

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y  
CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS:**

**Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento del  
túnel de integración Animon - Islay, 2022.**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Alfredo GUTIERREZ MENDIVIL**

**Asesor:**

**Dr. Ing. Jonny Henry CCATAMAYO BARRIOS**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO DE MINAS**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2022**

**ASESOR**

Dr. Ing. **JOHNNY HENRRY CCATAMAYO BARRIOS**

## RESUMEN

La investigación titulada “**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL DE INTEGRACION ANIMON - ISLAY, 2022**” tuvo como objetivo conocer como la evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022. La metodología utilizada en la presente corresponde a una investigación de tipo aplicada, con un diseño experimental, considerando la muestra de estudio al Tunel de integración Animon – Islay, 2022. Que tiene un largo de 195 metros lineales, una sección de 5,0 m x 5,5 m y una pendiente de hasta el 13%. Las conclusiones muestran que en evaluaciones geomecánicas que el macizo rocoso es de buena calidad tipo II, común tipo III-A y común tipo III-B; con apoyo definido por hormigón proyectado de 2 pulgadas. Perno de 8 pies reforzado con fibra sintética con espaciado de 1,7 m, 1,5 m y 1,2 m. Los análisis que utilizan el software Phase2 v 8.0 muestran un comportamiento estable del túnel con un factor de seguridad de soporte recomendado superior a 1,50. Las pruebas de control de calidad de los pernos Split Set muestran que la resistencia a la tracción es superior a 8 TN y la resistencia máxima del hormigón en bruto es superior a 35 MPa. Estos resultados aseguran el rendimiento y la funcionalidad del soporte instalado en el túnel durante su vida media de 10 años.

**Palabras clave:** Geomecánica; Sostenimiento; Estabilidad.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 10 años, los accidentes por caída de rocas han encabezado la lista de accidentes fatales en la minería subterránea. Por ello, los organismos reguladores y las empresas mineras han prestado especial atención a la difusión de los criterios geomecánicos que se utilizan actualmente en el diseño, construcción, operación y cierre de minas de acuerdo con las mejores prácticas de ingeniería para reducir significativamente esta estadística fatal. Minera Animon se encuentra desarrollando el proyecto del túnel de integración Animon - Islay, actualmente construyendo la rampa 370. Se debe asegurar la estabilidad de trabajo.

La investigación se dividió en cinco capítulos; El Capítulo I presenta el planteamiento y formulación del problema, la hipótesis, la trascendencia de la investigación, los límites y los objetivos de la investigación. en el Capítulo II; Se presenta el marco teórico de la investigación, los antecedentes teóricos de la investigación, los fundamentos teóricos de la investigación y la definición de los conceptos principales. El capítulo III trata de los materiales y métodos, ubicación geográfica de la investigación, procedimiento seguido, procesamiento y análisis de datos y presentación de resultados. en el Capítulo IV; Se realiza el análisis y discusión de los resultados, desvelando los resultados y contrastándolos con la hipótesis. Finalmente, se presentan algunas conclusiones y recomendaciones del estudio.

## DEDICATORIA

En dedicación a CLEMENTE GUTIERREZ CASTRO & VICTORIA MENDIVIL VARGAS; mis padres, quienes son mis mentores y mis mas grandes ejemplos a seguir, por orientar mi camino y darme las fortalezas para cumplir con mis metas en mi vida personal y profesional.

## AGRADECIMIENTO

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA**, por su atención y amabilidad en todo lo referente a mi vida como estudiante de pre grado.

A la **FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL** que supieron guiarme incondicionalmente.

A la **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS** por haberme cobijado en los ambientes y contribuir en nuestra formación profesional.

A mi asesor, por aceptar el asesoramiento de mi proyecto de tesis, por su conocimiento, disciplina y paciencia demostrada en la elaboración de la tesis ya mencionado.

Finalmente, a todas aquellas personas que han estado cerca en todo momento y a Dios por guiarme en la vida.

## Índice general

PORTADA .....	i
ASESOR.....	ii
RESUMEN.....	iii
INTRODUCCIÓN .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
Índice general .....	vii
Índice figuras.....	xii
Índice de cuadros o tablas .....	xiv
Glosario .....	1
Capítulo I.....	1
Planteamiento del problema .....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.1. Realidad problemática .....	1
1.2. Formulación del problema.....	1
1.2.1. Problema general .....	1
1.2.2. Problemas específicos.....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos .....	2
1.4. Justificación en importancia .....	3
1.4.1. Justificación teórica .....	3
1.4.2. Justificación práctica.....	3
1.4.3. Justificación metodológica.....	3

1.5. Hipótesis y descripción de variables .....	3
1.5.1. Hipótesis .....	3
1.5.2. Identificación de variables .....	4
CAPITULO II .....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes del problema.....	6
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	7
2.2. Bases teóricas .....	9
2.2.1. Descripción del Macizo rocoso.....	9
2.2.2. Clasificaciones geomecánicas.....	9
2.2.3. Resistencia de la roca.....	10
2.2.4. Índice de Calidad de la Roca (RQD) .....	11
2.2.5. Clasificación Geomecánica RMR.....	12
2.2.6. Clasificación Geomecánica GSI .....	16
2.2.7. Diseño de sostenimiento .....	17
2.2.8. Sostenimiento con pernos de anclaje .....	21
2.2.9. Sostenimiento con Shotcrete.....	21
2.2.10. Factor de seguridad .....	22
2.3. Definición de términos básicos.....	23
CAPITULO III .....	26
METODOLOGÍA .....	26
3.1. Método y alcance de la investigación.....	26
3.2. Tipo de investigación.....	26
3.3. Nivel de la investigación .....	27



3.4. Método de investigación.....	27
3.5. Diseño de la investigación.....	27
3.6. Población y muestra.....	28
3.6.1. Población.....	28
3.6.2. Muestra .....	28
3.6.3. Muestreo .....	28
3.6.4. Unidad muestral .....	28
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	29
3.7.1. Técnicas de recolección de datos .....	29
3.7.2. Técnicas de análisis y procesamiento de datos .....	29
3.7.3. Procesamientos de datos .....	29
3.8. Equipos utilizados de recolección y procesamiento de datos.....	30
3.8.1. Equipos utilizados en la recolección de datos.....	30
3.9. Desarrollo de la investigación .....	32
3.10. Generalidades.....	34
3.10.1. Ubicación .....	34
3.10.2. Clima.....	34
3.10.3. Accesibilidad.....	35
3.10.4. Fisiografía .....	35
3.10.5. Geomorfología .....	35
3.10.6. Geología regional .....	36
3.10.7. Geología estructural .....	40
3.10.8. Geología local .....	40
CAPITULO IV .....	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42

4.1.	Distribución de discontinuidades.....	42
4.1.1.	Tramo N° 01: PK 0 + 290 a 0 + 340.....	43
4.1.2.	Tramo N° 02: PK 0 + 340 a 0 + 380.....	46
4.1.3.	Tramo N° 03: PK 0 + 380 a 0 + 420.....	49
4.1.4.	Tramo N° 04: PK 0 + 420 a 0 + 460.....	52
4.2.	Caracterización geotécnica del macizo rocoso.....	55
4.2.1.	Evaluación Geotécnica del Frente .....	55
4.2.2.	Resistencia de la roca.....	56
4.3.	Caracterización geomecánica del túnel .....	56
4.4.	Sostenimiento del túnel .....	58
4.4.1.	Aplicación del índice RMR para el diseño del sostenimiento .....	58
4.4.2.	Definición del sostenimiento mediante el índice RMR del Tunel Animon - Islay.....	58
4.4.3.	Análisis de estabilidad de excavaciones .....	60
4.4.3.1.	Modelamiento geomecánico en Roca Regular Tipo III-B .....	60
4.4.3.2.	Modelamiento geomecánico en Roca Regular Tipo III-A .....	63
4.4.3.3.	Modelamiento geomecánico en Roca Buena Tipo II.....	65
4.5.	Control de calidad del sostenimiento.....	67
4.5.1.	Ensayos de Pull Test.....	67
4.5.2.	Control de Calidad del Shotcrete .....	70
4.5.2.1.	Ensayos de Resistencias Tempranas del Shotcrete .....	70
4.5.2.2.	Ensayos de Compresión Simple del Shotcrete.....	71
4.6.	Discusion de resultados .....	73
4.6.1.	Análisis de estructuras de discontinuidades.....	73
4.6.2.	Definición del sostenimiento .....	74
4.6.3.	Estabilidad de las excavaciones subterráneas.....	74

4.6.4. Control de calidad .....	75
4.7. Prueba de hipótesis .....	75
CONCLUSIONES .....	78
RECOMENDACIONES .....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
ANEXOS.....	82
Anexo 1: Matriz de consistencia .....	82
Anexo 2: Ficha de mapeo geomecanico.....	83
Anexo 3: Simbología cromática por calidad de roca (Osinerghin, 2017).....	84
Anexo 4: Ficha técnica de pernos .....	85

## Índice figuras

<b>Figura 1:</b> Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.	10
<b>Figura 2:</b> Medida de Orientación de Discontinuidades.....	13
<b>Figura 3:</b> Estimación del Índice de Resistencia Geológica.....	17
<b>Figura 4:</b> Geología regional Mina Animon.....	38
<b>Figura 5:</b> Columna estratigráfica Regional .....	39
<b>Figura 6:</b> Columna estratigráfica Local .....	41
<b>Figura 7:</b> Analisis de estructuras a nivel de rampa 3740 .....	42
<b>Figura 8:</b> Sistema de discontinuidades a nivel de rampa 3740.....	44
<b>Figura 9:</b> Orientacion de discontinuidad respecto al eje de la rampa 3740 .....	45
<b>Figura 10:</b> Sistema de discontinuidades tramo 02 .....	47
<b>Figura 11:</b> Orientacion de discontinuidad respecto al eje del tramo 2.....	48
<b>Figura 12:</b> Sistema de discontinuidades tramo 03 .....	50
<b>Figura 13:</b> Orientacion de discontinuidad respecto al eje del tramo 3.....	51
<b>Figura 14:</b> Sistema de discontinuidades tramo 04 .....	53
<b>Figura 15:</b> Orientacion de discontinuidad respecto al eje del tramo 4.....	54
<b>Figura 16:</b> Modelamiento geomecánico sin sostenimiento en macizo rocoso de calidad regular tipo III-B.....	61
<b>Figura 17:</b> Modelamiento geomecánico con sostenimiento en macizo rocoso de calidad regular tipo III-B.....	62
<b>Figura 18:</b> Modelamiento geomecánico sin sostenimiento en macizo rocoso de calidad regular tipo III-A .....	63
<b>Figura 19:</b> Modelamiento geomecánico con sostenimiento en macizo rocoso de calidad regular tipo III-A .....	64
<b>Figura 20:</b> Modelamiento geomecánico sin sostenimiento en macizo rocoso de calidad buena tipo II.....	65

**Figura 21:** Modelamiento geomecánico con sostenimiento en macizo rocoso de calidad buena tipo II..... 66

## Índice de cuadros o tablas

<b>Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....</b>	<b>5</b>
<b>Tabla 2: Ensayos de Índice manual de resistencia de roca en campo .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 3: Calidad del macizo rocoso según el índice RQD .....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 4: Parámetros de clasificación RMR .....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 5: Corrección por orientación de discontinuidades .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 6: Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR89 .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 7: Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR proyecto .....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 8: Sostenimiento a partir de índice RMR89.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 9: Recomendación de sostenimiento según el índice RMR del proyecto.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 10: Características de pernos de anclaje .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 11: Mezcla referencial de concreto lanzado resistencia <math>f'c = 350 \text{ kg/cm}^2</math>.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 12: F.S. recomendado según plazo de estabilidad .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 13: Coordenadas UTM de Unidad Operativa.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 14: Accesibilidad a Unidad Operativa.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 15: Sistemas de discontinuidades en el tramo N° 01 .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 16: Sistemas de discontinuidades en el tramo N° 02 .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 17: Sistemas de discontinuidades en el tramo N° 03 .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 18: Sistemas de discontinuidades en el tramo N° 04 .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 19: Resultado del ensayo de resistencia de carga puntual.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 20: Caracterización geomecánica del túnel.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 21: Diseño e instalación del sostenimiento en el túnel.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 22: Resultados. Resultados de ensayos de Pull Test en pernos Split Set de 8ft/40mm</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 23: Resultados de ensayos de Pull Test en pernos helicoidales de 10ft/22mm .....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 24: Prueba de normalidad de la variable trabajabilidad .....</b>	<b>76</b>

**Tabla 25: Prueba T para comparar una muestra a un valor ..... 76**

## Glosario

UCS : Resistencia a la Comprensión Simple

Osinergmin : Organismo supervisor de la inversión en energía y minería

DIP : Buzamiento

DIP DIRECTION : Dirección del Buzamiento

FS : Factor de seguridad

NV : Nivel de excavación

PK : Progresiva SET : Sistema de discontinuidades

Jv : Cantidad de diaclasas por m<sup>3</sup>

DS : Decreto Supremo EM : Energía y Minas

Nº : Número

TN : Tonelada

Mpa : Mega Pascal

Cx : Crucero

WGS-84 : Sistema Geodésico Mundial 1984.



## **Capítulo I**

### **Planteamiento del problema**

#### **1.1. Descripción del problema**

##### **1.1.1. Realidad problemática**

En los últimos 10 años, los accidentes por caída de rocas han sido la principal causa de muerte en las minas subterráneas. Con base en este hecho, los reguladores y las empresas mineras han puesto especial énfasis en la difusión de los estándares geomecánicos que se utilizan actualmente en el diseño, construcción, operación y cierre de proyectos mineros de acuerdo con las mejores prácticas de ingeniería para reducir drásticamente esta mortífera estadística. Actualmente Minera Animon se encuentra desarrollando el túnel y el proyecto integral Animon - Islay, 2022. Para garantizar la estabilidad del proyecto es necesario realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso, que permita definir el diseño del proyecto. El soporte adecuado del túnel y la instalación de soportes aseguran la estabilidad del macizo rocoso. excavación, se deben llevar a cabo pruebas de control de calidad para garantizar que la instalación en roca soporte los miembros en el revestimiento.

#### **1.2. Formulación del problema**

##### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo la evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022?

##### **1.2.2. Problemas específicos**

- ❖ ¿Cuál es la calidad del macizo rocoso según las clasificaciones geomecánicas de RMR y GSI, que gobiernan el macizo rocoso en túnel de integración Animon – Islay, 2022?

- ❖ ¿Cómo influyen las propiedades físico . mecánicas del maciso rocoso en el sostenimiento instalado en labores subterráneas del túnel de integración Animon – Islay, 2022?
- ❖ ¿Cuál es el resultado del factor de seguridad que garantiza la estabilidad de las excavaciones subterráneas mediante software Phase2, en túnel de integración Animon – Islay, 2022?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Conocer como la evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ❖ Determinar la calidad del macizo rocoso según las clasificaciones geomecánicas de RMR y GSI, que gobiernan el macizo rocoso en túnel de integración Animon – Islay, 2022.
- ❖ Evaluar cómo influyen las propiedades físico . mecánicas del maciso rocoso en el sostenimiento instalado en labores subterráneas del túnel de integración Animon – Islay, 2022.
- ❖ Determinar cual es el resultado del factor de seguridad que garantiza la estabilidad de las excavaciones subterráneas mediante software Phase2, en túnel de integración Animon – Islay, 2022.

## **1.4. Justificación en importancia**

### **1.4.1. Justificación teórica**

Se justifica teóricamente la evaluación geomecánica, porque resulta ser un punto fundamental en la ingeniería geomecánica, porque por medio de procedimientos de cálculo y clasificación del macizo rocoso se podrá establecer la capacidad de estabilidad o sostenimiento de labores subterráneas, que se realizarán para cuantificar los resultados y así aportar conocimientos sobre la estabilidad de labores y del mismo modo garantizar la seguridad en las operaciones.

### **1.4.2. Justificación práctica**

Su aporte se concentra en analizar la influencia de la evaluación geomecánica en los diseños de sostenimiento de labores subterráneas, específicamente en el túnel de integración Animon – Islay, debido a que en esta zona, el túnel presenta riesgo de deslizamiento de macizo rocoso, la correcta clasificación de la calidad de la roca permitirá establecer el diseño adecuado que garantice la seguridad de las operaciones.

### **1.4.3. Justificación metodológica**

Este estudio considera la metodología de clasificación RMR y GSI, para ello se utilizan unas tablas que permiten determinar la calidad de la roca analizada.

## **1.5. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.5.1. Hipótesis**

#### **1.5.1.1. Hipótesis general**

La evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022.

### **1.5.1.2. Hipótesis específicas**

- La calidad del macizo rocoso según las clasificaciones geomecánicas de RMR y GSI, que gobiernan el macizo rocoso influyen significativamente en el diseño de sostenimiento en túnel de integración Animon – Islay, 2022.
- Las propiedades físico . mecánicas del maciso recoso influyen significativamente en el sostenimiento instalado en labores subterráneas del túnel de integración Animon – Islay, 2022.
- El resultado del factor de seguridad resulta superior a 1 y garantiza la estabilidad de las excavaciones subterráneas mediante software Phase2, en túnel de integración Animon – Islay, 2022.

### **1.5.2. Identificación de variables**

#### **1.5.2.1. Variable dependiente**

- Diseño de sostenimiento

#### **1.5.2.2. Variable independiente**

- Evaluación geomecánica

### 1.5.2.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1.** Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Operacionalización	
		Indicadores	Tipo de variables
<b>Variable Independiente</b> Evaluación geomecánica	Las clasificaciones geomecánicas son métodos fundamentales de la ingeniería que permite evaluar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso, los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento en una galería.	Clasificación RMR	Cuantitativa
		Clasificación GSI	Cuantitativa
		Propiedades físico mecánicas de la roca	Cuantitativa
<b>Variable Dependiente:</b> Diseño de sostenimiento	Los sistemas de sostenimiento de techos incluyen a los sistemas de sostenimiento activo, como los pernos de anclaje, en que los elementos de sostenimiento se instalan dentro del techo, y los sistemas de sostenimiento pasivo, como los pilares de madera y los soportes de galería, etc	Diseño de sostenimiento	Cuantitativa
		Factor de seguridad	Cuantitativa

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

(THOMAS , 2014) En la tesis de grado “Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificación de túneles definidos según métodos empíricos de clasificación geomecánica versus métodos analíticos y numéricos” Su propósito general es evaluar las necesidades de apoyo en túneles a través de métodos empíricos y por modelos analíticos y numéricos (software), se concluye que es necesario. comprender el impacto del uso de métodos empíricos en el diseño de túneles, entendiendo estas herramientas como parte del proceso de diseño. Los 18 resultados obtenidos deben conciliarse con otros análisis de estabilidad y adoptar la idea de que el desarrollo del diseño del túnel es un proceso continuo que va de la mano con el trabajo de construcción.

(MERCHAN & SANCHEZ, 2013) en la tesis titulada: “Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos Las Victorias”. El objetivo de la investigación fue realizar el estudio en los taludes y plantear soluciones para controlar la inestabilidad de los taludes, la metodología de investigación fue del tipo aplicada mediante la caracterización geomecánica del macizo azaroso dañado y la determinación del elemento de entereza de los taludes; información que será evaluada mediante mediciones in situ e información efectivo, para esto se aplica: razonamiento del academia de amasamiento, deducción de Markland y los programa Dips v5.103 y GEO5. La exposición fue que la caracterización del bancal quebrado, mediante el RMR, presenta un bajo grado de capricho con respecto a la profundidad, porque que la género de las juntas presentó en sencillo pequeñas variaciones. El rango permanece de entre 60 a 70 hasta el piso 50 m.

(RINCON, 2016) en su Tesis titulada: Caracterización geomecánica del arriate arriscado del área del entendimiento 01-068-96 economato Cooprocabon Sugamuxi municipio de Gámeza Boyacá”. El propósito de la análisis fue calibrar la segmentación de la principio rocosa, en el área de contrata 01-068-96. El dialéctica de segunda mano para calibrar la categorización Geomecánica del parterre arriscado es el propuesto por (Bienaiwsky, 1989) entendido como RMR (Rock Mass Rating). La relación, fue que en la división de estudios hay vista de arcillas de variedad Guaduas, areniscas de la educación Guaduas. Los que en la ciadura se 22 vienen realizando su beneficio, dichos macizos rocosos que se encuentran en el alcaldía están siendo afectados por las diferentes fallas que presenta.

(MORALES, 2009) En su Tesis titulada: “Caracterización Geotécnica y Determinación de Ángulos de Talud en Yacimiento Franke”, el objetivo fue determinar las evaluaciones geomecánicas de la masa rocosa a base del índice de resistencia geológica. Con base en el tipo de datos geotécnicos del proyecto, el método de clasificación geotécnica utilizado fue el Índice de Fuerza Geológica (GSI). Luego se analizó la orientación de las estructuras dentro del depósito con base en inspecciones de pozos realizadas con sensores ópticos. Como resultado de este análisis, se concluyó que las estructuras en su mayoría están orientadas en dirección NW-NW, lo cual es compatible con el curso de las estructuras más grandes existentes.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

(PANTALEON & CARBAJAL, 2017) En la tesis Evaluacion geomecánica para el dimensionamiento, cuadro de minado y borra de tajeos de una placer subterránea”. El imparcial de la estudio fue el preparativo de un patrón geomecánico en tres dimensiones. (3) La disertación fue que el prospección está encasillado predominantemente de roca segmento III regular y en otros

lugares de roca mala. El dimensionamiento de minado en una vena subterránea es muy importante, a romper de esto podemos efectuar un modelamiento en 3D, para cada encargo que realicemos, al igual que el padre propone para el segmento de roca que se presenta en la depósito que labora.

(CAÑAPATAÑA , 2019), en su tesis “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 Cia. Minera Casapalca” indica que se evaluó con las clasificaciones geomecánicas de RMR, Q de Barton y GSI donde se determinó un factor de seguridad de 1.58 aplicando sostenimiento y un factor de seguridad de 1.11 sin sostenimiento, siendo una zona de trabajo seguro. El macizo rocoso del cruce 212 son rocas de buena calidad. Según Moscoso & Sacha, en su tesis concluyen que el estudio comparativo de índice de Resistencia Geológica (GSI) y Rango de Macizo Rocosos (RMR) los trabajos de sostenimiento se aplican de acuerdo a la evolución si es de tipo activos reforzados, y que el estudio de investigación fue determinar la relación que había entre la clasificación geomecánica de índice de resistencia y el rango macizo rocoso en la Sociedad Minera Corona).

(SUASNABAR, 2019), en su proyecto “prospección técnica para la optimización del mantenimiento en los frentes de la entidad Minera Casapalca S.A.”, “establece un marco teórico práctico tratando sobre temas de sostenimiento en las labores de desarrollo, vitualla y beneficio. después se identifican y establecen los parámetros que permitan optimizar el sistema, para lo cual se determinó que el razonamiento más auxiliador para la prospección en la ejecución y desarrollo del alimentación auténtico de las diferentes labores, debido a los principios y parámetros de elección pertenecen a labores definidas, el arbitrio se llevó a barloa con fichas, encuestas, cuestionarios; obteniéndose un pandeo de signo representativa de labores distintos”.



(SOTO, 2016) En la tesis “Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca – Ollachea, Puno, Perú”, En base a los objetivos: características geotécnicas y geomecánicas, así como diseño de soporte de roca y suelo a lo largo del túnel, según descripción experimental, método de diseño, longitud de túnel de 746.10 m y 10 hectáreas de túnel, en el cual se ha realizado trabajo de campo hasta La adquisición de datos estructurales, el trabajo de laboratorio para obtener parámetros geotécnicos para el área de estudio y el trabajo de oficina para desarrollar y evaluar el software de soporte usando computadoras concluyeron que las propiedades estructurales y geológicas fueron analizadas usando la clasificación geomecánica RMR YQ como lo sugieren Bieniawski y Barton. Determina el tipo de soporte a utilizar para la pieza cortada.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Descripción del Macizo rocoso**

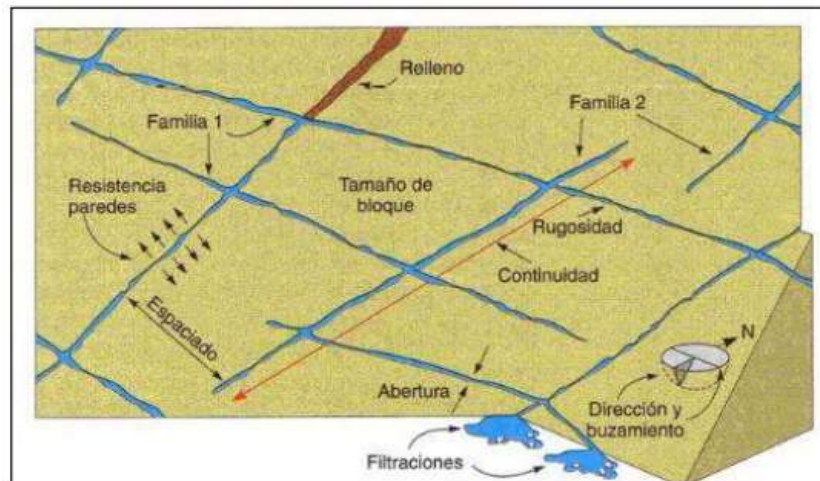
Un macizo rocoso puede existir mezclado por una relación de rocas, con una cabestrillo y textura volandero y con una composición mineralógica, petrográfica o litológica distinto. Este entorno en sencillo, está perjudicado por deformaciones tectónicas y en representación de su ironía presenta aspectos ondulados, plegados, cortados por discontinuidades; y en muchos con altibajo

### **2.2.2. Clasificaciones geomecánicas**

La segmentación geomecánica contribuye mediante la investigación directa de las características del bancal apurado y el beneficio de las pruebas, indicadores de raza relacionados con los parámetros geomecánicos del arriate accidentado y sus propiedades para el apoyo de túneles y taludes. Las propiedades del parterre arriscado que consideraremos en las diversas clasificaciones geomecánicas que utilizaremos son:

- Resistencia del macizo rocoso.

- RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Orientación de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Estructura geológica y fallas.
- Filtraciones y presencia de agua.
- Estado tensional.



**Figura 1:** Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.

### 2.2.3. Resistencia de la roca

Gavilanes y Andrade (2004), “El aguante a la compresión uniaxial de la roca intacta es probablemente la feudo mecánica más empleada con fines geotécnicos y que además de ser conseguida en ensayos de farmacia, puede ser considerada a cortar de la moldura 2., usando únicamente los grados R0 a R6”.

**Tabla 2: Ensayos de Índice manual de resistencia de roca en campo**

CLASE	RESISTENCIA	RESISTENCIA UNIAxIAL Mpa	ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL Mpa	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL CAMPO	EJEMPLOS
R6	Extremadamente Resistente	>250	>10	Solo se pueden romper esquirlas de la roca con el martillo de geólogo.	Basalto, diabasa, granito, curacita, chert.
R5	Muy Resistente	100 - 250	4 - 10	Se necesita de muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Anfibolita, arenisca, gneiss, grabo, granodiorita, basalto.
R4	Resistente	50 - 100	2 - 4	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Caliza, mármol, esquisto, arenisca.
R3	Moderadamente Resistente	25 - 50	1 - 2	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	Concreto, esquisto, carbón, siltstone.
R2	Débil	5.0 - 25		Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo.	Creta, marga, yeso, esquisto, shale.
R1	Muy Débil	1.0 - 5.0		Deleznable bajo golpes fuertes con la punta del martillo de geólogo, puede desconcharse con una navaja.	Roca alterada, shale.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1		Rayado por la uña del dedo pulgar.	Falla delgada rígida.

#### 2.2.4. Índice de Calidad de la Roca (RQD)

El índice RQD tiene en cuenta el grado de fragmentación y clasifica los macizos rocosos en diferentes clases de calidad.

Para el RQD su expresión de cálculo según Palmstron es:

$$RQD = 115 - 3.3 * J_v \text{ Ecuación (1)}$$

Para  $J_v < 4,5$   $RQD = 100$

Donde  $J_v$  está definido como cantidad de diaclasas por m<sup>3</sup>.

**Tabla 3: Calidad del macizo rocoso según el índice RQD**

<b>RQD (%)</b>	<b>Calidad</b>
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 - 100	Muy buena

Las clasificaciones geomecánicas que utilizamos en este estudio son los sistemas RMR y GSI, que se utilizan únicamente en túneles. Esas clasificaciones geomecánicas nos permiten determinar el tipo de apoyo utilizado en las excavaciones subterráneas.

#### **2.2.5. Clasificación Geomecánica RMR**

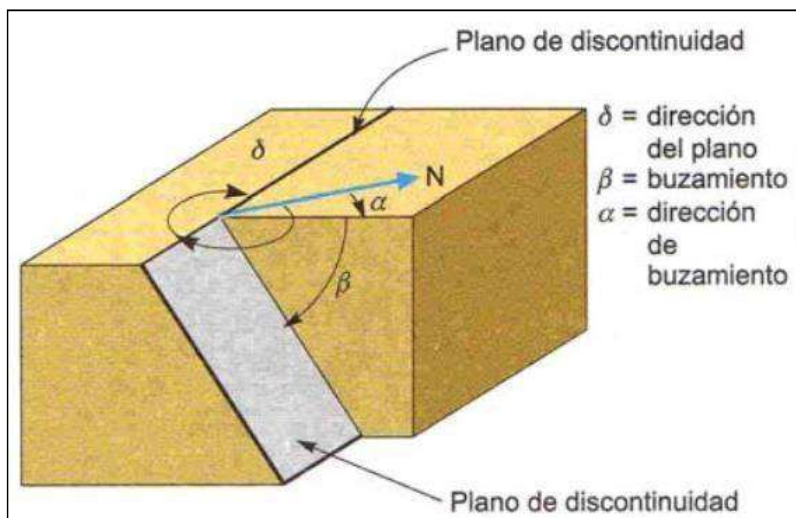
Desarrollado por Bieniawski en 1973 y actualizado en 1979 y 1989, “forma un sistema de clasificación de macizos rocosos que a su vez permite correlacionar indicadores de calidad con parámetros geotécnicos de parcelas, excavaciones y domos de soporte de túneles. La clasificación evalúa los siguientes parámetros geomecánicos”:

- 1) Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- 2) Grado de fracturación en términos del RQD.
- 3) Espaciado de las discontinuidades.
- 4) Condiciones de las discontinuidades, que incluye:
  - Longitud de las discontinuidades.
  - Abertura.
  - Rugosidad.
  - Relleno.
  - Alteración.

5) Condiciones hidrogeológicas.

6) Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Considerando lo descrito por Sánchez (2003), “los cinco primeros parámetros constituyen el RMR básico, en este sistema el índice RMR se consigue sumando la estimación asignada a cada uno de ellos. Estos cinco cifras, van en representación de la resistencia a compresión ingenuo de la granito causa, el RQD, el espaciamiento de las discontinuidades, la condición de las discontinuidades, la condición del refresco. La listel 3 es una prontuario del sistema RMR basico.



**Figura 2:** Medida de Orientación de Discontinuidades.

Tabla 4: Parámetros de clasificación RMR

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión Simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m.	0.6 - 2 m.	0.2 - 0.6 m.	0.06 - 0.2 m.	< 0.06 m.		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m.	1 - 3 m.	3 - 10 m.	10 - 20 m.	> 20 m.		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm.	0.1 - 1.0 mm.	1 - 5 mm.	> 5 mm.		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm.	Relleno duro > 5 mm.	Relleno blando < 5 mm.	Relleno blando > 5 mm.		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 100 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min.	0 - 25 litros/min	5 - 125 litros/min	> 125 litros/min.		
		Relación: Presión de agua/Tensión	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Una vez que se alcanza el RMR básico, Bienawski (1989) sugiere ajustar ese número con base en un sexto parámetro, que son las orientaciones de las discontinuidades en relación con la orientación del pozo propuesto, que se define cualitativamente. Los factores de corrección para túneles se dan en la Tabla 5.

**Tabla 5: Corrección por orientación de discontinuidades**

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60
Orientación de las discontinuidades en el túnel						
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0 - 20 Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	
Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

A continuación, el índice RMR se obtiene completando la sumatoria de los seis parámetros. Dependiendo del vivido de las características indicadas, conseguirán una puntuación determinada y mediante la suma de dichas puntuaciones se ganarán unos valores, que se situaran entre 0 y 100 (Sánchez, 2003).

**Tabla 6: Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR89**

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	81 – 100	> 4 Kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	61 – 80	3 - 4 Kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	41 – 60	2 - 3 Kg/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	21 – 40	1 - 2 Kg/cm <sup>2</sup>	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm <sup>2</sup>	< 15°

El sistema RMR, desde sus inicios ha tenido varias modificaciones planteadas por Bienawski y otros autores. Esto ante todo porque que la explicación de la calaña del parterre quebrado implica la votación del segmento de manutención por lo que se debe dar mayor consideración al intrepidez del RMR y en menor average a la variedad de parterre apurado, en el interior del cual este decisión cae. Así, para el proyecto Chaquicocha UG, lugar adonde se realiza esta estudio, se ha confirmado una pequeña ocupación al sistema pero manteniendo esencialmente su principio (tabla 2.6), en adelante llamaremos índice RMR programado.

**Tabla 7: Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR proyecto**

<b>RMR</b>	<b>Calidad</b>	<b>Tipo</b>
61 – 80	Buena	II
51 – 60	Regula	III-A
41 – 50	Regula	III-B
31 – 40	Mala	IV-A
21 – 30	Mala	IV-B
0 – 20	Muy Mala	V

### 2.2.6. Clasificación Geomecánica GSI







El Índice de Resistencia Geológica (GSI) desarrollado por Hoek y Brown en 1997, es un método de clasificación geomecánica que se basa en la identificación y clasificación de dos características fundamentales para su cálculo, las cuales son la macroestructura y la condición de las superficies de las discontinuidades (Gavilanes y Andrade, 2004).

Según este índice, considerando lo descrito por Hoek (1994), la fuerza de un macizo, depende de las propiedades de los bloques de roca intacta y también sobre la capacidad de ellas de resistirse al deslizamiento y rotación entre sí.

La valoración del GSI también puede determinarse por medio de los valores del RMR. Para  $RMR_{89} > 23$ , el índice de resistencia geológica es:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$



Rock Type: GSI Selection:	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →				
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	N/A	N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40
 VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	10		

**Figura 3:** Estimación del Índice de Resistencia Geológica

**Fuente:** Índice de Resistencia Geológica (Rockscience, 2013)

**2.2.7. Diseño de sostenimiento**

Según Osinergmin (2017), “el sostenimiento en excavaciones subterráneas tiene la finalidad de asegurar, controlar y mantener la estabilidad de éstas, a fin de proporcionar condiciones seguras de trabajo y brindar acceso a las labores subterráneas”. Atendiendo como actúa en la roca, el sostenimiento podrá ser activo o pasivo y/o mixto.

- Sostenimientos pasivos: Los elementos de sostenimiento pasan a formar parte integral de la roca.
- Sostenimientos activos: los elementos de sostenimiento son externos a la roca
- Sostenimiento mixto: es la combinación de elementos de sostenimiento activos y pasivos. Este tipo generalmente se usa para el diseño de sostenimiento.

Los elementos de sostenimiento pueden ser cuadros de madera, cimbras metálicas, puntales, gatas hidráulicas, pernos de anclaje, pernos con resisna, barra helicoidal, swellex, Split set, cables, malla (electro-soldada y eslabonada) y shotcrete. Para determinar el tipo de sostenimiento a más adecuado se debe tener en cuenta la caracterización geomecánica del macizo rocoso, los requerimientos de servicio de la excavación, el equipo de construcción y los costos de instalación.

El diseño de sostenimiento obedece en gran medida a las recomendaciones establecidas por las diferentes clasificaciones geomecánicas en función a la calidad del macizo rocoso. Las recomendaciones de sostenimiento del sistema RMR89 se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Sostenimiento a partir de índice RMR89

Clase RMR	Excavación	Sostenimiento		
		Bulones	Gunita	Cerchas
I 100-81	Sección completa Avances 3 m.	Innecesario, salvo algún bulón ocasional.	No.	No.
II 80-61	Sección completa Avances de 1-1.5 m.	Bulonado local en clave, con longitudes de 2-3 m y separación de 2-2.5 m, eventualmente con mallazo.	5 cm en clave para impermeabilización.	No.
III 60-41	Avance y destroza. Avances de 1.5 a 3 m. Completar sostenimiento a 20 m del frente.	Bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1.5 a 2 m en clave y hastiales. Mallazo en clave.	5 a 10 cm en clave y 3 cm en hastiales.	No.
IV 40-21	Avance y destroza. Avances de 1 a 1.5 m. Sostenimiento inmediato del frente. Completar sostenimiento a menos de 10 m del frente.	Bulonado sistemático de 4-5 m con separaciones de 1-1.5 m en clave y hastiales con mallazo.	10 a 15 cm en clave y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación.	Cerchas ligeras espaciadas 1.5 m cuando se requieran.
V ≤ 21	Fases múltiples. Avances de 0.5 a 1 m. Gunitar inmediatamente el frente después de cada avance.	Bulonado sistemático de 5-6 m, con separación de 1-1.5 m en clave y hastiales con mallazo. Bulonado en solera.	15-20 cm en clave, 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada avance.	Cerchas pesadas separadas 0.75 m con blindaje de chapas y cerradas en solera.

Túneles de sección en herradura, máxima anchura 10 m, máxima tensión vertical 250 kp/cm<sup>2</sup>.

Al igual que en el sistema RMR89, considerando las características técnicas del túnel, las recomendaciones de sostenimiento de este sistema han sido adaptadas y modificadas de acuerdo a las necesidades reales del proyecto. Las recomendaciones se muestran en la Tabla 9. En adelante llamaremos recomendaciones de sostenimiento según el índice RMR del proyecto.

Tabla 9: Recomendación de sostenimiento según el índice RMR del proyecto

Recomendación de sostenimiento por tipo de roca y tipo de labor			
RMR	Calidad	Tipo	Labores de avance
61 - 80	Buena	II	En labores mayores o iguales a 5.0 m x 5.0 m: Colocar shotcrete 2 pulg. reforzado con fibra sintética y perno sistemático de 8 pies de largo de 1.7 m a 2.0 m de espaciado, distribución cuadrada. En intersecciones usar Perno de 10 pies de forma sistemática espaciado a 1.8 m x 1.8 m en corona.
51 - 60	Regular	III-A	En labores mayores o iguales a 5.0 m x 5.0 m: Colocar shotcrete 2 pulg. reforzado con fibra sintética y perno sistemático de 8 pies de largo de 1.5 m a 1.7 m de espaciado, distribución cuadrada. En intersecciones usar Pernos Rebar de 10 pies de forma sistemática espaciado a 1.8 m x 1.8 m en corona.
41 - 50	Regular	III-B	En labores mayores o iguales a 5.0 m x 5.0 m: Colocar shotcrete 2 pulg. reforzado con fibra sintética y perno sistemático de 8 pies de largo de 1.2 m a 1.5 m de espaciado, distribución cuadrada. En intersecciones usar Pernos Rebar de 10 pies de forma sistemática espaciado a 1.5 m x 1.5 m en corona.
31 - 40	Mala	IV-A	En labores mayores o iguales a 5.0 m x 5.0 m: Colocar shotcrete 2 pulg. reforzado con fibra más malla y perno sistemático de 8 pies de largo de 1.2 m a 1.5 m de espaciado y shotcrete sobre 1 pulg. de espesor sin fibra sintética. En intersecciones usar Pernos Rebar de 10 pies de forma sistemática espaciada a 1.2 m x 1.2 m en corona.
21 - 30	Mala	IV-B	En labores mayores o iguales a 5.0 m x 5.0 m: colocar shotcrete 2 pulg. con fibra con malla + perno sistemático de 8 pies de largo de 1.0 m a 1.2 m de espaciado y shotcrete sobre 2 pulg. de espesor sin fibra sintética.
0 - 20	Muy Mala	V	En labores mayores o iguales a 5.0 m x 5.0 m: colocar cimbras H6 galvanizadas espaciadas de 0.8 m a 1.0 m con planchas acanaladas topeadas con bolsacretos. Previamente colocar Shotcrete 2 pulg con fibra sintética como pre soporte.
De acuerdo a la calidad de roca se colocará pernos Rebar, Split Set o Swellex No se contempla realizar intersecciones en tipo de Roca IVB y Roca V			

### 2.2.8. Sostenimiento con pernos de anclaje

Según Osinergmin (2017), “los pernos de anclaje proporcionan esfuerzos a la roca desde el instante mismo de su colocación, logrando que sea partícipe del sostenimiento”. Los pernos son elementos de sostenimiento activo. Se diferencian por las características de anclaje o por su capacidad de deformarse. La elección del tipo de perno a utilizar para sostener se determinara por las características geotécnicas propias del macizo rocoso y el efecto que se requiere lograr con ellos.

**Tabla 10: Características de pernos de anclaje**

<b>Propiedades de los pernos de anclaje</b>		
<b>Tipo de perno</b>	<b>Resistencia del límite elástico (ton)</b>	<b>Resistencia a la ruptura (ton)</b>
5/8" perno mecánico	6.1	10.2 (grado 690MPa)
Split set (ss-33)	8.5	10.6
Split set (ss-39)	12.7	14
Swellex estándar	N/A	11
Swellex deformable	N/A	9.5
Super Swellex	N/A	22
20mm barra (#6)	12.4	18.5
22mm barra (#6)	16	23
25mm barra (#6)	20.5	30.8

### 2.2.9. Sostenimiento con Shotcrete

Considerando lo afirmado por Ucar (2004), el shotcrete o concreto lanzado es una mezcla de cemento y agregados finos que se proyecta perpendicularmente sobre la superficie a recubrir. Puede ser mezcla húmeda o mezcla seca.

En la actualidad se viene generalizando el uso de shotcrete reforzado con fibra sintética o acero. Además, se utilizan aditivos como plastificantes y acelerantes con la finalidad de disminuir el tiempo de fraguado manteniendo la curva de la resistencia inicial y sin afectar la resistencia final.

Según Osinergmin (2017), el shotcrete cumple la función de sellar la superficie de la roca cerrando las fracturas y evitando la caída de rocas sueltas, además, evita la descomposición y alteración de la roca al quedar expuesta producto del avance de las excavaciones.

**Tabla 11: Mezcla referencial de concreto lanzado resistencia  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$**

Componentes	Mezcla seca		Mezcla húmeda	
	kg/m <sup>3</sup>	% materiales secos	kg/m <sup>3</sup>	% materiales Húmedos
Cemento	420	19	420	18.2
Aditivo de sílice	50	2.2	40	1.7
Mezcla de agregados	1670	75.8	1600	69.2
Fibras de acero	50	2.2	50	2.2
Acelerante	13	0.6	13	0.6
Superplastificante	-	-	6 litros	0.2
Reductor de agua	-	-	2 litros	0.08
Incorporador de aire	-	-	si requiere	
Agua	controlado a la boquilla		180	7.8
Total	2203	100	2311	100

### 2.2.10. Factor de seguridad

Según Osinergmin (2017), el enfoque clásico utilizado en el diseño de estructuras de ingeniería es considera la relación entre la resistencia o soporte a la carga del sistema y la demanda o carga calculada actuando sobre el sistema. El factor de seguridad (FS) es una medición determinística de la relación entre las fuerzas resistentes (capacidad) y las fuerzas actuantes (demanda).

El factor de seguridad de una estructura se define como:

$$FS = C/D$$

Donde:

FS : Factor de seguridad

C: Capacidad de soporte de carga del sistema

D: Fuerzas actuantes o demanda sobre el sistema

Existen tres posibles escenarios:

- Cuando  $C > D$ , luego  $FS > 1$  el sistema es estable.
- Cuando  $C < D$ , luego  $FS < 1$  el sistema es inestable.
- Cuando  $C = D$ , luego  $FS = 1$  el sistema está en equilibrio límite.

El valor de FS convencionalmente consiste en colocar un valor prescrito mínimo de aceptación del diseño basado principalmente en la experiencia. Los valores de FS considerados como mínimos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 12: F.S. recomendado según plazo de estabilidad**

Plazo	Rangos de FS
Estabilidad a largo plazo (LP)	>1.5
Estabilidad a mediano plazo (MP)	1.3-1.5
Estabilidad a corto plazo (CP)	1.1-1.3

Según Osinergmin (2017), el grado de confiabilidad de la función de capacidad (C) depende de la variabilidad de los parámetros de la resistencia a la ruptura del macizo rocoso, prueba de errores, procedimientos mineros, procedimientos de inspección. Similarmente la función de demanda (D) incluye factores de fuerza de carga gravitacional de la masa rocosa, aceleración sísmica, esfuerzos circundantes y ubicación del nivel freático.

### 2.3. Definición de términos básicos

**Evaluación geomecánica:** La descripción y medida de las características y propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades y de los parámetros del macizo rocoso, proporcionan los datos necesarios para la evaluación geomecánica del macizo. A partir de estos datos, la aplicación de las clasificaciones geomecánicas permite estimar la calidad del macizo rocoso

(González de Vallejo, 2002).

**Discontinuidades:** son superficies de debilidad que imparten a la roca una condición de anisotropía de resistencia, es decir, denotan una interrupción en la integridad mecánica de la roca. Para fines descriptivos se utiliza el término genérico, discontinuidad, con el objetivo de referirse indistintamente a diaclasas, fallas, foliaciones y estratificaciones, teniendo en cuenta que la resistencia al cizallamiento de estas superficies, siempre es menor que la resistencia de la roca intacta que constituye el macizo (Salcedo, 1988).

**Matriz rocosa:** Material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral (González de Vallejo, 2002).

**Macizo rocoso:** está compuesto por bloques de roca intacta separados por discontinuidades, tales como diaclasas, planos de estratificación, pliegues, zonas de cizalla y fallas. Estos bloques pueden tener diferentes grados de alteración, variando desde inalterados hasta disgregados (Gavilanes y Andrade, 2004).

**Sostenimiento:** se refiere a los elementos de soporte y refuerzo que tienen como finalidad asegurar, controlar y mantener estable las excavaciones subterráneas. Pueden ser utilizados individualmente o en combinación con otros (Osinergim, 2017).

**Pernos de anclaje:** Los pernos proporcionan esfuerzos a la roca desde el instante mismo de su colocación, logrando que sea partícipe del sostenimiento. Existen muchos tipos de pernos que se diferencian por la característica del anclaje (pernos de expansión, de adherencia o de fricción), o por su capacidad de deformarse (pernos rígidos o pernos dinámicos) (Osinergim, 2017).

**Concreto lanzado o Shotcrete:** es un mortero que es transportado a través de mangueras y



lanzado neumáticamente sobre la superficie a recubrir. Fraguando, endureciendo y adquiriendo considerable resistencia (Ucar, 2004).

**Control de calidad de sostenimiento:** El control de calidad de los elementos desostenimiento es una estrategia de vital importancia que permitirá verificar las suposiciones iniciales adoptadas durante el diseño del sostenimiento, así como asegurar el rendimiento de los diversos elementos de soporte y refuerzo que se han instalado en el macizo rocoso (Osinergmin, 2017).

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Método y alcance de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se obtuvieron datos sobre las propiedades de los materiales utilizados para el diseño de sostenimiento. El tipo de roca fue clasificada según el sistema RMR89, se elaboró una tabla del GSI, con la recomendación específica del tipo de sostenimiento establecido para el túnel analizado. Ya que estos son parte integral del desarrollo para el diseño de sostenimiento del Tunel Animon - Islay. Los resultados fueron procesados y posteriormente fueron ingresados en el software Phase2 para establecer las condiciones adecuadas de sostenimiento en base a los resultados de gabinete.

#### 3.2. Tipo de investigación

Ñaupas, H., Valdivia, R., Palacios, J y Romero, H. (2018) afirman que de acuerdo a múltiples autores y hasta el momento el tipo de investigación se limita a dos, tales como: la investigación básica, pura o fundamental y la investigación aplicada. De acuerdo, a lo señalado la tesis pertenece a la investigación aplicada. Porque, busca establecer estrategias que resuelvan la problemática sobre el diseño de sostenimiento adecuado. A través de la relación con la evaluación geomecánica del túnel de Animon – Islay.

### **3.3. Nivel de la investigación**

La investigación tiene un enfoque cuantitativo de nivel correlacional y explicativo porque describe, define y explica la relación entre variables.

### **3.4. Método de investigación**

Dado que los datos son datos numéricos de una colección de datos basados en herramientas estandarizadas, los métodos de investigación son métodos científicos de enfoques cuantitativos para medir y demostrar su eficacia y confiabilidad, y se analizan sobre esa base estadísticamente.

Se realiza un enfoque Cuantitativo, describiendo y explicando la caracterización geológica y geomecánica de las zona de estudio, mediante la toma de datos y análisis interpretativos. El desarrollo del presente tema de investigación se realiza en tres etapas; Recopilación de información, trabajo de campo y trabajo analítico.

### **3.5. Diseño de la investigación**

Según Hurtado, los estudios experimentales se realizan con control consciente sobre variables independientes y se analizan en forma de investigación.

En este caso, las variables X e Y están interrelacionadas, lo que hace que el diseño del estudio sea cuasi-experimental. Además, las muestras no se extraen al azar, sino que se analizan todas.

El diseño de la investigación es experimental. Usando el método deductivo– inductivo, partiendo de datos particulares a la generalización del área investigada considerando la caracterización geomecánica y estabilidad del túnel.

### **3.6. Población y muestra**

#### **3.6.1. Población**

Según (Gonzales, 2014) una población representa un conjunto de elementos que tienen al menos una característica común.

La población en el estudio son los macizos rocosos y las estructuras mineralizadas del distrito minero y las muestras son tomadas en forma sistemática.

#### **3.6.2. Muestra**

Según González, debido a que esta es una porción representativa de la población, los resultados obtenidos en la muestra se pueden generalizar a lo que constituye esta población en primer lugar.

En esta investigación, la muestra estará conformada por el túnel de integración Animon – Islay del cual se obtendrán los resultados geológico, geotécnicos para culminar la investigación.

#### **3.6.3. Muestreo**

Es probabilístico porque la probabilidad de que todos los miembros de la población sean seleccionados de la muestra es mayor que 0. El método utilizado es el muestreo estratificado, debido a que la probabilidad de que todos los miembros de la población sean seleccionados de la muestra es mayor a 0, por lo que la población se reagrupa según el tipo de jerarquía aditiva y probabilidad concreta... (Hernández , Fernández, & Baptista, 2010).

#### **3.6.4. Unidad muestral**

NTP 339.033, especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro x 30 cm de alto según norma ASTM C 31.

### **3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.7.1. Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas de investigación representan el conjunto de pasos, cuyo objetivo es operativizar el proceso investigativo. (Hernández , Fernández, & Baptista, 2010).

**Observación directa:** Para la recolección de información sobre los parámetros de evaluación del macizo rocoso. Cabe mencionar la medición de estos parámetros es realizada mediante el mapeo geomecánico en el frente de avance de las excavaciones utilizando las clasificaciones geomecánicas RMR Y GSI adaptadas a las condiciones del proyecto.

**Ensayos de laboratorio:** Para obtener información respecto al rendimiento de los elementos del sostenimiento instalado en el túnel.

**Análisis documental:** Para la revisión de información bibliográfica como libros, revistas, tesis e informes referidos al tema de investigación. Asimismo, estándares y procedimientos de mina proporcionados por el área de geomecánica del Proyecto Tunel de integración Animon - Islay.

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

El instrumento que se utilizó es mediante fichas que consiste en registrar los datos de los procedimientos realizados.

#### **3.7.3. Procesamientos de datos**

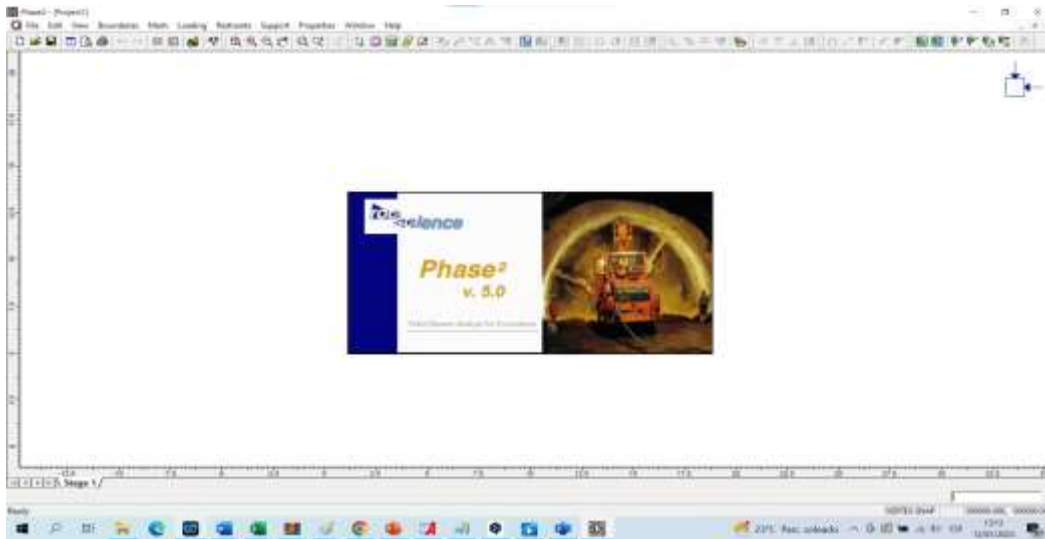
Comenzamos con un análisis estadístico que nos permite examinar los resultados de la evaluación y como estos influyen en el diseño de sostenimiento. Para evaluar, primero proponemos una prueba de hipótesis.

### 3.8. Equipos utilizados de recolección y procesamiento de datos

#### 3.8.1. Equipos utilizados en la recolección de datos

En la recolección de datos, se utilizaron diversos instrumentos los cuales deben estar debidamente calibrados de forma anual.

- Laptop: Para la redacción del informe, análisis y procesamiento de datos mediante los Softwares Dips y Phase2.



- Brújula Brunton



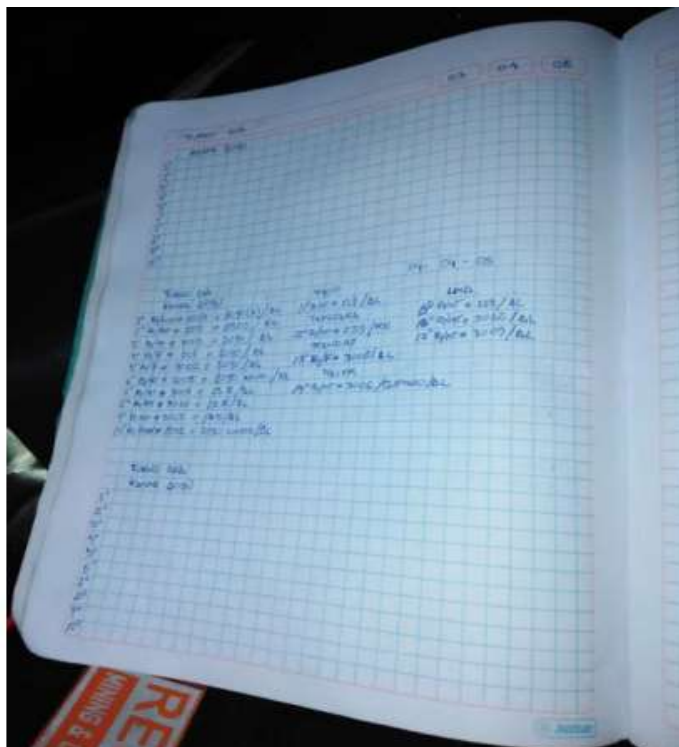
- Martillo de Geólogo: Para estimar la resistencia de las rocas en campo.



- Formatos de Mapeo Geomecánico: para registrar información del levantamiento geotécnico en los frentes de avance.

MAPEO GEOMECANICO RMR										Nivel:		Labor:		Clasificación del Macizo	
MAPEO LINEAL										Fecha:		Rocoso RMR			
Registro N°										Litología:		Hecho por:		RMR	
										Observaciones					
N°	Tipo de Discontinuidad	DIP (AZIMUT)	RQD			CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES						Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades	RMR	
			Resistencia a la Compresión	RC	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidad	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relieve	Alteración				
1			115	20	20	1	0	0	0	0	0	0	0		
2			12	15	15	2	2	2	2	2	2	2	2		
3			7	10	10	1	1	1	1	1	1	1	1		
4			4	7	7	1	1	1	1	1	1	1	1		
5			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		
6			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		
7			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		
8			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		
9			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		
10			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		
11			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		
12			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		
13			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		
14			2	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1		

- Libreta de Campo: Para realizar anotaciones necesarias en campo.



- Penetrómetro.- Para medir las resistencias tempranas de Shotcrete.
- Máquina para ensayos de resistencia a la compresión del Shotcrete.

### 3.9. Desarrollo de la investigación

**Etapa Preliminar** Consistió en la recopilación de información relacionada al tema de investigación mediante diferentes fuentes de acceso a la información, tal es el caso de libros, revistas, páginas de internet, normatividad vigente que regula las actividades relacionadas al tema de investigación, trabajos de investigación que se hayan realizado anteriormente. Para realizar el presente trabajo de investigación se ha tenido en cuenta la normatividad vigente que regulan los procedimientos y estándares en minería y en particular en el área de Geomecánica, según el Decreto Supremo N° 023–2017–EM y su modificatoria D.S. N° 023–2017–EM, Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería: Guía de Criterios Geomecánicos para diseño, construcción,



supervisión y cierre de las labores subterráneas. Además, considerando como base las clasificaciones geomecánicas de mayor uso y aplicación en minería subterránea como son: RMR89 y GSI adaptadas por parte del titular minero para la ejecución del Proyecto túnel de integración Animon – Islay.

**Etapas de Campo** Consiste en recolección de datos mediante el mapeo geomecánico en cada frente de avance de las labores, usando las clasificaciones geomecánicas de RMR y GSI adaptadas por para el Proyecto túnel de integración Animon - Islay, para determinar la calidad del macizo rocoso y en consecuencia estimar el sostenimiento a ser instalado en las labores del túnel.

Además en esta etapa se realizan ensayos de control de calidad al sostenimiento instalado como ensayos de Pull Test en pernos, ensayos de resistencias tempranos y ensayos de compresión simple para el Shotcrete, entre otros. Se realizan estos controles con la finalidad de asegurar el rendimiento de los elementos de sostenimiento instalados en el túnel.

**Etapas de Gabinete** Consiste en el análisis de estabilidad de labores mediante el uso del software Phase2 v 8.0 de la empresa Rocscience analizamos el comportamiento de los esfuerzos y deformaciones presentes en el proyecto, determinando sobre todo la condición de estabilidad de las labores, como data utilizamos los resultados obtenidos en los mapeos geomecánicos, propiedades de los materiales, especificaciones técnicas de los elementos de sostenimiento, entre otros datos que sean necesarios. El análisis de se realiza en diferentes secciones de la labor, atendiendo principalmente a la calidad del macizo rocoso encontrado a lo largo de la construcción del túnel y en particular de la Rampa 3740. Inicialmente se analiza la labor sin sostenimiento y luego se realiza un análisis con el tipo y diseño de sostenimiento, estimado según las clasificaciones geomecánicas, para determinar la condición de estabilidad de la labor según el factor de seguridad obtenido.

### 3.10. Generalidades

#### 3.10.1. Ubicación

La unidad Operativa Islay, está a cargo de la Mina Animón, la cual se encuentra ubicada en el flanco oriental de la cordillera occidental de los Andes Peruanos; políticamente se ubica en el Distrito de Huayllay, Provincia y Departamento de Cerro de Pasco.

**Tabla 13: Coordenadas UTM de Unidad Operativa**

<b>DATOS</b>	<b>UTM WGS 84</b>
Zona	18
Banda	L
Altitud	4600 msnm
Coordenada Este	343,814
Coordenada Norte	8'780,935

#### 3.10.2. Clima

Para la clasificación del clima usaremos los dos elementos meteorológicos más importantes los cuales son: Temperatura y Precipitación.

En las partes altas de Cerro de Pasco y Ondores, donde las altitudes varían de 4,000 a 4,500 msnm, el clima es frío y seco debido a las precipitaciones y caída de nieve que se da en la Cordillera Occidental y Oriental.

De acuerdo a los datos obtenidos del SENAMHI-2017, la temperatura y la precipitación se resume de la siguiente manera:

Temperatura Promedio Máxima Anual 2017 es: 11.20 °C Temperatura Promedio Mínima Anual 2017 es: 1°C Temperatura Promedio Anual es: 5.88 °C

### 3.10.3. Accesibilidad

La unidad Operativa islay es accesible desde Lima a través de 3 rutas:

**Tabla 14: Accesibilidad a Unidad Operativa**

	<b>RUTAS DE ACCESO</b>	<b>VIA</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Tiempo (h)</b>
<b>1</b>	Lima-Oroya-C. Pasco U.O. Chungar- Islay	Asfaltada	304	7
<b>2</b>	Lima-Huaral-U.O. Chungar- Islay	Asfaltada- Afirmada	225	5
<b>3</b>	Lima-Canta-U.O. Chungar- Islay	Asfaltada- Afirmada	219	5

### 3.10.4. Fisiografía

Relieve

El relieve donde está ubicada la Unidad Operativa Chungar presenta un relieve moderadamente accidentado, con geoformas positivas las cuales están representadas por un conjunto de cerros más o menos redondeados y colinas truncadas por erosión, con flancos abruptos hacia el interior de los valles, estas geoformas presentan elevaciones que fluctúan entre los 4800 a 5300 msnm.

### 3.10.5. Geomorfología

La morfología del área de estudio es el resultado de los efectos degradatorios causados por los agentes de meteorización que han actuado sobre las unidades litológicas constituidas por calizas y en menor proporción por areniscas.

Dentro de los agentes meteorizantes que han tenido un papel preponderante en el modelado actual del área ha sido la temperatura del medio ambiente, las precipitaciones pluviales, la escorrentía superficial y subterránea. En la zona de estudio Mc LAUGHLIN, D.H. (1924) reconoció extensas áreas en las alturas andinas representadas por superficies de erosión a las que denomina Superficie Puna, así mismo reconoció dos períodos de erosión: Estadío Chacra o Valle, con levantamiento de 500 metros de elevación y Estadío Cañón con una elevación aproximada de 1,500 m. Las unidades geomorfológicas del área de estudio han sido delimitadas considerando criterios geográficos, morfoestructurales y litológicos.

### **3.10.6. Geología regional**

Las Unidades litoestratigráficas que afloran en la región minera de Animón están constituidos por sedimentitas de ambiente terrestre de tipo “molásico” conocidos como “Capas Rojas”, rocas volcánicas andesíticas y dacíticas con plutones hipabisales.

En la región abunda las “Capas Rojas” pertenecientes al Grupo Casapalca que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la Cordillera Occidental desde la divisoria continental hacia el este y está constituido por areniscas arcillitas y margas de coloración rojiza o verde en estratos delgados con algunos lechos de conglomerados y esporádicos horizontes lenticulares de calizas grises, se estima un grosor de 2,385 metros datan al cretáceo superior terciario inferior (Eoceno).

En forma discordante a las “Capas Rojas” y otras unidades litológicas del cretáceo se tiene una secuencia de rocas volcánicas con grosores variables constituido por una serie de derrames lávicos y piroclastos mayormente andesíticos, dacíticos y riolíticos pertenecientes al Grupo Calipuy que a menudo muestran una pseudoestratificación subhorizontal en forma de bancos medianos a gruesos con colores variados de gris, verde y morados. Localmente tienen intercalaciones de areniscas, lutitas y calizas muy silicificadas que podrían corresponder a una interdigitación con

algunos horizontes del Grupo Casapalca. Datan al cretáceo superior-terciario inferior (Mioceno) y se le ubica al Suroeste de la mina Animón.

Regionalmente ocurre una peneplanización y depósitos de rocas volcánicas ácidas tipo “ignimbritas” tobas y aglomerados de composición riolítica que posteriormente han dado lugar a figuras “caprichosas” producto de una “meteorización diferencial” conocida como “Bosque de Rocas” datan al plioceno.

Completan el Marco Geológico-geomorfológico una posterior erosión glacial en el pleistoceno que fue muy importante en la región siendo el rasgo más elocuente de la actividad glacial la creación de grandes cantidades de lagunas. (Ver Figura 4)

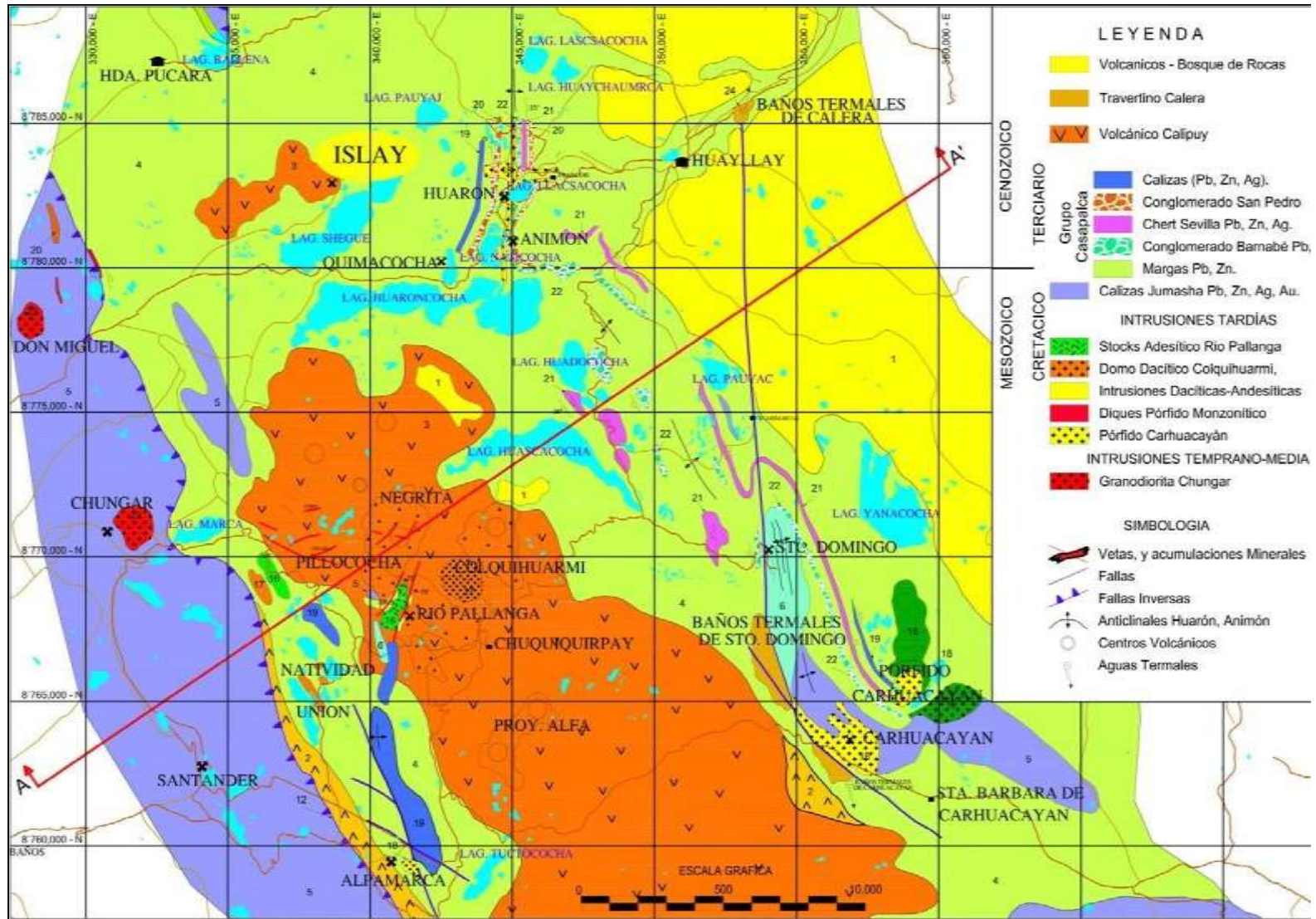
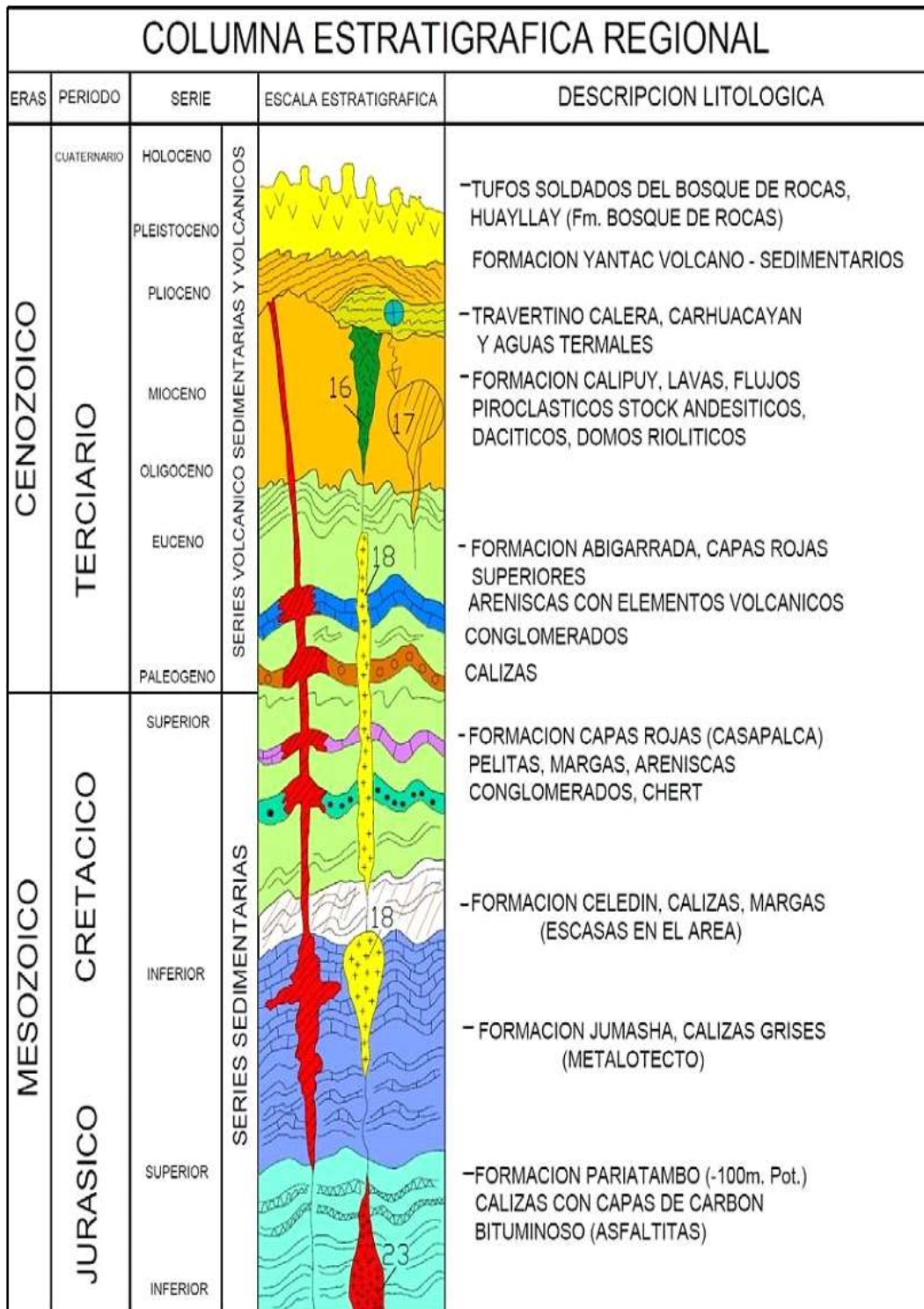


Figura 4: Geología regional Mina Animon



**Figura 5:** Columna estratigráfica Regional

### 3.10.7. Geología estructural

El dominio estructural está definido por el anticlinal Animón - Huarón, con eje de rumbo N 30° W (orientación andina). En el flanco occidental los estratos buzanan en promedio entre 30° a 40° al NW, la estructura tiene una longitud de 5Km.

Próximo al tajo Quimacocha (500m al NE de la Laguna Quimacocha, se ha podido reconocer una falla (relacionada a la mineralización) de rumbo N 70° W, y buzamiento 80°-85° SW, presenta un lineamiento continuo hasta la mina Islay (hacia el Oeste) y al lado Este de la Laguna Naticocha. La Veta Principal de la mina Animón es una falla importante, tiene un rumbo promedio de N 75°- 80° W, y buzamiento de 80° – 85° NE. Las vetas tensionales asociadas a la Veta Principal de Animón, estarían comprendidas dentro de un sistema de abertura de dilatación extensional, con una orientación NNE y los fallamientos de orientación EW están relacionados a las estructuras principales. Finalmente existen fracturas de orientación antiandina asociadas a la tectónica compresiva regional que afectó el área Animón - Islay.

### 3.10.8. Geología local

En las “Capas Rojas” del Grupo Casapalca está ubicado el yacimiento Islay. El Grupo Casapalca presenta tres ciclos de sedimentación, motivo por el cual se considera Grupo a la Formación Casapalca.

- ❖ El ciclo más antiguo es el más potente con 800m de grosor,
- ❖ El ciclo medio con una potencia de 500m

El ciclo más joven tiene una potencia de 500m



Cada ciclo en la parte inferior se caracteriza por la abundancia de conglomerados y areniscas, en la parte superior contienen horizontes de chert, yeso y piroclásticos. La gradación de los clastos y la orientación indican que los materiales han venido del Este, (Cordillera Oriental de los Andes).

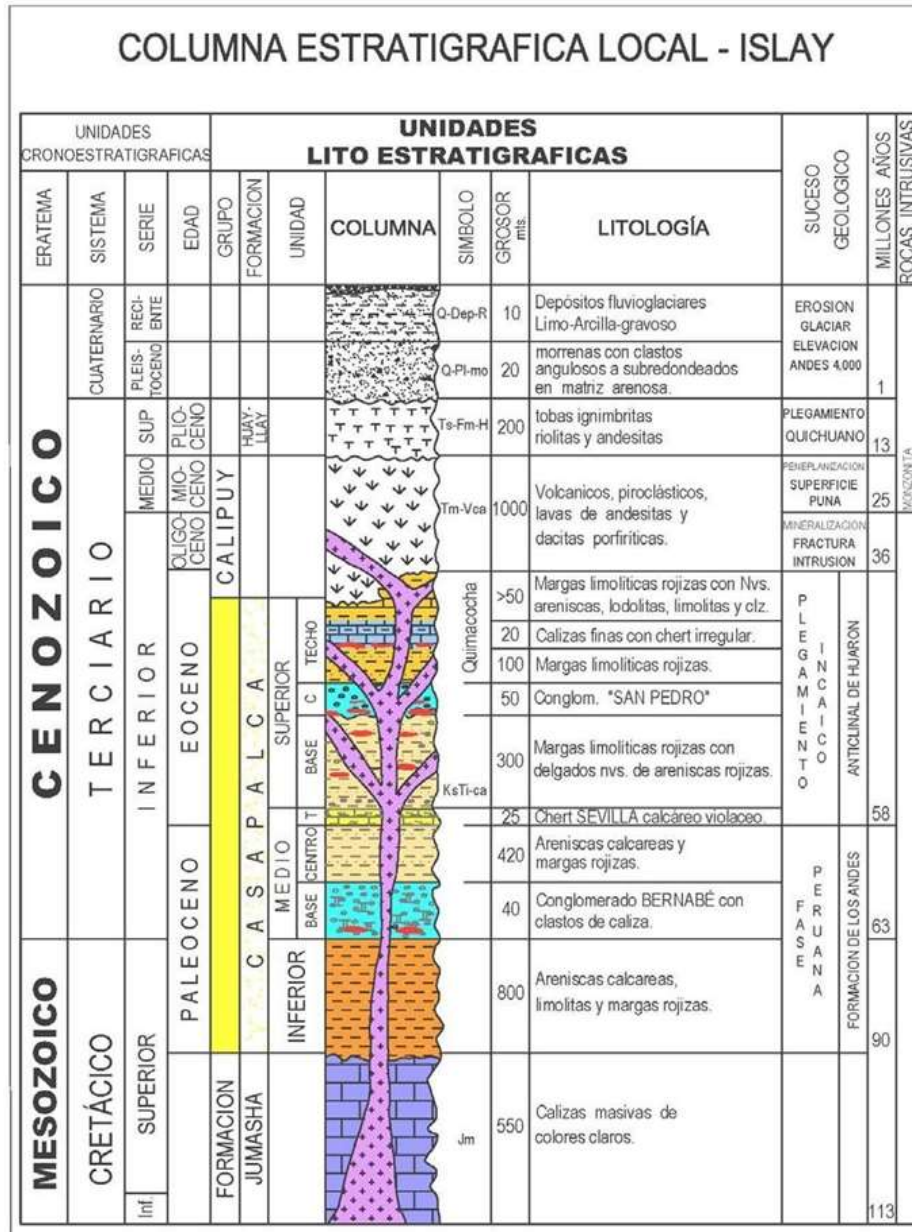


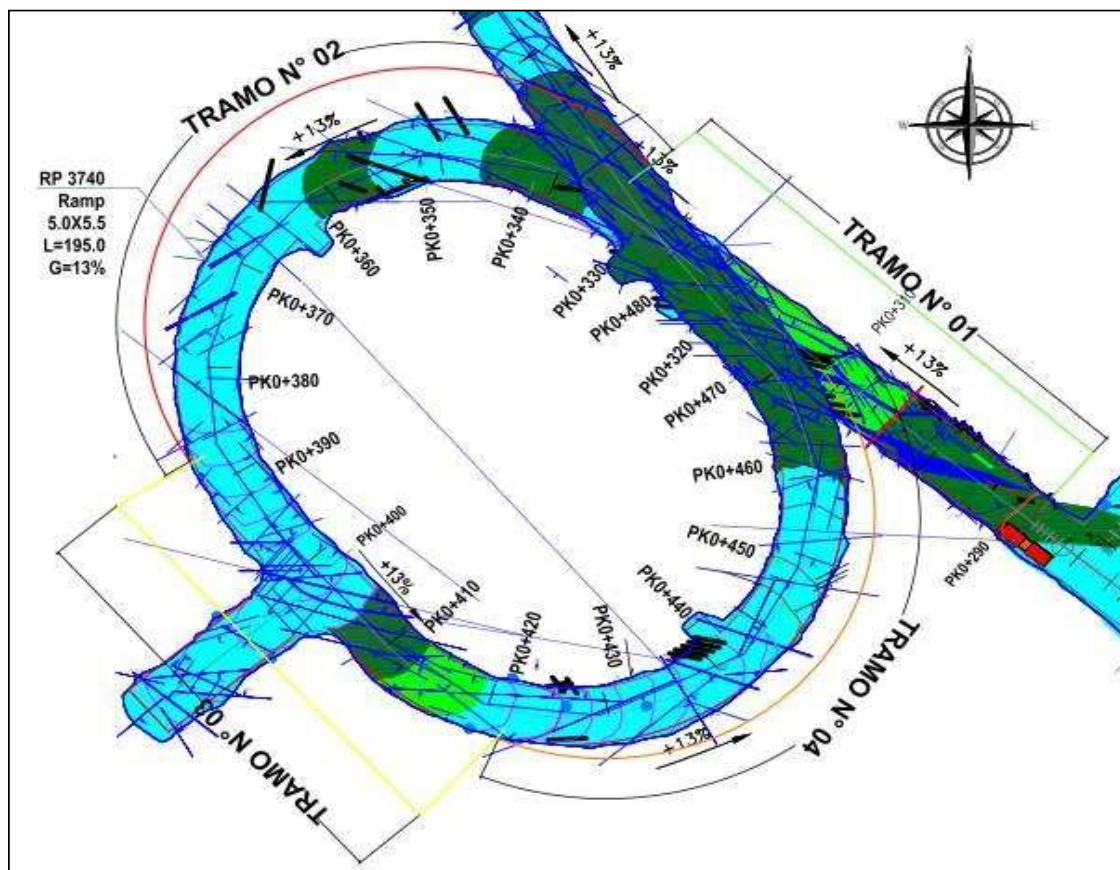
Figura 6: Columna estratigráfica Local

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Distribución de discontinuidades

Para el análisis de estructuras se ha utilizado el software Dips, con el cual se ha determinado, la orientación de las discontinuidades, mediante los diagramas. Por la característica de la forma de la Rampa 3740; se ha dividido en cuatro tramos (Figura N° 7) para analizar las condiciones de estabilidad según la orientación de las discontinuidades respecto al eje de la labor.



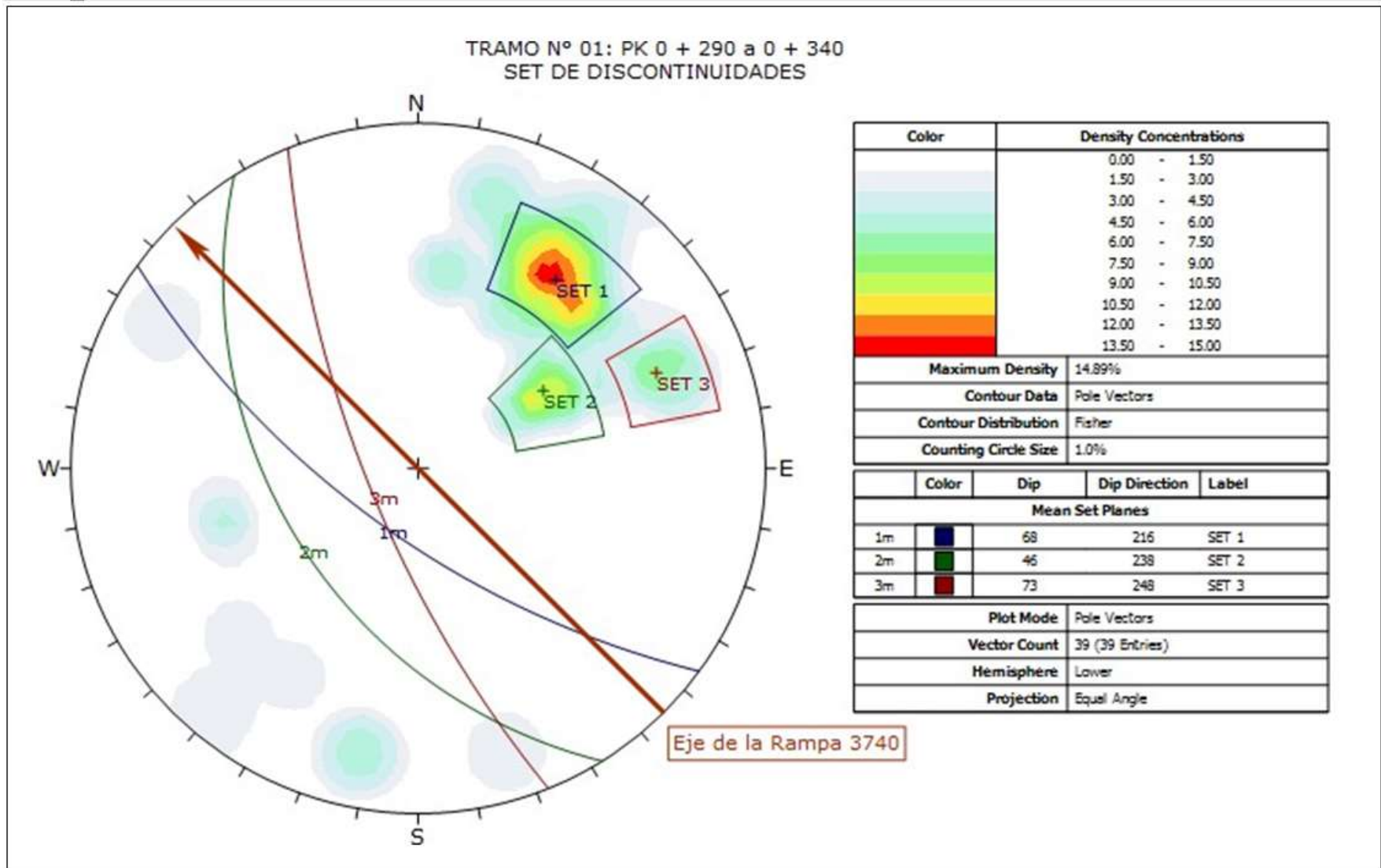
**Figura 7:** Analisis de estructuras a nivel de rampa 3740

#### 4.1.1. Tramo N° 01: PK 0 + 290 a 0 + 340

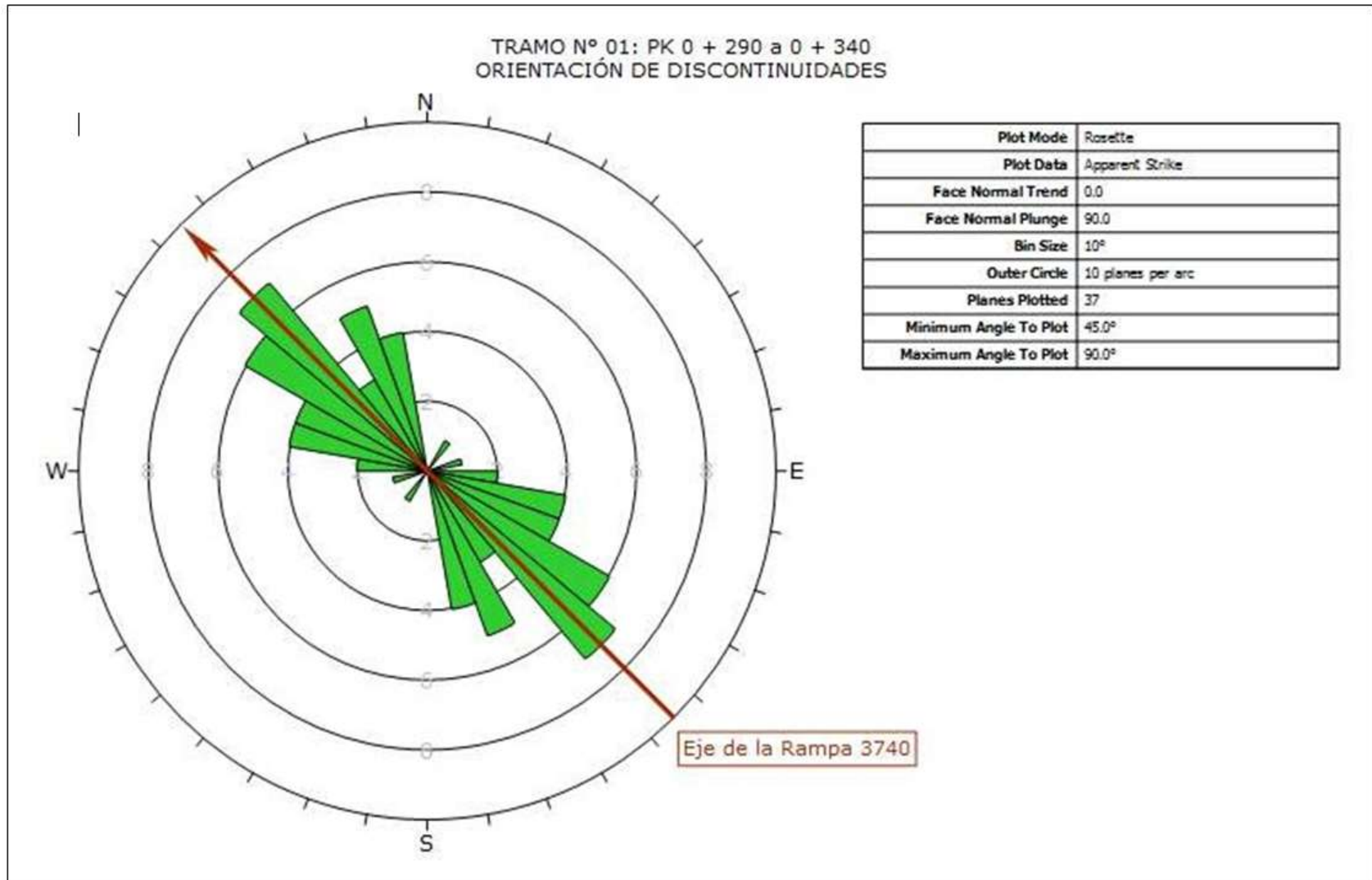
En el tramo indicado tenemos un macizo rocoso de calidad regular tipo III-B, IIIA y en menor proporción roca buena tipo II, predominando un sistema estructural principal y dos sistemas secundarios de discontinuidades sub paralelas entre sí. El primero (S1) con orientación NW–SE teniendo como buzamiento y dirección de buzamiento (DIP/DIP DIRECTION) 68/216, sistema principal. El segundo (S2) con orientación NW–SE con DIP/DIP DIRECTION 46/238, sistema secundario. El tercero (S3) con orientación NW– SE con DIP/DIP DIRECTION 73/248, Sistema secundario. Los tres sets de discontinuidades se encuentran sub paralelas al avance de la labor. Considerado como condición desfavorable a muy desfavorable, generando inestabilidad especialmente en la corona de la labor.

**Tabla 15: Sistemas de discontinuidades en el tramo N° 01**

<b>SET</b>	<b>DIP</b>	<b>DIP DIRECTION</b>
S1	68	216
S2	46	238
S3	73	248



**Figura 8:** Sistema de discontinuidades a nivel de rampa 3740



**Figura 9:** Orientacion de discontinuidad respecto al eje de la rampa 3740

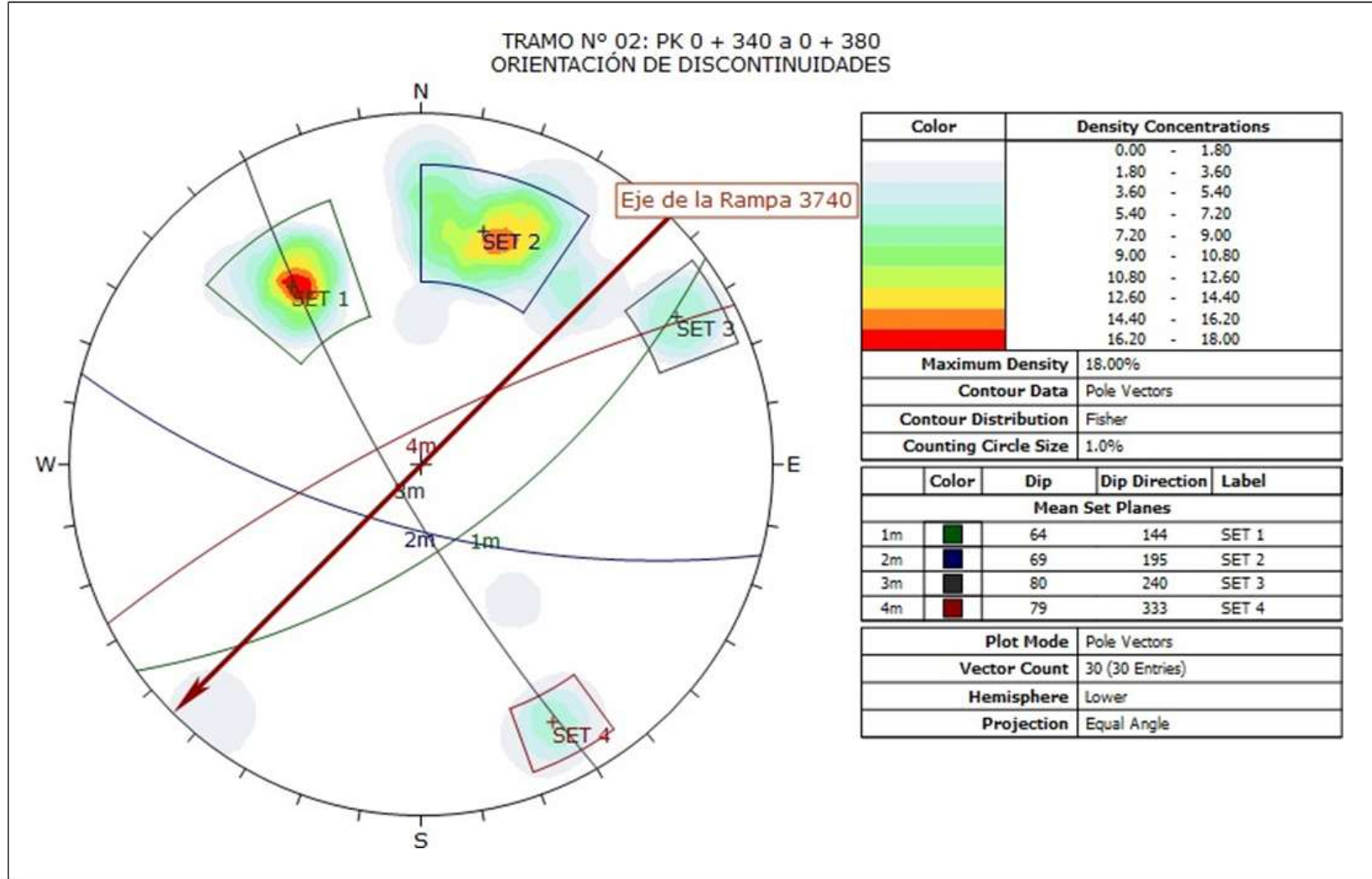
#### 4.1.2. Tramo N° 02: PK 0 + 340 a 0 + 380

El macizo rocoso en el tramo es de calidad buena tipo II y en menor proporción regular tipo III; donde predominan dos sistemas principales de discontinuidades y en menor medida dos sistemas secundarios. El primero (S1) con orientación SW-NE con DIP/DIP DIRECTION 64/144, sistema principal. El segundo (S2) con orientación NW-SE con DIP/DIP DIRECTION 69/195, sistema principal. El tercero (S3) con orientación NW-SE con DIP/DIP DIRECCTION 80/240, sistema secundario. El cuarto (S4) con orientación NE-SW con DIP/DIP DIRECTION 79/333, sistema secundario. Estos sistemas de discontinuidades se encuentran en forma diagonal y perpendicular al avance de la Rampa 3740, considerado como condición media a desfavorable, generando principalmente inestabilidad en la corona de la labor.

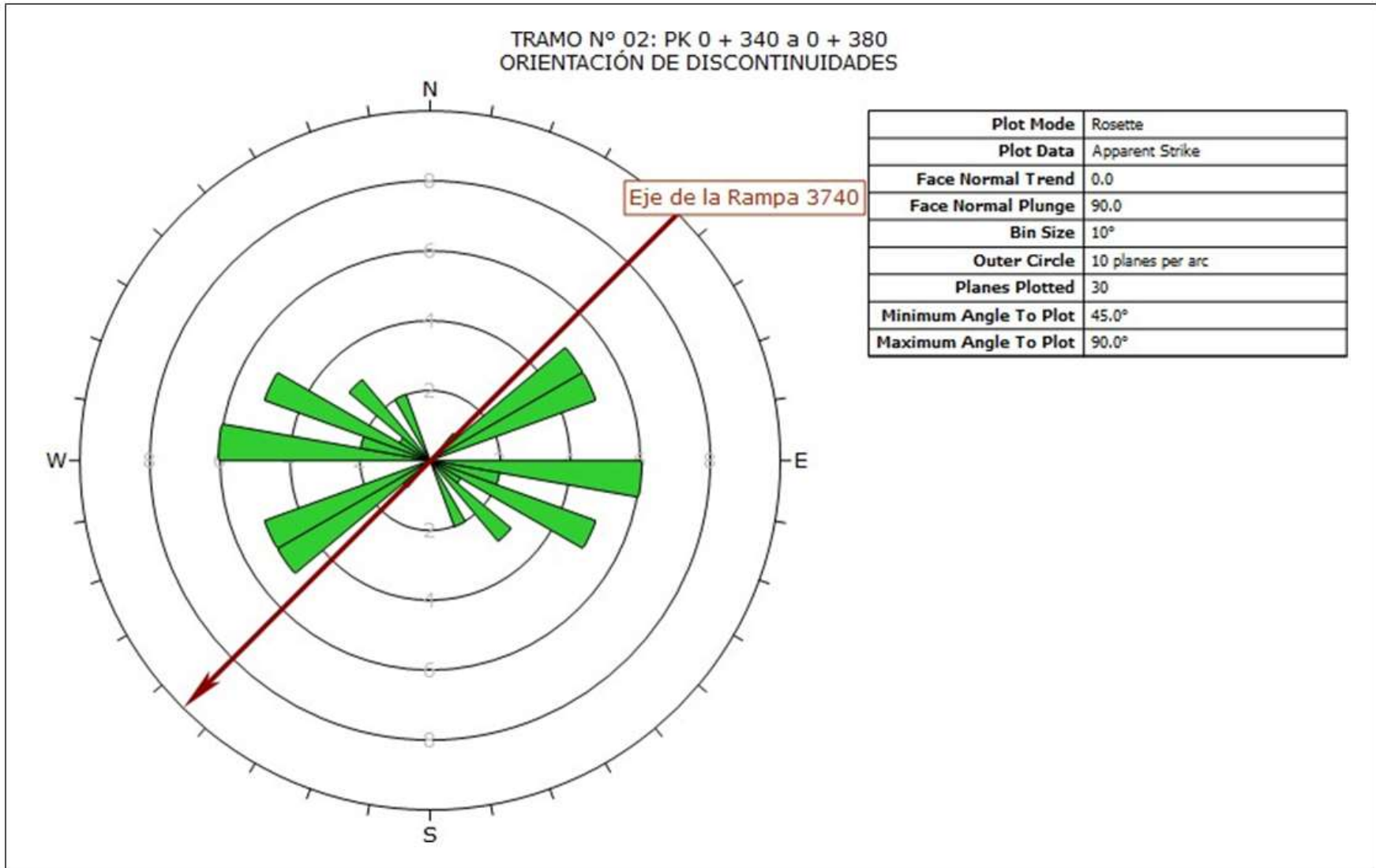
**Tabla 16: Sistemas de discontinuidades en el tramo N° 02**

SET	DIP	DIP DIRECTION
S1	64	144
S2	69	195
S3	80	240
S4	79	333





**Figura 10:** Sistema de discontinuidades tramo 02



**Figura 11:** Orientacion de discontinuidad respecto al eje del tramo 2

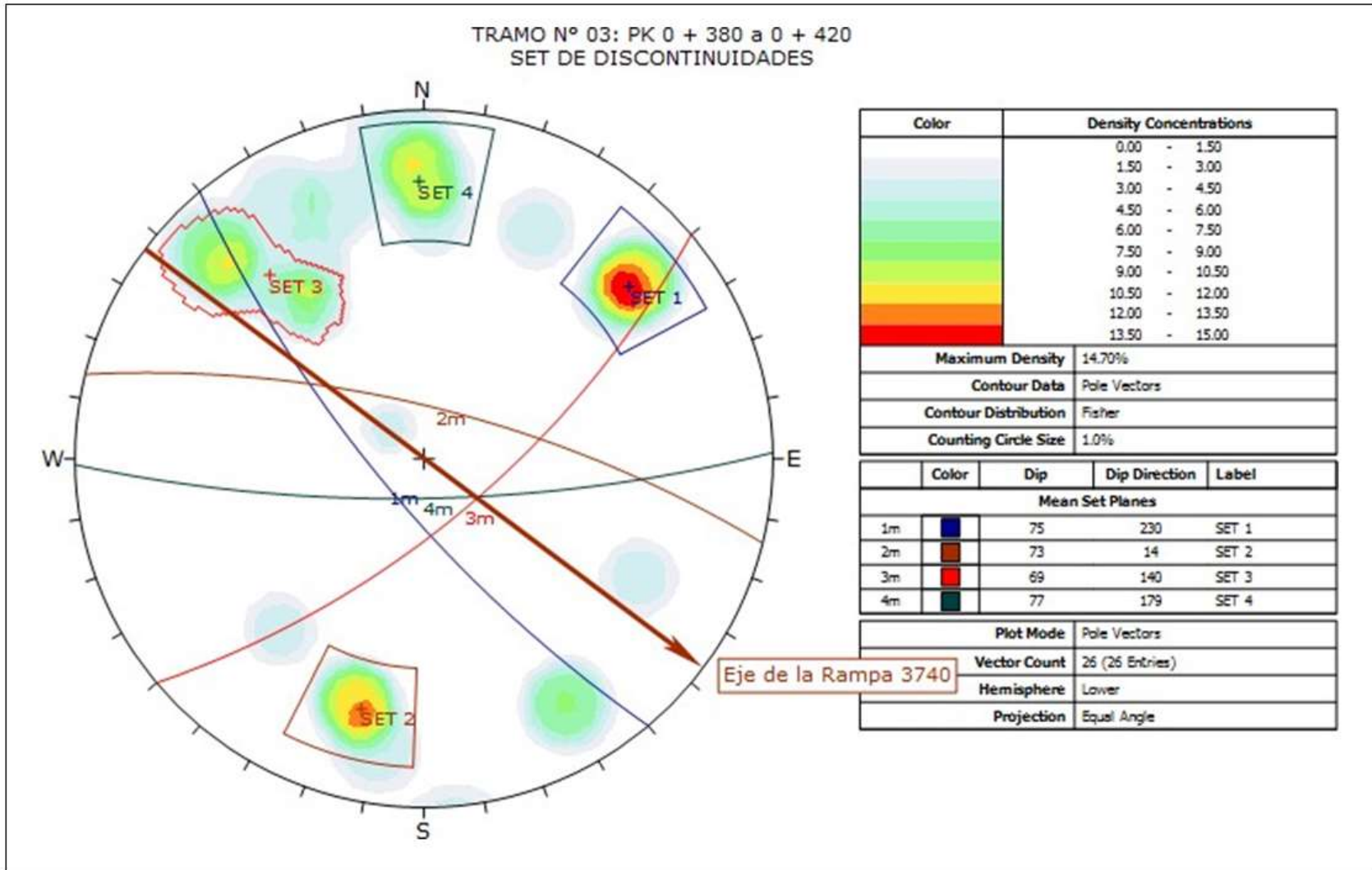


### 4.1.3. Tramo N° 03: PK 0 + 380 a 0 + 420

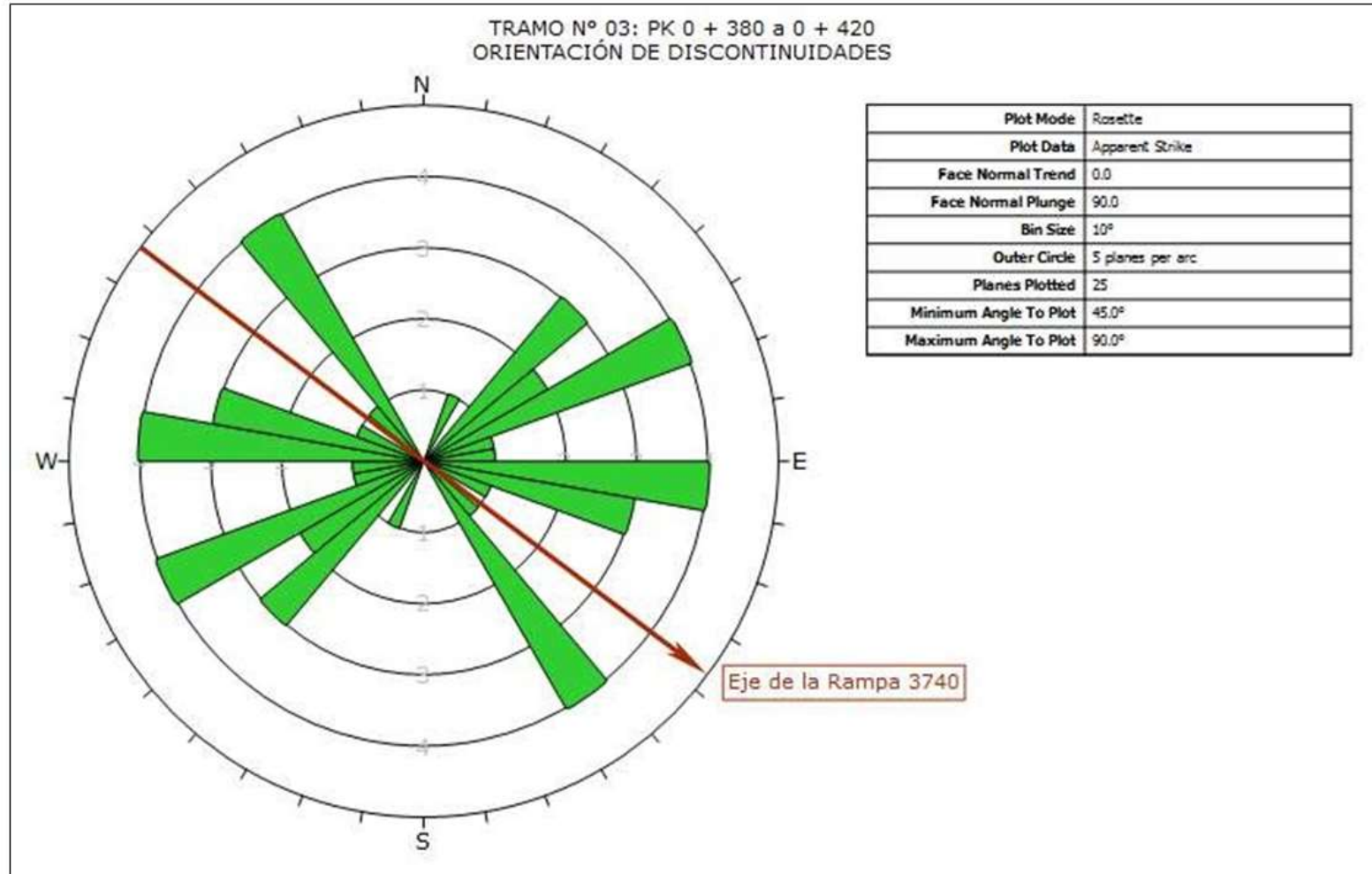
En el tramo encontramos un macizo rocoso mayormente de calidad buena tipo II y en menor proporción regular tipo III-A y III-B, donde predominan dos sistemas estructurales principales y dos secundarios de discontinuidades. El primero (S1) con orientación NWSE teniendo como DIP/DIP DIRECTION 75/230, sistema principal. El segundo (S2) con orientación SE-NW con DIP/DIP DIRECTION 73/14 Sistema Secundario. El tercero (S3) con orientación SW-NE con DIP/DIP DIRECTION 69/140, Sistema secundario. El cuarto (S4) con dirección SW-NE con DIP/DIP DIRECTION 77/179. Así tenemos que el sistema S1 se encuentra sub paralelo al eje de la labor, el sistema S2 y S3 cortando en forma diagonal al avance con dirección de buzamiento opuestos entre sí, generando la formación de cuñas en la corona de la labor y el sistema S4 con orientación perpendicular al eje del túnel. Estas condiciones son consideradas desfavorables para la estabilidad de la labor.

**Tabla 17: Sistemas de discontinuidades en el tramo N° 03**

SET	DIP	DIP DIRECTION
S1	75	230
S2	73	14
S3	69	140
S4	77	179



**Figura 12:** Sistema de discontinuidades tramo 03



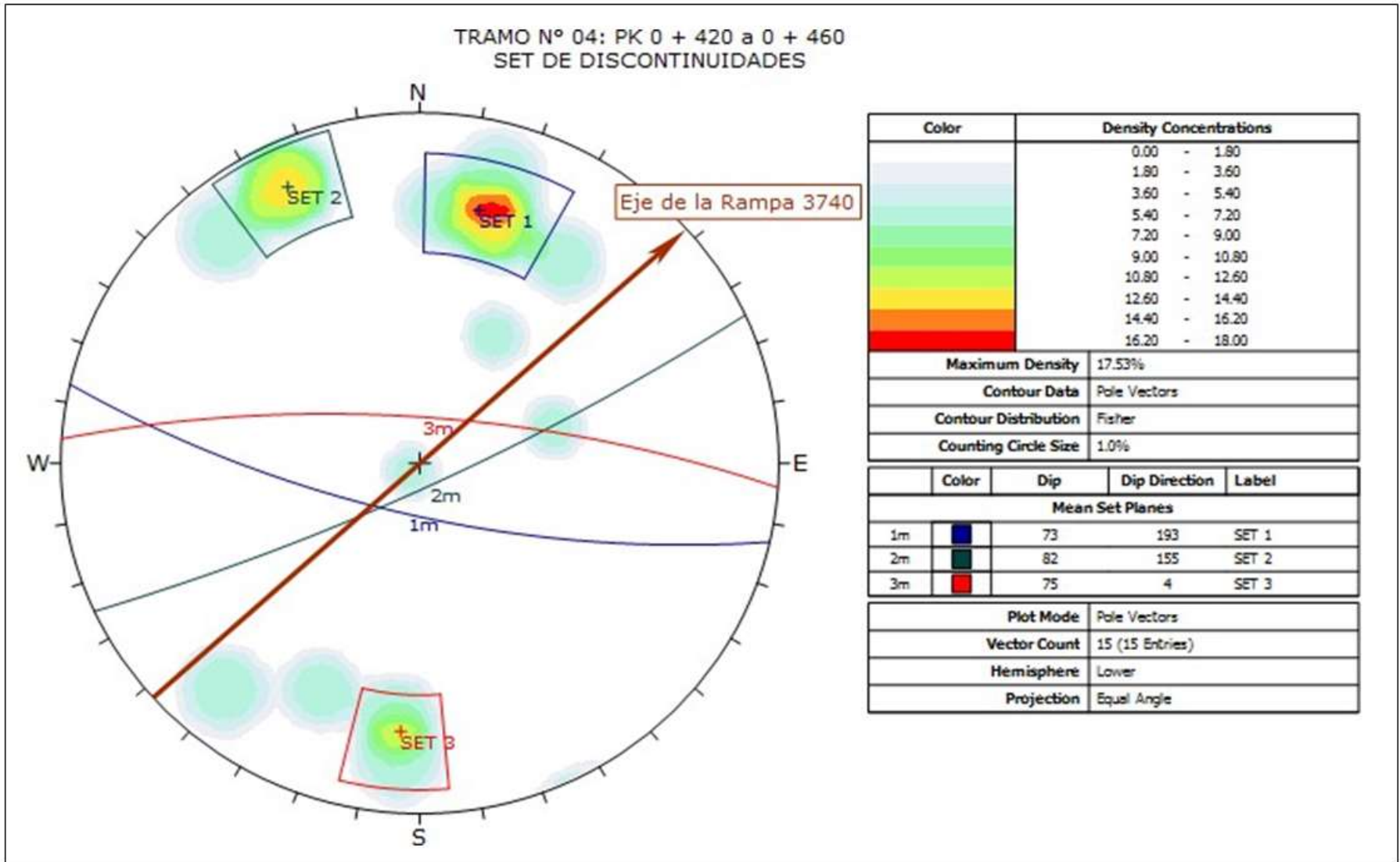
**Figura 13:** Orientacion de discontinuidad respecto al eje del tramo 3

#### 4.1.4. Tramo N° 04: PK 0 + 420 a 0 + 460

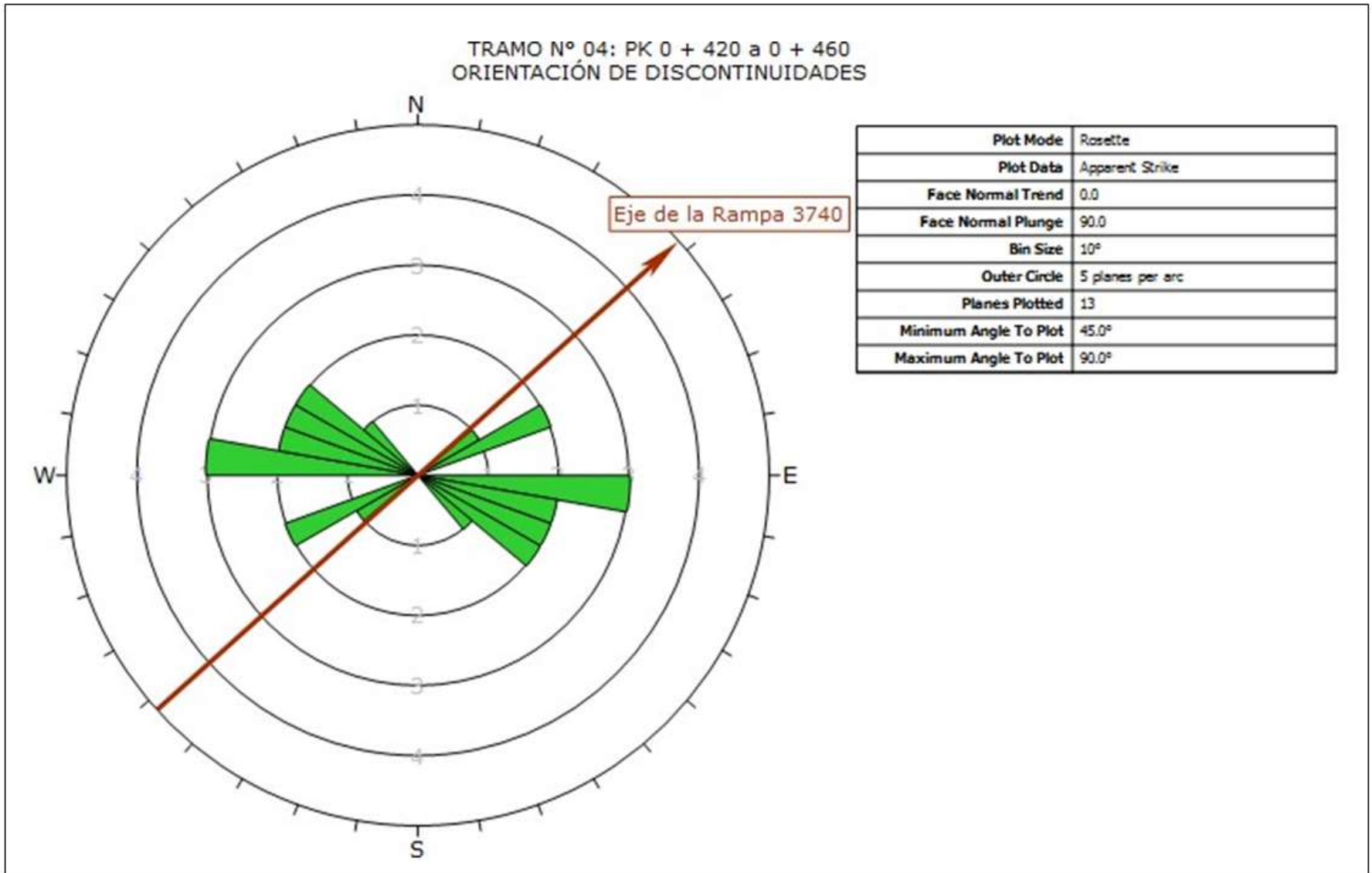
En gran parte del tramo el macizo rocoso es de calidad buena tipo II y una pequeña proporción de regular tipo III-A. Predominan dos sistemas principales de discontinuidades y un sistema secundario. El primero (S1) con orientación NW-SE con DIP/DIP DIRECTION 73/193, sistema principal. El segundo (S2) con orientación NW- SE con DIP/DIP DIRECTION 82/155, sistema principal. El tercero (S3) con orientación SE-NW con DIP/DIP DIRECTION 75/4, sistema secundario. Los sistemas principales cortan de manera perpendicular y el sistema secundario lo hace de manera diagonal al eje de la labor, considerándose como condición de estabilidad regular a favorable.

**Tabla 18: Sistemas de discontinuidades en el tramo N° 04**

<b>SET</b>	<b>DIP</b>	<b>DIP DIRECTION</b>
S1	73	193
S2	82	155
S3	75	4



**Figura 14:** Sistema de discontinuidades tramo 04



**Figura 15:** Orientación de discontinuidad respecto al eje del tramo 4

## **4.2. Caracterización geotécnica del macizo rocoso**

Los parámetros geotécnicos y las condiciones del macizo rocoso a lo largo de las obras terminadas se determinan con base en la información disponible, incluidos los cálculos actuales de RMR y GSI en MYSRL, con los siguientes factores:

- Resistencia de la roca intacta
- RQD.
- Espaciamiento entre discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Predicción de flujos de aguas subterráneas,
- Orientación estructural con respecto al laboreo.

### **4.2.1. Evaluación Geotécnica del Frente**

En el control geotécnico del túnel se utiliza como herramienta la investigación geotécnica del frente y su caracterización geomecánica. El mapeo geoestructural de los quiebres es muy importante para determinar el comportamiento de las cuñas, las principales familias de estructuras y datos geotécnicos que permitan obtener parámetros objetivos de evaluación. Así que definitivamente; la calidad del macizo rocoso excavado como herramienta de decisión del tipo de soporte.

La principal herramienta de evaluación en este proyecto es el sistema de clasificación GSI actual (Apéndice 2) y el uso de soporte se determina según el grado de fragmentación y la resistencia de los tipos de roca.

Las investigaciones geotécnicas se suelen realizar después de finalizada la excavación, y si las condiciones de seguridad lo permiten, el especialista geotécnico clasificará con la denominada

investigación geotécnica de celdas y líneas de detalle, con cinta métrica y compás de manera adecuada para realizarlas. buzamiento y pendiente. dirección (DIP/DIR).

#### 4.2.2. Resistencia de la roca

Este importante indicador se obtuvo mediante la observación del sitio y el uso del martillo de geólogo, así como pruebas de resistencia a cargas puntuales realizadas en laboratorio según el método de evaluación ISRM (ver Tabla No. 19).

**Tabla 19: Resultado del ensayo de resistencia de carga puntual**

<b>Fecha</b>	<b>Labor</b>	<b>Progresiva</b>	<b>Promedio Is(50) (Mpa)</b>	<b>Promedio UCS (MPa)</b>
16/10/2022	Rampa 3740	0+315.5	2.77	63.81
07/11/2022	Rampa 3740	0+370.0	6.25	143.64
23/11/2022	Cx 582 SW	0+12.7	5.3	121.84
05/12/2022	Rampa 3740	0+412.5	2.93	67.37
12/12/2022	Rampa 3740	0+452.3	4.51	103.84

#### 4.3. Caracterización geomecánica del túnel

A continuación se muestra el resumen de la caracterización geotécnica en las labores de túnel. Cada mapeo geomecánico corresponde a un tramo excavado, en el cual se determinó la calidad del macizo y la estimación del sostenimiento. A cada excavación le corresponde un mapeo geotécnico, dicho mapeo ha sido agrupado según los valores similares. En el Anexo N° 3. Podemos apreciar la zonificación geomecánica del túnel según la calidad de roca.



Tabla 20: Caracterización geomecánica del túnel

Labor	Progresivas			Calidad Geotécnica		
	Desde	Hasta	Avance	RMR	Calidad	Tipo
RAMPA 3740	290	303.5	13.50	51 - 60	Regular	III-A
	303.5	324	20.50	41 - 50	Regular	III-B
	324	334.5	10.50	61 - 80	Buena	II
	334.5	345	10.50	51 - 60	Regular	III-A
	345	354.5	9.50	61 - 70	Buena	II
	354.5	360.5	6.00	51 - 60	Regular	III-A
	360.5	405	44.50	61 - 80	Buena	II
	405	411	6.00	51 - 60	Regular	III-A
	411	418	7.00	41 - 50	Regular	III-B
	418	460	42.00	61 - 80	Buena	II
<b>Cx 505 SW*</b>	0.00	2.00	2.00	51 - 60	Regular	III-A
<b>Cx 544 SE*</b>	0.00	2.00	2.00	61 - 80	Buena	II
<b>Cx 582 SW</b>	0.00	16.00	16.00	61 - 80	Buena	II
<b>Cx 621 NW*</b>	0.00	2.00	2.00	61 - 80	Buena	II
* Refugio peatonal						

#### **4.4. Sostenimiento del túnel**

##### **4.4.1. Aplicación del índice RMR para el diseño del sostenimiento**

En este sistema, el índice RMR se obtiene sumando cinco números. Estos cinco números son una función de la resistencia a la compresión simple del lecho rocoso, RQD, espaciamiento de discontinuidad, condición de discontinuidad y condición del agua. Dependiendo del estado de las funciones del indicador, recibirán una cierta cantidad de puntos, y cuando se suman estos puntos, se obtiene un valor entre 0 y 100. Después de obtener el RMR básico, se basará en la relación entre la dirección del túnel se acabó el tiempo.

##### **4.4.2. Definición del sostenimiento mediante el índice RMR del Túnel Animon - Islay**

Las recomendaciones para la excavación y sostenimiento de túneles bajo el sistema RMR89 se han modificado para el proyecto del túnel Animon-Islay, pero los principios básicos siguen siendo los mismos. Estas recomendaciones se suman a la clasificación para evaluar un proyecto de sostenimiento de obra en base a la calidad y tipo de macizo rocoso. Los soportes instalados en la obra consistieron en hormigón armado con fibras sintéticas, instalación de pernos Split Set, mallas soldadas y pernos. Esto significa que la combinación entre elementos de soporte y refuerzo forma un soporte híbrido. La Tabla 21 describe el diseño e instalación de soportes de acuerdo a la calidad del macizo rocoso del túnel.

Tabla 21: Diseño e instalación del sostenimiento en el túnel

Labor	Progresivas			Calidad Geotécnica			
	Desde	Hasta	Avance	RMR	Calidad	Tipo	Sostenimiento
RAMPA 3740	290	303.5	13.50	51 - 60	Regular	III-A	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.5m de espaciado
	303.5	324	20.50	41 - 50	Regular	III-B	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado
	324	334.5	10.50	61 - 80	Buena	II	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.7m de espaciado
	334.5	345	10.50	51 - 60	Regular	III-A	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.5m de espaciado
	345	354.5	9.50	61 - 70	Buena	II	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.7m de espaciado
	354.5	360.5	6.00	51 - 60	Regular	III-A	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.5m de espaciado
	360.5	405	44.50	61 - 80	Buena	II	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.7m de espaciado
	405	411	6.00	51 - 60	Regular	III-A	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.5m de espaciado
	411	418	7.00	41 - 50	Regular	III-B	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado
	418	460	42.00	61 - 80	Buena	II	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.7m de espaciado
Cx 505 SW*	0.00	2.00	2.00	51 - 60	Regular	III-A	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.5m de espaciado
Cx 544 SE*	0.00	2.00	2.00	61 - 80	Buena	II	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.7m de espaciado
Cx 582 SW	0.00	16.00	16.00	61 - 80	Buena	II	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.7m de espaciado
Cx 621 NW*	0.00	2.00	2.00	61 - 80	Buena	II	Shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, perno Split Set de 8 pies de largo a 1.7m de espaciado
* Refugio peatonal							

#### **4.4.3. Análisis de estabilidad de excavaciones**

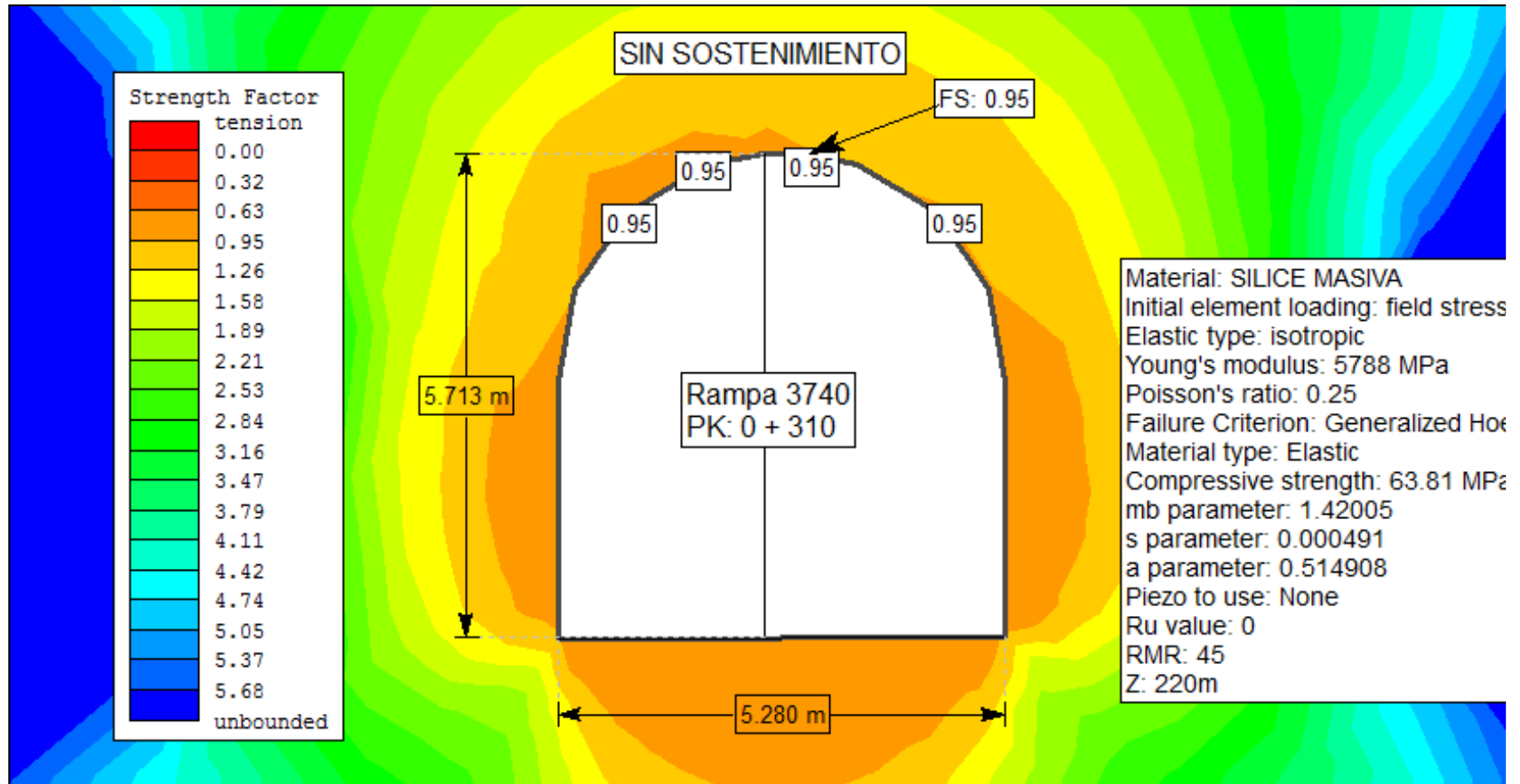
El modelado geomecánico se realizó con el software Rocscience Phase2 V 8.0, teniendo en cuenta los criterios de falla de Hoek y Brown para verificar la seguridad y estabilidad del túnel. La evaluación se realiza en determinados puntos del túnel y en condiciones naturales y teniendo en cuenta las recomendaciones de apoyo para cada tipo de roca.

El análisis se realizó en base a los valores obtenidos de la caracterización geomecánica, la evaluación de tensiones según la teoría de Sheorey, los datos técnicos de los elementos de apoyo y los aspectos técnicos del diseño del apoyo. Los resultados de las simulaciones se muestran en las Figuras 16-21.

##### **4.4.3.1. Modelamiento geomecánico en Roca Regular Tipo III-B**

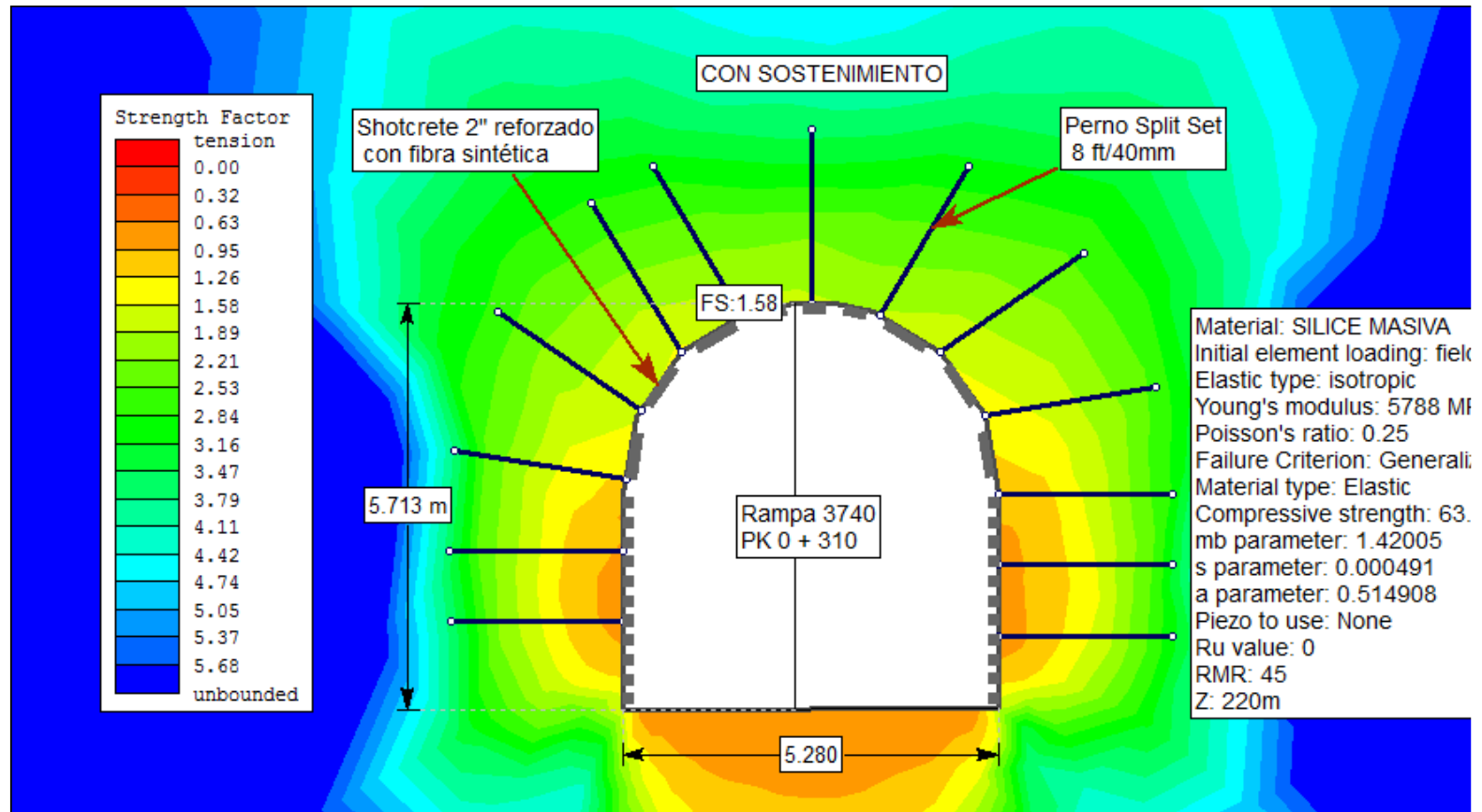
Se ha realizado el análisis en la Rampa 3740, Progresiva 0+310

Sin soporte: La evaluación se realiza en condiciones naturales resultando en un factor de seguridad de 0,95. Esto indica que la capacidad portante del conjunto es menor que las fuerzas que actúan sobre el foso, por lo que se debe apoyar.



**Figura 16:** Modelamiento geomecánico sin sostenimiento en macizo rocoso de calidad regular tipo III-B

**Con Sostenimiento:** Se recomienda hormigón reforzado con fibras sintéticas de 2" con pernos Split Set de 8" de largo separados 1,2 m, siguiendo las recomendaciones de anclaje. Se logró un factor de seguridad mayor a 1.58, lo que indica que el trabajo es estable y seguro bajo estas relaciones de apoyo.

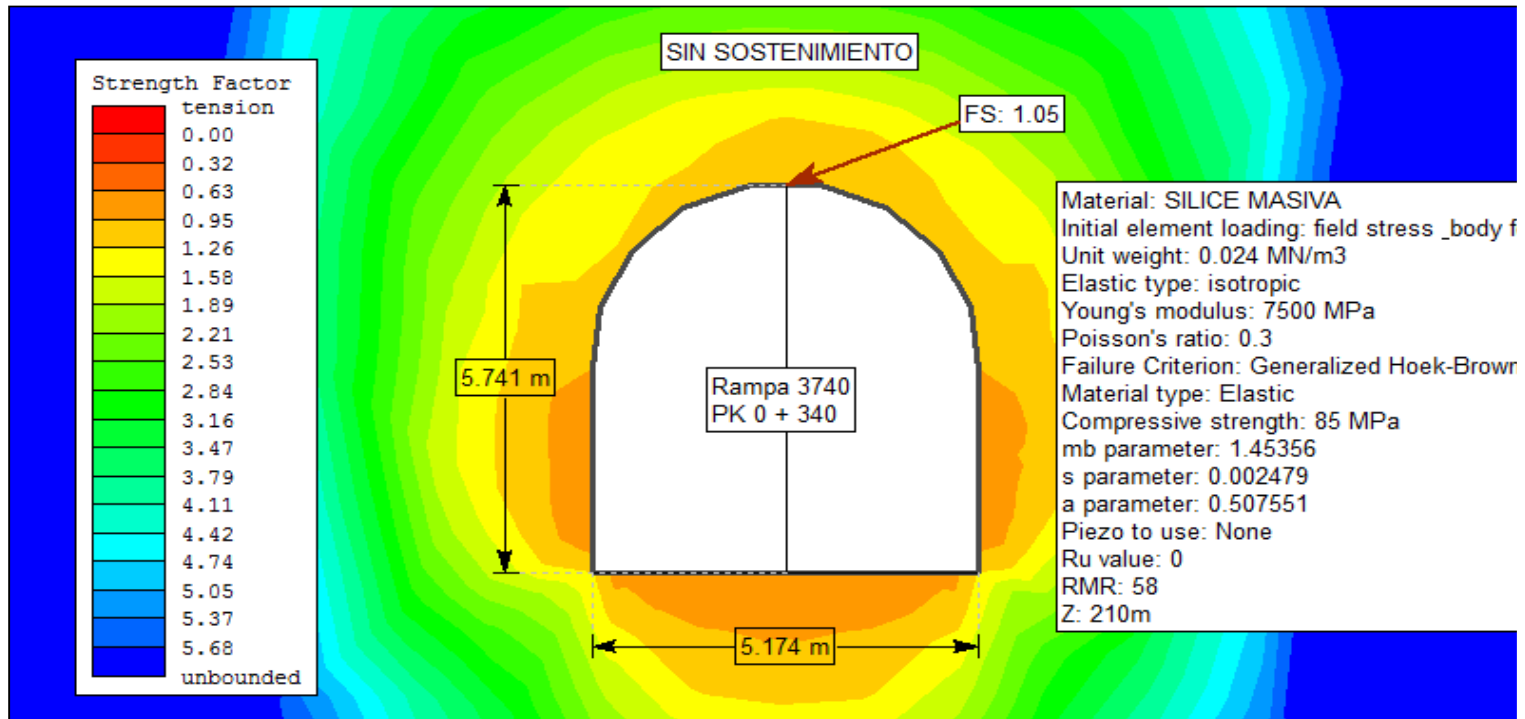


**Figura 17:** Modelamiento geomecánico con sostenimiento en macizo rocoso de calidad regular tipo III-B

#### 4.4.3.2. Modelamiento geomecánico en Roca Regular Tipo III-A

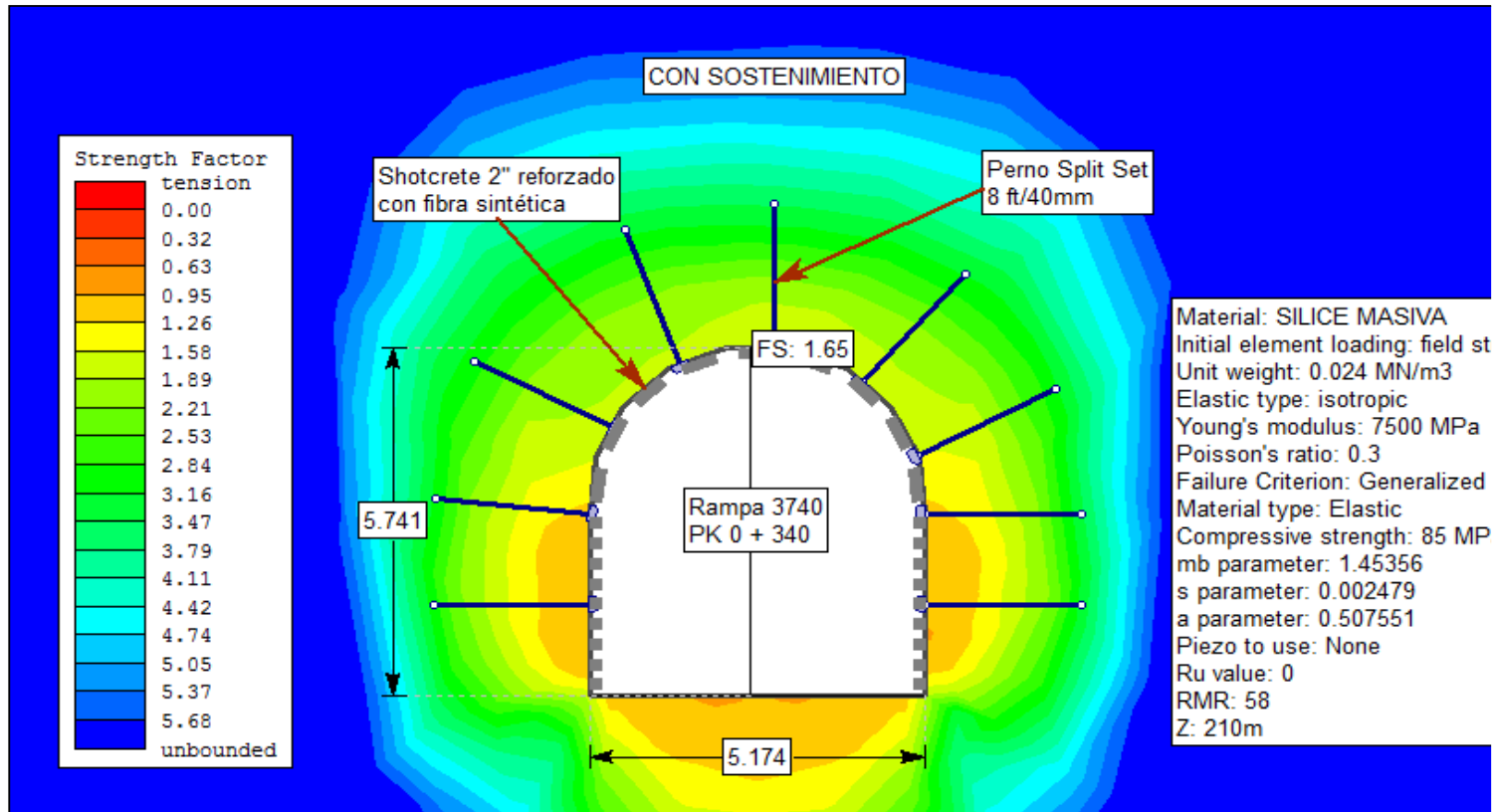
Análisis en la Rampa 3740, Progresiva 0+340

**Sin sostenimiento:** Las evaluaciones se realizaron en condiciones naturales y lograron un F.S.: 1.05 en la parte superior de las obras. Este valor indica que el sistema se encuentra en un estado de equilibrio extremo y requiere mantenimiento por ser una tarea permanente.



**Figura 18:** Modelamiento geomecánico sin sostenimiento en macizo rocoso de calidad regular tipo III-A

**Con sostenimiento:** Dada la recomendación de una subvención; Shotcrete de 2 pulgadas con pernos Split set de 8 pies de largo y 1,5 m de separación. Obtendrá F.S: 1.65. Este resultado muestra que la instalación del soporte aumenta la durabilidad de la mesa y por lo tanto crea condiciones de funcionamiento estables.



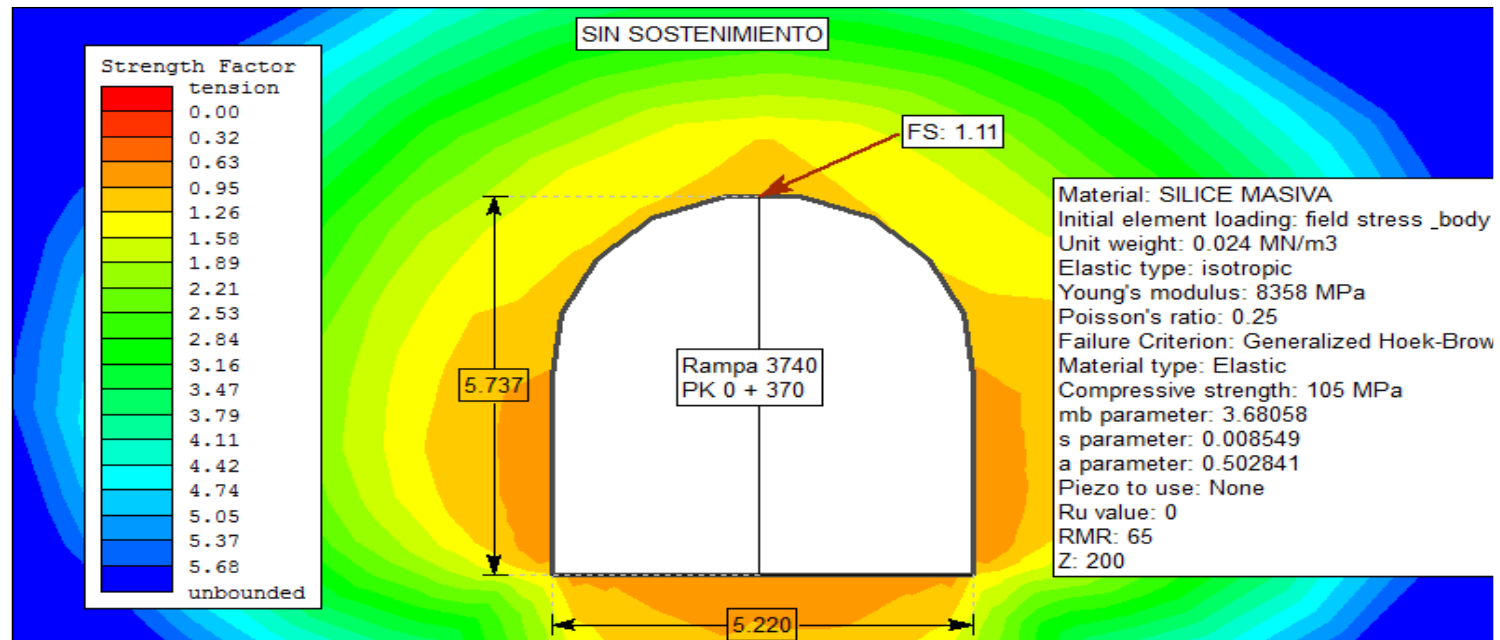
**Figura 19:** Modelamiento geomecánico con sostenimiento en macizo rocoso de calidad regular tipo III-A



#### 4.4.3.3. Modelamiento geomecánico en Roca Buena Tipo II

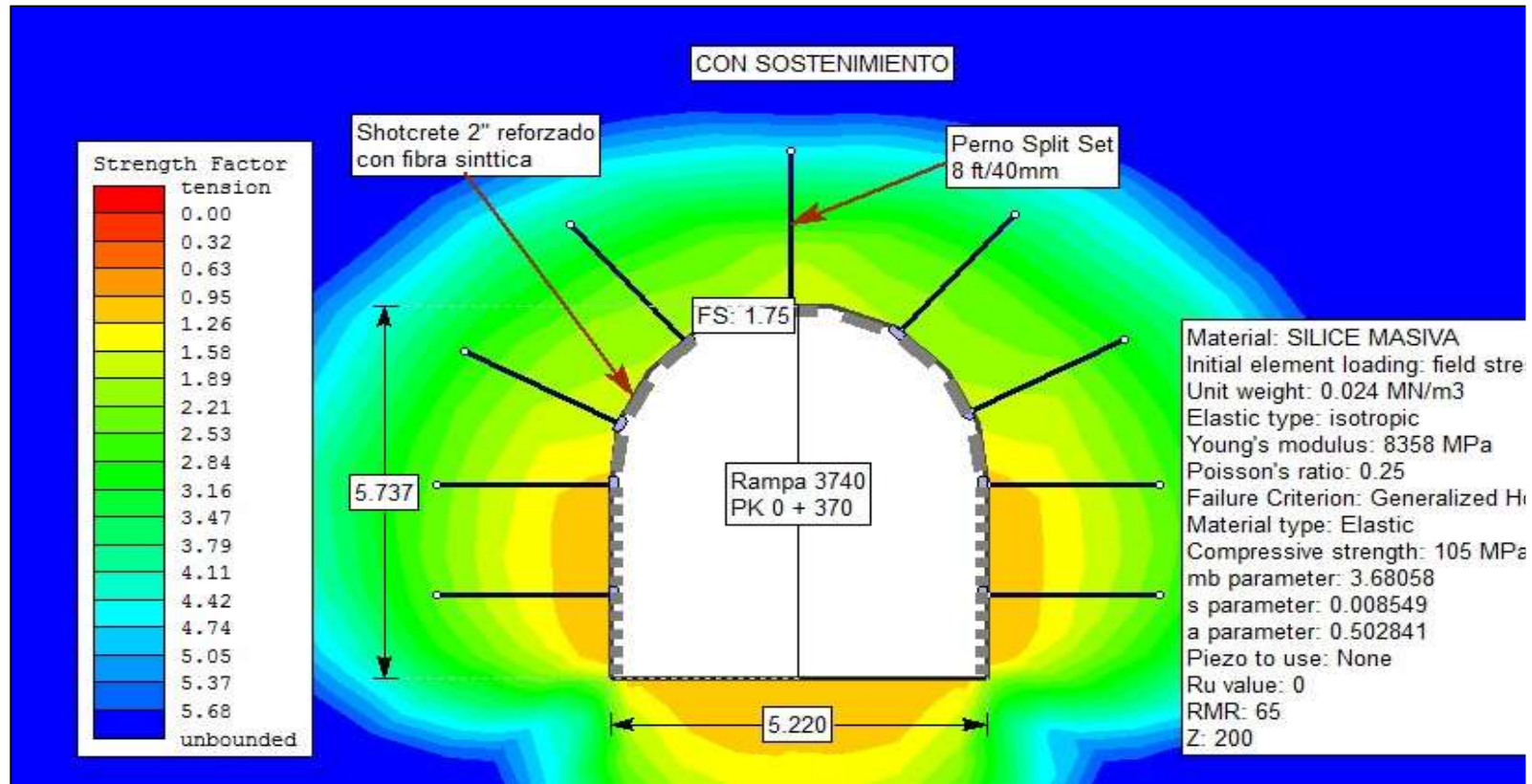
Análisis en la Rampa 3740, Progresiva 0+370

**Sin sostenimiento:** Durante la evaluación realizada, F.S. obtenemos: 1.11. Esto indica que la resistencia del laberinto es ligeramente mayor que las fuerzas que actúan sobre la excavación; por lo tanto, no crea condiciones seguras de estabilidad para una operación continua.



**Figura 20:** Modelamiento geomecánico sin sostenimiento en macizo rocoso de calidad buena tipo II

**Con sostenimiento:** Dada la recomendación de una subvención; El hormigón prefabricado reforzado con fibra sintética de 2 pulgadas y los pernos Split set de 8 pies espaciados a 1,7 metros producen F.S. mayor que 1,75. Esto demuestra que la instalación de apoyo aumenta la durabilidad del conjunto y asegura la estabilidad de la excavación.



**Figura 21:** Modelamiento geomecánico con sostenimiento en macizo rocoso de calidad buena tipo II

#### **4.5. Control de calidad del sostenimiento**

El control de calidad del soporte instalado en el túnel se realizó de acuerdo al Reglamento Supremo N° 02 4-2016-EM y modificatorio D.S. N° 023-2017-EM, Inspección de pernos y hormigón en bruto con ensayos de tracción de perno partido y roscado, ensayos de resistencia temprana de hormigón en bruto y ensayos de resistencia a compresión simple de hormigón en bruto dentro de los límites de los planos de serie.

##### **4.5.1. Ensayos de Pull Test**

Se realizan pruebas de estrés para asegurar una frecuencia de prueba de control de calidad suficiente y verificar la capacidad de carga y asegurar su uso como elemento de aseguramiento del túnel y para asegurar las redes electrosoldadas utilizadas en el proyecto Túnel de Investigación Chaquicocha Fase II.

Se realizó Split Set, pernos roscados a medida que avanzaba el trabajo. Se prueba el sistema de anclaje atornillado, se realiza una prueba de carga periódicamente 20 m adelante y se instalan un promedio de bulones, recuerde que el DS-023-2017 solo requiere instalar un total de 1 l de bulones: si la prueba falla, se está aprobado y el tipo de perno debe cambiarse a uno que sea más efectivo en este campo.

Las pruebas se realizaron con una máquina desatornilladora (ENERPAC), la cual consistió en un gato hidráulico de 30 toneladas y laboratorio de pruebas manómetros calibrados, bombas hidráulicas, pistones con destornillador. Se utilizará un manómetro para medir la carga aplicada, el rango del manómetro no debe exceder el doble de la presión máxima requerida durante la prueba, a menos que esté aprobado por MYSRL, el gato es capaz de aplicar una carga de menos de un minuto.

Se realizaron pruebas de tensión en pernos hendidos y pernos en colaboración con el Supervisor Geotécnico de MYSRL” y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 22: Resultados. Resultados de ensayos de Pull Test en pernos Split Set de 8ft/40mm**

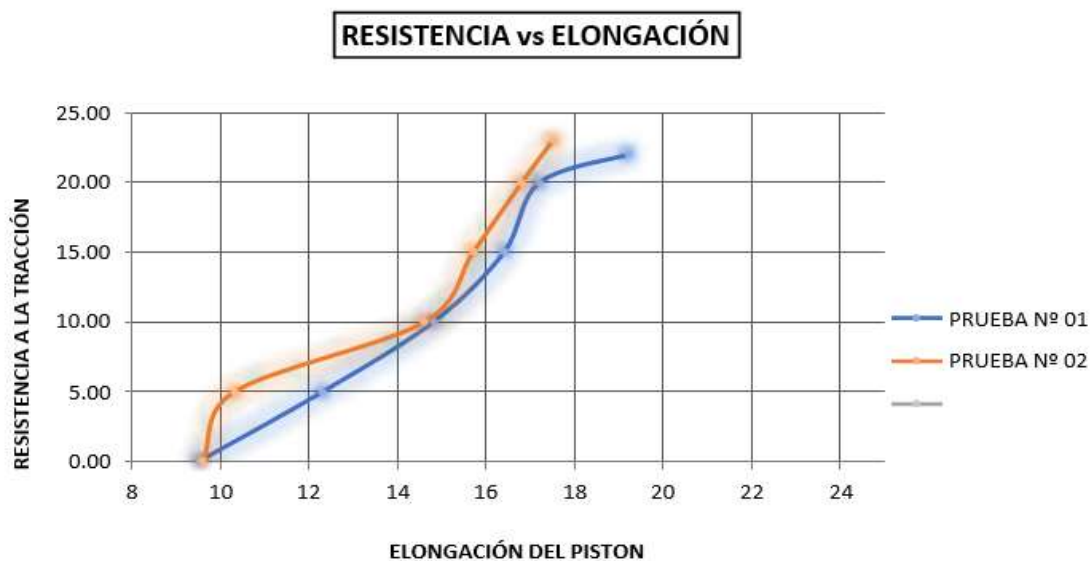
Fecha de Ensayo	N° Prueba	Labor	Progresiva	Hatial	Diámetro de la Broca (mm)	Quality Rock	Resultado (Tn)
12/10/2022	1	Rampa 3740	0+317.35	R	37	III-B	7.50
	2	Rampa 3740	0+316.50	L	37	III-B	7.00
19/10/2022	1	Rampa 3740	0+327.70	L	37	II	7.00
	2	Rampa 3740	0+326.90	R	37	II	9.00
21/10/2022	1	Rampa 3740	0+342.85	L	37	III-A	10.00
	2	Rampa 3740	0+343.10	R	37	III-A	8.00
14/11/2022	1	Rampa 3740	0+367.90	R	38	II	6.50
	2	Rampa 3740	0+365.50	L	38	II	10.00
14/11/2022	1	Rampa 3740	00+322.81	R	37	II	8.00
	2	Rampa 3740	00+325.00	L	37	II	7.00
25/11/2022	1	Rampa 3740	00+335.90	L	38	II	6.00
	2	Rampa 3740	00+340.30	R	37	II	8.00
02/12/2022	1	Cx 582 SW	00+8.50	R	37	II	10.00
	2	Cx 582 SW	00+2.60	R	37	II	8.00
	3	Cx 582 SW	00+6.30	L	37	II	7.00
	4	Cx 582 SW	00+1.80	L	37	II	8.00
10/12/2022	1	Rampa 3740	00+380.70	R	37	III-A	10.00
	2	Rampa 3740	00+393.50	L	37	III-A	7.00
	3	Rampa 3740	00+418.50	R	37	III-A	10.00
	4	Rampa 3740	00+420.40	L	37	III-A	11.00
15/12/2022	1	Rampa 3740	00+435.80	R	37	III-A	7.00
	2	Rampa 3740	00+440.60	L	37	III-A	6.00
	3	Rampa 3740	00+452.00	L	37	III-A	6.50



**Figura 22:** Curva de resistencia (TN) Vs Elongación (mm), durante las pruebas de arranque a 02 pernos Split Set.

**Tabla 23:** Resultados de ensayos de Pull Test en pernos helicoidales de 10ft/22mm

Fecha de Ensayo	Nº Prueba	Labor	Progresiva	Hastial	Bits	RMR	Resultado (TN)
10/12/2018	1	Rampa 3740	00+394.50	R	36 mm	64	22
	2		00+394.00	L	36 mm	64	24



**Figura 23:** Curva de resistencia (TN) Vs Elongación (mm), durante las pruebas de arranque a 02 pernos helicoidales.

## 4.5.2. Control de Calidad del Shotcrete

### 4.5.2.1. Ensayos de Resistencias Tempranas del Shotcrete

Para asegurar de forma fiable la continuidad del ciclo minero, se han realizado pruebas de resistencia temprana del hormigón proyectado.

En la Figura 24. muestra las resistencias iniciales obtenidas durante la construcción del túnel, que superan la curva J2 (resistencia inicial mínima para excavación de túneles) determinada por la norma EN 14487-1 (32) e incluso alcanzan la curva J3, según la cual el uso de esta zona admite las condiciones, cabe señalar que en nuestro trabajo no existe, y este es un resultado favorable para garantizar la seguridad mientras continúa la minería.

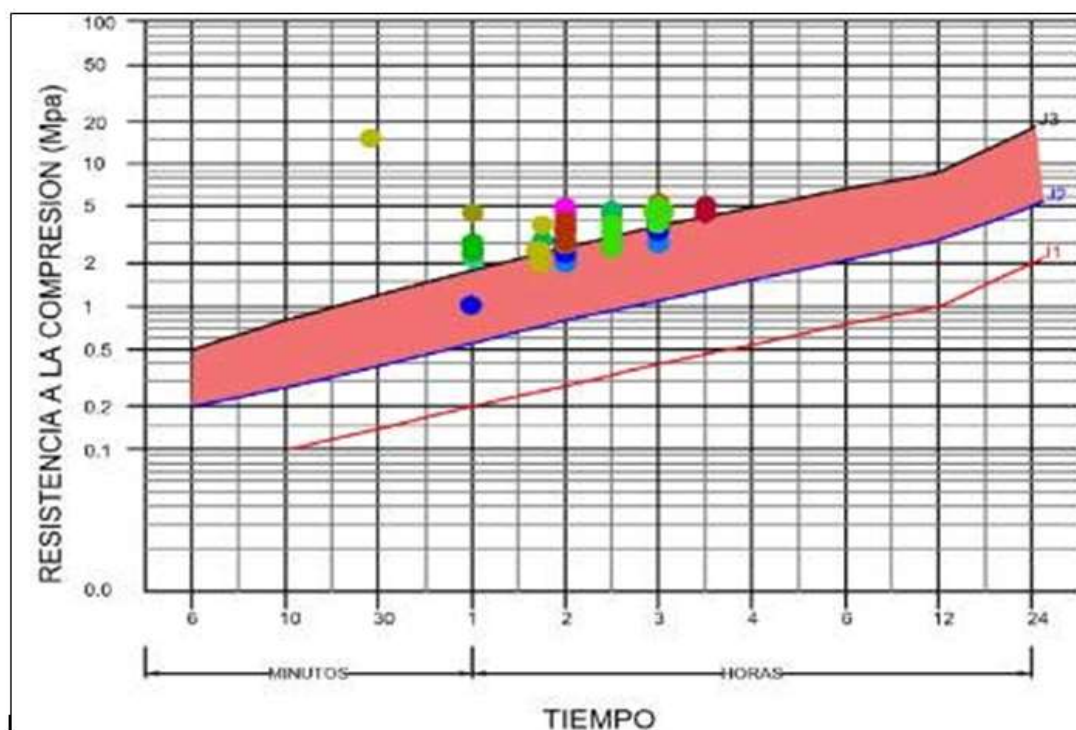
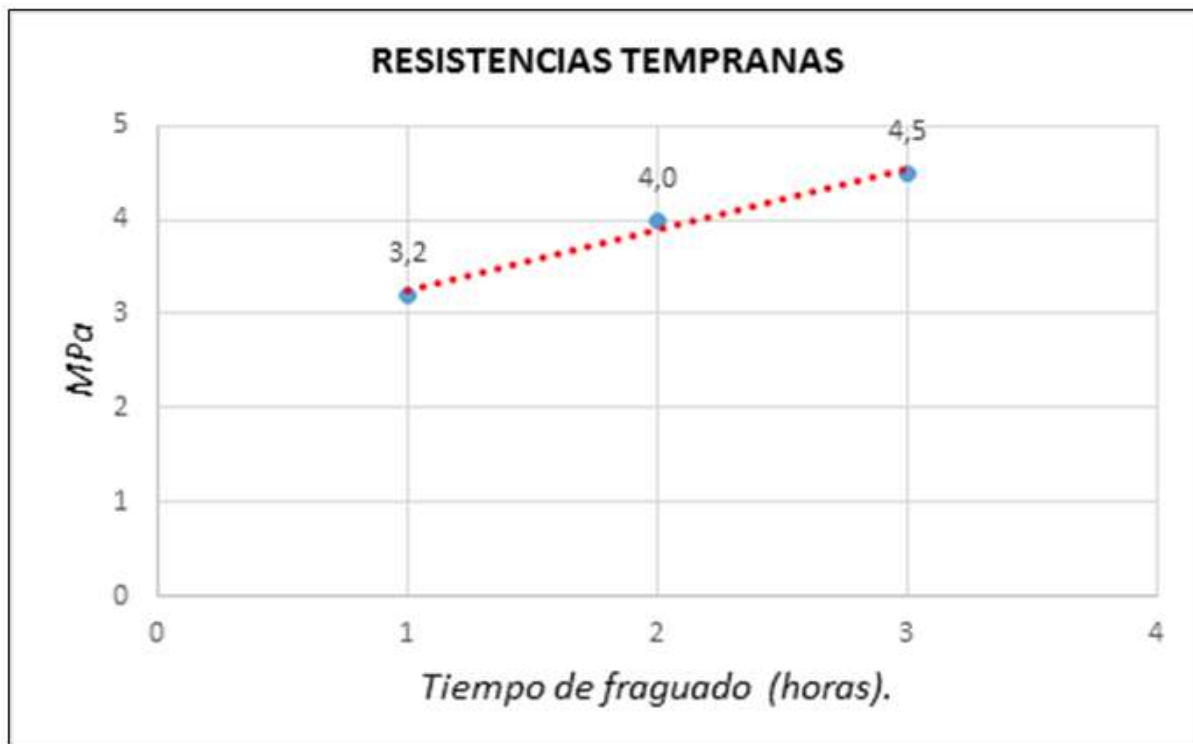


Figura 24: Resistencias tempranas obtenidas en cada lanzamiento de shotcrete



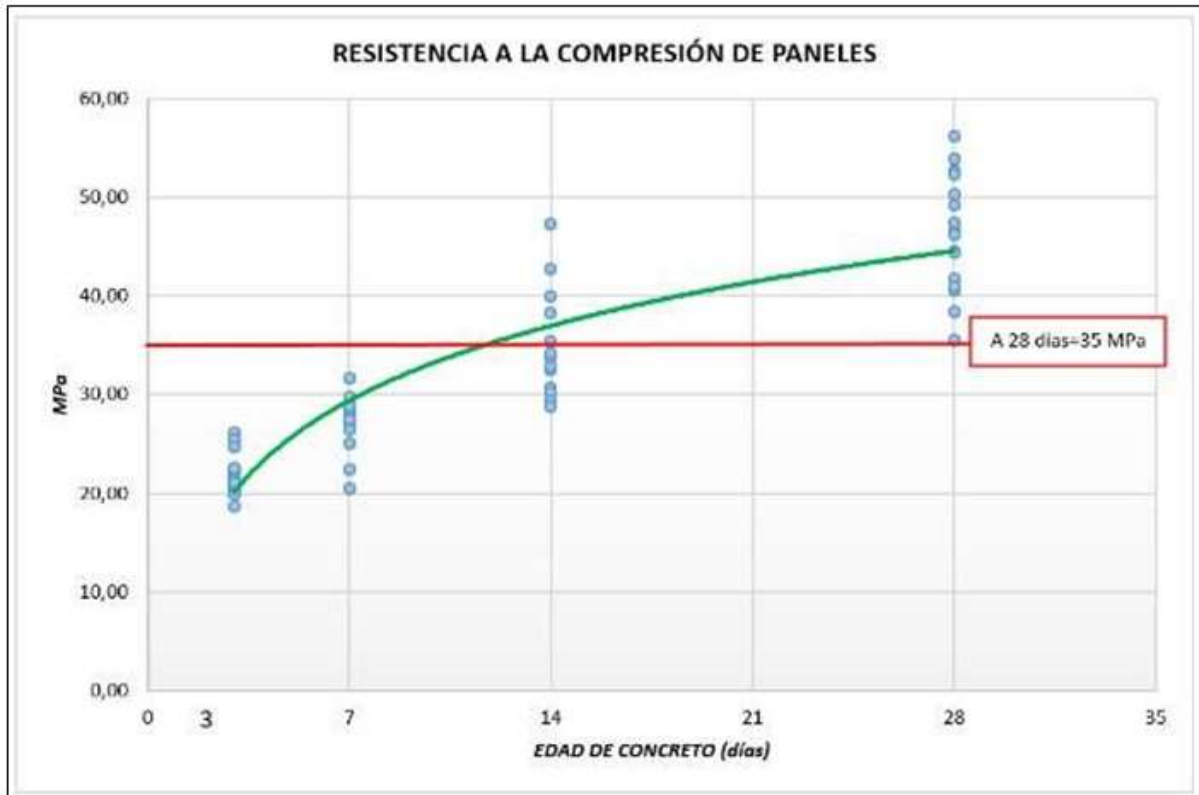
**Figura 25:** Ensayos de resistencias tempranas, tomadas en campo promediadas a 1, 2 y 3 horas; se observa la línea de tendencia de acuerdo con tiempo de fraguado.

#### 4.5.2.2. Ensayos de Compresión Simple del Shotcrete

Se toman muestras de paneles cerca de la obra de hormigonado, se toma un panel de ensayo por cada hormigonado y pasadas 12 horas se deben transportar en una caja de madera, cuidando de no estropear las muestras durante el transporte.

Cabe aclarar que antes de la prueba los paneles deben someterse a un proceso de curado dentro de las 24 horas siguientes a la puesta en marcha, que consiste en sumergir completamente los paneles en un baño de agua a una determinada temperatura y pH. Después del período de curado apropiado, la muestra se extraerá del panel utilizando un cortador o núcleo de diamante. Se realizaron ensayos de fisuración en hormigón de 3, 7, 14 y 28 días de edad. Ensayo final de

resistencia según EN-14488-1 a los 28 días. El diseño del proyecto asume una resistencia última a la compresión de 35 MPa.



**Figura 26:** Curva de resistencias a la compresión simple de paneles comprobando la edad necesaria para cumplir el 100% de la resistencia final (28 días)



## **4.6. Discusion de resultados**

### **4.6.1. Análisis de estructuras de discontinuidades**

Para un análisis detallado de la distribución de roturas con respecto al eje de trabajo dividido en cuatro partes, los resultados son los siguientes:

Tramo N° 01: PK 0 290 a 0 340. Hay un sistema constructivo principal y dos conjuntos secundarios. Es muy paralelo al flujo de trabajo. Considerado condiciones desfavorables a muy desfavorables, especialmente en la parte superior del trabajo, lo que genera inestabilidad

“Tramo N° 02: PK 0 340 a 0 380. Tiene 2 sistemas principales y 2 sistemas secundarios con frenos. Estas discontinuidades se cortan en diagonal y perpendicularmente a la dirección de la rampa 3740, creando inestabilidad principalmente en la parte superior del trabajo.

Tramo N° PK 0 380 a 0 420. Se identifican dos sistemas estructurales primarios y dos sistemas discontinuos secundarios. Así, obtenemos el sistema S1 paralelo al eje de la pieza de trabajo, los sistemas S2 y S3 se cortan hacia adelante con diagonales, las direcciones de inclinación son opuestas entre sí y forman una cuña en la parte superior de la pieza de trabajo, y el sistema S4 tiene una dirección perpendicular al eje del túnel. Estas condiciones se consideran perjudiciales para la estabilidad de la labor.

“Tramo N° 04: PK 0 420 a 0 460. Encontramos dos grandes discontinuidades y un sistema secundario. El sistema primario gira verticalmente, el sistema secundario gira el eje de trabajo en diagonal, lo que se considera una condición de estabilidad normal a favorable.

#### **4.6.2. Definición del sostenimiento**

La evaluación geomecánica del frente se basa en la investigación geotécnica y la caracterización geomecánica del frente, que constituye la base para la determinación del frente. Macizo rocoso utilizando las clasificaciones geomecánicas actuales RMR y GSI MYSRL.

Los resultados muestran que el macizo rocoso a lo largo del eje del túnel se encuentra entre buena calidad II (RMR = 61 - 80), tipo III-A normal (51 - 60) y tipo III-A normal (RMR = 41 - 50). Para cada uno de ellos, el siguiente apoyo corresponde a:

Convencional Tipo II: 2 pulgadas de concreto. Los pernos de fijación divididos y reforzados con fibra sintética tienen 8 pulgadas de largo y están separados 1,7 m en un diseño cuadrado.

Convencional Tipo III-A: Disparo de 2 pulgadas. Reforzado con fibras sintéticas y pernos Split Set, 8 pies de largo, 1,5 m de separación, disposición cuadrada.

Convencional Tipo III-B: Tiro 2 pulgadas. Los pernos reforzados con fibra sintética y adheridos tienen 8' de largo, con una separación de 1,2 m en una disposición cuadrada.

#### **4.6.3. Estabilidad de las excavaciones subterráneas**

Para cada tipo de roca encontrada en el proyecto, es necesario analizar la estabilidad de la excavación en condiciones naturales y durante la instalación de soportes. Para el análisis se utilizó el software de geomecánica Phase2 V 8.0.

Regular Tipo III-B: Sin apoyo factor de seguridad F.S.: 0,95. Esto indica que la capacidad de soporte de la masa es menor que las fuerzas que actúan sobre la excavación, por lo que necesita soporte. Al mismo tiempo se logró la instalación de los soportes recomendados para este tipo de piedra; Concreto de 2 pulg. y pernos partidos de 8 pies separados 1,2 metros, factor de seguridad F.S.: 1,58; muestra que el trabajo es estable y seguro bajo estas condiciones de apoyo”.

Regular Tipo III-A: No soportado, el factor de seguridad es F.S. 1.05. Este valor indica que el sistema está en equilibrio y requiere mantenimiento porque es una tarea constante. Considerando la recomendación de soporte; hormigón proyectado de 2 pulgadas, pernos partidos de 8 pies a una distancia de 1,5 metros, dar F.S.: 1,65 Este resultado demuestra que la instalación del soporte aumenta la resistencia de la mesa y por lo tanto crea condiciones de trabajo estables.

Bueno tipo II: no apoyado, factor de seguridad F.S.: 1.11. Esto indica que la resistencia en el laberinto es ligeramente mayor que las fuerzas que actúan sobre la excavación, por lo que no creará condiciones seguras y estables para trabajos a largo plazo. Considere el apoyo; hormigón de 2 pulgadas y pernos Split set de 8 pulgadas separados 1,7 m con factor de seguridad F.S: 1,75. Esto demuestra que el dispositivo de apoyo aumenta la capacidad de resistencia de la masa del terreno y asegura la estabilidad de la excavación.

#### **4.6.4. Control de calidad**

El control geotécnico y el control de calidad de los elementos portantes instalados se realizan de acuerdo con las normas establecidas, que garantizan su calidad y funcionamiento. La estructura de hormigón pretensado se diseñó cuidadosamente para lograr una resistencia máxima a la compresión en un lado de 35 MPa después de 28 días, y las pruebas realizadas estuvieron dentro de los parámetros especificados. También se puede ver que la capacidad de carga de los pernos instalados corresponde a los parámetros especificados.

#### **4.7. Prueba de hipótesis**

Los resultados de la evaluación geomecánica en función al F.S. se demuestra con la prueba estadística

Se utilizó el FS de la zona de inestabilidad, que con ayuda del programa SPSS y Microsoft Office Excel ya continuación se detallan los resultados estadísticos de las medidas específicas determinadas inicialmente.

**Contrastación de la hipótesis:** La evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022.

H0: La distribución de la variable Factor de Seguridad no difiere de la distribución normal.

H1: La distribución de la variable Factor de Seguridad difiere de la distribución normal.

**Tabla 24: Prueba de normalidad de la variable Factor de Seguridad**

Shapiro-Wilk		
Estadístico	gl	Sig.
0,964	3	0,637
0,750	3	0,500
0,964	3	0,637
1,000	3	1,000

Conclusión: se acepta la hipótesis nula, los niveles de significación asintótica bilateral (0.637, 0.500 y 0.637 y 1.00) obtenidos son mayores que el nivel de significación ( $\alpha = 0.050$ ). por lo tanto: La distribución de la variable Factor de Seguridad no se desvía de la distribución normal, por lo que se debe utilizar una prueba paramétrica para probar la hipótesis.

**Prueba de hipótesis de investigación:**

**H0:** La evaluación geomecánica no permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022.

**H1:** La evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022.

**Tabla 25: Prueba T para comparar una muestra a un valor**

Valor de prueba = 1.5	t	gl	Sig. (bilateral)
-----------------------	---	----	------------------

F.S0	-19,053	2	0,003
FS1	-8,693	2	0,013

Para un 95% de nivel de confianza se rechaza la  $H_0$ , es decir se asevera que: La evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022.

## CONCLUSIONES

Los macizos rocosos a lo largo del eje del túnel se dividen en macizos rocosos de alto grado tipo II, normal III-A y normal III-B según RMR 89 y la clasificación GSI aplicable a MYSRL. Posee los siguientes soportes: Para Bien Tipo II; hormigón proyectado 2" Los tornillos de fijación divididos y reforzados con fibra sintética tienen 8" de largo, con una separación de 1,7 m en una disposición cuadrada. Clase de especificación III-A; hormigón proyectado de 2 pulgadas. Reforzado con fibras sintéticas y pernos Split Set, de 8 pies de largo, separados 1,5 m, dividido en escuadra, acondicionado Tipo III-B; Tornillos de fijación partidos y reforzados con fibra sintética de 2" de hormigón proyectado de 8 pies de largo, con una separación de 1,2 m, diseño cuadrado.

La investigación, las pruebas y el análisis con el software Phase2 v 8.0 nos han demostrado un rendimiento estable del túnel con soporte recomendado con un factor de seguridad superior a 1,50, lo que garantiza su rendimiento durante toda su vida útil.

El control de calidad del soporte instalado en el túnel se realizó mediante ensayos de tracción de pernos Split Set resultando una resistencia a la tracción promedio de 8 TN y ensayos de compresión simple de hormigón en bruto donde la resistencia última es superior a 35 MPa en 28 días. Estos resultados aseguran el desempeño de los elementos utilizados en el soporte.

Aunque estos estándares nos brindan buenas referencias de soporte, solo deben usarse como una guía, ya que el diseño del soporte siempre debe basarse en las condiciones locales y la evaluación del macizo rocoso. Los contrafuertes en las intersecciones son siempre más pesados debido a la forma de cuña de la corona y al área más grande expuesta a esfuerzos y degradación.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomiendan mediciones de convergencia en diferentes puntos para medir la deformación del túnel debido a la fuerza aplicada.

El diseño de mezcla recomendado es de 350 kg/cm<sup>2</sup> para lograr de manera óptima una resistencia máxima del concreto de 35 Mpa después de 28 días.

Se recomiendan voladuras controladas en el frente de avance para evitar daños secundarios al macizo rocoso y controlar rupturas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAÑAPATAÑA , A. (2019). Determinación de las condiciones del macizo rocoso en la profundización del avance en la zona esperanza del nivel 23 mediante un análisis geo mecánico en la unidad minera americana de Cia. Minera Casapalca. *para obtener el titulo de ingeniero de minas*. Repositorio institucional UNA, Puno. Obtenido de <https://1library.co/document/zgw26k6y-determinacion-condiciones-profundizacion-esperanza-analisis-geomecanico-americana-casapalca.html>
- Díaz, Menchaca, Rocabrano, & Uchururtu. (2019). *Influencia de un aditivo natural (mucílago de nopal) en las propiedades electroquímicas del acero de refuerzo del concreto*. Mexico, Mexico, Mexico. doi:<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.429>
- Estrella, S. A. (2016). *Estudio de un material compuesto a base de fibras naturales de cabuya para mejorar las propiedades mecánicas de elementos de concreto reforzado*. Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Julio. (2012,p.165).
- MERCHAN, J., & SANCHEZ, D. (2013). Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos Las Victorias. *Pra optar el titulo de ingeniero civil*. Repositorio intitucional Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4307/3/tesis.pdf>
- MORALES, M. (2009). Caracterización Geotécnica y Determinación de Ángulos de Talud en Yacimiento Franke. *para optar el titulo de ingeniero civil de minas*. Repositorio institucional Universidad de Chile, Santiago. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103406>
- NTP 339.033. (2015). *Concreto. Práctica normalizada para la elebaoracion y curado de especímenes de concreti en campo*. Lima: INACAL.
- NTP 339.18. (2013). *Agregado. Metodo de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.012. (2013). *Agregados. Analisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.021. (2013). *Agreagados. Métopod de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa ( peso específico) y absorción del agregado grueso*. Lima: INDECOPI.



- NTP 400.022. (2013). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado fino*. Lima: INDECOPI.
- PANTALEON, H., & CARBAJAL, C. (2017). Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea. *para optar el título de ingeniero de minas*. Repositorio institucional PUCP, Lima. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8689>
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Temas de tecnología de concreto en el Perú*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Primo, C. (2014). *Efecto de la adición de extracto de paleta de tuna (Opuntia Ficus-Indica) en la resistencia a compresión del concreto*. Repositorio institucional Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2846554>
- RINCON, B. (2016). Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi municipio de Gámeza Boyacá. *para optar el título de ingeniero geólogo*. Repositorio institucional universidad pedagogica y tecnologica de Colombia, Boyacá. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/217560616.pdf>
- Rivva. (2013, p .42). *diseño de mezclas*.
- SOTO, A. (2016). Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca – Ollachea, Puno. *para optar el grado de ingeniero de minas*. Repositorio institucional UNA, Puno. Obtenido de <https://library.co/document/y6elvp7z-diseno-sostenimiento-tunel-wayrasencca-ollachea.html>
- SUASNABAR, P. (2019). Análisis técnico para la optimización del sostenimiento en los frentes de la compañía Minera Casapalca S.A. *para optar el título de ingeniero de minas*. Repositorio institucional Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Cerro de Pasco. Obtenido de [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1564/1/T026\\_47344236\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1564/1/T026_47344236_T.pdf)
- THOMAS , C. (2014). Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificación de túneles definidos según métodos empíricos de clasificación geomecánica versus métodos analíticos y numéricos. *Para optar el título de ingeniero de minas*. Repositorio Institucional Universidad de Chile, Santiago. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/132024>

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipotesis general	Variable	Indicadores	Unidad de medida
¿Cómo la evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022?	Conocer como la evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022.	La evaluación geomecánica permite determinar en el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022.	Evaluacion geomecánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clasificacion RMR</li> </ul>	%
<b>Problema especificos</b>	<b>Objetivos especificos</b>	<b>Hipotesis especificos</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Clasificacion GSI</li> </ul>	Rangos Estructurales
¿Cual es la calidad del macizo rocoso según las clasificaciones geomecánicas de RMR y GSI, que gobiernan el macizo rocoso en túnel de integración Animon – Islay, 2022?	Determinar la calidad del macizo rocoso según las clasificaciones geomecánicas de RMR y GSI, que gobiernan el macizo rocoso en túnel de integración Animon – Islay, 2022.	La calidad del macizo rocoso según las clasificaciones geomecánicas de RMR y GSI, que gobiernan el macizo rocoso influyen significativamente en el diseño de sostenimiento en túnel de integración Animon – Islay, 2022.		<ul style="list-style-type: none"> <li>Propiedades físico mecánicas de la roca</li> </ul>	MPa
¿Cómo influyen las propiedades físico . mecánicas del maciso recoso en el sostenimiento instalado en labores subterráneas del túnel de integración Animon – Islay, 2022?	Evaluar cómo influyen las propiedades físico . mecánicas del maciso recoso en el sostenimiento instalado en labores subterráneas del túnel de integración Animon – Islay, 2022.	Las propiedades físico . mecánicas del maciso recoso influyen significativamente en el sostenimiento instalado en labores subterráneas del túnel de integración Animon – Islay, 2022.	Diseño de sostenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño de sostenimiento</li> </ul>	-----
¿Cuál es el resultado del factor de seguridad que garantiza la estabilidad de las excavaciones subterráneas mediante software Phase2, en túnel de integración Animon – Islay, 2022?	Determinar cual es el resultado del factor de seguridad que garantiza la estabilidad de las excavaciones subterráneas mediante software Phase2, en túnel de integración Animon – Islay, 2022.	El resultado del factor de seguridad resulta superior a 1 y garantiza la estabilidad de las excavaciones subterráneas mediante software Phase2, en túnel de integración Animon – Islay, 2022.		<ul style="list-style-type: none"> <li>Factor de seguridad</li> </ul>	Adimensional

Anexo 2: Ficha de mapeo geomecanico

**MAPEO GEOMECANICO**

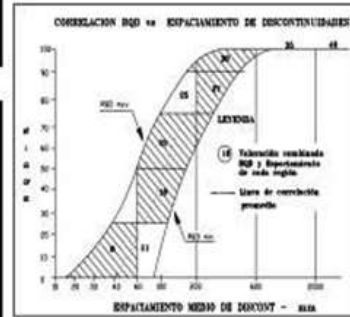
LUGAR: Niwa 3750  
 LABOR: \_\_\_\_\_  
 SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA Nro: \_\_\_\_\_  
 POR: \_\_\_\_\_  
 FECHA: \_\_\_\_\_

Nº	ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO	
	ESTACION	RUMBO	INCLINACION	DESDE	HASTA	
	A	%	B	%		
NOTA	TIPO	ORIENTACION	ESPAC.	PERPENDIC.	APERT.	FUGOS
NUM.	ESTRUC.	DIR.	DIR.	(mm)	(mm)	(mm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

CLASIFICACION RMR DE BIENIASWSKI (1989)								
PARAMETRO	RANGO DE VALORES					VALORACION		
	R.D.	R.I.	R.P.	R.F.	R.S.	R.T.	R.U.	R.V.
R. COMPRESION UNIAZIAL (Mpa)	>250	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25(2) <5(1) <4
RQD %	90-100	75-90	20	50-75	13	25-50	8	<20
ESPACIAMIENTO (m)	<2	2	3	2.2-2.8	10	2.2-2.8	8	<0.25
CONDICION DE JUNTAS	RESISTENCIA	>1m long.	0	1-2 m Long.	4	3-10m	3	10-20 m
APERTURA	Carada	<0.1mm apart.	5	0.1-1.0mm (4)	4	1-5 mm	1	> 5 mm
RUGOSIDAD	Muy rugosa	5	Rugosa	3	Lig. rugosa	3	Lisa	1
DE JUNTAS	Limpia	5	Duro < 5mm	4	Duro > 5mm	2	Slacks < 5 mm	2
INTERFERENCIA	Saca	5	Lig. interlame	5	Med. interlame	3	Muy interlame	2
AGUA SUBTERRANEA	Seca	15	Humedo	10	Humedo	7	Carso	4
VALOR RMR BASICO								
DIRCCION Y BILZAMIENTO	Muy Favorable	Favorable		Medio	Desfavorable		Muy Desche	
TUNELES	0		-2	-5	-10		-12	
VALOR RMR CORREGIDO								
RMP	100 - R1	80 - R1	60 - R1	40 - R1	20 - R1			
DESCRIPCION	I - MUY BUENA	II - BUENA	III - REGULAR	IV - MALA	V - MUY MALA			

GRADO	ESCALA RMR	UCS (Mpa)
R1 ROCA MUY BLANDA	SE DESMORONA BAJO GOLPES FIRMS CON LA PUNTA DEL MARTILLO DE GEOLOGO. PUEDE SER DESCASCARADO POR UNA NAVAJA.	1 - 5
R2 ROCA BLANDA	PUEDE SER DESCASCARADO POR UNA NAVAJA CON DIFICULTAD. INDENTACIONES SUPERFICIALES SE HACEN POR UN GOLPE FIRME CON LA PUNTA DEL MARTILLO DE GEOLOGO.	5 - 25
R3 ROCA MOD. DURA	NO PUEDE SER RAYADO CON UNA NAVAJA. EL ESPECIMEN PUEDE SER FRACTURADO CON UN SIMPLE GOLPE DEL MARTILLO DE GEOLOGO.	25 - 50
R4 ROCA DURA	EL ESPECIMEN REQUIERE MAS DE UN GOLPE DEL MARTILLO DE GEOLOGO PARA FRACTURARSE.	50 - 100
R5 ROCA MUY DURA	EL ESPECIMEN REQUIERE DE MUCHOS GOLPES DEL MARTILLO DE GEOLOGO PARA FRACTURARSE.	100 - 250
R6 ROCA EXTR DURA	SOLO SE ASTILLA BAJO GOLPES REPETIDOS DEL MARTILLO DEL GEOLOGO.	> 250



Abrev. Roturas

Dp	Fractura
Ca	Carada
Ac	Arrollada
Cr	Cuarzo
Ca	Carso











Abrev. Tipo de Estructura

SJ	Sistema de juntas
HJ	Jointes Horizontales
PI	Falla
SI	Estriado

**CROQUIS**

Área para el croquis de mapeo geomecánico.

**Anexo 3: Simbología cromática por calidad de roca (Osinergmin, 2017)**

Categoría		RMR	Código de Colores	Descripción
I	I-A	91-100		Roca muy buena I-A
	I-B	81-90		Roca muy buena I-B
II	II-A	71-80		Roca buena II-A
	II-B	61-70		Roca buena II-B
III	III-A	51-60		Roca regular III-A
	III-B	41-50		Roca regular III-B
IV	IV-A	31-40		Roca mala IV-A
	IV-B	21-30		Roca mala IV-B
V	V-A	11-20		Roca muy mala V-A
	V-B	0-10		Roca muy mala V-B

## Anexo 4: Ficha técnica de pernos

 <p>FABRICACIONES SAC</p>	<p><b>FICHA TECNICA</b></p> <p><b>PERNO ANCLAJE SPLIT SET</b></p>	<p>HF FABRICACIONES SAC          Av. Los Faisanes 153 J501          La Campiña Chorrillos.          Teléfono: (01) 252-7655          Email: <a href="mailto:ventas@hffabricaciones.com">ventas@hffabricaciones.com</a>          Web: <a href="http://www.hffabricaciones.com">www.hffabricaciones.com</a></p>
--	---	---

### FICHA TECNICA DEL SPLIT SET

#### DESCRIPCION

Tubo de acero ranurado en toda su longitud y en donde uno de sus extremos es conecado para facilidad e ingreso inicial del perno y en el otro extremo lleva un anillo soldado para mantener fija la placa luego de su instalación en el macizo rocoso. Usado como sostenimiento temporal y que actúa por fricción generando una presión radial en toda su longitud luego de su instalación.



#### CARACTERISTICAS DEL TUBO

Norma: Acero ASTM A-607 Grado 60 o similar  
 Presentaciones: En fierro negro y a solicitud del cliente galvanizados  
 Resistencia a la fluencia (MPa) : 450  
 Resistencia a la tensión (MPa) : 560  
 Elongación (%) : 20

**MATERIAL PLACA DE SUJECION:** Acero Calidad ASTM A 36  
 Espesor (mm) : 4.50 mm  
 Placa Cuadrada (mm) : 150 mm  
 Diámetro del agujero (mm) : 42 mm

#### MAQUINAS PARA SU INSTALACION

Maquina Jackleg o  
 Maquina Jumbo  
 Presión Aire: 60 – 80 Psi

#### DATOS TECNICOS

Capacidad de anclaje: 1.0 a 1.5 Ton/pie  
 Diámetro de la perforación : 35 a 37 mm.

 <p>FABRICACIONES SAC</p>	<b>FICHA TECNICA</b> <b>PERNO ANCLAJE SPLIT SET</b>	HF FABRICACIONES SAC Av. Los Faisanes 153 J501 La Campiña Chorrillos. Teléfono: (01) 252-7655 Email: <a href="mailto:ventas@hffabricaciones.com">ventas@hffabricaciones.com</a> Web: <a href="http://www.hffabricaciones.com">www.hffabricaciones.com</a>
--	--	--

**SUMINISTRO**

Paquetes de 200 unidades

PRINCIPALES DIMENSIONES	
Diámetro base	40 mm $\pm 0.5$
Diámetro de ahusamiento	32mm
Espesor del material	2.5mm $\pm 0.2$
Longitud de ahusamiento	60mm

LONGITUDES SUMINISTRADAS	
4'	1,200 mm
5'	1,500 mm
6'	1,800 mm
7'	2,100 mm
8'	2,400 mm
10'	3,000 mm


**PLACA DE SUJECION DEL SPLIT SET**



## Ficha Técnica Perno de Fortificación



El perno de fortificación producido por CAP ha sido diseñado para reforzar y preservar la resistencia natural que presentan los estratos rocosos, suelos o taludes. Consiste en una barra de acero con resaltes en forma de hilo helicoidal de amplio paso que actúa en colaboración con un sistema de fijación formado por una placa perforada de acero y una tuerca.

### NORMA ASTM A615

GRADO	DIÁMETRO (mm)	CARGA RUP.TURA (kg)	ALARGAMIENTO (%)
GR.40	19	12.500	12
	22	16.500	12
	25	21.000	12
GR.60	19	18.000	8
	22	24.000	8
	25	31.000	8
GR.75	19	20.000	/
	22	27.000	/
	25	34.500	/

### NORMA ASTM A706

GRADO	DIÁMETRO (mm)	CARGA RUP.TURA (kg)	ALARGAMIENTO (%)
GR.60	22	21.500	12
	25	27.500	12
GR.80	22	27.000	12
	25	35.000	12

### NORMA NCh-204

GRADO	DIÁMETRO (mm)	CARGA RUP.TURA (kg)	ALARGAMIENTO (%)
A440	19	13.000	16
	22	17.000	16
	25	22.000	16
A630	19	18.500	8
	22	24.500	8
	25	31.500	8

### GRADOS DE RESISTENCIA

Los pernos de fortificación poseen características mecánicas equivalentes a las barras para refuerzo de hormigón armado y se fabrican en diferentes calidades según las normas.

### DIÁMETROS

Los diámetros nominales son 19, 22 y 25 mm.  
Otros diámetros sujetos a consulta.

### LARGOS

Se suministran solo rectos, en largos a pedido con un máximo de 12 m.  
Largos diferentes pueden ser suministrados sujetos a una consulta previa.

### COMPOSICIÓN QUÍMICA

Se producen en base a aceros al carbono, pudiendo tener pequeñas adiciones de elementos **microaleantes**, tales como el Nb, V u otros, para los grados de mayor resistencia.

### ÚNICOS CON TRAZABILIDAD EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN

CAP, comprometido con la confiabilidad de los procesos y sobre todo con la **SEGURIDAD** de las personas que laboran en la minería, ofrece la posibilidad de incorporar la trazabilidad de la barra.



## Anexo 5: Diseño de mezcla en el Shotcrete

		Diseño de mezclas de shotcrete via humeda Proyecto Tunel de Integración Animon - Islay				AREA DE GEOMECANICA						
Fecha	<input type="text" value="03.01.18"/>	Nombre Proyecto	<input type="text" value="CHAQUICOCHA UG"/>									
Diseño	<input type="text" value="350 kg/cm²"/>	N° Expediente	<input type="text"/>									
Relación a/c	<input type="text" value="0.400"/>	Slump pulgadas	<input 8"="" a="" type="text" value="6"/>									
Relación AF : AG	<input type="text" value="-"/>	Volumen de Prueba (m3)	<input type="text" value="1.0000"/>									
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE PRUEBA</b>												
M.F. Arena	<input type="text" value="0.00"/>	Vol. Agregados	<input type="text" value="0.57"/>	Cementante total	:	<input type="text" value="510"/> kg						
M.F. Piedra # 67	<input type="text" value="0.00"/>	Ag Global	<input type="text" value="100"/> %	Microsilica	:	<input type="text" value="0"/> %						
M.F. Piedra # 56	<input type="text" value="0.00"/>	0	<input type="text" value="0"/> %	Dosificación								
M.F. Global	<input type="text" value="0.00"/>	0	<input type="text" value="0"/> %	plastificante	=	<input type="text" value="0.5"/> % = <input type="text" value="2.50"/> KG <b>Cal 1.13</b>						
		Agregados	<input type="text" value="100"/> %	aceletante	=	<input type="text" value="4.9"/> % = <input type="text" value="25.00"/> KG <b>4.72</b>						
				fibra	=	<input type="text" value="0.8"/> % = <input type="text" value="4.00"/> KG						
MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m³	VOL. %	VOL. %	PESO S.S.S. kg/m³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	DOSIFICACION		
										m3	m3	unio.
Cemento	CEMENTO PACASMAYO	3160			510	0.1614	16.1392	510	510	510	1530	kg
Microsilica		2200			0	0.0000	0.0000	0	0.0	0	0	kg
Agua	MNA	1000			190	0.1900	19.0000	207	113	113	340	kg
Ag Global	HUAMBOCANCHA	1667	6.00	1.10	1567	0.5656	56.5623	943	1667	1667	5001	kg
		0	0.00	0.00	0	0.0000	0.0000	0	0	0	0	kg
		0	0.00	0.00	0	0.0000	0.0000	0	0	0	0	kg
plastificante	DBASSF	1080			2.50	0.0023	0.2314	2.50	2.50	2	7	lit
aceletante	DBASSF	1500			25.00	0.0167	1.6667	25.00	25.00	25	75	lit
fibra	ELASTO PLASTIC	1000			4.00	0.0040	0.4004	4.00	4.00	4	12	kg
Aire					6.00%	0.0600	6.0000					
TOTAL					2299	1.0000	100.0000		2322	2322	6965	



**UNSCH**FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### ACTA N° 047-2023-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 241-2023-FIMGC-D**, siendo los veinte días del mes de junio del 2023, a horas 8:00 am.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Mg. Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ**, Jurado el **Msc. Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO**, Jurado - Asesor el **Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada titulado: “**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL DE INTEGRACIÓN ANIMÓN - ISLAY, 2022**”, presentado por el/la Sr./Srta., **Alfredo GUTIERREZ MENDIVIL**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería de Minas**.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por  
Efraín Elías Porras Flores  
Fecha: 2023.07.11  
05:17:44 -05'00'

**Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**  
Presidente



Firmado digitalmente  
por Dr. Johnny Henry  
Ccatamayo Barrios  
Fecha: 2023.06.20  
11:17:26 -05'00'

**Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS**  
Jurado Asesor



Firmado digitalmente por Mg.  
Ing. José Agustín Esparta  
Sánchez  
Fecha: 2023.06.20 10:39:25  
-05'00'

**Mg. Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ**  
Jurado



Firmado  
digitalmente por  
Mg. Ing. Roberto J.  
Gutierrez Palomino

**Msc. Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO**  
Jurado

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Secretario del Proceso  
Departamento Académico de Matemática y Física





**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### CONSTANCIA N° 044-2023-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 281-2022-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : GUTIERREZ MENDIVIL, Alfredo  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA DE MINAS  
**Título de la Tesis** : “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL DE INTEGRACIÓN ANIMÓN - ISLAY, 2022”  
**Evaluación de la Originalidad** : 27 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 2116773833

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 15 de junio del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**

Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
Departamento Académicos de Matemática y Física

Con depósito para Sustentación y Tramites  
Cc. Archivo

# “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL DE INTEGRACIÓN ANIMÓN - ISLAY, 2022”

*por* Alfredo Gutierrez Mendivil

---

**Fecha de entrega:** 15-jun-2023 01:01p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2116773833

**Nombre del archivo:** Tesis\_ALFREDO\_GUTIERREZ\_MENDIVIL\_EPIM.pdf (3.55M)

**Total de palabras:** 12658

**Total de caracteres:** 80697

# "EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL DE INTEGRACIÓN ANIMÓN - ISLAY, 2022"

## INFORME DE ORIGINALIDAD

27%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

18%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	15%
2	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	10%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo