : 2015.
- MONGE, Pedro Ramírez Oyenguren & Leandro Alejano. 2004.** *Mecánica de Rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2004. I.
- MORÁN Delgado Gabriela & Darío Gerardo Alvarado Cervantes. 2010.** *Métodos de Investigación*. Naucalpan de Juarez : Pearson, 2010. PRIMER EDICIÓN.
- NASSER, Al hai. 2012.** *2D Elasto-Plastic finite element analysis of tunnel in Dubai*. University of Sharjah, United Arab Emirates : 2012.
- NUMERICAL investigation of tunnelling beneath existing tunnels.* **AVGERINOS, Vasileios. 2014.** London : Imperial College London, 2014.
- OSINERGMIN. 2017.** *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierres laborales*. Lima : OSINERGMIN, 2017.
- PAZ, Guillermina. 2014.** *Metodología de la investigación*. México D.F. : Patria, 2014. ISBN 978-607-744-003-1.
- PROCEDIMIENTO para el control de filtraciones en excavaciones subterráneas. Caso de.* **CUESTA Recio, Armando; Watson Quesada, Roberto; Legrá Lobaina, Arístides A. 2008.** 3, Holguín : Redalyc, 2008, Vol. XXIV. Pág. 4.

Real, Academia Española. 2019. *Diccionario de la lengua española*. Felipe IV, 4-28014 Madrid : Asociación de academias de la lengua española, 2019. IV.

REVIEW of Rock Mass Rating and tunneling Quality index systems for tunnel desing. **HAFEEZUR, Rehman, et al. 2018.** 28, Korea : Applied Sciences, 2018, Vol. I.

RIOS, Ricardo. 2019. *Evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Ángeles"*. Universidad Nacional Federico Villareal, Lima : 2019.

RIVERA, H. 2011. *Geología general*. [book auth.] Hugo Rivera Mantilla. *Geología general*. Arequipa : Megabyte, 2011.

ROBERT D. Cook, David S. Malkus, Michael E. Plesha, Robert J. Witt. 2001. *Concepts and applications of finite elements analysis*. New York : John Wiley, 2001. CUARTA EDICION.

ROCSCIENCE. 2013. *Phase2 8.0 Excavation & support desing software*. s.l. : ROCSCIENCE inc., 2013.

ROJAS, Silvio. 2009. *Túneles*. Colombia : Universidad de los Andes, 2009.

ROMERO, Marta. 2015. *Estudio de excavación de túneles mediante el nuevo método austriaco a través del análisis por elementos finitos*. Universidad de Extremadura, Madrid : 2015.

SAMPIERI, Roberto. 2014. *Metodología de la investigación*. México D.F. : Interamericana Editores, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0.

SERRANO, Jesús. 2020. *Metodología de la investigación científica*. Ciudad de México : Gamma, 2020.

YAULI, Elvis Fernando Tacillo. 2016. *Metodología de la investigación científica*. Lima : Universidad Jaime Bauzate Y Meza, 2016.

ZANELLY, Glenn Lozano. 2010. *Análisis de datos*. 2010. pp. 2.

ANEXOS

ANEXO 1.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

	VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
V. INDEPENDIENTE	Método de elementos finitos	Es un método numérico para la solución de problemas de ingeniería que tienen un alto grado de complejidad.	Subdivide en triángulos dando alternativas de solución mediante las interpolaciones polinómicas numéricas. Es útil ya que nos facilita hallar la deformación, esfuerzo, tensión y desplazamientos en una sección transversal, dado el sistema de sostenimiento.	Método matricial	Desplazamientos	Razón
					Tensiones	
					Deformaciones	
V. DEPENDIENTE	Túnel de proceso constructivo D&B	Es una técnica convencional. La excavación mecánica es rentable cuando se tiene una longitud considerable del túnel y se conocen las características geomecánicas del terreno.	Consiste en definir un plan de tiro a la sección para su excavación por voladura con dinamita la cual se retiran los descombro y se realiza la perforación, esta presenta una irregularidad en el perfilado.	Caracterización del macizo rocoso	RMR, Q de Barton, GSI	Razón
				Metodología de construcción	Nivel de avance	Razón
				Sostenibilidad del túnel	Resistencia a la compresión del shotcrete	Razón
					Longitud de pernos de anclaje	Razón

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO							
"EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO UTILIZANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA TÚNEL DE PROCESO CONSTRUCTIVO D&B, LIMA 2020"							
AUTOR							
ALEXANDER PATSY GODOY GARCIA							
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE, INDICADOR E INSTRUMENTO				TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	V.DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	MÉTODO: Científico TIPO: Aplicativa NIVEL: Correlacional causal DISEÑO: No experimental Transversal POBLACIÓN: El macizo rocoso MUESTRA: Tipo de roca TECNICA: Observación directa INSTRUMENTO: Ficha de recolección de datos
PG: ¿Cómo influye la implementación del método de elementos finitos (FEM) en la evaluación del diseño de sostenimiento de un túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020?	OG: Determinar la influencia de la implementación del método de elementos finitos para la evaluación del diseño de sostenimiento de un túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020.	HP: La implementación del método de elementos finitos influirá en un mejor diseño de sostenimiento de un túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020.	Túnel de proceso constructivo D&B	Caracterización del macizo rocoso	RMR, Q de Barton, GSI.	Ficha de mapeo geomecánico	
				Metodología de construcción	Nivel de avance	Ficha de clasificación geomecánica	
				Sostenibilidad del túnel	Resistencia a la compresión del shotcrete	Ficha según criterio de sostenimiento	
Longitud de pernos de anclaje	Ficha según criterio de sostenimiento						
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICOS	V. INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	
PE1: ¿De qué manera influye el método de elementos finitos para la caracterización del macizo rocoso, Lima 2020?	OE1: Determinar la influencia del método de elementos finitos para la evaluación del macizo rocoso, Lima 2020.	HE1: La implementación del método de elementos finitos evaluará el macizo rocoso durante el proceso constructivo, Lima 2020.	Método de elementos finitos	Método matricial	Desplazamientos	PHASE2	
PE2: ¿De qué manera influye el método de elementos finitos para la metodología de construcción del túnel, Lima 2020?	OE2: Determinar la influencia del método de elementos finitos en la metodología del túnel, Lima 2020.	HE2: La implementación del método de elementos finitos definirá la metodología de cada resultado según la clase de roca definida, Lima 2020.			Tensiones		
PE3: ¿De qué forma influye el método de elementos finitos en la sostenibilidad del túnel, Lima 2020?	OE3: Determinar la influencia del método de elementos finitos en la sostenibilidad del túnel, Lima 2020.	HE3: La implementación del método de elementos finitos influye en el cálculo de sostenibilidad del túnel, Lima 2020.			Deformaciones		

ANEXO 2.

ESTACIÓN	REGISTRO		PI-RD-UCV-001																																				
	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión:																																				
	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN RMR		Fecha:																																				
			Página:																																				
AUTOR:	Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO :																																				
PROYECTO:	Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA:																																				
PLANO REFERENCIA:			SECTOR:																																				
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:																																							
PROGRESIVAS:																																							
PK INICIAL: _____ PK. FINAL: _____																																							
ITEM	PARAMETROS		RANGO	VALOR																																			
1	Resistencia a la compresión uniaxial	MPa																																					
2	RQD (%)	RQD																																					
3	Espaciamiento de discontinuidades	cm																																					
4	Persistencia	long																																					
5	Abertura	mm																																					
6	Rugosidad																																						
7	Relleno	mm																																					
8	Alteración																																						
Orientación																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rumbo perpendicular al eje de la excavación</th> <th colspan="2">Rumbo paralelo al eje de la excavación</th> <th rowspan="2">Ducamiento 0°-20° independient e del rumbo</th> </tr> <tr> <th>Dirección con el buzamiento</th> <th>Dirección contra el buzamiento</th> <th colspan="2">Rumbo paralelo al eje de la excavación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bz 45°-90°</td> <td>Bz 20°-45°</td> <td>Bz 45°-90°</td> <td>Bz 20°-45°</td> <td>Bz 45°-90°</td> </tr> <tr> <td>Muy Favorable 0</td> <td>Favorable -2</td> <td>Regular -5</td> <td>Desfavorable -10</td> <td>Muy Desfavorable -12</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Regular -5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Desfavorable -10</td> </tr> </tbody> </table>						Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Ducamiento 0°-20° independient e del rumbo	Dirección con el buzamiento	Dirección contra el buzamiento	Rumbo paralelo al eje de la excavación							Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Muy Favorable 0	Favorable -2	Regular -5	Desfavorable -10	Muy Desfavorable -12					Regular -5					Desfavorable -10
Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación		Ducamiento 0°-20° independient e del rumbo																																			
Dirección con el buzamiento	Dirección contra el buzamiento	Rumbo paralelo al eje de la excavación																																					
Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°																																			
Muy Favorable 0	Favorable -2	Regular -5	Desfavorable -10	Muy Desfavorable -12																																			
				Regular -5																																			
				Desfavorable -10																																			
RMR89 (Básico) = _____																																							
RMR89 (Corregido) = _____																																							
RMR'89 (Condiciones Secas) = _____																																							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0																																		
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																		
PLANO ADJUNTO : SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>																																							
OBSERVACIONES:																																							

DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO																																			
APELLIDOS Y NOMBRES: Zahid Borinzon Talledo Silva ESPECIALIDAD: Ingeniero geólogo C.I.P. N°: 141044				 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU Talledo Silva Zahid Borinzon Ingeniero-Geólogo CIP: 141044																																			

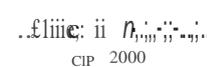
ESTACION	REGISTRO			PI-RO-UCV-001
	INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS			Revisión:
	SISTEMA DE CLASIFICACION GSI			Fecha :
				Página:
AUTOR:	Alexander Patsy Godoy Garcia			N° CORRELATIVO :
PROYECTO:	Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el metodo de elementos finitos para tunel de proceso constructivo O&B			FECHA:
PLANO REFERENCIA:				SECTOR:
DESCRIPCION DEL TRABAJO:				
PROGRESIVAS:				
PK INICIAL: _____ PK. FINAL: _____				
CONDICIONES GEOMECANICAS				
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO
1	N° fracturas por metro lineal			
2	N° de golpes con la picota			
3	Espaciamiento de discontinuidades			
4	Clasificación GSI			
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO				
GRAFICO DE OBSERVACIONES			GRAFICO DE UBICACION	
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>				
OBSERVACIONES:				
DATOS DEL ESPECIALISTA			FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: Zahid Borinzon Talledo Silva ESPECIALIDAD: Ingeniero geologo C.I.P. N°: 141044				

ESTACION	REGISTRO		PI-RD-UCV--001																																												
	INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS		Revisión:																																												
	SISTEMA DE CLASIFICACION RMR		Fecha:																																												
			Página:																																												
AUTOR:	Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO:																																												
PROYECTO:	Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para el túnel de proceso constructivo O&B		FECHA:																																												
PLANO REFERENCIA:			SECTOR:																																												
DESCRIPCION DEL TRABAJO:																																															
PROGRESIVAS:																																															
PK INICIAL: _____ PK, FINAL: _____																																															
ITEM	PARAMETROS		RANGO	VALOR																																											
1	Resistencia a la compresión uniaxial	MPa																																													
2	ROD (%)	RQD																																													
3	Espaciamiento de discontinuidades	cm																																													
4	Persistencia	long																																													
5	Abertura	mm																																													
6	Rugosidad																																														
7	Relleno	mm																																													
8	Alteración																																														
Orientación																																															
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Rumbo por alfiler de la línea de referencia</td> <td colspan="2">Rumbo por alfiler de la línea de referencia</td> <td colspan="2">Buzón de correo electrónico</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Dirección contorneada</td> <td colspan="2">Dirección contorneada</td> <td colspan="2">Dirección contorneada</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Círculo</td> <td colspan="2">Círculo</td> <td colspan="2">Círculo</td> </tr> <tr> <td colspan="2">45° - 0'</td> <td colspan="2">45° - 0'</td> <td colspan="2">45° - 0'</td> </tr> <tr> <td colspan="2">20° - 0'</td> <td colspan="2">20° - 0'</td> <td colspan="2">20° - 0'</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Muy Buena</td> <td colspan="2">Buena</td> <td colspan="2">Regular</td> </tr> <tr> <td colspan="2">0</td> <td colspan="2">-5</td> <td colspan="2">-10</td> </tr> </table>						Rumbo por alfiler de la línea de referencia		Rumbo por alfiler de la línea de referencia		Buzón de correo electrónico		Dirección contorneada		Dirección contorneada		Dirección contorneada		Círculo		Círculo		Círculo		45° - 0'		45° - 0'		45° - 0'		20° - 0'		20° - 0'		20° - 0'		Muy Buena		Buena		Regular		0		-5		-10	
Rumbo por alfiler de la línea de referencia		Rumbo por alfiler de la línea de referencia		Buzón de correo electrónico																																											
Dirección contorneada		Dirección contorneada		Dirección contorneada																																											
Círculo		Círculo		Círculo																																											
45° - 0'		45° - 0'		45° - 0'																																											
20° - 0'		20° - 0'		20° - 0'																																											
Muy Buena		Buena		Regular																																											
0		-5		-10																																											
RMR89 (Banco)																																															
RMR89 (Corregido)																																															
RMR89 (Condiciones Secas)																																															
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0																																										
DESCRIPCION	I MUYBUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUYMALA																																										
PLANO ADJUNTO:	SI CJ NO CJ																																														
OBSERVACIONES:																																															
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>																																															
DATOS DEL ESPECIALISTA			FIRMA Y BELLO																																												
APELLIDOS y NOMBRES: Margarita Luisa Bozs Olsechss ESPECIALIDAD: Ingeniero Civil C.I.P. N°: 80500			 ING ENIERO CIVIL CIP. 80500																																												

ESTACIÓN	REGISTRO		PI-RD-UCV-001						
	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión:						
	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q		Fecha:						
			Página						
AUTOR:	Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO:						
PROYECTO:	Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA:						
PIA NO REFERENCIA:			SECTOR:						
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:									
PROGRESIVAS:									
PK INICIAL: _____ PK. FINAL: _____									
ITEM	PARAMETROS		RAH GO	VALOR					
1	ROD%		RQD						
2	Numero de discontinuidades		Jn						
3	Numero de rugosidad		Jr						
4	Numero de alteración		Ja						
5	Numero de agua subterránea		Jw						
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)		SRF						
DATOS DE CAMPO :									
$Q = \frac{RQD}{11} \cdot \frac{J_n}{J_r} \cdot \frac{J_a}{SRF}$									
Q	100-400	4(1)0	100-10	4(1)0	0,0	HO	,0,1	0,0,01	001001
DESCRIPCIÓN	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTIENDE A BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE
PLANO ADJUNTO:					SI	CJ	NO	[:=J	
OBSERVACIONES:					<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>				
DATOS DEL ESPECIALISTA					FIRMA Y SELLO				
APELLIDOS Y NOMBRES: Margarita Luisa Baza Otaechee ESPECIALIDAD: Ingeniero Civil C.I.P. N° : 80500					 J. Loza Otaechee INGENIERO CIVIL CIP : 80500				

ESTACION	REGISTRO			PI-RD-UCV-001
	INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS			Revisión:
	SISTEMA DE CLASIFICACION GSI			Fecha :
				Página:
AUTOR:	Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO :	
PROYECTO:	Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA:	
PLANO REFERENCIA:			SECTOR:	
DESCRIPCION DEL TRABAJO:				
PROGRESIVAS:				
PK INICIAL: _____ PK. FINAL: _____				
CONDICIONES GEOMECANICAS				
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO
1	N° fracturas por metro lineal			
2	N° de golpes con la picota			
3	Espaciamiento de discontinuidades			
4	Clasificación GSI			
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO				
GRAFICO DE OBSERVACIONES		GRAFICO DE UBICACION		
PLANO AOJUNTO: SI C=J NO C=J				
OBSERVACIONES:				
DATOS DEL ESPECIALISTA			FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: Margarita Luisa Boza Olaechea				
ESPECIALIDAD: Ingeniero Civil				
C.I.P. N° : 80500			 Margarita Illoza Ofaeclwa INGENIERA CIVIL CIP. 80500	

ESTACION	REGISTRO			PI-RD-UCV-001
	INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS			Revision:
	SISTEMA DE CLASIFICACION GSI			Fecha:
				Pagina:
AUTOR:	Alexander Patsy Godoy Garcia			N° CORRELATIVO:
PROYECTO:	Evaluaci6n del diseio de sostenimiento utilizando el metodo de elementos finites para tunel de proceso constructivo D&B			FECHA:
PLANO REFERENCIA:				SECTOR:
DESCRIPCION DEL TRABAJO:				
PROGRESIVAS:				
PK.INICIAL _____ PK.FINAL _____				
CONDICIONES GEOMECANICAS				
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO
1	N° fracturas por metro lineal			
2	N° de golpes con la picota			
3	Espaciamiento de discontinuidades			
4	Clasificaci6n GSI			
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO				
GRAFICO DE OBSERVACIONES			GRAFICO DE UBICACION	
PLANO ADJUNTO: SI C=J NO C=J				
OBSERVACIONES:				

DATOS DEL ESPECIALISTA			FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: Elmer Efrain Chilen Minehan ESPECIALIDAD: Ingeniero Civil C.I.P. N°: 192960				

ANEXO 5.

Cálculo De según valores ESR, Barton (1974)

Valores de ESR, BARTON (1974)		
Categoría de excavaciones	Descripción	ESR
A	Excavaciones mineras temporales	3 - 5
B	Aberturas mineras permanentes, túneles de agua para hidroeléctricas (Excluyendo conductos forzados de alta presión), túneles, galerías y socavones para grandes excavaciones.	1.6
C	Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles carreteros y ferrocarrileros menores, cámaras de equilibrio, túneles de acceso	1.3
D	Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel	1.0
E	Estaciones nucleoeeléctricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas	0.80

Se tomará la categoría de excavación tipo B, el cual está determinado al tipo de proyecto, está representado por túneles de desviación de caudal para la central hidroeléctrica Cheves. El cálculo se realizará bajo la siguiente fórmula en la valoración según Barton:

Ancho o altura de la sección / ESR

$$7.3 / 1.6 = 4.56$$

Este valor se tomará para determinar el tipo de sostenimiento según el ábaco de Barton en cual se observa en la figura 28.

Mapeo geomecánico según Q de Barton

Implementando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q de 0.27 y un H/ESR de 4.56, proponiendo colocación de hormigón proyectado con fibras, 90 – 120 mm y bulonado, S (fr) + B.

Propiedades mecánicas con el software RocData Estación 1

Para el análisis de resistencia de la roca utilizaremos el criterio según Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb. Obteniendo los siguientes resultados.

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 145 MPa
GSI = 52 m_i = 20 Disturbance factor = 0
intact modulus (E_i) = 54375 MPa
modulus ratio (MR) = 375

Hoek-Brown Criterion

m_b = 3.602 s = 0.0048 a = 0.505

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 2.285 MPa friction angle = 54.27 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.194 MPa
uniaxial compressive strength = 9.810 MPa
global strength = 36.803 MPa
modulus of deformation = 18802.52 MPa

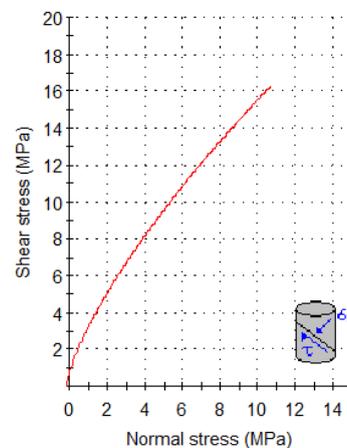
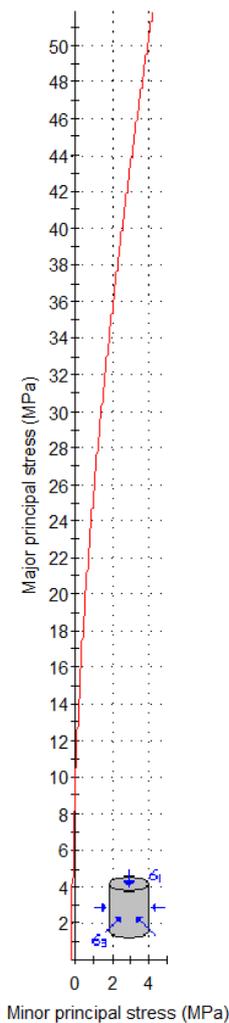


Tabla 25. Mapeo geomecánico según Q prog. 0+000.00 @ 0+030.00 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO			PI-RD-UCV-001	
E1		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS			Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q			Fecha: 08/10/2020	
					Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia			N° CORRELATIVO: QDB-CHC-001	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B			FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 001			SECTOR: 1	
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología Q de Barton						
LITOLÓGIA: Tonalita						
PROGRESIVAS:						
PK INICIAL: 0+000.00 Km PK. FINAL: 0+003.00 Km						
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR	
1	RQD %			RQD	65%	65
2	Número de discontinuidades			Jn	Tres sistemas principales y uno secundario	12
3	Número de rugosidad			Jr	Lisas y planares	1
4	Número de alteración			Ja	Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas	4
5	Número de agua subterránea			Jw	Secos o flujos bajos (5 l/min)	1
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)			SRF	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente	5
$Q = (RQD/Jn) \times (Jr / Ja) \times (Jw / SRF)$					Q = 0.27	
$Q' = (RQD/Jn) \times (Jr / Ja)$					Q' = 1.35	
DATOS DE CAMPO :					RMR = 9 Ln Q + 44	
$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$					RMR' = 9 Ln Q' + 44	
					32	
					47	
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-1.0
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE
						MUY POBRE
						EXTREMADAMENTE POBRE
						EXCEPCIONALMENTE POBRE
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>						
OBSERVACIONES:						
Utilizando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q podemos indicar un ESR de 1.6 al ser un túnel para una central hidroeléctrica es por ello que se aplicara la fórmula H/ESR teniendo un valor de 4.56 y teniendo un valor de Q de 0.27 se propone hormigon proyectado con fibras, 90 - 120 mm y bulonado, S (fr) + B.						
DATOS DEL ESPECIALISTA					FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					 Talledo Silva Zahid Borinzen Ingeniero Geólogo CIP: 141044	

Fuente: Statkraft Perú

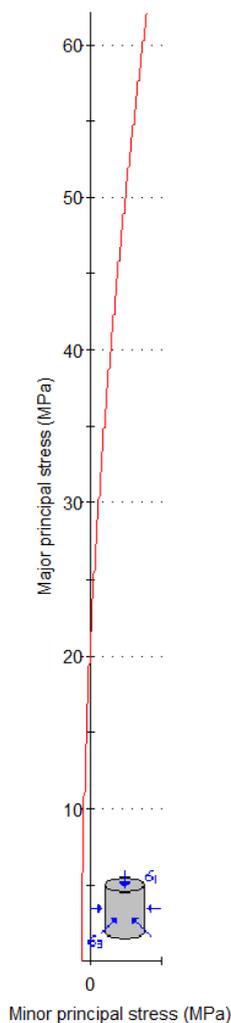
Mapeo geomecánico según Q de Barton Estación 2

Implementando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q de 9.63 y un H/ESR de 4.56, proponiendo colocación de bulonado sistemático con una separación de 2.0 x 2.0 m sin hormigón proyectado.

Propiedades mecánicas con el software RocData Estación 2

Para el análisis de resistencia de la roca utilizaremos el criterio según Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb. Obteniendo los siguientes resultados.

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 145 MPa
GSI = 69 m_i = 19 Disturbance factor = 0.3
intact modulus (Ei) = 79750 MPa
modulus ratio (MR) = 550

Hoek-Brown Criterion

m_b = 5.165 s = 0.0218 a = 0.501

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 3.236 MPa friction angle = 56.81 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.611 MPa
uniaxial compressive strength = 21.275 MPa
global strength = 46.334 MPa
modulus of deformation = 42326.47 MPa

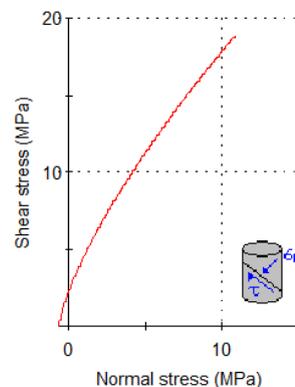


Tabla 26. Mapeo geomecánico según Q prog. 0+898.00 @ 0+901.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO			PI-RD-UCV-001	
E2		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS			Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q			Fecha: 08/10/2020	
					Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia			N° CORRELATIVO: QDB-CHC-002	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B			FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 002			SECTOR: 1	
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología Q de Barton						
LITOLÓGIA: Hornfels Andesítico						
PROGRESIVAS:						
PK INICIAL: 0+898.00 Km PK. FINAL: 0+901.20 Km						
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR	
1	RQD %	RQD		65%	65	
2	Número de discontinuidades	Jn		Tres sistemas de discontinuidades	9	
3	Número de rugosidad	Jr		Lisas, ondulares	2	
4	Número de alteración	Ja		Superficies ligeramente alteradas.	1.5	
5	Número de agua subterránea	Jw		Secos o flujos bajos (5 l/min)	1	
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF		Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Favorable para la estabilidad.	1	
Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF)					Q = 9.63	
Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja)					Q' = 9.63	
DATOS DE CAMPO :					RMR = 9 Ln Q + 44	
					64	
					RMR' = 9 Ln Q' + 44	
					64	
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-1.0
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE
						MUY POBRE
						EXTREMADAMENTE POBRE
						EXCEPCIONALMENTE POBRE
						REGULAR
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>						
OBSERVACIONES:						
<p>Utilizando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q podemos indicar un ESR de 1.6 al ser un túnel para una central hidroeléctrica es por ello que se aplicara la fórmula H/ESR teniendo un valor de 4.56 y teniendo un valor de Q de 9.63 se propone bulonado sistemático 2.0 x 2.0 m sin hormigón proyectado.</p>						
DATOS DEL ESPECIALISTA					FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044						

Fuente: Statkraft Perú

Mapeo geomecánico según Q de Barton Estación 3

Implementando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q de 21.67 y un H/ESR de 4.56, proponiendo colocación de bulonado sistemático con una separación de 2.0 x 2.0 m sin hormigón proyectado.

Análisis tenso – deformacional con el software RocData Estación 3

Para el análisis de resistencia de la roca utilizaremos el criterio según Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb. Obteniendo los siguientes resultados.

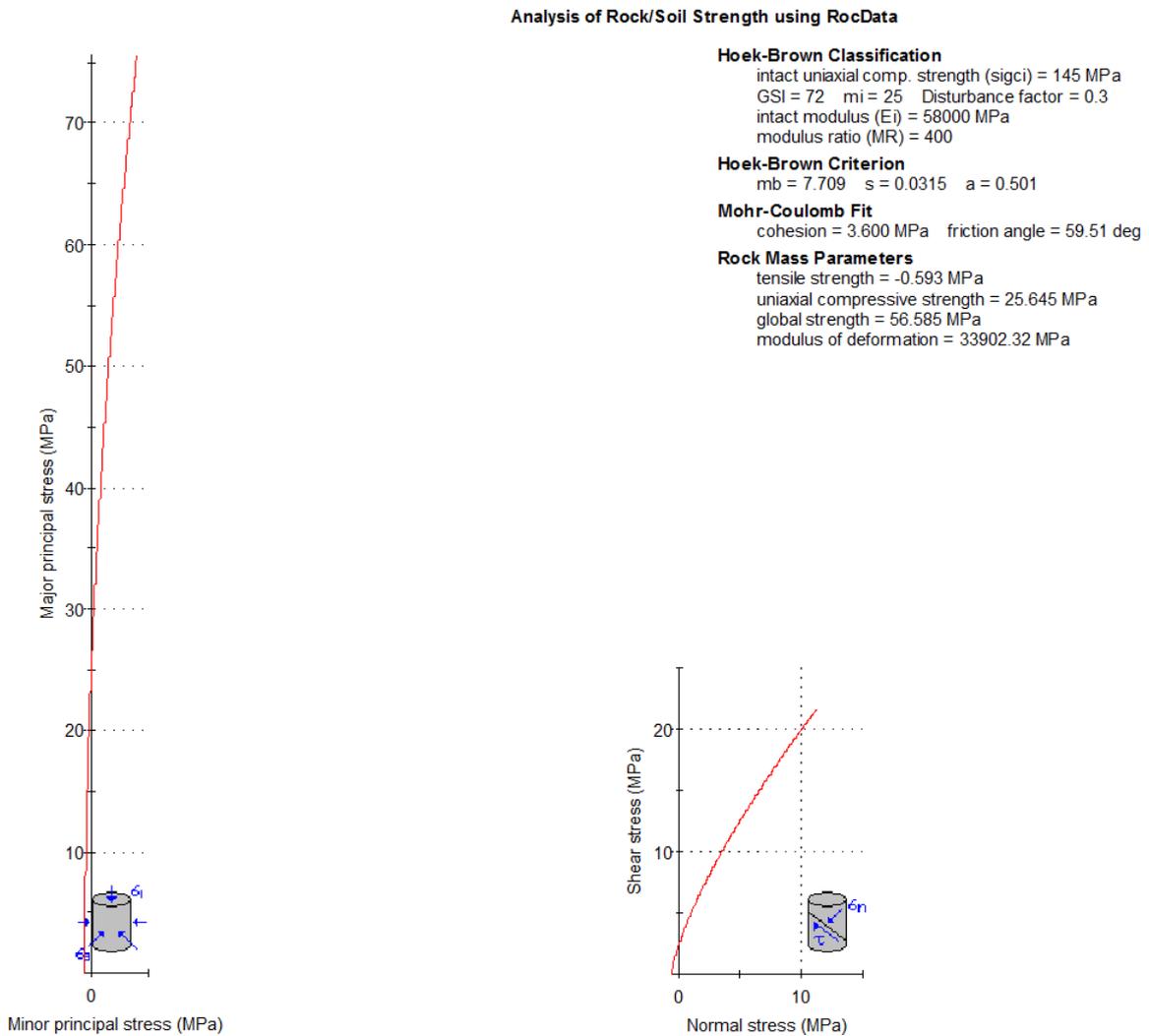


Tabla 27. Mapeo geomecánico según Q prog. 1+107.10 @ 1+110.40 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001						
E3		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1						
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q		Fecha: 08/10/2020						
				Página: 1 de 1						
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: QDB-CHC-003						
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020						
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 003		SECTOR: 1						
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología Q de Barton										
LITOLOGÍA: Andesita										
PROGRESIVAS:										
PK INICIAL:		1+107.10 Km		PK. FINAL: 1+110.40 Km						
ITEM	PARAMETROS		RANGO	VALOR						
1	RQD %	RQD	65%	65						
2	Número de discontinuidades	Jn	Dos sistemas principales y uno secundario	6						
3	Número de rugosidad	Jr	Lisas, onduladas	2						
4	Número de alteración	Ja	Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación	1						
5	Número de agua subterránea	Jw	Secas o flujos bajos (5 l/min)	1						
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF	Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables	1						
Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF)				Q = 21.67						
Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja)				Q' = 21.67						
DATOS DE CAMPO :				RMR = 9 Ln Q + 44						
				72						
				RMR' = 9 Ln Q' + 44						
				72						
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4	4-10	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001	BUENA
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	
PLANO ADJUNTO :		SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:										
<p>Utilizando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q podemos indicar un ESR de 1.6 al ser un túnel para una central hidroeléctrica es por ello que se aplicara la fórmula H/ESR teniendo un valor de 4.56 y teniendo un valor de Q de 21.67 se propone bulones sistemáticos con una separación de 2.00 x 2.00 m sin hormigon proyectado.</p>										
DATOS DEL ESPECIALISTA								FIRMA Y SELLO		
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044										

Fuente: Statkraft Perú

Maapeo geomecánico según Q de Barton Estación 4

Implementando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q de 6.22 y un H/ESR de 4.56, proponiendo colocación de bulonado sistemático con una separación de 1.5 x 1.5 m sin hormigón proyectado.

Propiedades mecánicas con el software RocData Estación 4

Para el análisis de resistencia de la roca utilizaremos el criterio según Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb. Obteniendo los siguientes resultados.

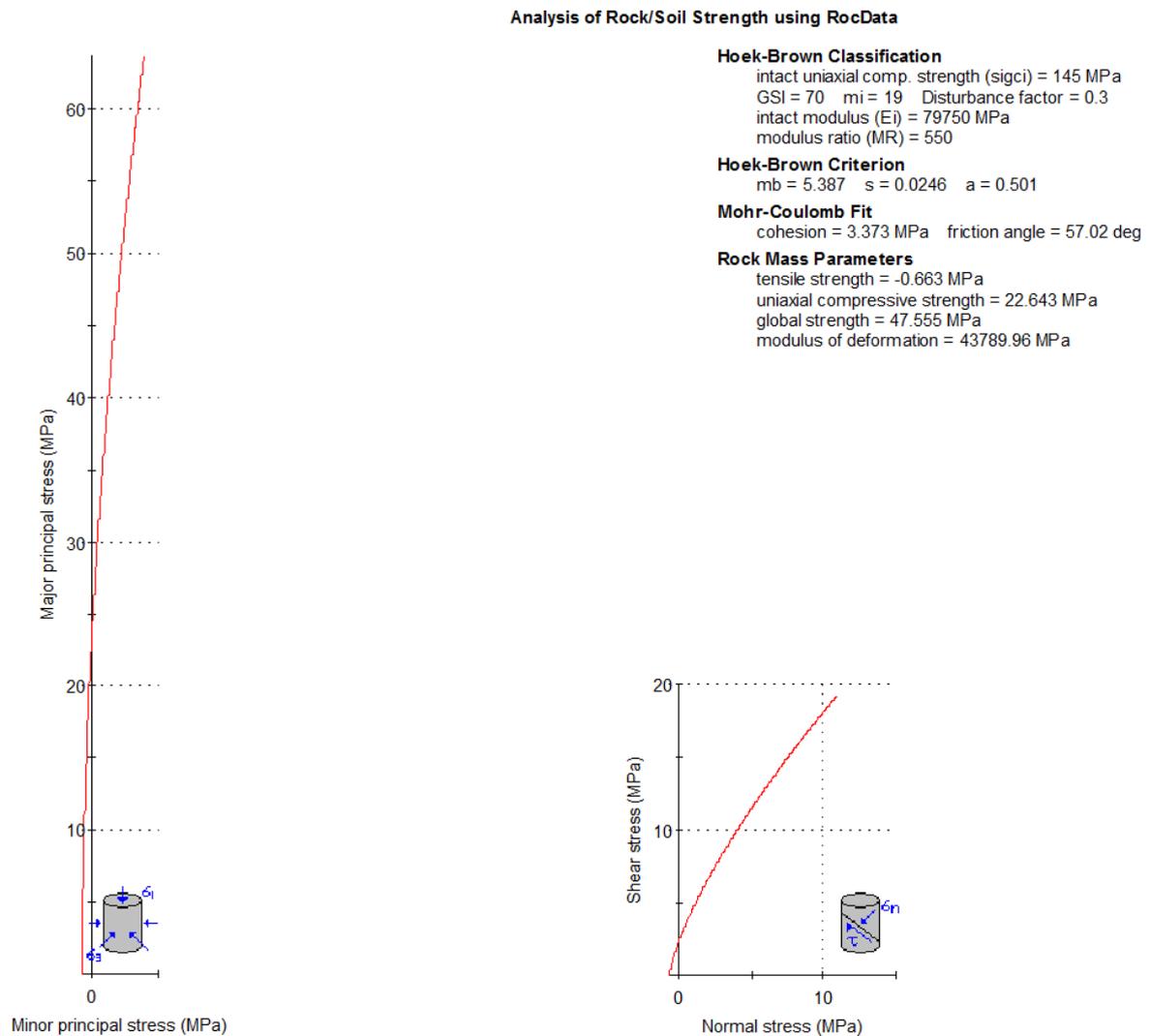


Tabla 28. Mapeo geomecánico según Q prog. 1+144.70 @ 1+148.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO			PI-RD-UCV-001					
E4		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS			Revisión: 1					
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q			Fecha: 08/10/2020					
					Página: 1 de 1					
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia			N° CORRELATIVO: QDB-CHC-004					
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B			FECHA: 08/10/2020					
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 004			SECTOR: 1					
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología Q de Barton										
LITOLÓGIA: Hornfels Andesita										
PROGRESIVAS:										
PK INICIAL: 1+144.70 Km PK. FINAL: 1+148.20 Km										
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR					
1	RQD %			RQD	70%	70				
2	Número de discontinuidades			Jn	Tres sistemas de discontinuidades	9				
3	Número de rugosidad			Jr	Lisas, onduladas	2				
4	Número de alteración			Ja	Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación	1				
5	Número de agua subterránea			Jw	Secas o flujos bajos (5 l/min)	1				
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)			SRF	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada.	2.5				
Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF)					Q =	6.22				
Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja)					Q' =	15.56				
DATOS DE CAMPO :					RMR = 9 Ln Q + 44	60				
					RMR' = 9 Ln Q' + 44	69				
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-1.0	1-0.1	0.1-0.01	0.01-0.001	REGULAR
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>										
OBSERVACIONES:										
<p>Utilizando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q podemos indicar un ESR de 1.6 al ser un túnel para una central hidroeléctrica es por ello que se aplicara la fórmula H/ESR teniendo un valor de 4.56 y teniendo un valor de Q de 6.22 se propone bulones sistemáticos con una separacion de 1.5 x 1.5 m sin hormigón proyectado.</p>										
DATOS DEL ESPECIALISTA								FIRMA Y SELLO		
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044										

Fuente: Statkraft Perú

Maapeo geomecánico según Q de Barton Estación 5

Implementando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q de 3.56 y un H/ESR de 4.56, proponiendo colocación de bulonado sistemático con hormigón proyectado. 40 – 100 mm, B+S.

Análisis tenso – deformacional con el software RocData Estación 5

Para el análisis de resistencia de la roca utilizaremos el criterio según Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb. Obteniendo los siguientes resultados.

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 145 MPa
GSI = 77 m_i = 25 Disturbance factor = 0.3
intact modulus (E_i) = 58000 MPa
modulus ratio (MR) = 400

Hoek-Brown Criterion

m_b = 9.511 s = 0.0585 a = 0.501

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 4.463 MPa friction angle = 60.45 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.891 MPa
uniaxial compressive strength = 34.981 MPa
global strength = 64.603 MPa
modulus of deformation = 38480.66 MPa

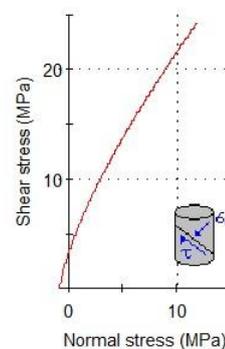
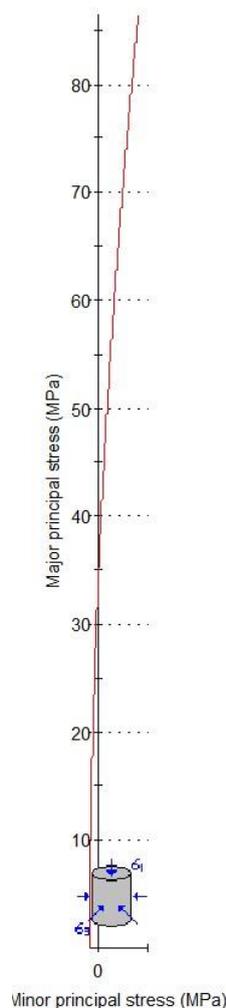


Tabla 29. Mapeo geomecánico según Q prog. 1+165.60 @ 1+169.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO			PI-RD-UCV-001					
E5		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS			Revisión: 1					
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q			Fecha: 08/10/2020					
					Página: 1 de 1					
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia			N° CORRELATIVO: QDB-CHC-005					
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B			FECHA: 08/10/2020					
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 005			SECTOR: 1					
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología Q de Barton										
LITOLOGÍA: Andesita										
PROGRESIVAS:										
PK INICIAL: 1+165.60 Km PK. FINAL: 1+169.20 Km										
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR					
1	RQD %			RQD	80%	80				
2	Número de discontinuidades			Jn	Tres sistemas de discontinuidades	9				
3	Número de rugosidad			Jr	Lustrosas ondulantes	1.5				
4	Número de alteración			Ja	Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación	1.5				
5	Número de agua subterránea			Jw	Secas o flujos bajos (5 l/min)	1				
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)			SRF	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada.	2.5				
Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF)					Q =	3.56				
Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja)					Q' =	8.89				
DATOS DE CAMPO :					RMR = 9 Ln Q + 44	55				
					RMR' = 9 Ln Q' + 44	64				
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-10	1-0.1	0.1-0.01	0.01-0.001	POBRE
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>										
OBSERVACIONES:										
<p>Utilizando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q podemos indicar un ESR de 1.6 al ser un túnel para una central hidroeléctrica es por ello que se aplicara la fórmula H/ESR teniendo un valor de 4.56 y teniendo un valor de Q de 3.56 se propone bulonado sistemático con hormigon proyectado. 40 - 100 mm, B+S.</p>										
DATOS DEL ESPECIALISTA						FIRMA Y SELLO				
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044										

Fuente: Statkraft Perú

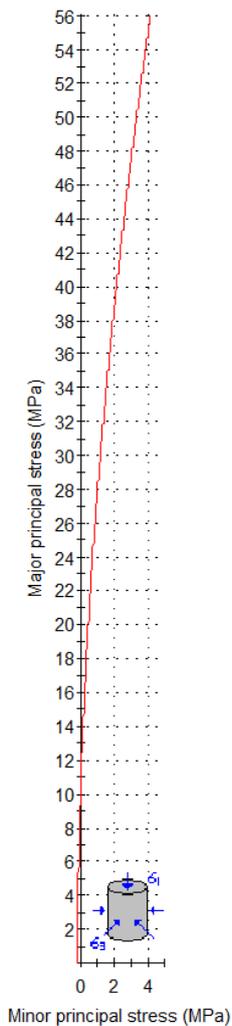
Mapeo geomecánico según Q de Barton Estación 6

Implementando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q de 0.72 y un H/ESR de 4.56, proponiendo colocación de hormigón proyectado con fibras, 50 – 90 mm y bulonado S (fr) + B.

Análisis tenso – deformacional con el software RocData Estación 6

Para el análisis de resistencia de la roca utilizaremos el criterio según Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb. Obteniendo los siguientes resultados.

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 108 MPa
GSI = 59 m_i = 25 Disturbance factor = 0
intact modulus (E_i) = 43200 MPa
modulus ratio (MR) = 400

Hoek-Brown Criterion

m_b = 5.781 s = 0.0105 a = 0.503

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 2.398 MPa friction angle = 55.80 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.196 MPa
uniaxial compressive strength = 10.918 MPa
global strength = 35.220 MPa
modulus of deformation = 21482.86 MPa

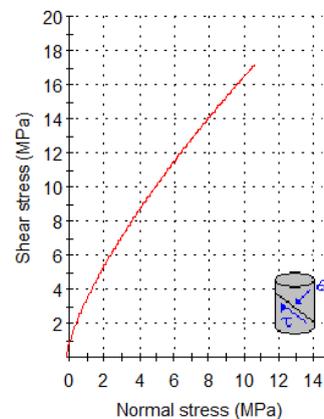


Tabla 30. Mapeo geomecánico según Q prog. 1+194.60 @ 1+198.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001						
E6		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1						
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q		Fecha: 08/10/2020						
				Página: 1 de 1						
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: QDB-CHC-006						
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020						
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 006		SECTOR: 1						
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología Q de Barton										
LITOLÓGIA: Dacita										
PROGRESIVAS:										
PK INICIAL:		1+194.60 Km		PK. FINAL: 1+198.20 Km						
ITEM	PARAMETROS		RANGO	VALOR						
1	RQD %	RQD	65%	65						
2	Número de discontinuidades	Jn	Tres sistemas principales y uno secundario	12						
3	Número de rugosidad	Jr	Lisas, planares.	1						
4	Número de alteración	Ja	Superficie ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso.	2						
5	Número de agua subterránea	Jw	Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno	0.66						
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)	SRF	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada.	2.5						
Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF)				Q = 0.72						
Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja)				Q' = 2.71						
DATOS DE CAMPO :				RMR = 9 Ln Q + 44						
				41						
				RMR' = 9 Ln Q' + 44						
				53						
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-1.0	1-0.1	0.1-0.01	0.01-0.001	MUY POBRE
DESCRIPCIÓN	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	
PLANO ADJUNTO :		SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:										
<p>Utilizando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q podemos indicar un ESR de 1.6 al ser un túnel para una central hidroeléctrica es por ello que se aplicara la fórmula H/ESR teniendo un valor de 4.56 y teniendo un valor de Q de 0.72 se propone hormigón proyectado con fibras, 50 - 90 mm y bulonado S (fr) + B.</p>										
DATOS DEL ESPECIALISTA								FIRMA Y SELLO		
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044										

Fuente: Statkraft Perú

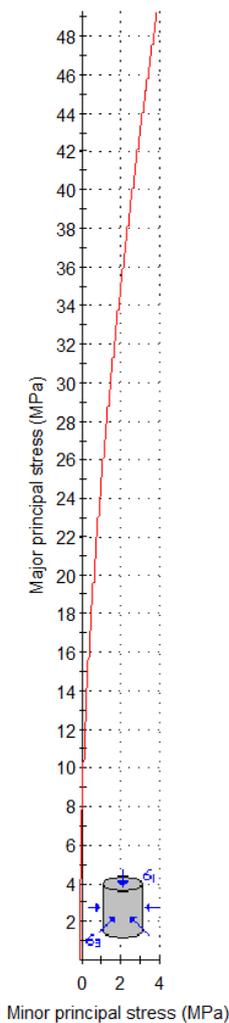
Mapeo geomecánico según Q de Barton Estación 7

Implementando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q de 0.60 y un H/ESR de 4.56, proponiendo colocación de hormigón proyectado con fibras, 50 – 90 mm y bulonado S (fr) + B.

Análisis tenso – deformacional con el software RocData Estación 7

Para el análisis de resistencia de la roca utilizaremos el criterio según Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb. Obteniendo los siguientes resultados.

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 108 MPa
GSI = 54 m_i = 25 Disturbance factor = 0
intact modulus (E_i) = 43200 MPa
modulus ratio (MR) = 400

Hoek-Brown Criterion

m_b = 4.836 s = 0.0060 a = 0.504

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 2.073 MPa friction angle = 55.07 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.135 MPa
uniaxial compressive strength = 8.202 MPa
global strength = 31.825 MPa
modulus of deformation = 16714.93 MPa

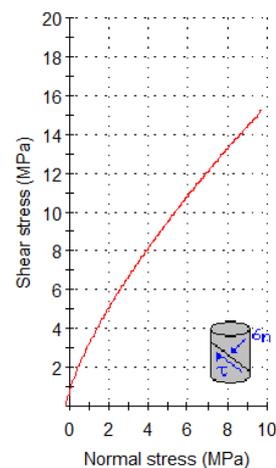


Tabla 31. Mapeo geomecánico según Q prog. 1+238.20 @ 1+242.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001						
E7		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1						
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q		Fecha: 08/10/2020						
				Página: 1 de 1						
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: QDB-CHC-007						
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020						
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 007		SECTOR: 1						
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología Q de Barton										
LITOLOGÍA: Andesita Dacita										
PROGRESIVAS: PK INICIAL: 1+238.20 Km PK. FINAL: 1+242.20 Km										
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR					
1	RQD %		RQD	45%	45					
2	Número de discontinuidades		Jn	Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada)	15					
3	Número de rugosidad		Jr	Lisas, onduladas.	2					
4	Número de alteración		Ja	Capas superficiales de arcilla (colinita, mica cloritas, etc)	4					
5	Número de agua subterránea		Jw	Secas o flujos bajos (5 l/min)	1					
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)		SRF	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada.	2.5					
$Q = (RQD/Jn) \times (Jr / Ja) \times (Jw / SRF)$					Q = 0.60					
$Q' = (RQD/Jn) \times (Jr / Ja)$					Q' = 1.50					
DATOS DE CAMPO :					39					
$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$					48					
RMR = 9 Ln Q + 44										
RMR' = 9 Ln Q' + 44										
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-1.0	1-0.1	0.1-0.01	0.01-0.001	MUY POBRE
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	
PLANO ADJUNTO :		SI <input checked="" type="checkbox"/>		NO <input type="checkbox"/>						
OBSERVACIONES:										
<p>Utilizando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q podemos indicar un ESR de 1.6 al ser un túnel para una central hidroeléctrica es por ello que se aplicara la fórmula H/ESR teniendo un valor de 4.56 y teniendo un valor de Q de 0.87 se propone hormigon proyectado con fibras, 50 - 90 mm y bulonado S (fr) + B.</p>										
DATOS DEL ESPECIALISTA								FIRMA Y SELLO		
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044										

Fuente: Statkraft Perú

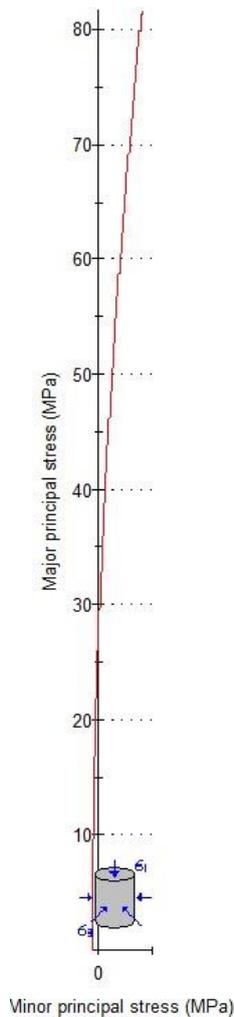
Maapeo geomecánico según Q de Barton Estación 8

Implementando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q de 3.30 y un H/ESR de 4.56, proponiendo colocación de bulonado sistemático con hormigón proyectado, 40 – 100 mm, B+S.

Análisis tenso – deformacional con el software RocData Estación 8

Para el análisis de resistencia de la roca utilizaremos el criterio según Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb. Obteniendo los siguientes resultados.

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 200 MPa
GSI = 68 m_i = 25 Disturbance factor = 0.3
intact modulus (E_i) = 80000 MPa
modulus ratio (MR) = 400

Hoek-Brown Criterion

m_b = 6.517 s = 0.0192 a = 0.502

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 3.759 MPa friction angle = 60.44 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.591 MPa
uniaxial compressive strength = 27.571 MPa
global strength = 70.600 MPa
modulus of deformation = 40963.91 MPa

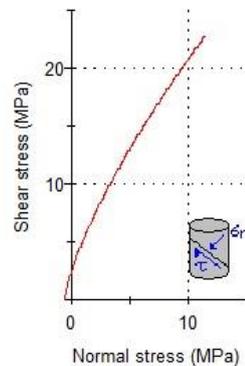


Tabla 32. Mapeo geomecánico según Q prog. 1+297.70 @ 1+301.40 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001						
E8		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1						
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q		Fecha: 08/10/2020						
				Página: 1 de 1						
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO: QDB-CHC-008						
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020						
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 008		SECTOR: 1						
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología Q de Barton										
LITOLÓGIA: Traquita Andesita										
PROGRESIVAS:										
PK INICIAL:		1+297.70 Km		PK. FINAL: 1+301.40 Km						
ITEM	PARAMETROS			RANGO	VALOR					
1	RQD %		RQD	75%	75					
2	Número de discontinuidades		Jn	Tres sistemas de discontinuidades	9					
3	Número de rugosidad		Jr	Rugosas o irregulares, planares	1.5					
4	Número de alteración		Ja	Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación.	1					
5	Número de agua subterránea		Jw	Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno	0.66					
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)		SRF	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada.	2.5					
Q = (RQD/Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF)					Q = 3.30					
Q' = (RQD/Jn) x (Jr / Ja)					Q' = 12.50					
DATOS DE CAMPO :					55					
$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$					67					
RMR = 9 Ln Q + 44										
RMR' = 9 Ln Q' + 44										
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-10	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001	POBRE
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE	
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>										
OBSERVACIONES:										
<p>Utilizando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q podemos indicar un ESR de 1.6 al ser un túnel para una central hidroeléctrica es por ello que se aplicara la fórmula H/ESR teniendo un valor de 4.56 y teniendo un valor de Q de 3.30 se propone colocar bulonado sistemático con hormigon proyectado, 40 - 100 mm, B+S.</p>										
DATOS DEL ESPECIALISTA								FIRMA Y SELLO		
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044										

Fuente: Statkraft Perú

Maapeo geomecánico según Q de Barton Estación 9

Implementando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q de 1.28 y un H/ESR de 4.56, proponiendo colocación de bulonado sistemático con hormigón proyectado, 40 – 100 mm, B+S.

Análisis tenso – deformacional con el software RocData Estación 9

Para el análisis de resistencia de la roca utilizaremos el criterio según Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb. Obteniendo los siguientes resultados.

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 200 MPa
GSI = 54 m_i = 25 Disturbance factor = 0
intact modulus (Ei) = 80000 MPa
modulus ratio (MR) = 400

Hoek-Brown Criterion

m_b = 4.836 s = 0.0060 a = 0.504

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 2.738 MPa friction angle = 58.97 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.249 MPa
uniaxial compressive strength = 15.189 MPa
global strength = 58.936 MPa
modulus of deformation = 30953.57 MPa

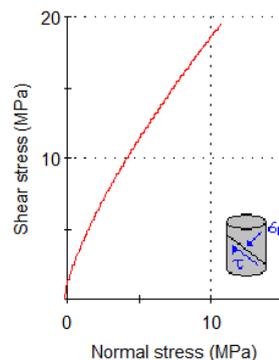
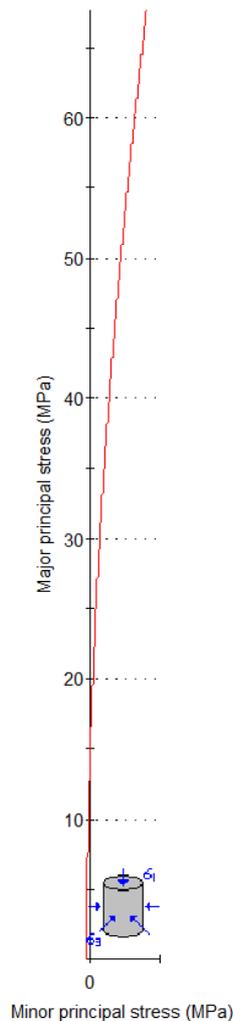
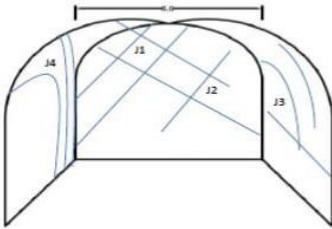


Tabla 33. Mapeo geomecánico según Q prog. 1+999.60 @ 2+003.00 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO			PI-RD-UCV-001				
E9		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS			Revisión: 1				
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Q			Fecha: 08/10/2020				
					Página: 1 de 1				
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia			N° CORRELATIVO: QDB-CHC-009				
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B			FECHA: 08/10/2020				
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 009			SECTOR: 1				
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología Q de Barton									
LITOLOGÍA: Andesita									
PROGRESIVAS:									
PK INICIAL: 1+999.60 Km PK. FINAL: 2+003.00 Km									
ITEM	PARAMETROS				RANGO			VALOR	
1	RQD %			RQD	35%			35	
2	Número de discontinuidades			Jn	Tres sistemas de discontinuidades			9	
3	Número de rugosidad			Jr	Lisas, ondulares			2	
4	Número de alteración			Ja	Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso.			2	
5	Número de agua subterránea			Jw	Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno			0.66	
6	Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)			SRF	Zona de falla aislada en roca competente.			2	
$Q = (RQD/Jn) \times (Jr / Ja) \times (Jw / SRF)$								Q = 1.28	
$Q' = (RQD/Jn) \times (Jr / Ja)$								Q' = 3.89	
DATOS DE CAMPO :								RMR = 9 Ln Q + 44	
$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$								RMR' = 9 Ln Q' + 44	
								46	
								56	
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4.0	4-1.0	1-0.1	0.1-0.01	0.01-0.001
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE
POBRE									
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>									
OBSERVACIONES:									
<p>Utilizando la categoría de sostenimiento estimada basadas en el índice de calidad tunelera Q podemos indicar un ESR de 1.6 al ser un túnel para una central hidroeléctrica es por ello que se aplicara la fórmula H/ESR teniendo un valor de 4.56 y teniendo un valor de Q de 1.28 se propone colocar bulonado sistemático con hormigón proyectado, 40 - 100 mm, B + S.</p>									
DATOS DEL ESPECIALISTA								FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044									

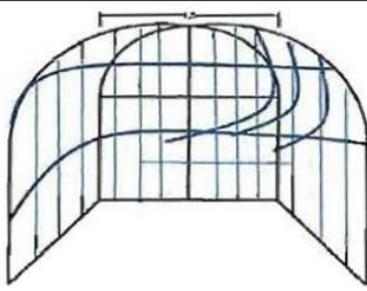
Fuente: Statkraft Perú

Tabla 34. Mapeo geomecánico según GSI prog. 0+000.00 @ 0+003.00 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E1		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO : GSI-CHC-001	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 001		SECTOR: 1	
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología GSI					
LITOLOGÍA: Tonalita					
PROGRESIVAS:					
PK INICIAL:		0+000.00 Km		PK. FINAL: 0+003.00 Km	
CONDICIONES GEOMECAICAS					
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO	
1	N° fracturas por metro lineal	10	10	9	
2	N° de golpes con la picota	2	2	2	
3	Espaciamiento de discontinuidades	6 a 12	6 a 12	6 a 12	
4	Clasificación GSI	F/R	F/R	F/R	
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO					
GRÁFICO DE OBSERVACIONES			GRÁFICO DE UBICACIÓN		
					
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:					
<p>Según la recomendación de sostenimiento según la metodología de GSI se colocará pernos sistemáticos</p> <p>1.50 x 1.50 m. (malla o cinta ocasional)</p>					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					

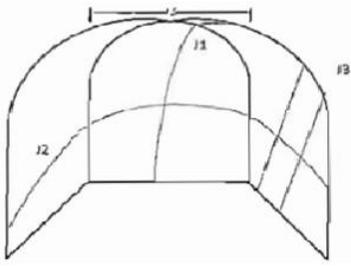
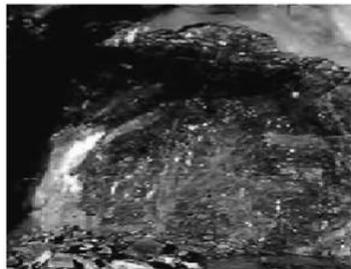
Fuente: Statkraft Perú

Tabla 35. Mapeo geomecánico según GSI prog. 0+898.00 @ 0+901.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E9		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO : GSI-CHC-009	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 009		SECTOR: 1	
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología GSI					
LITOLOGÍA: Andesita					
PROGRESIVAS:					
PK INICIAL: 1+999.60 Km		PK. FINAL: 2+003.00 Km			
CONDICIONES GEOMECÁNICAS					
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO	
1	N° fracturas por metro lineal	22	22	22	
2	N° de golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes con la picota	
3	Espaciamiento de discontinuidades	95	95	95	
4	Clasificación GSI	IF/R	IF/R	IF/R	
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO					
GRÁFICO DE OBSERVACIONES			GRÁFICO DE UBICACIÓN		
					
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:					
<p>Según la recomendación de sostenimiento según la metodología de GSI se colocará pernos sistemáticos 1.0 x 1.0 m más malla de refuerzo obligatoria. (Shotcrete 5.0 cm sin fibra).</p>					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					

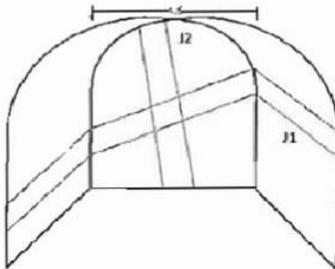
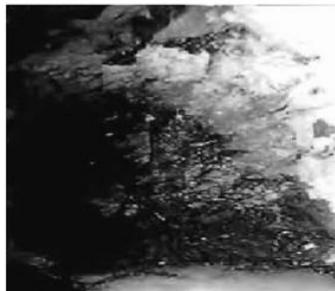
Fuente: Statkraft Perú

Tabla 36. Mapeo geomecánico según GSI prog. 1+107.10 @ 1+110.40 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E3		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO : GSI-CHC-003	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 003		SECTOR: 1	
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:		Clasificación geomecánica según la metodología GSI			
LITOLOGÍA:		Andesita			
PROGRESIVAS:		PK INICIAL: <u>1+107.10 Km</u> PK. FINAL: <u>1+110.40 Km</u>			
CONDICIONES GEOMECÁNICAS					
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO	
1	N° fracturas por metro lineal	12	13	12	
2	N° de golpes con la picota	Se rompe con varios golpes	Se rompe con varios golpes	Se rompe con varios golpes	
3	Espaciamiento de discontinuidades	110	110	110	
4	Clasificación GSI	MF/B	MF/B	MF/B	
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO					
GRÁFICO DE OBSERVACIONES			GRÁFICO DE UBICACIÓN		
					
PLANO ADJUNTO :		SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES:					
Según la recomendación de sostenimiento según la metodología de GSI se colocará pernos sistemáticos de 1.50 x 1.50 m (malla o cinta ocasional).					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					

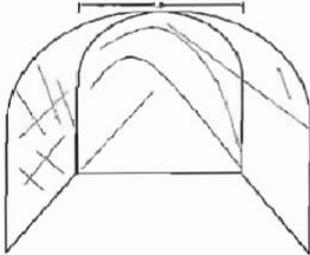
Fuente: Statkraft Perú

Tabla 37. Mapeo geomecánico según GSI prog. 1+144.70 @ 1+148.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E4		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO : GSI-CHC-004	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 004		SECTOR: 1	
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:		Clasificación geomecánica según la metodología GSI			
LITOLOGÍA:		Hornfels Andesita			
PROGRESIVAS:		PK INICIAL: <u>1+144.70 Km</u> PK. FINAL: <u>1+148.20 Km</u>			
CONDICIONES GEOMECÁNICAS					
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO	
1	N° fracturas por metro lineal	11	11	11	
2	N° de golpes con la picota	Se rompe con varios golpes	Se rompe con varios golpes	Se rompe con varios golpes	
3	Espaciamiento de discontinuidades	65	65	65	
4	Clasificación GSI	F/B	F/B	F/B	
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO					
GRÁFICO DE OBSERVACIONES			GRÁFICO DE UBICACIÓN		
					
PLANO ADJUNTO :		SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES:					
Según la recomendación de sostenimiento según la metodología de GSI no se colocará soporte solo pernos sistemáticos ocasionales.					
DATOS DEL ESPECIALISTA			FIRMA Y SELLO		
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					

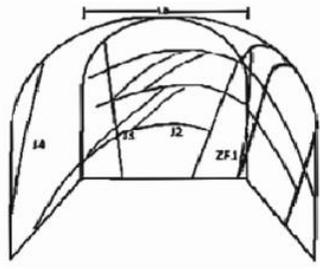
Fuente: Statkraft Perú

Tabla 38. Mapeo geomecánico según GSI prog. 1+165.60 @ 1+169.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E5		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO : GSI-CHC-005	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 005		SECTOR: 1	
DESCRIPCION DEL TRABAJO:		Clasificación geomecánica según la metodología GSI			
LITOLOGÍA:		Andesita			
PROGRESIVAS:		PK INICIAL: <u>1+165.60 Km</u> PK. FINAL: <u>1+169.20 Km</u>			
CONDICIONES GEOMECÁNICAS					
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO	
1	N° fracturas por metro lineal	8	9	8	
2	N° de golpes con la picota	Se rompe con varios golpes	Se rompe con varios golpes	Se rompe con varios golpes	
3	Espaciamiento de discontinuidades	110	110	110	
4	Clasificación GSI	F/B	F/B	F/B	
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO					
GRÁFICO DE OBSERVACIONES			GRÁFICO DE UBICACIÓN		
					
PLANO ADJUNTO :		SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES:					
Según la recomendación de sostenimiento según la metodología de GSI no se colocará soporte solo pernos sistemáticos ocasionales.					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					

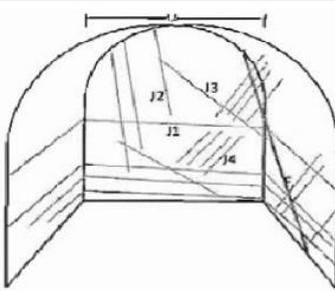
Fuente: Statkraft Perú

Tabla 39. Mapeo geomecánico según GSI prog. 1+194.60 @ 1+198.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E6		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO : GSI-CHC-006	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 006		SECTOR: 1	
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología GSI					
LITOLOGÍA: Dacita					
PROGRESIVAS:					
PK INICIAL:		1+194.60 Km		PK. FINAL: 1+198.20 Km	
CONDICIONES GEOMECAÑICAS					
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO	
1	N° fracturas por metro lineal	12	13	12	
2	N° de golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes de picota	Se rompe con uno o dos golpes de picota	Se rompe con uno o dos golpes de picota	
3	Espaciamiento de discontinuidades	65	65	65	
4	Clasificación GSI	MF/R	MF/R	MF/R	
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO					
GRÁFICO DE OBSERVACIONES			GRÁFICO DE UBICACIÓN		
					
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:					
<p>Según la recomendación de sostenimiento según la metodología de GSI se colocará pernos sistématicos de 1.50 x 1.50 m (malla o cinta ocasional).</p>					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					

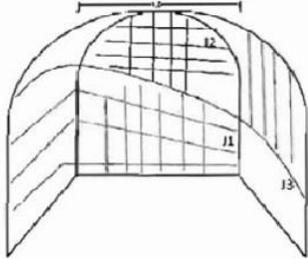
Fuente: Statkraft Perú

Tabla 40. Mapeo geomecánico según GSI prog. 1+238.20 @ 1+242.20 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E7		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO : GSI-CHC-007	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 007		SECTOR: 1	
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología GSI					
LITOLOGÍA: Andesita Dacita					
PROGRESIVAS:					
PK INICIAL:		1+238.20 Km		PK. FINAL: 1+242.20 Km	
CONDICIONES GEOMECÁNICAS					
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO	
1	N° fracturas por metro lineal	18	19	18	
2	N° de golpes con la picota	Se rompe con varios golpes de picota	Se rompe con varios golpes de picota	Se rompe con varios golpes de picota	
3	Espaciamiento de discontinuidades	80	80	80	
4	Clasificación GSI	MF/B	MF/B	MF/B	
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO					
GRÁFICO DE OBSERVACIONES			GRÁFICO DE UBICACIÓN		
					
PLANO ADJUNTO :		SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES:					
<p>Según la recomendación de sostenimiento según la metodología de GSI se colocará pernos sistemáticos de 1.50 x 1.50 m (malla o cinta ocasional).</p>					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					

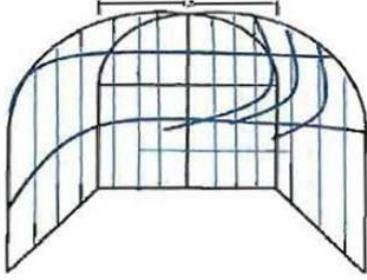
Fuente: Statkraft Perú

Tabla 41. Mapeo geomecánico según GSI prog. 1+297.70 @ 1+301.40 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E8		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy Garcia		N° CORRELATIVO : GSI-CHC-008	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 008		SECTOR: 1	
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:		Clasificación geomecánica según la metodología GSI			
LITOLOGÍA:		Traquita Andesita			
PROGRESIVAS:					
		PK INICIAL: 1+297.70 Km		PK. FINAL: 1+301.40 Km	
CONDICIONES GEOMECÁNICAS					
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO	
1	N° fracturas por metro lineal	9	10	9	
2	N° de golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes con la picota	
3	Espaciamiento de discontinuidades	80	80	80	
4	Clasificación GSI	F/B	F/B	F/B	
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO					
GRÁFICO DE OBSERVACIONES			GRÁFICO DE UBICACIÓN		
					
PLANO ADJUNTO :		SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES:					
<p>Según la recomendación de sostenimiento según la metodología de GSI se colocará pernos sistemáticos 1.5 x 1.5 m (malla o cinta ocasional).</p>					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					

Fuente: Statkraft Perú

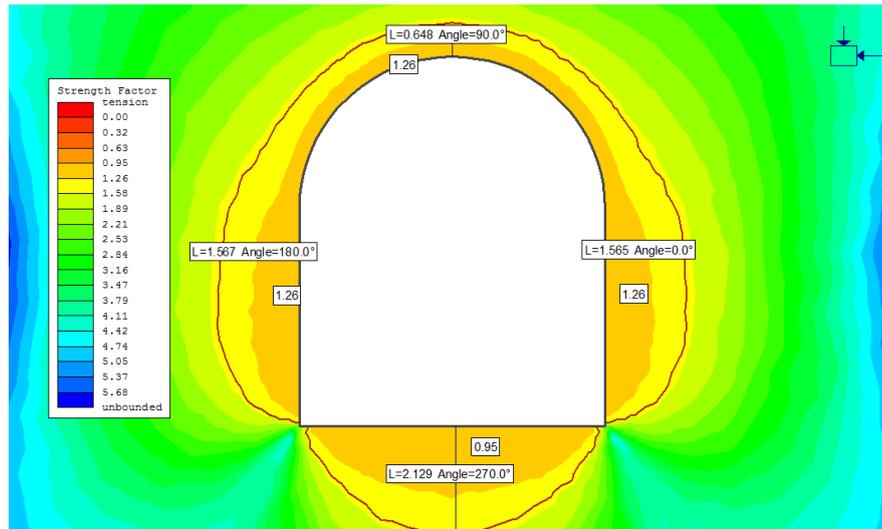
Tabla 42. Mapeo geomecánico según GSI prog. 1+999.60 @ 2+003.00 Km.

ESTACIÓN		REGISTRO		PI-RD-UCV-001	
E9		INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Revisión: 1	
		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI		Fecha: 08/10/2020	
				Página: 1 de 1	
AUTOR:		Alexander Patsy Godoy García		N° CORRELATIVO : GSI-CHC-009	
PROYECTO:		Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B		FECHA: 08/10/2020	
PLANO REFERENCIA:		TOP - JN - TUN - 009		SECTOR: 1	
DESCRIPCION DEL TRABAJO: Clasificación geomecánica según la metodología GSI					
LITOLOGÍA: Andesita					
PROGRESIVAS:					
PK INICIAL:		1+999.60 Km		PK. FINAL: 2+003.00 Km	
CONDICIONES GEOMECAICAS					
ITEM	PARAMETROS	HASTIAL IZQUIERDO	CORONA	HASTIAL DERECHO	
1	N° fracturas por metro lineal	22	22	22	
2	N° de golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes con la picota	Se rompe con uno o dos golpes con la picota	
3	Espaciamiento de discontinuidades	95	95	95	
4	Clasificación GSI	IF/R	IF/R	IF/R	
RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO					
GRÁFICO DE OBSERVACIONES			GRÁFICO DE UBICACIÓN		
					
PLANO ADJUNTO : SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:					
<p>Según la recomendación de sostenimiento según la metodología de GSI se colocará pernos sistemáticos 1.0 x 1.0 m más malla de refuerzo obligatoria. (Shotcrete 5.0 cm sin fibra).</p>					
DATOS DEL ESPECIALISTA				FIRMA Y SELLO	
APELLIDOS Y NOMBRES: TALLEDO SILVA, ZAHID BORINZON ESPECIALIDAD: ING. GEOLOGO C.I.P. N°: 141044					

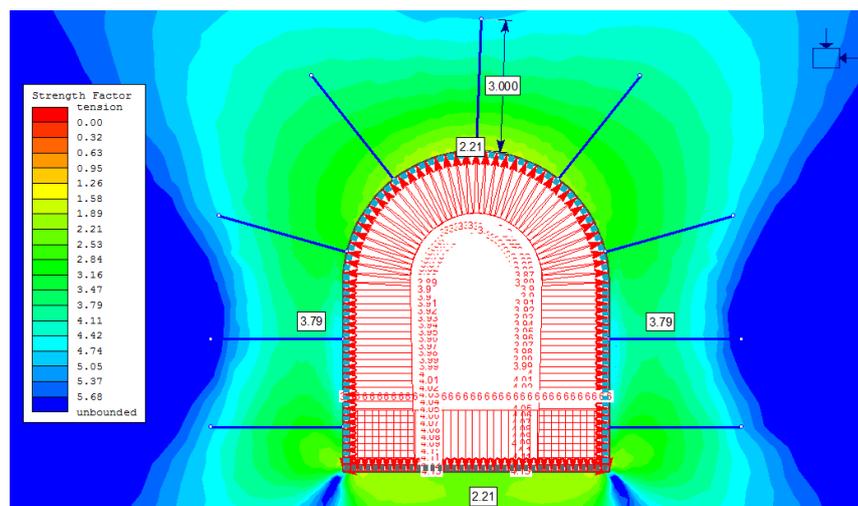
Fuente: Statkraft Perú

Estación 3

En la estación 3 tenemos un tipo de roca llamada Andesita la cual su resistencia uniaxial es de 145 MPa, se tomó un factor de disturbancia de 0.3 debido a que se visualizan ligera ondulaciones y deformaciones en la calidad de excavación.



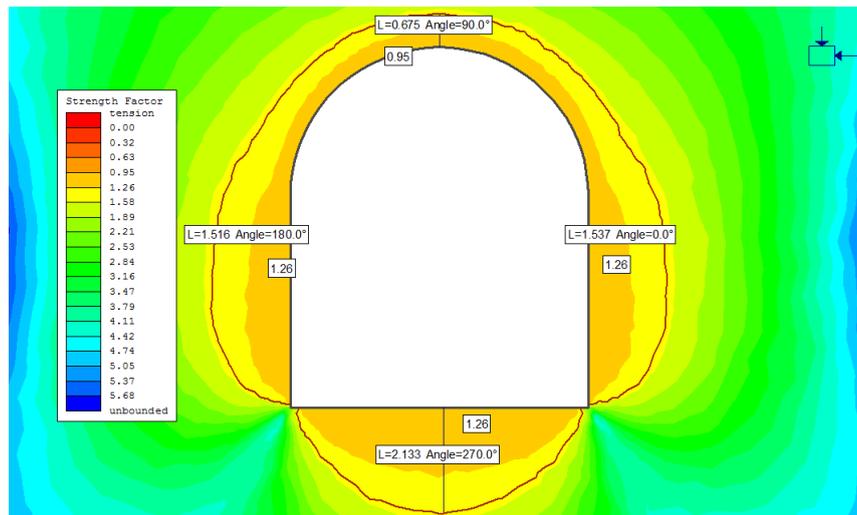
Determinamos la zona plástica con un valor en la cámara y los hastiales de 1.26 con una longitud de 0.65 m. y 1.5 m. respectivamente, en la contrabóveda tenemos un valor de 0.95 con una longitud de 2.13 m.



Al colocar bulones sistemáticos de 3 m de longitud con un diámetro de 19 mm. Adicionando shotcrete con un espesor de 5 cm en toda la sección se obtuvo un factor de seguridad de 3.79 en los hastiales, un valor de 2.21 en la cámara o corona del túnel y un valor de 2.21 en la contrabóveda colocando una malla de refuerzo y 20 cm de concreto.

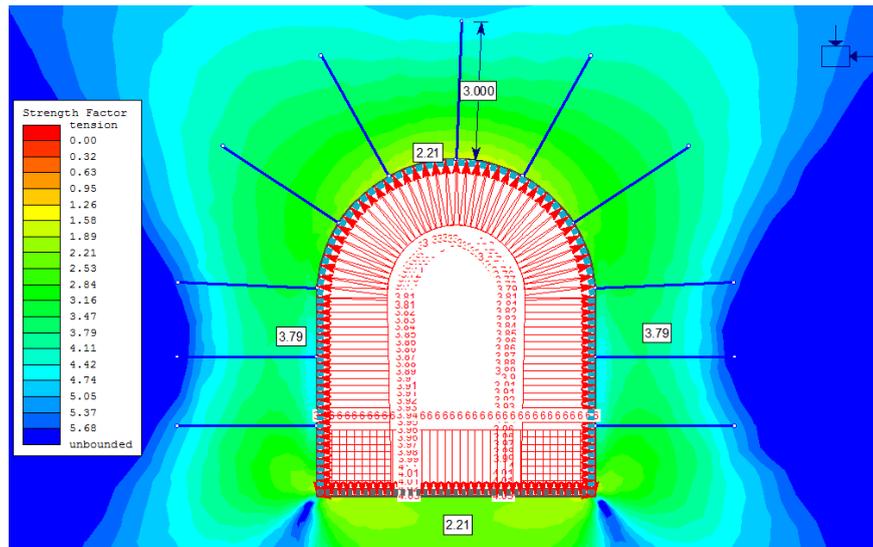
Estación 4

En la estación 4 tenemos un tipo de roca llamada Hornfels el cual su resistencia uniaxial es de 145 MPa, se tomó un factor de disturbancia de 0.3 debido a las pequeñas deformaciones y ondulaciones de excavación.



Determinamos la zona plástica en el cual tenemos un factor de seguridad de 0.95 en la cámara del túnel con una longitud de 0.675 m. y un valor de 1.26 con una longitud de 1.5 m. en los hastiales y en la contrabóveda se tiene un valor de 1.26 con una longitud de 2.133 m.

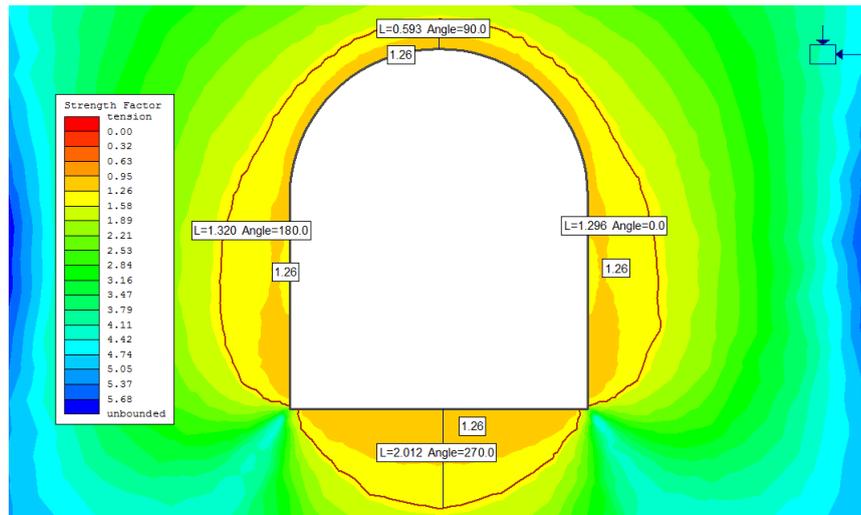
Este análisis se realizó con la excavación en forma básica sin sostenimiento la cual podemos observar los factores en los cuales se requiere el uso de un sistema de sostenimiento para lo cual se puede observar los resultados en la siguiente figura.



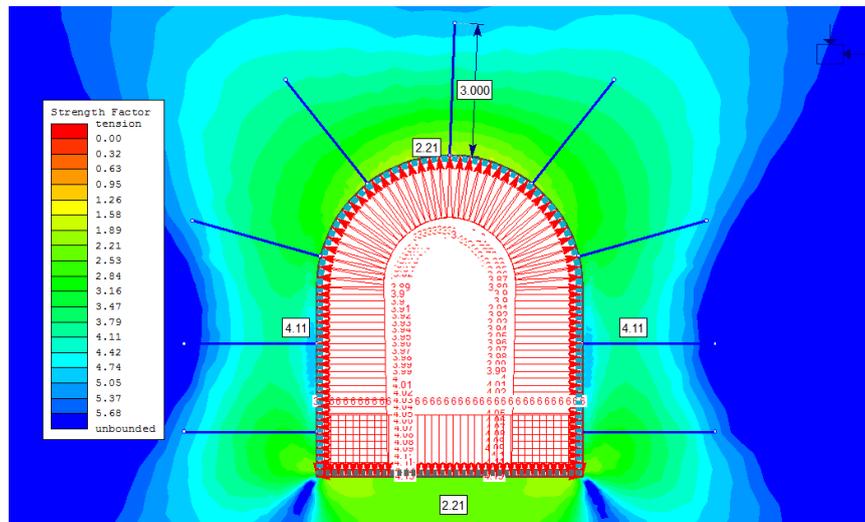
Implementamos los bulones sistemáticos el cual tiene una longitud de 3 m. con un diámetro de 19 mm. Asimismo se procedió con la colocación de shotcrete reforzado con fibras con un espesor de 5 cm en toda la sección, al realizar este sostenimiento se obtuvo la reducción de la zona plástica y el aumento del factor de seguridad con un valor de 2.21 tanto en la cámara como en la contrabóveda del túnel y un valor de 3.79 en los hastiales.

Estación 5

En esta estación 5 se obtuvo un tipo de roca llamada andesita el cual tiene una resistencia uniaxial de 145 MPa. para este caso se tomó un factor de disturbancia de 0.3 la cual no dice que existen ligeras deformaciones y ondulaciones luego de la excavación por voladura.



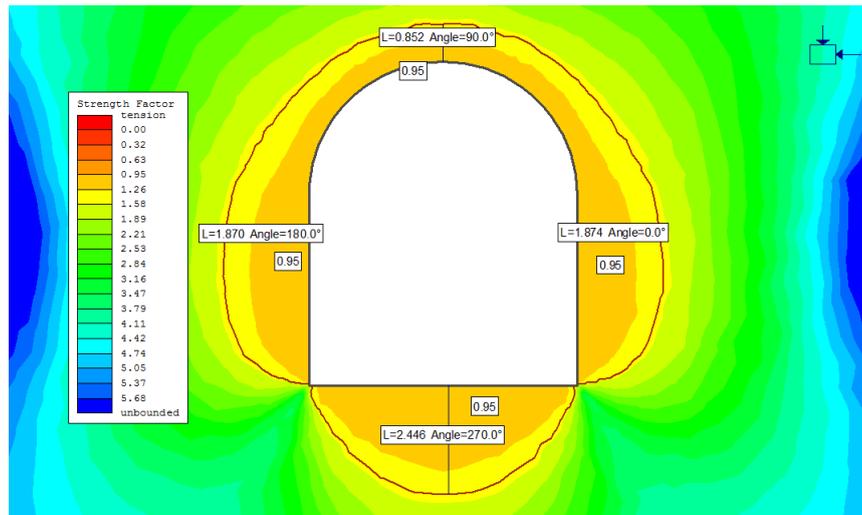
Determinamos la zona plástica el cual se calculó un valor de 1.26 con una longitud de 0.593 m. en la cámara, un valor de 1.26 con una longitud promedio de 1.3 m. y para la contrabóveda un valor de 1.26 con una longitud de 2.012 m.



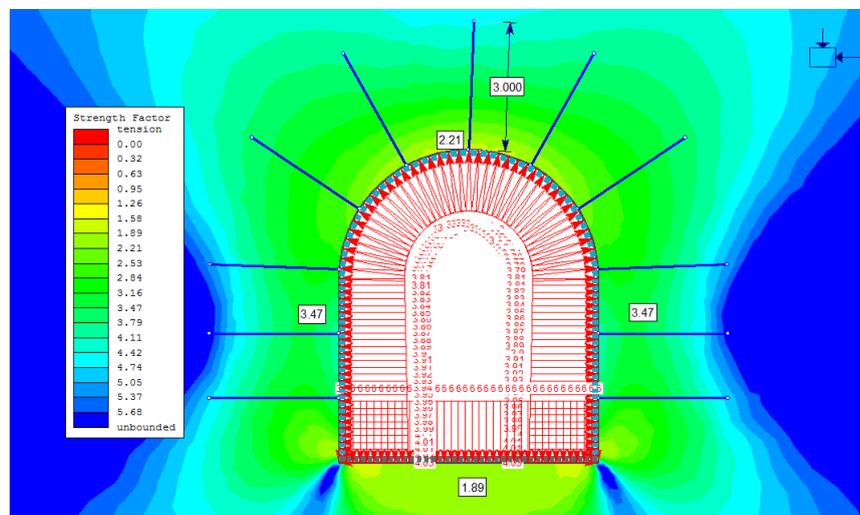
Al implementar los bulones sistemáticos de 3 m de longitud cada 1.5 x 1.5 con un diámetro de 25 mm., asimismo se adiciona la colocación de shotcrete reforzado con fibras con un espesor de 5 cm. Como resultado tenemos la reducción de la zona plástica y el aumento del factor de seguridad, en el cual se tiene un valor de 2.21 en la cámara como factor de seguridad se calculó el mismo valor para la contrabóveda y un valor de 4.11 para los hastiales.

Estación 7

En la estación 7 se obtuvo un tipo de roca llamada andesita el cual se encuentra con una resistencia uniaxial de 108 MPa. Para este caso al tener una calidad de roca muy pobre se realizará la excavación con martillo hidráulico por lo que se toma un factor de disturbancia de 0.



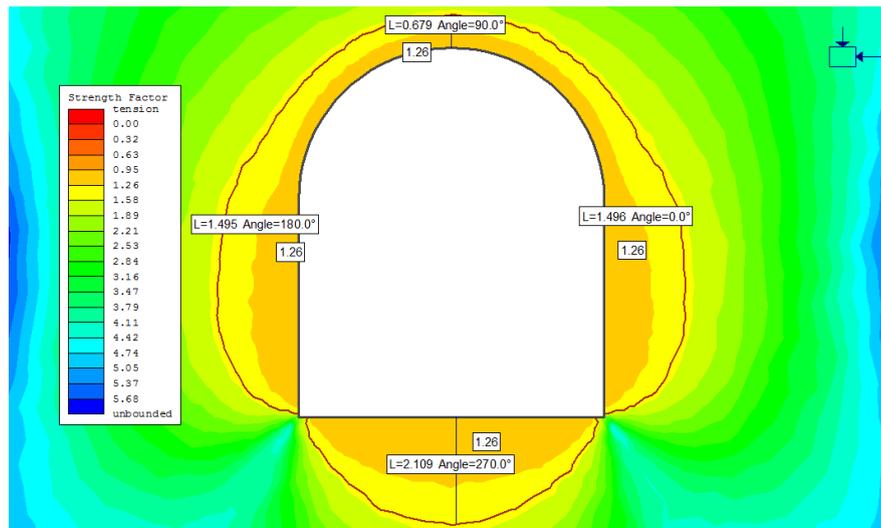
Se determinó la zona plástica en el que se calculó un factor de seguridad con un valor de 0.95 y una longitud de 0.852 m. para la cámara del túnel, un valor de 0.95 y una longitud de 1.87 m. en los hastiales y un valor de 0.95 con una longitud de 2.446 m. en la contrabóveda.



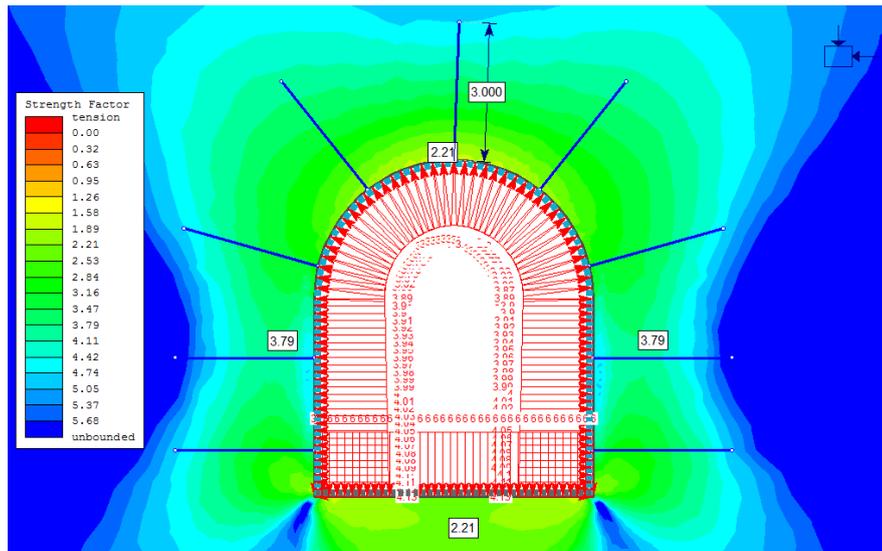
Al implementar el sistema de sostenimiento de bulones sistemáticos con una longitud de 3 m. cada 1.5 x 1.5 m. con un diámetro de 19 mm. Junto con la colocación de shotcrete reforzado con fibra con un espesor de 7.5 cm. Podemos observar la reducción de la zona plástica y el valor de 2.21 como factor de seguridad para la cámara del túnel un valor de 3.47 en los hastiales y 1.89 en la contrabóveda.

Estación 8

En la estación 8 se obtuvo un tipo de roca denominada traquita andesita, con una resistencia uniaxial de 200 MPa. En esta estación se obtuvo un tipo de calidad de roca Tipo II la cual es de calidad buena, se aplicó un factor de disturbancia de 0.3 debido a las deformaciones mínimas y ondulaciones que se presentó.

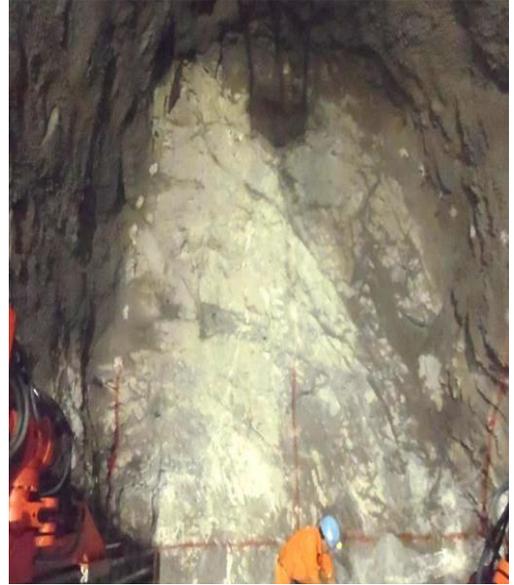


Al determinar la zona plástica, se calculó el factor de seguridad de 1.26 en la cámara del túnel con una longitud de 0.679 m. un valor de 1.26 de factor de seguridad y una longitud de 1.495 m. en el hastial izquierdo, un valor de 1.26 y una longitud en el hastial derecho con una longitud de 1.496 m. y un factor de seguridad de 1.26 con una longitud de 2.109 m en la contrabóveda.



Al implementar bulones sistemáticos de una longitud de 3 m. cada 2.0 x 2.0 m. con un diámetro de 19 mm. También se añade la colocación de shotcrete reforzado con fibras con un espesor de 5 cm. Se observa la reducción de la zona plástica y el aumento del factor de seguridad la cual determinamos un valor de 2.21 en la cámara de túnel, un valor de 3.79 en los hastiales y un factor de seguridad de 2.21 en la contrabóveda.

ANEXO 6.

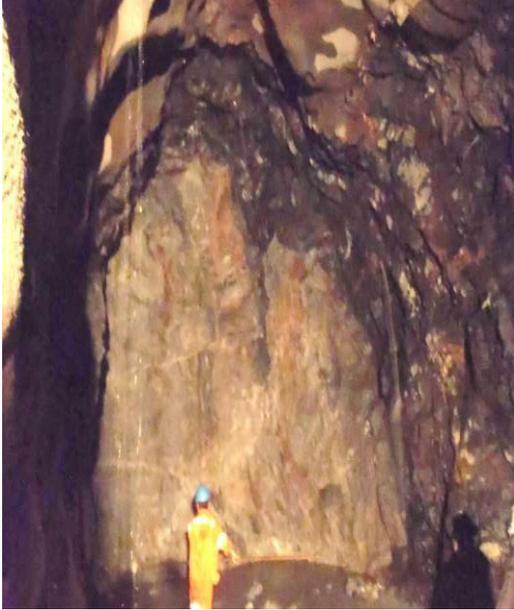
Fotografía 1	Fotografía 2
 A photograph showing the interior of a tunnel under construction. The tunnel has a semi-circular cross-section. The walls are lined with a dark, textured material, likely shotcrete or concrete, and are reinforced with numerous vertical steel bolts. The floor is dark and appears to be made of dirt or gravel. The lighting is somewhat dim, highlighting the structural details of the tunnel.	 A photograph of a rock face in a tunnel. The rock is light-colored and shows signs of fracturing and weathering. A person wearing a white hard hat and an orange safety vest is standing at the bottom of the frame, providing a sense of scale. The lighting is focused on the rock face, with shadows cast across it.
<p>Excavación y colocación de sostenimiento del túnel en la progresiva 0+003.00 Km.</p>	<p>Mapeo geomecánico de la progresiva 0+139.50 Km.</p>
Fotografía 3	Fotografía 4
 A photograph showing two workers in a tunnel. One worker in the foreground is wearing a blue hard hat and an orange safety vest. Another worker further back is wearing an orange safety vest and a blue hard hat. They are standing in front of a rock face that has been marked with numerous small white dots or lines. The lighting is bright, likely from a work lamp.	 A photograph of a rock face in a tunnel. The rock is light-colored and shows signs of fracturing. A person wearing a blue hard hat and an orange safety vest is standing at the bottom of the frame. The rock face is marked with several red lines and dots, indicating strategic points for explosive placement. The lighting is focused on the rock face.
<p>Marcación de puntos para perforación de la progresiva 0+205.00 Km.</p>	<p>Puntos estratégicos para colocación de explosivos en la progresiva 0+262.60 Km.</p>

Fotografía 5	Fotografía 6
	
<p>Excavación de material post voladura de la progresiva 0+305.50 Km.</p>	<p>Clasificación geomecánica de la progresiva 0+356.20 Km.</p>
Fotografía 7	Fotografía 8
	
<p>Material expuesto post voladura de la progresiva 0+404.50 Km.</p>	<p>Evaluación de voladura en la progresiva 0+465.50 Km.</p>

<p align="center">Fotografía 9</p>	<p align="center">Fotografía 10</p>
	
<p>Excavación de puntos estratégicos para colocación de explosivos en la progresiva 0+527.00 Km.</p>	<p>Retiro de material excesivo de la progresiva 561.60 Km.</p>
<p align="center">Fotografía 11</p>	<p align="center">Fotografía 12</p>
	
<p>Excavación de material de la progresiva 0+613.10 Km.</p>	<p>Colocación de pernos de anclaje en la progresiva 0+616.90 Km.</p>

<p align="center">Fotografía 13</p>	<p align="center">Fotografía 14</p>
	
<p align="center">Elaboración de ensayo Pull test progresiva 0+715.90 Km.</p>	<p align="center">Clasificación geomecánica de la progresiva 0+823.10 Km.</p>
<p align="center">Fotografía 15</p>	<p align="center">Fotografía 16</p>
	
<p align="center">Colocación de puntos de perforación en la progresiva 0+833.60 Km.</p>	<p align="center">Perforación de puntos estratégicos para voladura de la progresiva 0+907.00 Km.</p>

Fotografía 17



Clasificación geomecánica de la progresiva 0+924.60 Km.

Fotografía 18



Ensayo Pull test de pernos de anclaje de la progresiva 1+027.00 Km.

Fotografía 19

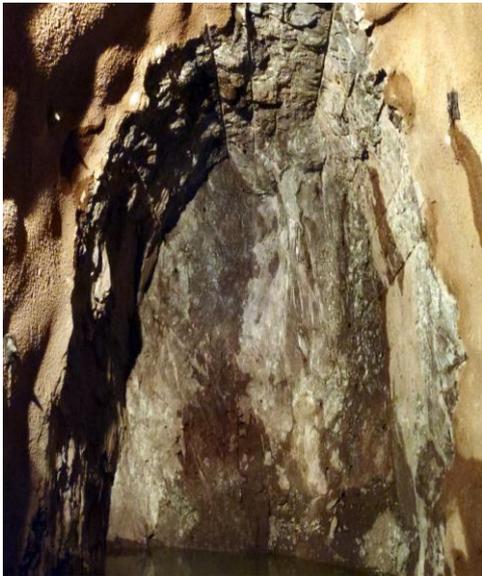


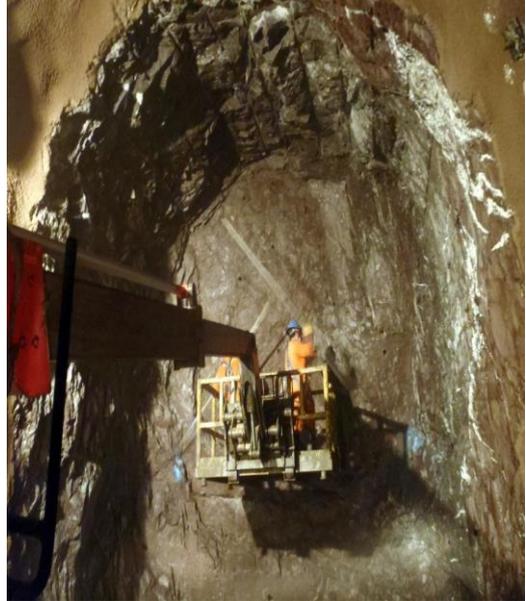
Ensayo Pull Test de pernos anclaje de la progresiva 1+093.60 Km.

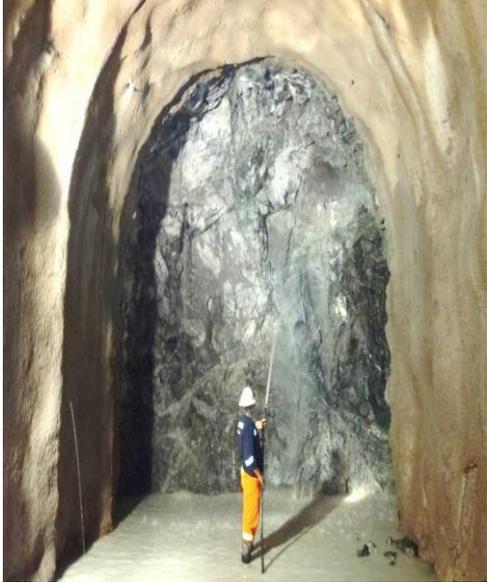
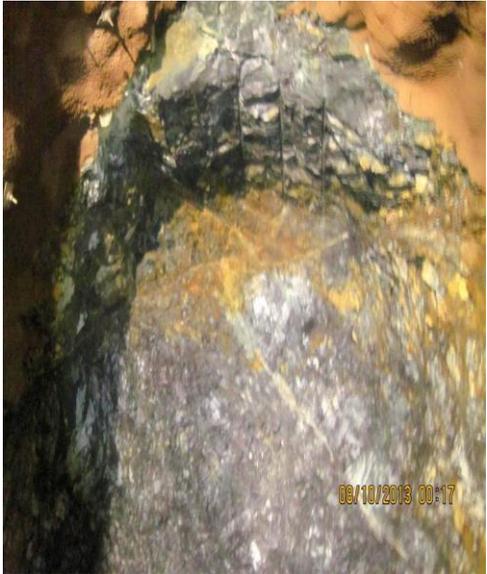
Fotografía 20



Colocación de pernos de anclaje en la progresiva 1+101.00 Km.

Fotografía 21	Fotografía 22
	
<p>Clasificación geomecánica post voladura de la progresiva 1+131.30 Km.</p>	<p>Clasificación geomecánica post voladura de la progresiva 1+223.30 Km.</p>
Fotografía 23	Fotografía 24
	
<p>Perforación de puntos estratégicos en la progresiva 1+262.80 Km.</p>	<p>Evaluación post voladura de la progresiva 1+380.30 Km.</p>

<p align="center">Fotografía 25</p>	<p align="center">Fotografía 26</p>
	
<p>Ensayo de Pull test de la progresiva 1+399.20 Km.</p>	<p>Marcación de puntos estratégicos de voladura en la progresiva 1+410.30 Km.</p>
<p align="center">Fotografía 27</p>	<p align="center">Fotografía 28</p>
	
<p>Colocación de shotcrete para voladura controlada de la progresiva 1+442.00 Km.</p>	<p>Colocación de shotcrete con fibras en la progresiva 1+561.60 Km.</p>

<p align="center">Fotografía 29</p>	<p align="center">Fotografía 30</p>
	
<p>Excavación de material excedente de la voladura en la progresiva 1+836.90 Km.</p>	<p>Colocación de puntos para perforación en la progresiva 1+894.30 Km.</p>
<p align="center">Fotografía 31</p>	<p align="center">Fotografía 32</p>
	
<p>Perforación de puntos estratégicos para voladura de la Progresiva 1+946.50 Km.</p>	<p>Evaluación cerca a la intersección con la presa en la progresiva 1+997.70 Km.</p>

Anexo 7.

“Año de la universalización de la salud”

**SOLICITUD: Permiso para uso de datos de clasificación geológica del proyecto para mi
Desarrollo de Proyecto de Investigación**

Lima, 28 de setiembre de 2020

Estimado:

Ing. Zahid Borinzon Talledo Silva

CIP: 141044

Profesional responsable de la clasificación geológica del proyecto Central hidroeléctrica Cheves.

Es grato dirigirme a Ud. como responsable de realizar la clasificación geológica del proyecto central hidroeléctrica cheves “Churin – Lima”, para saludarle muy cordialmente y a la vez solicitarle amablemente el uso de los datos de la clasificación de roca y los ensayos de fortificación aplicada para la geología del túnel de desvío, para el desarrollo de mi proyecto de investigación titulado **“Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020”** con la línea de investigación Diseño Sísmico y Estructural.

Apellidos y Nombres	DNI	CÓDIGO	CICLO
Godoy Garcia, Alexander Patsy	73340094	9100099473	X

POR LO EXPUESTO

Ruego a usted señor Ingeniero acceder a mi petición

Lima 28 de setiembre de 2020

Alexander Patsy Godoy Garcia

DNI: 73340094

Código: 9100099473

“Año de la universalización de la salud”

Lima 17 de noviembre de 2020

Señor:

GODOY GARCIA, ALEXANDER PATSY

PRESENTE

Tengo el agrado de dirigirme a usted, con la finalidad de hacer de su conocimiento, que se acepta el uso de la clasificación de roca y ensayos de fortificación mencionada en su solicitud; dada mi función de Profesional Responsable que ejecutó el Proyecto Central Hidroeléctrica Cheves.

Dicha autorización corresponde netamente a fines académicos, para el desarrollo de su investigación, con el título “Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020” con la línea de investigación Diseño Sísmico y Estructural.

Sin más que agregar me despido, a la vez expresarle mi consideración.

Atentamente,

 **COLEGIO DE INGENIEROS
DEL PERÚ**


Talledo Silva Zahid Borinzon
Ingeniero Geólogo CIP: 141044

Ing. Zahid Borinzon Talledo Silva

CIP: 141044