

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**Estudio comparativo entre el uso de Split set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte - Unidad Minera El Brocal - Colquijirca-Pasco, 2021**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero civil

**AUTOR:** Bach. Roger PABLO HIDALGO

**ASESOR:** Mg. Luis Villar REQUIS CARBAJAL

**Cerro de Pasco - Perú – 2021**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**Estudio comparativo entre el uso de Split set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte - Unidad Minera El Brocal - Colquijirca-Pasco, 2021**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado

---

Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA  
**PRESIDENTE**

---

Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO  
**MIEMBRO**

---

Mg. José German RAMIREZ MEDRANO  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios por las bendiciones y fortalezas que nos da día en día.

A mi madre Francisca Hidalgo y hermana Nelva e hijas Melany, Jhesmin y mi esposa Dalila que fueron la fortaleza de mi superación por el apoyo incondicional en mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes de la escuela de Ingeniería Civil de la UNDAC, los cuales me han asesorado en este trabajo de investigación, el cual hizo posible la realización del presente trabajo de investigación. Agradezco a los ingenieros de la Empresa JRC Ingeniería y Construcción por a ver aportado en parte teórico y práctico para mi desarrollo de mi proyecto de investigación de tesis.

## RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación “Estudio comparativo entre el uso de Split set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la Mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco, 2021” La indagación pretende hallar la diferencia que existe de las medias de las pruebas de arranque entre el Split Set y barras corrugado para el sostenimiento de rocas en túneles de la Mina Marcapunta norte - unidad minera El Brocal– Colquijirca – Pasco, 2021.

En el primer capítulo: Donde se tiene como problema principal PP: ¿Cuál es la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la Mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco - 2021? Los objetivos de la investigación general OG: Determinar la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la Mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

En el segundo capítulo: se tiene como formulación de la hipótesis general HG: Existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la Mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

En el tercer capítulo: se describe la confiabilidad del instrumento, en este caso la ficha de laboratorio, se realizó el análisis cuantitativo.

En el cuarto capítulo: las pruebas de hipótesis, donde se ha utilizado el programa estadístico SPSS.

*Palabras clave: Split set, barras corrugada*

## **ABSTRACT**

The main purpose of the research "Comparative study between the use of the split set and corrugated bars for the support of rocks in tunnels of the Marcapunta norte mine - El Brocal - Colquijirca - Pasco mining unit, 2021" The research looks for the difference between the means of the breakout tests between the Split Set and corrugated bars for rock support in tunnels of the Marcapunta norte Mine - El Brocal mining unit - Colquijirca - Pasco, 2021.

The first chapter: Where is the general problem PP: What is the difference in the comparative study between the use of the Split Set and corrugated bars for rock support in tunnels of the Marcapunta norte Mine - El Brocal mining unit - Colquijirca - Pasco - 2021? The objectives of the OG research: To determine the difference between the use of the Split Set and corrugated bars for rock support in tunnels of the Marcapunta norte Mine - El Brocal - Colquijirca - Pasco - 2021.

The second chapter: This is the formulation of the HG hypothesis: There is a significant difference between the use of the Split Set and corrugated bars for rock support in tunnels of the Marcapunta norte Mine - El Brocal - Colquijirca - Pasco – 2021

The third chapter: describes the reliability of the instrument, in this case the laboratory file, the quantitative analysis was performed.

The fourth: To carry out this contrast, the statistical program SPSS.

Keywords: Split set, corrugated bars

## INTRODUCCIÓN

La investigación realizada está dentro de las líneas de investigación de la escuela profesional de ingeniería civil, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) referentes a las áreas de intereses; Administración y Seguridad de la construcción.

La presente investigación se desarrolló con el propósito de analizar y comparar elementos de sostenimiento como son las barras corrugadas y se compara con los pernos de anclaje como el Split Set que se utiliza en el sostenimiento de rocas en túneles.

Para comprobar las barras corrugadas y el Split Set se realizará pruebas de arranque con el ensayo de Pull Test, para una fuerza de 20 y 7 Ton, donde se van a realizar la recolección de datos como los desplazamientos que se expresan en milímetros de cada material (Split set y Barras corrugadas).

Para estudiar esta problemática se requiere analizar sus causas, al momento de que se realice los sostenimientos de rocas en túnel lo más habitual es que se utiliza son pernos de anclaje Split set de 7 pies de largo, en el Túnel de mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco, 2021 por su deficiencia de soportabilidad al macizo rocoso del túnel el Split set se observó que se requiere que se prueben otros materiales como sostenimientos de rocas, por ello, se eligió en que se debe probar los funcionamientos de las Barras corrugadas en este caso el perno Helicoidal de  $\Phi$  3/4", 1" y 7 pies de largo.

En esta indagación se desarrolló con la finalidad de que se conozca cómo se permite las barras corrugadas de  $\Phi$  3/4" y 1" en comparación con el perno de anclaje Split Set en el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco, 2021", lo cual, se utilizaron las pruebas de laboratorios que se



conoce como las pruebas de arranque o ensayo de Pull Test, donde se va dar los desplazamientos que se expresan en milímetros.

En el caso de un ingeniero civil el interés que se radica, es en ver el comportamiento de las Barras corrugadas que se utilizan en el sostenimiento de rocas en túneles, evitando accidentes por caídas de rocas, aplastamientos y derrumbes que ocasiona daño a las personas transeúntes y equipos móviles que realizan el acarreo de mineral de la zona de producción dentro del túnel subterráneos de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco, 2021”.

En el aspecto de la ingeniería civil, la investigación se desarrolló con una secuencia de las pruebas que se denominan como las pruebas de arranque, verificando los desplazamientos como las barras corrugadas y el Split set.

La recolección de datos se desarrolló mediante las fichas de laboratorio en Excel por el apoyo del área Geomecánica de la E.E. JRC SAC, para que de allí se realice unas pruebas que son estadísticamente inferenciales.

La muestra que se tomó es no probabilística, esto es debido a las definiciones que se mencionan en que las muestras no probabilísticas se determinan de acuerdo a la persona que va investigar.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
INTRODUCCIÓN.....	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Identificación y determinación del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	3
1.3. Formulación del problema.....	4
1.3.1. Problema General.....	5
1.3.2. Problemas Específicos.....	5
1.4. Formulación de objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Justificación de la investigación .....	6
1.6. Limitaciones de la investigación .....	8
CAPÍTULO II.....	9
MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. Antecedentes de estudio .....	9

2.2. Bases teóricas – científicas .....	15
2.2.1. Sostenimiento en excavaciones en túneles subterráneas .....	15
2.2.2. Tipos de sostenimiento .....	16
2.2.3. Sostenimiento con barras corrugada.....	16
2.2.4. Tipos de soporte .....	17
2.2.5. Geomecánica .....	17
2.2.6. Mecánica de rocas .....	18
2.2.7. Discontinuidades de la masa rocosa.....	18
2.2.8. Macizo rocoso .....	19
2.2.9. Calidad del macizo .....	19
2.2.10. Estado tensional del macizo rocoso.....	20
2.2.11. Estaciones geomecánicas .....	20
2.2.12. Características de fallas de macizos rocosos .....	21
2.2.13. Estudio de las discontinuidades.....	24
2.2.14. Hidrogeología.....	25
2.2.15. Cartillas geomecánicas .....	25
2.2.16. Control de sostenimiento aplicado .....	26
2.2.17. Terzaghi (1946).....	26
2.2.18. Lauffer (1958) .....	29
2.2.19. Deere (1963).....	30
2.2.20. Sostenimiento en túneles .....	32
2.2.21. Perforación .....	33
2.2.22. Voladura .....	33
2.2.23. Barras Corrugadas .....	33
2.2.24. Características de barras corrugadas .....	34
2.2.25. Placa de sujeción para barra corrugada .....	35
2.2.26. Tuerca de fijación de barras corrugadas.....	37

2.2.27. Mortero de cemento.....	39
2.2.27. Mortero de resina.....	41
2.2.28. Split set.....	43
2.2.29. Prueba de arranque .....	45
2.2.30. Equipo e instrumentación para el ensayo de prueba de arranque .....	45
2.2.31. Tipos de ensayo con equipo Pull Test .....	46
2.3. Definición de términos básicos .....	47
2.4. Formulación de hipótesis.....	51
2.4.1. Hipótesis general .....	51
2.4.2. Hipótesis específicas .....	51
2.5. Identificación de variables.....	51
2.5.1. Variable Independiente.....	51
2.5.2. Variable dependiente.....	51
2.6. Definición operacional de variables e indicadores .....	52
CAPÍTULO III .....	53
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	53
3.1. Tipo de investigación .....	53
3.2. Nivel de Investigación .....	53
3.3. Métodos de investigación .....	54
3.4. Diseño de investigación.....	54
3.5. Población y muestra .....	54
3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	55
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	56
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	56
3.9. Tratamiento estadístico.....	58

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica .....	58
CAPÍTULO IV .....	59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	59
4.1. Descripción del trabajo de campo .....	59
4.1.1. Caracterización geomecánica del macizo rocoso en túnel de Mina Marcapunta Norte.....	60
4.1.3. Condiciones geomecánicas actuales de la labor del túnel .....	64
4.1.4. Evaluación de estabilidad (método gráfico).....	65
4.1.5. Gráfico de estabilidad.....	70
4.1.6. Representación estereográfica .....	70
4.1.7. Modelamiento numérico.....	73
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	76
4.2.1. Desarrollo de los ensayos .....	76
4.2.3. Estudio comparativo entre el uso de Split Set y Barras corrugadas de $\Phi$ 3/4"	
.....	81
4.3. Prueba de hipótesis .....	86
4.3.1. Prueba de hipótesis general .....	88
4.3.3. Prueba de hipótesis específica .....	91
4.4. Discusión de resultados .....	93
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de Terzaghi .....	27
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de Terzaghi modificada por Deere et. al (1970).....	28
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de Lauffer .....	30
<b>Tabla 4.</b> Relaciona el RQD - Método de excavación - Sistemas de soporte alternativos .....	31
<b>Tabla 5.</b> Relación del valor RQD y de calidad de roca .....	32
<b>Tabla 6.</b> Especificaciones dimensionales y peso .....	35
<b>Tabla 7.</b> Dimensiones de las placas de sujeción.....	37
<b>Tabla 8.</b> Dimensiones de las tuercas de fijación.....	38
<b>Tabla 9.</b> Características principales de las barras corrugadas .....	39
<b>Tabla 10.</b> Límites máximos de impurezas en el agua.....	43
<b>Tabla 11.</b> Principales dimensiones .....	44
<b>Tabla 12.</b> Características principales del Split Set .....	45
<b>Tabla 13.</b> Operacionalización de variables.....	52
<b>Tabla 14.</b> Distribución de muestras según el diámetro de fierros .....	55
<b>Tabla 15.</b> Resistencia del macizo rocoso.....	61
<b>Tabla 16.</b> RQD del túnel.....	61
<b>Tabla 17.</b> Cantidad de fracturas por metro .....	61
<b>Tabla 18.</b> Cálculo de RMR para la caja piso, techo - túnel .....	63
<b>Tabla 19.</b> Propiedades físicas de roca intacta .....	65
<b>Tabla 20.</b> Resultado de número de estabilidad N' .....	69
<b>Tabla 21.</b> Ensayo de Pernos Split Set.....	77

<b>Tabla 22.</b> Prueba de arranque para barras corrugadas de 1” con cartucho de cemento .	78
<b>Tabla 23.</b> Comparación de los desplazamientos del Split set y barra corrugada de 1” diámetro.....	79
<b>Tabla 24.</b> Prueba de arranque para barras corrugadas de 3/4” con cartucho de cemento .....	81
<b>Tabla 25.</b> Comparación de los desplazamientos del Split Set y barra corrugada de 3/4” de diámetro .....	82
<b>Tabla 26.</b> Prueba de normalidad para las variables de análisis .....	85
<b>Tabla 27.</b> Prueba de “Levene” para igualdad de varianzas para el Split Set y fierro corrugado.....	86
<b>Tabla 28.</b> Prueba de “T”de Student para muestras independientes para el Split Set y fierro corrugado .....	87
<b>Tabla 29.</b> Prueba de “Levene” para igualdad de varianzas para el Split Set y fierro de $\Phi 1$ .....	89
<b>Tabla 30.</b> Prueba de “T”de Student para muestras independientes para el Split Set y fierro de $\Phi 1$ ” .....	90
<b>Tabla 31.</b> Prueba de Levene para igualdad de varianzas para el Split Set y fierro de $\Phi$ 3/4” . .....	91
<b>Tabla 32.</b> Prueba de “T”de Student para muestras independientes para el Split Set y fierro de $\Phi 3/4$ ”.....	92
<b>Tabla 27.</b> Prueba de “Levene” para igualdad de varianzas para el Split Set y barras corrugado.....	37
<b>Tabla 28.</b> Prueba de “T”de Student para muestras independientes para el Split Set y barras corrugado .....	37

<b>Tabla 29.</b> Prueba de “Levene” para igualdad de varianzas para el Split Set y barras corrugados de $\Phi 1''$ x 7' .....	38
<b>Tabla 30.</b> Prueba de “T”de Student para muestras independientes para el Split Set y barras corrugadas de $\Phi 1''$ x 7' pies .....	38
<b>Tabla 31.</b> Prueba de Levene para igualdad de varianzas para el Split Set y barras corrugadas de $\Phi 3/4''$ .x 7' pies .....	39
<b>Tabla 32.</b> Prueba de “T”de Student para muestras independientes para el Split Set y barras corrugado de $\Phi 3/4''$ .....	39

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Túnel de Marcapunta Norte - Colquijirca.....	4
Figura 2. Plano de estratificación .....	21
Figura 3. Zona de corte.....	22
Figura 4. Falla.....	22
Figura 5. Diaclasas .....	23
Figura 6. Planos de foliación .....	23
Figura 7. Contactos litológicos.....	24
Figura 8. Representación de rumbo de buzamiento de un plano.....	25
Figura 9. Esquema de cálculo según Terzaghi .....	27
Figura 10. Esquema de cálculo según Lauffer .....	29
Figura 11. Barra corrugada.....	33
Figura 12. Identificación de la barra.....	34
Figura 13. Placa de sujeción.....	36
Figura 14. Principales dimensiones de las placas.....	37
Figura 15. Principales dimensiones de la tuerca .....	38



Figura 16. Cartuchos de cemento .....	39
Figura 17. Split set.....	44
Figura 18. Equipo para ensayo Pull Test.....	47
Figura 19. Sección típica de túnel .....	60
Figura 20. Geometría del túnel.....	60
Figura 21. Clasificación del macizo rocoso .....	62
Figura 22. Lugar de prueba (350 m).....	64
Figura 23. Plano geomecánico del túnel.....	65
Figura 24. Cálculo del valor de A para el túnel.....	67
Figura 25. Tabla del Factor B.....	67
Figura 26. Tabla del Factor C.....	68
Figura 27. Gráfico de estabilidad según Potvin (1988), modificado por Nickson (1992) .....	70
Figura 28. Sistema de diaclasas de la labor .....	71
Figura 29. Formación de cuñas en la caja de techo de acuerdo al sistema de diaclasas	72
Figura 30. Formación de cuñas en la caja techo con sostenimiento de acuerdo al sistema de diaclasas.....	73
Figura 31. Escenario actual del túnel .....	73
Figura 32. Desconfinamiento o desprendimiento.....	74
Figura 33. Factor de seguridad del túnel .....	75
Figura 34. Desplazamiento máximo.....	75
Figura 35. Perforación con Jumbo y distribución de taladros .....	76
Figura 37. Plano de proyecto túnel de Mina Marcapunta Norte – El Brocal –Colquijirca. .....	41

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Punto de verificación de progresiva del túnel 0+350 .....	29
Imagen 2. Punto de verificación de progresiva del túnel 0+450 .....	29
Imagen 3. Puntos de verificación de progresiva del túnel 0+950.....	30
Imagen 4. Pruebas de ensayo de perno de anclaje (Split Set) .....	30
Imagen 5. Evidencias de pruebas .....	31
Imagen 6. Equipo de ensayo de equipo Pull Test.....	32
Imagen 7. Evidencias de ensayos .....	32
Imagen 8. Ensayo de Barras Corrugadas.....	33
Imagen 9. Pernos de Barras Corrugadas.....	34
Imagen 10. Pernos Split Set.....	35
Imagen 11. Equipo de sostenimiento Jumbo Empernador .....	42

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Identificación y determinación del problema**

El sostenimiento que se da en un túnel de la mina es muy esencial, ya que se requiere de que el túnel sea estable o que alcance una buena y mejor estabilidad; lo cual, un buen sostenimiento evitará accidentes que perjudiquen la salud de sus trabajadores. Además, es de primordial importancia que los profesionales en ingeniería civil tengan en cuenta el proceso de control y mejoramiento de la firmeza del macizo rocoso, como un mecanismo que evita los problemas asociados a la resistencia de las rocas, que incluyen daños y colapsos de la distribución de sostenimiento del túnel.

Asimismo, (Ruiz Esparza, Murrieta Cummings, & Poon Hung, 2016) indican que el sostenimiento es un grupo de componentes estructurales que se ubican durante las excavaciones de un trabajo subterráneo y que tiene como propósito cooperar con el equilibrio del ambiente que está cerca al túnel.

La mina Marcapunta norte se encuentra en el distrito de Colquijirca, provincia de Pasco, región de Pasco que se encuentra a 4 250 msnm. La mina Marcapunta

es una minería subterránea que se dedica a explotar los minerales de cobre, esencialmente la enargita, las cantidades menores de calcocita, calcopirita, luzonita, colusita y bismutinita, con respecto a la ganga se tiene principalmente a las arcillas, cuarzo, pirita y alunita. La mineralización se encuentra incrustada en rocas que son carbonatadas reemplazado con los horizontes arcillosos y su yacimiento es paralela a la estratificación.

La presente investigación tiene como realidad problemática el deslizamiento de rocas en el túnel en la mina Marcapunta norte. Las principales causas del problema son un inadecuado sostenimiento en el túnel, excesiva distribución de los explosivos inadecuado proceso de perforación. Teniendo como consecuencia accidentes y muertes de los trabajadores y equipos en zonas de sobre excavación.

La primera causa es el inadecuado sostenimiento en el túnel, según (Giraldo Paredez, 2020) indica que un inadecuado sostenimiento perjudica a los trabajadores con daños graves, incluso hasta la muerte y con respecto a las labores perjudica a los equipos, es decir, que causan pérdidas económicas y paralizaciones de producción; lo cual, se requiere optimizar para mejorar su anclaje que existan más sostenimientos adecuados y así evitar accidentes y muertes. Como consecuencia son los accidentes y muertes de trabajadores, según (OSINERGMIN, Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas, 2017) afirma que en las minas subterráneas o en túneles son actividades de mucho riesgo que desarrollan a nivel mundial, donde han ocurrido muchos accidentes que han dejado a sus trabajadores con graves daños permanentes y accidentes mortales; lo cual, esto es debido a los inadecuados sostenimientos que existen en las minas subterráneas o túneles.

Otro factor, es la excesiva distribución de explosivos. Según (Estela Yomona, & Estela Yomona, 2020)) señala que se debe analizar el control de voladura encuentran con excesivas distribuciones de explosivos, lo cual, esto hace que se debe aplicar un correcto uso de malla de perforación para que no debilite las excavaciones. Se tiene como consecuencia a microfracturas, según (Romero Paucar, 2016) que en la Minera Chinalco con detonadores electrónicos optimiza la fragmentación y la seguridad en el tajo Toromocho, no cuentan con una adecuada distribución de explosivos ocasionando microfracturas, lo cual, esto hace que existan deslizamientos de rocas provocando accidentes con daños graves permanentes e incluso la muerte.

Finalmente, la otra causa es el inadecuado proceso de perforación. Según (Otrilla Aguirre & Romero Chávez, 2018) refiere que es necesario tener un adecuado proceso de perforación, lo cual, se debe tener en cuenta el control de los parámetros de la perforación para que no genere costos altos en el proceso de perforación y voladura de rocas, ya que en la Compañía Minera Santa Luisa – Unidad Pallca al no contar con un adecuado proceso de perforación genera pérdidas de producción. Por lo tanto, se tiene como consecuencia las zonas de sobre excavación.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

El objetivo de las limitaciones de esta investigación es pretender que sea conveniente y determinado, para que se evite en todo momento los temas que son extensos y como confusos; lo cual, estos son difíciles de que se estudien por su amplitud.

Con respecto a la presente investigación, el proyecto se sitúa en la mina MarcaPunta norte, de la unidad minera El Brocal, a una altitud de: 4245 m.s.n.m.

y coordenadas UTM Norte: 8 810900.12, Este: 361632.21, dentro del distrito de Tinyahuarco, provincia de Pasco, la geología local presenta macizos rocosos de resistencia media a débil.

El propósito de la ejecución del túnel es para dar servicios de acarreo de minerales desde la mina Marcapunta norte (salida), hasta cerca de la planta concentradora (llegada), ubicada en la localidad de Huarucaca. Tinyahuarco.

Asimismo, el propósito de esta investigación es realizar la comparación entre el Split set y las barras corrugadas para tener un adecuado sostenimiento de rocas en el túnel, evitando deslizamiento de rocas que causan pérdidas económicas, daños leves y graves para los trabajadores.

**Figura 1.** Ubicación del Túnel de Marcapunta norte - Colquijirca



Fuente: Google Earth – CNES/Airbus

### **1.3. Formulación del problema**

Los túneles de la mina Marcapunta norte se realiza una operación que es subterránea, donde se explota minerales de cobre arsenical en el distrito de Colquijirca, provincia de Pasco. Esta mina, forma parte de la unidad de producción de Colquijirca de la unidad Minera El Brocal.

Lo cual, el principal problema son los deslizamientos de rocas en el túnel en la mina Marcapunta norte y eso se debe a los inadecuados sostenimientos de túneles, causando accidentes, muertes. Es decir, que perjudican a los trabajadores con daños leves y graves; además, causan pérdidas económicas y paralizaciones de producción.

### **1.3.1 Problema General**

¿Cuál es la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco - 2021?

### **1.3.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuál es la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y barras corrugadas de  $\Phi 1''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco - 2021?
- ¿Cuál es la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y barras corrugadas de  $\Phi 3/4''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco - 2021?

## **1.4. Formulación de objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y barras corrugadas de  $\Phi 1''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- Determinar la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y barras corrugadas de  $\Phi 3/4''$  para el sostenimiento de rocas en túneles en mina Marcapunta norte - El Brocal - Pasco - 2021.

#### **1.5. Justificación de la investigación**

Debido a que los proyectos de túneles se llevaran a cabo en el ámbito industrial de la construcción, transporte, minería y otros requieren que estas estructuras brinden seguridad y no tengan deslizamientos o colapso del macizo rocoso, durante la vida útil de la del mismo, es de vital importancia realizar un estudio comparativo entre el uso de Split set y el uso de las Barras corrugadas para sostenimiento de rocas en túneles, que mejorara el comportamiento del macizo rocoso ante los esfuerzos e internos y externos que actúan sobre ella.

Además, (OSINERGMIN, La Gerencia de Supervisión Minera (GSM) presenta el Boletín Estadístico Mensual de accidentes mortales, 2020) indica que la mayoría de las víctimas mortales que se han registrado son en las labores subterráneas y en túneles de excavación, siendo un 23% por el deslizamiento de rocas que ocurren debido a una inestabilidad del macizo rocoso.



### **1.5.1. Justificación económica**

Esto es debido a los beneficios que han obtenido las empresas mineras, ya que al realizar un estudio comparativo se obtendrá un adecuado sostenimiento de rocas en los túneles de minerías generando una mejor producción. Además, disminuirá las pérdidas económicas y una mejor eficiencia con los costos menores para realizar una operación adecuada en las labores.

### **1.5.2. Justificación práctica**

Se consideró práctica, porque los resultados adquiridos en la investigación se pueden aplicar en el aspecto de la minería y civil, especialmente en el área de los túneles teniendo en cuenta la resistencia del macizo rocoso. Lo cual, los trabajadores de las empresas mineras pueden utilizar este estudio comparativo entre la utilización del Split set y barras corrugadas obteniendo un mejor y adecuado sostenimiento para los túneles.

### **1.5.3. Justificación teórica**

Esta justificación se basó en teorías, lo cual, se adquirieron conceptos y definiciones que sustentan a cada una de las variables que posibilitó para que se puede llegar más al estudio de la investigación. Asimismo, se tiene en cuenta los proyectos previos, artículos científicos, noticias, entre otros.

### **1.5.4. Justificación metodológica**

En este aspecto se basó en técnicas de investigación, ya que se determinaron y establecieron los objetivos que se plantearon en esta investigación. Además, se crearon instrumentos que son adecuados y

aptos para que se realice una adecuada recolección de información y un adecuado análisis de datos.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

En esta investigación no se plantea el uso definitivo de los elementos de sostenimiento de roca en túnel tal como es el Split Set y barras corrugadas, solo se analiza el estudio comparativo de los elementos de sostenimiento utilizando la prueba de arranque con el ensayo de Pull Test, las limitaciones de la investigación son:

- Información ausente sobre la comparación entre el Split set y barras corrugadas y su uso en túneles.
- Esta investigación planteada es válida para el túnel en mina Marcapunta norte – unidad Minera El Brocal – Colquijirca – Pasco.
- En la parte operativa poco tiempo, ya que se tenía que trabajar el acarreo de mineral, trabajos operativos que se realiza en explotaciones y otros del túnel.
- No permitió avanzar, seguir investigando y el poco tiempo de trabajo debido al ritmo de trabajo de día en día en explotación de minerales y el acarreo que se transita en el túnel.
- El tiempo disponible para el desarrollo de la investigación es el mismo tiempo que dispone la universidad.
- Los recursos que ayudan al desarrollo de la investigación son recolectados de diversas fuentes de investigación como artículos o trabajo previos y a la recolección de datos in situ.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Las técnicas y métodos de sostenimiento de rocas han tenido un considerable desarrollo a lo largo de las últimas décadas, donde se permitió que las ejecuciones de las infraestructuras de túneles en plazos y costos que son prudentes, que se encuentran bajo las circunstancias que son geotécnicas adversas. El tipo de roca influye en las condiciones de estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones, algunas rocas se caracterizan por su densidad que es baja y por la porosidad que es alta, lo cual, esto se absorbe de una manera muy rápida con respecto a la humedad y se deterioran, donde se va poder alcanzar gradualmente al fallamiento si es que no se acogen medidas de intervención de la estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones.

Las situaciones que son versátiles con respecto a estos tipos de roca, incrementando las condiciones que son de una considerable presencia de agua

como los flujos y los goteos, las presencias de aguas ácidas y los materiales que son rocosos carbonatados.

Los criterios de selección del tipo de sostenimiento a veces se basan en un conocimiento parcial del comportamiento del macizo rocoso lo que sumado a las condiciones desfavorables en algunos casos y heterogeneidad del macizo rocoso hacen recomendable la aplicación de campos de pruebas que validen la solución adoptada.

### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

- (Barrera Zuñiga, 2020) en su investigación “Estudio en fortificación de perno anclaje e inyección”, con el propósito determinar las fortificaciones y anclajes en la zona de construcción. Su metodología es básica con un diseño descriptivo simple. Obteniendo como resultado el proceso de fortificación es muy requerido para la zona de construcción y minería, lo cual, este proceso y sus diversos tipos de elementos va dar la oportunidad de que se adquiriera una capacidad mayor de reforzar, sostener y contener la infraestructura. Concluyendo que, uno de los elementos que es de mejor, mayor soporte y que es más empleado para las excavaciones es el perno cable con lechada de cemento, ya que esto es de bajo costo y de una buena estabilidad comparados con otros elementos de la fortificación.
- (Terrero Cala, 2018) en su investigación “Evaluación de la estabilidad del túnel Levisa – Mayarí, conexión III – IV, Tramo V y propuesta de sostenimiento”, con el objetivo de determinar la consistencia del túnel y establecer el sostenimiento adecuado para el túnel; su metodología es de tipo básica con un diseño descriptivo simple. Los

resultados fueron que de acuerdo a la evaluación geomecánica se obtuvo la calidad del macizo rocoso, donde se encuentra rocas medias y muy malas, lo cual, se propuso utilizar un sostenimiento hormigón que está proyectado para reforzar con fibras sintéticas y con un espesor de 8 cm a 20 cm y anclas metálicas. Concluyendo que, es esencial realizar una evaluación geomecánica a los macizos rocosos para poder tener un adecuado sostenimiento para el túnel, teniendo en cuenta así el RQD, clasificación de Barton que se basa en el índice Q y la clasificación Bieniawski se basa en el RMR.

- (Serrano Ramos E. D., 2017) en su investigación “Propuesta de sostenimiento primario del túnel Chirimollos localizado en la Autopista Durango-Mazatlán”, con el objetivo de establecer y determinar el tipo de sostenimiento primario para el túnel según su clasificación geomecánica. Se obtiene como resultado que de acuerdo a los métodos de las clasificaciones geomecánicas, el que es más económico es el método de sostenimiento de acuerdo a Barton, donde el método de Terzaghi es el menos viable con respecto a lo económico. Llegando a la conclusión que, es de muy esencial tener en cuenta las condiciones actuales de los túneles o áreas de una construcción subterránea como el estado de las estructuras geológicas y las discordancias que existen a lo largo del túnel; lo cual, a través de los métodos de clasificaciones geomecánicas se pueden determinar que sostenimiento es adecuado para los túneles.
- (Rouco Suárez, 2015) en su investigación “Evaluación de la estabilidad y propuesta de sostenimiento para el túnel Levisa-Mayarí

Tramo IV”, con el propósito de determinar una valoración de estabilidad de las rocas y definir el requerimiento o no de fortificar las excavaciones; su metodología es básica con un diseño descriptivo simple. Obteniendo como resultado que de acuerdo a las clasificaciones geomecánicas que se utilizaron para evaluar la estabilidad se obtuvo que el macizo rocoso para el tramo se encontró que la roca es mala y muy mala. Llegando a la conclusión que se requiere fortificar la excavación, lo cual, se propuso la utilización de hormigón lanzado reforzando con fibras sintéticas y combinando con anclas metálicas.

#### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

- (Rios Bartolo, 2019) en su investigación “Evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros Los Ángeles”, con el propósito de establecer la influencia de las evaluaciones geomecánicas en las determinaciones de los tipos de sostenimientos de los macizos rocosos. Su metodología es descriptiva con un tipo de investigación correlacional y con un diseño no experimental del tipo transversal; su muestra fue el macizo rocoso del Batolito de la Costa Peruana. Obteniendo como resultado que de acuerdo a las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski y Barton se encontró en la Roca de Tipo II-Buena, requiere de 3 metros de longitud de bulones con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m, más un concreto proyectado con un espesor de 5 centímetros; mientras que para la Roca de Tipo III-Regular, se requiere de 3 metros de longitud de bulones con un espaciamiento de

1.5m x 1.5m, más un concreto proyectado con un espesor de 8 centímetros, más un malla electrosoldada. Además, el factor de seguridad influye mucho en el sostenimiento de los macizos rocosos de los túneles que se realizaron a través del software Phase 2 V.8.0. En conclusión, se tiene que Bieniawski es el más costoso y sobredimensionado; pero Barton es el que mejor cumple con los factores de seguridad que establece la norma que es de  $F.S. > 1.5$ , asimismo, es el más económico y viable.

- (Uchamaco Alanoca, 2019) en su artículo “Evaluación geomecánica para determinar el diseño de sostenimiento en minería subterránea: Caso Ana María Rinconada”, con el objetivo de; con una metodología descriptiva y aplicativa. Se obtuvo como resultado que la evaluación geomecánica con respecto a los términos de caracterizaciones del macizo rocoso en cuarcita y pizarra, esencialmente en las áreas de estudio se tiene que su RMR para cuarcita es de Tipo II y para pizarra es de Tipo III; lo cual, el macizo rocoso se representa por fracturas y denomina común el bloque de manera de cuña por las intersecciones de tres familias de fracturas que son de carácter semi ortorrómbico. Se concluye que, mediante el índice Q se determinó que es el que mejor evalúa en cada estancia geomecánica y sirve como base para el diseño de un sostenimiento en labores lineales; lo cual, estos son irremplazables de las áreas de explotaciones que dan como elección a los pernos de 1.8m y un espaciado de 1.5 m a 3 metros y esto es depende de una aplicación que es sobre cuña de manera sistemática separada.

- (Cuba Cárdenas, 2017) en su investigación “Análisis comparativo entre los pernos cementados e hydrabolt en el sostenimiento para labores de 3\*3 de sección en la Mina Azulcocha Mining S.A. Concepción-Junín 2017”, con el propósito de diagnosticar los resultados del estudio comparativo de los pernos cementados e hydrabolt para el sostenimiento de las labores. Su metodología es científica, su tipo de investigación es comparativo con un nivel y diseño descriptivo simple; la población es la compañía minera Azulcocha Mining y su muestra es el Crucero 786 de la Mina Azulcocha. Obteniendo como resultado que el tiempo de instalación de los pernos cementados es de 6.92 horas y del perno hydrabolt es de 3.54 horas; además, se realizó un estudio de comparación de resistencia entre los pernos en el transcurso de 5 días, donde los pernos cementados en el 1º, 2º, 3º y 4º día se obtuvo que su resistencia fue de 6.06 tn/pie y en el 5º día se obtuvo que su resistencia fue de 12 tn/pie; mientras que el perno hydrabolt en los 5 días estudiados su resistencia fue de 7.86 tn/pie. Concluyendo que, la resistencia del perno hydrabolt es más uniforme que la del perno cementado, aunque en el 5º día el perno cementado su resistencia fue mayor; por lo tanto, se tiene que ambos pernos son eficientes para el sostenimiento de la Mina Azulcocha.
- (Cruzado Peralta, 2017) en su investigación “Evaluación geomecánica del túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero-San Marcos-Cajamarca”, con el objetivo de determinar el comportamiento geomecánica del túnel; su población es el túnel de



la Central Hidroeléctrica Potrero con una muestra de 18 puntos geomecánicas. Los resultados fueron que se encuentra un ambiente homogéneo, ya que desde la progresiva Km 1+266.94 hasta la progresiva Km 1+437.14, se determinó que el comportamiento del macizo rocoso es de una Roca Regular de Tipo III y una Roca Buena de Tipo II. En conclusión, con el software Dips V6 se determinó que el comportamiento geomecánica del túnel fue que se forman cuñas en las estaciones geomecánicas como la estación 4, 5, 6, 8, 9, 11, 15, 16 y 17, donde se encuentra que existen filtraciones de agua por las primordiales diaclasas que hacen que aumenten los parámetros de inestabilidad geomecánica.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

Con respecto a las bases teóricas se tomó en cuenta a las teorías, definiciones, principios y algunos aportes que son científicos, lo cual, estos se van orientar a que exista un soporte que son científicos en la presente investigación. Además, el desarrollo de la investigación se usó una serie de informaciones como bibliográficas y de campo, lo cual, estas van evidenciar sobre la presente investigación con respecto al sostenimiento en túneles, pernos Split Set, barras corrugadas, pruebas de arranque y geomecánica del túnel.

### **2.2.1. Sostenimiento en excavaciones en túneles subterráneas**

(OSINERGMIN, Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas, 2017) define la finalidad de que se asegure,

controle y se mantenga una consistencia de éstas, con la finalidad de que se proporcione las estipulaciones que son de un trabajo que es seguro y que se brindan accesos a las actividades que se realizan en lo subterráneo. El área de Geomecánica es el encargado de evaluar el macizo rocoso de la construcción y controlar el desprendimiento de roca dar el sostenimiento adecuado. Este es un conjunto de apoyo en la fortificación que se encuentran en las laboras abiertas mediante las explotaciones mineras, donde se va adquirir una condición de estabilidad con respecto al macizo rocoso.

### **2.2.2. Tipos de sostenimiento**

(LOM, 2015) señala que es un conjunto de herramientas que se establecen mediante una construcción con respecto a las labores que son subterráneas, para que se compense las inestabilidades del macizo que es rocoso; lo cual, estos son originados por las excavaciones, como:

- Barras corrugadas
- Perno Split Set
- Arcos de Acero Cimbras
- Malla Electro soldada.

### **2.2.3. Sostenimiento con barras corrugada**

(Huamani Tejada, 2014) indica que se caracteriza porque es un concreto protegido por las estructuras que se le agrega a las barras que son corrugadas, lo cual, con respecto a estas herramientas se van a juntar y formar en un solo sólido de

estructura para que se de una mayor consolidación a las bóvedas excavadas.

#### **2.2.4. Tipos de soporte**

(Cartaya Pire, 2006) manifiesta que se determina por las fuerzas que son portantes, donde se actúa en el macizo rocoso, los cuales podemos controlar en dos tipos de soporte que son:

##### **a) Soporte activo**

Este actúa rápidamente luego de que se haya instalado, donde se asimila las presiones de la roca, con respecto a las herramientas de los sostenimientos es una parte que es integral de la masa:

- Barras corrugadas
- Perno Hydrabolt
- Perno Split Set.

##### **b) Soporte pasivo**

Las herramientas de este sostenimiento es que son externos a la roca y además son dependientes de los movimientos que son internos, lo cual, estos están en contacto con los perimetros que son excavados, como los cuadros que son de madera, cimbras de acero y a las mallas electrosoldadas.

#### **2.2.5. Geomecánica**

(Quispe Matos, 2018) manifiesta que es una ciencia que fomenta a que se interprete un comportamiento con respecto al

macizo rocoso, donde se tiene en cuenta a los aspectos que son geológicos y que influyen a los mecanismos.

#### **2.2.6. Mecánica de rocas**

(Escalante Guerra, 2017) explica que es una ciencia teórica que se aplica al estudio de los comportamientos mecánicos con respecto a la roca intacta y a un macizo rocoso.

#### **2.2.7. Discontinuidades de la masa rocosa**

##### **a) Planos de estratificación**

( Navarrete Cuesta, Apuntes de estratigrafía y sedimentación , 2017) refiere que es la zona donde se va a separar los estratos que son sucesivos de una serie que es sedimentaria.

##### **b) Zona de corte**

(Lucas Salazar, Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A, 2019) indica que estas son bandas de materiales que puede que sean diversos metros de espesores, donde se ha generado muchas fallas de la roca.

##### **c) Fallas**

(Fernandez Baca & Benavente Escobar, Existencia de fallas geológicas activas en el distrito de ILO , 2020) señala que son las fragmentaciones donde han tenido desplazamientos, es decir, que las fuerzas que se intervienen en las fallas que son las compresiones, tracciones, gravedades y cortes.

**d) Diaclasas**

(Griem, Apuntes Geología Estructural, 2020) refiere que son las fragmentaciones donde se presenta habitualmente en las rocas que no han sufrido de desplazamientos.

**e) Planos de Foliación**

(CañapatañaCcora, 2019) indica que son fragmentaciones que se presenta habitualmente en las rocas, que son brechadas y trituradas.

**f) Contacto Litológicos**

(Lucas Salazar, Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A, 2019) señala que estas son formaciones como las cajas piso y techo de una veta que es excavada en un túnel o en socavones.

**2.2.8. Macizo rocoso**

(Alva Mallqui, Lalito Michael, 2019) indica que estas son rocas que puede que sean blandas o duras, con respecto a las fallas de las rocas puede que se presente por áreas que son débiles o de una discontinuidad que son estructurales. Además, se tiene a las rocas que son blandas que fallan mediante un cuerpo de los macizos rocosos y mediante sus deficiencias estructurales.

**2.2.9. Calidad del macizo**

(Solano Martinez, 2016) explica que se considera que es una superficie o roca que es dura o blanda, esto es de acuerdo a las resistencias a las compresiones.

### **2.2.10. Estado tensional del macizo rocoso**

(Ministerio de Transporte y Comunicaciones , 2016) señala que esto es uno de los componentes que se determinan las estabildades de un túnel, ya que las direcciones de las fuerzas que actúan sobre los sostenimientos son debido a una precisa relajación a las tensiones que son naturales. En las superficies sueltas habitualmente admiten que este estado está definido por un peso de la superficie; esto se debe a que se considere en una profundidad de hasta unos 50 metros, pero si las excavaciones se encuentran en una profundidad que es mayor, los esfuerzos que están en el macizo rocoso si tienen otros comportamientos. Además, se tiene a las tensiones que son verticales, tensiones que son horizontales y las tensiones que son tangenciales:

Donde “ $\gamma$ ” es el peso específico, “H” es la profundidad del punto y “ $\mu$ ” es el coeficiente de Poisson de la roca que es un 0.3.

Con respecto al macizo rocoso las tensiones habitualmente son muy diferentes de las litostáticas. Lo cual, esto se debe a que esta roca puede mantener algunas tensiones que son sobrantes y esto se debe a su historia que es geológica como las sedimentaciones, erosiones, fallas, entre otras.

### **2.2.11. Estaciones geomecánicas**

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones , Manual de carreteras: tuneles, muros y obras complementaria R.D. N° 36-2016-MTC/14, 2016) señala que para que se establezca una caracterización con respecto a la discontinuidad, donde se establece unos parámetros que van a determinar las características que corresponde a cada familia de las

discontinuidades que se observan, con la finalidad de que se deben desarrollar unas estaciones que son geomecánicas en sitios anticipadamente seleccionadas.

#### **2.2.12. Características de fallas de macizos rocosos**

##### **a) Planos de estratificación**

(Navarrete Cuesta, Apuntes de Estratigrafía y Sedimentación, 2017) señala que son superficies que separan los estratos consecutivos de una secuencia sedimentaria.

**Figura 2.** Plano de estratificación



Fuente: Geología Web, 2021

##### **b) Zona de corte**

(Lucas Salazar, Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A, 2019) indica que son bandas de materiales que puede que sean diversos metros de espesores, donde ha ocasionado fallas de las rocas.

**Figura 3.** Zona de corte

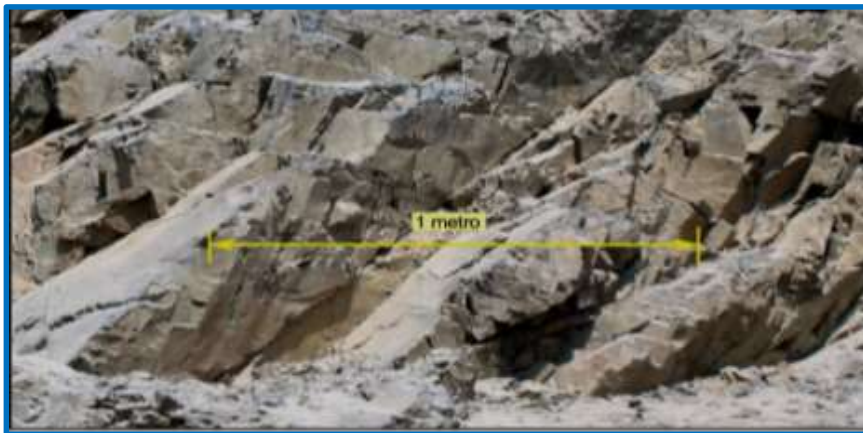


Fuente: Geología Web, 2021

**c) Fallas**

(Fernandez Baca & Benavente Escobar, Opinión Técnica existencias de fallas geológicas activas en el distrito de ILO, 2020) afirma que son fragmentaciones donde han ocurrido desplazamientos; además, actúa en las fallas como las gravedades, compresiones, tracciones y cortes.

**Figura 4.** Falla



Fuente: Geología Web



#### d) Diaclasas

(Griem, Apuntes Geología Estructural Foliaciones: Diaclasas (joints), 2020) este es una discontinuidad que es plana con una visible escala que es mesoscópica, donde este va separar los cuerpos que son rocosos.

Figura 5. Diaclasas



Fuente: Geología Web

#### e) Planos de foliación

(Cañapataña Ccora, 2019) refiere que son fracturas que se presentan comúnmente en la roca, muy trituradas y brechadas.

Figura 6. Planos de foliación



Fuente: Geología Web

#### **f) Contactos litológicos**

(Lucas Salazar, Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A, 2019) define que son las que forman las cajas techo y las cajas piso de una veta excavada en un túnel o mina subterránea.

**Figura 7.** Contactos litológicos



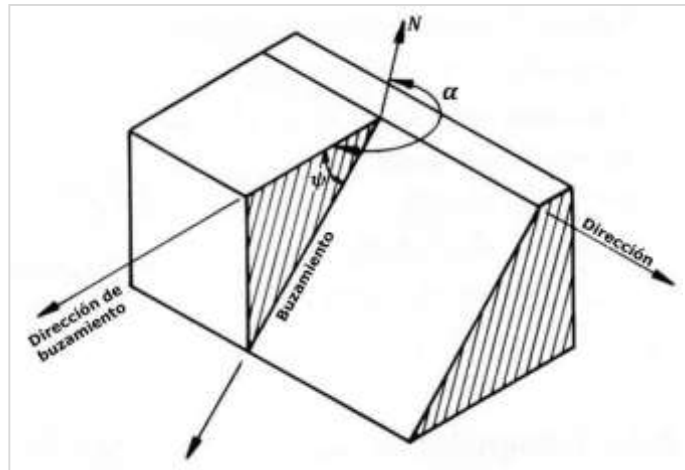
Fuente: Geología Web

#### **2.2.13. Estudio de las discontinuidades**

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, R.D. N° 36-2016-MTC/14, 2016) indica que estudia fracturaciones de los macizos rocosos que se efectúan como partes que son integrantes de las cartografías que son geológicas-geotécnicas.

Un levantamiento con respecto a las discontinuidades se va efectuar acompañando las directrices y recomendaciones de la ISRM, AFTES u otros. Además, con respecto a los planos de discontinuidades que se van a identificar se van obtener los parámetros como los tipos de planos, orientaciones, espaciados, continuidades, rugosidades, JCS, rellenos y las presencias de agua.

**Figura 8.** Representación de rumbo de buzamiento de un plano



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

#### **2.2.14. Hidrogeología**

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016) explica que la finalidad de este estudio que es hidrogeológico, es que se determine las presencias acuíferas donde puede que afecte las excavaciones, incluyendo conocer a las extensiones y números acuíferos, conductividades hidráulicas, isopiezas y los accidentes hidrogeológicos que son singulares.

#### **2.2.15. Cartillas geomecánicas**

(Barrios Apaza, Aplicación de la geomecánica en la minería subterránea, 2019) estas juegan un papel que es esencial para que se pueda desarrollar las estimaciones de la investigación, este va indicar para que se evalúe un macizo rocoso, y así saber si es buena o muy fracturada la roca en la parte interna de los túneles o excavaciones que son subterráneas.

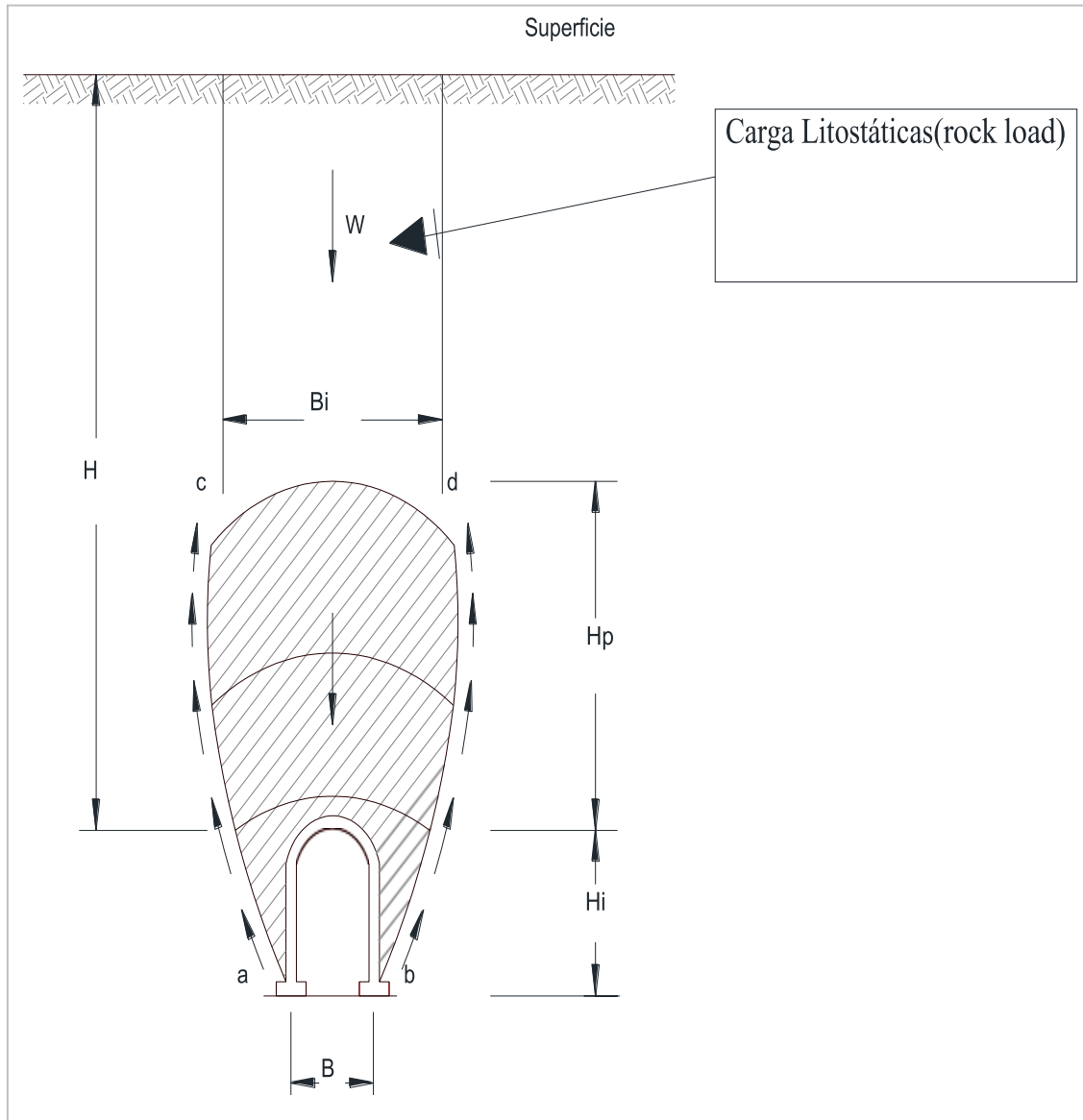
#### **2.2.16. Control de sostenimiento aplicado**

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras: Túneles, Muros y Obras Complementarias, 2016) señala que el sostenimiento a aplicar debe ser con una relación a calidad de la superficie de un túnel, donde está determinado en la investigación. De acuerdo a las clasificaciones geomecánicas, a los métodos constructivos, el equipo de trabajo, experiencias que son previas a los terrenos y las auscultaciones que son realizadas se va definir un sostenimiento que se aplica. Con respecto al control tiene que ser diariamente en métodos que son observados como un NATM, donde esta superficie adquiere una intervención que es mayor en el sostenimiento del túnel.

#### **2.2.17. Terzaghi (1946)**

(Serrano Ramos E. D., Propuesta de sostenimiento primario del Túnel Chirimollos localizando en la autopista Durango – Mazatlán, 2017) manifiesta que este método de Terzaghi es principalmente general, es decir que permite una estimación que es objetiva de la calidad de la roca. Además, no proporciona una información cuantitativa que es acerca de las propiedades de las masas rocosas. Asimismo, Terzaghi clasifica el terreno en diez categorías, lo cual, provee la carga de roca o tensión vertical que sostienen las cerchas de sostenimiento de un túnel cimentado por procedimientos habituales.

**Figura 9.** Esquema de cálculo según Terzaghi



Fuente: Villamil, 2014

**Tabla 1.** Clasificación de Terzaghi

CONDICIONES DE LA ROCA	PESO DE ROCA $H_p$ (m)	OBSERVACIONES
Dura y fuerte	0	Revestimiento ligero, necesario sólo en caso de fenómenos de descompresión
Dura, aunque estratificada o esquistosa	$0 - 0.5 B$	Revestimiento ligero
Masiva, levemente fracturada	$0 - 0.25 B$	La carga puede cambiar erráticamente de un punto a otro
Moderadamente fracturada	$0.25 - B$ a $0.35(B+H_t)$	Sin presión lateral

en bloques o fisurada		
Muy fractura en bloques o fisurada	(0.35 – B a 1.10) (B+Ht)	Pequeña o nula presión
Roca fluyente, profundidad moderada	(1.10 a 2.10) (B+Ht)	Frecuentes presiones laterales, se requieren contrabóveda, cerchas circulares recomendables
Roca fluyente, gran profundidad	(2.10 a 4.50) (B+Ht)	
Roca expansiva	Hasta 76.20 m. Independientemente del valor (B+Ht)	Requiere cerchas circulares. En casos extremos usar soportes deslizantes.

Fuente: Adaptado de Benel, 2020

**Tabla 2.** Clasificación de Terzaghi modificada por Deere et. al (1970)

CONDICIONES DE LA ROCA	PESO DE ROCA HP (M)		OBSERVACIONES
	INICIO	FIN	
Dura e intacta	0	0	Recubrimiento activo, si es que existe un desgaste o separación del material.
Intensamente estratificada o esquistosa	0	0.25B	Frecuentemente astillamientos.
Fuerte, levemente fragmentada	0	0.50B	Estrujamiento contiguo si es que existe sedimentos inclinados, determinados astillamientos.
Levemente fracturada que se forman unos determinados bloques	0	0.25B - 0.35C	-
Muy fragmentada que se forman demasiados bloques	0 - 0.60B	0.35C - 1.10C	Reducida o anulada la presión lateral.
Totalmente fragmentada	-	1.10C	Una consideración de presión lateral. Existen filtraciones y un sostenimiento constante.
Grava y arena	0.54B - 1.20C	0.62C - 1.38C	Es denso, una presión lateral con un Ph de $0.3\sqrt{0.5Ht+Hp}$ , aislado.
	0.94C - 1.20C	1.08C - 1.38C	
Squeezing, moderada profundidad	-	1.10C - 2.10C	Masiva presión lateral, necesita un soporte constante.
Squeezing, profundidad grande	-	2.10C - 4.50C	
Aumentar	-	Más de 76.20 m	Utilización de soportes que son circulares, es decir en

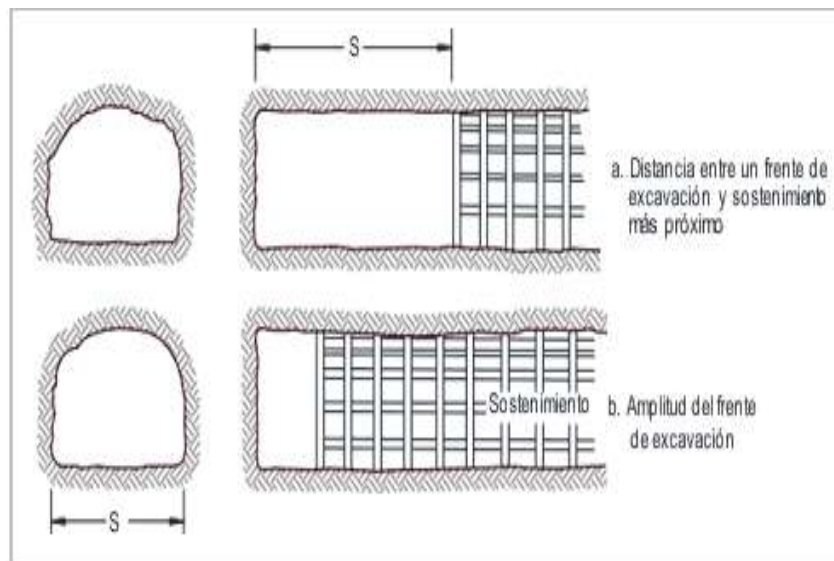
			casos que son intensas, se emplean soportes flexibles.
--	--	--	--

Fuente: Adaptado de Serrano, 2017

### 2.2.18. Lauffer (1958)

(Serrano Ramos E. D., Propuesta de sostenimiento primario del. Túnel Chirimollos localizando en la autopista Durango – Mazatlán”, 2017) refiere que esta clasificación de Lauffer se basa con la introducción de dos concepciones nuevas, como es el periodo de continuidad de las excavaciones que son sin sostenimientos y tiempos de estabilidades de los pases de excavaciones.

**Figura 10.** Esquema de cálculo según Lauffer



Fuente: Cajahuanca, 2018

**Tabla 3.** Clasificación de Lauffer

CLASE	TIPO DE ROCA	SOSTENIMIENTO	CALIDAD DEL TERRENO/ESTABILIDAD
A	Roca sana	-	- Terreno muy bueno, una excavación no revestida. - Su estabilidad es de 20 años.
B	Roca algo fragmentada	Techo	- Terreno bueno. - Su estabilidad es de 6 meses.
C	Roca fragmentada	Techo	- Terreno medio. - Es estable por 1 semana.
D	Roca friable o blanda	Cerchas ligeras	- Terreno mediocre. - Es estable por 5 horas.
E	Roca muy friable o blanda de una débil cohesión	Cerchas pesadas	- Terreno malo, terreno arcilloso con fuertes empujes. - Su estabilidad es de 20 minutos.
F	Roca de empuje contiguo	Pesado y de frente	- Terreno muy difícil, requiere de métodos especiales. - Su estabilidad de la roca de empuje contiguo es de 2 minutos. - La roca de empuje contiguo, pero fuerte es estable por 10 segundos.
G	Roca de empuje contiguo, pero fuerte		

Fuente: Adaptado de Cajahuanca, 2018

### 2.2.19. Deere (1963)

(Benel Rivera, 2020) indica que el índice de calidad de roca que es el RQD es una clasificación geomecánica, donde se indica el grado de fracturamiento del macizo rocoso y demuestra la frecuencia lineal de las discontinuidades; asimismo, el RQD se emplea como un parámetro para las clasificaciones geomecánicas que se dan entre el RMR de Bieniawski y el Q de Barton.



Deere (1970), como se citó en Rodríguez, 2013) menciona que se propuso una serie de sugerencias para el sostenimiento de túneles que va en función del RQD; lo cual, esta propuesta se refiere a que se introduzca como un método alternativo a lo habitual, ósea los explosivos, para el empleo de las máquinas tuneladoras (TBM).

**Tabla 4.** Relaciona el RQD - Método de excavación - Sistemas de soporte alternativos

CALIDAD ROCA	MÉTODO EXCAVACIÓN	ALTERNATIVAS DE SOSTENIMIENTO		
		CERCHAS	PERNOS	CONCRETO PROYECTADO
Excelente RQD>90	Rozadora	No regularmente carga (0 – 0.2) B	No regularmente	No aplicar en el local
	Convencional	No regularmente carga (0 – 0.3) B	No regularmente	No aplicar en el local espesor de 5 – 7,5cm
Buena 75<RQD<90	Rozadora	Puntualmente, ligera separación 1.5 - 2.0m carga (0 – 0.4) B	Ocasional separación 1.5 - 2.0m	No ocasional espesor de 5 - 7,5cm
	Convencional	Ligeramente separada 1.5 – 2.0m carga (0.3 – 0.6) B	Ocasional separación 1.5 - 2.0m	Ocasional espesor 5 - 7.5cm
Regular 50<RQD<75	Rozadora	Ligeramente – media, separación 1.5 – 2.0m carga (0.4 – 1.0) B	Separación 1.2 – 2.0m	De 5 a 10 cm en clave
	Convencional	Ligeramente – media, separada 1.2 – 1.5m carga (0.6 – 1.3) B	Separada 0.9 – 1.5m	> 10 cm en clave y laterales
Mala 50<RQD<75	Rozadora	Mediamente circular, separada 0.9 – 1.5m carga (1.0 – 1.6) B	Separada 0.9 – 1.5m	10 a 15 cm que pueden ser claves como laterales
	Convencional	Media circular, separada 0.6 – 1.2m carga (1.3 – 2.0) B	Separada 0.6 – 1.2m	> 15 cm que pueden ser claves como laterales
Muy malo RQD<25 (exc. Swelling/squee	Rozadora	Media pesada circular cada 0.6m carga (1.6 – 2.2) B	Separación 0.6 – 1.2m	> 15 cm que pueden ser claves como laterales (combinación con cerchas medias)

zing)	Convencional	Media pesada circular cada 0,6m carga (2.0 – 2.8) B	Separación 0.9m	> 15 cm que pueden ser claves como laterales
Muy malo RQD<25 Swelling/squeezing	Rozadora	Muy pesada. Circulares cada 0,6m carga hasta 10 B	Separación 0.6 – 0.9m	> 15 cm que pueden ser claves como laterales
	Convencional	Muy pesada. Circulares cada 0,6m carga hasta 10 B	Separación 0.6 – 0.9m	> 15 cm que pueden ser claves como laterales

Fuente: Adaptado de La Rosa, 2019

(Cajahuanca Capcha, 2018) define al RQD como el porcentaje de testigo mayor de 100 mm, lo cual, es recuperado en un sondeo en un metro de longitud. De tal manera, que Deere establece una división de 5 clases de terreno de acuerdo al grado de fracturación, es decir, que propuso la relación entre el valor de RQD y la calidad de roca.

**Tabla 5.** Relación del valor RQD y de calidad de roca

<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
< 25%	Muy mala
25% - 50%	Mala
50% - 75%	Regular
75% - 90%	Buena
90% - 100%	Excelente

Fuente: Cajahuanca, 2018

### 2.2.20. Sostenimiento en túneles

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras:Tuneles, Muros Y Obras Complementaria R.D. N° 36-2016-MTC/14, 2016) afirma que es una experiencia propiciando un estudio con respecto al comportamiento de las rocas y la realización de las técnicas de construcciones que es eficaz para que se asegure las

estabilidades de unas excavaciones que son subterráneas. El área de las rocas que circundan un túnel, interviniendo en las estabilidades de excavaciones y es la principal herramienta de que va depender.

#### **2.2.21. Perforación**

(Seguridad Minera, 2017) indica que es una de las principales operaciones en las actividades mineras, es decir, es un conjunto de taladros que son perforados por una jacklet o un jumbo. Este es un hueco donde están en una secuencia en manera de un rombo para que se pueda realizar una adecuada distribución de explosivos.

#### **2.2.22. Voladura**

(Sonami, 2016) afirma que es una explosión que se desarrolla en la parte interna de la mina, con la finalidad de que se realice una excavación, lo cual, este se desarrolla a través de unos explosivos, cordones, detonantes, pentacord, entre otros.

#### **2.2.23. Barras Corrugadas**

(SIDERPERU, 2019) explica que son conocidas como barras de refuerzo que se utilizan en componentes de concreto armado, lo cual, esto es por su alta adherencia con el concreto y esto se debe a que cuenta con corrugas tipo High-Bond.

**Figura 11.** Barra corrugada



Fuente: Huamani, 2014

## 2.2.24. Características de barras corrugadas

De acuerdo a SIDERPERU (2019) indica que:

### a. Presentación

Se proporcionan en barras rectas en longitudes estándares.

### b. Composición química

Su contenido es de Fosforo (P) que es máximo un 0.062%.

### c. Longitud

Su longitud es de 9 metros que son consideradas como longitudes estándares o normales; además, se pueden fabricar en otras longitudes, pero tiene que ser previo acuerdo con el cliente.

### d. Variación permisible en la longitud

Se tiene que la tolerancia en la longitud es de +100 mm a -0 mm.

### e. Identificación

Estas barras corrugadas se identifican a través de unas marcas que son laminadas en alto relieve, lo cual, esas marcas lo realizan un fabricante, para su elección de tamaño, tipo de acero y elección de la fluencia mínima.

**Figura 12.** Identificación de la barra



Fuente: SIDERPERU, 2019

f. **Usos**

Estos posibilitan un control de inseguridades que son superficiales y subterráneas, lo cual, esto es como una herramienta de refuerzo. Además, se aplican en planteamiento que son civiles y mineros, de acuerdo a sus ventajas que son de diseño y funcionalidades con respecto al control de una inestabilidad rocosa.

g. **Especificaciones dimensionales y peso**

**Tabla 6.** Especificaciones dimensionales y peso

Barra corrugada	Peso métrico o nominal (Kg/m)	Dimensiones nominales			Dimensiones resaltes (mm)		
		Diámetro (mm)	Área sección nominal	Perímetro nominal (mm)	Espaciamiento promedio (máximo)	Altura promedio (mínimo)	Separación (GAP) 12% del perímetro nominal máxima
3/8"	0.560	9.5	71	29.9	6.7	0.38	3.60
12 mm	0.888	12.0	113	37.7	8.4	0.48	4.71
1/2"	0.994	12.7	129	39.9	8.8	0.51	4.90
3/4"	2.235	19.1	284	59.8	13.3	0.97	7.3
1"	3.973	25.4	510	79.8	17.8	1.27	9.7
1 3/8"	7.907	35.8	1006	112.5	25.1	1.80	13.7

Fuente: Adaptado de SIDERPERU, 2019

**2.2.25. Placa de sujeción para barra corrugada**

(Aceros Arequipa, HOJA TECNICA\_PLACA-

SUJECION\_TUERCA-FIJACION, 2020) indica que:

a. **Descripción**

Placa de acero estructural perforada, lo cual, este se desplaza la barra helicoidal.

b. **Denominación**

PCLAC A36 / PCLAC VOLCÁN A36

c. **Normas técnicas**

ASTM A36 / A36M

d. **Composición química**

C: 0.26% máx.      S: 0.050% máx.      P: 0.040% máx.      Si:  
0.40% máx.

e. **Presentación**

Se tiene al diseño normal que es la placa de sujeción, el diseño volcán que es la placa de sujeción y con respecto a la barra son de 19mm, 22mm, 25mm y 32mm.

f. **Uso**

Este actúa como una base para la postura de esta tuerca, lo cual, esta permanece en comunicación con los macizos rocosos, ni bien este instalado a esta barra.

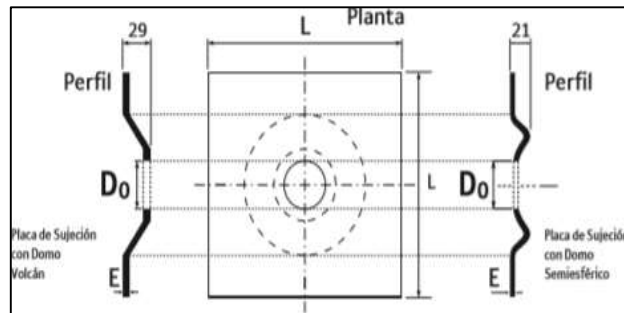
**Figura 13.** Placa de sujeción



Fuente: Aceros Arequipa, 2020

**g. Dimensiones**

**Figura 14.** Principales dimensiones de las placas



Fuente: Aceros Arequipa, 2015

**Tabla 7.** Dimensiones de las placas de sujeción

Diámetro nominal del perno de fortificación (mm)	Dimensiones (mm)			
	Espesor (E)	Tipo	Diámetro de orificio (D <sub>0</sub> )	Lado (L)
19	4.5 +/- 0.45	Normal y Volcán	32.0 +/- 1.0	200 +/- 5.0
22			38.0 +/- 1.0	
25			44.0 +/- 1.0	
32			44.0 +/- 1.0	
19	9.5 +/- 0.45	Volcán	32.0 +/- 1.0	150 +/- 5.0
22			38.0 +/- 1.0	
25			44.0 +/- 1.0	
32			54.0 +/- 1.0	
25	9.5 +/- 0.45	Volcán	44.0 +/- 1.0	200 +/- 5.0

Fuente: Aceros Arequipa, 2015

**2.2.26. Tuerca de fijación de barras corrugadas**

(Aceros Arequipa, Tuerca de Fijación y Placa de Sujeción para barra Helicoidal, 2015)) indica que:

**a. Denominación**

Tuerca acerada A194 / Tuerca fundida A536.

**b. Normas técnicas**

ASTM A536 - Grado 65 - 45 - 12, lo cual, es una tuerca que se fabrica de fundición nodular; ASTM A194 - Grado 7, lo cual, es una tuerca que se fabrica de acero.

c. **Descripción**

Este es una tuerca que se fabrica de acero o de una fundición nodular con un grafito esferoidal, lo cual, esto sirve de complemento a la barra helicoidal.

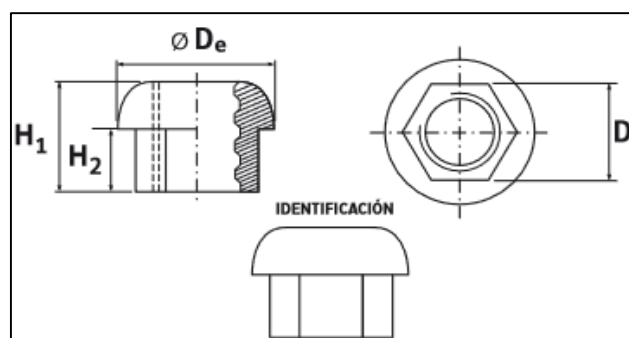
d. **Presentación**

Este se comercializa en los diámetros nominales de 19mm, 22mm, 25mm y 32mm.

e. **Usos**

Este accesorio del perno de anclaje de barra helicoidal permite el posicionamiento de la placa de sujeción sobre el macizo rocoso.

**Figura 15.** Principales dimensiones de la tuerca



Fuente: Aceros Arequipa, 2015

**Tabla 8.** Dimensiones de las tuercas de fijación

Diámetro nominal	Norma de fabricación	Dimensiones (mm)				Peso unitario (gr)
		Diámetro exterior ( $D_e$ )	Altura total ( $H_1$ )	Altura de vástago ( $H_2$ )	Distancia entre caras ( $D$ )	
19	ASTM A194	42.7	34.9	22.0	31.8	160
	ASTM A536	42.0	34.9	22.0	31.8	160
22	ASTM A194	49.3	41.3	25.0	34.9	226
	ASTM A536	49.0	37.0	21.0	32.0	226
25	ASTM A194	55.1	44.5	28.0	38.1	325
32	ASTM A194	69.9	57.2	37.0	46.0	542

Fuente: Aceros Arequipa, 2015



**Tabla 9.** Características principales de las barras corrugadas

<b>Barras corrugadas</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Norma de fabricación</b>
1''	19	Resistencia a la tensión (mínimo) es de 6300 kg/cm <sup>2</sup>	ASTM A194 ASTM A536
3/4''	25	Resistencia a la fluencia (mínimo) es de 4200 kg/cm <sup>2</sup>	ASTM 4194

Fuente: Elaboración propia

### **2.2.27. Mortero de cemento**

(Blanco Curi, Caracterización geomecánica para análisis de pernos hidrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas compañía minera Casapalca, 2018) afirma que es un mortero que está compuesto a base de un cemento, lo cual, su presentación es en envase de plástico pre-perforado. Además, su aplicación como parte del sostenimiento es activo con pernos helicoidales, este se rige de acuerdo a los estándares y procedimientos de colocados de pernos helicoidales y pernos helicoidales con malla.

**Figura 16.** Cartuchos de cemento



Fuente: Elaboración propia

### a) Cálculo del volumen de mortero

La mezcla usada para la lechada de cemento debe ser fluida - pastosa, pero estable, con resistencia mayor a 28 Mpa.

$$V = (\pi/4) \times (D-d) \times L \times 1.25$$

Donde:

- V = Volumen (cm<sup>3</sup>)
- D = Diámetro del taladro (cm)
- d = diámetro del perno (cm)
- L = Longitud efectiva del perno (cm)
- Constante por pérdida en fisuras = 1.25

### b) Diseño de Lechada de Cemento

- Relación: a/c = 0.305 (agua y cemento)
- Bolsa de cemento = 42.5 kg
- Agua = 42.5 kg x 0.305 = 12.97 kg = 13 lts
- Volumen del mortero: (Lt agua + Lt cemento) x 0.65
- Bolsa de cemento = 42.5 kg
- Densidad del cemento = 3.1 kg/lit
- Volumen de bolsa de cemento = 42.5/3.1 = 13.7 lit de cemento
- Volumen del mortero por bolsa preparada = (13+13.7) x 0.65 = 17.35 lit
- Se incrementa un 35% por pérdida de operación y compactación

**c) Especificaciones físicas**

- Consistencia plástica.
- Expansión en autoclave máximo del 1%.
- Retención de agua mínimo del 70%.
- Contenido de aire del mortero mínimo 8% y máximo 19% en volumen.

**d) Especificaciones mecánicas (Resistencia a la compresión)**

- A los 7 días es mayor a 12.5 MPa.
- A los 28 días es mayor a 20 MPa.

**2.2.27. Mortero de resina**

**a) Cartucho de resina**

(CASTEM, Cartuchos de Resina GROUND LOCK, 2020) manifiesta que está conformado por polímeros y peróxidos orgánicos, en compartimientos separados por un film de poliéster. Al combinarse ambos factores, se desarrolla unas reacciones químicas que son instantáneas, permitiendo una fijación de las barras de anclaje.

➤ **Ventajas**

- De fácil uso debido a su forma de cartucho.
- La resistencia se adquiere después de mezclar sus dos factores.
- Lechada de cemento.
- No provoca toxicidad para la salud humana.

➤ **Características**

Composición:

- Primer componente: color gris (resina rápida y lenta).
- Segundo componente: color blanco (resina rápida) color naranja (resina lenta)
- Longitudes del cartucho: 305 a 500 mm (variables a solicitud).
- Diámetros del Cartucho: 28, 32, 34, 36, 38 y 40mm (variables a solicitud).

➤ **Diámetro de la perforación**

La importancia radica en:

- Un diámetro de perforación inadecuado produce variaciones en la rigidez del perno barra.
- Implica un gasto innecesario de cemento y resina.
- Un mezclado inadecuado de la resina o cartucho de cemento.

➤ **Diámetro para cartuchos y/o resina**

- $\Phi$  de perforación =  $\Phi$  barra + 15 mm
- Para barra de 19 mm  $\Phi$  perforación = 34 mm
- Para barra de 22 mm  $\Phi$  perforación = 37 mm

➤ **Diámetro para lechada de cemento**

- $\Phi$  de perforación =  $\Phi$  barra + 18 mm
- Para barra de 19 mm  $\Phi$  perforación = 37 mm
- Para barra de 22 mm  $\Phi$  perforación = 40 mm.

**b) Agua**

(Ministerio de transportes y Comunicaciones, 2016)) indica que el agua para que se utilice en las combinaciones de concretos, donde se tiene que estar limpio y libre de sedimentos que son dañinos como los aceites,

materias orgánicas y ácidos. Donde se va considerar una apropiada agua que sea adecuada para el consumo de las personas.

**Tabla 10.** Límites máximos de impurezas en el agua

<b>Ensayos</b>	<b>Tolerancias</b>
Sólidos en suspensión (ppm)	5000 máx.
Materia Orgánica (ppm)	3,00 máx.
Alcalinidad NaHCO <sub>3</sub> - (ppm)	1000 máx.
Sulfatos como Ión Cl (ppm)	1000 máx.
PH	5,5 – 8,0 máx.

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016

### 2.2.28. Split set

(HF, 2017) indica que es un sistema estabilizador de rocas que actúa o transfiere su carga por fricción; consiste en un tubo ranurado longitudinalmente, con un extremo cónico para ser insertado en la perforación, el otro extremo lleva un anillo soldado que sirve para sujetar la planchuela de acero.

#### a) Características

- Acero ASTM A-607 Grado 60 o similar.
- Presentación: En fierro negro y a solicitud galvanizado.
- Resistencia a la fluencia (MPa): 450.
- Resistencia a la tensión (MPa): 560.
- Elongación (%): 20.

#### b) Placa de sujeción

- Acero ASTM A 36.
- Longitud 4', 5', 6', 7', 8, y 10' (pies).
- Diámetro de base: 39.5 mm.
- Diámetro de placa: 42.5 mm.
- Placa Cuadrada (mm): 150x150 x 4.0mm.

- Diámetro del agujero (mm): 42mm.
- Espesor de Material: 2.3 a 2.5 mm.

**c) Instalación**

Se realiza mediante aplicación de fuerza con máquina Jack Leg o Jumbo.

**d) Datos técnicos**

- Capacidad de anclaje: 1.0,1.2 y 1.5 Ton/pie.
- Diámetro de la perforación: 35,37 y 38 mm.

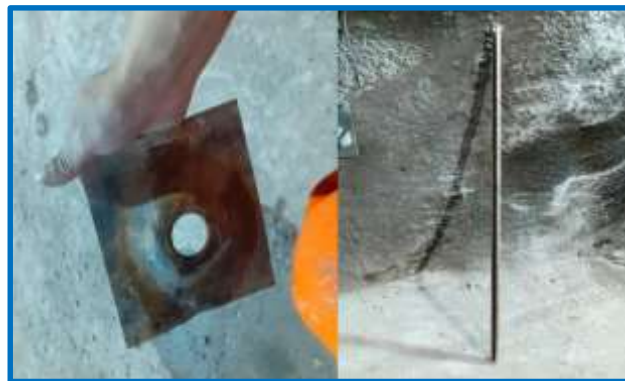
**e) Dimensiones**

**Tabla 11.** Principales dimensiones

Descripción	Diámetros (mm)
Diámetro base	40 mm $\pm$ 0.5
Diámetro de ahusamiento	32 mm
Espesor del material	2.5 mm $\pm$ 0.2
Longitud de ahusamiento	60 mm

Fuente: HF, 2017

**Figura 17.** Split set



Fuente: Elaboración propia

**f) Parámetros**

- Diámetro de 39 milímetros.
- Longitud de 7 pies equivalente a 2.10 metros.

- Resistencia de 1 a 1.5 toneladas/pie de longitud, esto depende principalmente del diámetro del taladro y del tipo de la roca.
- Tipo de roca es regular a mala, roca intensamente fragmentada y débil no se recomienda utilizarlo.
- Diámetro de perforación del taladro, es crucial para su capacidad. Se recomienda para los split set de 39 mm, un diámetro de perforación de 35 a 38 mm.

**Tabla 12.** Características principales del Split Set

<b>Split Set</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Norma de fabricación</b>
Split Set	39 mm	1 a 1.5 toneladas/pie	ASTM A607

Fuente: Elaboración propia

#### **2.2.29. Prueba de arranque**

Esta esta es decisiva para un proyecto en el aspecto industrial, verificando que todo lo que lo que se ha fabricado ha sido diseñado, probando un correcto funcionamiento de cada una de las partes que instituyen un procesamiento y se empieza una planta para que se adquiera un producto que no es deseado.

#### **2.2.30. Equipo e instrumentación para el ensayo de prueba de arranque**

Consiste en un equipo Pull Test, con medidor de desplazamiento, utilizado para garantizar la calidad de los elementos de sostenimiento del túnel, así como para determinar que las barras o pernos de anclaje cumplen con las especificaciones técnicas requeridas.

➤ **Características técnicas**

- Tiene una capacidad de 20 y 30 Toneladas.
- Su fuerza es de 115.4 KN.
- La carrera es de 50 mm.
- El manómetro digital es de 0 a 400 bar.
- Su sección es de 16.50 cm<sup>2</sup>.
- Su volumen es de 83 cm<sup>3</sup>.
- Su es de 3.7 Kg.
- Su diámetro máximo es de 95 mm.

**2.2.31. Tipos de ensayo con equipo Pull Test**

**a) Ensayos de investigación**

- Permite obtener valores de terreno no ensayados en el proyecto.
- Resistencia del bulbo del anclaje en la interfaz lechada de terreno.
- Carga de deslizamiento del anclaje.
- Curva de deformación del anclaje bajo diferentes cargas, hasta la rotura.
- Las pérdidas de tensión del anclaje bajo cargas de servicios.
- La longitud libre aparente.

**b) Ensayos de equivalencia**

Tiene como objetivo validar In Situ (condiciones de obra) los datos obtenidos de los ensayos de investigación.



### c) Ensayos de aceptación

- Demostrar la carga de prueba es soportada por el anclaje.
- Determinar la longitud libre aparente de la armadura en caso de pernos activos.

**Figura 18.** Equipo para ensayo Pull Test



Fuente: Elaboración propia

## 2.3. Definición de términos básicos

### **Túneles.**

(Soto Vilca A. C., 2016) refiere que los túneles son obras que el espacio está limitado a la sección transversal, tiene unas características diferentes al resto de las obras su forma y trazo. Además, los túneles tienen una característica propia en cada una de ellos es un caso particular que se puede analizar individualmente.

### **Galibo de túnel.**

Altura libre mínima entre el punto más alto de la calzada y el punto más bajo de la bóveda que debe mantenerse permanentemente para permitir el paso del tráfico autorizado.

### **Galibo lateral de túnel.**

Distancia horizontal transversal entre el borde de la calzada y el hastial del túnel.

**Sostenimiento.**

(Herrera Irigoín, 2021) señala que es estabilizar los espacios abiertos del túnel (bóveda excavada) y crear una condición segura. Asimismo, este sostenimiento consta en estabilizar al macizo rocoso del subsuelo para personas, equipos móviles y para diferentes áreas de actividad.

**Roca.**

(Servicio Geológico Mexico, 2017) indica que es un agregado de uno o varios minerales que son sólidos, lo cual, tienen sus propiedades físicas y química bien explicadas que se asocian de una manera natural. Estas rocas se pueden clasificar en sedimentarias, ígneas y metamórficas.

**RMR.**

(Soto Vilca A. C., 2016) manifiesta que es la clasificación geomecánica de Bieniawski, son parámetros o sistema de clasificación geomecánica presentado por el ingeniero Bieniawski para analizar el comportamiento del macizo rocoso sea superficie y subsuelo, el tiempo de soporte del espacio excavado (bóveda).

**GSI.**

(Barrios Apaza, Aplicación de la geomecánica en la minería subterránea, 2019) afirma que el GSI que es planteado por el Hoek, es el índice de resistencia geológica; lo cual, está basado al estudio de falla en roca. Asimismo, el GSI estima la reducción de la resistencia del macizo rocoso para diferentes parámetros de condiciones geológicas.

**RQD.**

(Churata Mestas, 2019) Refiere que fue realizado por Deere, para que se promueva un considerado cuantitativo de calidad del macizo rocoso y eso se da a partir de los testigos de perforación diamantina. Este RQD es como el porcentaje

de recuperación de un testigo que es mayor a los 10 cm de longitud en su eje, lo cual, no se tiene en cuenta las fracturas frescas del procesamiento de perforación con respecto a la longitud total del sondeo.

### **Lechada de cemento.**

(CIMENTER, 2016) define que es una mezcla de agua y cemento que pueden llevar algún aditivo. Es decir, que es una mezcla de cemento gris o blanco sin arena, pero con agua, lo cual, se realiza para conseguir un fluido semilíquido que tiene diversos usos y aplicaciones en construcciones; además, se utiliza como inyecciones para tener mejoramiento en el terreno. Asimismo, este se puede añadir en arena fina que sea menor de 2 mm que es en una cantidad inferior en peso al total de cemento en la mezcla.

### **Resina.**

(Blanco Curi, Caracterización geomecánica para el análisis de pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas compañía minera Casapalca, 2018)) refiere que estos son utilizados como encapsulantes para realizar la instalación de los pernos helicoidales, lo cual, su aplicación como parte del sostenimiento que es activo con los pernos helicoidales.

### **Software Phase 2.**

(De la Cruz Canchari, s.f.) explica que es un software en dos dimensiones para un estudio del esfuerzo sobre las herramientas finitas que pueden ser plásticos o elásticos, ya sea en excavaciones subterráneas o en superficies en roca o el suelo.

### **Software DIPS.**

(Porlles, 2018) manifiesta que es un programa que está diseñado para que se realice un análisis y se visualice una información que es estructural que son los datos geológicos de orientación. Además, este software permite que se utilice

herramientas que son más adecuada para un análisis de datos a través de una proyección que es estereográfica.

#### **Perno helicoidal.**

(Quispe Mollisaca, 2018) indica que es una barra de acero, donde la sección es transversal es ovalada con resaltes de manera de un hilo helicoidal izquierdo. Además, éstas actúan en contribución con un método de fijación que se forma por una placa de acero.

#### **Equipo Pull Test.**

(CASTEM, Equipo Pull Test, 2020) señala que es una mezcla de elementos que son individuales, lo cual, estoy ya vienen listos para que sean utilizados; además, se incluye un cilindro de una acción que es simple, manguera, bomba y un manómetro.

#### **Microsoft Excel.**

(Orrante, 2021) define que es un programa del tipo de Hoja de Cálculo, donde se permite desarrollar operaciones con números organizados en una cuadrícula. Además, este se utiliza de muchas maneras en una empresa, ya que establece los datos por renglones y columnas.

#### **SPSS.**

(Souto Grande, 2021) manifiesta que significa Statistical Package for the Social Sciences (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales); es decir, que es un programa de un conjunto de herramientas de un tratamiento de datos y análisis que son estadísticos. Lo cual, este programa facilita a los investigadores herramientas que posibilitan la consulta de datos y formulaciones de hipótesis de una manera rápida.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Existe una diferencia significativa entre el uso del Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- Existe una diferencia significativa entre el uso del Split Set y barras corrugadas de  $\Phi 1''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- Existe una diferencia significativa entre el uso del Split Set y barras corrugadas de  $\Phi 3/4''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable Independiente**

Split set y Barras corrugadas

### **2.5.2. Variable dependiente**

Estudio comparativo (mm)

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

*Tabla 13.* Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<b>Variable independiente</b> Split Set y Barras Corrugadas	Split Set es una herramienta estabilizadora de rocas que actúan o transfieren su carga por fricción.	Características del Split Set	Dimensiones del Split Set	Fichas de laboratorio de prueba de Pull Test formato.
	barras Corrugadas es una clase de acero laminado diseñado especialmente para construir elementos estructurales de hormigón armado.	Características de barras Corrugadas	Dimensiones de barras corrugadas	
<b>Variable dependiente</b> Estudio comparativo (mm)	Prueba de arranque es la capacidad de los pernos instalados en el macizo rocoso.	Ensayo de arranque expresada en milímetros (mm)	Prueba de arranque para fierros corrugados $\Phi$ 1" y $\Phi$ 3/4"	

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

De acuerdo al enfoque la investigación tiene un enfoque cuantitativo, según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) manifiesta este enfoque consiste incluyendo la hipótesis que van a definir una relación entre las variables. Además, los resultados puede que sean de una consideración por un análisis, los datos se emplearan para que se pueda probar la hipótesis con una base estadista y numérica.

#### **3.2. Nivel de Investigación**

El nivel de la investigación es correlacional, según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) indica que son estudios que se correlacionan pretendiendo responder a unas preguntas de la investigación. que los estudios correlacionales pretenden responder a preguntas de investigación. El estudio tiene como objetivo reconocer una relación de asociaciones que pueden existir entre dos o más variables.

### **3.3. Métodos de investigación**

El método utilizado en la investigación es cuasiexperimental, ya que se presenta en ensayos de arranque a las barras corrugadas y el Split set.

### **3.4. Diseño de investigación**

La investigación tendrá un diseño cuasiexperimental, según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) señala que los diseños cuasi experimentales también se manipulan premeditadamente, al menos, una variable tiene que ser independiente para que se pueda adquirir un efecto y una relación con una o más variables que son dependientes, el diseño cuasiexperimental es un sujeto donde no asigna un azar a los grupos que ni se emparejan.



Donde:

X: Barra corrugada de diámetros de 1",3/4 " y Split Set " (variable independiente)

Y: Estudio Comparativo mm (variable dependiente)

Esta investigación tiene un diseño cuasiexperimental, donde se va manipular una variable y luego se observará sus efectos.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

La población está constituida por 30 varillas de barras corrugadas y 15 pernos de Split set utilizadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte - unidad minera El Brocal.



### 3.4.2. Muestra

La muestra es no probabilística se ha seleccionado 15 muestras de fierro corrugado de 7 pies de largo de  $\Phi 1''$  y  $3/4''$  15 pernos de 7 pies de largo de Split.

**Tabla 14.** Distribución de muestras según el diámetro de fierros

Muestra	Cantidad de Probetas
Split set de 7 pies de largo diámetro de 39 mm	15 probetas
Fierro corrugado de 7 pies de largo de $\Phi 1''$	15 probetas
Fierro corrugado de 7 pies de largo de $\Phi 3/4''$	15 probetas

Fuente: Elaboración propia

## 3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos

### 3.6.1. Técnicas

Las técnicas de recolección de datos son los mecanismos e instrumentos que se utilizan para reunir información son efectivamente de los materiales y equipos de laboratorios usados en la investigación fueron:

- Fierros corrugados de 7 pies diámetro de  $1''$  y  $3/4''$ .
- Perno Split Set de 7 pies, diámetro de 39mm.

### 3.6.2. Instrumentos

Los instrumentos es el Pull Test, lo cual, este ha proporcionado para la fuerza de arranque y el software Excel para verificar las estadísticas de valores.

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

#### **3.7.1. Describir la resistencia de los pernos**

Para (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) indica que toda medición de recolección de datos debe reunirse en tres requisitos que son importantes que son la confiabilidad, validez y objetividad.

a. **Confiabilidad:** Es un instrumento de medición que se refiere al grado en que su aplicación es repetida al mismo individuo u objeto que produce resultados iguales.

b. **Validez:** En términos generales, se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir.

c. **Objetividad:** Es un instrumento de medición se refiere al grado en que éste es o no permeable a la influencia de los sesgos y tendencias del investigador o investigadores que lo administran, califican e interpretan.

d. **Selección:** Además, las materias de investigación y medición de datos cuentan con la validación y confiabilidad de los instrumentos utilizados en dicho proceso de análisis comparativos del Split Set y Barras corrugadas en rocas de túneles de la mina Marcapunta norte - El Brocal.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

#### **3.8.1. Identificación del lugar de ensayos**

Al ir al lugar de campo en investigación donde se realizará el procesamiento de estudios comparativos de Split set y barras corrugadas,

en el túnel se procedió a verificar las características del macizo rocoso que se presenta en el túnel.

Se verifico los tipos de sostenimiento que se aplica en la bóveda del túnel, el recorrido del túnel es de 1.5 (Kilómetros lineales) la que elegimos para las pruebas de ensayo en el campo se tomara cualquiera distancia del túnel y parte hastial de la bóveda del túnel.

### **3.8.2. Evaluación y condición de la roca del túnel**

En este proceso de evaluación se identificará el tipo de roca y sus características geológicas que se presenta en el túnel, verificaremos las fallas del macizo rocoso de la geología del túnel.

Todo proceso de evaluación se realizará con la tabla de geomecánica utilizando la tabla de GSI y RMR, dicha tabla es proporcionado por la unidad minera El Brocal; asimismo, se aplicó el software DIPS Y PHASE 2 para los tipos de roca que se presentan en el túnel.

### **3.8.3. Cálculo del índice del estudio comparativo**

En esta etapa de trabajo se analizar estudios comparativos de los dos elementos de sostenimiento, Split Set y barras corrugadas, inspeccionando el tipo de roca que se presenta en el túnel de mina Marcapunta norte - El Brocal, donde se realizará mediante un cuadro comparativo de acuerdo a la norma de especificaciones técnicas.

### 3.9. Tratamiento estadístico

- (Martel Fernandez, 2021)manifiesta que el tratamiento estadístico consiste en el procedimiento para llegar a un resultado, estudiando los hechos mediante la descomposición del objeto de estudio en partes o elementos para estudiarlas de forma individual, permitiendo conocer mucho más el objeto de estudio, de dar el enfoque cuantitativo, al tratamiento estadístico el tipo de estudio fue explicativo, el método es hipotético- deductivo, de diseño cuasi experimental;
- Según ( Velázquez & Vélez Flores, 2019)indica que software Excel se le considera como una hoja de cálculo potencialmente diseñada para sacar estadísticas numéricas, es decir, es usada comúnmente para realizar tareas financieras y contables. En esta investigación se utilizará el software Excel para visualizar los índices comparativos.

### 3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La presente investigación se orienta a contribuir en el conocimiento sobre el método más óptimo para sostenimiento de rocas en túneles, lo cual servirá como punto de partida para optimizar el diseño del túnel, a la vez que brinden mayor seguridad y funcionabilidad durante su vida útil. Los datos fueron recogidos del manual de carreteras: manual de túneles, muros y obras complementarias.

- **Epistémica.** - aplicamos el método físico del comportamiento de sostenimiento con las barras corrugadas y Split set con relación con el macizo rocoso del túnel.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

El túnel construida tiene una longitud de 1.50Km (un kilómetro y medio) de longitud, de 8.0 m de ancho y 5.0 m de alto, (8 x 5) con rumbo S38°W, con arcos semicirculares en los extremos superiores para lograr una distribución uniforme de esfuerzos, presenta una luz de 8.00 m que se mantiene a través de toda la altura de los hastiales, la contra bóveda presenta una longitud de 8.00 m y los hastiales tienen una altura de 3.50 m, en el cual, el macizo rocoso que predomina es la filita.

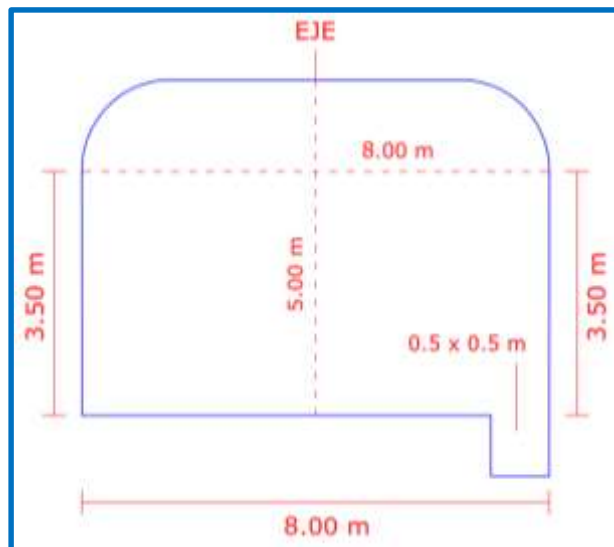
Con respecto al eje del túnel y su relación de excavación con buzamiento se tiene al parámetro que es la orientación de las discontinuidades, donde la clasificación para los buzamientos con relación al eje de la obra es que el Buzamiento es de 40°W, lo cual, la excavación con Buzamiento es favorable.

**Figura 19.** Sección típica de túnel



Fuente: Elaboración propia

**Figura 20.** Geometría del túnel



Fuente: Elaboración propia

#### **4.1.1. Caracterización geomecánica del macizo rocoso en túnel de Mina Marcapunta norte**

**UCS:** Resistencia a la Compresión Uniaxial, Con el objetivo de determinar la resistencia a la compresión simple se efectuaron ensayos de laboratorio de mecánica de roca y estimación de resistencia con picota de geólogo.

**Tabla 15.** Resistencia del macizo rocoso

<b>Ítem</b>	<b>Laboratorio (Mpa)</b>	<b>Picota (Mpa)</b>
Caja techo	110	118
Caja piso	122	127

Fuente: Elaboración propia

**RQD:** El índice de designación de la calidad de la roca (RQD), provee un estimado de la calidad del macizo rocoso a partir de un cálculo volumétrico de las frecuencias de fracturas naturales en las estaciones de mapeo geomecánico.

**Tabla 16.** RQD del túnel

<b>Ítem</b>	<b>RQD (%)</b>
Caja techo	65
Caja piso	72

Fuente: Elaboración propia

**FF/m:** frecuencia de fracturas por metro, de manera similar al RQD se entrega la frecuencia de fracturas para cada litología.


**Tabla 17.** Cantidad de fracturas por metro

<b>Ítem</b>	<b>FF/m</b>
Caja techo	15
Caja piso	18

Fuente: Elaboración propia

**RMR:** Esta clasificación geomecánica originalmente creada por Bieniawski, tiene en cuenta diferentes parámetros de las discontinuidades tales como la resistencia a la compresión, el RQD, el espaciamiento, la apertura, la rugosidad, la persistencia, el relleno, la meteorización, la presencia de agua y la orientación de las discontinuidades.

**Figura 21.** Clasificación del macizo rocoso

		CLASIFICACION GEOMECANICA	
CLASIFICACION Y TIPO DE ROCA	CALIDAD DE ROCA	INDICE " RMR"	INDICE " Q"
<b>I</b>	<b>MUY BUENA</b>	<b>100 - 81</b>	<b>&gt; 51</b>
<b>II</b>	<b>BUENA</b>	<b>80 - 61</b>	<b>50 - 10</b>
<b>III A</b>	<b>REGULAR A</b>	<b>60 - 51</b>	<b>10 - 7</b>
<b>III B</b>	<b>REGULAR B</b>	<b>50 - 41</b>	<b>7 - 4</b>
<b>IV A</b>	<b>POBRE A</b>	<b>40 - 31</b>	<b>4 - 1</b>
<b>IV B</b>	<b>POBRE B</b>	<b>30 - 21</b>	<b>1 - 0.1</b>
<b>V</b>	<b>MUY POBRE</b>	<b>≤ 20</b>	<b>≤ 0.1</b>

Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.



Tabla 18. Cálculo de RMR para la caja piso, techo - túnel

Registro N°:		Labor: TUNEL		Nivel:								
Refer. Topográfica:		8.00M X 5.00M		Fecha:								
DATOS DE MAPEO GEOMECÁNICO RMR												
Litología			Familia de Discontinuidades									
Filita alterada			Azimut de la Labor									
Hecho por: Area Geomecanica												
Condición de Exposición: Fresca, Decolorada, Descompuesta, Desintegrada (Subrayar)												
Dimensión de la lab			Buzamiento Veta:									
Parámetro	OC		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación de Discontinuidades	RMR Básico	RMR Ajustado	
	Resistencia a la Compresión	RQD	Espaciamento entre Discontinuidades	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno					Meteorización
Valores	15 12 7 4 2	20 17 13 8 3	15 10 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0	15 10 7 4 0	0 -2 -5 -10 -12		
Tramo de mapeo (m)	1->250 Mpa 2-100 - 250 Mpa 3-50 - 100 Mpa 4-25 - 50 Mpa 5-5 -25 Mpa 6.1.5 - 5 Mpa	1-90 - 100% 2-75 - 90% 3-50 - 75% 4-25 - 50% 5- <25%	1-> 2 m 2- 0.6 - 2 m 3- 200 - 600 mm 4- 60 - 200 mm 5- < 60 mm	1- < 1 m 2- 1 - 3 m 3- 3 - 10 m 4- 10 - 20 m 5- > 20 m	1- Cerrada 0 2- Muy Angosta < 0.1 mm 3- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4- Abierta 1.0 - 5.0 mm 5- Muy Abierta > 5.0 mm	1- Muy rugoso 2- Rugoso 3- Ligeramente Rugosa 4- Lisa 5- Muy Lisa	1- Ninguna 2- Relleno duro < 5 mm 3- Relleno duro > 5 mm 4- Relleno blando < 5 mm 5- Relleno blando > 5 mm	1- No meteorizada 2- Ligeramente 3- Moderadamente 4- Altamente meteorizada 5- Descompuesta	1- Completamente seco 2- Húmedo 3- Mojado 4- Goleo 5- Flujo			
muestreo solo de frente	1	3	5	2	6	1	6	6	10	40	-5	35
H.D.	1	8	5	4	6	1	2	6	10	43	-5	38
CO.	7	8	5	4	6	3	2	6	10	51	-12	39

CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR							
TIPO DE ROCA	RMR	DESCRIPCION	TAS ( Tiempo de Auto Soporte )	L = 5 m.		L = 1 m.	
				Fract.	RQD	Fract.	RQD
I	100 - 81	MUY BUENA	1 año aprox.	40	81	1	100
II	80 - 61	BUENA		41	80	2	98
III A	60 - 51	REGULAR "A"		42	79	3	96
III B	50 - 41	REGULAR "B"		43	79	4	94
IV - A	40 - 31	POBRE "A"		44	78	5	91
IV - B	30 - 21	POBRE "B"	3 meses aprox.	45	77	6	88
				46	77	7	84
47	76	8		81			
48	75	9		77			
49	74	10		74			
V	0 - 20	MUY POBRE	8 horas aprox.	50	74	11	70
				51	73	12	66
52	72	13		63			
53	71	14		59			
54	71	15		56			
OBSERVACIONES							
Tipo de Roca es ; IV A ( POBRE A							
57 68 18 46							
58 68 19 43							
59 67 20 41							
60 66 21 38							
61 66 22 35							
62 65 23 33							
63 64 24 31							
64 63 25 29							
65 63 26 27							
66 62 27 25							
67 61 28 23							
68 61 29 21							
69 60 30 20							
70 59 31 20							

CROQUIS LATERAL O EN PLANTA		DISCONTINUIDADES		EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACIÓN DE TUNELES				
		DIR. BUZ/ BUZ	ESP. MEDIO	Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel		
		SET1	341/78°	Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°	Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°	Buzamiento 45-90°	Buzamiento 20-45°	
		SET2	112/30°	Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular	
		SET3	078/46°	Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°	Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°	Buzamiento 0-20° Independiente del rumbo		
		SET4		Regular	Desfavorable	Regular		
CROQUIS DEL FRENTE		ESTRUCTURA MAYOR		GRADO				
		DIR. BUZ/ BUZ	POTENCIA	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO				
				R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla (Se indenta profundamente).			1.5 - 5.0
				R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta).			5.0 - 25
				R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo.			25 - 50
				R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo.			50 - 100
				R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.			100 - 250
				R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo			> 250
				OBSERVACIONES				

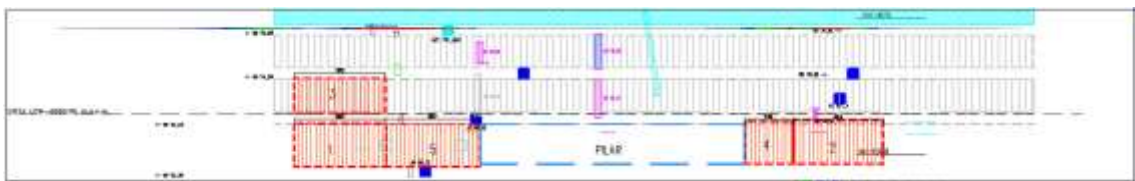
Fuente: Empresa Minera.

En el cuadro 4 se observa el RMR de la caja piso y de la caja techo en donde se han tenido en cuenta diversos parámetros de las discontinuidades presentes para finalmente obtener su clasificación según el RMR ajustado de 38 y 39 respectivamente lo cual está en el rango de la clasificación IV – A (40 – 31) lo que se cataloga como un macizo rocoso pobre A por lo cual se estima que tiene un mes de autosoporte.

#### 4.1.3. Condiciones geomecánicas actuales de la labor del túnel

Actualmente el túnel tiene las condiciones para continuar con su desarrollo se realizaron los levantamientos de desate y resane; así mismo el túnel presenta dos accesos por la parte superior uno para ventilación y otro para estocadas de refugios. Se realizará la evaluación del LMA (límite máximo de abertura), lo que permitirá tener control de las cajas y evitar problemas de estabilidad.

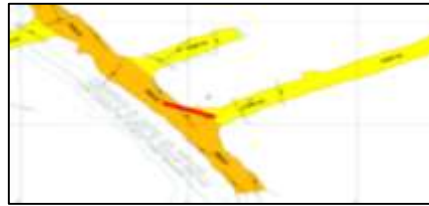
**Figura 22.** Lugar de prueba (350 m)



Fuente: Elaboración propia

El mapeo geomecánica que se realizó en el túnel muestra que la zona como la caja techo muestra una calidad de roca tipo IV-A, mientras que la caja piso presenta calidad de macizo rocoso III-B.

**Figura 23.** Plano geomecánico del túnel



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4. Evaluación de estabilidad (método gráfico)

**Tabla 19.** Propiedades físicas de roca intacta

PROPIEDADES DE ROCA							
Material	Densidad (MN/m <sup>3</sup> )	Módulo de Young (GPa)	Poisson	Criterio de falla	Constante mi	Ang. Fricción interna (°)	Cohesión
C. Techo	0.02690	18.64	0.24	Hoek – Brow G	8.39	37.48	10.65
C. Piso	0.02780	24.73	0.23	Hoek – Brow G	8.44	39.58	16.48

Fuente: Elaboración propia

El método gráfico de estabilidad se basa en dos factores,  $N'$  que es el número de estabilidad modificado el cual es la representación de la capacidad de la roca al estar sometida a esfuerzos y  $S$  o  $RH$ , que es el factor de forma o también conocido como radio hidráulico que lo conforman la pendiente, tamaño y forma.

##### 4.1.4.1. Número de estabilidad $N'$

Este es determinado con el ajuste del valor de  $Q'$  a los esfuerzos que se inducen a la orientación de las discontinuidades y de la superficie de la excavación.

$$N' = Q' * A * B * C \dots\dots (1)$$

##### Ajuste de $Q'$

Valores de  $Q'$  para la caja techo, que presenta mejor competencia.

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} \dots\dots (2)$$

RQD = 65 (cuadro 2)

Jn = 15 (cuadro 3)

Jr = 3 (cuadro 4)

Ja = 6 (cuadro 4)

Reemplazando valores en la ecuación (2)

$$Q' = \frac{65}{15} * \frac{3}{2}$$

$$Q' = 6.5$$

#### 4.1.4.2. Valor de A

Este valor es la relación aritmética entre la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta y el esfuerzo actuante paralelo a la cara expuesta del tajeo bajo consideración (borde de la abertura):

$$\frac{\sigma}{\sigma_1} \dots \dots (3)$$

Estos datos han sido obtenidos del informe del área Geomecánica de la empresa minera – DCR el valor de K, varía entre 1.1-1.2.

$\sigma = 110 \text{ Mpa}$  (cuadro 1)

$\text{Densidad} = 0.027 \left( \frac{\text{MN}}{\text{m}^3} \right)$  (cuadro 5)

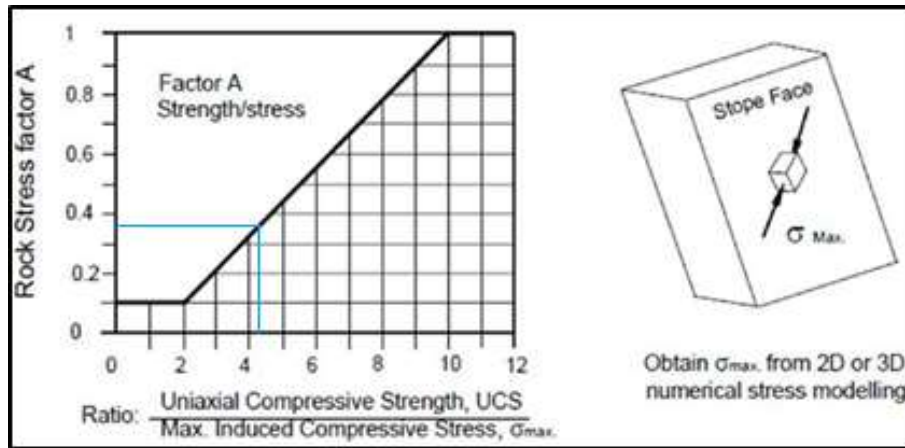
$\text{Profundidad} = 850 \text{ m.}$  (estimado)

Se determina para una profundidad de 850m, se tiene  $\sigma_v = 0.027 * 850 = 22.95 \text{ MPa}$  y considerando el valor de  $K = 1.1$ , se tiene un valor  $\sigma_h = 25.24 \text{ MPa}$

Reemplazando valores en la ecuación (3)

$$\frac{\sigma}{\sigma_1} = \frac{110}{25.24} \rightarrow \frac{\sigma}{\sigma_1} = 4.3$$

**Figura 24.** Cálculo del valor de A para el túnel



Fuente: Adaptado de Potvin, 1988

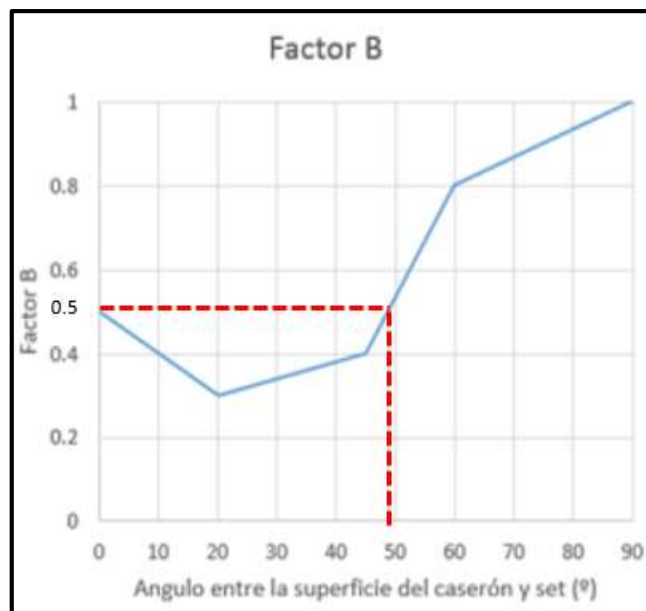
Al ubicar el ratio obtenido de 4.3 en el diagrama de la figura 21, el Valor A da como resultado 0.36 aproximadamente

#### 4.1.4.3. Valor de B

Depende del Angulo que forma el rumbo de las fracturas principal con la dirección del eje principal de túnel.

Ángulo formado =  $49^\circ$

**Figura 25.** Tabla del Factor B



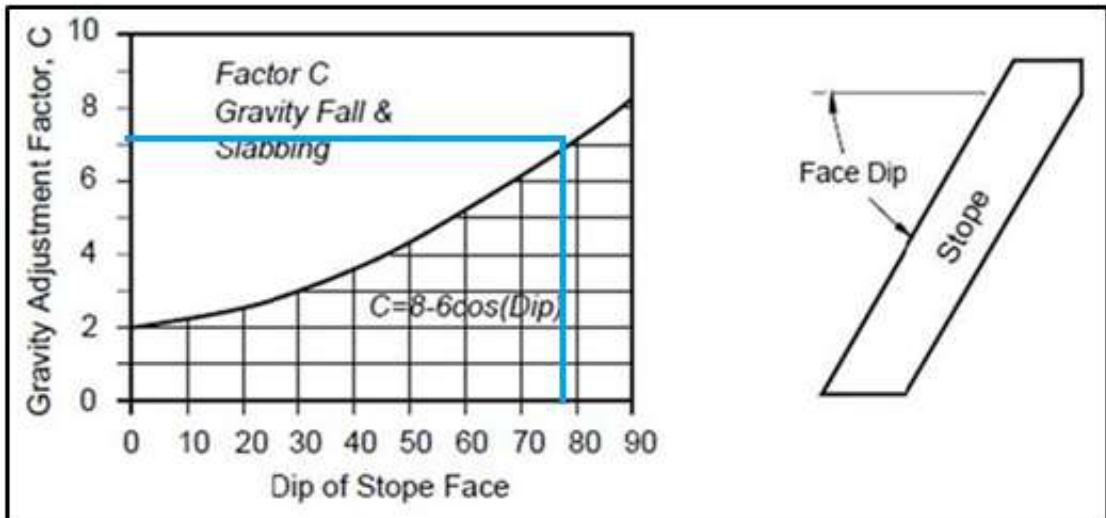
Fuente: Adaptado de Potvin, 1988

En la figura 32 se observa la gráfica que relaciona el ángulo formado entre el rumbo de las discontinuidades principal con la dirección del eje principal del túnel que es  $49^\circ$ , que al ubicar en la gráfica de Potvin (1988) se obtiene como resultado que el valor A es 0.5.

#### 4.1.4.4. Valor de C

Este valor es un ajuste que se realiza por los efectos de la gravedad y se determina con respecto a la inclinación de la caja techo del túnel  
 inclinación =  $77^\circ - 79^\circ$

**Figura 26.** Tabla del Factor C



Fuente: Adaptado de Mathews, 1980

En el gráfico de Mathews en la figura 33, se observa que con una inclinación de  $77^\circ - 78^\circ$  de la caja techo, se obtiene un valor C de 6.6 aproximadamente.

Con los datos obtenidos procedemos a realizar el cálculo de  $N'$  y luego llevarlo al ábaco, donde se determinará el radio hidráulico para

finalmente poder hallar la longitud máxima que debería quedar abierto el túnel para evitar problemas de estabilidad.

$$N' = 6.9 * 0.36 * 0.5 * 6.6$$

$$N' = 8.1972$$

**Tabla 20.** Resultado de número de estabilidad N'

Parámetros	Valor
Q'	6.9
A	0.36
B	0.5
C	6.6
N'	8.19

Fuente: elaboración propia

### Radio Hidráulico

De acuerdo a la figura 31, el radio hidráulico para la pared el túnel es igual a 4.1, para poder hallar la longitud de la pared estable se realiza con la siguiente ecuación:

$$RH = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}}$$

Reemplazando los valores:

Como altura se considera 12m sin sostener

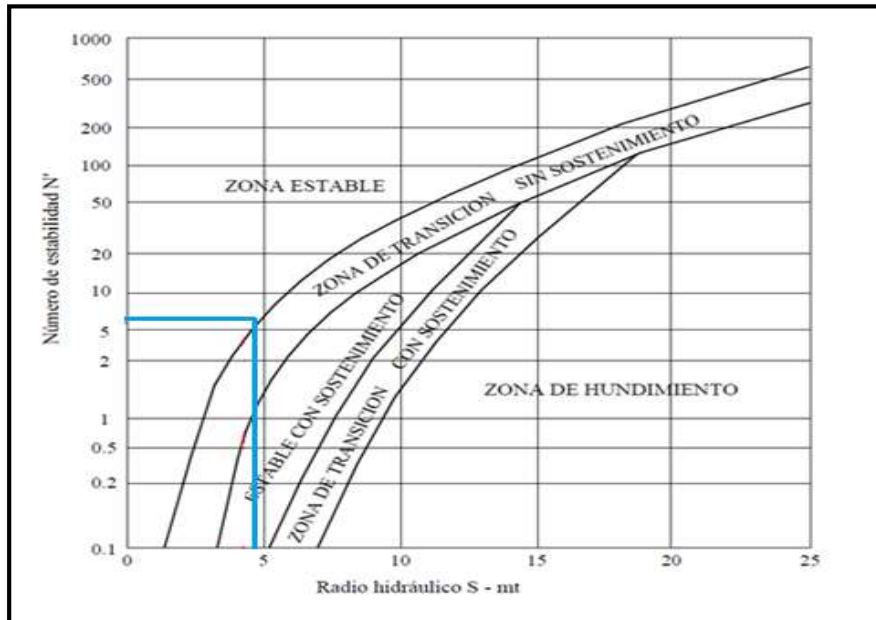
$$\rightarrow 4.1 = \frac{\text{Longitud} \times \text{altura}}{2(\text{Longitud} + \text{Altura})}$$

$$4.1 = \frac{\text{Longitud} \times 12}{2(\text{Longitud} + 12)} \text{ Obteniendo como longitud máxima estable de } \mathbf{25 \text{ m}}$$

(LMA) aproximadamente.

#### 4.1.5. Gráfico de estabilidad

**Figura 27.** Gráfico de estabilidad según Potvin (1988), modificado por Nickson (1992)



Fuente: Adaptado de Nickson, 1992

En el gráfico de estabilidad de Potvin (1988) modificado por Nicson (1992) en la figura 34, se observa que con un número de estabilidad 8.19 y un radio hidráulico de 4.1m., el túnel se encuentra entre estable y la zona de transición sin sostenimiento, lo que coincide con la clasificación RMR del cuadro 4.

#### 4.1.6. Representación estereográfica

El programa DIPS está diseñado para que se realice un análisis y se visualice una información que es estructural que son los datos geológicos de orientación. Además, este software permite que se utilice herramientas que son más adecuada para un análisis de datos a través de una proyección que es estereográfica. De tal manera, que de acuerdo al



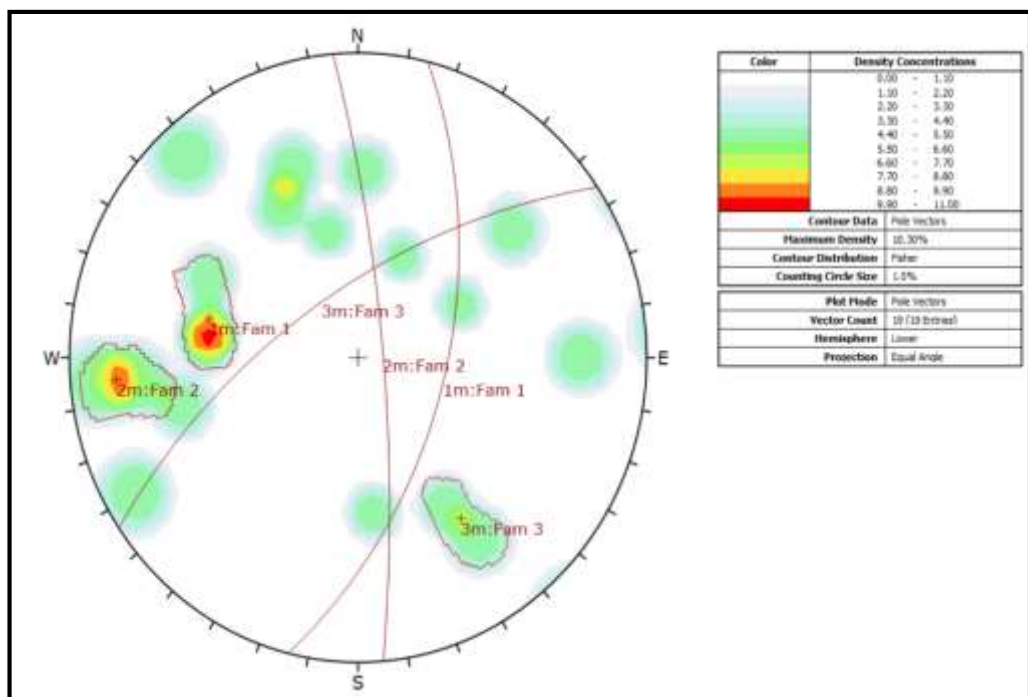
mapeo geomecánica que se realiza, se determinó tres sistemas de diaclasas (J1: 56°/104°, J2: 80°/85°, J3: 65°/326°), los mismos que forman bloques con pequeñas cuñas. Pero controladas con el sostenimiento, dando factores de seguridad mayor a 1.5.

$$RH = 3.8$$

$$N' = 5.3$$

La labor tiene la dirección de 200°

**Figura 28.** Sistema de diaclasas de la labor

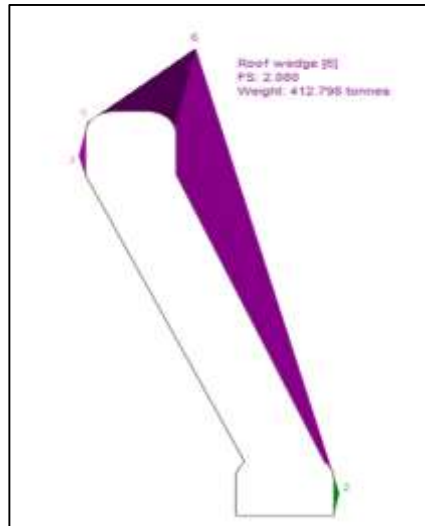


Fuente: DIPS 8.0 - Elaboración propia

En la figura 28 se pueden observar diferentes discontinuidades que, al juntarlas, se ubican un total de 3 familias de discontinuidades, es decir que existen 3 grupos en los que las discontinuidades son semejantes o similares en cuanto a su orientación (buzamiento y dirección de

buzamiento); al analizarlas en comparación con la dirección del túnel, se observa la formación de una cuña la cual se va a analizar su FS posteriormente.

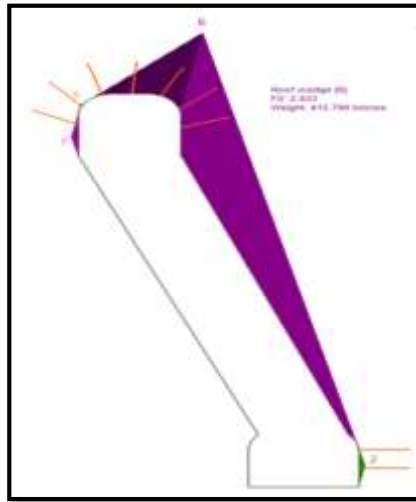
**Figura 29.** Formación de cuñas en la caja de techo de acuerdo al sistema de diaclasas



Fuente: Phase 2 - Elaboración propia

En la figura 29, se observa la formación de cuñas que son de color morado, lo cual, mediante el Software Phase 2 se dimensionó el túnel y las cuñas que se forman en su techo. Esta cuña tiene un factor de seguridad de más de 1.5 en el momento que se realizó la prueba, que es el mínimo que se pide, por lo que aún es estable; con respecto a su peso es de 412.798 toneladas.

**Figura 30.** Formación de cuñas en la caja techo con sostenimiento de acuerdo al sistema de diaclasas



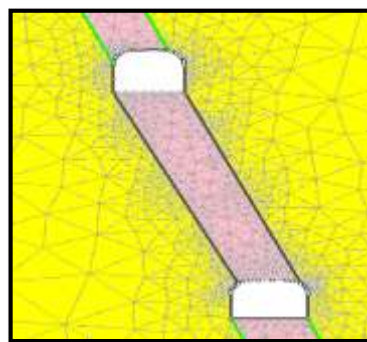
Fuente: Phase 2 - Elaboración propia

En la figura 30 se dimensionó el túnel igualmente que la figura anterior, pero esta vez con la aplicación de sostenimientos, lo que hizo que su factor de seguridad se elevara a 2.4.

#### 4.1.7. Modelamiento numérico

El análisis numérico muestra los resultados o estado del túnel mediante números que determinan si es estable o no.

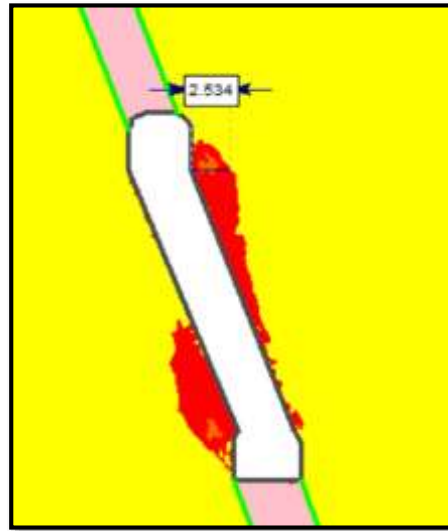
**Figura 31.** Escenario actual del túnel



Fuente: Phase 2 - Elaboración propia

En la figura 31, se realizó un análisis numérico con los datos tomados en campo y los ensayos de laboratorio, el campo tensional se consideró  $\sigma_H = 32.1 \text{ MPa}$  y  $\sigma_v = 29.16 \text{ MPa}$

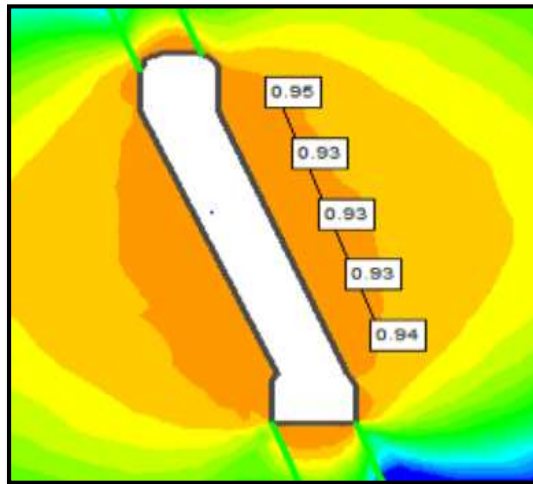
**Figura 32.** Desconfinamiento o desprendimiento



Fuente: Phase 2 - Elaboración propia

En la figura 32, se realiza un análisis de desconfinamiento o desprendimiento por relajación donde se predice un desprendimiento de 2.5 m. Además, el color rojo que se observa en la imagen son las rocas con probabilidades de deslizamiento altos, lo cual, esto se debe a su bajo factor de seguridad y el color amarillo es el factor de seguridad aceptable.

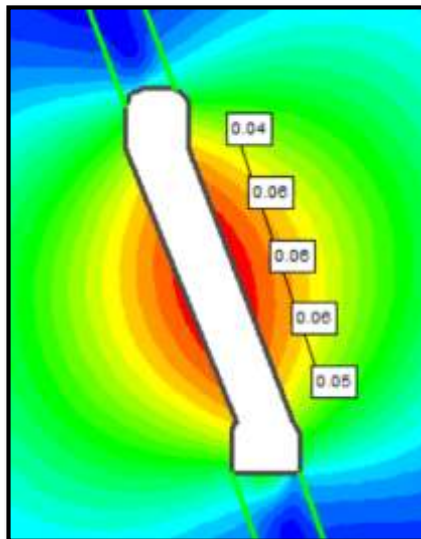
**Figura 33.** Factor de seguridad del túnel



Fuente: Phase 2 - Elaboración propia

En la figura 33, lo que se aprecia son los FS que están por debajo de 1 al término de su tiempo de autoapoye que son 12 días como máximo, después de ello empezará en su estado de relajación por eso es importante el relleno de forma inmediata.

**Figura 34.** Desplazamiento máximo



Fuente: Phase 2 - Elaboración propia

En la figura 34, se puede apreciar el desplazamiento máximo de las cajas llegando a tener 6 cm de desplazamiento máximo.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Desarrollo de los ensayos

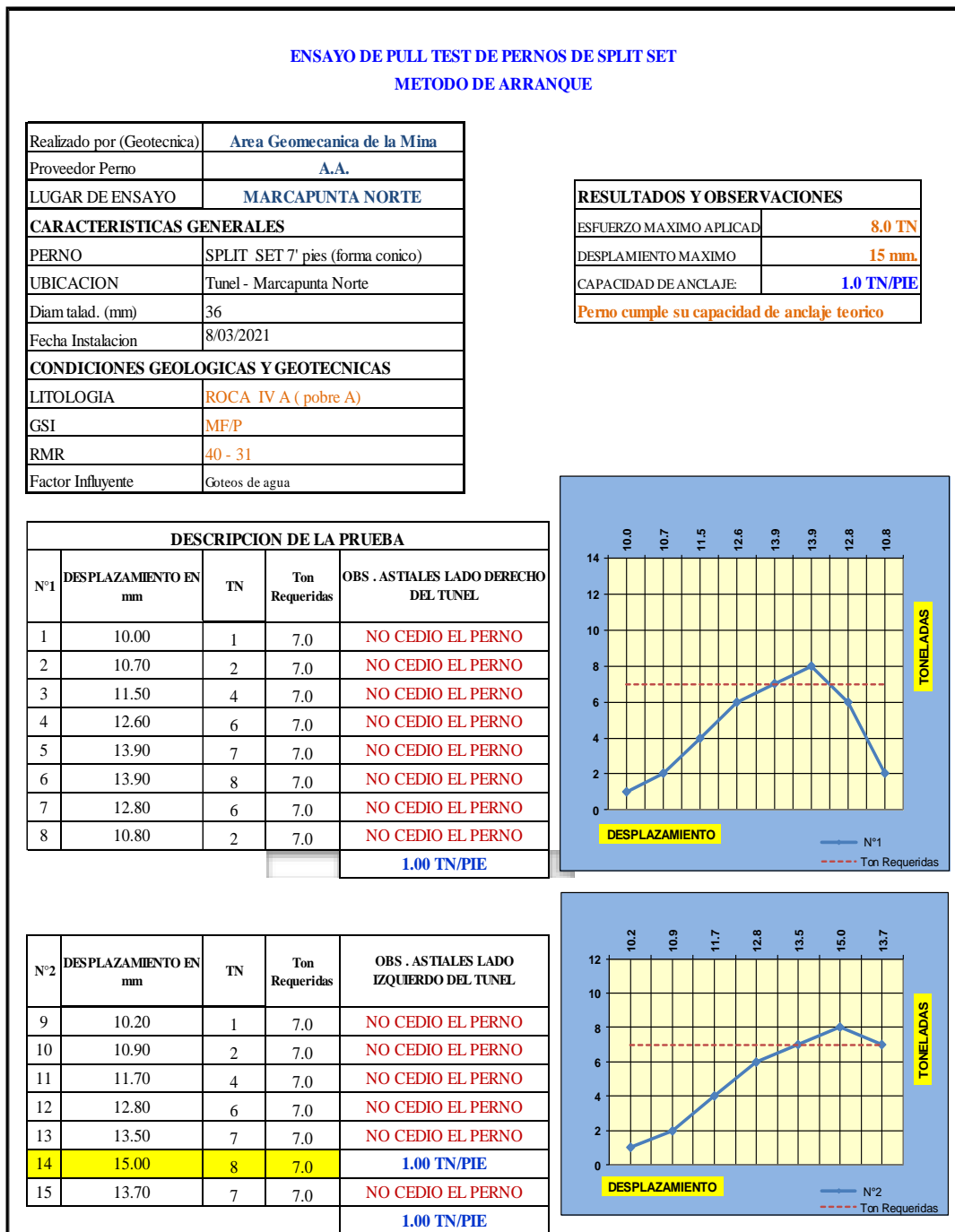
- Distribución de la malla de perforación, la distancia de la perforación con Jack Leg es de cada 1.00 m, espaciado de taladro a taladro mientras que con maquina jumbo es de 1.20 m.
- Perforación de taladros de acuerdo a la distribución de los pernos, se utilizó barrenos de 7 pies de largo y diámetros de 36 mm, se optó por una perforación relativamente inclinada dado la dimensión del brazo del jumbo.

**Figura 35.** Perforación con Jumbo y distribución de taladros



Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

**Tabla 21.** Ensayo de Pernos Split Set

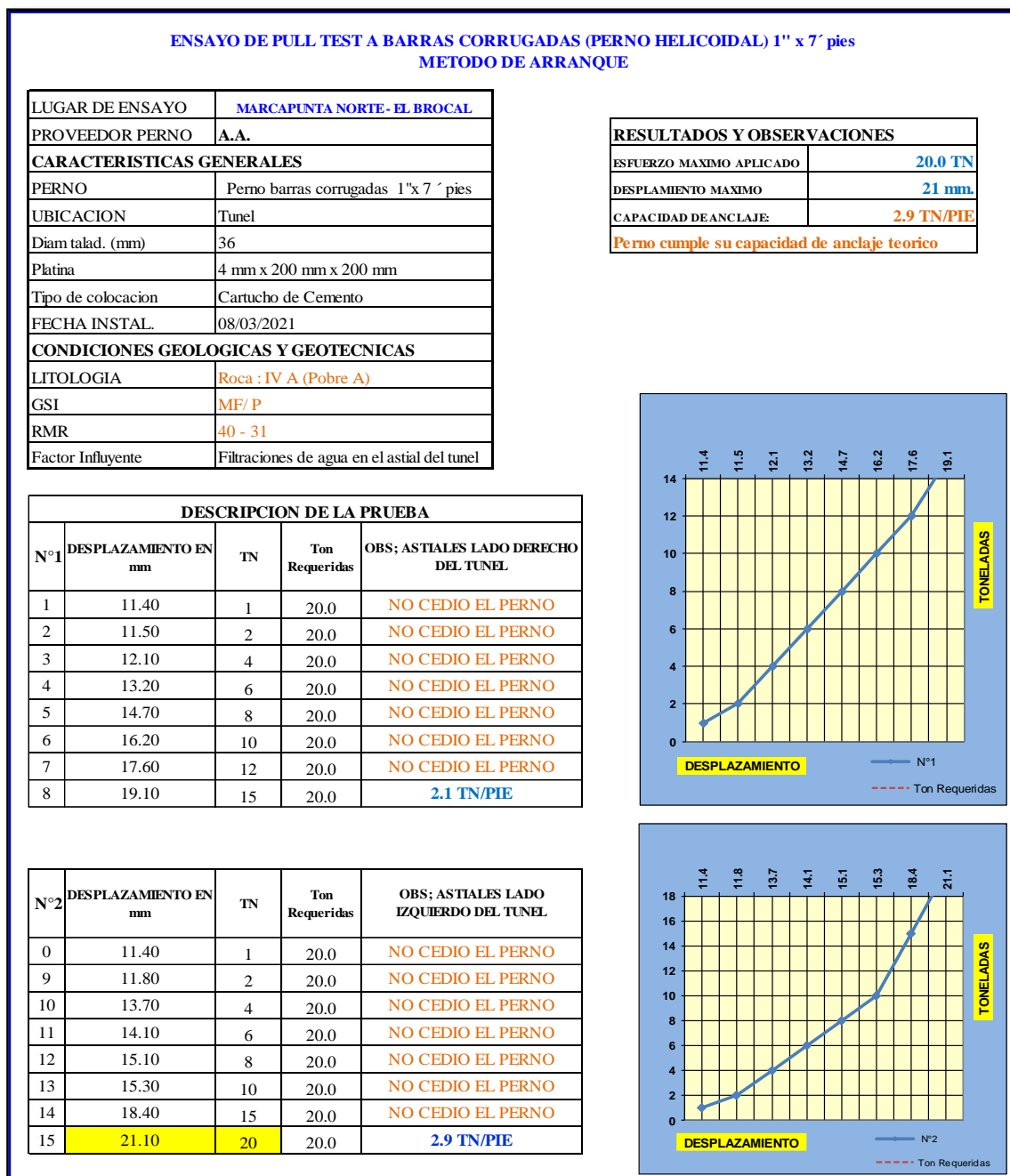


Fuente: Microsoft Excel - Elaboración propia

Se observa que con una fuerza de tracción de 8 Tn, se obtuvo un desplazamiento máximo de 15.00 mm, el Split Set presento un comportamiento adecuado, cumpliendo las fuerzas teóricas del perno.

## 4.2.2. Estudio comparativo entre el uso de Split Set y Barras corrugadas de $\Phi 1''$

**Tabla 22.** Prueba de arranque para barras corrugadas de 1" con cartucho de cemento



Fuente: elaboración propia



En la tabla 22, se observa barras corrugadas de 1", con un diámetro de taladro de 36 mm, su litología es de Roca tipo IV A, su GSI es de MF/P, su RMR es de 40-31, con un factor influyente que son las filtraciones de agua en el hastial del túnel. En la descripción de la prueba N° 8 se tiene un desplazamiento de 19.10 mm, con 15 TN y 20 TN requeridas, donde los hastiales lado derecho del túnel no cedió el perno con 2.1 TN/PIE. Sin embargo, en la prueba N° 15 se tiene a un desplazamiento de 21.10 mm, con 18 TN y 20 TN que se requieren, donde los hastiales lado izquierdo del túnel no cedió el perno con 2.6 TN/PIE; es decir, que por cada perno si cumple con su capacidad de anclaje teórico de las especificaciones técnicas del material, frente a esta fuerza extrema la barra no cedió.

**Tabla 23.** Comparación de los desplazamientos del Split set y barra corrugada de 1" diámetro

CANTIDAD	DESPLAZAMIENTO (mm)	
	SPLIT SET	BARRA CORRUGADA $\Phi$ 1"
MUESTRA 1	10.00	11.40
MUESTRA 2	10.70	11.50
MUESTRA 3	11.50	12.10
MUESTRA 4	12.60	13.20
MUESTRA 5	13.90	14.70
MUESTRA 6	13.90	16.20
MUESTRA 7	12.80	17.60
MUESTRA 8	10.80	19.10
MUESTRA 9	10.20	11.80
MUESTRA 10	10.90	13.70
MUESTRA 11	11.70	14.10
MUESTRA 12	12.80	15.10
MUESTRA 13	13.50	15.30
MUESTRA 14	15.00	18.40
MUESTRA 15	13.70	21.10

Fuente: elaboración propia

Comparación de los desplazamientos del Split set y barra corrugada de  $\Phi$  1" de diámetro para una prueba de arranque de 8 Ton, para Split Set y para el perno helicoidal de  $\Phi$  1" es de 20 ton, se puede apreciar que la media del Split Set es 15.00 mm(desplazamiento) y del fierro corrugado de  $\Phi$  1" es 21.10mm (desplazamiento).

Como se observa la barra corrugada muestra mayor desplazamiento con respecto al Split set, sin embargo, esto no quiere decir que este último es mejor que la barra ya que se debe tener en cuenta a los esfuerzos que están sometidos ya que la barra está sometida a casi el triple de esfuerzo que el Split set, y la diferencia de desplazamiento es poca, por lo que la barra corrugada de  $\Phi$  1" de diámetro muestra mejores resultados frente al Split set.

**Gráfico 1.** Comparación de los desplazamientos del Split set y barra corrugada de 1" de diámetro



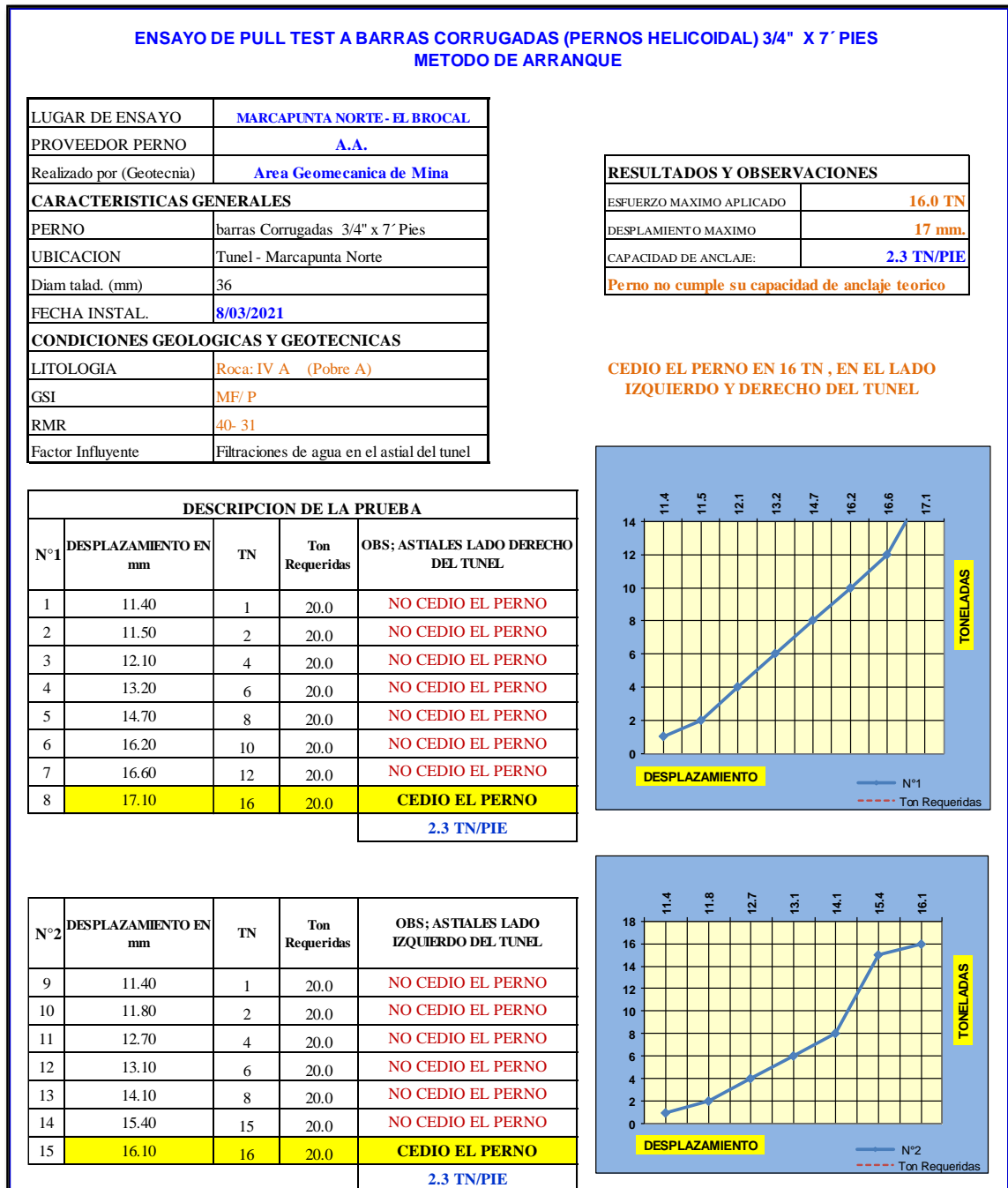
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 1 se puede observar como en todas las muestras la barra corrugada de  $\Phi$  1" tiene mayor desplazamiento, sin embargo, en las

muestras 2, 3, 4 y 5 se obtuvieron desplazamientos casi iguales con una diferencia de 0.7 mm en promedio.

### 4.2.3. Estudio comparativo entre el uso de Split Set y Barras corrugadas de $\Phi$ 3/4"

**Tabla 24.** Prueba de arranque para barras corrugadas de 3/4" con cartucho de cemento



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24, se observa a un perno de barras corrugadas de 3/4" con un diámetro de taladro de 36 mm, su litología es de Roca Tipo IV A, su GSI es de MF/P, su RMR es de 40-31, con un factor influyente de filtraciones de agua en el hastial del túnel; donde en su descripción de la prueba N° 8 con un desplazamiento de 17.10 mm, con 16 TN y 20 TN que se requieren, con respecto a sus hastiales lado derecho del túnel es de 2.3 TN/PIE, donde cedió el perno donde la barra mostro no favorable. Sin embargo, en la prueba N° 15 su desplazamiento fue de 16.10 mm, con 16 TN y 20 TN que se requieren, los hastiales lado izquierdo del túnel si cedió el perno con 2.3 TN/PIE, donde la barra mostró un comportamiento no favorable, lo cual, no cumple con el teórico de las especificaciones técnicas.

**Tabla 25.** Comparación de los desplazamientos del Split Set y barra corrugada de 3/4" de diámetro

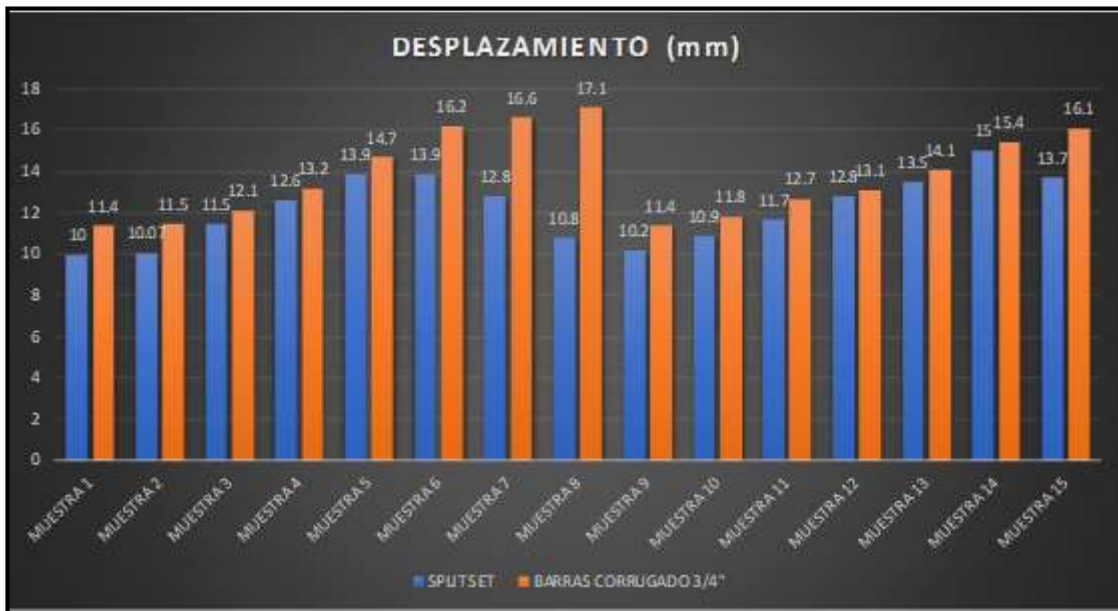
CANTIDAD	DESPLAZAMIENTO (mm)	
	SPLIT SET	BARRAS CORRUGADO $\Phi$ 3/4"
MUESTRA 1	10.00	11.4
MUESTRA 2	10.07	11.5
MUESTRA 3	11.5	12.1
MUESTRA 4	12.6	13.2
MUESTRA 5	13.9	14.7
MUESTRA 6	13.9	16.2
MUESTRA 7	12.8	16.6
MUESTRA 8	10.8	17.1
MUESTRA 9	10.2	11.4
MUESTRA 10	10.9	11.8
MUESTRA 11	11.7	12.7
MUESTRA 12	12.8	13.1
MUESTRA 13	13.5	14.1
MUESTRA 14	15.00	15.4
MUESTRA 15	13.7	16.1

Fuente: Elaboración propia

Comparación de los desplazamientos del Split set y barra corrugada de  $\Phi$  3/4" de diámetro para una prueba de arranque de 8 Ton, para Split Set y para el perno helicoidal de  $\Phi$  3/4" es de 16 ton, se puede apreciar que la media del Split Set es 15.00 mm(desplazamiento) y del fierro corrugado de 3/4" es 16.60mm (desplazamiento).

Como se aprecia en el gráfico, la barra corrugada de  $\Phi$  3/4" muestra un mayor desplazamiento con respecto al Split set, aunque el Split set está sometido a 8 Tn a diferencia de la barra corrugada de  $\Phi$  3/4" que está a 16 Tn (el doble), no es lo que se esperaba con respecto a la resistencia de la barra corrugada de  $\Phi$  3/4" ya que según sus especificaciones técnicas debió resistir alrededor de 18 Tn.

**Gráfico 2.** Comparación de los desplazamientos del Split set y barra corrugada de  $\Phi$  3/4" de diámetro



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 2 se puede observar como en todas las muestras la barra corrugada de  $\Phi$  3/4" tiene mayor desplazamiento, sin embargo, en las

muestras 12, 13 y 14 se obtuvieron desplazamientos casi iguales con una diferencia de 0.4 mm en promedio.

Conclusiones y recomendaciones de las pruebas de Split set y barras corrugadas de  $\Phi$  1" y  $\frac{3}{4}$ ".

- Se debe colocar cada perno de sostenimiento cumpliendo los parámetros de espaciamiento designado por el área geomecánica.
- Para cada sostenimiento del túnel se debe realizar el mapeo geomecánica.
- Los pernos de sostenimiento se deben almacenar en un lugar libre de aguas acidas.
- Para sostenimiento se debe perforar con un paralelismo adecuado cada taladro.
- Los taladros perforados deben estar limpio de detritos de roca.
- Se realizará la evaluación tenso-deformaciones y se concluye una falla del macizo rocoso en la caja techo, caja piso y caja hastiales.
- Se debe realizar evaluaciones de software geomecánicas para poder apreciar las familias de discontinuidades de fallas de macizo rocoso de cada bóveda.
- Se debe de considerar taladros de alivio en la caja techo para así tener un control de vibraciones y evitar el deslizamiento de bloques a la vez ayudar su durabilidad de los elementos de sostenimientos.

- Túnel excavó se debe realizar el sostenimiento inmediato antes de las 12 horas para controlar el relajamiento de la roca de la bóveda.

#### 4.2.3.1. Pruebas de normalidad

**Tabla 26.** Prueba de normalidad para las variables de análisis

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SPLIT SET	,144	15	,200*	,965	15	,785
1 PUL	,119	15	,200*	,976	15	,935
3/4 PUL	,119	15	,200*	,950	15	,531
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Fuente: Elaboración propia SPSS

En la tabla 26 se observa la prueba de normalidad para las variables de análisis, donde se tiene a Kolmogorov-Smirnov con respecto al Split Set en el estadístico es de 0.144, gl es de 15, Sig. es de 0.200; para las barras corrugadas de 1” su estadístico es de 0.119, gl es de 15 y su Sig. es de 0.200; y de los ¾” su estadístico es de 0.119, su gl es de 15 y su Sig. es de 0.200. También se tiene a Shapiro-Wilk, en lo estadístico para el Split Set es de 0.965, barras corrugadas de 1” son de 0.976 y para las barras corrugadas de ¾” son de 0.950, su gl para los 3 son de 15, su Sig. para el Split Set es de 0.785, barras corrugadas de 1” es de 0.935, y las de ¾” es de 0.531. De tal manera, que en esta prueba que se tomó es la de SHAPIRO – WILK que se deben a que las muestras han sido analizadas, lo cual, son menores que 50 e indica que sí se cumple el supuesto de normalidad para las 3 variables (Para el Split set  $p=0.785 > 0.05$ , barra

corrugada de  $\Phi$  1"  $p=0.935>0.05$  y para barra corrugada de  $\Phi$  3/4"  $p=0.531>0.05$  GL: 15).

### 4.3. Prueba de hipótesis

#### 4.3.1. Prueba de hipótesis general

- HG: Existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- H0: Existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

**Tabla 27.** Prueba de “Levene” para igualdad de varianzas para el Split Set y fierro corrugado

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	,118	,733
	No se asumen varianzas iguales	-	-

Fuente: elaboración propia SPSS

En la tabla 27, se observa que en la prueba de Levene para la igualdad de varianzas para el Split Set y fierro corrugado se asumen varianzas iguales de ,118 y ,733. Además, según los resultados obtenidos con el



software SPSS, se puede afirmar que si cumple con la igualdad de varianzas ( $p=0.733>0.05$ ) para el Split Set y fierro corrugado para el sostenimiento de rocas en túneles de la Mina MarcaPunta Norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

#### 4.3.2. Prueba de hipótesis estadística general

- HG: Si existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- H0: No existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

**Tabla 28.** Prueba de “T” de Student para muestras independientes para el Split Set y fierro corrugado

		Prueba “t de Student” para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	79,291	28	,000	5,69733	,07185	5,55015	5,84452
	No se asumen varianzas iguales	79,291	27,798	,000	5,69733	,07185	5,55010	5,84457

Fuente: elaboración propia SPSS

En la tabla 28, se observa que en la prueba T de Student para la igualdad de medias, se tiene que cuando se asumen varianzas iguales su “t” es de 79.29, gl es de 28, su diferencia de medias es de 5.69733, la diferencia de error estándar es de 0.07185, con respecto a los 95% de intervalo de confianza de la diferencia en lo inferior es de 5.55015 y en lo superior es de 5.84452; cuando no se asumen varianzas iguales su “t” es de 79.29, su gl es de 27.79, su diferencia de medias es de 5.69733, su diferencia de error estándar es de 0.07185, con respecto a los 95% de intervalo de confianza de la diferencia en lo inferior es de 5.55010 y en lo superior es de 5.84457. Lo cual, en la prueba t de Student de muestras son independientes que indican que si existes una diferencia significativa de la utilización de Split Set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la Mina MarcaPunta Norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021. ( $t=79.291$ ,  $p=0.000<0.05$ ) por lo que, se rechaza la  $H_0$ .

#### **4.3.3. Prueba de hipótesis específica**

- existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y barras corrugadas de  $\Phi 1''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

En primer lugar, se prueba el supuesto de homocedasticidad:

**Tabla 29.** Prueba de “Levene” para igualdad de varianzas para el Split Set y fierro de  $\Phi 1$

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas desiguales	1,905	,178
	No se asumen varianzas iguales	-	-

Fuente: Elaboración propia SPSS

En la tabla 29, se observa que en la prueba de Levene de igualdad de varianzas cuando se asumen varianzas desiguales es de 1.905 y de 0.178. Además, según los resultados, se puede afirmar que existe homogeneidad de varianzas ( $p=0.178>0.05$ ) para el Split Set y fierro corrugado de  $\Phi 1''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la Mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

#### 4.3.4. Prueba de hipótesis estadística específica 1

- HE1: existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y barras corrugadas de  $\Phi 1''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- H0: No existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y barras corrugadas de  $\Phi 1''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

**Tabla 30.** Prueba de “T” de Student para muestras independientes para el Split Set y fierro de  $\Phi 1$ ”

		Prueba t de Student para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	55,897	28	,000	4,70333	,08414	4,53098	4,87569
	No se asumen varianzas iguales	55,897	25,206	,000	4,70333	,08414	4,53011	4,87656

Fuente: Elaboración propia SPSS

En la tabla 30, se observa la prueba “t” de Student para la igualdad de medias, donde cuando se asumen las varianzas iguales se tiene su “t” de 55.897 que es igual a cuando no asumen varianzas iguales, su gl para cuando se asumen varianzas iguales son de 28 y cuando no se asumen son de 25.206, la diferencias de medias es igual para ambas con 4.70333, la diferencia de error estándar es igual para ambas con 0.08414; con respecto a los 95% de intervalo de confianza de la diferencia en lo inferior cuando se asumen varianzas iguales es de 4.53098 y en lo superior es de 4.87569, cuando no asumen varianzas iguales en lo inferior es de 4.53011 y en lo superior es de 4.87656. Lo cual, la prueba “t” de Student de muestras son independientes, donde indican que si existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y fierro corrugado de  $\Phi 1$ ” para el sostenimiento de rocas en túneles de la Mina Marca Punta Norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021. ( $t=55.897$ ,  $p=0.000 < 0.05$ ) por lo que, se rechaza la  $H_0$ .

#### 4.3.5. Prueba de hipótesis específica 2

- Existe una diferencia significativa entre el uso del Split Set y barras corrugadas de  $\Phi$  3/4" para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

En primer lugar, se prueba el supuesto de homocedasticidad:

**Tabla 31.** Prueba de Levene para igualdad de varianzas para el Split Set y fierro de  $\Phi$  3/4”.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	,009	,927
	No se asumen varianzas iguales	-	-

Fuente: SPSS - Elaboración propia SPSS

**HE1:** Las variables tienen igual dispersión.

**HE0:** Las variables no tienen igual dispersión

En la tabla 31, se observa la prueba de Levene de igualdad de varianzas, cuando se asumen varianzas iguales se tiene a ,009 y su bilateral de ,927. Lo cual, según los resultados si cumple con la igualdad de varianzas ( $p=0.927>0.05$ ) para el Split Set y fierro corrugado de  $\Phi$  3/4" para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – Unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

#### 4.3.6. Prueba de hipótesis estadística específica 2

- HE2: Si existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y fierro corrugado de  $\Phi 3/4''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- HE0: No existe una diferencia significativa entre el uso de Split Set y fierro corrugado de  $\Phi 3/4''$  para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021

**Tabla 32.** Prueba de “T” de Student para muestras independientes para el Split Set y fierro de  $\Phi 3/4''$

		Prueba t de Student para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	99,62 7	28	,000	6,69800	,06723	6,56028	6,83572
	No se asumen varianzas iguales	99,62 7	27,94 4	,000	6,69800	,06723	6,56027	6,83573

Fuente: Elaboración propia SPSS

En la tabla 32, se tiene a la prueba “t” de Student para la igualdad de medias, cuando se asumen varianzas iguales y cuando no se asume es de 99.627, su gl cuando se asumen varianzas iguales son de 28 y cuando no se asumen es de 27.944, su diferencia de medias es igual para ambas con un 6.69800, su diferencia de error estándar es igual para ambas que es de 0.6723, el 95% de intervalo de confianza de la diferencia cuando se asumen varianzas iguales en lo inferior es de 6.56028 y en lo superior es

de 6.83572, cuando no se asumen en lo inferior es de 6.56027 y en lo superior es de 6.83573. Donde en la prueba “t” de Student de las muestras que son independientes se manifiesta que existe una gran significativa diferencia de la utilización de Split Set y fierro corrugado de  $\Phi$  3/4” para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021 ( $t=99.627$ ,  $p=0.000<0.05$ ) por lo que, se rechaza la  $H_0$ .

#### **4.4. Discusión de resultados**

Según los resultados que se obtuvieron de las contrastaciones de las hipótesis se llegó a los siguientes resultados:

- Para OG: Determinar la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y fierro corrugado para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – pasco – 2021.
- Después de haber realizado las pruebas necesarias se encontró que si existe una gran significativa diferencia de la utilización de Split Set y fierro corrugado para sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021, con una contrastación de ( $t=79.291$ ,  $p=0.000<0.05$ ). lo cual, fue esencial la clasificación del macizo rocoso, para identificar la calidad de las rocas en el túnel, para lo cual se usó el RMR de Bieniawski, lo cual concuerda con lo realizado por Terrero (2018) en su trabajo de investigación donde evaluó la estabilidad del tramo V del túnel Levisa – Mayarí, en donde indica que es esencial la realización de la evaluación

geomecánica a los macizos rocosos con el fin de tener un adecuado sostenimiento para el túnel, teniendo en cuenta el RQD, la Q de Barton y el RMR.

- Para OE1: Determinar la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y Barras corrugadas de  $\Phi 1''$  para sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- Después de haber realizado las pruebas se obtiene que si existe una significativa diferencia de la utilización de Split Set y fierro corrugado de  $\Phi 1''$  para sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – pasco – 2021, con una contrastación de ( $t=55.897$ ,  $p=0.000<0.05$ ). Con el desarrollo de este objetivo se puede decir que las barras corrugadas de  $\Phi 1''$  para sostenimientos de rocas en túneles de la mina objeto de estudio es la más óptima debido a que cumple con lo indicado en la teoría y su desplazamiento es poco, cabe rescatar que en estas condiciones es donde se ha desenvuelto mejor que el Split set y la barra corrugada de  $\Phi 3/4''$ , es por ello que previamente se hizo un estudio de las condiciones actuales del túnel, lo que concuerda con el trabajo de Serrano (2017) quien indica que es esencial estudiar las condiciones actuales de los túneles o áreas de una construcción subterránea como el estado de las estructuras geológicas y las discordancias que existen a lo largo del túnel; lo cual, a través de los métodos de clasificaciones geomecánicas se pueden determinar que sostenimiento es adecuado para los túneles.



- Para OE2: Determinar la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y Barras corrugadas de  $\Phi$  3/4" para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca –Pasco – 2021.
- Después de haber realizado las pruebas se encontró que si existe una significativa diferencia de la utilización de Split Set y fierro corrugado de  $\Phi$  3/4" para los sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021, con una contrastación de ( $t=99.627$ ,  $p=0.000<0.05$ ). Con este resultado se evidenció que incluso siendo mayor la resistencia de la barra de  $\Phi$  3/4" que el Split set, no es lo que se esperaba debido a que su resistencia está por debajo de lo que indica su ficha técnica, algo similar a lo sucedido en el trabajo de Cuba (2017) quién comparó la resistencia de pernos cementados e hydrabolt, donde se esperaba que este último sea más resistente, sin embargo al quinto día que se inició la prueba, la resistencia de los pernos cementados sobrepasaron a la resistencia del hydrabolt.
- Según los resultados obtenidos, se encontró que la utilización de barras corrugadas de diámetro de  $\Phi$  1", para sostenimiento en túneles es óptimo debido que presentan una mayor resistencia a la prueba de ensayo de Pull Test, este se traduce en un menor desplazamiento y mayor adherencia cuando están sometidos a la acción de fuerzas externas (Vibraciones por voladura de rocas, sismos, etc.). Lo cual, permite la seguridad y operabilidad del túnel

- El uso de barras corrugadas ha contribuido en mejorar el comportamiento de la roca circundante del túnel lo cual evitara perdida de resistencia del macizo rocoso que circunda el túnel, asimismo a la fuerza de tracción de 20 Tn, el desplazamiento máximo fue de 21.10 mm en las barras corrugadas de Ø 1", lo cual demuestra la adecuada adherencia de la barra sobre la roca, a la vez que aumenta la estabilidad de toda la estructura del túnel.
- En base a los resultados obtenidos se ha logrado determinar que las barras corrugadas son más adecuadas para el sostenimiento de rocas en túneles a comparación del Split set.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos concluimos:

- Según los análisis que se realizaron el perno Split set no es apropiado por baja resistencia en soportabilidad de tonelaje a la masa rocosa del túnel, para el sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- Según los análisis que se realizaron, se encontró que es conveniente el empleo del fierro corrugado como sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- Según los análisis que se realizaron, se encontró que es apto la utilización del fierro corrugado de  $\Phi$  1" como sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- Según los análisis que se realizaron no son adecuados la utilización del fierro corrugado de  $\Phi$  3/4" por que cedió el perno no cumpliendo su tonelaje requerido en sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.
- De acuerdo a los resultados obtenidos las barras corrugadas de 1" de diámetro, con cemento y resina, muestran una mayor adherencia que cuando se utiliza la lechada de cemento.
- Se concluye que las barras corrugadas de 1" son adecuadas para el sostenimiento de rocas en el túnel de la Mina Marca Punta Norte - El Brocal.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar otros elementos que se pueden utilizar como sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unida minera El Brocal – Colquijirca – pasco – 2021.
- De acuerdo al estudio comparativo del fierro corrugado  $\Phi$  1" se aproxima a su resistencia requerida de tonelajes en desplazamiento el Split set, soporta un tonelaje menor pero no es suficiente para ser usado en sostenimientos de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte – unida minera El Brocal – Colquijirca – pasco – 2021.
- Se recomienda probar con fierros corrugados con diámetros mayores a  $\Phi$  1" y a la vez analizar los tipos de roca que se presenta en la bóveda este influirá bastante en excavaciones de túneles para que trabaje los elementos de sostenimiento adecuadamente, para ello se verifica que los desplazamientos deben de mejorar realizando pruebas de Pull Test comparando el sostenimiento Split set con las barras corrugadas o en todo caso no se recomienda la utilización.
- Se recomienda hacer más estudios comparativos de cada elemento de sostenimiento que se adhiere a la roca de cada túnel usar tipos de barras corrugada cuya relación de diámetro mayor/diámetro menor sea  $\leq 1.6$ , para lograr una buena interacción barra corrugada – roca.
- Es recomendable que después de realizar la perforación de los taladros en la roca, éstos no presenten detritos o restos de roca para que la instalación de las barras corrugadas con cemento o resina logre una adherencia óptima con la roca.
- Se recomienda analizar el comportamiento y la interacción barra corrugada – roca, con barras corrugadas de diámetro diferente a las utilizadas en la presente investigación.

- Se recomienda llevar un control frecuente de las cuñas formadas en el túnel, ya que, si bien es cierto, son estables con un FS mayor a 1.5, con las vibraciones producto de las explosiones estas podrían llegar a deslizarse.
- Para la explotación de la caja techo se debe considerar uso de taladros de alivio para controlar las vibraciones evitando los deslizamientos del bloque.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014).

*DEFINICIONES DE LOS ENFOQUES CUANTITATIVO Y CUALITATIVO, SUS SIMILITUDES Y DIFERENCIAS.* Obtenido de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58257558/Definiciones\\_de\\_los\\_enfoques\\_cuantitativo\\_y\\_cualitativo\\_sus\\_similitudes\\_y\\_diferencias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1638750990&Signature=LUqm~jWLF2kJ7RNJFRKwLqfE245qhcyKX7ScF01lpTK4WwZ9rHDMPRI6v3pdhOPBsXcFW3](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58257558/Definiciones_de_los_enfoques_cuantitativo_y_cualitativo_sus_similitudes_y_diferencias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1638750990&Signature=LUqm~jWLF2kJ7RNJFRKwLqfE245qhcyKX7ScF01lpTK4WwZ9rHDMPRI6v3pdhOPBsXcFW3)

Navarrete Cuesta, E. (2017). *Apuntes de estratigrafía y sedimentación* . Obtenido de

[https://www.researchgate.net/profile/Edison-](https://www.researchgate.net/profile/Edison-Navarrete/publication/320532579_APUNTES_DE ESTRATIGRAFIA_Y_SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf)

[Navarrete/publication/320532579\\_APUNTES\\_DE ESTRATIGRAFIA\\_Y\\_SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Edison-Navarrete/publication/320532579_APUNTES_DE ESTRATIGRAFIA_Y_SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf)

Velázquez, J., & Vélez Flores, M. A. (13 de Diciembre de 2019). *Introducción a*

*Microsoft Excel 2016.* Obtenido de <https://desarrolloprofesional.upr.edu/wp-content/uploads/sites/99/2019/12/Carolina-Excel.pdf>

Aceros Arequipa. (Noviembre de 2015). *Tuerca de Fijación y Placa de Sujeción para*

*barra Helicoidal.* Obtenido de

<https://www.acerosarequipa.com/sites/default/files/fichas/2020-02/hoja-tecnica-placa-tuerca.pdf?fv=BWoMy9-D>

Aceros Arequipa. (2020). *HOJA TECNICA\_PLACA-SUJECION\_TUERCA-FIJACION.*

Obtenido de <https://www.acerosarequipa.com/node/33>

Alva Mallqui, Lalito Michael, L. M. (Agosto de 2019). *Optimización del sostenimiento*

*con barras helicoidales y pernos split set de 5 pies mediante el control de*

*calidad antes, durante y después de la instalación en la Empresa Minera*

*Marsa- Parcoy*. Obtenido de

<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13398>

Barrera Zuñiga, N. A. (2020). *ESTUDIO EN FORTIFICACION DEPERNO ANCLAJE E INYECCION*. Obtenido de <https://1library.co/document/zxvx9xoy-estudio-en-fortificacion-de-perno-anclaje-e-inyeccion.html>

Barrios Apaza, E. A. (20 de Noviembre de 2019). *Aplicación de la geomecánica en la minería subterránea*. Obtenido de

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14039>

Barrios Apaza, E. A. (20 de Noviembre de 2019). *Aplicación de la geomecánica en la minería subterránea*. Obtenido de

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14038>

Benel Rivera, B. A. (2020). *Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del nivel 3 de la mina Paredones San Pablo - Cajamarca*. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3942>

Blanco Curi, J. K. (19 de Diciembre de 2018). Obtenido de Caracterización geomecánica para el análisis de pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas compañía minera Casapalca:

<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/565>

Blanco Curi, J. K. (19 de Diciembre de 2018). *Caracterización geomecánica para análisis de pernos hidrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas compañía minera Casapalca*. Obtenido de

<https://1library.co/document/qo3nep5q-caracterizacion-geomecanica-analisis-hydrabolt-sostenimiento-subterranas-compania-casapalca.html>

Cajahuanca Capcha, A. (27 de Noviembre de 2018). *Evaluación geomecánica y tipo de sostenimiento en la ventana 2 frente 4 progresiva 8+400 a 8+300 túnel de aducción de la central hidroeléctrica de Chaglla, distrito de Chinchao Huánuco*. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/22/simple-search?filterquery=Cajahuanca+Capcha%2C+Anibal&filtername=author&filtertype>equals>

Cañapataña Ccora, A. M. (2019). Obtenido de Determinacion de las condiciones del macizo rocoso en la profundizacion del avance en la zona esperanza del nivel 23 mediante un analisis geomecanico en la unidad minera Americana de CIA minera Casapalca:  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10475/Ca%C3%B1apata%C3%B1a\\_Ccora\\_Alvaro\\_Martin.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10475/Ca%C3%B1apata%C3%B1a_Ccora_Alvaro_Martin.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

CañapatañaCcora, A. M. (2019). *DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL MACIZO ROCOSO EN LA PROFUNDIZACIÓN DEL AVANCE EN LA ZONA ESPERANZA DEL NIVEL 23 MEDIANTE UN ANÁLISIS GEOMECÁNICO EN LA UNIDAD MINERA AMERICANA DE CÍA. MINERA CASAPALCA*.  
Obtenido de  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10475/Ca%C3%B1apata%C3%B1a\\_Ccora\\_Alvaro\\_Martin.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10475/Ca%C3%B1apata%C3%B1a_Ccora_Alvaro_Martin.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Cartaya Pire, M. (Septiembre de 2006). *CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS ROCOSOS EN OBRAS SUBTERRÁNEAS DE LA REGIÓN ORIENTAL DE PAÍS*. Obtenido de  
<https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652004.pdf>

CASTEM. (2020). *Cartuchos de Resina GROUND LOCK*. Obtenido de  
<https://castem.com.pe/producto/cartuchos-de-resina-ground-lock/>



- CASTEM. (2020). *Equipo Pull Test*. Obtenido de  
<https://castem.com.pe/producto/equipos-pull-test/>
- Churata Mestas, J. F. (07 de Noviembre de 2019). *Estudio del comportamiento geomecánico del macizo rocoso*. Obtenido de  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12578>
- CIMENTER. (2016). *LECHADA DE CEMENTO*. Obtenido de  
<https://cimenter.es/lechada-de-cemento>
- Cruzado Peralta, P. B. (2017). *Evaluación geomecánica del túnel de la central hidroeléctrica potrero - San Marcos - Cajamarca*. Obtenido de  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1420>
- Cuba Cárdenas, R. O. (8 de Noviembre de 2017). *Análisis comparativo entre los pernos cementados e hydrabolt en el sostenimiento para labores de 3\*3 de sección en la Mina Azulcocha Mining S.A. Concepción – Junín 2017*. Obtenido de  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/3827>
- De la Cruz Canchari, F. (s.f.). *Phase2 versión 6.0*. Obtenido de  
<https://es.scribd.com/doc/87734549/Phase-2>
- Escalante Guerra, H. A. (04 de Agosto de 2017). *Mejoramiento del sistema de sostenimiento, con madera, mediante pernos split set y malla electrosoldada en labores de explotación de la Empresa “MACDESA” - Arequipa*. Obtenido de  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6129>
- Estela Yomona,, J., & Estela Yomona, K. (2020). *Análisis de Control de Voladura para Reducir la Sobrerotura de Roca caja en la Unidad de produccion Pallasca*.  
Obtenido de  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62860/Estela\\_YJ-Estela\\_YK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62860/Estela_YJ-Estela_YK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Fernandez Baca, B. G., & Benavente Escobar, C. (Noviembre de 2020). *Opinion Tecnica existencias de fallas geologicas activas en el distrito de ILO*. Obtenido de [http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//10027\\_opinion-tecnica-de-existencia-de-fallas-geologicas-activas-en-el-distrito-de-ilo.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//10027_opinion-tecnica-de-existencia-de-fallas-geologicas-activas-en-el-distrito-de-ilo.pdf)
- Fernandez Baca, B. G., & Benavente Escobar, C. (Noviembre de 2020). *Existencia de fallas geologicas activas en el distrito de ILO* . Obtenido de [http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//10027\\_opinion-tecnica-de-existencia-de-fallas-geologicas-activas-en-el-distrito-de-ilo.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//10027_opinion-tecnica-de-existencia-de-fallas-geologicas-activas-en-el-distrito-de-ilo.pdf)
- Giraldo Paredez, E. M. (2020). *Optimización del diámetro de taladros en el sostenimiento de macizos rocosos con pernos de roca y sus efectos ambientales*. Obtenido de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11647>
- Griem, W. (2020). *Apuntes Geología Estructural*. Obtenido de <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/02-diaclasas.htm>
- Griem, W. (2020). *Apuntes Geología Estructural Foliaciones: Diaclasas (joints)*. Obtenido de <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/02-diaclasas.htm>
- Herrera Irigoín, E. (16 de Abril de 2021). *Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento del túnel de exploración Chaquicocha Fase II - Minera Yanacocha SRL, 2018*. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/4150>
- HF. (2017). *Ficha Tecnica perno de anclaje Split set*. Obtenido de [https://www.zxminesupport.com/productDetail\\_44/?gfxqnanmei-ID=435097760116&type=c&place=&keyword=perno%20split%20set&gclid=Cj0KCQiA47GNBhDrARIsAKfZ2rAvHNISeHdiSRvnajJBRknogyLot5GaX0B8\\_LGwdzNHkafxmYAhqDgaAn\\_WEALw\\_wcB](https://www.zxminesupport.com/productDetail_44/?gfxqnanmei-ID=435097760116&type=c&place=&keyword=perno%20split%20set&gclid=Cj0KCQiA47GNBhDrARIsAKfZ2rAvHNISeHdiSRvnajJBRknogyLot5GaX0B8_LGwdzNHkafxmYAhqDgaAn_WEALw_wcB)

- Huamani Tejada, D. A. (2014). *Optimización del sostenimiento mediante el uso de Hydrabolt Unidad Minera Bateas - Congemin JH SAC*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3886>
- LOM. (2015). *Guía sobre control Geotécnico en minería subterránea*. Obtenido de <https://energia.gob.es/mineria/Seguridad/Guias/Gu%C3%ADas/Guia-control-geotecnico-mineria-subterranee.pdf>
- Lucas Salazar, M. A. (17 de Diciembre de 2019). *Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.* Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1771>
- Lucas Salazar, M. A. (17 de Diciembre de 2019). *Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.* Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1771>
- Lucas Salazar, M. A. (17 de Diciembre de 2019). *Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.* Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1771>
- Lucas Salazar, M. A. (17 de Diciembre de 2019). *Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.* Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1771>
- Martel Fernandez, L. V. (2021). *El programa exploradores en el aprendizaje de indagación científica y el mundo físico de la institución educativa N° 160*

*Solidaridad I, 2020.* Obtenido de

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60062>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones . (2016). *MANUAL DE*

*CARRETERAS:TÚNELES, MUROS Y OBRAS COMPLEMENTARIA R.D. N°*

*36-2016-MTC/14.* Obtenido de

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones . (2016). *Manual de carreteras: tuneles,*

*muros y obras complementaria R.D. N° 36-2016-MTC/14.* Obtenido de

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Obtenido de R.D. N° 36-2016-

MTC/14:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Obtenido de Manual de

Carreteras: tuneles ,muros y obras complementaria:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Carreteras Túneles,*

*Muros y Obras Complementarias. R.D. N° 36-2016-MTC/14.* Obtenido de

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Carreteras: Túneles,*

*Muros y Obras Complementarias.* Obtenido de

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Carreteras:Tuneles, Muros Y Obras Complementaria R.D. N° 36-2016-MTC/14*. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Navarrete Cuesta, E. (Octubre de 2017). *Apuntes de Estratigrafía y Sedimentación*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Edison-Navarrete/publication/320532579\\_APUNTES\\_DE ESTRATIGRAFIA\\_Y\\_SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Edison-Navarrete/publication/320532579_APUNTES_DE ESTRATIGRAFIA_Y_SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf)

Orrante, F. (2021). *¿Qué es Excel y cómo funciona?* Obtenido de <https://todosobreexcel.com/que-es-excel/>

OSINERGMIN. (MAYO de 2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Obtenido de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf)

OSINERGMIN. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Obtenido de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf)

OSINERGMIN. (30 de Abril de 2020). *La Gerencia de Supervisión Minera (GSM) presenta el Boletín Estadístico Mensual de accidentes mortales*. Obtenido de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/estadisticas](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/estadisticas)

eindicadores/accidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2020-04.pdf

Otrilla Aguirre, G., & Romero Chávez, J. D. (2018). *MEJORA EN LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERACIONALES EN LA COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A. - UNIDAD PALLCA*. Obtenido de

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13958/Otrilla%20Aguirre%20Gofrey%20-%20Romero%20Ch%C3%A1vez%20Jos%C3%A9%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Porlles, R. (2018). *Geología » DIPS 6.0*. Obtenido de <https://post.geoxnet.com/dips-6-0/>

Quispe Matos, K. A. (4 de Julio de 2018). *Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del NV. 720, Sociedad Minera Corona S.A.* Obtenido de

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4685>

Quispe Mollisaca, Q. J. (14 de Diciembre de 2018). *Optimización de costos en sostenimiento con pernos helicoidales en la unidad de producción Chalhuane de la empresa minera Soledad S.A.C. – Arequipa*. Obtenido de

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10156>

Rios Bartolo, R. (2019). *EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LOS TÚNELES CARRETEROS LOS ÁNGELES*. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2763/RIOS%20BARTOLO%20RICARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Romero Paucar, R. (2016). *VOLADURA CON DETONADORES ELECTRÓNICOS PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN Y SEGURIDAD EN EL TAJO TOROMOCHO – MINERA CHINALCO PERÚ S.A.* Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3897/Romero%20Paucar.pdf?sequence=1>

Rouco Suárez, I. (2015). *Título: Evaluación de la estabilidad y propuesta de sostenimiento para el túnel Levisa-Mayarí Tramo IV.* Obtenido de <https://1library.co/document/qmwvl08z-evaluacion-estabilidad-propuesta-sostenimiento-tunel-levisa-mayari-tramo.html>

Ruiz Esparza, G., Murrieta Cummings, R., & Poon Hung, C. (2016). *Manual de diseño y construcción de tuneles de carretera.* Obtenido de [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_Tuneles/Indice.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_Tuneles/Indice.pdf)

Seguridad Minera. (19 de Octubre de 2017). *Perforación minera: tipos, clases de maquinaria y ubicación de taladros.* Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/>

Serrano Ramos, E. D. (2017). Obtenido de Propuesta de sostenimiento primario del Túnel Chirimollos localizando en la autopista Durango – Mazatlán: [https://www.google.com/search?sa=X&sxsrf=AOaemvLZ91Qu6KGJc6mDyIrP1\\_R2NdUsvA:1638736654780&source=univ&tbm=isch&q=Serrano+Ramos,+E.+D.+\(2017\)+Propuesta+de+sostenimiento+primario+del+t%C3%BAnel+++E2%80%9CChirimollos%E2%80%9D+localizado+en+la+autopista+Duran](https://www.google.com/search?sa=X&sxsrf=AOaemvLZ91Qu6KGJc6mDyIrP1_R2NdUsvA:1638736654780&source=univ&tbm=isch&q=Serrano+Ramos,+E.+D.+(2017)+Propuesta+de+sostenimiento+primario+del+t%C3%BAnel+++E2%80%9CChirimollos%E2%80%9D+localizado+en+la+autopista+Duran)

Serrano Ramos, E. D. (MARZO de 2017). *PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO PRIMARIO DEL TÚNEL CHIRIMOLLOS LOCALIZADO EN LA AUTOPISTA*

*DURANGO - MAZATLÁN*. Obtenido de

<https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-unlocked-pdf>

Serrano Ramos, E. D. (Marzo de 2017). *Propuesta de sostenimiento primario del*

*Túnel Chirimollos localizando en la autopista Durango – Mazatlán*". Obtenido

de <https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-unlocked-pdf>

Servicio Geologico Mexico. (2017). *Introduccion de Roca*. Obtenido de

<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Introduccion-rocas.html>

SIDERPERU. (19 de Octubre de 2019). *Barras de Construcción: NTP 341.031 G60*

*ASTM A615/A615M G60*. Obtenido de

[https://www.siderperu.com.pe/sites/pe\\_gerdau/files/PDF/FIERRO%20SIDERPERU%20NTP%20341%20031%20v2.pdf](https://www.siderperu.com.pe/sites/pe_gerdau/files/PDF/FIERRO%20SIDERPERU%20NTP%20341%20031%20v2.pdf)

Solano Martinez, N. F. (2016). *Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos*

*rocosos aplicado a explotación minera a tajo a bierto. (Minas de Paz Del Río*

*S.A.)*. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1872>

Sonami. (2016). *PERFORACIÓN Y TRONADURA*. Obtenido de

<https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf>

Soto Vilca, A. C. (2016). *Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca - Ollachea*.

Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2996>

Soto Vilca, A. C. (2016). *Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca - Ollachea*.

Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2996>



Souto Grande, I. (2021). *Todo lo que necesitas saber sobre SPSS antes de utilizarlo.*

Obtenido de <https://www.uscmarketingdigital.com/todo-sobre-spss/>

Terrero Cala, A. (2018). *EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TÚNEL LEVISA –*

*MAYARÍ, CONEXIÓN III –IV, TRAMO V Y PROPUESTA DE*

*SOSTENIMIENTO.* Obtenido de <https://1library.co/document/q06podxq->

[evaluacion-estabilidad-tunel-levisa-mayari-conexion-propuesta-](https://1library.co/document/q06podxq-evaluacion-estabilidad-tunel-levisa-mayari-conexion-propuesta-)

[sostenimiento.html](https://1library.co/document/q06podxq-sostenimiento.html)

Uchamaco Alanoca, W. B. (20 de Noviembre de 2019). *Evaluación geomecánica para*

*determinar el diseño de sostenimiento en minería subterránea: caso Ana María*

*- Rinconada.* Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12615>

## BIBLIOGRAFÍA

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014).

DEFINICIONES DE LOS ENFOQUES CUANTITATIVO Y CUALITATIVO, SUS SIMILITUDES Y DIFERENCIAS. Obtenido de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58257558/Definiciones\\_de\\_los\\_enfoques\\_cuantitativo\\_y\\_cualitativo\\_sus\\_similitudes\\_y\\_diferencias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1638750990&Signature=LUqm~jWLF2kJ7RNJFRKwLqfE245qhcyKX7ScF01lpTK4WwZ9rHDMPRI6v3pdhOPBsXcFW3](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58257558/Definiciones_de_los_enfoques_cuantitativo_y_cualitativo_sus_similitudes_y_diferencias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1638750990&Signature=LUqm~jWLF2kJ7RNJFRKwLqfE245qhcyKX7ScF01lpTK4WwZ9rHDMPRI6v3pdhOPBsXcFW3)

Navarrete Cuesta, E. (2017). Apuntes de estratigrafía y sedimentación . Obtenido de

[https://www.researchgate.net/profile/Edison-Navarrete/publication/320532579\\_APUNTES\\_DE ESTRATIGRAFIA\\_Y SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Edison-Navarrete/publication/320532579_APUNTES_DE ESTRATIGRAFIA_Y SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf)

Velázquez, J., & Vélez Flores, M. A. (13 de Diciembre de 2019). Introducción a

Microsoft Excel 2016. Obtenido de <https://desarrolloprofesional.upr.edu/wp-content/uploads/sites/99/2019/12/Carolina-Excel.pdf>

Aceros Arequipa. (Noviembre de 2015). Tuerca de Fijación y Placa de Sujeción para barra Helicoidal. Obtenido de

<https://www.acerosarequipa.com/sites/default/files/fichas/2020-02/hoja-tecnica-placa-tuerca.pdf?fv=BWoMy9-D>

Aceros Arequipa. (2020). HOJA TECNICA\_PLACA-SUJECION\_TUERCA-FIJACION. Obtenido de <https://www.acerosarequipa.com/node/33>

- Alva Mallqui, Lalito Michael, L. M. (Agosto de 2019). Optimización del sostenimiento con barras helicoidales y pernos split set de 5 pies mediante el control de calidad antes, durante y después de la instalación en la Empresa Minera Marsa-Parcoy. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13398>
- Barrera Zuñiga, N. A. (2020). ESTUDIO EN FORTIFICACION DEPERNO ANCLAJE E INYECCION. Obtenido de <https://1library.co/document/zxvx9xoy-estudio-en-fortificacion-de-perno-anclaje-e-inyeccion.html>
- Barrios Apaza, E. A. (20 de Noviembre de 2019). Aplicación de la geomecánica en la minería subterránea. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14039>
- Barrios Apaza, E. A. (20 de Noviembre de 2019). Aplicación de la geomecánica en la minería subterránea. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14038>
- Benel Rivera, B. A. (2020). Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del nivel 3 de la mina Paredones San Pablo - Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3942>
- Blanco Curi, J. K. (19 de Diciembre de 2018). Obtenido de Caracterización geomecánica para el análisis de pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas compañía minera Casapalca: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/565>
- Blanco Curi, J. K. (19 de Diciembre de 2018). Caracterización geomecánica para análisis de pernos hidrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas compañía minera Casapalca. Obtenido de

<https://1library.co/document/qo3nep5q-caracterizacion-geomecanica-analisis-hydrabolt-sostenimiento-subterraneas-compania-casapalca.html>

Cajahuanca Capcha, A. (27 de Noviembre de 2018). Evaluación geomecánica y tipo de sostenimiento en la ventana 2 frente 4 progresiva 8+400 a 8+300 túnel de aducción de la central hidroeléctrica de Chaglla, distrito de Chinchao Huánuco. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/22/simple-search?filterquery=Cajahuanca+Capcha%2C+Anibal&filtername=author&filtertype>equals>

Cañapataña Ccora, A. M. (2019). Obtenido de Determinacion de las condiciones del macizo rocoso en la profundizacion del avance en la zona esperanza del nivel 23 mediante un analisis geomecanico en la unidad minera Americana de CIA minera Casapalca:  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10475/Ca%C3%B1apata%C3%B1a\\_Ccora\\_Alvaro\\_Martin.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10475/Ca%C3%B1apata%C3%B1a_Ccora_Alvaro_Martin.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

CañapatañaCcora, A. M. (2019). DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL MACIZO ROCOSO EN LA PROFUNDIZACIÓN DEL AVANCE EN LA ZONA ESPERANZA DEL NIVEL 23 MEDIANTE UN ANÁLISIS GEOMECÁNICO EN LA UNIDAD MINERA AMERICANA DE CÍA. MINERA CASAPALCA. Obtenido de  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10475/Ca%C3%B1apata%C3%B1a\\_Ccora\\_Alvaro\\_Martin.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10475/Ca%C3%B1apata%C3%B1a_Ccora_Alvaro_Martin.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Cartaya Pire, M. (Septiembre de 2006). CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS ROCOSOS EN OBRAS SUBTERRÁNEAS DE LA REGIÓN ORIENTAL DE PAÍS. Obtenido de  
<https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652004.pdf>

- CASTEM. (2020). Cartuchos de Resina GROUND LOCK. Obtenido de  
<https://castem.com.pe/producto/cartuchos-de-resina-ground-lock/>
- CASTEM. (2020). Equipo Pull Test. Obtenido de  
<https://castem.com.pe/producto/equipos-pull-test/>
- Churata Mestas, J. F. (07 de Noviembre de 2019). Estudio del comportamiento geomecánico del macizo rocoso. Obtenido de  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12578>
- CIMENTER. (2016). LECHADA DE CEMENTO. Obtenido de  
<https://cimenter.es/lechada-de-cemento>
- Cruzado Peralta, P. B. (2017). Evaluación geomecánica del túnel de la central hidroeléctrica potrero - San Marcos - Cajamarca. Obtenido de  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1420>
- Cuba Cárdenas, R. O. (8 de Noviembre de 2017). Análisis comparativo entre los pernos cementados e hydrabolt en el sostenimiento para labores de 3\*3 de sección en la Mina Azulcocha Mining S.A. Concepción – Junín 2017. Obtenido de  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/3827>
- De la Cruz Canchari, F. (s.f.). Phase2 versión 6.0. Obtenido de  
<https://es.scribd.com/doc/87734549/Phase-2>
- Escalante Guerra, H. A. (04 de Agosto de 2017). Mejoramiento del sistema de sostenimiento, con madera, mediante pernos split set y malla electrosoldada en labores de explotación de la Empresa “MACDESA” - Arequipa. Obtenido de  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6129>
- Estela Yomona,, J., & Estela Yomona, K. (2020). Análisis de Control de Voladura para Reducir la Sobrerotura de Roca caja en la Unidad de produccion Pallasca. Obtenido de

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62860/Estela\\_YJ-Estela\\_YK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62860/Estela_YJ-Estela_YK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fernandez Baca, B. G., & Benavente Escobar, C. (Noviembre de 2020). Opinion Tecnica existencias de fallas geologicas activas en el distrito de ILO. Obtenido de [http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//10027\\_opinion-tecnica-de-existencia-de-fallas-geologicas-activas-en-el-distrito-de-ilo.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//10027_opinion-tecnica-de-existencia-de-fallas-geologicas-activas-en-el-distrito-de-ilo.pdf)

Fernandez Baca, B. G., & Benavente Escobar, C. (Noviembre de 2020). Existencia de fallas geologicas activas en el distrito de ILO . Obtenido de [http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//10027\\_opinion-tecnica-de-existencia-de-fallas-geologicas-activas-en-el-distrito-de-ilo.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//10027_opinion-tecnica-de-existencia-de-fallas-geologicas-activas-en-el-distrito-de-ilo.pdf)

Giraldo Paredes, E. M. (2020). Optimización del diámetro de taladros en el sostenimiento de macizos rocosos con pernos de roca y sus efectos ambientales. Obtenido de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11647>

Griem, W. (2020). Apuntes Geología Estructural. Obtenido de <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/02-diaclasas.htm>

Griem, W. (2020). Apuntes Geología Estructural Folioaciones: Diaclasas (joints). Obtenido de <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/02-diaclasas.htm>

Herrera Irigoín, E. (16 de Abril de 2021). Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento del túnel de exploración Chaquicocha Fase II - Minera Yanacocha SRL, 2018. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/4150>

HF. (2017). Ficha Tecnica perno de anclaje Split set. Obtenido de [https://www.zxminesupport.com/productDetail\\_44/?gfxqnanmei-ID=435097760116&type=c&place=&keyword=perno%20split%20set&gclid=C](https://www.zxminesupport.com/productDetail_44/?gfxqnanmei-ID=435097760116&type=c&place=&keyword=perno%20split%20set&gclid=C)

j0KCQIA47GNBhDrARIsAKfZ2rAvHNiSeHdiSRvnajJBRknogyLot5GaX0B8  
\_LGwdzNHkafxmYAhqDgaAn\_WEALw\_wcB

Huamani Tejada, D. A. (2014). Optimización del sostenimiento mediante el uso de Hydrabolt Unidad Minera Bateas - Congemin JH SAC. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3886>

LOM. (2015). Guia sobre control Geotecnico en mineria subterranea. Obtenido de <https://energia.gob.es/mineria/Seguridad/Guias/Gu%C3%ADas/Guia-control-geotecnico-mineria-subterranea.pdf>

Lucas Salazar, M. A. (17 de Diciembre de 2019). Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1771>

Lucas Salazar, M. A. (17 de Diciembre de 2019). Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1771>

Lucas Salazar, M. A. (17 de Diciembre de 2019). Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1771>

Lucas Salazar, M. A. (17 de Diciembre de 2019). Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1771>

Martel Fernandez, L. V. (2021). El programa exploradores en el aprendizaje de indagación científica y el mundo físico de la institución educativa N° 160 Solidaridad I, 2020. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60062>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones . (2016). MANUAL DE CARRETERAS:TÚNELES, MUROS Y OBRAS COMPLEMENTARIA R.D. N° 36-2016-MTC/14. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones . (2016). Manual de carreteras: tuneles, muros y obras complementaria R.D. N° 36-2016-MTC/14. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Obtenido de R.D. N° 36-2016-MTC/14: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Obtenido de Manual de Carreteras: tuneles ,muros y obras complementaria: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)

Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Carreteras Túneles, Muros y Obras Complementarias. R.D. N° 36-2016-MTC/14. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Carreteras: Túneles, Muros y Obras Complementarias. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Carreteras: Túneles, Muros Y Obras Complementaria R.D. N° 36-2016-MTC/14. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_4%20TMyOC-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf)
- Navarrete Cuesta, E. (Octubre de 2017). Apuntes de Estratigrafía y Sedimentación. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Edison-Navarrete/publication/320532579\\_APUNTES\\_DE ESTRATIGRAFIA\\_Y SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Edison-Navarrete/publication/320532579_APUNTES_DE ESTRATIGRAFIA_Y SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf)
- Orrante, F. (2021). ¿Qué es Excel y cómo funciona? Obtenido de <https://todosobreexcel.com/que-es-excel/>
- OSINERGMIN. (MAYO de 2017). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Obtenido de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf)
- OSINERGMIN. (2017). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Obtenido de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf)
- OSINERGMIN. (30 de Abril de 2020). La Gerencia de Supervisión Minera (GSM) presenta el Boletín Estadístico Mensual de accidentes mortales. Obtenido de

[https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/estadisticas/indicadores/accidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2020-04.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/estadisticas/indicadores/accidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2020-04.pdf)

Otrilla Aguirre, G., & Romero Chávez, J. D. (2018). MEJORA EN LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERACIONALES EN LA COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A. - UNIDAD PALLCA. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13958/Otrilla%20Aguirre%20Gofrey%20-%20Romero%20Ch%C3%A1vez%20Jos%C3%A9%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Porlles, R. (2018). Geología » DIPS 6.0. Obtenido de <https://post.geoxnet.com/dips-6-0/>

Quispe Matos, K. A. (4 de Julio de 2018). Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del NV. 720, Sociedad Minera Corona S.A. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4685>

Quispe Mollisaca, Q. J. (14 de Diciembre de 2018). Optimización de costos en sostenimiento con pernos helicoidales en la unidad de producción Chalhuan de la empresa minera Soledad S.A.C. – Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10156>

Rios Bartolo, R. (2019). EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LOS TÚNELES CARRETEROS LOS ÁNGELES. Obtenido de

<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2763/RIOS%20BARTOLO%20RICARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Romero Paucar, R. (2016). VOLADURA CON DETONADORES ELECTRÓNICOS PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN Y SEGURIDAD EN EL TAJO TOROMOCHO – MINERA CHINALCO PERÚ S.A. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3897/Romero%20Paucar.pdf?sequence=1>

Rouco Suárez, I. (2015). Título: Evaluación de la estabilidad y propuesta de sostenimiento para el túnel Levisa-Mayarí Tramo IV. Obtenido de <https://1library.co/document/qmwvl08z-evaluacion-estabilidad-propuesta-sostenimiento-tunel-levisa-mayari-tramo.html>

Ruiz Esparza, G., Murrieta Cummings, R., & Poon Hung, C. (2016). Manual de diseño y construcción de tuneles de carretera. Obtenido de [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_Tuneles/Indice.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_Tuneles/Indice.pdf)

Seguridad Minera. (19 de Octubre de 2017). Perforación minera: tipos, clases de maquinaria y ubicación de taladros. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/>

Serrano Ramos, E. D. (2017). Obtenido de Propuesta de sostenimiento primario del Túnel Chirimollos localizando en la autopista Durango – Mazatlán: [https://www.google.com/search?sa=X&sxsrf=AOaemvLZ91Qu6KGJc6mDyIrP1\\_R2NdUsvA:1638736654780&source=univ&tbm=isch&q=Serrano+Ramos,+E.+D.+\(2017\)+Propuesta+de+sostenimiento+primario+del+t%C3%BAnel++%E2%80%9CChirimollos%E2%80%9D+localizado+en+la+autopista+Duran](https://www.google.com/search?sa=X&sxsrf=AOaemvLZ91Qu6KGJc6mDyIrP1_R2NdUsvA:1638736654780&source=univ&tbm=isch&q=Serrano+Ramos,+E.+D.+(2017)+Propuesta+de+sostenimiento+primario+del+t%C3%BAnel++%E2%80%9CChirimollos%E2%80%9D+localizado+en+la+autopista+Duran)

Serrano Ramos, E. D. (MARZO de 2017). PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO

PRIMARIO DEL TÚNEL CHIRIMOLLOS LOCALIZADO EN LA

AUTOPISTA DURANGO - MAZATLÁN. Obtenido de

[https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-](https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-unlocked-pdf)

[primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-](https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-unlocked-pdf)

[unlocked-pdf](https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-unlocked-pdf)

Serrano Ramos, E. D. (Marzo de 2017). Propuesta de sostenimiento primario del. Túnel

Chirimollos localizando en la autopista Durango – Mazatlán”. Obtenido de

[https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-](https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-unlocked-pdf)

[primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-](https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-unlocked-pdf)

[unlocked-pdf](https://es.scribd.com/document/410404294/Propuesta-de-sostenimiento-primario-del-tunel-Chirimollos-localizado-en-la-autopista-Durango-Mazatlan-unlocked-pdf)

Servicio Geologico Mexico. (2017). Introduccion de Roca. Obtenido de

<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Introduccion-rocas.html>

SIDERPERU. (19 de Octubre de 2019). Barras de Construcción: NTP 341.031 G60

ASTM A615/A615M G60. Obtenido de

[https://www.siderperu.com.pe/sites/pe\\_gerdau/files/PDF/FIERRO%20SIDERP](https://www.siderperu.com.pe/sites/pe_gerdau/files/PDF/FIERRO%20SIDERPERU%20NTP%20341%20031%20v2.pdf)

[ERU%20NTP%20341%20031%20v2.pdf](https://www.siderperu.com.pe/sites/pe_gerdau/files/PDF/FIERRO%20SIDERPERU%20NTP%20341%20031%20v2.pdf)

Solano Martinez, N. F. (2016). Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos

rocosos aplicado a explotación minera a tajo a bierto. (Minas de Paz Del Río

S.A.). Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1872>

Sonami. (2016). PERFORACIÓN Y TRONADURA. Obtenido de

[https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-](https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf)

[tronadura.pdf](https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf)

Soto Vilca, A. C. (2016). Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca - Ollachea.

Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2996>

Soto Vilca, A. C. (2016). Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca - Ollachea.

Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2996>

Souto Grande, I. (2021). Todo lo que necesitas saber sobre SPSS antes de utilizarlo.

Obtenido de <https://www.uscmktg.digital.com/todo-sobre-spss/>

Terrero Cala, A. (2018). EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TÚNEL

LEVISA –MAYARÍ, CONEXIÓN III –IV, TRAMO V Y PROPUESTA DE

SOSTENIMIENTO. Obtenido de [https://1library.co/document/q06podxq-](https://1library.co/document/q06podxq-evaluacion-estabilidad-tunel-levisa-mayari-conexion-propuesta-sostenimiento.html)

[evaluacion-estabilidad-tunel-levisa-mayari-conexion-propuesta-](https://1library.co/document/q06podxq-evaluacion-estabilidad-tunel-levisa-mayari-conexion-propuesta-sostenimiento.html)

[sostenimiento.html](https://1library.co/document/q06podxq-evaluacion-estabilidad-tunel-levisa-mayari-conexion-propuesta-sostenimiento.html)

Uchamaco Alanoca, W. B. (20 de Noviembre de 2019). Evaluación geomecánica para

determinar el diseño de sostenimiento en minería subterránea: caso Ana María -

Rinconada. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12615>

## **ANEXOS**

## ANEXO 01

### INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Imagen 1. Punto de verificación de progresiva del túnel 0+350



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2. Punto de verificación de progresiva del túnel 0+450



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3. Puntos de verificación de progresiva del túnel 0+950



Fuente: Elaboración propia

Imagen 4. Pruebas de ensayo de perno de anclaje (Split Set)



Fuente: Elaboración propia



Imagen 5. Evidencias de pruebas



Fuente: Elaboración propia

Imagen 6. Equipo de ensayo de equipo Pull Test



Fuente: Elaboración propia

Imagen 7. Evidencias de ensayos



Fuente: Elaboración propia

Imagen 8. Ensayo de Barras Corrugadas



Fuente: Elaboración propia



Imagen 9. Pernos de Barras Corrugadas



Fuente: Elaboración propia

Imagen 10. Pernos Split Set



Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 02

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



### PROCEDIMIENTO DE VALIDACION Y CONFIABILIDAD

#### TESIS

Estudio comparativo entre el uso de Split set y barras corrugadas para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina Marcapunta norte - Unidad Minera El Brocal - Colquijirca-Pasco, 2021

El presente trabajo de investigación muestra ensayos de Pull Test en método de arranque de los elementos de sostenimiento como: el Split set y barras corrugadas  $\Phi$  1" y  $\frac{3}{4}$ "', el estudio comparativo se verifico la prueba de hipótesis con software SPSS analizando en:

- Prueba de "Levene" para igualdad de varianzas para el Split Set y barras corrugado.
- Prueba de "T" de Student para muestras independientes para el Split Set y barras corrugado

Para determinar el procedimiento de validación y confiabilidad la diferencia del estudio comparativo entre el uso de Split Set y fierro corrugado para el sostenimiento de rocas en túneles de la mina MarcaPunta Norte – unidad minera El Brocal – Colquijirca – Pasco – 2021.

**PROCEDIMIENTO DE VALIDACION Y CONFIABILIDAD DE PERNO SPLIT  
SET DE 39mm X 7 ´ PIES Y BARRAS CORRUGADAS**

**Tabla 33.** Prueba de “Levene” para igualdad de varianzas para el Split Set y barras corrugado

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	,118	,733
	No se asumen varianzas iguales	-	-

Fuente: elaboración propia SPSS

**Tabla 34.** Prueba de “T” de Student para muestras independientes para el Split Set y barras corrugado

		Prueba “t de Student” para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	79,291	28	,000	5,69733	,07185	5,55015	5,84452
	No se asumen varianzas iguales	79,291	27,798	,000	5,69733	,07185	5,55010	5,84457

Fuente: elaboración propia SPSS

**PROCEDIMIENTO DE VALIDACION Y CONFIABILIDAD BARRAS  
CORRUGADAS DE  $\Phi$  1" X 7' PIES Y SPLIT SET**

**Tabla 35.** Prueba de “Levene” para igualdad de varianzas para el Split Set y barras corrugados de  $\Phi$ 1” x 7’

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas desiguales	1,905	,178
	No se asumen varianzas iguales	-	-

Fuente: Elaboración propia SPSS

**Tabla 36.** Prueba de “T” de Student para muestras independientes para el Split Set y barras corrugadas de  $\Phi$  1” x 7’ pies

		Prueba t de Student para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	55,897	28	,000	4,70333	,08414	4,53098	4,87569
	No se asumen varianzas iguales	55,897	25,206	,000	4,70333	,08414	4,53011	4,87656

Fuente: Elaboración propia SPSS



**PROCEDIMIENTO DE VALIDACION Y CONFIABILIDAD BARRAS  
CORRUGADAS DE  $\Phi$  3/4" X 7' PIES Y SPLIT SET**

**Tabla 37.** Prueba de Levene para igualdad de varianzas para el Split Set y barras corrugadas de  $\Phi$  3/4".x 7' pies

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	,009	,927
	No se asumen varianzas iguales	-	-

Fuente: SPSS - Elaboración propia SPSS

**Tabla 38.** Prueba de "T" de Student para muestras independientes para el Split Set y barras corrugado de  $\Phi$  3/4"

		Prueba t de Student para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
DESPLAMIENTOS	Se asumen varianzas iguales	99,627	28	,000	6,69800	,06723	6,56028	6,83572
	No se asumen varianzas iguales	99,627	27,944	,000	6,69800	,06723	6,56027	6,83573

Fuente: Elaboración propia SPSS

## ANEXO

**MAPA DE UBICACIÓN CON COORDENADAS DEL TUNEL MARCAPUNTA NORTE – EL BROCAL** (coordenadas UTM;  
Norte; 8810900.12 – Este; 361632.21 – Altitud; 4245 m.s.n.m)

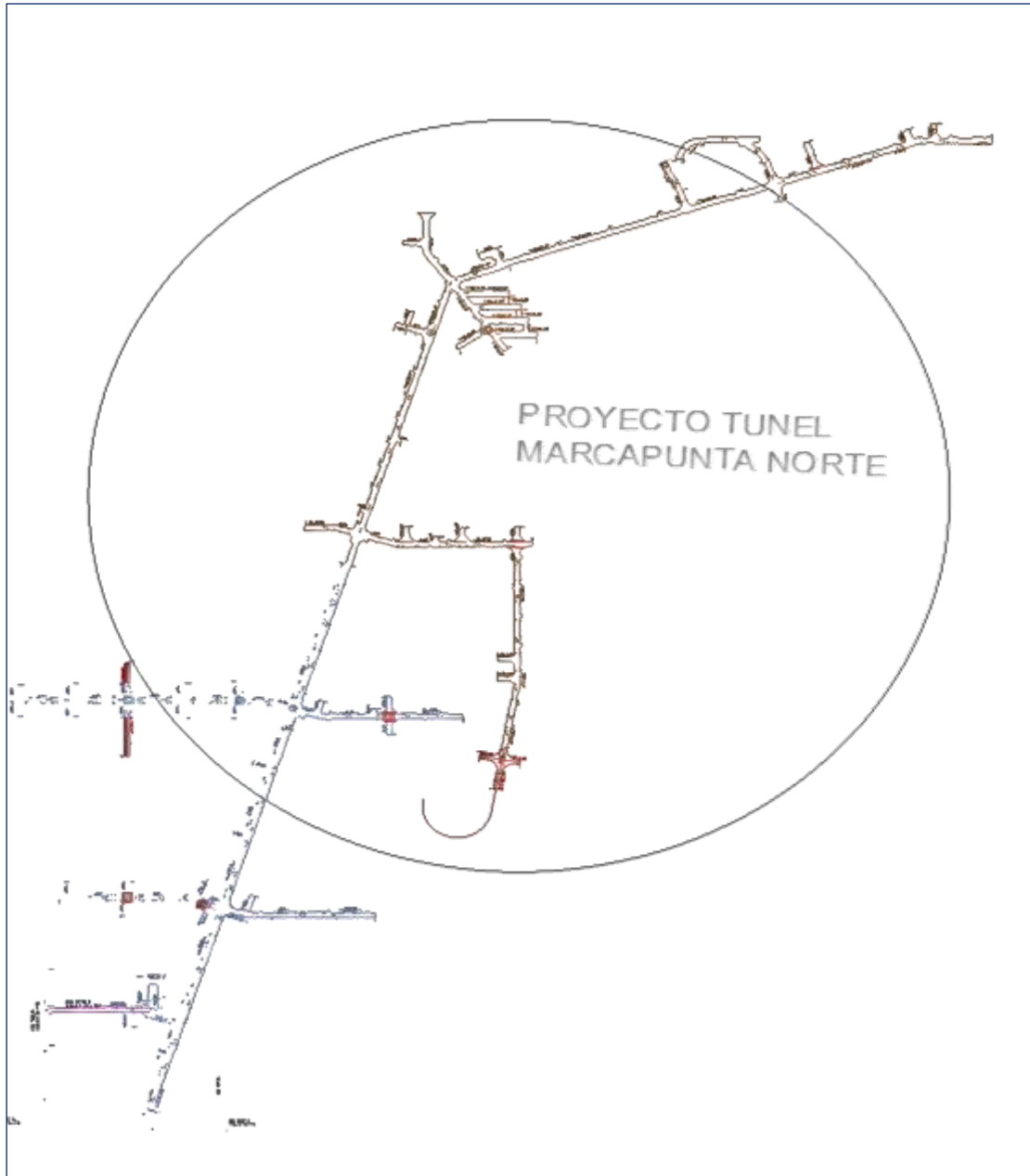


Fuente: Google Earth

## ANEXO

### PLANO PROYECTO TÚNEL MARCAPUNTA NORTE

Figura 36. Plano de proyecto túnel de mina Marcapunta Norte – El Brocal –Colquijirca.



Fuente: Elaboración propia

## ANEXO

### SOSTENIMIENTO CON EQUIPO EMPERNADOR

Imagen 11. Equipo de sostenimiento Jumbo Empernador



Fuente: Elaboración propia