

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA 0644S, NIVEL 3 DEL PROYECTO GIOCONDA, U.M. NEBRASKA, DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY, ANCASH, 2023**

**PRESENTADO POR:**

Br. JAVIER JUBALDO PERALTA AZURIN

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO GEÓLOGO**

**ASESOR:**

Ing. VICTOR VIDAL GARATE GONGORA

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada:  
ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERIA 06445,  
NIVEL 3 DEL PROYECTO GIOCONDA, U.M. NEBRASKA, DISTRITO Y PROVINCIA DE  
PECUAY, ANCASH, 2023

presentado por: JAVIER JUBALDO PERALTA AZULÍN con DNI Nro.: 46245425

presentado por: ..... con DNI Nro.: .....

para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEÓLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el software Antiplagio, conforme al Art. 6° del reglamento para Uso de sistema Antiplagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8...%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (x)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones	
Mayor al 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera pagina del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 09 de octubre del 2024

Firma

Post firma Victor Sorete Snyoriz

Nro. De DNI 29390015

ORCID del Asesor 0000-0002-4296-6482

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:390548418 ✓

NOMBRE DEL TRABAJO

**Estudio Geológico y Geomecánico del M  
acizo Rocosó de la Galería 06445**

AUTOR

**Peralta, Javier**

RECUENTO DE PALABRAS

**44413 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**244533 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**235 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**8.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Oct 9, 2024 10:15 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Oct 9, 2024 10:18 PM GMT-5****● 8% de similitud general**

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

- 8% Base de datos de trabajos entregados

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- Material bibliográfico
- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado a mis padres Julián y Antonia por su amor, dedicación y apoyo; A mi madre Antonia por su fortaleza y determinación de creer en el futuro de sus hijos y a mi padre Julián por los valores inculcados, cultura de trabajo y estudio en la búsqueda de la verdad mediante el conocimiento que nos hará libres.*

*A mis hermanos Cesar y Antonio su esposa Patricia y mi sobrino Andrew; A mi hermano Antonio por su liderazgo personal innato, apoyo y compañía incondicional desde mi formación profesional, concepción, seguimiento y la finalización de este trabajo de tesis; Así como por su motivación para cumplir mis metas y proyectos de vida.*

*Mi gratitud hacia ustedes es inmensa e imposible de detallar completamente.*

***Javier Jubaldo Peralta Azurín.***



## AGRADECIMIENTOS

Con estima y cariño a mis padres y hermanos que siempre me brindan su compañía y apoyo incondicional para cumplir mis metas, algunos familiares que siempre me han motivado a crecer profesional y personalmente.

Con estima y respeto extendiendo mis agradecimientos al Ing. Geol. Gustavo D. Anaya superintendente de Geología de Cia. Minera Lincuna y al Ing. Min. Abraham Sagua jefe de operaciones del proyecto Gioconda por su apoyo y consecución de este trabajo de tesis.

Con estima a mis amigos fraternales Lic. Arturo Medrano y esposa Lic. Teresa Ñuflo y El Dr. Arnaldo Huaricayo y esposa Lic. Ana María Solís por sus consejos, motivaciones y apoyo.

Mi gratitud y respeto a mi alma mater Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Geológica en especial a mi Asesor Ing. Víctor Vidal Garate Góngora por sus recomendaciones, comentarios abordados y a mis dictaminantes: El Mgt. Ing. José Dionicio Cárdenas Roque, Ing. Mauro Zegarra Carreón, Ing. Edison Mattos Ojeda y docentes Mgt. Ing. Félix Alejo Leon Miranda Gastañaga, Dr. Lauro Enciso Rodas, y en paz descansa El Mgt. Ing. Edgar Huacallo Pacheco ¡gracias a todos! por sus consejos motivacionales sobre la vida, el desarrollo profesional y académico, constructivos comentarios y aportes que han sido piezas clave para la consolidación de este trabajo.

A mis amigos de la universidad que me apoyan de alguna u otra forma y amigos del proyecto Gioconda Ing. Llinder Rosario, Ing. Luis E. Álvarez, Laban Bazán en paz descansa que hemos encontrado mucha afinidad de amistad que se mantiene a la actualidad.

A cada uno de ustedes, por su invaluable contribución en este viaje académico y profesional.



## NOMENCLATURA DE SIMBOLOGÍAS, ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS,

### UNIDADES Y TÉRMINOS

#### SIMBOLOGÍAS

Az	Azimut.
BM	Bocamina.
Bz	Buzamiento.
CuEq	Cobre equivalente.
E-W	Este – Oeste.
GL	Galería.
GL-0644S	Galería 0644 hacia el sur.
HD	Hastial derecho.
HI	Hastial izquierdo.
N	Norte.
NE	Nor – Este.
NW	Nor – Oeste.
( $\sigma_n$ )	Tensión normal.
Pb	Plomo.
( $\sigma_{ci}$ ) o (sigci)	Resistencia a compresión uniaxial.
Rb	Rumbo.
RP	Rampa.
S	Sur.
Su	Cohesión de roca dúctil.
SW	Sur – Oeste.



Tch	Techo de labor.
XC	Crucero.
Zn	Zinc.
$\gamma$	Densidad de la roca.
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Esfuerzos principales (E.P.)
$\sigma_z \sigma_x \sigma_y$	$\sigma_z \sigma_x \sigma_y$ (E.P.)
$\tau$	Tensión tangencial.
$\lambda$	Densidad de juntas.
Deg	Grados

### **ABREVIATURAS**

Cia.	Compañía
Ec.	Ecuación
F.S.	Factor de seguridad
Fm.	Formación
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
Nro.	Número
S.A.	Sociedad Anónima
U.M.	Unidad Minera



## ACRÓNIMOS

GSI	Geological Strenght Index
ISRM	Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas
MRMR	Mining Rock Mass Rating
Q	Index rock tunnling quality
RMR	Rock Mass Rating
RMR89	Clasifcation Rock Mass Rating desarrollado el año 1989
RQD	Rock Quality Designation
UTM	Universal Transversal Mercator

## UNIDADES

°	Grados sexagesimales
GPa	Giga Pascales
Has	Hectáreas
Km	kilómetros
KPa	Kilo Pascales
mm	milímetros
MPa	Mega Pascales
mL	metros lineales
mts	metros
m	metro





## TERMINOLOGÍA

Bloque de terreno a superficie	Cabeza o cota
Bloque de terreno por niveles	Puente
Claro	Longitud libre y sin sostenimiento de una labor
Discontinuidades geomecánicas	Fisuras, diaclasas, juntas, fracturas
Discontinuidades geológicas	Vetas, fallas, vetas-falla, contacto, estratos
Discontinuidades en familias	Set, juego, sistemáticas
Discontinuidades singulares	Aleatorias, atípicas, individuales
Flexión	Pandeo del techo
Macizo rocoso	Masa rocosa, macizo, macizo global
Matriz rocosa	Roca, roca intacta, bloque rocoso
Tensión	Rotura por tracción
Valuación	Valoración de parámetros e índices
Unificación	Estandarización de sostenimientos
Fallas planares	Discontinuidades geológicas, singulares
Fallas lineales	Discontinuidades geomecánicas, sistemáticas



## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla en el proyecto Gioconda, unidad minera Nebraska, un prospecto de la Compañía Minera Lincuna S.A. perteneciente a la concesión minera Gioconda que abarca 20 Ha de extensión a una altitud sobre los 4660 m.s.n.m. ubicado al centro y norte del Perú del distrito y provincia de Recuay, departamento de Ancash, al sur de la capital, Huaraz; Se localiza en el extremo Este de la Cordillera Negra que forma parte de la gran unidad geomorfológica, Cordillera Occidental, actualmente se extraen menas de mineral polimetálico de Pb-Ag-Zn (CuEq).

El objeto de estudio se centra en el macizo rocoso de una galería principal tipo operativa que cuenta con 240 mL de avance considerada como una labor piloto de exploración en el nivel 3 hacia el Sur, en adelante GL-0644S, el cual se pretende caracterizar geológica y geomecánicamente a detalle con factores geológicos de contexto que condicionan su comportamiento, parámetros e índices geomecánicos por la técnica de mapeo por ventanas geomecánicas de los sistemas de clasificación RMR89 de Bieniawski y Q de Barton et. al, 1974 relacionado al MRMR y RQD levantados en afloramientos rocosos por  $m^3$  (Jv) con análisis y modelación numérica por elementos finitos para el estandarizado de sostenimientos.

El macizo rocoso de la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda se zonifica en tres zonas de calidad: Regular (IIIA), (IIIB) y mala (IVA); El dominio tensional favorece el diseño de una excavación en forma de herradura con diseños de sostenimientos mixtos y sistemáticos en forma de rombos con pernos de fricción “Split set” de 7 pies y expansivos “Swellex” de 8 pies de longitud más malla electrosoldada y concreto lanzado en zonas puntuales.

**Palabras clave:** Caracterización, galería piloto, estandarizado, zonificación, dominio, sostenimiento.



## ABSTRACT

The present document is carried out within the Gioconda project, Nebraska mining unit, a prospect of the Compañía Minera Lincuna S.A., belonging to the Gioconda mining concession, which covers 20 hectares of land at an altitude over 4660 meters above sea level. It is located in the central-northern region of Peru, in the district and province of Recuay, Ancash department, south of the capital, Huaraz. It is situated at the eastern end of the Cordillera Negra, which is part of the larger geomorphological unit, the Western mountain range. Currently, polymetallic ore containing Pb-Ag-Zn (CuEq) is being extracted.

The object of study focuses on the rock mass of a main operational type excavation that has 240 mL of advance considered as a pilot exploration work at level 3 towards the South, from now on GL-0644S, which is intended to be geologically characterized. and geomechanically in detail with geological context factors that condition its behavior, parameters and geomechanical indices by the geomechanical window mapping technique of the RMR89 classification systems of Bieniawski and Q of Barton et. al, 1974 related to the mining RMR y RQD lifted in rock outcrops per m<sup>3</sup> (Jv) with analysis and numerical modeling by finite elements for the standardization of supports.

The rock mass of GL-0644S, level 3 of the Gioconda project, is divided into three quality zones: Fair (IIIA), (IIIB), and poor (IVA). The stress domain favors the design of a horseshoes excavation with mixed and systematic support designs in a diamond pattern, using 7-foot friction bolts (“Split set”) and 8-foot expansion bolts (“Swellex”), in addition to welded wire mesh and shotcrete in specific areas.

**Keywords:** Characterization, pilot excavation, standardization, zoning, domain, support



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	xxvi
CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES .....	27
1.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD .....	27
1.1.1. UBICACIÓN POLITICA .....	27
1.1.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	27
1.1.3. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA .....	27
1.1.4. ACCESIBILIDAD .....	30
1.1.5. EXTENSIÓN .....	33
1.1.6. RELIEVE Y ELEVACIÓN .....	35
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	35
1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	35
1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	36
1.2.2.1. PROBLEMA GENERAL:.....	36
1.2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS:.....	36
1.3. OBJETIVOS .....	37



1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	37
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	37
1.4. HIPÓTESIS.....	37
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	37
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:.....	38
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	38
1.6. VARIABLES .....	39
1.6.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	39
1.7. METODOLOGÍA .....	40
1.7.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: .....	40
1.7.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN: .....	40
1.7.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	41
1.8. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....	44
2.1. ANTECEDENTES .....	44
2.2. CONCEPTOS BÁSICOS .....	49
2.3. BASES TEÓRICAS.....	54
2.3.1. MARCO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL.....	54
2.3.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....	58



2.3.2.9. LITOLOGÍA DE ROCAS VOLCÁNICAS DEL GRUPO CALIPUY .....	61
2.3.3. MARCO GEOTECTÓNICO REGIONAL .....	65
2.3.3.1. EL SISTEMA ANDINO .....	65
2.3.4. MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL REGIONAL .....	70
2.3.5. MARCO TEÓRICO DE LA GEOMECÁNICA DE ROCAS.....	73
2.3.5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA .....	73
2.3.5.1.1. INDICES DESCRIPTIVOS.....	74
2.3.5.1.2. INDICES SEMICUANTITATIVOS .....	80
2.3.5.2. RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE LA ROCA.....	82
2.3.5.3. CRITERIOS DE ROTURA .....	83
2.3.5.3.1. CRITERIO DE ROTURA DE MOHR – COULOMB .....	83
2.3.5.3.2. CRITERIO DE ROTURA DE HOEK Y BROWN .....	85
2.3.6. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DEL MACIZO ROCOSO .....	86
2.3.7. MEDICIÓN DE TENSIONES IN-SITU .....	88
2.3.8. DISTRIBUCION DE ESFUERZOS ALREDEDOR DE EXCAVACIONES ...	91
2.3.9. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MACIZO ROCOSO.....	93
2.3.9.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA INTACTA .....	94
2.3.9.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ...	94
2.3.9.2.1. AFLORAMIENTO ROCOSO.....	94



2.3.9.2.2. ESTACIONES GEOMECÁNICAS .....	95
2.3.10. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO .....	96
2.3.10.1. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO .....	96
2.3.10.1.2. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS .....	98
2.3.10.1.3. PARÁMETROS DE INFLUENCIA .....	99
2.3.11. CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS DE MACIZOS ROCOSOS .....	102
2.3.11.1. ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA, RQD .....	102
2.3.11.2. CLASIFICACIÓN RMR .....	105
2.3.11.3. SISTEMA MRMR (Mining Rock Mass Rating) .....	112
2.3.12. DISEÑOS DE SOSTENIMIENTO EN EXCAVACIONES .....	126
2.3.12.1. DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN ROCAS MASIVAS .....	126
2.3.12.2. DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN ROCAS ESTRUCTURALES .....	127
2.3.12.3. DISEÑO SISTEMÁTICO .....	129
2.3.12.4. DISEÑO PUNTUAL .....	130
2.3.13. TIPOS DE SOSTENIMIENTOS .....	131
2.3.13.1. SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO .....	132
2.3.13.1.1. SISTEMA DE SOSTENIMIENTO ACTIVO .....	132
2.3.13.1.2. SISTEMA DE SOSTENIMIENTO PASIVO .....	135
2.3.14. INSTALACIÓN DEL SOSTENIMIENTO .....	139



CAPITULO III. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO.....	141
3.1. GEOMORFOLOGÍA LOCAL. ....	141
CAPITULO IV. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	145
4.1. LITOESTRATIGRAFÍA .....	145
4.1.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	145
CAPITULO V. CONTEXTO GEOTECTÓNICO .....	148
5.1. GEOTECTÓNICA LOCAL. ....	148
CAPITULO VI. CONTEXTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL.....	151
6.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL.....	151
CAPITULO VII. GEOMECÁNICA DE ROCAS .....	155
7.1. CONTROL DE MUESTRAS PARA LABORATORIO.....	156
7.1.1. SELECCIÓN DE MUESTRAS .....	156
7.2. ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO .....	157
7.2.1. ENSAYOS DE LABORATORIO .....	157
7.2.1.1. ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS .....	157
7.2.1.2. ENSAYO DE CARGA PUNTUAL PARA LA RESISTENCIA.....	158
7.2.2. ENSAYOS DE CAMPO O IN-SITU .....	158
7.2.2.1. ENSAYO DE ÍNDICES DE CAMPO (MARTILLO DE GEÓLOGO).....	158
7.3. CARACTERIZACION DE LA MATRIZ ROCOSA.....	159





7.3.1. ÍNDICES SEMICUANTITATIVOS DE LA ROCA .....	164
7.3.2. ÍNDICES CUANTITATIVOS DE LA ROCA.....	165
7.4. MEDICIÓN DE ESFUERZOS IN SITU.....	170
7.4.....	174
CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO .....	174
7.4.1. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA EN AFLORAMIENTOS ROCOSOS .....	175
7.4.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO EN SUPERFICIE .....	175
7.4.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO EN MINA.....	177
7.4.2. ANÁLISIS GEOLÓGICO, ESTRUCTURAL Y CINEMÁTICO DE LAS DISCONTINUIDADES .....	179
7.5. ZONIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO .....	193
CAPITULO VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	195
8.1. RESULTADOS.....	195
8.1.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS GEOLÓGICO, ESTRUCTURAL Y CINEMÁTICO .....	207
8.1.2. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA ROCA INTACTA Y EL MACIZO ROCOSO .....	210
8.1.3. ESTIMACIÓN DEL SOSTENIMIENTO .....	215
8.1.3.1. ESTIMACIÓN DE SOSTENIMIENTO SEGÚN EL RMR89 .....	215



8.1.3.2. ESTIMACIÓN DE SOSTENIMIENTO SEGÚN EL ÍNDICE Q.....	216
8.1.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	224
8.2. DISCUSIÓN .....	225
CONCLUSIONES .....	228
RECOMENDACIONES.....	230
BIBLIOGRAFÍA .....	231
WEBGRAFÍA.....	233
APÉNDICE.....	234
ANEXOS .....	235



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación política.....	24
Figura 2. Mapa de ubicación geográfica del proyecto Gioconda.....	25
Figura 3. Mapa de accesibilidad al proyecto.....	28
Figura 4. Vista satelital del proyecto Gioconda.....	30
Figura 5. Mapa morfoestructural regional del proyecto Gioconda .....	52
Figura 6. Influencia de la morfología en la distribución de la tensiones.....	54
Figura 7. Mapa geológico regional del proyecto Gioconda .....	60
Figura 8. Ciclo orogénico del sistema Andino.....	65
Figura 9. Sistema de fallas regionales en el área de estudio.....	66
Figura 10. Mapa estructural regional del proyecto Gioconda.....	68
Figura 11. Tipos texturales básicos de las rocas.....	72
Figura 12. Estructuras principales de las rocas.....	73
Figura 13. Diferencia entre estructura y fabrica de las rocas.....	73
Figura 14. Envoltentes de rotura del criterio de Mohr-Coulomb.....	80
Figura 15. Interpretación del criterio de rotura de Mohr – Coulomb.....	81
Figura 16. Envoltentes de rotura del criterio de Hoek y Brown.....	82
Figura 17. Factor escala desde la matriz hasta el macizo rocoso.....	83
Figura 18. Rango de valores de k en relación a (z).....	85
Figura 19. Mapa de esfuerzos en el Perú.....	86
Figura 20. Valores de k según la orientación del eje mayor de una excavación.....	87
Figura 21. Tensiones en un punto finito de una excavación.....	88
Figura 22. Mecanismos de falla del macizo en profundidad.....	89



Figura 23. Afloramiento natural y artificial de un macizo rocoso.....	91
Figura 24. Estaciones geomecánicas en puntos de interés del terreno.....	92
Figura 25. Esquema de mapeo por ventanas geomecánicas.....	94
Figura 26. Propiedades geomecánicas de las discontinuidades.....	96
Figura 27. Formato normalizado de mapeo geomecánico según el RMR-Q.....	99
Figura 28. Orientación de la excavación respecto a las discontinuidades.....	107
Figura 29. Factores de ajuste en minería según el M-RMR.....	109
Figura 30. Factores que definen al índice Q.....	111
Figura 31. Boceto de los parámetros del sistema Q de un túnel.....	112
Figura 32. Histograma de los parámetros del sistema Q para un túnel.....	113
Figura 33. Tabla de estimación para GSI del macizo rocoso.....	120
Figura 34. Factores influyentes en el GSI.....	122
Figura 35. Forma de arco el techo de las excavaciones en rocas masivas.....	124
Figura 36. Forma esquinada del techo en rocas estructurales.....	125
Figura 37. Pernos sistemáticos en presencia de discontinuidades.....	127
Figura 38. Pernos puntuales en los centros de gravedad de bloques rocosos.....	127
Figura 39. Forma de omega del tubo de “Swellex” antes y después de instalado.....	129
Figura 40. Partes del perno de fricción tipo “Swellex”.....	130
Figura 41. Partes del perno de fricción tipo “Split Set”.....	131
Figura 42. Orientaciones correctas e incorrectas de pernos.....	137
Figura 43. Mapa geomorfológico local Gioconda.....	141
Figura 44. Plano geológico – estructural local del proyecto Gioconda.....	144
Figura 45. Mapa estructural local del proyecto Gioconda.....	151



Figura 46. Diagrama de análisis tensional de bloques rocosos de metasedimentos.....	164
Figura 47. Diagrama de análisis tensional de bloques rocosos de tufos andesíticos.....	165
Figura 48. Parámetros de caracterización geomecánica en superficie según el RMR.....	174
Figura 49. Parámetros de caracterización geomecánica en mina según el RMR.....	177
Figura 50. Plano estructural en planta de mina en la GL-0644S.....	179
Figura 51. Ploteo de polos y rosetas de discontinuidades en superficie.....	181
Figura 52. Densidad de polos y manteos de discontinuidades en superficie.....	182
Figura 53. Familias de fallas planares en superficie.....	183
Figura 54. Fallas en cuña y flexurales en superficie.....	184
Figura 55. Ploteo de polos y rosetas en mina.....	185
Figura 56. Densidad de polos y manteos de discontinuidades en mina.....	186
Figura 57. Familias de fallas planares en mina.....	187
Figura 58. Fallas en cuña y flexurales en mina.....	188
Figura 59. Plano geológico en la GL-0644S.....	189
Figura 60. Plano de zonificación geomecánica de la GL-0644S.....	192
Figura 61. Abaco de Bieniawski para tiempos de autosostenimiento en la GL-0644S.....	200
Figura 62. Comportamiento de los parametros del Q en la zona 1 de la GL-0644S.....	203
Figura 63. Comportamiento de los parametros del Q en la zona 2 de la GL-0644S.....	204
Figura 64. Comportamiento de los parametros del Q en la zona 1 de la GL-0644S.....	204
Figura 65. Resultado del análisis de estabilidad de cuñas en la GL-0644S.....	206
Figura 66. Vista transversal de las cuñas por FEA en la GL-0644S.....	207
Figura 67. Escenarios de concentración de esfuerzos en la GL-0644S y niveles 1 y 2.....	208
Figura 68. Escenario del dominio de esfuerzos principales en la GL-0644S.....	212



Figura 69. Sostenimientos según el índice Q.....	216
Figura 70. Tabla geomecánica de otras unidades mineras de Compañía.....	219
Figura 71. Propuesta de excavación en forma de herradura para la GL-0644S.....	220
Figura 72. Sostenimiento del techo y HI en la GL-0644S.....	221
Figura 73. Plano de estaciones geomecánicas en la GL-0644S.....	



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de la accesibilidad al proyecto Gioconda.....	27
Cuadro 2. Operacionalización de variables del estudio en la GL-0644S.....	35
Cuadro 3. Índices de caracterización de la matriz rocosa.....	70
Cuadro 4. Determinación del color de las rocas.....	71
Cuadro 5. Tamaño de granos de la matriz rocosa.....	71
Cuadro 6. Clasificación de rocas sedimentarias y piroclásticas.....	74
Cuadro 7. Clasificación de rocas metamórficas e ígneas.....	75
Cuadro 8. Grado de meteorización y/o alteración de la masa rocosa.....	76
Cuadro 9. Valores de la resistencia a compresión simple de las rocas obtenidos en campo.....	77
Cuadro 10. Calidad de la roca según el índice RQD.....	101
Cuadro 11. Valoración de la resistencia a compresión simple de la roca.....	102
Cuadro 12. Valoración de la RQD.....	103
Cuadro 13. Valoración del espaciado de las discontinuidades.....	103
Cuadro 14. Valoración de la persistencia de las discontinuidades.....	104
Cuadro 15. Valoración de las aberturas de las discontinuidades.....	104
Cuadro 16. Valoración de la rugosidad de las discontinuidades.....	104
Cuadro 17. Valoración del relleno de las discontinuidades.....	105
Cuadro 18. Valoración de la alteración de las discontinuidades.....	105
Cuadro 19. Valoración de la presencia de agua.....	105
Cuadro 20. Orientación de las discontinuidades respecto al túnel.....	106
Cuadro 21. Valoración de la orientación de discontinuidades en túneles.....	106
Cuadro 22. Índice de calidad de la roca según el RMR.....	108



Cuadro 23. Valuación de los parámetros según el RMR89.....	108
Cuadro 24. Correlación lineal entre el RMR y el MRMR.....	110
Cuadro 25. Valuación del parámetro RQD.....	114
Cuadro 26. Valuación del parámetro Jn.....	114
Cuadro 27. Valuación del parámetro Jr.....	115
Cuadro 28. Valoración del parámetro Ja.....	116
Cuadro 29. Valores del parámetro Jw.....	117
Cuadro 30. Valoración del coeficiente reductor por carga tensional.....	117
Cuadro 31. Calidad del macizo según el índice Q.....	119
Cuadro 32. Caracterización geológica de bloques rocosos de lodolitas.....	157
Cuadro 33. Caracterización geológica de bloques rocosos de hornfels.....	158
Cuadro 34. Caracterización geológica de bloques rocosos de metacuarcitas.....	159
Cuadro 35. Caracterización geológica de bloques rocosos de tufos andesíticos.....	160
Cuadro 36. Índices semicuantitativos de las rocas obtenidas en laboratorio.....	161
Cuadro 37. Datos de entrada representativos de la roca por tipología en el RocData.....	163
Cuadro 38. Parámetros estimados del análisis tensional de la matriz rocosa.....	166
Cuadro 39. Parámetros de salida estimados del macizo global con RocData.....	166
Cuadro 40. Calidades del macizo rocoso según el RMR y MRMR.....	199
Cuadro 41. Tiempos de sostenimiento de la GL-0644S.....	199
Cuadro 42. Grado de estabilidad en la GL-0644S.....	201
Cuadro 43. Relación del índice RMR con grados de estabilidad en la GL-0644S.....	201
Cuadro 44. Tipo de roca por zonas en la GL-0644S según el Q de Barton.....	203
Cuadro 45. Sostenimiento en túneles según el índice RMR.....	213





Cuadro 46. Valuación del ESR de Barton.....214



## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Valores del RMR y MRMR por zonas en la GL-0644S.....	194
Tabla 2. Valores del Q, RQD y $J_v$ por zonas en la GL-0644S.....	195
Tabla 3. Valores del $J_r$ , $J_n$ y Q por zonas en la GL-0644S.....	195
Tabla 4. Clasificación RMR89 para la zona 1.....	196
Tabla 5. Clasificación RMR89 para la zona 2.....	197
Tabla 6. Clasificación RMR89 para la zona 3.....	198
Tabla 7. Extracto de la base de datos geomecanica descriptiva en superficie.....	anexos
Tabla 8. Extracto de la base de datos geomecánica descriptiva en mina.....	anexos



## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Carretera de acceso al proyecto Gioconda del D.V. Recuay.....	26
Fotografía 2. Resistencia a compresión simple obtenido en campo.....	77
Fotografía 3. Cordillera Negra y al Este la Cordillera Blanca.....	53
Fotografía 4. Forma de arco de la GL-0644S en rocas masivas.....	126
Fotografía 5. Malla electrosoldada galvanizada tipo T-500 N°10.....	133
Fotografía 6. Bolsones de bloques de roca en el techo de la G-0644S.....	134
Fotografía 7. Sostenimiento de pernos con el equipo Jumbo.....	136
Fotografía 8. Split Set instalado de manera incorrecta en el techo.....	136
Fotografía 9. Vista de las unidades geomorfológicas locales.....	
Fotografía 10. Características geomecánicas del macizo del proyecto Gioconda.....	172
Fotografía 11. Vista al sur de las 6 estaciones geomecánicas en superficie.....	174
Fotografía 12. Vista al sur del ingreso a la GL-0644S, nivel 3.....	176



## INTRODUCCIÓN

El proyecto Gioconda está ubicado en el flanco oriental de la Cordillera Negra, distrito y provincia de Recuay del departamento de Ancash; En la U.M. Nebraska perteneciente a un prospecto de la Compañía Minera Lincuna S.A. en la concesión minera Gioconda de extensión de 20 Ha, con coordenadas UTM Este: 224505 Norte: 8920682 a una altitud sobre los 4660 m.s.n.m. Actualmente se viene realizando actividades de re-exploración en superficie simultáneo se lleva a cabo actividades de explotación y exploración interior mina de metalotectos locales de manera mecanizada.

El yacimiento del proyecto Gioconda está asociada a una génesis magmático – volcánica, con mineralización restringida a un control estructural de metalotectos locales como vetas epitermales en dirección NE-SW que cruzan las brechas hidrotermales constituida de rocas volcánicas y piroclásticas de edad Cretácica Superior al Terciario Inferior en gruesas capas de lavas, tufos, tobas andesíticas, dacíticas y riolíticas con reemplazamientos en rocas metasedimentarias del Jurásico Superior compuestas por niveles de lodolitas, areniscas, lutitas e intercalaciones de yesos con rumbo andino de azimuts N160° y buzamientos variables entre 32° y 65° SW asociados al volcánico Calipuy.

El macizo rocoso de la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda está formada de rocas metasedimentarias como caja piso y rocas volcanosedimentarias de caja techo, la galería tiene una dirección Andina a lo largo del contacto mineralizado con intersecciones anti-Andinas de estructuras geológicas, la caracterización se realiza con levantamientos en afloramientos de roca por m<sup>3</sup> (Jv) por la técnica de ventanas geomecánicas, clasificándose en rocas de calidad IIIA, IIIB y IVA por los sistemas RMR89 y Q de Barton relacionado al MRMR y RQD para el estandarizado de sostenimientos sistemático mixto en rombos con diseño de excavación en forma de herradura.



## **CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

#### **1.1.1. UBICACIÓN POLITICA**

Políticamente el proyecto Gioconda se encuentra en el departamento de Ancash, distrito y provincia de Recuay que limita hacia el Norte con el departamento de La Libertad, hacia el Sur con el departamento de Lima, hacia el Oeste con el Océano pacífico y hacia el Este con el departamento de Huánuco ver en la (figura 1) del mapa de ubicación política.

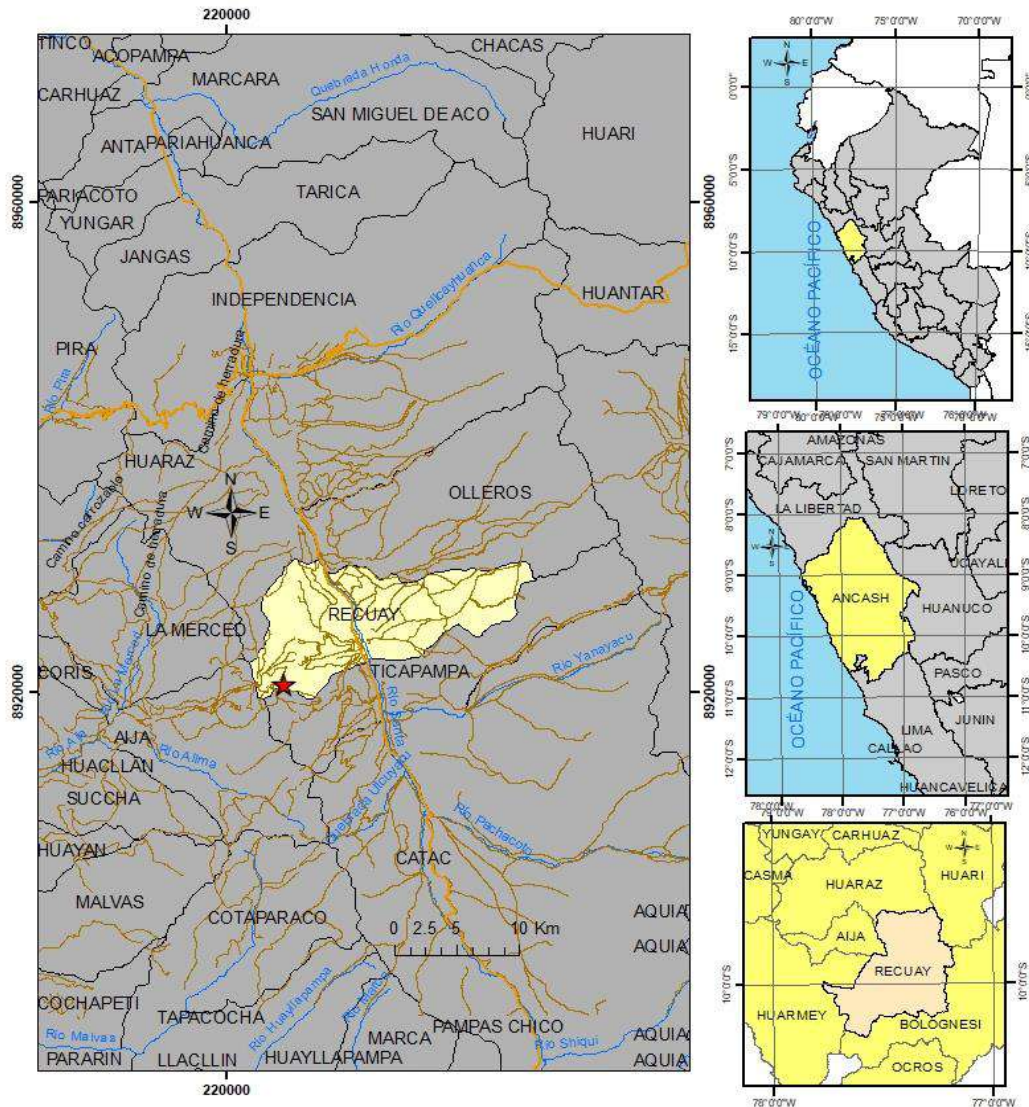
#### **1.1.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El proyecto Gioconda geográficamente se encuentra en la Cordillera Occidental, en la subdivisión de Cordillera Negra a una altitud de 4669 m.s.n.m. ver (figura 2) en el mapa de ubicación geográfica.

#### **1.1.3. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA**

Hidrográficamente, el proyecto Gioconda se encuentra en la margen izquierda del rio Santa, en cuenca y subcuenca del Santa y en la vertiente del Pacifico ver en la (figura 2) del mapa de ubicación geográfica.

**Figura 1**  
*Mapa de ubicación política del proyecto Gioconda*



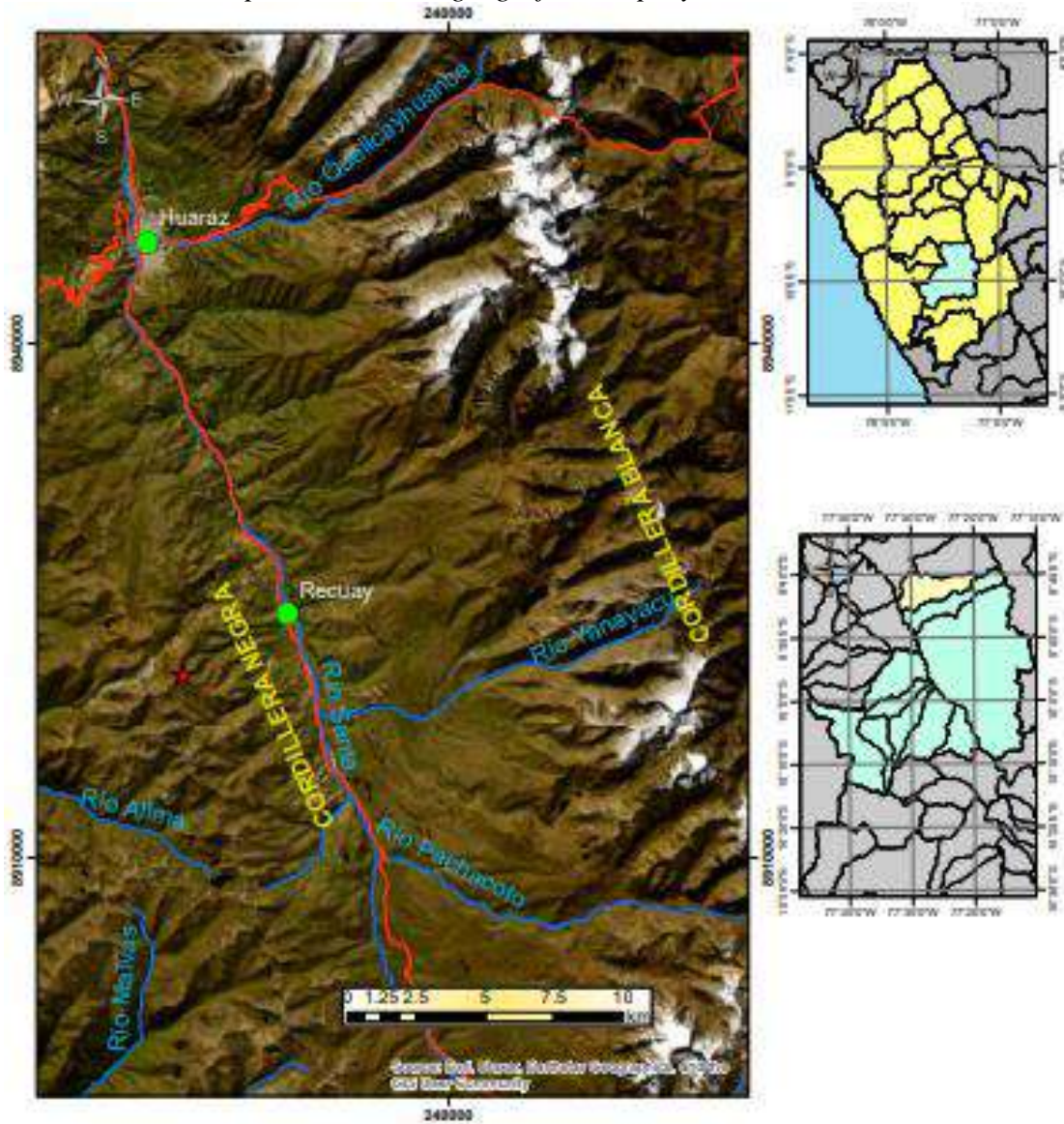
Simbología	
	Gioconda
	Red vial Nacional
	vias recuay
	vias huaraz
	Ríos

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS METALÚRGICA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: “ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA 0644S, NIVEL 3 DEL PROYECTO GIOCONDA, U.M. NEBRASKA, DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY, ANCASH, 2023.”		
MAPA: Ubicación política		ESCALA: 1/400,000
TESISTA: Br. Javier Jubaldo Peralta Azurín		<b>Lámina</b> <b>1</b>
ASESOR: Ing. Víctor Vidal Garate Góngora		
DATUM: WGS-84	PROYECCIÓN: UTM	Zona: 18S
Fuente: GEO GPS Perú, Google Earth Pro.		Fecha: May, 2024

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 2**  
*Mapa de ubicación geográfica del proyecto Gioconda*



Simbología	
	Localidad de referencia
	Gioconda
	Red vial Nacional
	Ríos

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS METALÚRGICA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: “ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA 0644S, NIVEL 3 DEL PROYECTO GIOCONDA, U.M. NEBRASKA, DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY, ANCASH, 2023.”		
MAPA: Ubicación geobalográfica	ESCALA: 1:700,000	
TESISTA: Br. Javier Jubaldo Peralta Azurín		<b>Lámina</b> <b>2</b>
ASESOR: Ing. Víctor Vidal Garate Gálvez		
DATUM: WGS-84	PROYECCION: UTM	Zona: 18S
Fuente: GEO GPS Perú, Google Earth Pro, World imagery		Fecha: Jul. 2024

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.1.4. ACCESIBILIDAD

El acceso al proyecto Gioconda es por vía aérea en escalas Cusco a Lima durante 1h y 15min y Lima a Anta (al norte de Huaraz) durante 1h y 15min luego en auto desde Anta a Recuay durante 1h y 15 min a lo largo de 50km y vía terrestre de asfalto desde cusco a lima durante 21 horas en bus por la vía nacional 3S en dirección al norte del país, luego se sigue otro viaje durante 9 horas desde lima por la ruta de la panamericana norte hasta el distrito de Recuay, 30 minutos antes de llegar a la capital, Huaraz; desde el distrito vecinal de Recuay (fotografía 1) a la unidad minera el transporte es terrestre por vía afirmada a una distancia de 40 km aproximadamente en dirección del distrito de Aija durante 2 horas con un atajo a la mano izquierda pendiente arriba hacia la cima de la Cordillera Negra donde se encuentra la concesión minera Gioconda, ver descripción de rutas de acceso en el (cuadro 1) y el mapa de accesibilidad en la (figura 3).

#### Fotografía 1

*Carretera de acceso al proyecto Gioconda del D.V. Recuay*



Fuente: Elaboración propia.





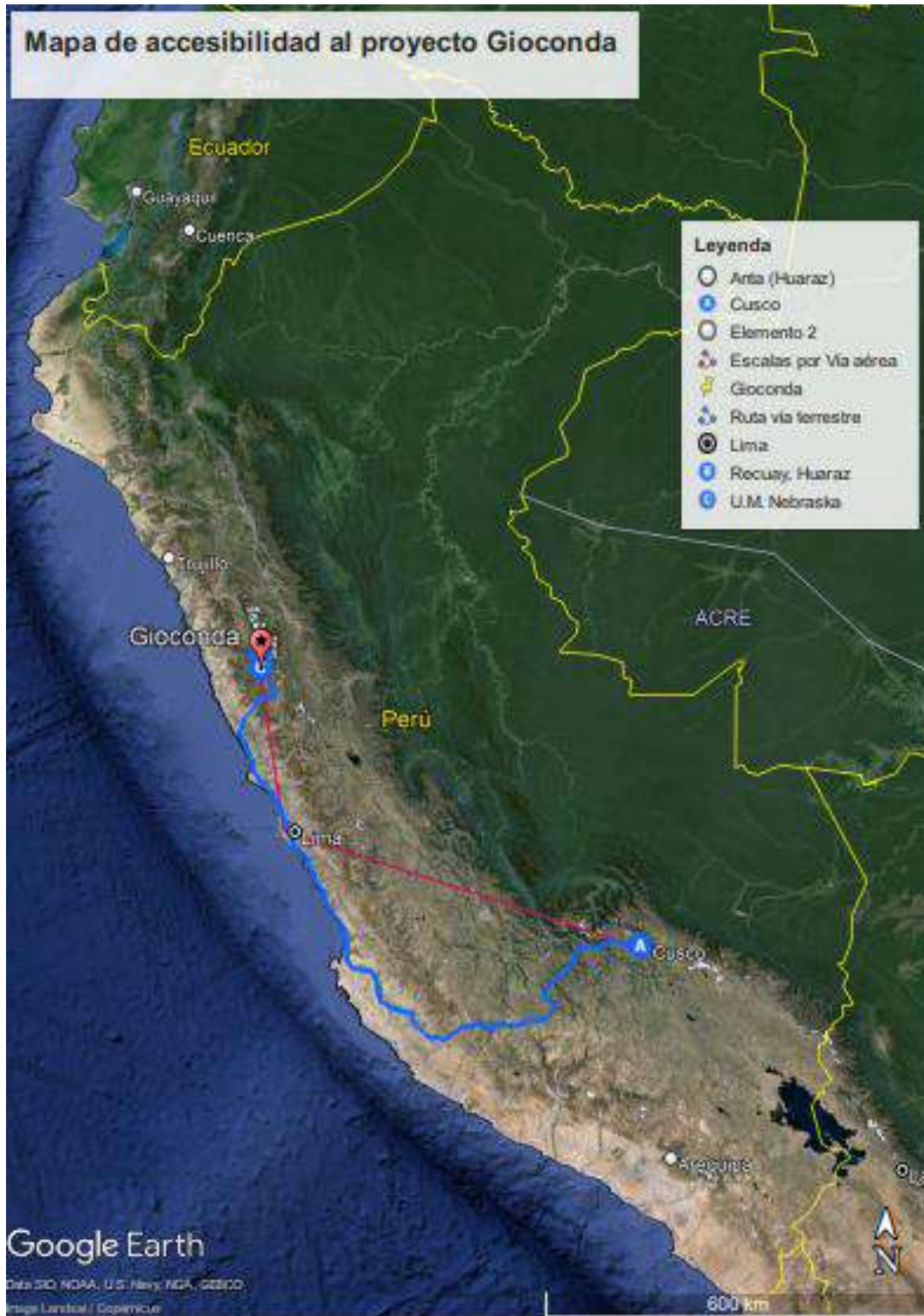
### Cuadro 1

#### *Descripción de la accesibilidad al proyecto Gioconda*

<b>VÍA TERRESTRE</b>				
<b>Ruta</b>	<b>Tramo</b>	<b>Distancia</b>	<b>Duración</b>	<b>Tipo de vía</b>
Sur - Norte Vía nacional 1S	Cusco a Lima	1096 km	21 horas	Asfaltada
Norte (Panam. Norte)	Lima a Recuay	404 km	9 horas	Asfaltada
Recuay - Aija	Recuay a U.M	40 km	2 horas	Afirmada
<b>VÍA AÉREA</b>				
<b>Escalas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Distancia</b>	<b>Duración</b>	<b>Tipo de vía</b>
Cusco - Lima	aéreo		1h 15min	
Lima - Anta	aéreo		1h 15min	
Anta - Recuay	Terrestre	50km	1h 15min	Asfaltada

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3**  
*Mapa de accesibilidad al proyecto Gioconda*



Fuente: Elaboración propia.

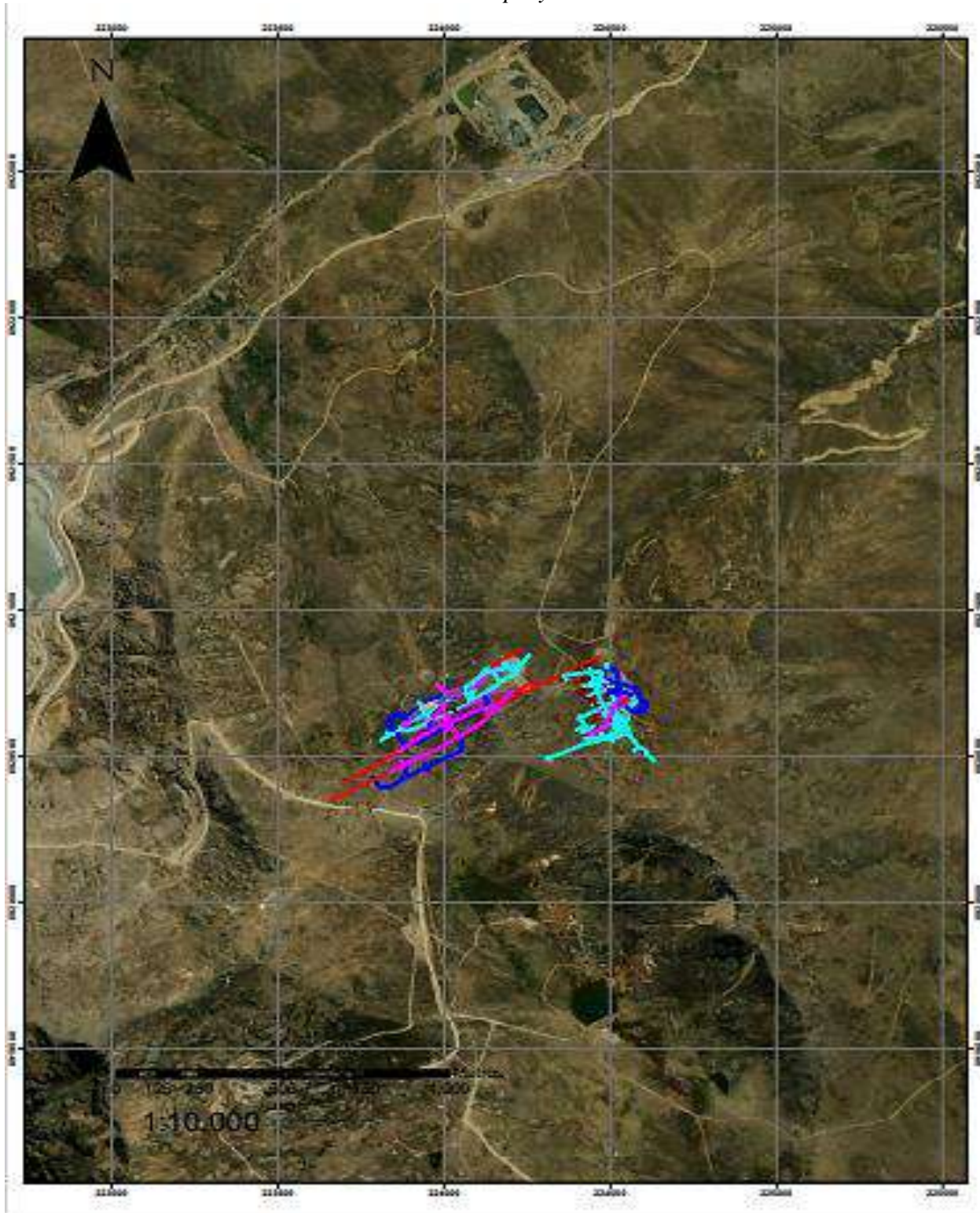


### **1.1.5. EXTENSIÓN**

La zona de estudio se encuentra dentro de la concesión minera Gioconda comprende un área de 20Has ver (figura 4).



**Figura 4**  
*Vista satelital del proyecto Gioconda*



Fuente: Elaboración propia.



### **1.1.6. RELIEVE Y ELEVACIÓN**

El relieve del proyecto Gioconda pertenece a colinas y lomadas de la Cordillera Negra con una elevación entre los 4,600 y 4,700 m.s.n.m.

### **1.1.7. CLIMA Y VEGETACIÓN**

El clima del proyecto Gioconda presenta temperaturas variables entre  $-9^{\circ}\text{C}$  y  $16^{\circ}\text{C}$  entre el día y la noche, la temperatura anual promedio es de  $6^{\circ}\text{C}$ . Las precipitaciones pluviales con mayor frecuencia se presentan entre los meses de diciembre y marzo con frecuencia de nevadas.

La vegetación está representada principalmente por ichu y pequeñas plantas silvestres como dientes de león y musgos, la fauna está representado por escasos ovinos, auquénidos, vacunos y fauna propia de la zona como los halconcillos, lagartijas, perdiz de los andes.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El macizo rocoso del proyecto Gioconda está constituido de rocas metasedimentarias que datan del Jurásico Superior a Medio con niveles de lodolitas, lutitas pizarrosas, areniscas grauwas, cuarzosas y friables con intercalaciones de yesos que poseen rumbo Andino, azimuts preferentes de  $\text{N}160^{\circ}$  y buzamientos variables entre  $32^{\circ}$  y  $65^{\circ}\text{SW}$ , asociados al volcánico Calipuy de edad Cretácica Superior al Terciario Inferior en forma de lavas, tufos, piroclastos y tobas volcánicas de naturaleza andesítica, dacíticas a riolíticas que se encuentran brechadas con presencia de dominios estructurales geológicos deformantes y agua por zonas puntuales.

La GL-0644S del proyecto Gioconda es una galería piloto de exploración del nivel 3 para metalotectos locales direccionado al Sur, tiene una sección de  $3.5\text{m} \times 3.5\text{m}$  y se encuentra a 330 m de



profundidad desde superficie con un avance lineal de 240 mL y una orientación N-S, dirigida a lo largo del contacto de reemplazamiento mineralógico entre rocas volcanosedimentarias y metasedimentarias.

El macizo rocoso de la GL-0644S posee un control estructural, geológico y cinemático propio de la historia geológica y de modificación tensional por la redistribución de esfuerzos originado por las excavaciones recientes y las estructuras geológicas convirtiéndola de un macizo en estado estático a uno en estado dinámico donde las respuestas a ellas dependerán de la calidad del macizo y en caso contrario se recurren a los soportes artificiales de acuerdo a las condiciones geológicas y geomecánicas del macizo, entonces ¿Cuáles son las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso de la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda?

## **1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.2.1. PROBLEMA GENERAL:**

¿Cuáles son las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso en la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda?

### **1.2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS:**

¿Qué se describe de la geología, geomorfología, geología estructural y geotectónica local del proyecto Gioconda?

¿Qué se analiza con el comportamiento geológico, estructural y cinemático de las estructuras del macizo de la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda?

¿De qué manera las características del macizo afectan en el tipo y diseño de sostenimientos en la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda?



¿Qué sostenimientos se estiman en base a las características del macizo en la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Caracterizar geológica y geomecánicamente el macizo rocoso de la galería 0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Describir el contexto geomorfológico, geológico, geológico estructural y geotectónico local del proyecto Gioconda.
- Analizar el comportamiento geológico, estructural y cinemático de las estructuras en el macizo rocoso de la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda.
- Analizar cómo las características geológicas y geomecánicas del macizo influyen en el tipo y diseño de sostenimientos de la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda.
- Estimar los sostenimientos según las condiciones geológicas y geomecánicas del macizo en la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda.

### **1.4. HIPÓTESIS**

#### **1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Según los parámetros del sistema RMR-Q, la GL-0644S posee características geológicas de dominio estructural con presencia de agua y geomecánicas por baja resistencia al corte e influencia del estado tensional.



#### **1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:**

- El contexto geomorfológico, geológico, geológico estructural y geotectónico local del proyecto Gioconda mediante la interpretación de la información regional describe un dominio geomorfológico, geológico estructural y geotectónico.
- El análisis geológico, estructural y cinemático de las discontinuidades con software libre de la GL-0644S, nivel 3 revela un comportamiento por fallamientos planares, en cuña y flexurales.
- Las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso condicionan el tipo y diseño de sostenimientos, de tal forma que un macizo con mayor fracturación, baja resistencia o presencia de agua demandará mayor sostenimiento, mientras que un macizo más competente requerirá menor sostenimiento en la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda.
- Los sostenimientos que se estiman en la GL-0644S, nivel 3 son con pernos de fricción, malla electrosoldada y shotcrete.

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

En la práctica y a nivel de beneficios la caracterización geológica y geomecánica en afloramientos del macizo de la GL-0644S se justifica en la solución al problema de estandarización de sostenimientos en dicha galería con el menor coste operativo para continuar con el avance de manera segura y productiva.

Metodológicamente se justifica en resultados confiables debido a que los afloramientos brindan mayor apreciación del comportamiento estructural e inspección de la estabilidad in-situ de las condiciones de la roca y el macizo.





La importancia yace en la comprensión del comportamiento de los macizos rocosos que está en boga con el actual boom del futuro de la minería y sostenimientos empleando pernos, mallas y shotcrete.

## 1.6. VARIABLES

### 1.6.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Cuadro 2**  
*Operacionalización de variables del estudio en la GL-0644S.*

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICES	MEDIDAS, DATOS
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO DE LA GL-0644S, NIVEL 3 DEL PROYECTO GIOCONDA	Geomorfología	Morfología	Unidades geomorfológicas	Geoformas, m.s.n.m.,
	Geología	Estratigrafía	Formaciones geológicas	Formaciones geológicas locales
		Litología	Tipología de las rocas	Tipos de rocas, patrón textural, fábrica, estructura, color, forma de los clastos,
	Geotectónica	Ciclos orogénicos	Fases orogénicas	Millones de años, regímenes, historia geológica
	Geología estructural	Estructuras geológicas	Fallas, vetas, estratos, vetas-falla, tensionales	Rumbo, Buzamiento, potencia, tipos,
	Geomecánica de rocas	Discontinuidades y propiedades geomecánicas de la roca	RMR	Sigci, RQD, espaciamiento, estado y orientación de discontinuidades, presencia de agua, tamaño de grano,
			MRMR	RMR, S,
Q			RQD, Jn, Jr, Ja, Jw, SRF, Jv	
	Estado tensional	SRF	T, $\epsilon$ , H, NC, SC, k, $\sigma_h$ , $\sigma_v$	

Fuente: Elaboración propia.



## 1.7. METODOLOGÍA

El método empleado para realizar el diseño de la investigación es no experimental y transeccional del tipo descriptivo y correlacional – causal con un enfoque mixto es decir cualitativo y cuantitativo (Hernández et al., 2014).

### 1.7.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

**1.7.1.1. Diseño no experimental:** En el diseño de una investigación no experimental se observan los fenómenos tal y como se manifiestan en su contexto natural, para su posterior análisis sin manipular las variables independientes en cualesquiera de sus etapas.

**1.7.1.2. Transeccional:** Es una investigación no experimental en el que se recolectan datos en un determinado tiempo que sucede o sucedió y su propósito es describir las variables en un momento dado y analizarlas en otro momento inmediato posterior.

**1.7.1.3. Transeccional descriptivo:** Las investigaciones no experimentales transeccionales del tipo descriptivo son indagatorios de diversas variables de eventos y proporcionan su descripción de características en un momento determinado.

**1.7.1.4. Transeccional correlacional - causal:** La investigación no experimental transeccional del tipo correlacional – causal son diseños que describen relaciones en términos correlacionales y/o causales entre dos o más variables en un momento determinado.

### 1.7.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN:

**1.7.2.1. Enfoque mixto.** - Cualitativo y cuantitativo.

**1.7.2.2. Enfoque cualitativo.** - Este trabajo es cualitativo porque estudia la realidad en su contexto natural e interpreta fenómenos a través de la recolección y análisis de datos no numéricos.



**1.7.2.3. Enfoque cuantitativo.** - Este trabajo es cuantitativo porque se enfoca en la recopilación y análisis mediante la medición de datos numéricos y estadísticos, haciendo uso de métodos cuantitativos de análisis.

**1.7.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN:** El procedimiento seguido para elaborar el presente trabajo de investigación se realiza en tres etapas:

1.7.3.1. Etapa pre campo: Se resume en la recopilación de toda la información previa que se requiere antes de ir al campo y en este estudio se realiza de la siguiente manera:

Primeramente, se realiza la recopilación bibliográfica referido a la geomecánica de rocas y geología de minerales polimetálicos del mismo modo se realiza la revisión de boletines con información regional del Ingemmet como el Nro. 76: Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquían y Yanahuanca; Nro. 55: Geología del Perú; Nro. 136: Memoria explicativa del mapa geológico del Perú a escala 1/1 000 000, luego se realiza la revisión de una sinopsis de la geología del departamento de Ancash para aclarar una visión macro de las formaciones geológicas de interés.

Posteriormente, se revisan las revistas indexadas sobre las características metalogénicas de la Cordillera Occidental en la región Ancash, así como El levantamiento del mapa de lineamientos estructurales del Perú a partir de imágenes Slar-Landsat publicado en la sociedad geológica del Perú. Finalmente, se realiza la revisión de la revista: Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas publicado por el Osinergmin.

Paralelamente, se elaboran los mapas base del proyecto de estudio con el uso de software libre de información geográfica y edición a nivel regional (ubicación, topográfico, satelital, geomorfológico, geológico y geológico estructural) extraídas de la base de datos en plataformas como del Geocatmin, Geo GPS Perú y Google Earth.



1.7.3.2. **Etapas de campo:** Es la etapa de la toma de datos en campo y consta de las siguientes fases cohesionadas y consecutivas:

**Fase 1:** Identificación de la geomorfología local con bosquejos sobre planos topográficos base a escalas de 1/2000.

**Fase 2:** Cartografiado geológico en superficie a escala 1/2000 y mina a escala de 1/1000.

**Fase 3:** Mapeo geomecánico en afloramientos rocosos de superficie por ventanas de 3mx3m con un total de 6 estaciones geomecánicas y en mina de 1mx1m con un total de 39 estaciones geomecánicas por el sistema RMR-Q.

**Fase 4:** Cartografiado geológico estructural en superficie de las fallas locales en planos topográficos base de 1/2000 y mina de estructuras geológicas y geomecánicas con E: 1/1000.

**Fase 5:** Muestreos en mina de bloques rocosos sin presencia de alteración y representativos, luego su envío a laboratorio para el realizado del ensayo de propiedades físicas y el ensayo de carga puntual.

**Fase 6:** Las fotografías se toman simultáneo a cada fase realizado tanto en mina como en superficie.

1.7.3.3. **Etapas de post campo:** Esta etapa se resume en el tratamiento de los datos y consta de las siguientes fases:

**Fase 7:** Validación de la data recolectada en superficie, mina y laboratorio llevándose a cabo una revisión e inspección de errores groseros de los datos tomados en campo.

**Fase 8:** Correlación de los datos registrados en superficie, mina y laboratorio.

**Fase 9:** Limpieza de los datos recolectados en mina, superficie y laboratorio con tabulaciones en tablas de datos.

**Fase 10:** Análisis e interpretación de la información recolectada en mina, superficie y laboratorio en diferentes escenarios a nivel local con los softwares libres de información geográfica, edición y análisis de datos.



**Fase 11:** Estructuración, redacción y sustentación del trabajo de tesis.

## **1.8. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

Este trabajo de investigación pretende brindar conocimientos con un enfoque práctico de la caracterización geológica y geomecánica en afloramientos rocosos del proyecto Gioconda, así como en otras labores específicas sostenidas con pernos, mallas y shotcrete.



## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

En este apartado se desarrolla el contexto teórico y conceptual que ayuda a la mayor comprensión del problema y del desarrollo de la investigación con antecedentes regionales, locales e internacionales relacionados al proyecto Gioconda, conceptos básicos y conceptuales preliminares abocado al estudio geológico y geomecánico de macizos rocosos.

### **2.1. ANTECEDENTES**

Los antecedentes son trabajos desarrollados en zonas relativamente cercanas y metodologías similares dentro del ámbito local, nacional e internacional.

#### **2.1.1. LOCALES**

En el ámbito local se desarrollan con anterioridad trabajos de información regional y relativamente cercanos al proyecto Gioconda los cuales se presentan en esta sección con sus respectivas conclusiones:



a. El boletín Nro. 76, serie A de la carta geológica nacional del INGEMMET titulada “Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca hoja: 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j” (Cobbing et al., 1996) este trabajo de investigación es presentado dentro del programa del levantamiento de la carta geológica nacional a escala de 1:100,000 abarca parte de las cordillera Negra, Blanca y de Huayhuash el cual brinda información regional de interés en la hoja 20-i, 20h correspondiente a Recuay y Huaraz sobre la geografía, geomorfología, estratigrafía, rocas ígneas, geología estructural, geología y geotectónica.

b. El boletín Nro. 55, serie A de la carta geológica nacional del INGEMMET titulado “Geología del Perú” (Rivera et al., 1995), este trabajo de investigación incluso anterior al boletín Nro. 76 brinda información regional geomorfológica, geología histórica y de evolución tectónica, estratigrafía de las cuencas y rocas ígneas del Mesozoico y Cenozoico del territorio peruano.

c. “Características metalogénicas de la Cordillera Occidental en la región Ancash” (Villarreal et al., 2010) contextualiza el entorno geológico y tectónico en la Cordillera Occidental en tres dominios geotectónicos controlados por el sistema de fallas regionales en dirección NO-SE, sistema de fallas Tapacocha (SFT), sistema de fallas Huallac - Churin (SFHCH), sistema de fallas Huaraz – Recuay (SFHR), sistema de fallas de la Cordillera Blanca (SFCB), sistema de fallas Chota (SFCH).

d. “Levantamiento del mapa de lineamientos estructurales del Perú a partir de imágenes SLAR – LANDSAT” (Dávila y Zegarra, 1982) presentan el mapa de lineamientos estructurales regionales que siguen sistemas definidos como el sistema longitudinal perteneciente a la familia NW-SE concordante a la dirección de la Cordillera Blanca, el sistema transversal con dirección preferente al NE, el sistema de fracturas de zócalo constituida de estructuras profundas y muy antiguas del Paleozoico o precámbricas y otras estructuras de menor magnitud con orientaciones anti-andinas principales de NE-SW y E-W que afectan a rocas Mesozoicas.



e. “Sinopsis de la geología del departamento de Ancash” (Reyes, s.f.) presenta la geología del departamento de Ancash en forma de resumen.

f. “La brecha Gioconda y Pucairca en la mineralización del prospecto Lincuna, distrito minero Ticapampa – Aija” (Carhuapoma, 2019) concluye la presencia de tobas y lavas andesíticas a dacíticas con rocas metasedimentarias lacustrinas en la zona de la brecha Gioconda.

g. “Análisis estructural de la configuración relacionada con la mineralización Cordillera Negra, región Ancash – Perú” (Caycho, 2019) concluye que la mineralización en el sector norte de la Cordillera Negra está relacionada a los grandes sistemas de fallas con rumbos NW-SE y NE-SW además de la existencia de un “sistema estructural Ancash” de característica sigmoidal con lineamientos extremos en el sector Occidental por el sistema de fallas Huaraz – Recuay y en el sector Oriental por el sistema de fallas de la Cordillera Blanca, este sistema de fallas tiene una dirección preferente de NW-SE y fracturamientos de dirección NE-SW.

### **2.1.2. NACIONALES**

En el ámbito nacional se desarrollaron con anterioridad los siguientes estudios con metodologías similares y son:

a. “GEOLOGÍA, EVALUACIÓN Y COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DE ROCAS METAMÓRFICAS DEL GRUPO SALAS EXPUESTAS EN LA GALERÍA DE ACCESO – VENTANA 1 – PROYECTO ALTO PIURA.” (Luis, 2014) realiza la caracterización geomecánica del macizo rocoso del Grupo Salas con el fin de determinar su comportamiento de parámetros geomecánicos y factores geológicos que intervienen para lograr su clasificación geomecánica por el RMR de Bieniawski como de calidad IV y Q de Barton de calidad tipo V mediante un modelo geológico – geomecánico.





b. “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA GALERÍA 570, NIVEL 0 EN LA MINA CHAPARRAL UNIDAD SAN FRANCISCO VII – EMPRESA MINERA GOLDEN RIVER RESOURCES S.A.C. – CHAPARRA – CARAVELÍ - AREQUIPA” (Sánchez, 2023) mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso por los sistemas de clasificación empíricos es de calidad III-A según Bieniawski y regular según el Q de Barton con un GSI leve a moderadamente fracturado de buena condición superficial con tiempos de autoporte de un mes para cada estación geomecánica. Los parámetros geomecánicos del macizo rocoso se analizaron mediante el software RocData con datos de entrada como la resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta (Sigci), el GSI, parámetro de resistencia (mi) y factor de disturbancia de la excavación (D) obteniéndose parámetros como la cohesión, ángulo de fricción y resistencia global para cada estación geomecánica. El análisis cinemático se realizó mediante el software Dips v6, el análisis de cuñas mediante el software Unwedge. Se determina un tipo de sostenimiento puntual con pernos de anclaje de 3 metros de longitud espaciados a 1.5 metros y en la estación N°7 debido a un realce se propone un sostenimiento con shotcrete de 2” de espesor por vía seca.

c. “ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA SELECCIONAR EL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA MINA APMINAC PULPERA CAYLLOMA – AREQUIPA” (Arana, 2019) Selecciona un sostenimiento con cuadros de madera para dos niveles como es el nivel 20 se tiene una zona mineralizada con un RMR = 23, roca mala y para el nivel 40 un RMR = 63, roca buena según el mapeo geomecánico; en las zonas de roca mala los cuadros son permanentes y en las zonas de roca buena los cuadros son puntuales, los cuadros de madera tienen una vida promedio de 12 meses. En las zonas de mayor esfuerzo vertical los cuadros de madera son rectas y cónicas en las zonas de esfuerzo mayor horizontales.



### 2.1.3. INTERNACIONALES

En el ámbito internacional como es frecuente se desarrollaron trabajos anteriores empleando metodologías similares, los cuales se tienen:

a. “CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO DEL ÁREA DEL CONTRATO 01-068-96 “COOPERATIVA COOPROCARBON SUGAMUXI” MUNICIPIO DE GÁMEZA BOYACÁ.” (Rincón, 2016) realiza la clasificación geomecánica del macizo rocoso por Bieniawski en la cual obtiene una calidad media o de clase III con un rango de valoración 60 – 40, parámetros de cohesión de 2 – 3kg/cm<sup>2</sup>, ángulo de rozamiento de 25° - 35° indicando medianamente estable la zona subterránea de extracción de carbón.

b. “CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN EL NIVEL VEINTIUNO DE LA MINA LA MARUJA (DISTRITO MINERO DE MARMATO, CALDAS) PARA ESTIMAR LAS RECOMENDACIONES DE ESTABILIDAD Y SOPORTE EN LA EXCAVACIÓN Y SU CORRELACIÓN CON LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES” (Betancur y López, 2019) se realizó la clasificación geomecánica en el nivel 21 de la mina La Maruja y un análisis de cuñas con el fin de estimar la estabilidad y soporte del mismo modo se realiza una evaluación del efecto de las alteraciones hidrotermales en la estabilidad. La clasificación geomecánica se realiza con el RMR y Q aduciendo que son las más empleadas en excavaciones subterráneas para tener menor margen de error en la sectorización de las calidades. Aplica el RMR por su evaluación a profundidad del comportamiento de las discontinuidades y el Q analiza las condiciones superficiales. El resultado de la clasificación del macizo con el RMR son macizos de calidad buena, regular y mala en los sectores de alteración argílica y según el Q en calidades muy buena, buena, regular y pobre para las estaciones de alteración argílica se recomienda un sostenimiento de arcos con hastiales de madera y desabombe de cuñas en las zonas de



mineralización, en el sector de calidad pobre pernos sistemáticos con mallas y las zonas de buena calidad pernos localizados de 2 metros con desabombe de cuñas.

c. “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMECÁNICA DE LA MINA SAN JOAQUIN, PARA EL DISEÑO DE EXPLOTACIÓN POR EL MÉTODO DE CÁMARAS Y PILARES”. (Cañas, 2018) realiza la recolección de datos geológicos, geomecánicos y estructurales que permiten identificar y caracterizar el macizo rocoso en calidad media y con un RQD del 55% con orientaciones preferentes de familias de discontinuidades, estratificaciones, fallas, planos de laminación y propiedades físicas y mecánicas que intervienen en la estabilidad del macizo rocoso de los pilares.

## 2.2. CONCEPTOS BÁSICOS

**-ADEME o ADEMADO:** Sostenimiento o refuerzo en labores subterráneas (Hoek y Brown, 1985).

**-ANDESITA:** Es una roca volcánica de composición intermedia y calcoalcalina de color gris claro y generalmente de textura porfídica, principalmente compuesta por plagioclasa y algunos minerales ferromagnesianos como biotita, hornblenda, ortopiroxenos o clinopiroxenos (IGME, 2019).

**-ANISOTROPÍA:** Los materiales anisotrópicos son aquellos cuyas propiedades varían en función de la dirección utilizada para su medida, aunque el carácter anisótropo de las rocas que poseen esta característica se manifiesta en todas sus propiedades, las de mayor importancia en mecánica de rocas son la resistencia y deformación. (Alejano y Ramírez, 2004).

**-CARACTERIZACIÓN:** Técnica que consiste en detallar características específicas de un objeto, persona, lugar, fenómeno, etc (RAE, 2005).



**-CRUCERO:** Labor minera en material estéril que se emplea con el objetivo de interceptar cuerpos mineralizados (Osinergmin, 2017).

**-DACITA:** Es una roca volcánica ácida, subalcalina, de textura porfídica, compuesta por fenocristales de cuarzo y plagioclasas en una matriz fina, puede contener subordinados de biotita, hornblenda y piroxeno (IGME, 2019).

**-DEFORMACIÓN:** indica el cambio en la forma o configuración de un cuerpo, correspondiéndole con los desplazamientos que sufre la roca al soportar una carga. Existen diferentes tipos de deformación, como la elasticidad, la plasticidad y la falla, cada una de las cuales se produce en diferentes condiciones de carga y en diferentes tipos de rocas (Vallejo et al., 2002).

**-DESCRIPCIÓN:** Técnica que consiste en detallar o representar características generales de un objeto, persona, lugar, fenómeno, etc (RAE, 2005).

**-DIACLASAS:** Son los planos de discontinuidad más frecuentes en los macizos rocosos, y corresponden a superficies de fracturación o rotura de la roca a favor de las cuales no ha habido desplazamiento o ha sido muy pequeño. Afectan a cualquier tipo de roca. Una diaclasa es un tipo específico de discontinuidad que se origina por descompresión de cargas debido a la erosión (Vallejo et al., 2002).

**-DISCONTINUIDADES:** El término discontinuidad hace referencia a cualquier plano de separación en el macizo rocoso, pudiendo tener origen sedimentario, como las superficies de estratificación o laminación, diagenético o tectónico, como las diaclasas, juntas o fallas. (Vallejo et al., 2002).

**-ESFUERZOS:** Se llama esfuerzo a la tensión interna que experimentan todos los cuerpos al estar sometidos a la acción de una o varias fuerzas o tensores (Hoek y Brown, 1985).



**-ESFUERZOS COMPRESIONALES:** Se producen por fuerzas de aplastamiento o compresión de materiales rocosos (Hoek y Brown, 1985).

**-ESFUERZOS IN SITU:** Los esfuerzos in situ son aquellos que son intrínsecos del macizo rocoso y se dividen en esfuerzo tectónico y gravitacional. Estos son una de las condiciones iniciales más importantes para estimar las sollicitaciones que pueden desarrollarse en una obra de ingeniería de rocas (RACEFN, 2023).

**-ESFUERZOS TENSIONALES (TRACCIÓN):** Se producen por fuerzas de estiramiento de materiales rocosos, son fuerzas que actúan en la misma dirección y sentido contrario (Hoek y Brown, 1985).

**-FÁBRICA:** Orientación espacial de los cristales, clastos o agregados policristalinos equidimensionales y no equidimensionales dentro de un cuerpo rocoso incluye a la textura. La determinación de la fábrica es esencial para conocer la geometría de los cuerpos rocosos y pueden realizarse directamente en el campo (Martínez, 2003).

**-FRACTURAS (FISURAS):** Es la formación de planos de separación en la roca, rompiéndose los enlaces de las partículas para crear nuevas superficies originadas por la pérdida de las fuerzas cohesivas y permanentes únicamente las friccionales (Vallejo et al., 2002).

**-GALERÍA:** Excavación semi horizontal subterránea que se encuentra en la dirección de estructuras mineralizadas (Berrocal, 2015).

**-GEOMECÁNICA:** Es una extensión de las ciencias que tratan del estudio de la Mecánica de Rocas, se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los



materiales rocosos y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico (Vallejo et al., 2002).

**-HETEROGENEIDAD:** se refiere a la presencia de diferentes propiedades físicas y mecánicas en un mismo macizo rocoso. Esto puede incluir variaciones en la composición mineralógica, la porosidad, la densidad, la resistencia, la fracturación y la discontinuidad. (Hudson y Harrison, 1997).

**-INTERCEPTACIÓN DE LABORES:** Esquina o ceja del cruce de dos excavaciones o labores contiguas (Berrocal, 2015).

**-LODOLITAS:** Son tipos de lutitas dura y compacta, pero porosas rica en materia orgánica altamente cementada por carbonatos y facies lodosas, normalmente calcita; Cabe indicar que existen tipos y variedades de lodolitas (Yoris, 2017).

**-MACIZO ROCOSO:** Es el conjunto de bloques de matriz rocosa más las discontinuidades de diversa tipología que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia nula a tracción (Vallejo et al., 2002).

**-MALLA SOLDADA:** Consiste en una cuadrícula de alambres de acero que están soldados en sus puntos de intersección. Una malla soldada típica de uso en excavaciones, tiene alambres de 4.2 mm colocados en cuadros de 100 mm, se llama malla de 100x100x4.2 y se entrega en secciones de avance (Hoek y Brown, 1985).

**-MATRIZ ROCOSA:** Roca intacta o simplemente roca, es el material rocoso exento de discontinuidades, sin embargo, la matriz rocosa naturalmente presenta microestructuras por foliación, mineralización, génesis, etc. (Vallejo et al., 2002).



**-METASEDIMENTO:** Es una roca sedimentaria que ha sufrido cambios en su composición, estructura y/o textura por causa del metamorfismo. El proceso metamórfico no siempre borra totalmente los rasgos texturales o microestructurales de la roca original o protolito, en estos casos se puede respetar la terminología del protolito anteponiendo el prefijo meta al nombre sedimentario (Castro, 2015).

**-PANIZO:** Material blando (gauge) generado por la fricción de dos superficies a lo largo de las paredes de la roca caja, estructura y roca caja o en estructuras como las fallas (Berrocal, 2015).

**-PERMEABILIDAD:** Capacidad de transmitir agua de una roca, la mayoría de las rocas presentan bajas o muy bajas permeabilidades; La filtración o flujo de agua de la matriz rocosa está relacionado a los poros y fisuras (Vallejo et al., 2002).

**-PERNOS DE ANCLAJE:** Los pernos proporcionan esfuerzos a la roca desde el instante mismo de su colocación, logrando que sea partícipe del sostenimiento (Osinergmin, 2017).

**-PESO ESPECÍFICO:** Se define como el peso por unidad de volumen. En la práctica se considera el mismo valor escalar para la “densidad” (masa/ volumen) con la salvedad de aclaración en las unidades ya que el peso específico tiene unidades de fuerza/ volumen (Vallejo et al., 2002).

**-POROSIDAD:** Porosidad es la relación entre el volumen de huecos y el volumen total de una roca, es la propiedad que más afecta a la resistencia y densidad (Vallejo et al., 2002).

**-RESISTENCIA DE LA ROCA:** Capacidad de una roca para soportar esfuerzos sin fallar. El término “resistencia” es un concepto complejo ya que se refiere no sólo a la resistencia característica de la roca intacta en sí misma, sino también al efecto de las fracturas, juntas y planos de debilidad de la masa, su disposición geométrica y espaciado, así como su comportamiento en el tiempo. Una masa rocosa puede ser resistente en una dirección y débil en otra (Ramírez y Grijalbo, 1984).



**-TENSIONES PRINCIPALES:** En la práctica son denominados como esfuerzos principales en las direcciones de los ejes x, y, z como  $\sigma_3$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_1$  respectivamente; En minería subterránea para los distintos análisis se trabaja con dos esfuerzos  $\sigma_3$  y  $\sigma_1$  siendo los esfuerzos horizontal y vertical asumiéndose el  $\sigma_2$  como el esfuerzo en el sentido de la excavación (Berrocal, 2015).

**-TEXTURA:** Conjunto de relaciones intergranulares de tamaño y forma de los cristales o clastos de una roca determinada (Castro, 1989).

**-TOBA VOLCÁNICA:** Roca ígnea volcánica de consistencia porosa y texturalmente presentan un orden de granos, contiene un porcentaje considerable de sílice, plagioclasas y minerales ferromagnesianos (IGME, 2019).

**-TUFOS VOLCÁNICOS:** Roca ígnea volcánica de consistencia más porosa que la toba y texturalmente no presentan un orden de granos, es decir, sus granos se encuentran de forma caótica, desordenadas (U.M. Nebraska, 2022).

**-VOLCANOSEDIMENTARIO:** Son rocas generados por flujos volcánicos que en su paso encuentran materiales sedimentarios y por lo tanto poseen características de rocas volcánicas y sedimentarias ejm las brechas volcanosedimentarias (Castro, 2015).

## 2.3. BASES TEÓRICAS

### 2.3.1. MARCO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

El territorio peruano se encuentra en el Centro Occidente de América del Sur alineado desde el Oeste con la línea de la costa hasta la llanura Amazónica al Este, la Cordillera de los Andes forma parte de la Cordillera Occidental que se extiende longitudinalmente por la zona occidental del continente americano, atravesando el Perú con rumbo NW-SE como se ve en la (figura 5) del mapa





morfoestructural regional del Perú; El alineamiento del sistema Andino se encuentra interrumpido por las deflexiones de Huancabamba al Norte y la de Abancay al Sur como resultado de episodios de ciclos orogénicos vinculados a fallamientos y plegamientos, así como al emplazamiento de cuerpos intrusivos y aparatos volcánicos.

Desde el punto de vista morfoestructural, la cordillera de los Andes en el Perú ha sido modelada por fases erosivas de grandes ríos formando las cadenas de montañas separadas por valles longitudinales.

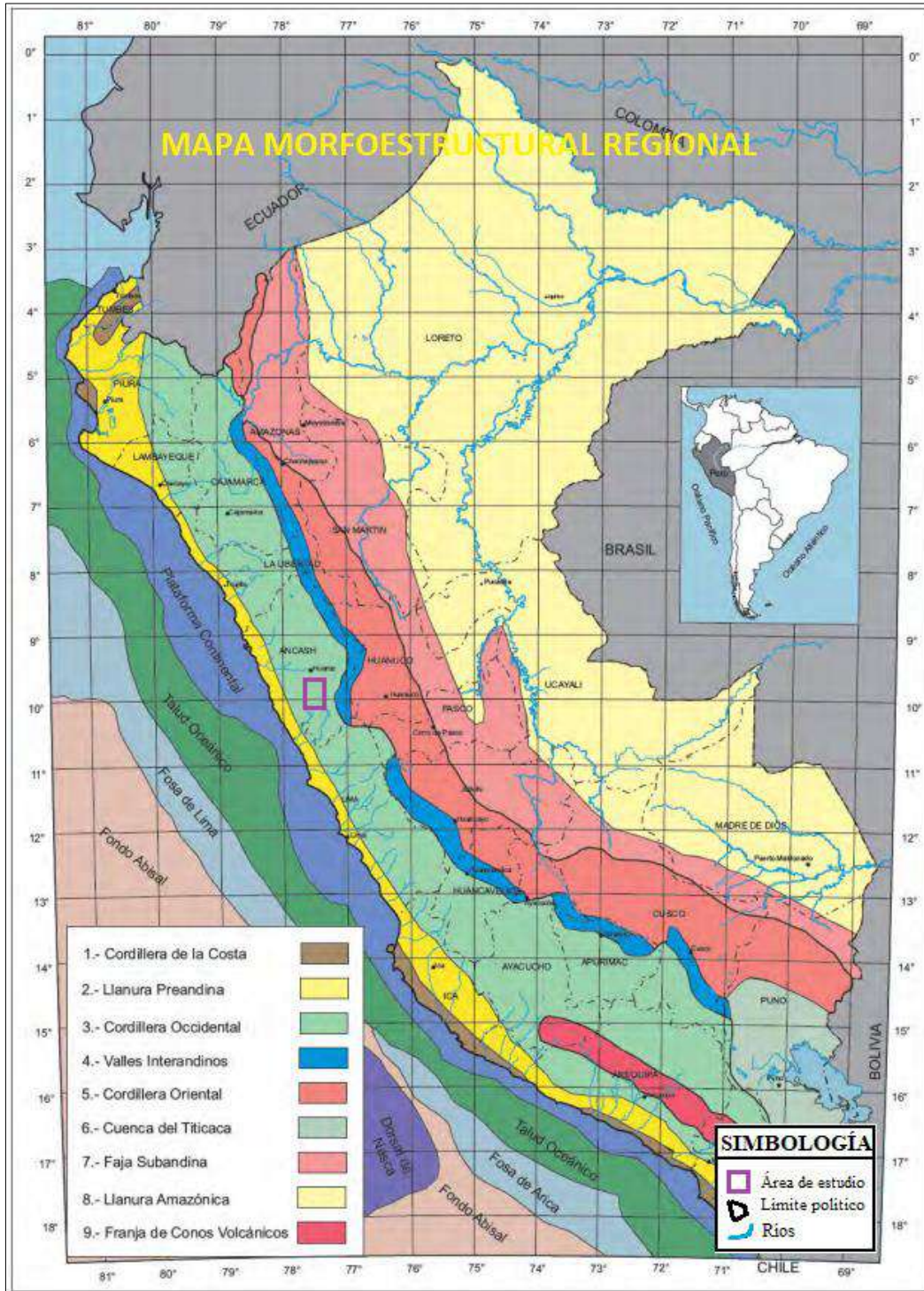
### **2.3.1.1. Cordillera Occidental**

La Cordillera Occidental del norte del Perú, es la más elevada de las cordilleras, superando altitudes de 6000 m.s.n.m. con dirección Andina (NW-SE); La Cordillera Occidental está constituida por un núcleo del paleozoico y cubierto por rocas del Mesozoico y Cenozoico intensamente plegadas con presencia de fallas inversas y una cadena compleja de conos volcánicos (Palacios y Chacón, 1995).

El macizo de la Cordillera Occidental que se encuentra en la región de Ancash, zona norte y centro del Perú está marcada por tres subdivisiones morfoestructurales longitudinales regionales bien definidas: Cordillera Negra, Valle del río Santa y la Cordillera Blanca (Wilson, 1995).

La Cordillera Negra se encuentra en la parte Occidental del valle del río Santa, mientras que al Oriente está la Cordillera Blanca con altitudes que superan los 6000 m.s.n.m. como se muestra en la (fotografía 3). El río Santa se encuentra entre 1000 y 3000 m.s.n.m. de manera longitudinal a las cordilleras, la Cordillera Negra es una cadena de montañas con altitudes entre 4000 y 5000 m.s.n.m. su nombre se debe a la ausencia de nieve y glaciares; El grupo rocoso aflorante más importante en esta parte de la cordillera es el Grupo Calipuy.

**Figura 5**  
*Mapa morfoestructural regional ubicado el proyecto Gioconda*



Fuente: (Lecaros et. al, 2000).

### Fotografía 3

*Cordillera Negra y al Este se observa la Cordillera Blanca*

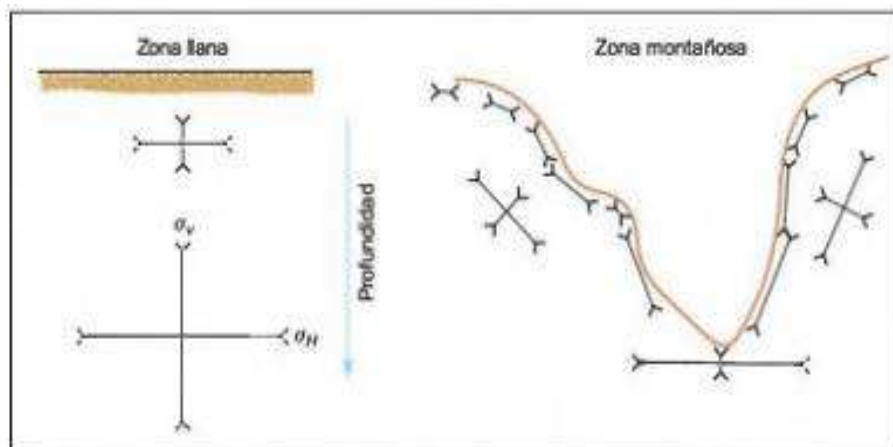


Fuente: Elaboración propia.

La morfología del terreno influye en la distribución de las tensiones en un terreno como se puede ver en la (figura 6) sin embargo, esto puede modificarse totalmente cuando dicho terreno ha sido afectada por un dominio de estructuras geológicas de manera intensiva.

### Figura 6

*Influencia de la morfología en la distribución de las tensiones*



Fuente: (Vallejo et al., 2002).



### **2.3.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

En el marco geológico regional el proyecto Gioconda está formado por litoestratigrafías de los volcánicos del Calipuy con edades del Terciario Inferior a Medio cubren gran parte de la Cordillera Negra y el proyecto Gioconda no es una excepción, consisten de lavas y aglomerados volcánicos, piroclastos de composición andesítica, dacítica a riolítica, este recubrimiento volcánico rojizo y de gran espesor suprayace en discordancia angular a las series plegadas del Mesozoico y depósitos metasedimentarios asociados al volcánico Calipuy con intercalaciones de lodolitas en forma local, cubriendo a los volcánicos se encuentran depósitos Cuaternarios (coluviales, eluviales, glaciares, fluvio-glaciares) plasmados en el mapa geológico regional de la (figura 7), en suma formado por la Formación Chicama, Grupo Goyllarisquizga indiviso y el Grupo Calipuy:

#### **2.3.2.1. FORMACIÓN CHICAMA (Js-chi).**

La Formación Chicama del Jurásico Superior (titoneana, ~150 a 145Ma) en la mayoría de sus afloramientos tienen rumbo andino es decir NW-SE, constituida de lutitas gris oscuras a negras, pizarrosas y pelíticas de 10 a 80cm de potencia con intercalaciones de areniscas cuarzosas y piritosas; No se conoce la base de la formación por ende su espesor tampoco por lo tanto se infiere que descansan sobre los esquistos del Complejo del Marañón así como pueden yacer sobre los Grupos Mitu y Pucará sin embargo, es difícil de estimar su espesor por que la formación se encuentra totalmente plegada (Wilson, 1967).

#### **2.3.2.2. FORMACIÓN OYÓN (Ki – oy).**

La Formación Oyón de edad Cretácica Inferior (berriasiano-valanginiano, ~145 a 140Ma) que suprayace a la Formación Chicama, consiste de limolitas, lutitas gris en estratos de 5 a 30cm con intercalaciones de areniscas pardo amarillentas, grises y gris claras con estratos más gruesos





intercaladas con niveles de carbón en mantos presentando una deformación y plegamiento más intensa que las unidades suprayacentes (Wilson, 1963).

### **2.3.2.3. FORMACIÓN CHIMÚ (Ki-chi).**

La Formación Chimú de edad Cretácica Inferior (Valanginiano inferior a medio, ~139 a 136Ma) sobreyace concordantemente a la formaciones Oyón e infrayace a las calizas del Santa; Las secuencias siliceo – clásticas de areniscas cuarzosas que caracteriza a esta formación son de coloración rojiza clara, de 1 a 3m de espesor y que presentan intercalaciones de lutitas negras además sus afloramientos más occidentales han sido cortados por las intrusiones del batolito de la costa y estan asociada a rocas volcánicas (Wilson, 1967).

### **2.3.2.4. FORMACIÓN SANTA (Ki-sa).**

La Formación Santa de edad Cretácica Inferior (Valanginiano Superior, ~133Ma) sobreyace concordantemente a la formación Chimú, tiene un espesor discreto del orden de 10cm a 1m que consiste de calizas de color azul grisáceo y pueden presentar concreciones de chert color gris oscuro a blanco se le considera un horizonte marcador de interés económico que se encuentra entre las areniscas Chimú y las lutitas Carhuaz (Wilson, 1967).

### **2.3.2.5. FORMACIÓN CARHUAZ (Ki-ca).**

La Formación Carhuaz perteneciente al Cretácico Inferior (Hauteriviana – Barremiano, ~132 a 126Ma) yacen concordantemente sobre la Formación Santa e infrayace a la formación Farrat con una litología principalmente de limoarcillitas gris a gris verdosas y pueden estar presentes capas de arenisca cuarcífera en la parte central, en la parte inferior pueden encontrarse capas delgadas de yeso y en algunos lugares en la parte superior pueden presentar areniscas ferruginosas algo friables en capas de 10m de espesor separado por limolitas, areniscas limolíticas lajosas y limoarcillitas algo meteorizadas; En esta parte superior la coloración de las limoarcillitas son rojizas y las limolitas pardo



grises hacia el oeste las capas se traslapan a lutitas negras e interestratificadas con chert negro y tobas silicificadas y al Sur Oeste estas capas se encuentran totalmente plegadas y fracturadas (Cobbing, 1978).

#### **2.3.2.6. FORMACIÓN FARRAT (Ki-fa).**

La Formación Farrat del Cretácico Inferior (Aptiano, ~124 a 114Ma) sobreyace directamente a la Formación Carhuaz, esta formación es la mas discreta del Grupo ya que consiste de aproximadamente de 20m de espesor sin embargo su litología es característica y peculiar de areniscas blancas deleznales de grano medio, en algunos lugares no se encuentran como tal y se considera representada por limoarcillitas de la parte superior de la Formación Carhuaz (Wilson, 1967).

#### **2.3.2.7. GRUPO GOYLLARISQUIZGA INDIVISO (Ki-go).**

El Grupo Goyllarisquizga Indiviso de edad Cretácica Inferior representa el equivalente de las cuatro formaciones subsiguientes cartografiadas hacia el Oeste, conformado por areniscas blancas deleznales de grano medio a grueso en parte algo conglomerádicas con intercalaciones de limoarcillitas y lutitas grises, ocasionalmente en la parte superior se encuentran capas delgadas de calizas de 1m de potencia y algunas veces puede estar presente en la parte inferior de sus afloramientos el carbón, cuenta con un espesor de 500 mts en promedio (Wilson. 1967).

#### **2.3.2.8. DEPÓSITOS CUATERNARIOS.**

Los depósitos cuaternarios constituyen el material de cobertura que se acumula como resultado de procesos glaciares, aluviales, fluviales y por erosión; Su distribución es mayor en las cordilleras, valles aluviales y escombros de taludes. Se diferencian en depósitos morrénicos, aluviales antiguos y recientes, coluviales y glaciofluviales.

Los depósitos Glaciofluviales, se encuentran en la cuencas Santa o cerca de ella debido a la acumulación de sedimentos del arrastre por acción de los glaciares.



Los depósitos Aluviales, constituidos por clastos redondeados o subredondeados mezclados con arena gruesa y limo resultante de la meteorización granular depositados en los lechos de valles y quebradas.

Los depósitos Morrénicos antiguos y recientes, los primeros se distribuyen mayormente entre el río Santa y el flanco Occidental de la Cordillera Blanca y muestran una morfología de lomadas y colinas de cumbres redondeadas resistentes y disectadas por cursos de agua, en algunas zonas se observan estratificaciones de arenas, gravas y limos, tales secuencias corresponden a sedimentaciones lacustres relacionados a la acumulación de material glaciofluvial mientras que los depósitos morrénicos recientes se caracterizan por sus formas de crestas o depósitos alargados e inconsolidados con extensión localizada en las proximidades de los glaciares actuales.

Los depósitos Coluviales, corresponden de agregados de fragmentos angulosos acumulados en taludes adyacentes a los macizos rocosos, así como depósitos acumulados por cursos de agua a lo largo de sus lechos del mismo modo los sedimentos finos de tipo pantanos o ciénagas denominados depósitos eluviales (Wilson, 1967).

### **2.3.2.9. LITOLOGÍA DE ROCAS VOLCÁNICAS DEL GRUPO CALIPUY**

El Grupo Calipuy es de edad Cenozoica (Terciario Inferior a Medio ~ 37 a 15Ma) recubre a lo largo de un rumbo andino y hacia el Este de la Cordillera Negra desde la cima como una franja, con espesores gruesos desde 2000m hasta más de 3000m variables por zonas de manera discontinuada con presencia de discordancias que marcan posiblemente etapas de deformación, se caracteriza principalmente de rocas piroclásticas gruesas de composición andesítica e ignimbritas dacíticas su límite Oriental en gran parte lo constituye el río Santa pero existen afloramientos al Sur de la Cordillera Blanca.





El Grupo Calipuy descansa con gran discordancia sobre las formaciones Mesozoicas, siendo la Formación Casapalca la más joven y la Formación Chicama la más antigua, el grupo fue depositado después de un intenso periodo de plegamiento, fracturamiento y una amplia erosión de estas rocas Mesozoicas.

El Grupo Calipuy se divide en dos miembros: Formación Calipuy Superior y Formación Calipuy Inferior con variaciones locales de secuencias clásticas continentales, cuerpos subvolcánicos del batolito de la Costa y productos de alteración hidrotermal de estas rocas, esta superpuesto por flujos subaéreos y piroclásticas de composición basáltica a dacítica de un espesor de 1200m aproximadamente.

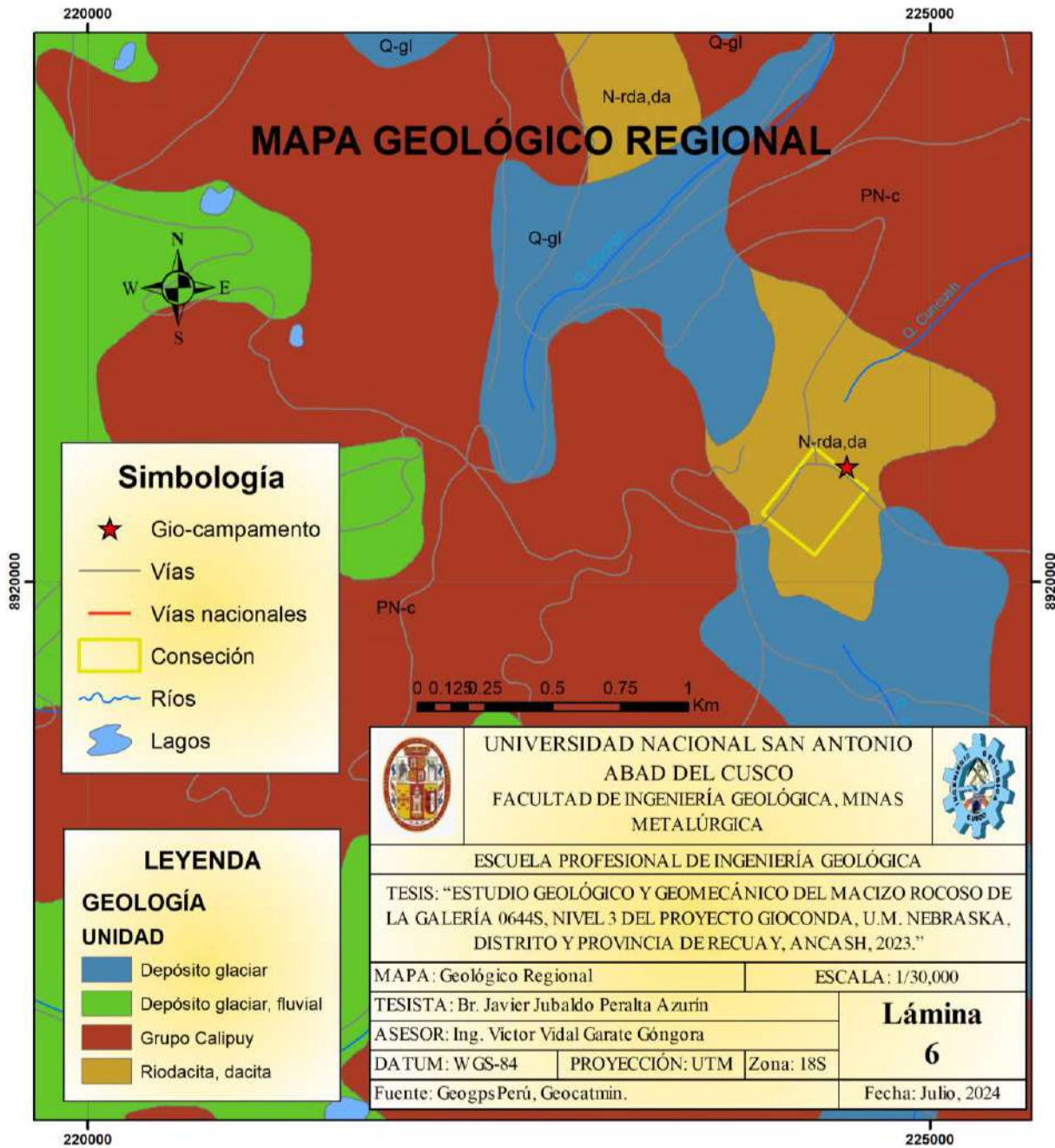
El Calipuy Inferior esta conformado por flujos y tobas de cenizas, de lapilli, aglomerados, flujos finamente laminados y conglomerados basales mientras que el Calipuy Superior consiste de miembros de tobas soldadas de composición dacítica a riolítica con variaciones locales existentes de secuencias metasedimentarias atribuidas al Grupo Calipuy Superior que suprayacen en discordancia angular fuerte a las secuencias Cretácicas del Inferior e infrayace a mantos lávicos. Estas secuencias sedimentarias muestran en sus niveles inferiores conglomerados de brechas lodolíticas y areniscas de contacto ondulante, en discordancia se encuentran secuencias de areniscas finas y lodolitas rojizas donde alternan sedimentitas y piroclásticas dacítico – riolíticas también se observan areniscas tobáceas con andesitas obliteradas mientras que en su parte superior aparecen calizas grises de aspecto lodolítico intercalado con areniscas gris oscuras alternadas con calizas y sedimentitas calcáreas. Teóricamente, esta secuencia se depositó en un ambiente lacustre de aguas frescas de extensión muy localizada al área de Recuay.

El Grupo Calipuy, volcanismo Cenozoico, es interpretado como un volcanismo continental, emplazadas durante periodos efusivos y explosivos, intensos en un rango de tiempo amplio (Eoceno



– Mioceno) resultando en la Cordillera Negra yacimientos complejos y variados emplazados en rocas Mesozoicas; Estos yacimientos incluyen pulsos magmáticos del Grupo Calipuy en profundidad y presencia de pequeños cuerpos intrusivos o stocks que no obedecen lineamientos como los batolitos dentro de los volcánicos Calipuy que desplazan zonas del batolito de la costa, en algunas zonas cercanas al área de estudio han sido cartografiadas como zonas de alta alteración (Cobbing et al., 1996).

**Figura 7**  
*Mapa geológico regional del proyecto Gioconda*



Fuente: Elaboración propia.



### **2.3.3. MARCO GEOTECTÓNICO REGIONAL**

La Geotectónica regional del proyecto Gioconda se reconstruye a partir del boletín N° 55, geología del Perú (Palacios, 1995), el boletín N° 76, geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La unión, Chiquian y Yanahuanca respecto de las hojas 20h y 20i (Cobbing et al., 1996) y la sinopsis de la geología del departamento de Ancash (Reyes, s.f.).

#### **2.3.3.1. EL SISTEMA ANDINO**

El sistema Andino con una orientación general de NW-SE se halla asociado a ejes principales de elementos estructurales tales como plegamientos, fallas, intrusiones, lineamientos de centros volcánicos, etc que han controlado las etapas de sedimentación, deformación, levantamientos, erosión y peneplanización como resultado de los sucesivos ciclos orogénicos (Myers, 1980) ver (figura 8). Los Andes peruanos se caracterizan por presentar dos cambios importantes en su rumbo: las denominadas deflexión de Huancabamba en el norte y la deflexión de Abancay en sur que se asume se iniciaron en la fase Tardihercíniana por regímenes compresivos (Marocco, 1978).

##### **2.3.3.1.1. CICLO ANDINO**

Las rocas Mesozoicas y Cenozoicas fueron controladas por el ciclo Andino que consta de las siguientes fases:

##### **2.3.3.1.2. FASE FINIHERCINIANA**

Como parte de eventos suscitados en el Mesozoico del Perú central dentro de las capas rojas Mitu y el Grupo Pucará del Triásico Superior ~230Ma se observa discordancias con evidencia de movimientos tectónicos conocidos como la fase Finiherciniana de carácter distensivo de la orogenia Herciniana Tardía al parecer reactivada por la fase Tardiherciniana con fallamientos en bloques que definen estructuras de fosas y pilares a lo largo de fallamientos longitudinales NNW – SSE, posteriormente estos mismos bloques son cortados por un fallamiento transversal de rumbo NEE-



SWW originado en profundidad y hace pensar que se trata de un fallamiento de zócalo el cual ha permitido la migración de magmas; Además, en este periodo se inicia una actividad volcánica debido a procesos de subducción que ya había iniciado en esos tiempos (Palacios y Chacón, 1995).

#### **2.3.3.1.3. FASE NEVADIANA**

A finales del Jurásico medio e inicios del Jurásico Superior ~160Ma los movimientos en bloque generaron una emersión del territorio peruano denominada como epirogénesis, este levantamiento define dos cuencas: una Noroccidental y la otra Oriental formándose al centro un bloque levantado que se conoce como Arco del Marañón. A finales del Jurásico Superior la cuenca Noroccidental es invadida por el mar depositándose secuencias arcillo-areniscosas perteneciente a la Fm. Chicama con material volcánico a lo que distinto de la cuenca Oriental que continuaba con su relleno de sedimentos continentales rojizos (Palacios y Chacón, 1995).

#### **2.3.3.1.4. FASE PERUANA**

En el Cretácico superior ~80 a 60Ma los mares se mantuvieron con transgresiones y regresiones tal que la cuenca Occidental en el Norte y centro del Perú continúan recibiendo sedimentación carbonatada y clástica, para a fines del Cretácico los mares se retiraban paulatinamente para originarse el levantamiento de la secuencia sedimentaria durante la primera fase Orogénica Andina (Fase Peruana de Steinmann) con amplios fracturamientos, plegamientos y fallamientos como un régimen compresivo delineándose la Cordillera Occidental que hasta el Eoceno Inferior continuó la ruptura tensional de terrenos en la zona Occidental.

De la misma manera con esta fase tectónica se inicia el emplazamiento de grandes porciones del Batolito de la Costa, en forma de pulsaciones que continúan hasta el Terciario inferior y decrecen hasta el Terciario Superior, simultáneo se daba lugar a una gran actividad erosiva de los depósitos



molásicos conocidas como capas rojas, las mismas que son distribuidas a lo largo de toda la región interandina (Palacios y Chacón, 1995).

#### **2.3.3.1.5. FASE INCA**

Durante el Eoceno medio a temprano ~40Ma se producen perturbaciones locales hasta finales del Eoceno con fuerte deformación compresional evidenciándose plegamientos y fallamientos inversos donde la región más afectada fueron las zonas norte y central de la Cordillera Occidental tal que al desplazarse la pila sedimentaria Mesozoica contra el geoanticlinal del Marañón se genera imbricamiento a lo largo de las fallas inversas de alto ángulo. Esta “fase Incaica” segunda deformación denominada por Steinmann el cual fue la más importante del ciclo Andino por su extensión y efecto de actividad erosiva intensa, originándose un vulcanismo activo, el Grupo Calipuy en el norte (Palacios y Chacón, 1995).

#### **2.3.3.1.6. FASE QUECHUA 1**

En el Oligoceno la Cordillera Occidental continua el vulcanismo activo desarrollándose una secuencia volcánica y volcano-sedimentaria con interferencias de facies lacustrinas de diferentes litologías dificultando sus correlaciones, hasta intensificarse la actividad volcánica de forma explosiva durante el Mioceno acumulándose una gruesa y variada secuencia de piroclastos mezclado en muchos lugares con sedimentos lacustrinos estas series cubren hasta el Mioceno inferior casi sin discordancias pronunciadas no obstante entre el Mioceno inferior y superior si hay discordancias.

Para Steinmann, hubo una tercera fase a la que denominó “Fase Quechua 1” y lo ubicó en el Mioceno Tardío con edades entre 21 a 6 Ma de régimen compresivo, aunque sus esfuerzos son menores a los de la “Fase Incaica” se evidencia pliegues plegados, más abiertos y fallas reactivadas, inmediato posterior a este plegamiento ocurre una fuerte acción erosiva generando la “Superficie Puna” extendida en toda la Cordillera Occidental (Palacios y Chacón, 1995).



### **2.3.3.1.7. FASE QUECHUA 2**

A finales del Mioceno entre los 5 a 4 Ma se da una nueva fase tectónica en el centro y Sur del Perú a la que se le podría denominar “Fase Quechua 2” traduciéndose como un levantamiento por fallamientos del vulcanismo donde sus depósitos son clásticos y arcillo-tobáceos con influencias de cenizas volcánicas como una gruesa secuencia de clásticos rojizos que experimentan su primer y único plegamiento hacia el límite Mioceno – Plioceno, en el Plioceno temprano se siguió levantando los Andes acompañado por una actividad volcánica principalmente andesítica con desarrollo de secuencias locales alrededor de aparatos volcánicos de fases explosivas y efusivas formando estratovolcanos que se alinean en dirección NNW (Palacios y Chacón, 1995).



**Figura 8**  
*Ciclo orogénico del sistema Andino*

Edad Absoluta	Era	Periodo / Piso		Ciclo	Fase
1.8	CENOZOICO	Cuaternario	Pleistoceno	A N D I N O	Fase Quechua 3? Lev. Falam. Volcanismo
		Neógeno	Plioceno		Fase Quechua 2 Lev. Falam. Volcanismo
			Mioceno		Fase Quechua 1 (Compresiva) Acompañado de fallamiento, levantamiento y erosión que generó la superficie puna, y luego volcanismo explosivo.
		Paleógeno	Oligoceno		Fase Inca Fuertemente compresiva, generó pliegues, fallas inversas, sobreascumientos. Posterior a ella se genera volcanismo generalizado en la Cordillera Occidental.
Eoceno					
64		Paleoceno			
130	MESOZOICO	Cretácico (Neocomiano)	Daniano	A N D I N O	Fase Peruana (Compresiva) se genera plegamientos regionales, fallamientos y fracturamientos.
			Maastrichtiano		Fase Inter Albiense Localizada en la parte central movimientos de deformación previa a la orogénesis propiamente dicha.
			Campaniano		
			Santoniano		
			Coniaciano		
			Turoniano		
			Cenomaniano		
			Albiano		
			Aptiano		
			Barremiano		
Hauteriviense					
Valanginiano					
Berriasiense					
190		Jurásico	(Malm)	A N D I N O	Movimiento Nevadino Epirogenia, levantamiento en bloques, generaron la separación de dos cuencas en Norte y Centro del Perú
			Turoniano		
			Kimmeridgiense		
			Oxfordiano		
			Caloviano		
			Batoriano		
			Bajociense		
Aaleniano					
250		Triásico	(Lias)	A N D I N O	Fase Finiherciniana : Deformación localizada en el Perú Central
			Pliensbachiano		
			Sinemuriano		
190		Triásico	Sup.	A N D I N O	
			Med.		
			Inf.		
250		Triásico	Retiano	A N D I N O	
			Norian		
			Carniano		
190		Triásico	Ladiniano	A N D I N O	
			Anisiano		
250		Triásico	Scythiano	A N D I N O	

Tabla 1A

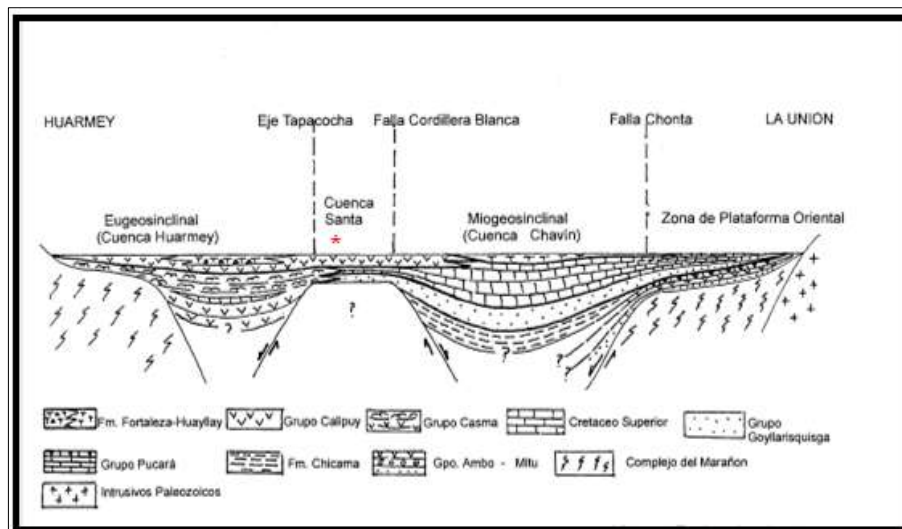
Fuente: (Palacios, 1995).



### 2.3.4. MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL REGIONAL

Regionalmente el proyecto se encuentra entre la cuenca del Santa y Chavin al Oeste de la Cordillera Blanca, controlada por sistemas de fallas y estructuras regionales como el sistema de fallas de la Cordillera Blanca (SFCB), el sistema de fallas del Eje Tapacocha (SFT), sistema de fallas Huallac – Churin (SFHCH) y el sistema de fallas Huaraz – Recuay (SFHR) ver (figura 9).

**Figura 9**  
*Sistema de fallas regionales en el área de estudio*



Fuente: Boletín Nro. 76 de la geología de los cuadrangulos de Huaraz, Recuay, La unión, Chuquíán y Yanahuanca. p. 184.

#### 2.3.4.1. SISTEMA DE FALLAS DE LA CORDILLERA BLANCA (SFCB)

El SFCB posee dirección Andina, NW – SE y define el limite oriental de la cuenca del Santa, se sitúa al pie de la Cordillera Blanca, es decir al Este del proyecto y consiste de un sistema de fallas de echelón normal durante el Mesozoico sin embargo durante el Cenozoico con la inversión tectónica varian a un regimen inverso, factores condicionantes para el ascenso de magmas, fluidos magmaticos e hidrotermales en el Mioceno (Romero, 2008).



#### **2.3.4.2. SISTEMA DE FALLAS DEL EJE TAPACOCHA (SFT)**

El SFT se ubica al Oeste del proyecto y están marcadas por un sistema de lineamientos regionales denominado eje Tapacocha que constituyen zonas de fallamientos recientes con dirección Andina, NW – SE (Dalmayrac et al., 1974).

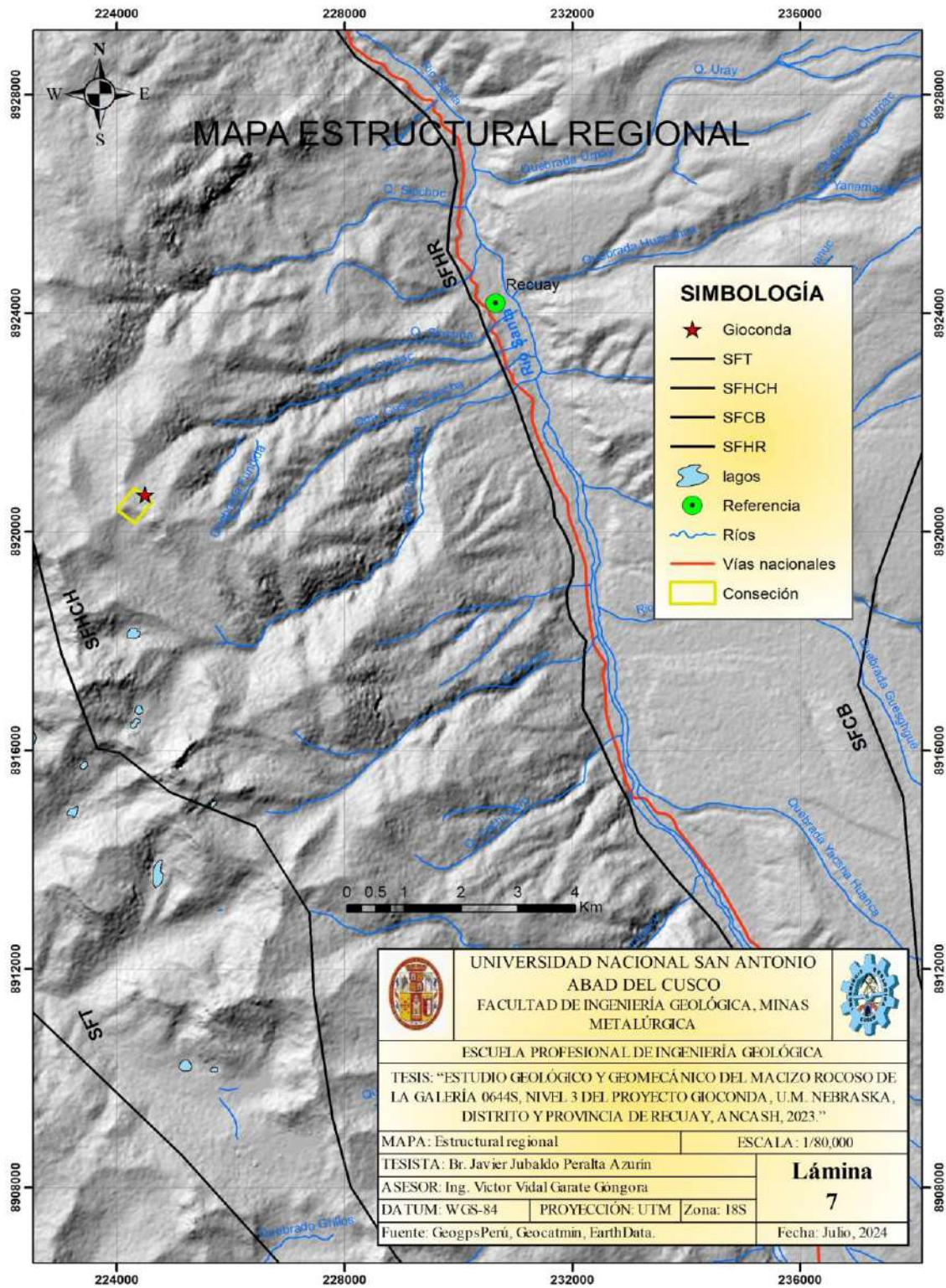
#### **2.3.4.3. SISTEMA DE FALLAS HUALLAC – CHURIN (SFHCH)**

El SFHCH con dirección Andina, NW – SE, se ubica al Oeste del proyecto (Romero, 2008).

#### **2.3.4.4. SISTEMA DE FALLAS HUARAZ – RECUAY (SFHR)**

El SFHR con dirección Andina, es longitudinal al proyecto y se encuentran cercanas al río Santa (Romero, 2008). Ver en el mapa estructural regional (figura 10).

**Figura 10**  
*Mapa estructural regional del proyecto Gioconda*



Fuente: Modificado de (Rivera y Santiesteban, 2010).



## **2.3.5. MARCO TEÓRICO DE LA GEOMECÁNICA DE ROCAS**

### **2.3.5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA**

“La matriz rocosa se define como el material rocoso exento de discontinuidades” (Vallejo et al., 2002) y “los parámetros de caracterización que lo determinan son los índices descriptivos, semicuantitativos y cuantitativos” (ISRM, 1977) descritos en el (cuadro 3).

Los bloques rocosos entre las discontinuidades de un macizo rocoso se consideran exentos de discontinuidades salvo las microfracturas producto de las recrystalizaciones o foliaciones, porosidad, esquistosidad, fabrica, etc propio de su formación geológica ya que en la naturaleza no existe roca homogénea, quedando determinados por los factores de escala.

La matriz rocosa tiene propiedades físicas, mecánicas y químicas naturalmente, sus propiedades físicas son aquellas formadas por la génesis de la roca e historia geológica tal como su composición mineralógica, tamaño de granos, petrofábrica de clastos, grados de foliación, poros, microfisuras, alteración y meteorización, recrystalizaciones, textura, contenido de humedad, etc. Los cuales se determinan por índices descriptivos; Mientras que las propiedades mecánicas son aquellas que aparecen cuando las rocas son sometidas a fuerzas externas que dependerán de las condiciones y génesis de su formación, estas propiedades mecánicas son la resistencia, la deformabilidad, las tensiones, etc.

Es oportuno recordar que la caracterización de la matriz rocosa queda determinada por los índices descriptivos, semicuantitativos e índices cuantitativos.



**Cuadro 3**  
*Índices de caracterización de la matriz rocosa*

<b>Índices descriptivos.</b> (mediante sencillos ensayos organolépticos)	Tipo de roca Color Tamaño de grano Textura y fábrica Meteorización Alteración Resistencia
<b>Índices semicuantitativos</b> (Son obtenidos a través de ensayos de clasificación sin o con una escasa preparación de la muestra)	Dureza Durabilidad Porosidad Densidad Resistencia Velocidad sónica
<b>Índices cuantitativos</b> (Índices de diseño normalmente determinados a través de ensayos complejos y/o que requieren una amplia preparación de las muestras).	Módulo de elasticidad Coeficiente de Poisson Permeabilidad primaria

Fuente: (ISRM, 1977).

### 2.3.5.1.1. INDICES DESCRIPTIVOS

Los índices descriptivos de la matriz rocosa se obtienen por técnicas perceptivas y sencillos ensayos organolépticos por las propiedades petrológicas de la matriz rocosa y descripción macroscópica, los índices descriptivos a considerar son: El tamaño de grano, visibilidad de granos, matriz, patrón textural, grado de alteración y/o meteorización, el color, la fábrica, el rango de la resistencia, composición, litología, tipo de roca, estructura, etc.

La identificación de la [Litología] es el índice que indica el tipo y nombre de la roca. [El color de las rocas], puede brindar información relevante sobre su composición, tipo de roca, minerales de alteración, facies, mineralogía, etc y se determina con la identificación cualitativa de tres parámetros como son: el color + el matiz + la intensidad (ISRM, 1977). Ver (cuadro 4).



**Cuadro 4**  
*Determinación del color de las rocas*

COLOR	MATIZ	INTENSIDAD
Rosa	Rosado	Ciara
Rojo	Rojizo	Oscuro
Amarillo	Amarillento	
Marrón	Pardo	
Verde oliva	Oliva	
Verde	Verdoso	
Azul	Azulado	
Blanco	Grisáceo	
Gris		
Negro		

Fuente: (ISRM, 1977).

[El tamaño de grano], indica los tamaños y visibilidad de los granos, se determina por la medida en milímetros y el grado de visibilidad ver (cuadro 4).

**Cuadro 5**  
*Tamaño de granos de la matriz rocosa*

DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (mm)	VISIBILIDAD	CORRESPONDENCIA CON LOS SUELOS
Grano muy grueso	<60	Visible a simple vista o con ayuda de la lupa de aumentos	Bloque
Grano grueso	2-60		Grava
Grano medio	0.06-2	Visible con el microscopio	Arena
Grano fino	0,002-0.06		Limo
Grano muy fino	<0,002		Arcilla

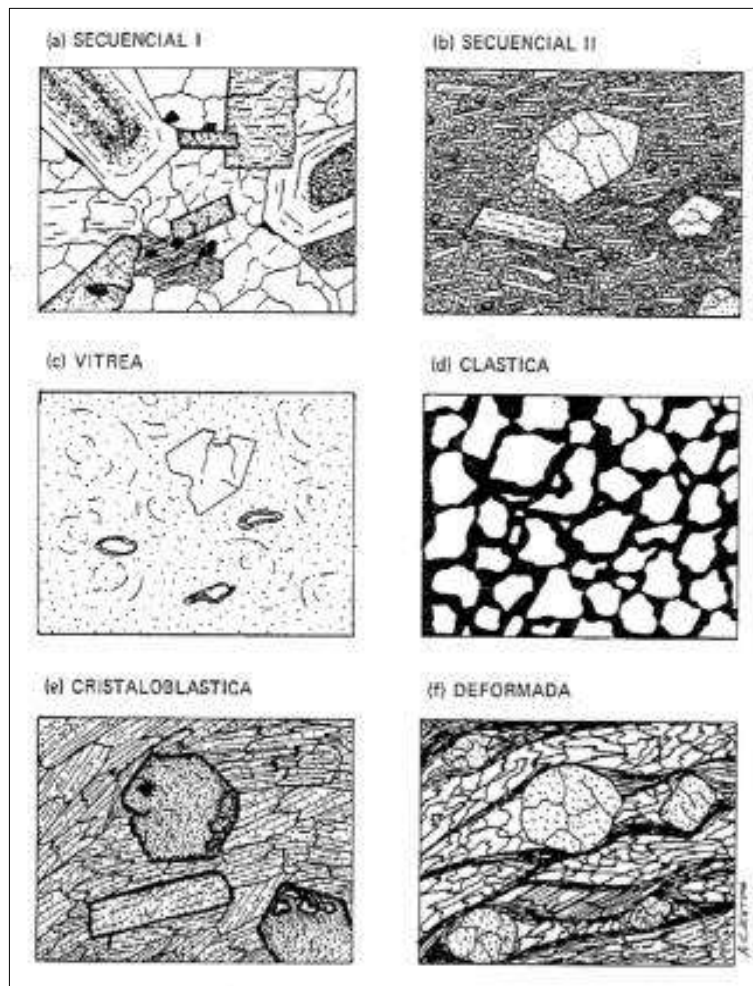
Fuente: (ISRM, 1977).

[El patrón textural], es un índice más amplio que indica el conjunto de características de formas y tamaños con independencia de la composición mineralógica en el que están incluidos caracteres granulométricos, clásticos, microestructurales, características texturales, etc; La textura

refleja las condiciones de formación de la roca. [La fábrica], indica la orientación espacial preferencial de los cristales, clastos o agregados policristalinos de la roca (Castro, 1989).

Los seis tipos texturales básicos mostrados en la (figura 11) son texturas en términos extremos, los demás tipos de texturas son las combinaciones de estas texturas básicas.

**Figura 11**  
*Tipos texturales básicos de las rocas*

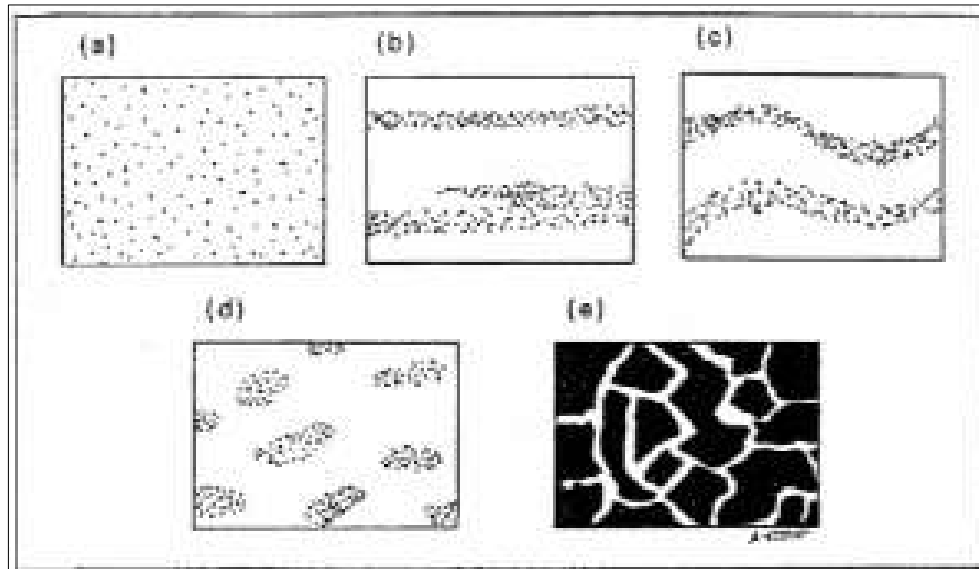


Fuente: (Best, 1982).

[Estructura], indica las distribución y orden de los cristales o clastos de un bloque rocoso y se tienen las estructuras principales (Castro, 1989) como homogénea o masiva (a), bandeada (b), bandeada

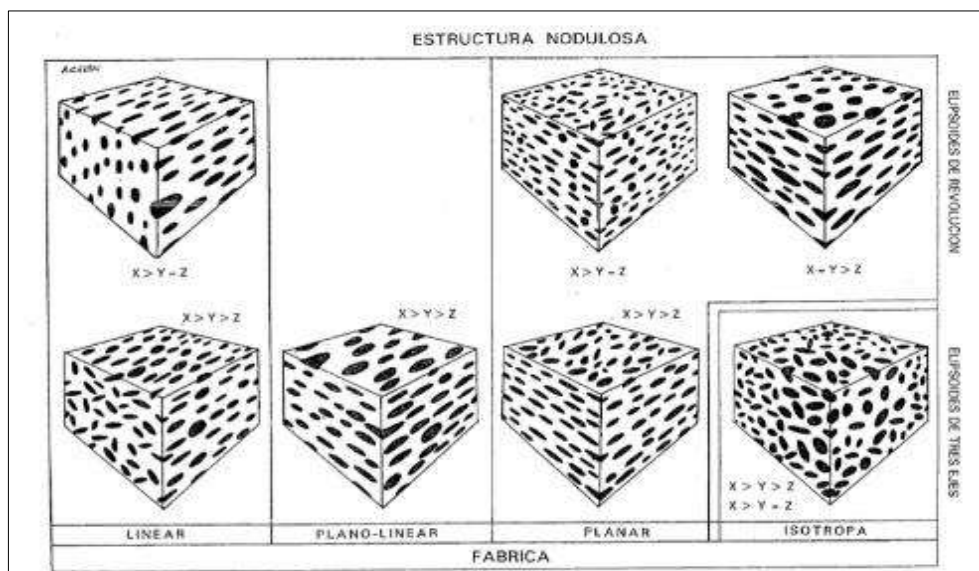
curva (c), nodulosa (d) y brechoide (e) ver (figura 12) diferenciándose de la fábrica tal como se aprecia en la (figura 13).

**Figura 12**  
*Estructuras principales de las rocas*



Fuente: (Castro, 1989).

**Figura 13**  
*Diferencia entre estructura y fábrica de las rocas*



Fuente: (Castro, 1989).





[Tipo de roca], indica el grupo genético al que pertenece la roca acorde a su estructura común relacionado con el tamaño de grano en mm como pueden ser sedimentarias detríticas, piroclásticas, sedimentarias químicas, metamórficas e ígneas detalladas en las (cuadros 6 y 7).

**Cuadro 6**  
*Clasificación de rocas sedimentarias y piroclásticas*

GRUPO GENÉTICO		SEDIMENTARIA DETRÍTICA				PIROCLÁSTICA	SEDIMENTARIA QUÍMICA
ESTRUCTURA COMÚN		ESTRATIFICACIÓN					
Composición		Fragmentos de roca, cuarzo, feldespato y minerales arcillosos		Al menos el 50 % de los granos son de carbonato		Al menos el 50 % de los granos son de rocas volcánicas de grano fino	Rocas salinas Halita Anhidrita Yeso Caliza Dolomita
TAMAÑO DE LAS PARTICULAS (mm)	60	Grano muy grueso	Bloques Bolos	Granos redondeados Conglomerado	Grava carbonatos	de Calciudita	Granos redondeados Aglomerado Granos angulares Brecha volcánica
		Grano grueso	Gravas	Granos angulares Brecha			
	0,06	Grano medio	Los granos son principales fragmentos minerales		Arena carbonatos	de Calcarenita	Tufa
			Arenisca: Los granos son principalmente fragmentos minerales.				
			Cuarcita: 95% son granos de cuarzo, huecos vacíos o cementados				
0,002	Grano muy fino	Arcosa: 75% cuarzo, más del 25% feldespato, huecos vacíos o cementados.	Grauvaca: 75% cuarzo, 15% material detrítico fino, fragmentos de roca y feldespato.	Arcilla carbonatos	de Calciarcillita	Tufa de grano muy fino	
		Limolita: 50% de partículas de grano fino					Arcillita: 50% de partículas de grano muy fino.

Fuente. (ISRM, 1977).

**Cuadro 7**  
*Clasificación de rocas metamórficas e ígneas*

GRUPO GENÉTICO		METAMÓRFICA		ÍGNEA				
ESTRUCTURA COMÚN		FOLIADA	MASIVA	MASIVA				
Composición		Cuarzo, feldespato, mica, minerales oscuros aciculares		Los minerales de color claro son cuarzo, feldespato, mica y minerales similares al feldespato				Minerales oscuros
				Rocas ácidas	Rocas intermedias	Rocas básicas	Rocas ultrabásicas	
TAMAÑO DE LAS PARTICULAS (mm)	60	Grano muy grueso	Migmatita	Corneanas	Pegmatita		Piroxenita y	
		Grano grueso	Gneiss	Mármol	Granito	Diorita		Gabro
	2	Grano medio	Esquisto	Granulita	Microgranito	Microdiorita	Dolerita	Peridotita
				Cuarcita				
				Filita				
	0,06	Grano fino	Pizarra		Riolita	Andesita	Basalto	Serpentina
Milonita								
	Grano muy fino			Obsidiana		Taquilita		

Fuente. (ISRM, 1977).

El índice de [meteorización y/o alteración] comprende a los procesos físicos y químicos que sufren las rocas por agentes del intemperismo y/o cambios mineralógicos y químicos en las rocas originadas por aguas meteóricas y por fluidos hidrotermales calientes, estos agentes toman mayor importancia en labores superficiales, es decir dentro de los 500 metros de profundidad; Estos índices

afectan directamente a la resistencia de las rocas. El grado de meteorización (y/o alteración) se mide según términos especificados en el (cuadro 8) con una descripción detallada y un grado asignado.

**Cuadro 8**  
*Grado de meteorización y/o alteración de la masa rocosa*

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
Fresco	No se aprecian signos visibles de alteración; como mucho ligeras decoloración en las discontinuidades más relevantes.	I
Ligeramente meteorizado	La decoloración indica meteorización del material rocoso y de las superficies de las discontinuidades. Todo el material rocoso puede estar descolorido por efecto de la meteorización y puede haber ciertas zonas más débiles externamente que en condiciones frescas (sanas).	II
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto o desintegrado en suelo. Hay presente zonas de roca sana o descolorida a modo de entramado discontinuo o como fragmentos aislados.	III
Muy meteorizado	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto o desintegrado en suelo. Hay presente zonas de roca sana o descolorida a modo de entramado discontinuo o como fragmentos aislados.	IV
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto o desintegrado y ha dado paso a un suelo. La estructura original del macizo rocoso está sensiblemente intacta.	V
Suelo residual	Toda la roca se ha convertido en suelo. La estructura del macizo rocoso y la fábrica han desaparecido. Hay un gran aumento de volumen, pero el suelo no ha sido transportado de forma significativa.	VI

Fuente: (ISRM, 1977).

### 2.3.5.1.2. INDICES SEMICUANTITATIVOS

Los índices semicuantitativos son aquellos obtenidos con o sin “muestras sin preparar”, es decir a través de ensayos de clasificación en cores o bloques rocosos como:

la [resistencia a compresión simple] es un parámetro que indica el rango de la resistencia a compresión simple de una roca y se determina en campo mediante el número de golpes con el martillo de geólogo antes de fracturarse mostrada en la (fotografía 2), en operación se suele recurrir a esta forma de estimación instantánea, sin embargo, debe ser contrastada con resultados de laboratorio; Los valores del rango de resistencia a compresión simple en MPa se muestran en el (cuadro 9).

### Cuadro 9

*Valores de la resistencia a compresión simple de las rocas obtenidos en campo*

CLASE	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	APROXIMACIÓN AL RANGO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25-1,0
R1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1,0-5,0
R2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5,0-25
R3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R5	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearla con el martillo sólo saltan esquirlas.	>250

*Fuente: (Jordá et al., 2016).*

### Fotografía 2

*Resistencia a compresión simple obtenido en campo*



*Fuente: Elaboración propia.*



### **2.3.5.2. RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE LA ROCA**

La resistencia de una roca es directamente proporcional al esfuerzo que soporta antes de quebrarse, la resistencia a compresión simple de una roca es un parámetro de clasificación geomecánica RMR89 donde los valores de la resistencia de una matriz rocosa siempre serán mayores a la del macizo rocoso.

La estabilidad del macizo rocoso y el comportamiento de los pernos sujetos a este dependen de la resistencia de la roca sana expuesta al ciclo de las voladuras y de las discontinuidades que ya existían antes de excavar entonces la estabilidad dependerá del comportamiento global del macizo rocoso, de las fisuras generadas en la matriz rocosa y las familias de discontinuidades.

La resistencia de las rocas también depende de su anisotropía es decir de la presencia de “discontinuidades pre-existentes” o primarias en la matriz rocosa como la esquistosidad, laminación, exfoliación y secundarias como los originados por el comportamiento estructural.

La resistencia de las rocas en presencia de agentes desencadenantes y condicionantes cambian sus características considerablemente a pesar de que la mayoría de las rocas se consideran prácticamente impermeables, existen rocas porosas y su saturación incrementa con el tiempo de exposición disminuyendo su resistencia. El agua se considera un solvente natural por excelencia y este puede desencadenar inestabilidades dependiendo de las condiciones in-situ en un determinado tiempo.

“La presencia de agua reduce la resistencia de las muestras de lutita y arenisca en un factor de dos cuando se pasa de una muestra seca a muestras saturadas” sin embargo, tratándose de macizos rocosos la presencia de agua se moviliza por las discontinuidades que dependerán no solo del número de discontinuidades sino de la abertura de estas y del esfuerzo normal al que está sometido (Colback y Wiid, 1965. p. 65 - 83).



La resistencia de una roca con dos discontinuidades primarias se comporta linealmente en la dirección de la más importante y la que tenga mayor continuidad de las microfracturas donde siguen un patrón lineal en la dirección mayor en comparativa a los macizos rocosos con discontinuidades múltiples se comportan como lineales e isotrópicos en cada set de familias (Bray, 1967. p. 194, 203, 204).

### 2.3.5.3. CRITERIOS DE ROTURA

Las rocas cuando están sometidas a esfuerzos experimentan deformaciones conforme transcurre el tiempo desde un estado elástico, plástico instantáneos hasta superar su resistencia y fallar a veces con explosiones, este comportamiento geomecánico depende de la tipología de las rocas; Los criterios de rotura más difundidos y aplicados son los de Mohr – Coulomb y de Hoek & Brown, se diferencian en que el primero es lineal y el segundo no lineal este último es más adecuado al comportamiento real de las rocas (Vallejo et al., 2002).

#### 2.3.5.3.1. CRITERIO DE ROTURA DE MOHR – COULOMB

“El criterio de rotura de Mohr – Coulomb implica que tiene lugar una fractura por corte al superarse la resistencia pico del material” (Vallejo et al., 2002. p. 161), este criterio posee ventajas por su sencillez y considera las roturas en las rocas como lineales cuando están sometidas a esfuerzos, se define por la siguiente ecuación lineal en términos de tensiones:

$$\tau = c + \sigma_n \cdot \tan \phi$$

Donde:

(c): cohesión entre granos de la roca

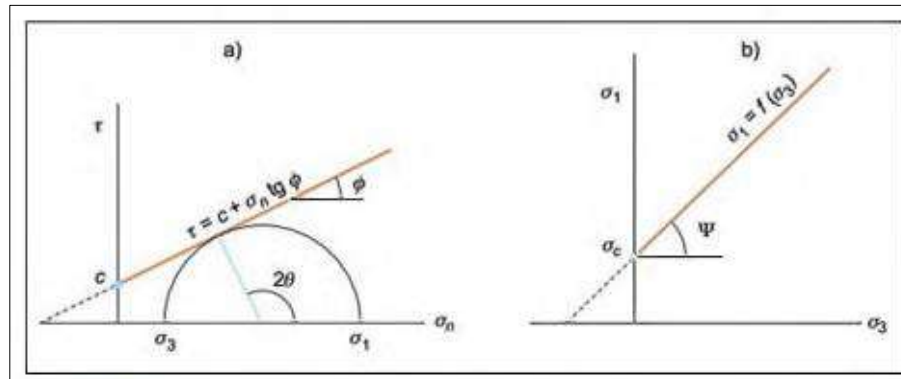
( $\phi$ ): Angulo de fricción entre planos de rotura de la roca

$\tau$  y ( $\sigma_n$ ): son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura



El criterio de rotura de Mohr – Coulomb se define en función de tensiones y esfuerzos principales, así como se muestra en la (figura 14).

**Figura 14**  
*Envoltentes de rotura de Mohr-Coulomb*

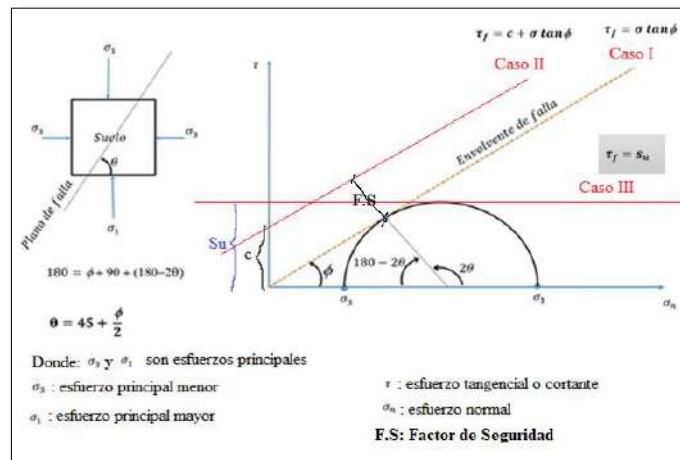


Fuente: (Vallejo et al., 2002).

En la interpretación del criterio de rotura de Mohr – Coulomb, las roturas de las rocas son funciones lineales denominadas envoltentes y se tienen tres casos principales como se muestra en la (figura 15) en términos de esfuerzos principales y tensionales los cuales se describen a continuación: Caso I, para un  $\sigma_1$  le corresponde otro  $\sigma_3$  formando los círculos de Mohr en la que se interceptan con la recta en un punto tangente generándose falla, con una fuerza de cohesión “c” igual a cero, para un estado tensional determinado, debajo de las rectas no existe rotura; Caso II, en un estado tensional de  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ , el círculo no intercepta a la recta en un punto se deduce que no se genera rotura debido a la actuación de un F.S. con una fuerza de cohesión “c”; Caso III, existe falla pero la cohesión es una constante debido al comportamiento dúctil de algunas rocas; nótese que en el caso I y II las rectas intersecan al eje -x en un punto con esto se indica la resistencia a tracción siempre es  $< \sigma = 0$ .



**Figura 15**  
*Interpretación del criterio de rotura de Mohr – Coulomb*



Fuente: Modificado de Vallejo et. al, 2002.

### 2.3.5.3.2. CRITERIO DE ROTURA DE HOEK Y BROWN

“El criterio de rotura de Hoek y Brown propuesto en 1980, es no lineal válido para evaluar la resistencia de las rocas” (Vallejo et al., 2002. p. 161). Este criterio considera la anisotropía de las rocas intactas lo que significa que estas “imperfecciones” de la matriz rocosa dan lugar a resultados de roturas en curva o no lineales como se puede visualizar en la (figura 16) y se define mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + \sigma_{ci}^2}$$

Donde:

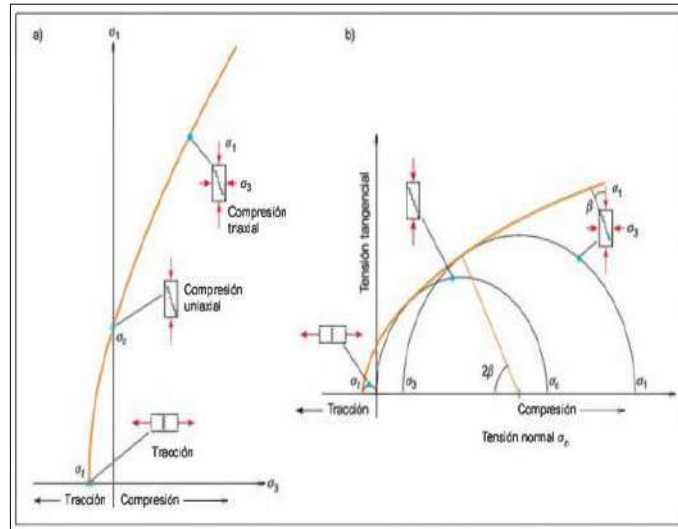
( $m_i$ ): constante de la tipología de la roca.

( $\sigma_1$ ) y ( $\sigma_3$ ): Esfuerzos principales.

( $\sigma_{ci}$ ): Resistencia a compresión simple de la roca.

**Figura 16**

*Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown*



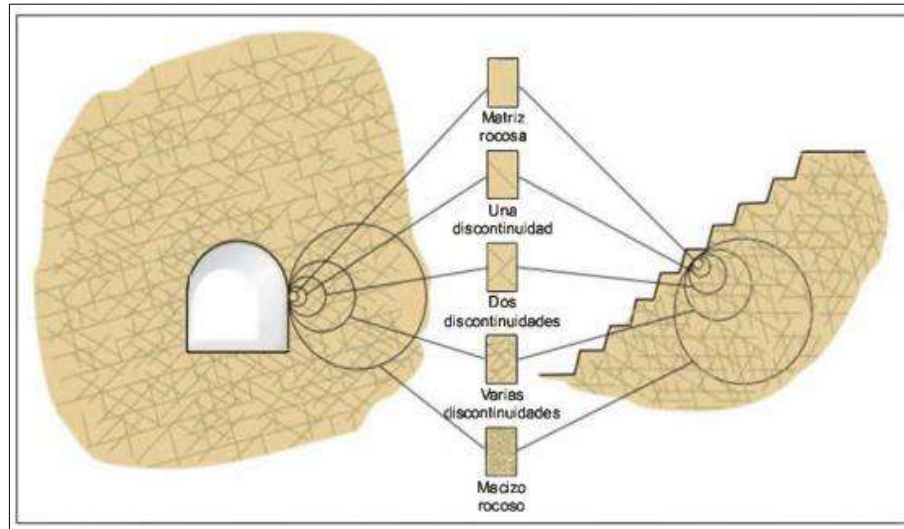
Fuente. (Vallejo et al., 2002).

### 2.3.6. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DEL MACIZO ROCOSO

Los esfuerzos y las deformaciones en macizos rocosos están controlados por las discontinuidades que son zonas de debilidad y parámetros condicionantes que determinan su estabilidad y reducen su resistencia conforme incrementa la escala de la muestra (figura 17) desde una roca intacta hasta un macizo intensamente fracturado (Vallejo et al., 2002), las excavaciones cerca de la superficie y de baja profundidad están sujetos a condiciones de meteorización (y alteración) que reducen su resistencia en cambio las excavaciones subterráneas profundas dependen exclusivamente de los esfuerzos inducidos alrededor de la excavación.

**Figura 17**

*Factor escala desde la matriz hasta el macizo rocoso*



*Fuente: (Hoek y Brown, 1980).*

Los esfuerzos en los macizos rocosos están relacionados a un estado inicial o estático y final o dinámico producto de la excavación, vinculado estrechamente a parámetros geomecánicos de diseño y sostenimiento de excavaciones; Los esfuerzos “ $\sigma_z$ ” son fuerzas que se generan por la carga litostática de cabeza de la galería y los esfuerzos tangenciales “ $\sigma_x$ ” o cortantes orientadas a deformar el material, que se manifiestan horizontalmente como el cerramiento gradual o colapso del techo por consiguiente antes de realizar todo diseño de sostenimiento en una excavación se analizan sus magnitudes y sentido, los esfuerzos en el macizo se activan por la nueva redistribución inducidos por las excavaciones y para restablecer su equilibrio se emplea un sostenimiento adecuado. Los esfuerzos inducidos producen deformaciones en la línea de corte de la excavación producto de la nueva distribución de esfuerzos, el macizo rocoso se comporta como un sistema natural reacomodándose para recuperar el equilibrio inicial, el cual depende de su resistencia global.

Por lo general, los esfuerzos verticales son mayores que los esfuerzos horizontales en excavaciones subterráneas de menor profundidad o cercanos a la superficie, con la excepción de



ausencia por fuerzas tensionales o de cizalla que hayan intervenido de forma horizontal (Hoek y Brown, 1985).

El comportamiento del macizo rocoso en excavaciones subterráneas poco profundas respecto a su calidad está influenciados y acelerados o desacelerados por factores geológicos in-situ condicionantes y desencadenantes como la meteorización, presencia de agua, carga tensional, etc a medida que se profundiza existe una reducción de la meteorización y un dominio netamente de esfuerzos inducidos que causan deformación por sobreesfuerzos.

### 2.3.7. MEDICIÓN DE TENSIONES IN-SITU

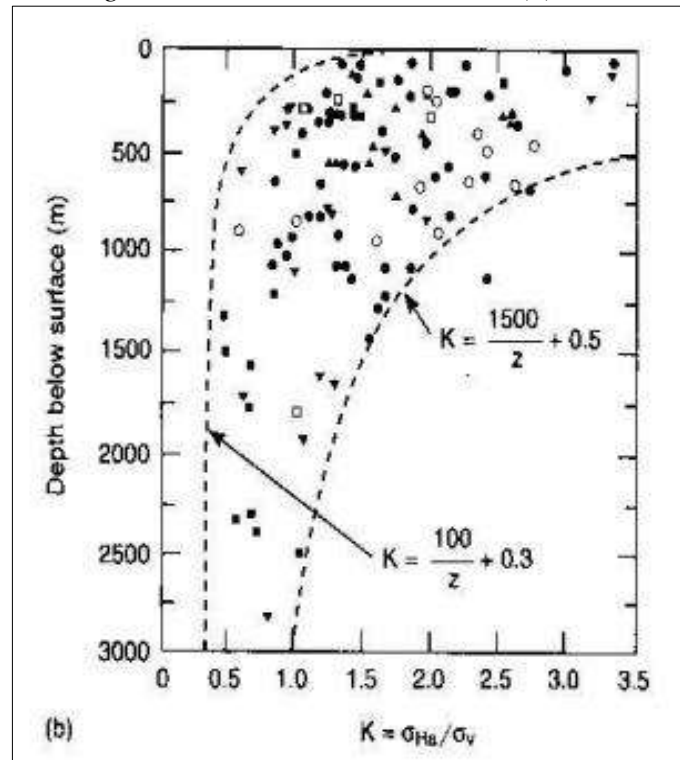
En la medición de tensiones o esfuerzos in-situ interviene un coeficiente “k” importante que relaciona ambas tensiones  $\sigma_v$  y  $\sigma_h$  denominado coeficiente de presión in-situ y su valor es crucial para entender el comportamiento de la roca en excavaciones subterráneas o en condiciones naturales, existen formas de encontrar los valores estimados de “k” planteado por (Hoek y Brown, 1980) ambos autores obtienen el rango de valores de k relacionando con la distancia vertical del techo de la excavación hasta superficie (z) tal como se muestra en la (figura 18) en base a medidas empíricas realizadas en distintos países como África del Sur, Australia, USA, Canadá, Escandinavia durante más de 20 años.

Donde z es la distancia de la roca sobreyacente del techo de la galería a superficie y “k” el coeficiente de relación entre los esfuerzos  $\sigma_h$  y  $\sigma_v$ , los valores de “k” se encuentran en un rango según la relación:

$$\frac{100}{z} + 0.3 < k < \frac{1500}{z} + 0.5 \dots \dots \dots (1)$$

**Figura 18**

*Rango de valores de k en relacion a (z)*



*Fuente: (Hoek y Brown, 1980).*

El rango de valores de “k” está relacionado con la profundidad a la que se encuentra una excavación, puesto que entre los 100 y 1500 metros de profundidad los valores de “k” varían entre 1.3 a 1.5 por ello en labores con profundidades dentro de este rango se toma en cuenta la distancia del techo de labor hasta superficie denominado (z); Sin embargo, a mayores profundidades el valor de “k” tiende a 1 debido a que los valores de  $\sigma_h$  y  $\sigma_v$  se igualan por la convergencia y el dominio tensional en profundidad.

La estimación de valores de “k” en el panorama actual continua en investigación, a nivel mundial con el fin de compilar un mapa mundial de esfuerzos se realizó en 1992 una conferencia con más de 15 países que conllevó a la obtención de la última base de datos del año 2016 con 42 870

datos a nivel mundial y se puede acceder a través de [www.world-stress-map.org](http://www.world-stress-map.org) incluido el Perú en la estimación de esfuerzos, constantes y sus direcciones como se muestran en la (figura 19).

**Figura 19**  
*Mapa de esfuerzos en el Perú*



Fuente: (WSM, 2016).

El proyecto Gioconda ubicado en el departamento de Ancash presenta un dominio de esfuerzos compresivos según el mapa de esfuerzos en el Perú.



Los valores de "k" varían según la orientación del eje mayor en las excavaciones, estos ejes uno mayor y otro menor coinciden con los ejes de la tensiones mayor y menor de las elipses que al ser iguales forman un círculo de acuerdo al comportamiento de las líneas rojas que vienen a ser los esfuerzos mayores; Los esfuerzos mayores determinan la forma de las excavaciones como se muestra en la (figura 20), en cada caso los valores de k y  $\beta$  varían, siendo  $\beta$  el ángulo del eje mayor con una horizontal imaginaria.

**Figura 20**  
*Valores de k según la orientación del eje mayor de una excavación*



Fuente: (Berrocal, 2015).

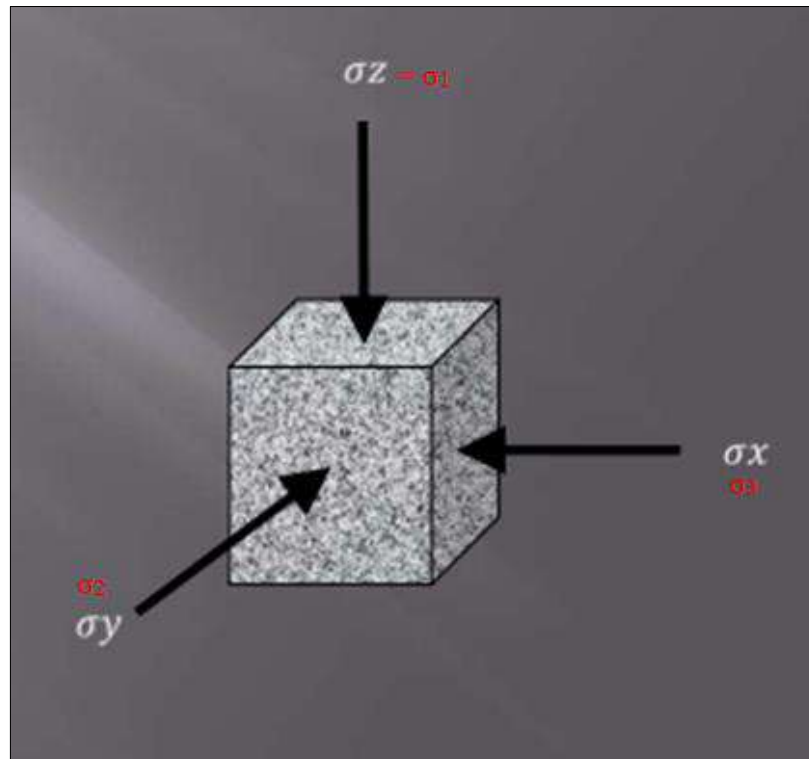
### 2.3.8. DISTRIBUCION DE ESFUERZOS ALREDEDOR DE EXCAVACIONES

Los esfuerzos principales o tridimensionales distribuidos en un determinado punto alrededor de una excavación tienen las componentes  $\sigma_z, \sigma_y, \sigma_x$  ó  $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$  y se obtienen de manera práctica a través del análisis bidimensional de esfuerzos (tensiones) que se muestran en la (figura 21) en mina, para realizar el análisis bidimensional se considera el  $\sigma_y(\sigma_2)$  como el eje del túnel y se analiza los



otros dos esfuerzos restantes  $\sigma_z$  y  $\sigma_x$  ( $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ ) (Berrocal, 2015) como un análisis bidimensional de esfuerzos cualesquiera, es lo mismo que una introducción al modelado numérico denominado discretización de las excavaciones.

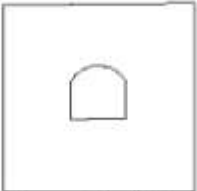

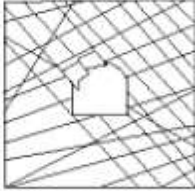

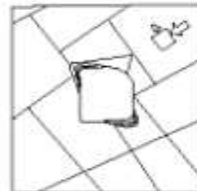
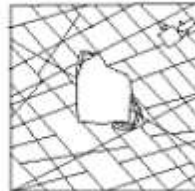


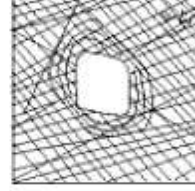
**Figura 21**  
*Tensiones en un punto finito de una excavación*



Fuente: (Berrocal, 2015).

En profundidad los mecanismos de falla y comportamiento del macizo va en incremento con un dominio sólo tensional, este control se traduce en esfuerzos inducidos o fallamientos por sobre esfuerzos como se puede mostrar en la (figura 22) en contraposición a las excavaciones superficiales o poco profundas generalmente están controladas por el sistema estructural y relajamiento de esfuerzos.

**Figura 22**  
*Mecanismos de falla del macizo con la profundidad*

	Masivo (RMR>75)	Moderadamente fracturada (50>RMR<75)	Altamente fracturada (RMR<50)
Esfuerzos in situ bajos	 <p>Respuesta elástica lineal</p>	 <p>Deslizamiento o caída de bloques y cuñas</p>	 <p>Desplazamiento de bloques de la superficie de la excavación</p>
Esfuerzos in situ intermedios	 <p>Falla rígida adyacente al contorno de la excavación</p>	 <p>Falla rígida localizada de roca intacta y movimiento de bloques</p>	 <p>Falla rígida de roca intacta y desplazamiento a lo largo de las discontinuidades</p>
Esfuerzos in situ altos	 <p>Falla rígida alrededor de la excavación</p>	 <p>Falla rígida de roca intacta alrededor de la excavación y movimiento de bloques</p>	 <p>Roca deformable, comportamiento plástico</p>

Fuente: (Osinermin, 2017).

### 2.3.9. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MACIZO ROCOSO

Son los aspectos generales del afloramiento como factores externos que intervienen en el comportamiento del macizo rocoso (Vallejo et al., 2002).

Son estudios que se realizan de forma objetiva e individualizada con la descripción y caracterización de la roca matriz, las discontinuidades y el macizo en su totalidad, describiendo tanto sus propiedades inherentes como los factores externos que influyen en su comportamiento.



### **2.3.9.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA INTACTA**

La caracterización de la roca intacta constituye la descripción de su color, tamaño de grano, textura, densidad, porosidad, alteraciones, meteorización, resistencia, permeabilidad primaria, litología, descripción petrológica, fábrica, etc (ISRM, 1977).

### **2.3.9.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO**

“Las discontinuidades son planos de debilidad que condicionan completamente el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, proporcionándoles de un carácter estructuralmente discontinuo, heterogéneo y anisotrópico afectando su resistencia hasta un valor muy bajo o incluso nulo e ínfimo a la matriz rocosa” (ISRM, 1977).

Los mapeos geomecánicos en superficie consisten de mapeos por celdas y línea de detalle y los mapeos subterráneos se realizan por celdas, línea de detalle y arco rebatido; El uso adecuado del tipo de mapeo se toma de acuerdo a la magnitud del estudio, grado de detalle o tipo de excavación (Osinergmin, 2017).

#### **2.3.9.2.1. AFLORAMIENTO ROCOSO**

Son áreas expuestas natural o artificialmente de macizos rocosos como cortes con maquinaria (figura 19), donde se observan características del comportamiento estructural de los macizos como las familias de discontinuidades, tamaño de los bloques, rellenos, litología, intensidad de fracturamiento, grado de meteorización, persistencias, etc (Vallejo et al., 2002).

**Figura 23**

*Afloramiento natural y artificial de un macizo rocoso*



Fuente: (Vallejo et al., 2002).

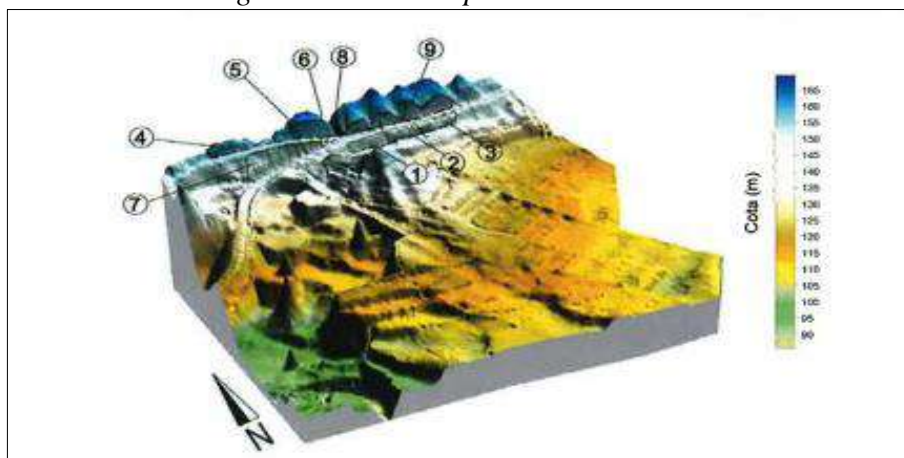
Fuente: (U.M. Nebraska, 2022).

### 2.3.9.2.2. ESTACIONES GEOMECÁNICAS

Una estación geomecánica son puntos de observación de los caracteres estructurales y geológicos medibles de la matriz rocosa y discontinuidades en afloramientos rocosos de un lugar determinado para sectorizar zonas geomecánicas diferenciadas (Jordá et al., 2016) ver (figura 24).

**Figura 24**

*Estaciones geomecánicas en puntos de interés del terreno*



Fuente: (Jordá et al., 2016. p.26)



### **2.3.10. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

La caracterización es el trabajo de campo que comienza con el estudio de la descripción general de los aspectos de contexto y características observables de la masa rocosa como litología, discontinuidades, meteorización, condición de fracturas, etc; Se deben incluir todos los parámetros y aspectos que puedan ser observados, deducidos y medidos, esta tarea puede resultar compleja por la gran variedad de propiedades del macizo por ello se establecen sistemáticas en estadillos normalizados (Vallejo et al., 2002. p. 238, 239 y 240).

La caracterización del macizo es la descripción de las características de las discontinuidades en la masa rocosa (tipo, orientación, espaciamiento, continuidad, rugosidad, rellenos) y de la roca intacta (litología, textura, resistencia, fábrica, estructura, color, etc) (Deere, 1963).

#### **2.3.10.1. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO**

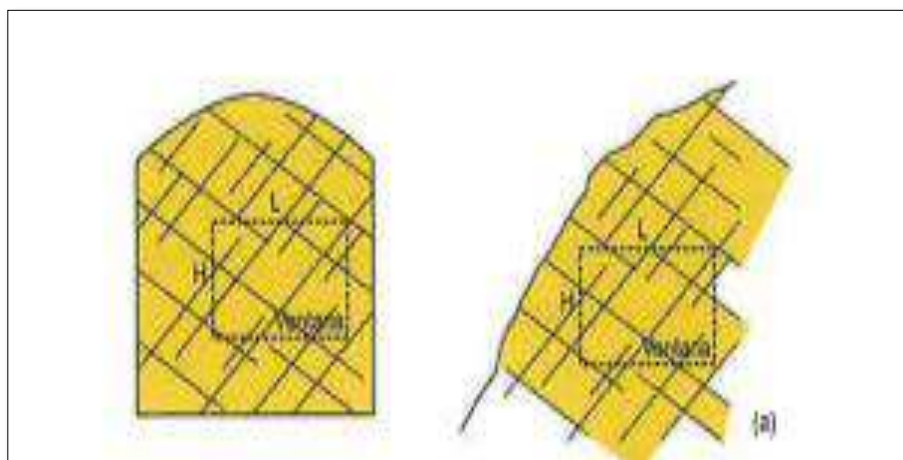
“Las discontinuidades son planos de debilidad que condicionan completamente el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, proporcionándoles de un carácter estructuralmente discontinuo, heterogéneo y anisotrópico que degrada significativamente su resistencia con un valor muy bajo o incluso el nulo e ínfimo a la matriz rocosa” (ISRM, 1977).

Los macizos rocosos además de presentar anomalías geológicas también presentan anomalías geomecánicas denominadas discontinuidades como pueden ser diaclasas, fracturas, fisuras, fallamientos, etc susceptibles de ser medidos debido a sus características heterogéneas, anisotrópicas y discontinuas que son el resultado de su propia génesis de eventos geodinámicos y tectónicos posteriores que se ven reflejadas negativamente en sus características y propiedades físico – mecánicas donde la caracterización de las propiedades de las discontinuidades nos ayuda a comprender su comportamiento geomecánico.



La caracterización geomecánica para este trabajo de investigación se lleva a cabo por estaciones geomecánicas con la técnica del mapeo por ventanas como se puede mostrar en la (figura 25). Es conveniente realizar esta técnica de ventanas tanto en superficie como en mina acorde a los fines del proyecto solo en un nivel respecto de toda la mina mediante estaciones geomecánicas a lo largo de la galería tomando en cuenta las discontinuidades geológicas y geomecánicas que se levantan durante el mapeo geológico y geomecánico (Osinergmin, 2017. p. 14).

**Figura 25**  
*Esquema de mapeo por ventanas geomecánicas*



Fuente: (Jordá et al., 2016. p. 29)

La caracterización geomecánica para este trabajo se registra en formatos normalizados basados en los índices de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, 1989 y Q de Barton, 1974 relacionados a otros índices como el MRMR, el mapeo geomecánico se realiza tanto para la matriz y el macizo rocoso, el índice RMR posee 6 parámetros que cuantifican características cualitativas con valoraciones o valuaciones los cuales se suman los primeros 5 parámetros obteniéndose un “RMR básico” para luego restarle el último parámetro de orientación de la discontinuidad respecto del túnel y obtener un “RMR corregido”, los parámetros que castigan el macizo rocoso se denominan



parámetros de influencia. Un macizo rocoso se caracteriza por cualquier sistema de clasificación considerando los siguientes parámetros:

- Resistencia a compresión uniaxial del material rocoso.
- Índice RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Orientación de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Estructura geológica y fallas.
- Filtraciones y presencia de agua.
- Estado tensional.

#### **2.3.10.1.2. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS**

Los parámetros geomecánicos son aquellos que estudian el comportamiento mecánico de los materiales geológicos, condición de las discontinuidades (fallas, fisuras, etc) y de deformación cuando están sometidos a esfuerzos externos (Vallejo et al., 2002).

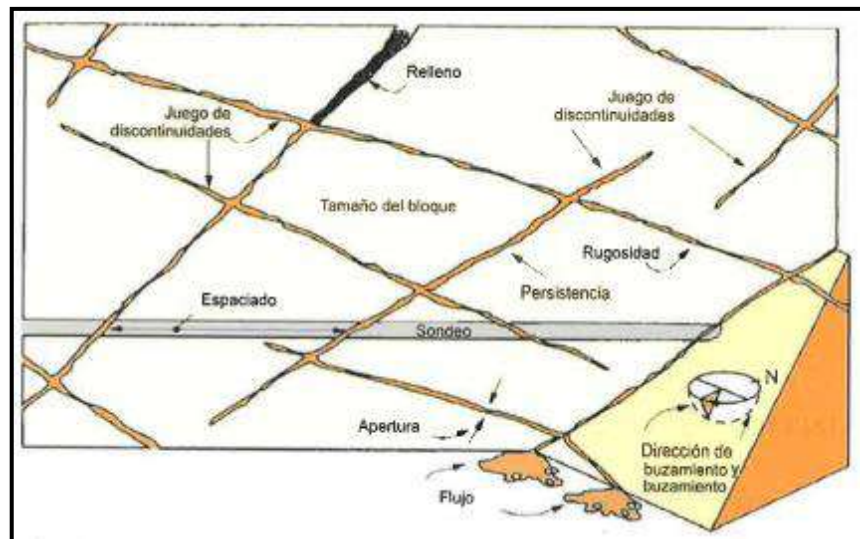
“Las discontinuidades presentan propiedades descriptivas y características geométricas susceptibles de ser medidas en campo mediante levantamientos geomecánicos” (ISRM, 1977). Son aquellas características geomecánicas que se muestran en la (figura 26) y se identifican el dominio estructural de los macizos rocosos expuestos que son susceptibles de ser medidos mediante valores, los cuales son:

- Litología.
- Numero de orientaciones.
- Orientación
- Espaciado.



- Abertura o apertura.
- Continuidad o persistencia
- Rugosidad
- Relleno
- Presencia de agua.
- Meteorización.

**Figura 26**  
*Propiedades geomecánicas de las discontinuidades*



Fuente: (Hudson, 1989).

### 2.3.10.1.3. PARÁMETROS DE INFLUENCIA

Los parámetros de influencia o denominados factores influyentes son aquellos que condicionan un área de evaluación con un mayor reforzamiento, de manera tal que al resultado obtenido de un índice hay que “castigarse” y esto sugiere instalar el siguiente tipo de sostenimiento en cualquier tabla geomecánica.



Los sulfatos de calcio como el yeso y minerales de alteración como la sericita pueden generar inestabilidades dependiendo de la proporción en el macizo debido a su composición de minerales corrosivos, propiedades expansivas y de contracción en los rellenos de las discontinuidades los cuales son acelerados por la presencia de agua (Hoek y Brown, 1985). La influencia del relleno en las fisuras, grietas, fallas con arcillas, carbonatos o incluso cuarzo que aparentemente brindan una dureza sellada se vuelven a romper en otras discontinuidades de mayor tamaño, algunas veces las discontinuidades no presentan relleno sin embargo otras veces han sido lavados por el flujo. Los rellenos de calcita, clorita, talco, grafito, arcillas inertes pueden disolverse haciendo que las juntas sean resbalosas y desencadenen en el efecto “jabón” o similares como la presencia de alteraciones tipo arenillas que le proporcionan menor cohesión a la masa rocosa (Brekke y Howard, 1972).

Las alteraciones se entienden como cambios, modificaciones, reemplazos, etc causadas por un flujo mineralizante caliente en el macizo rocoso y la meteorización por agentes de intemperismo y agua meteórica, los flujos hidrotermales implican modificaciones complejas en la roca preexistente o la “roca intacta” como en su composición mineralógica, pH, energía, relación agua/roca, tiempo de interacción dureza, porosidad, resistencia, etc de la roca encajonante es decir modifica sus propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso y los minerales secundarios que se forman tienen en su composición agua y al ser componentes hidratados su resistencia es menor por ello frecuentemente la roca resultante es más débil que la roca primaria (Ale et al., s.f.)

Los minerales de alteración representan un índice reductor de la resistencia de las rocas como producto de alteraciones y meteorizaciones de ciertos minerales primarios en secundarios que influyen en las propiedades físicas de las rocas como la dureza, los minerales secundarios que se le atribuyen de características hidratadas, estos minerales carbonatos, ferrosos, argílicos, sulfatos, arseniatos, óxidos, etc dependiendo de sus concentraciones.



En el paquete metasedimentario se observan específicamente en los niveles lodolíticos presencia de sulfatos de coloraciones blanco – amarillentos o blanco “sucio” como relleno, de granulometría fina – arenosa con presencia de agua de minerales ferrosos que se comportan como agentes degradantes en la resistencia de la masa rocosa por lo tanto otros factores influyentes son la presencia de agua, relajamiento de roca, ciclo de voladuras, zonas de intersecciones de labores, rellenos de las discontinuidades, meteorización, presencia de estructuras geológicas como fallas, vetas, vetas-falla, etc.

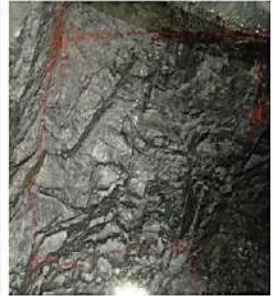
El levantamiento de las discontinuidades (juntas, fracturas, diaclasas o fisuras), denominadas en conjunto estructuras geomecánicas se realiza en el mapeo geomecánico sin embargo, en este cúmulo de estructuras a su vez están presentes las fallas geológicas, tensionales, vetas, vetas-falla, estratos, contactos que se denominan estructuras geológicas estas se registran en el mapeo geológico; Las estructuras geológicas se analizan individualmente dentro del cúmulo de familias (Hoek y Brown, 1985).

En la interpretación una estructura geológica podría controlar toda una galería o todos los niveles de la unidad minera, en el proyecto Gioconda se tienen sistemas de vetas-falla, tensionales y fallas que atraviesan la galería 0644S de forma transversal en dirección contra-andina constituyéndose un control estructural del macizo rocoso.

Las características y parámetros geométricos medibles de los macizos se levantan en puntos de observación llamados estaciones geomecánicas, los cuales se registra en estadillos o formatos normalizados con base a lo sugerido por (Vallejo et al., 2002. p. 241) y la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) como se muestra en la (figura 27).

**Figura 27**  
*Formato normalizado de mapeo geomecánico según el RMR-Q*

FORMATO VERSIÓN 001-U.M.N-2022 DE MAPEO GEOMECÁNICO RMR-Q															IPERC	CHECK-LIST	PETAR	ORDEN																																									
Nº de discontinuidad	Tipos de discontinuidad	Diputación de Estable	Dip (Dip, buzamiento)	Dip DR (Azimut, Dip dirección)	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES										Presencia de Agua	Orientación de la discontinuidad	RMR	RMR CORREGIDO																																									
					OC		RQD	Exposición (Fm)	PERMEABILIDAD (m)				RUGOSIDAD						RELIEVO		ALTERACIÓN																																						
					Resistencia a compresión Simple	Resistencia a tracción Simple			15	10	7	4	0	0					2	5	10	1																																					
1	D1	R1(NW)	N266		7	20	8	4	4	3	6	5	0	30																																													
2	D1	R1(NW)	N265		7	20	8	4	4	3	6	5	0	30																																													
3	D1	S2(NW)	N267		7	20	8	4	4	3	6	5	0	30																																													
4	D1	R2(NW)	N265		7	20	8	4	1	3	1	5	0	30																																													
5	D1	R2(NW)	N266		7	20	8	4	1	3	1	5	0	30																																													
6	D1	S2(NW)	N65		7	20	8	4	1	3	1	5	0	30																																													
7	S1	S3(SW)	N151		7	20	10	4	6	1	6	5	0	32																																													
8	S1	S3(SW)	N153		7	20	10	4	6	1	6	5	0	32																																													
VALORACION						88.6											54.5	44																																									
CATEGORIA															WIB																																												
DESCRIPCION															REGULAR B																																												
VALORACION															44.80																																												
IV															MIRMR		34.05																																										
Valoracion Q <sub>lin</sub> =					2J <sub>r</sub> =					1 RQD=88.6					J <sub>a</sub> =					5J <sub>w</sub> =					2.5RF =					2.7817					44.3					0.2					0.72419152					Q					6.41837763				
GSI															Condición de estructura:		condición superficial:		VALORACION GSI																																								



Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.11. CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS DE MACIZOS ROCOSOS

Las clasificaciones geomecánicas son un conjunto de sistemas, parámetros e índices de clasificación que emplea la observación directa y ensayos sencillos para categorizar con valores la calidad del macizo rocoso para el estimado de sostenimientos (Vallejo et al., 2002) y son los siguientes:

#### 2.3.11.1. ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA, RQD

Propuesta en 1964 por Deere como un índice designado para medir el índice de fracturamiento de la roca, la RQD (Rock Quality Designation), puede cuantificar la calidad del macizo rocoso a partir de fracturas en afloramientos por métodos empíricos.

En el proyecto Gioconda se tiene acceso limitado a los cores de perforación, sin embargo existen otros métodos empíricos incluso más efectivos que los cores, en dimensiones de 2D y 3D tal



cual como se presentan en la naturaleza y se tiene acceso mediante los afloramientos cabe recalcar que la RQD obtenida de cores es considerando sólo en 1D entonces bajo esta aclaración, la determinación del índice RQD se realiza en función del grado de fracturamiento en afloramientos y se aplica según el “número de fisuras por metro cúbico ( $J_v$ ) en afloramientos” (Palmström, 1974)

cuantifica la calidad del macizo rocoso a partir de fracturas en núcleos recuperados de una perforación diamantina, se ha utilizado ampliamente para seleccionar los tipos de sostenimiento en proyectos de tunelería. La RQD se define como el porcentaje de longitudes mayores de 10cm o 100 mm en cores con respecto a la longitud de la corrida total de perforación (Deere, 1964).

$$RQD = 100\% \times \frac{\text{Longitud de núcleos mayores de 100mm}}{\text{longitud total de la perforación}}$$

Existen otras relaciones empíricas para determinar el índice RQD como son:

#### **2.3.11.1.1. Con el “número de fisuras por metro lineal” (Priest y Hudson, 1976)**

Este método es recomendado cuando se realiza estudios detallados o en labores mineras permanentes y de transporte frecuente por nombrar los accesos, rampas, bypass, etc donde el requerimiento del conocimiento de las discontinuidades del afloramiento es más detallado donde se aplica un mapeo por la “técnica de línea de detalle” en superficie y mina.

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

Donde  $\lambda$  es el número de fisuras por metro

El valor obtenido en porcentajes y se compara en la tabla de valoración de la RQD en función del “número de fisuras del grado de fracturamiento por metro lineal” (Priest y Hudson, 1976).

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

Donde  $\lambda$  es el número de fisuras por metro lineal.



**2.3.11.1.2. Con el “número de fisuras por metro cúbico (Jv)” (Palmström, 1974)**

Se emplea en afloramientos de roca, ideal cuando se tiene un mayor número de caras expuestas y en fases iniciales de un prospecto o en labores subterráneas operativas como galerías, cruceros, labores específicas y para el conocimiento a grandes rasgos de una unidad minera, se vincula al tipo de mapeo por la “técnica de celdas geomecánicas”.

**RQD % = 115 – 3.3Jv.....para bloques planos o alargados**

RQD % = 115 – 2.5Jv.....para bloques de forma cúbica

Jv = Jvx + Jvy + Jvz, si se tienen varias ventanas se considera el promedio.

Donde Jv es el número de fisuras por metro cúbico y Jvx, Jvy, Jvz es el número de fisuras en el eje X, Y, Z respectivamente Jv = Jvx + Jvy + Jvz. Nota: Si una fisura corta 2 ejes a la vez solo se cuenta una vez, Jv: Es un parámetro que indica la cantidad total de Juntas/m<sup>3</sup> (Palmstrom, 1974).

El valor total obtenido está en porcentaje y se compara en la tabla de valoración de la RQD ver (Cuadro 10).

**Cuadro 10**  
*Calidad de la roca según el índice RQD*

<b>ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)</b>	<b>CALIDAD</b>
0 - 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: (Deere et al., 1969).



### 2.3.11.2. CLASIFICACIÓN RMR

El RMR por sus siglas en inglés fue desarrollado por Bieniawski desde 1976 y actualizado en 1989 el cual caracteriza el comportamiento estructural del macizo rocoso, considerando 6 parámetros:

1. Resistencia (compresión simple o carga puntual) de la matriz rocosa.
2. RQD del macizo rocoso.
3. Espaciado de las discontinuidades.
4. Condiciones de las discontinuidades (abertura, persistencia, rugosidad, alteración, relleno).
5. Condiciones hidrogeológicas en términos de presencia de agua.
6. Orientación de las discontinuidades.

Cada parámetro posee una valoración con su descripción de acuerdo a las condiciones del macizo para calificarse con valores numéricos de acuerdo a cuadros empíricos del sistema RMR.

Parámetro 1: Resistencia (Compresión simple o carga puntual) de la roca, ver su valoración en el (cuadro 11).

**Cuadro 11**  
*Valoración de la resistencia a compresión simple de la roca*

Descripción	Resistencia a la compresión simple (Mpa)	Ensayo de carga puntual (Mpa)	VALORACIÓN
<b>Extremadamente dura</b>	>250	>10	15
<b>Muy dura</b>	100 - 250	4 - 10	12
<b>Dura</b>	50 - 100	2 - 4	7
<b>Moderadamente dura</b>	25 - 50	1 - 2	4
<b>Blanda</b>	5 - 25		2
<b>Muy blanda</b>	1 - 5	<1	1
	<1		0

Fuente: (Bieniawski, 1989).





Parámetro 2: RQD de la roca, ver su valoración en el (cuadro 12).

**Cuadro 12**  
*Valoración de la RQD*

<b>ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)</b>	<b>CALIDAD</b>	<b>VALORACIÓN</b>
0 - 25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

Fuente: (Deere et al., 1969).

Parámetro 3: Espaciado de las discontinuidades, ver su valoración en el (cuadro 13).

**Cuadro 13**  
*Valoración del espaciado de las discontinuidades*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ESPACIADO DE LAS JUNTAS</b>	<b>TIPO DE MACIZO ROCOSO</b>	<b>VALORACIÓN</b>
Muy separadas	>2 m	Sólido	20
Separadas	0.6 - 2m	Masivo	15
Moderadamente juntas	200 - 600mm	En bloques	10
Juntas	60 - 200mm	Fracturado	8
Muy juntas	<60mm	Machacado	5

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Parámetro 4: Condiciones de las discontinuidades (persistencia, abertura, rugosidad, alteración, relleno), ver su valoración en los (cuadros 14, 15, 16, 17 y 18) respectivamente.



### Cuadro 14

#### *Valoración de la persistencia de discontinuidades*

GRADO	DESCRIPCIÓN	PERSISTENCIA	VALORACIÓN
1	Muy baja	<1m	6
2	Baja	1 - 3m	4
3	Media	3 - 10m	2
4	Alta	10 - 20m	1
5	Muy alta	>20m	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).

### Cuadro 15

#### *Valoración de las aberturas de las discontinuidades*

GRADO	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN DE LAS CARAS	VALORACIÓN
1	Abierta	>5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 - 5mm	1
3	Cerrada	0.1 - 1mm	4
4	Muy cerrada	<0.1mm	5
5	Ninguna	0	6

Fuente: (Bieniawski, 1989).

### Cuadro 16

#### *Valoración de la rugosidad de las discontinuidades*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Muy lisa	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).



**Cuadro 17**

*Valoración del relleno de las discontinuidades*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Blando >5mm	0
2	Blando <5mm	2
3	Duro >5mm	3
4	Duro <5mm	4
5	Ninguno	6

Fuente: (Bieniawski, 1989).

**Cuadro 18**

*Valoración de la alteración de las discontinuidades*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Parámetro 5: Condiciones hidrogeológicas en términos de presencia de agua, ver su valoración en el (cuadro 19).

**Cuadro 19**

*Valoración de la presencia de agua*

CAUDA POR 10m DE TÚNEL	RELACIÓN PRESIÓN AGUA - TENSIÓN PP AL MAYOR	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Nulo	0	Seco	15
<10 litros/min	<0.1	Ligeramente húmedo	10
10 - 25 litros/min	0.1 - 0.2	Húmedo	7
25 - 125 litros/min	0.2 - 0.5	Goteo	4
>125 litros/min	>0.5	Fluye	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).



Parámetro 6: Orientación de las discontinuidades, ver la orientación respecto al túnel en el (cuadro 20) y su valoración en el (cuadro 21).

**Cuadro 20**  
*Orientación de las discontinuidades respecto al túnel*

Dirección perpendicular al eje de la obra				Dirección paralela al eje de la obra		Buzamiento 0 - 20° cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Bz 45° - 90°	Bz 20° - 45°	Bz 45° - 90°	Bz 20° - 45°	Bz 45° - 90°	Bz 20° - 45°	
Muy desfavorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Fuente: (Bieniawski, 1989).

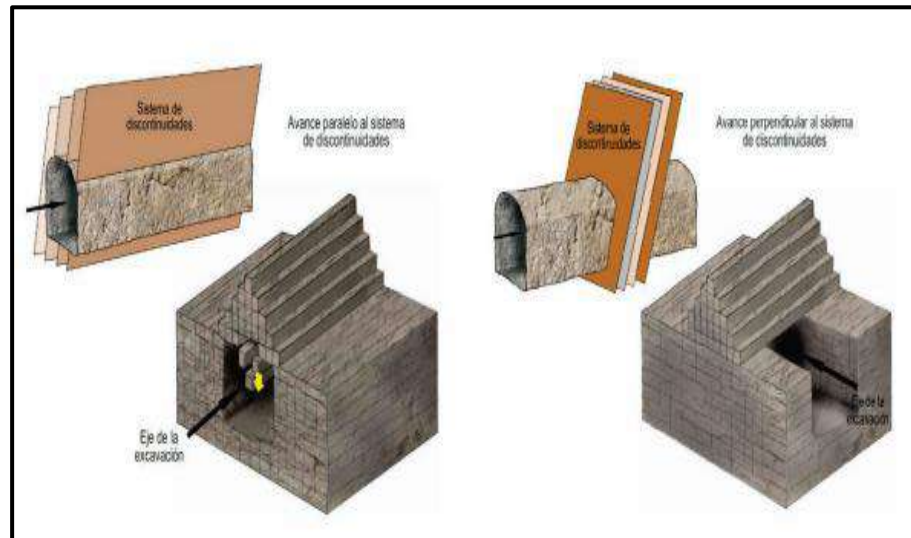
**Cuadro 21**  
*Valoración de la orientación de discontinuidades en túneles*

Valoración para túneles y minas	
Calificativo	Valoración
Muy desfavorable	0
Favorable	(-2)
Medio	(-5)
Desfavorable	(-10)
Muy desfavorable	(-15)

Fuente: (Bieniawski, 1989).

En la (figura 28) se observa la orientación del eje del túnel respecto a la orientación del sistema de discontinuidades a favor o en contra y en la GL-0644S el eje de la excavación tiene dirección perpendicular al sistema de discontinuidades geológicas de direcciones anti – Andinas que controlan estructuralmente de este modo rompe y reduce la carga tensional ya que en dirección paralela es hacerle frente a la carga tensional producto de la energía acumulada de las concentraciones de eventos sísmicos por las estructuras a lo largo de la historia geológica en el proyecto Gioconda.

**Figura 28**  
*Orientación de la excavación respecto a las discontinuidades*



Fuente: (Osinergmin, 2017).

El índice de calidad RMR varía numéricamente de 0 a 100 donde un  $RMR = 0$  es un suelo o roca completamente meteorizada y se obtiene a partir de la suma de los 5 primeros parámetros de clasificación consiguiéndose como subresultado un denominado “RMR básico” para luego “sumar el valor negativo” o “restar el valor positivo” del parámetro 6, que es la orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación y finalmente obtener un resultado denominado “RMR corregido” que no es otra cosa que la diferencia entre el valor del “RMR básico” y el valor de la orientación, esta diferencia viene de la noción de “castigar” o “martillar” el macizo debido a la orientación desfavorable de las discontinuidades en la excavación pudiendo llegar a ser críticas cuando superan los  $45^\circ$  en dirección desfavorable.

$$\text{Valuación del RMR} = [(1) + (2) + (3) + (4) + (5)] - (6)$$

El valor resultante en porcentajes se compara en el (cuadro 21) que indica el índice de calidad RMR de la roca.



**Cuadro 22**  
*Índice de calidad de la roca según el RMR*

Clasificación geomecánica del macizo rocoso, según el total de valuación					
Valuación o Valoración	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20
Clasificación	I	II	III	IV	V
Descripción de la roca	Muy buena	Buena	Media o Regular	Mala	Muy mala

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Los mismo que estan tipificados en el (cuadro 23) de la tabla de valuaciones para los parametros del RMR89 de Bieniawski.

**Cuadro 23**  
*Valuación de los parámetros según el RMR89*

PARAMETROS		ESCALA DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Bajo carga puntual	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para estos valores es preferible la resistencia a compresión simple		
		A compresión simple	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	R.Q.D.	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	VALOR	20	17	13	8	3			
3	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm			
	VALOR	20	15	10	8	5			
4	CONDICION DE LAS JUNTAS	Muy rugosas, sin continuidad, cerradas, roca labios sana.	Ligeramente rugosa separación <1 mm, roca labios ligeramente meteorizada.	Ligeramente rugosa separación <1 mm, roca labios muy meteorizada.	Espejo o falla o relleno de espesor <5 mm, o juntas abiertas 1-5 mm, juntas continuas.	Relleno blando de espesor >5 mm, o juntas abiertas >5 mm, juntas continuas.			
	VALOR	30	25	20	10	0			
5	AGUA	FLUJO EN CADA 10 m DE TUNEL, o bien	Ninguno	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min		
		Relación presión del agua en la junta/tensión principal máxima.	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		CONDICIONES GENERALES	Completamente seco	Manchas de humedad	Muy húmedo.	Goteo.	Flujo de agua.		
		VALOR	15	10	7	4	0		

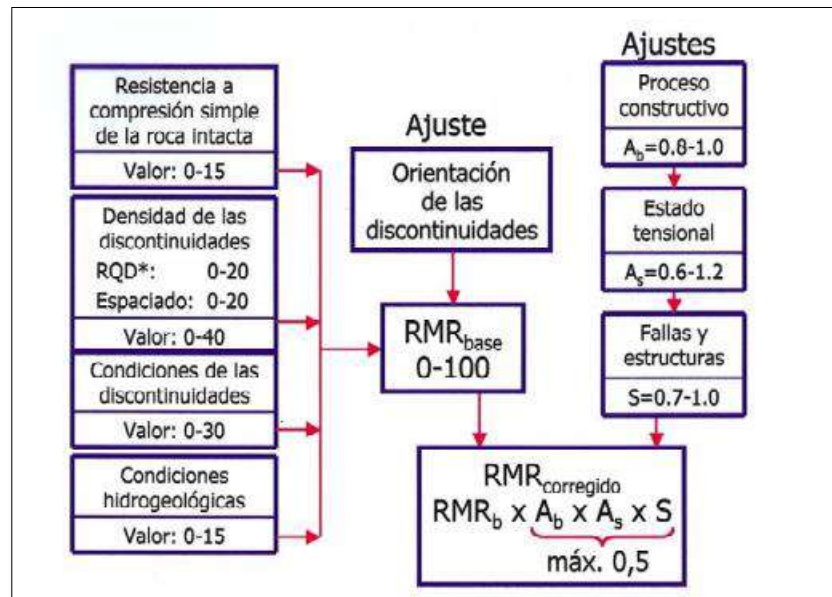
Fuente: (Traducida y tomada de Bieniawski, 1989).

### 2.3.11.3. SISTEMA MRMR (Mining Rock Mass Rating)

Bieniawski en 1989 menciona otros factores de ajuste aplicados a minería como son el proceso constructivo ( $A_b$ ), estado tensional ( $A_s$ ) y presencia de fallas y estructuras ( $S$ ) que “castigan” al “RMR corregido” resultando un valor aún menor denominado por Bieniawski “RMR modificado (M-RMR)”, donde el producto de estos factores ( $A_b \times A_s \times S$ ) es máximo de (0.5) es decir podría reducir hasta en la mitad la calidad del macizo rocoso, los factores se muestran en la (figura 29).

Sistema que posteriormente fue desarrollado por Laubscher y Jakubec, (1990) denominándose MRMR (Mining Rock Mass Rating) este sistema continuo en estudio, no cabe duda de que el MRMR y el M-RMR son índices menores que el RMR debido a la evidente perturbación del macizo rocoso por fallas y estructuras ( $S$ ) en labores mineras, se desarrollaron análisis estadísticos sobre relaciones entre el RMR y el MRMR (Pérez et al., 2018) tal como se muestra en el (cuadro 24).

**Figura 29**  
*Factores de ajuste en minería según el M-RMR*



Fuente: (Bieniawski, 1989. p. 60).





**Cuadro 24**  
*Correlación lineal entre el RMR y el MRMR*

Análisis estadístico comparativo entre RMR de Laubscher y RMR de Bieniawski.		
Análisis Estadístico General Depósito		
Medida	RMR, Laubscher	RMR, Bieniawski
Promedio	46,96	62,96
Desviación Estándar	8,26	9,83
Coefficiente de Variación	0,18	0,16
Rango	40,80	58,00
Coefficiente correlación, r		0,81
R-Cuadrada, R <sup>2</sup>		0,66
Ecuación de Correlación lineal		
RMR, Laubscher = 4,13 + 0,68*RMR, Bieniawski		

Fuente: (Pérez et al., 2018).

#### 2.3.11.4. SISTEMA Q DE BARTON

Denominado índice de calidad de roca en túneles, desarrollado por Barton, Lien y Lunde en 1974 en el Norwegian Geotechnical Institute (NGI) a partir de métodos empíricos; El cual permite estimar parámetros geotécnicos de diseño de sostenimiento en túneles y cavernas subterráneas (Barton et al., 1974).

El índice Q está definido por 6 parámetros de evaluación:

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

RQD: Índice de calidad de roca (Rock Quality Designation)

J<sub>n</sub>: Es el número de sistemas de fisuras o nro. de familias (Joint set number)

J<sub>r</sub>: Es el número de la rugosidad de las fisuras (Joint roughness number)

J<sub>a</sub>: Es el número de la alteración de las fisuras (Joint alteration number)



$J_w$ : Es el factor de reducción por agua en las fisuras (joint water reduction factor)

SRF: factor de reducción por esfuerzos, coeficiente que toma en cuenta la influencia del estado tensional (stress reduction factor).

Cada uno de los 6 parámetros del índice Q tiene asignado un rango de valores mínimo y máximo como se presenta a continuación:

RQD:	entre 0 y 100
$J_n$ :	entre 0,5 y 20
$J_r$ :	entre 0,5 y 4
$J_a$ :	entre 0,75 y 20
$J_w$ :	entre 0,05 y 1
SRF:	entre 0,5 y 20

La expresión que define al índice Q está formada por tres factores: El primer factor indica el tamaño de bloques, el segundo indica la resistencia al corte entre los bloques y el tercer la influencia del estado tensional como se muestra en la (figura 30).

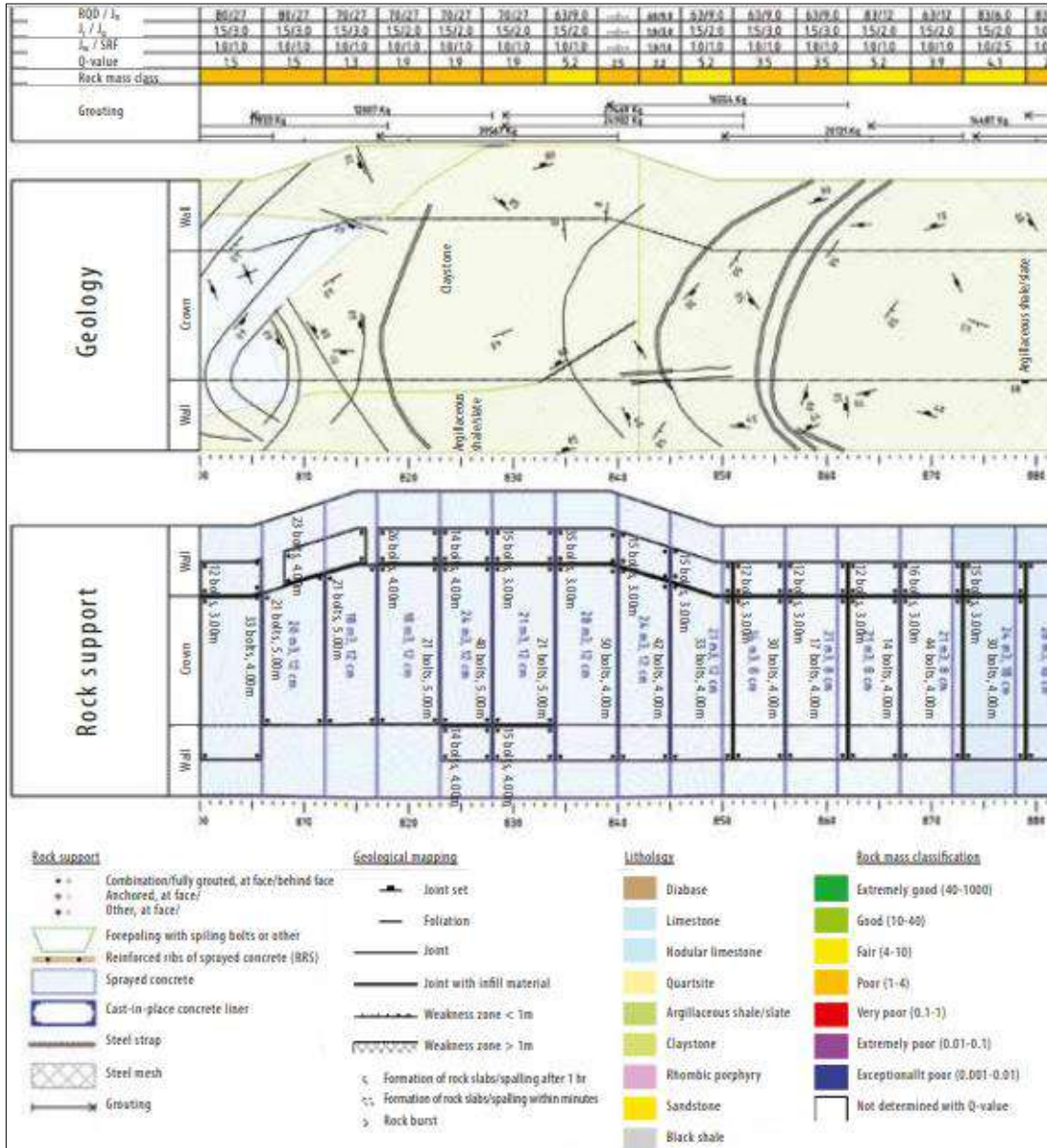
**Figura 30**  
*Factores que definen al índice Q*

$\left(\frac{RQD}{J_n}\right)$	: Tamaño de los bloques.
$\left(\frac{J_r}{J_a}\right)$	: Resistencia al corte entre los bloques.
$\left(\frac{J_w}{SRF}\right)$	: Influencia del estado tensional.

Fuente: (Hoek y Brown, 1985 p. 36)

Los parámetros del sistema Q de Barton se llevan a cabo en planos topográficos base junto al mapeo estructural de discontinuidades lineales y planares como la (figura 31).

**Figura 31**  
*Boceto de los parámetros del sistema Q de un túnel*

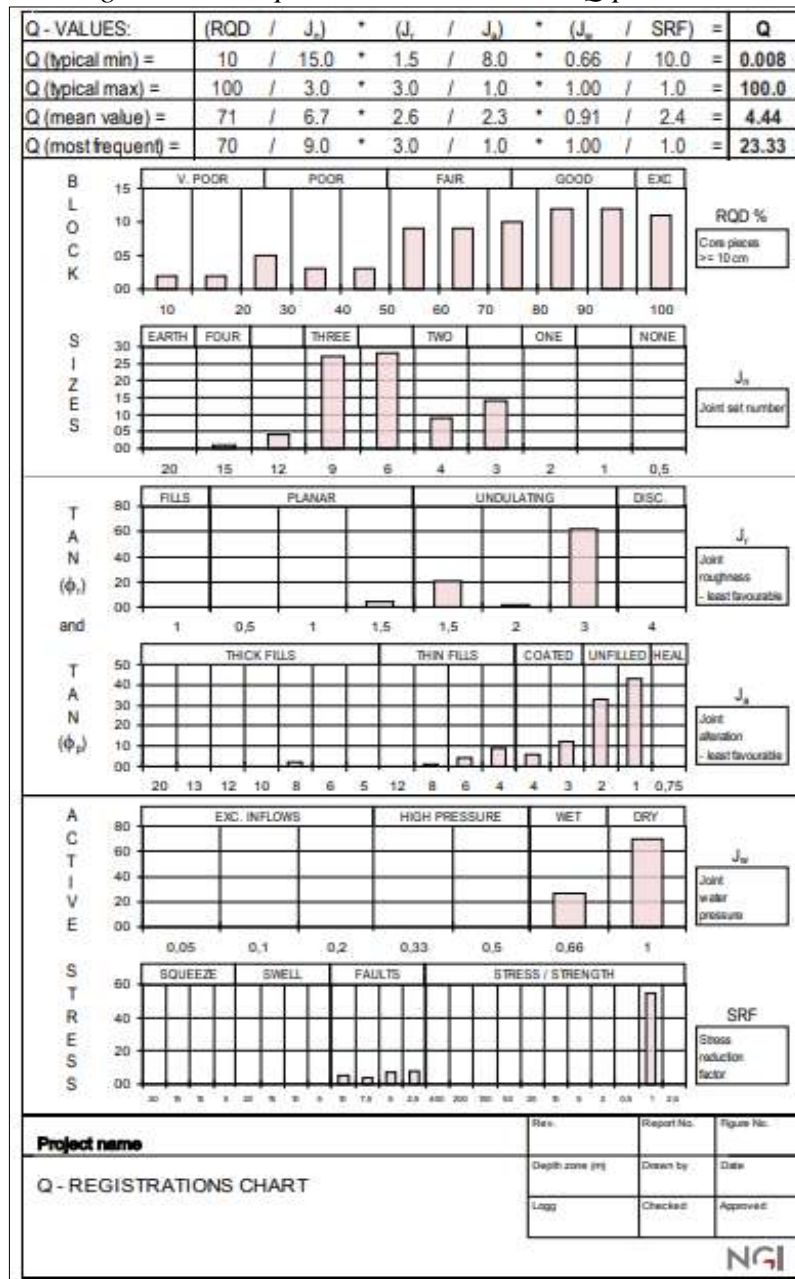


Fuente: (NGI, 2022).

El formato normalizado del sistema Q de Barton se adjunta al sistema RMR89 en el registro de las características del macizo en túneles para facilitar el histograma de parámetros como se muestran en la (figura 32).

**Figura 32**

*Histograma de los parámetros del sistema Q para un túnel*



Fuente: (NGI, 2022).



El sistema Q clasifica al macizo rocoso empleando tablas de valoración para cada parámetro y son los siguientes:

Parámetro 1: Calidad RQD del macizo rocoso, donde su valuación se muestra en el (cuadro 25).

**Cuadro 25**

*Valuación del parámetro RQD*

1. Calidad RQD del macizo rocoso		
Descripción de la calidad del macizo rocoso	RQD	Observaciones
A	Muy pobre	0 - 25
B	Pobre	25 - 50
C	Medio	50 - 75
D	Bueno	75 - 90
E	Muy bueno	90 - 100

\*Para RQD < o igual a 10, se toma un valor < o igual del RQD  
\*Para intervalos de 5 unidades del RQD, es decir, 100, 95,90, etc tienen suficiente precisión

Fuente: (Hoek y Brown, 1985).

Parámetro 2: Jn, indica el número total de familias y su valuación se muestra en el (cuadro 26).

**Cuadro 26**

*Valuación del parámetro Jn*

2. Índice de diaclasado Jn		
DESCRIPCIÓN	Jn	Observaciones
A	0.5 -	
Roca masiva, sin diaclasas o con fisuras escasa	1.0	
B Una familia de diaclasas	2	
C Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3	*En intersecciones de túneles se emplea la expresión (3Jn).
D Dos familias de diaclasas	4	
E Dos familias y algunas diaclasas aleatorias	6	
F Tres familias de diaclasas	9	
G Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12	*En las bocas de los túneles se emplea la expresión (2Jn).
Cuatro o más familias de diaclasas aleatorias, macizo		
H muy fracturada, etc	15	
macizo con terrones, etc		
J Roca triturada, terrosa	20	

Fuente: (Hoek y Brown, 1985).





Parámetro 3:  $J_r$ , índice de rugosidad de las caras en las discontinuidades y su valuación se muestra en el (cuadro 27).

**Cuadro 27**  
*Valuación del parámetro  $J_r$*

<b>3. Índice de rugosidad de las discontinuidades <math>J_r</math></b>		
<b>a) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad.</b>		
<b>b) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm.</b>	<b><math>J_r</math></b>	<b>Observaciones</b>
<b>A</b> Diaclasas discontinuas	4	
<b>B</b> Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares	3	
<b>C</b> Diaclasas onduladas, lisas	2	
<b>D</b> Diaclasas onduladas, perfectamente lisas o espejos de falla	1.5	*Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña e intermedia escala, por este orden.
<b>E</b> Diaclasas planas, rugosas o irregulares	1.5	
<b>F</b> Diaclasas planas, lisas o suaves planas	1.0	
<b>G</b> Diaclasas planas, perfectamente lisas o espejos de falla	0.5	
<b>c) No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante</b>		
<b>H</b>	<b><math>J_r</math></b>	<b>Observaciones</b>
Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad	1.0	*Si el espaciado de la familia de discontinuidades es superior a 3m, se debe aumentar el índice $J_r$ en una unidad.
Zona arenosa, de gravas o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad	1.0	**En el caso de diaclasas con espejos de falla, si están orientadas favorablemente, se puede utilizar el valor de $J_r = 0.5$

Fuente: (Hoek y Brown, 1985).





Parámetro 4: Ja, índice de alteración de las discontinuidades y su valoración se muestra en el (cuadro 28).

**Cuadro 28**  
*Valoración del parámetro Ja*

**4. Índice de alteración de las discontinuidades Ja**

<b>a) Contacto entre las caras de la discontinuidad (Sin minerales de relleno intermedios)</b>		$\phi_r$ Angulo de fricción	<b>Ja</b>
<b>A</b>	Discontinuidad sellada, dura, sin reblandecimiento, impermeable, ejm Cuarzo en paredes sanas	--	0.75
<b>B</b>	Caras de la discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas	25° - 35°	1.0
<b>C</b>	Planos o caras de discontinuidades ligeramente alteradas y contienen minerales no blandos como partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla	25° - 30°	2.0
<b>D</b>	Recubrimientos de limo o arena arcillosa, fracciones pequeñas de arcillas (no blanda)	20° - 25°	3.0
<b>E</b>	Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco, yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Discontinuos con espesores máximos de 1 o 2mm	8° - 16°	4.0
<b>b) Contacto entre los planos de la discontinuidad con &lt;10 cm ante un desplazamiento cortante (Minerales de relleno en pequeños espesores)</b>		$\phi_r$ Angulo de fricción	<b>Ja</b>
<b>F</b>	Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc	25° - 30°	4.0
<b>G</b>	Fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos. Los recubrimientos son continuos, pero con espesores <5mm.	16° - 24°	6.0
<b>H</b>	Sobreconsolidación media a baja, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos <5mm de espesor	12° - 16°	8.0
<b>J</b>	Rellenos de arcillas expansivas como montmorillonita, de espesor continuo de <5mm. El valor de Ja depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas.	6° - 12°	8.0 - 12.0
<b>c) No existe contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante o cuando esta cizallada</b>		$\phi_r$ Angulo de fricción	<b>Ja</b>
<b>K</b>	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y	6° - 24°	6.0 - 8.0 - 12.0
<b>L</b>	arcillas (Ver G, H y J para ver la descripción de las		
<b>M</b>	arcillas		
<b>N</b>	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, con pequeña fricción de arcillas no blandas	--	5.0
<b>O</b>	Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (Ver	6° - 24°	13.0 - 20.0
<b>P</b>	clases G, H y J para la descripción de las		
<b>R</b>	condiciones de las arcillas).		

**Observaciones**

\*Los parámetros Jr y Ja (que representan al esfuerzo cortante) deben referirse al sistema de fisuras o a la discontinuidad con relleno de arcilla más débiles de la zona que se examina.

\*\*Los valores expresados para los parámetros Jr y Ja se aplican a las familias de discontinuidades o diaclasas que son menos



favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte (esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión  $T < > \sigma_n^{(-1)} (J_r/J_a)$ )

Fuente: (Hoek y Brown, 1985).

Parámetro 5:  $J_w$ , coeficiente reductor por presencia de agua cuya valuación, ver (cuadro 29).

**Cuadro 29**  
*Valores del quinto parámetro  $J_w$*

5. Factor de reducción por la presencia de agua $J_w$			
DESCRIPCIÓN	$J_w$	Presión del agua Kg/cm <sup>2</sup>	Observaciones
<b>A</b> Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 L/min y de forma localizada	<1	1.0	
<b>B</b> Afluencia a presión media, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades	1 - 2.5	0.66	
<b>C</b> Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno	2.5 - 10	0.5	
<b>D</b> Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	2.5 - 10	0.33	*Los valores de las clases C, D, E y F son meramente estimativos. Si se implementan elementos de drenaje, se puede incrementar el valor $J_w$ .
<b>E</b> Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada en el momento de realizar las voladuras, decayendo con el tiempo	>10	0.2 - 0.1	**No se han considerado los problemas especiales derivados de hielo.
<b>F</b> Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable	>10	0.1 - 0.05	

Fuente: (Hoek y Brown, 1985).



Parámetro 6: SRF, coeficiente reductor por carga tensional y su valoración, ver el (cuadro 30).

**Cuadro 30**  
*Valoración del coeficiente reductor de SRF*

<b>6. Coeficiente reductor de las condiciones tensionales SRF</b>				
<b>a) Las zonas débiles que interceptan a la excavación, pudiendo producir desprendimiento de roca a medida que la excavación del túnel avanza</b>				
			<b>SRF</b>	<b>Observaciones</b>
<b>A</b>	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (a cualquier profundidad).		10.0	
<b>B</b>	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (Profundidad de la excavación < o igual a 50m).		5.0	*Se reducen los valores expresados del SRF entre un 20 - 50% si las zonas de fracturas sólo influyen, pero no interceptan a la excavación.
<b>C</b>	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (Profundidad de la excavación >50m)		2.5	
<b>D</b>	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (libres de arcillas), roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad).		7.5	
<b>E</b>	Zonas de fractura aisladas en roca competente (Libre de arcillas), (Profundidad de excavación < o igual a 50m).		5.0	
<b>F</b>	Zonas de fracturas aisladas en roca competente (Libre de arcillas), (Profundidad de la excavación > 50m)		2.5	
<b>G</b>	Terreno suelto, discontinuidades abiertas, fuertemente fracturadas, en terrones, etc. (A cualquier profundidad).		5.0	
<b>b) Rocas competentes con problemas tensionales en las rocas</b>				
		<b><math>\sigma_c/\sigma_1</math></b>	<b><math>\sigma_t/\sigma_1</math></b>	<b>SRF</b>
<b>H</b>	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas	>200	<0.01	2.5
<b>J</b>	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables	200 - 10	0.01 - 0.3	1
<b>K</b>	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
<b>L</b>	Lajamiento moderado de roca suave (Roca masiva).	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
<b>M</b>	Lajamiento y explosión de roca fuerte (Roca masiva).	3 - 2	0.65 - 1	50 - 200
<b>N</b>	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	< 2	> 1	200 - 400
<b>c) Rocas deformables, fluyente o plástica: Flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas</b>				
			<b><math>\sigma_t/\sigma_c</math></b>	<b>SRF</b>
<b>O</b>	Presión de flujo de deformación baja		1 - 5	5 - 10

\*Para campos tensionales fuertemente anisotrópicos: Cuando  $5 < \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ , se disminuye el parámetro  $\sigma_c$  hasta  $0.75\sigma_c$ ; si  $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ , se tomará el valor  $0.5\sigma_c$ .  $\sigma_c$  es resistencia a compresión simple;  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  son las tensiones principales mayor y menor y  $\sigma_t$  es la tensión tangencial máxima (tracción), estimada a partir de la teoría de la elasticidad.  
\*\*En los casos que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la altura de la excavación, se sugiere aumentar el valor del SRF entre 2.5 y 5 unidades.



<b>P</b> Presión de flujo de deformación alta	> 5	10 - 20	La resistencia a compresión del macizo rocoso puede estimarse mediante la expresión: $q(\text{Mpa}) < > 7 \times \gamma \times Q^{(1/3)}$ , donde $\gamma$ es la densidad de la roca en g/cm <sup>3</sup> (Singh, 1993).
<b>d) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua</b>			
		<b>SRF</b>	<b>Observaciones</b>
<b>R</b> Presión de expansión baja		5 - 10	
<b>S</b> Presión de expansión alta		10 - 15	

Fuente: (Hoek y Brown, 1985).

El valor resultante se compara en el (cuadro 31) de la calidad de roca según el índice Q del rango de valores tomados en mina por zonas de la (tabla 2) del capítulo de resultados.

**Cuadro 31**

*Calidad del macizo según el índice Q*

<b>TIPO DE ROCA</b>	<b>VALOR DE Q</b>
Excepcionalmente mala	0.001 - 0.01
Extremadamente mala	0.01 - 0.1
Muy mala	0.1 - 1
Mala	1 - 4
Media	4 - 10
Buena	10 - 40
Muy buena	40 - 100
Extremadamente buena	100 - 400
Excepcionalmente buena	400 - 1000

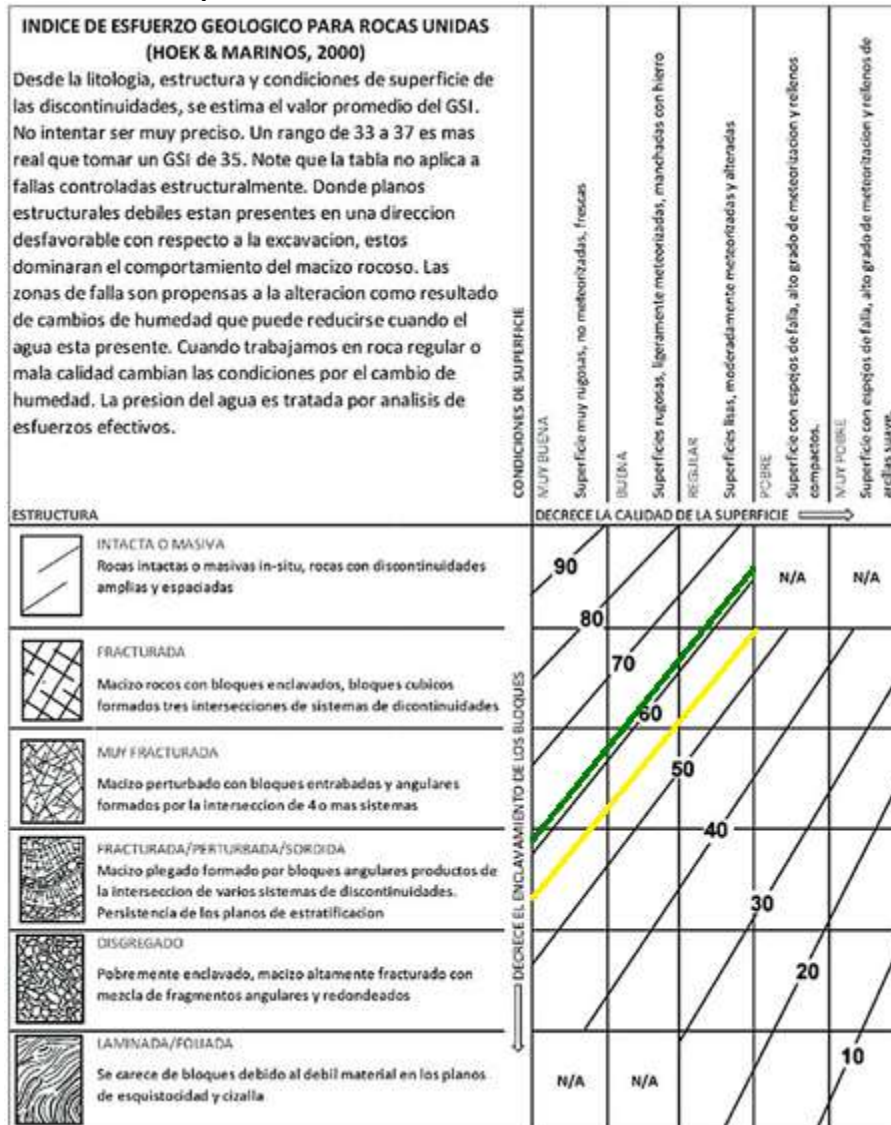
Fuente. (Barton, 2000).

### 2.3.11.5. ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA, GSI

Es un índice de caracterización geomecánica conocido como GSI (Geological Strength Index), califica la calidad del macizo rocoso en función de dos parámetros: El grado de fracturamiento (condición estructural) y la condición superficial; Funciona como una tabla de doble entrada

asignándose preferentemente un rango numérico a la condición visual estimada (Hoek et al, 1995) que se muestra como la (figura 33).

**Figura 33**  
*Tabla para la estimación del GSI del macizo rocoso*



Fuente: (Hoek y Marinos, 2000).

El GSI se crea para caracterizar de mejor manera a los macizos rocosos de mala calidad con RMR <20 y se presenta como un complemento del criterio de falla de Hoek y Brown generalizado que estima valores de las constantes (mi) de la roca intacta, (mb) valor minorado de (mi) y constantes



del macizo rocoso (a) y (s) incorporados en el software RocData que analiza tomando en cuenta el grado de alteración de las rocas, condiciones de formación, estado de fracturamiento y la disposición de las discontinuidades.

Durante la operación de minado, los resultados inmediatos y “a priori” del estado del macizo rocoso son cruciales y este índice facilita dicha estimación sin embargo este resultado se debe contrastar con resultados más detallados y fiables en gabinete como el RMR y Q, siguiendo un pets estandarizado de operación como el lavado superficial de los hastiales y techo según el avance lineal para una mejor estimación del GSI.

El GSI tiene asignado valores desde 1 hasta 100, los valores menores corresponden a macizos de menor calidad y bastante fracturadas en muchos casos presentan rellenos de arcilla blanda y valores mayores a macizos de buena calidad sin meteorización y poco fragmentada.

El GSI posee centenares de limitaciones que se debe tomar en cuenta al emplearse y entre los errores más gravísimos es confundirlo con un índice de clasificación geomecánica, cabe recordar que este nace como un índice de caracterización geomecánica para rocas de mala calidad de RMR <20 (Bieniawski, 2011), otro error frecuente es su aplicación en zonas de control estructural su uso no se recomienda (Hoek et al., 2000).

En la estimación del GSI intervienen factores influyentes que se consideran al momento de su aplicación en la tabla de valuación del GSI tal cual se muestran en la (figura 34).



**Figura 34**  
*Factores influyentes en el GSI*



Fuente: (Cia. Minera Lincuna, 2022).

El macizo rocoso de la GL-0644S presenta un control estructural por estructuras geológicas y geomecánicas por ende el uso del GSI es limitado sólo para tener una referencia de la condición superficial que se tiene del macizo, valores que se insertan en el software libre RocData siendo entre 60 y 63 para los tufos volcánicos y entre 50 y 55 para las rocas metasedimentarias mostrados en la figura 58.

El RMR y Q se complementan entre si (Bieniawski y Barton, 2007) ya que fueron desarrollados para el mismo propósito como es la construcción de túneles en contraposición del GSI que se desarrolló para brindar mayor información al criterio de rotura de Hoek y Brown, siendo un índice de caracterización de macizos rocosos y no debe pretender sustituir a sistemas de clasificación del tipo del RMR y Q (Bieniawski, 2011).

Existe una relación entre el RMR y GSI tal que:

$$\text{GSI} = \text{RMR} - 5$$

Sólo se cumple para rocas de muy mala calidad con  $\text{RMR} < 20$  (clase V).





### **2.3.12. DISEÑOS DE SOSTENIMIENTO EN EXCAVACIONES**

“El diseño del sistema de sostenimiento se realiza tomando en cuenta parámetros fundamentales como: Las propiedades físicas y mecánicas de las rocas, tensiones actuantes y la línea de corte” (Berrocal, 2015).

Los “parámetros del diseño de un túnel” se refiere al diseño de un túnel donde se requieren de datos geológicos y geomecánicos (Vallejo et al., 2002).

El diseño de los elementos de sostenimiento de una excavación se consideran parámetros de diseño como la disposición espacial de los bloques rocosos controlado por el diaclasamiento de las familias de discontinuidades tanto en forma y tamaño, condiciones geológicas, esfuerzos principales en dirección y magnitud, comportamiento de la línea de corte en rocas masivas y estructurales.

#### **2.3.12.1. DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN ROCAS MASIVAS**

Las rocas masivas son una de las más abundantes en la corteza terrestre y se forman por solidificación y enfriamiento en forma de magmas y lavas a determinadas condiciones de presión y temperatura, aquellas rocas que provienen de magmas se reconocen texturalmente por el tamaño de sus minerales y granos faneríticos en contraposición a las rocas provenientes de lavas formadas por minerales y granos afaníticos in-visu manifestándose su mineralización violenta forzado por agentes de intemperismo. En el proyecto Gioconda las rocas masivas o estériles se encuentran generalmente en labores permanentes como vías principales del transporte para la operación, en este tipo de rocas el diseño de la excavación es forma de bóvedas o en arcos para la mejor distribución de los esfuerzos, así como se muestra en la (figura 35).

**Figura 35**

*Forma de arco del techo de las excavaciones en rocas masivas*



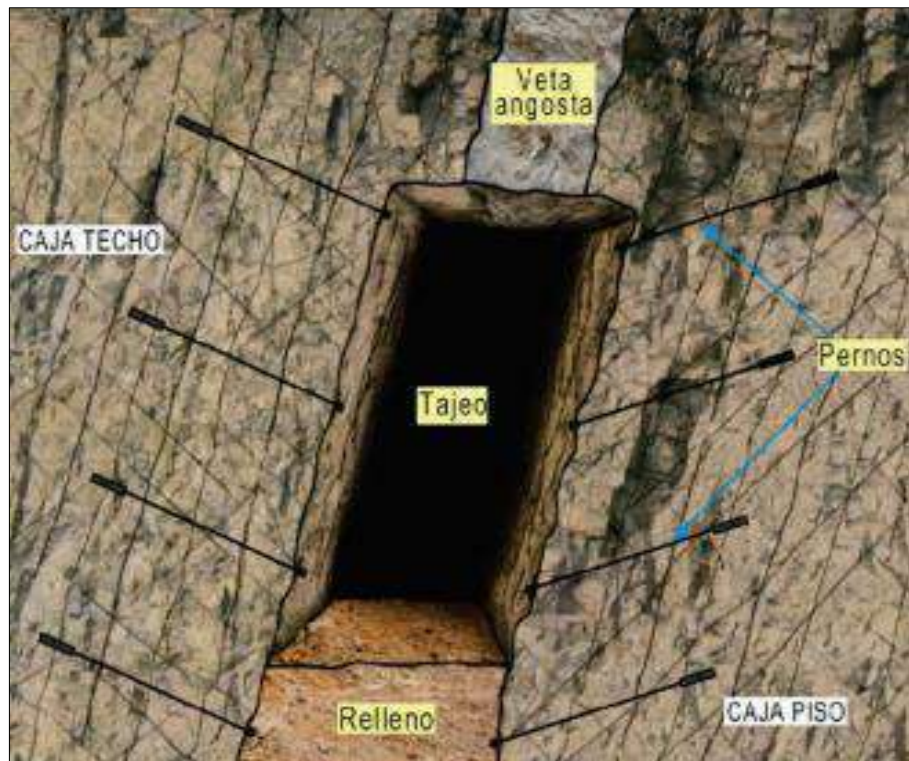
Fuente: (Osinermin, 2017).

### **2.3.12.2. DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN ROCAS ESTRUCTURALES**

Las rocas estructurales pueden ser de cualquier naturaleza: ígneas, metamórficas o sedimentarias con la característica de que se forman por el reemplazo o relleno de minerales magmáticos con rumbo y buzamiento independiente de su forma y dimensión, las rocas magmáticas se producen cuando el enfriamiento se produce al interior de la corteza y las rocas filonianas cuando el enfriamiento se produce en grietas y fallas como diques y filones. En este tipo de rocas el efecto arco no funciona adecuadamente ya que las rocas de las esquinas del techo son inestables, aunque se coloquen pernos estos quedarán colgados (Berrocal, 2015).

En rocas estructurales el sistema de sostenimiento estable es de forma esquinada en el techo como se muestra en la (figura 36) en caso no se logre con la voladura se debe completar con el desquinche posterior.

**Figura 36**  
*Forma esquinada del techo en rocas estructurales*



*Fuente: (Osinermin, 2017).*

En la GL-0644S, nivel 3 se tienen rocas metasedimentarias como caja piso con mineralización errática y como caja techo se tienen tramos brechados de tobas y tufos volcánicos andesíticos y dacíticos con mineralización abundante de pirita cubica y Arseno – pirita masiva con “feeders” transversales en dirección anti – andino de control estructural debido al carácter discontinuo de la mineralización en algunos tramos se genera el denominado falsa caja en el techo donde es obligatorio su desate, entonces este tipo de mineralización sin estructuras definidas nos condiciona a

considerar como una roca masiva, donde lo ideal es realizar un techo de contorno en forma de arco como se muestra en la (fotografía 4).

#### **Fotografía 4**

*Forma de arco de la GL-0644S en rocas masivas.*



Fuente: Elaboración propia.

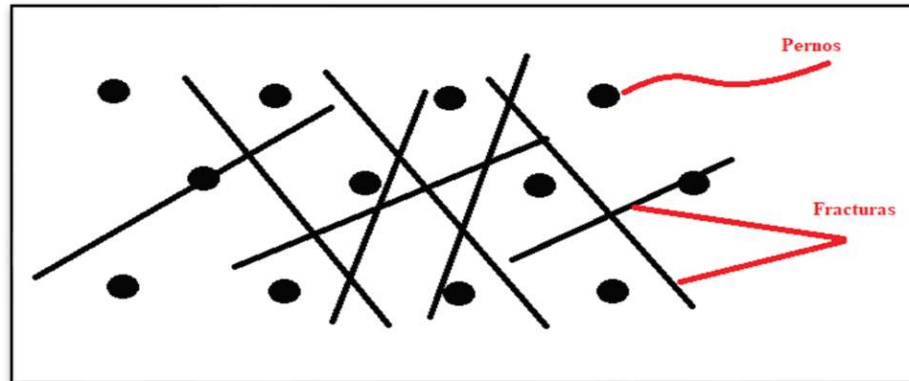
#### **2.3.12.3. DISEÑO SISTEMÁTICO**

Los diseños sistemáticos plantean “formas geométricas” con los elementos de sostenimiento en este caso con mallas y pernos de acuerdo a las formas de los bloques que generan las discontinuidades que pueden ser romboidales o cuadradas hasta cierto punto puede resultar prácticos sin embargo, cuando los macizos presentan discontinuidades sistemáticos y singulares se degradan las formas establecidas formando oquedades y desniveles que complican las eficiencias de operatividad, costos operativos y la seguridad ya que sostener con un diseño establecido significa que los pernos estarán ubicados unos de otros a cierta distancia exacta lo cual en algunos puntos

coincidirán con las fracturas o uniones de fracturas como se muestra en la (figura 37) ante esto se plantea resolver dicha condición, implementando el pintado de las ubicaciones de los pernos antes de iniciar el sostenimiento y reubicándose a una distancia prudente de las fisuras.

**Figura 37**

*Pernos sistemáticos en presencia de discontinuidades*



*Fuente: Tomado de (Berrocal, 2015).*

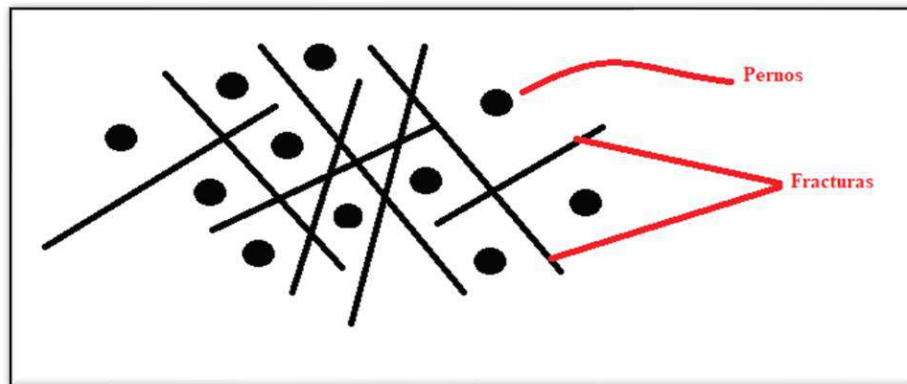
#### **2.3.12.4. DISEÑO PUNTUAL**

El diseño puntual implica pernos puntuales de acuerdo a la forma de los bloques que se presentan en campo donde se introducen en su centro de gravedad o en su defecto fuera del alcance de las fracturas tal como se muestra en la (figura 38) el objetivo es unir y “amarrar” los bloques al macizo rocoso global, en un ángulo entre  $60^{\circ}$  -  $80^{\circ}$  máximo de inclinación.



**Figura 38**

*Pernos puntuales en los centros de gravedad de bloques rocosos*



*Fuente: Tomado de (Berrocal, 2015).*

### **2.3.13. TIPOS DE SOSTENIMIENTOS**

Los tipos de sostenimiento que se ejecutan en la U.M. Nebraska son naturales y artificiales, el sostenimiento natural hace referencia a la propia masa rocosa como sostenimiento, la forma y tamaño de las excavaciones subterráneas esto conlleva a mencionar que “el macizo rocoso geomecánicamente puede tener una resistencia equivalente a la del acero o concreto” (Hoek y Brown, 1985) depende de sus condiciones geológicas y geomecánicas in-situ.

Los sostenimientos artificiales son aquellos tipos de sostenimientos ajenos a la masa rocosa que mejoran su estabilidad y mantienen la capacidad portante del macizo circundante de la excavación como son: Los pernos de anclaje, mallas metálicas, shotcrete, etc.

La forma del hueco de abertura depende en gran medida de la magnitud y dirección de los esfuerzos y/o tensiones donde el efecto arco actúa como redistribuidor de los esfuerzos, mejorando las condiciones de estabilidad estructural del macizo.



### **2.3.13.1. SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO**

Los sistemas de sostenimiento son de dos clases activo y pasivo:

#### **2.3.13.1.1. SISTEMA DE SOSTENIMIENTO ACTIVO**

El sostenimiento activo, como los pernos de anclaje proveen de refuerzo a la masa rocosa incrementando su resistencia friccional entre bloques y esto a su vez incrementa la capacidad de resistencia del macizo.

##### **2.3.13.1.1.a Sistema de pernos de fricción tipo “Swellex”**

Los pernos de expansión tipo “Swellex” son tubos en forma de omega como se visualiza en la (figura 39) y están provistos del tubo tipo “Swellex” y una planchuela abovedada como se muestra en la (figura 40) que se fabrican de acero de alta capacidad expansiva lo que permite expandirse dentro de las paredes del macizo rocoso ejerciendo presión que trabaja de manera similar a un tarugo comercial. Estos pernos están diseñados para una instalación rápida y son expandidos por presión hidráulica equipado en el equipo Jumbo.

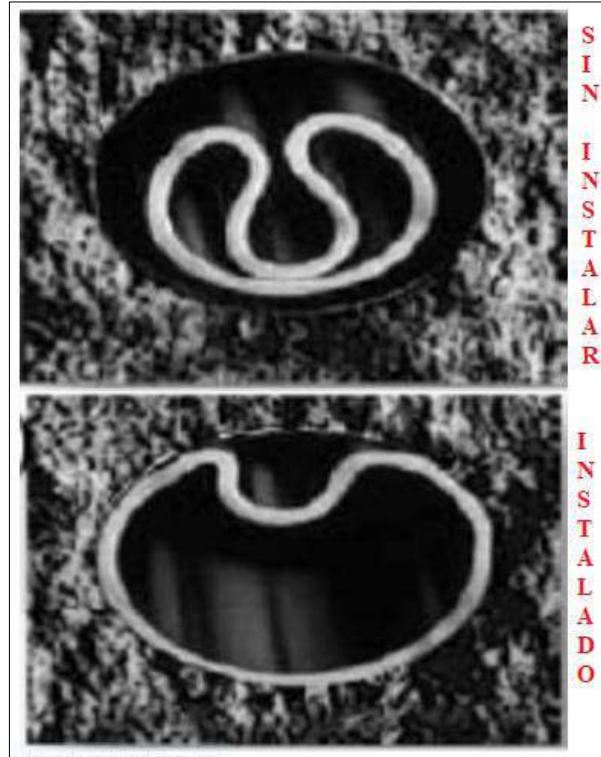
Los pernos de este tipo proveen al macizo una mayor capacidad de resistencia a tracción y su aplicación es óptima en terrenos de baja calidad y fracturados.

En la GL-0644S del proyecto Gioconda se sugiere implantar estos pernos “Swellex” de tipo Mn12 con 8 pies de longitud y un diámetro exterior de 38mm de capacidad de carga entre 10.0 a 14.0 ton/pie, se plantea instalar en la zona 2 de calidad IVA.



**Figura 39**

*Forma de omega del tubo de "Swellex" antes y después de instalado*



*Fuente: Tomado de DSI Underground.*

**Figura 40**

*Partes del perno de fricción tipo "Swellex"*



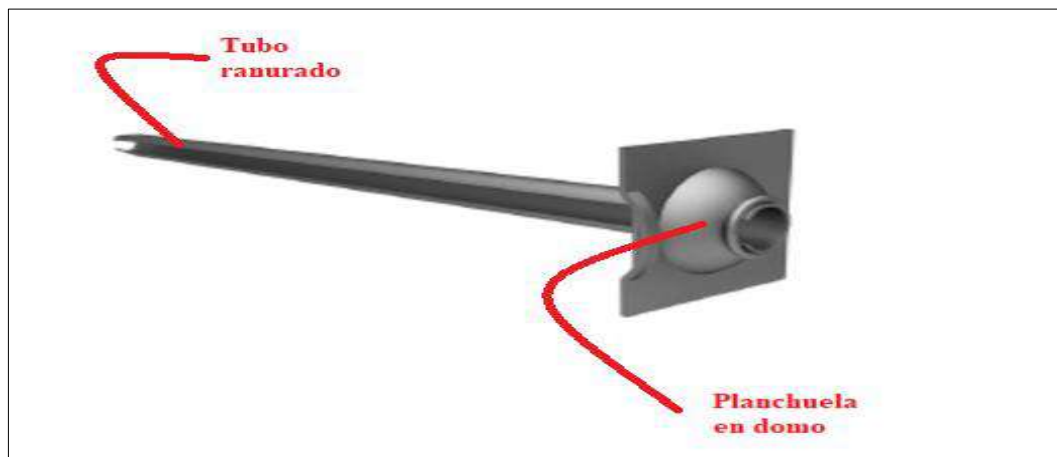
*Fuente: Tomado de DSI Underground.*

### 2.3.13.1.1.b Sistema de pernos de fricción “Split Set”

Los pernos de fricción tipo “Split Set” como se visualiza en la (figura 41) están provistos del tubo ranurado y una planchuela en domo, la planchuela en forma de domo está diseñada de tal forma que provee de alto confinamiento a los macizos rocosos incrementando una mayor resistencia al redistribuir las fuerzas generadas por la carga de la roca, la interacción de macizo a perno es directa debido a la fricción contra las paredes internas del macizo a lo largo de todo el tubo, trabajan adecuadamente tanto en roca dura o blanda y su sistema de trabajo también es muy similar a la de los tarugos comerciales. Estos pernos tienen capacidades de carga entre 0.85 a 1 ton/pie y se someten a estándares de fabricación bajo la norma ASTM F-432.

En la GL-0644S estos pernos tienen longitudes del tubo de 7 pies y un diámetro exterior de 38mm se planea restringir su uso a rocas de calidad media o regular del tipo IIIA y IIIB, es decir la zona 1 y zona 3.

**Figura 41**  
*Partes del perno de fricción tipo “Split Set”*



*Fuente: Tomado de DSI Underground.*



La instalación del sostenimiento se realiza en avanzada cumpliendo el estándar de seguridad minera, metro avanzado es metro sostenido.

Los “Split Set” son implementados para labores operativas por su bajo coste en minería de escala mediana y rapidez de instalación incluso con máquinas neumáticas manuales como los Jackleg de manera óptima y eficaz por rotación y percusión, está fabricado para condiciones difíciles y su acción es progresivo al tiempo de oxidación que incrementa su expansión no obstante “si el terreno es muy fracturado o con presencia abundante de arcillas ya no brinda condiciones de estabilidad y reforzamiento” (Hoek y Brown, 1985).

En la GL-0644S su uso sólo demanda a la zona 1 y 3 que presenta un terreno con calidad regular es óptimo colocar estos pernos ranurados de 35mm hasta 39mm de diámetro, ya que de mayores diámetros el sostenimiento puede ser deficiente y de menores diámetros hay dificultad de ser introducidos presentándose recurrentes quiebres de pernos.

#### **2.3.13.1.2. SISTEMA DE SOSTENIMIENTO PASIVO**

El sostenimiento pasivo, como la malla electrosoldada o el shotcrete brindan soporte a la masa rocosa y estabilizarla mediante el control del colapso progresivo o deformación de la misma por derrumbe de rocas.

En minería se emplean dos tipos de mallas, las mallas electrosoldadas y romboidales de eslabones que se colocan en paños en la galería sobre el techo y hastiales sujeta por las planchuelas o placas de sujeción de los pernos de anclaje; Estos sistemas de sostenimiento de soporte trabajan después de que la roca se reacomoda después de su relajamiento y las capacidades de carga de las mallas electrosoldadas y romboidales se miden en ton/m<sup>2</sup>.

### 2.3.13.1.2.a Malla electrosoldada.

Las mallas electrosoldadas galvanizadas vienen por tamaños y diámetros de los alambres en GL-0644S se tiene el tipo T-500-N°10 el cual cuenta con una capacidad de carga entre 0.8 a 1.0 ton/m<sup>2</sup>, son fabricados de material de acero que se unen en caliente y son estirados en frio; Poseen características planares y de alambre lisa en rollos con cocada en forma ortogonal de 4x4” (4x4 pulgadas<sup>2</sup>) de abertura y diámetro de alambre N° 10 (4.2mm de diámetro) como se ve en la (fotografía 5) y están sometidos a estándares de calidad según ASTM A1064 - A497.

#### Fotografía 5

*Malla electrosoldada galvanizada tipo T-500 N° 10*



Fuente: Elaboración propia.

Las mallas electrosoldadas se colocan siempre con el alambre transversal hacia la pared del macizo de este modo se evita el sobreesfuerzo en los puntos de soldadura, se sujetan con las placas de sujeción de los pernos, el traslape entre mallas se debe realizar en una distancia prudente desde 1 pie mínimo y unirse con los pernos de fricción; Sin embargo, en la GL-0644S se evidencian sectores de “bolsones” de bloques como se muestra en la (fotografía 6) creando condiciones inseguras para la operación que requieren su descarga inmediata.

### **Fotografía 6**

*Bolsones de bloques de roca en el techo de la GL-0644S*



Fuente: Elaboración propia.



### **2.3.13.1.2.b Shotcrete o concreto lanzado.**

Es un método de aplicación de concreto o mortero proyectado a alta velocidad sobre una superficie, constituido de componentes como el cemento, agregados, agua, aditivos y es muy utilizado en la minería subterránea para el sostenimiento de túneles y galerías. Este proceso ofrece ventajas significativas en términos de seguridad y rapidez en la construcción de infraestructuras subterráneas.

#### **Tipos de shotcrete:**

**Vía seca:** La mezcla de cemento y agregados se proyecta mediante aire comprimido, y el agua se añade en la boquilla justo antes de la aplicación.

**Vía húmeda:** La mezcla de cemento, agua y agregados se prepara previamente y se bombea a través de una manguera hasta la boquilla, donde se proyecta sobre la superficie.

En la instalación del sostenimiento con shotcrete se realiza siguiendo el pets de operaciones que tipifica el rociado con agua y aire comprimido del área antes de su aplicación y a una distancia de lanzado de 1.5m para una óptima compactación del concreto, el ángulo de lanzado no debe ser mayor de 45° con la boquilla del equipo en dirección perpendicular a la masa rocosa y su aplicación en paredes debe iniciarse desde la parte inferior asegurando que el rebote no se adhiera en la parte baja que podría generar el “shotcrete falso” donde la primera capa debe cubrir en lo posible completamente los elementos de refuerzo y antes de aplicar la segunda capa se debe limpiar el área con aire comprimido o rociado de agua.



### 2.3.14. INSTALACIÓN DEL SOSTENIMIENTO

La instalación del sostenimiento se realiza con el acarreo y limpieza del área de avance después del desate de rocas en cada ciclo de voladura, la instalación de los pernos lo realiza el equipo Jumbo de SANDVIK que consta de un brazo de bajo perfil acortado para empernar por movimientos de roto-percusión y mallas metálicas electrosoldadas se realizan además con la asistencia con barretilla por parte del ayudante como se visualiza en la (fotografía 7).

#### **Fotografía 7**

*Sostenimiento de pernos con el equipo Jumbo*



Fuente: Elaboración propia.

En la instalación se debe evitar los pernos con inclinaciones mayores a 80° (grados) como se puede visualizar en la (fotografía 8) ya que representan un riesgo para la operación y el uso inadecuado de los recursos.

### Fotografía 8

*Split Set instalado de forma incorrecta en el techo*

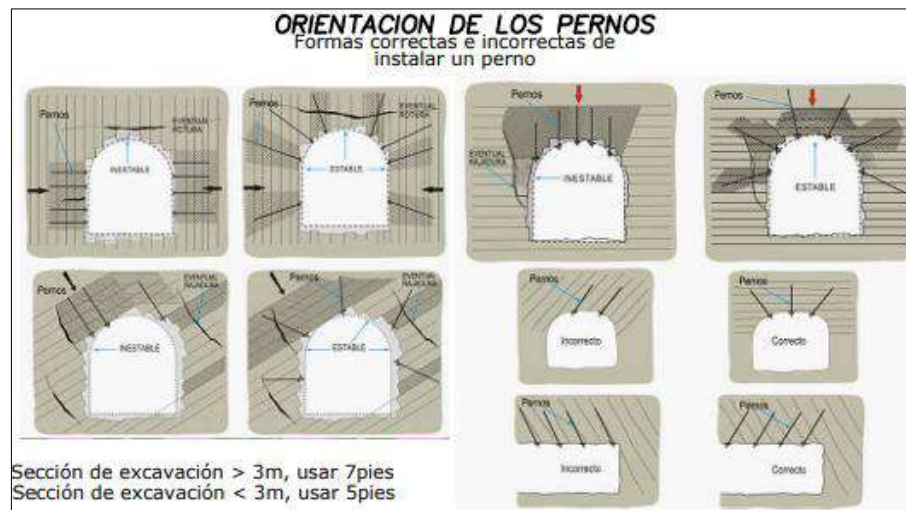


Fuente: Elaboración propia.

Los pernos se instalan con ángulos oblicuos a las direcciones de las discontinuidades como se muestra en la (figura 42) de modo que "amarre" al macizo global.

### Figura 42

*Orientaciones correctas e incorrectas de pernos*



Fuente: (U.M. Nebraska, 2022).



### **CAPITULO III. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO**

La geomorfología comprende el estudio de las geoformas y su origen en la última capa de la tierra, estas “geoformas” se generan por procesos de interacción externos (agentes erosivos y seres vivos) e internos (orogenia, tectónica de placas, procesos volcánicos y sismos) de modelado para un determinado tiempo y lugar (Pedraza, 1996).

Las “geoformas” de la corteza terrestre presentan diversidad de materiales e imperfecciones por la geodinamica externa e interna como agentes modeladores capaces de influenciar en la disposicion de depósitos minerales y generar condiciones estructurales desfavorables en proyectos ingenieriles, las geoformas se agrupan en unidades geomorfologicas.

El proyecto Gioconda a escala regional se encuentra en la gran unidad geomorfológica de la Cordillera Occidental, perteneciente a la subdivisión de la Cordillera Negra y a escala local se tienen las subunidades de colinas, lomadas, quebradas, morrenas y valle glaciar.

#### **3.1. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.**

El proyecto Gioconda forma parte de la Cordillera Occidental, en la subdivisión de la Cordillera Negra en donde se han identificado 5 unidades geomorfologicas locales los cuales son

colinas (CL) lomadas (LM), morrenas (ME), quebradas (QE) y valle glaciar (VG) descritas en colores: Guindo (CL), amarillo (LM), morado (QE), verde (ME) y anaranjado (VG) respectivamente mostrada en la (fotografía 9) y que se plasman en la (figura 43) del mapa geomorfológico local.

### Fotografía 9

*Vista de las unidades geomorfológicas locales*



*Fuente: Elaboración propia con Google Earth.*

#### 3.1.1. Colinas (CL).

Geoformas que se presentan en las zonas altas del proyecto con altitudes que superan los 4800 m.s.n.m. con incremento hacia el Oeste y reducción por lomadas hacia el Este controlados por agentes erosivos y caracterizados por afloramientos de rocas volcánicas andesíticas y dacíticas.

#### 3.1.2. Lomadas (LM).

Unidades geomorfológicas con mayor frecuencia a lo largo del proyecto y longitudinal a la dirección andina, con altitudes variables entre los 4300 y 4700 m.s.n.m. controlados por agentes



erosivos eólicos, se caracterizan por formas redondeadas de la cima y por afloramientos de rocas de alta dureza como lavas volcánicas andesíticas, dacíticas y metasedimentos.

### **3.1.3. Quebradas (QE).**

Geoformas con mayor presencia hacia el flanco oriental de la zona de estudio, son tributarias del río Santa, poseen altitudes que descienden desde los 4300 hasta los 3000 m.s.n.m. están controladas por el aporte de depósitos cuaternarios y antiguos producto de la erosión de rocas volcánicas y metasedimentarias.

### **3.1.4. Morrenas (ME).**

Las morrenas de la Cordillera Negra se formaron por la glaciación pleistocénica, donde masas de hielo y nieve por movimientos regresivos depositaron material de erosión a lo largo de lenguas glaciares.

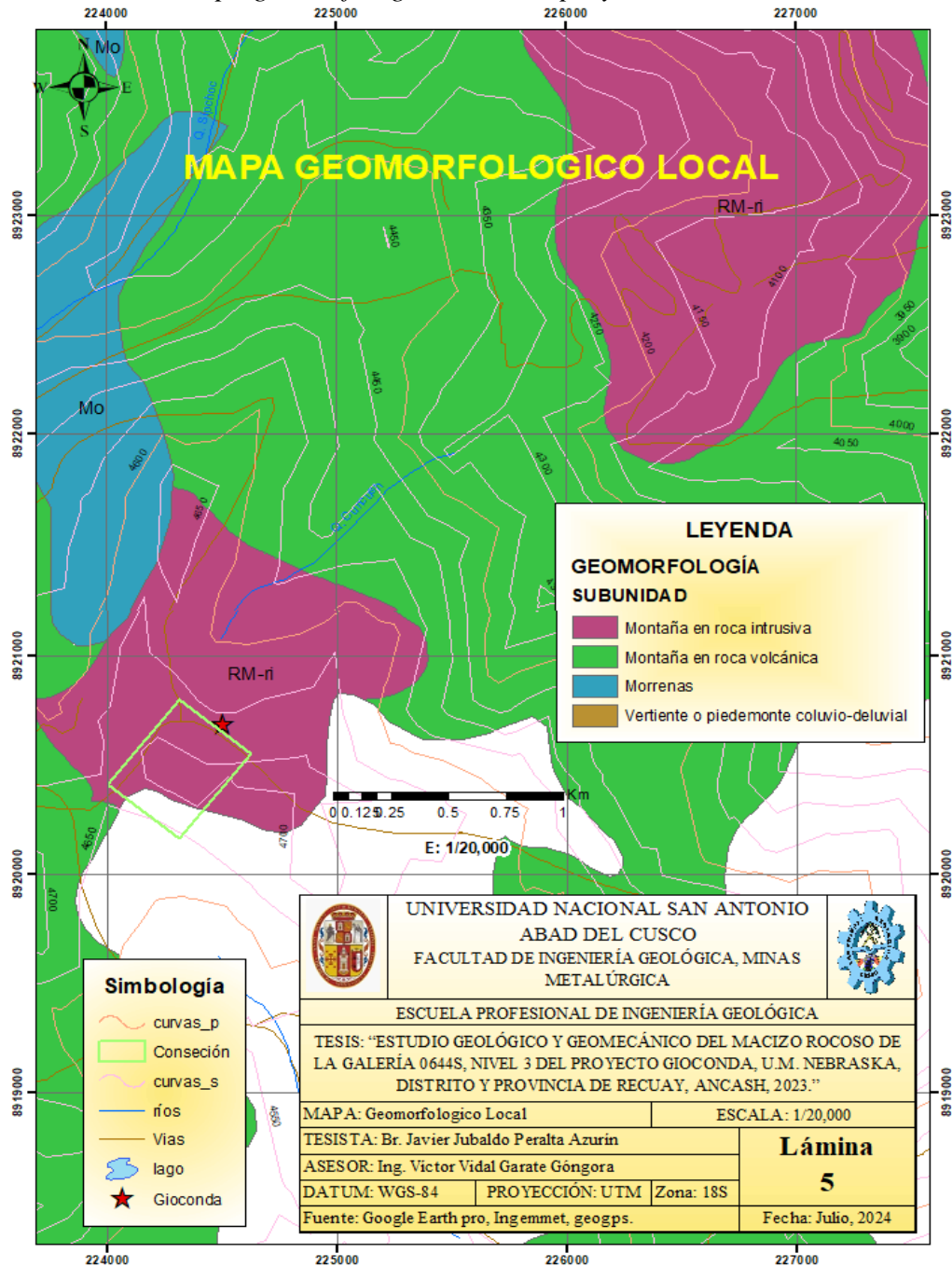
Las morrenas en superficie incluyen a depósitos aluviales antiguos y recientes, coluviales, depósitos de origen glaciar y material cuaternario cartografiados todo junto como depósitos morrénicos aunque no constituyan geoformas de morrenas para facilitar su comprensión y presentan altitudes variables en forma de sedimentos.

### **3.1.5. Valle Glaciar (VG).**

Unidades geomorfológicas que se presentan con mayor frecuencia hacia el Oeste del proyecto con dirección andina entre dos cadenas de colinas contiguas en forma redondeada y características particulares de lados empinados con un fondo redondeado en forma de “U” debido a la acción de antiguos glaciares con fenómenos de transgresión y regresión dejando a su paso depósitos aluviales antiguos y recientes, coluviales, depósitos de origen glaciar y material cuaternario; presentan altitudes entre 4000 y 4200 m.s.n.m.



**Figura 43**  
*Mapa geomorfológico local del proyecto Gioconda*



Fuente: Elaboración propia.





## **CAPITULO IV. CONTEXTO GEOLÓGICO**

### **4.1. LITOESTRATIGRAFÍA**

El estudio de las formaciones geológicas de un lugar determinado se estudia a través de unidades estratigráficas y litológicas en escalas regionales y locales así como los eventos que influyeron durante millones de años, en este apartado se describen las formaciones litoestratigráficas y litológicas con base en antecedentes regionales del boletín N°76 de la Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La unión, Chiquian y Yanahuanca respecto a las hojas 20h y 20i.

#### **4.1.2. GEOLOGÍA LOCAL**

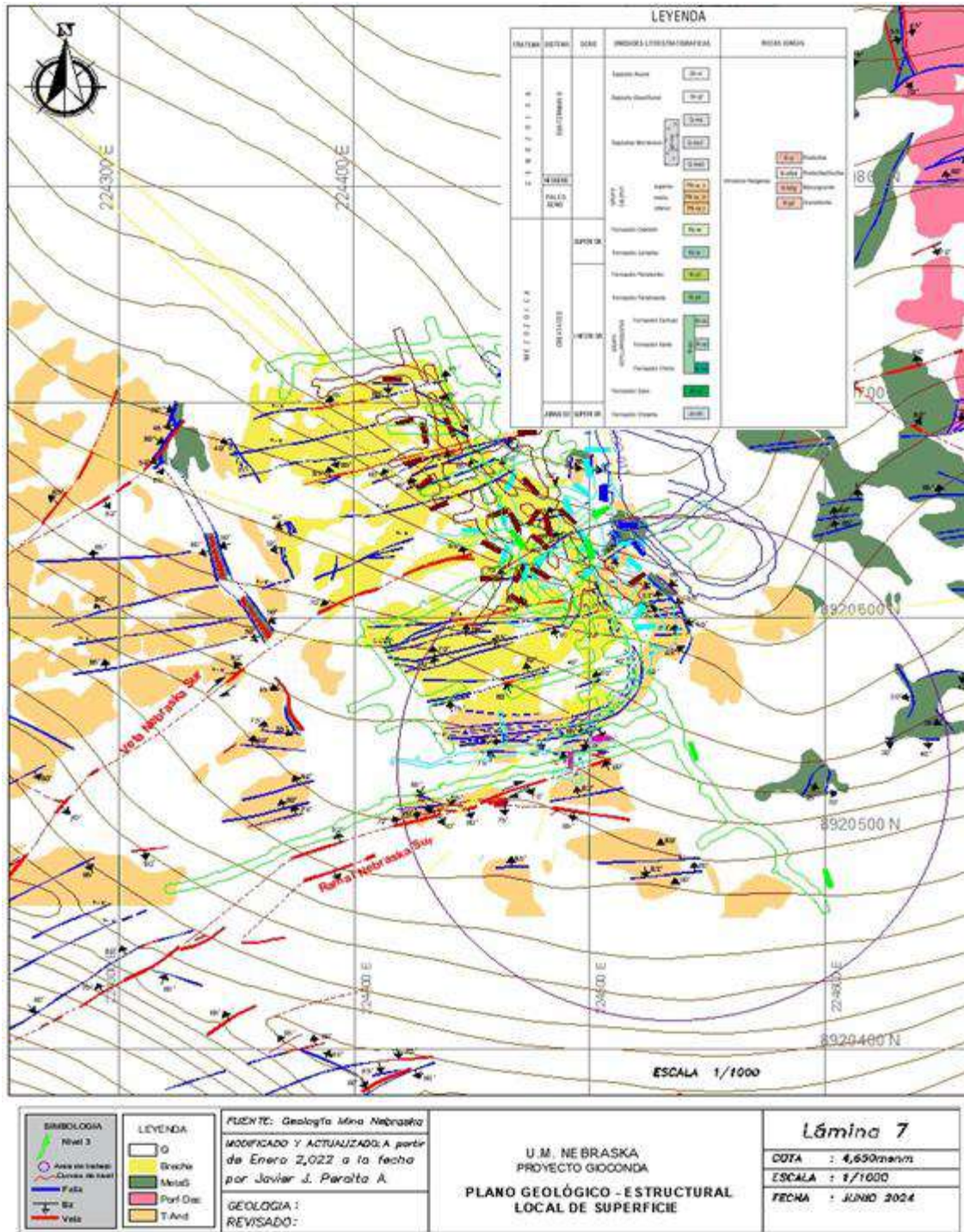
La unidad litoestratigráfica más antigua que aflora en el proyecto Gioconda es la Formación Chicama de edad Jurásico Superior caracterizada por presentar secuencias de areniscas con intercalaciones de lutitas oscuras y piritosas, suprayace al Grupo Goyllarisquizga de edad Cretácica Inferior, este grupo indiviso comprende a otras formaciones como la Formación Oyón, Chimú, Santa y Carhuaz conformada por areniscas cuarzosas, lutitas y calizas cubiertas por material volcánico del Grupo Calipuy.



En superficie se tiene como cubierta de la Cordillera Negra series volcánicas del Grupo Calipuy junto a material Cuaternario (depósitos aluviales, coluviales, eluviales, morrenicos y fluvio-glaciares) con sectores de signos de alteración que suprayacen en discordancia angular a las series plegadas del Mesozoico, la Formación Chimú consta de areniscas cuarzosas y suprayace a las Formaciones Santa y Carhuaz indiviso con secuencias de lutitas, calizas y areniscas de rumbo andino con Az N160° y Bz entre 32° a 65° SW. El Grupo Calipuy de edad del Terciario Inferior a Medio consiste de lavas y tobas volcánicas finos a gruesos de composición andesítica a dacítica y algunas zonas de riódacíticas con textura porfirítica de composición intermedia - ácidas, con niveles de rocas lacustrinas de intercalaciones lodolíticas, calcáreas, lutáceas asociadas al Calipuy, mostrado en la (figura 44).

La GL-0644S se caracteriza de rocas metasedimentarias con signos de silicificación y abundante piritización de la Formación Chicama traducidas en rocas pizarrosas pelíticas con niveles de limoarcillitas, lutitas y areniscas y el Grupo Indiviso Goyllariquizga hacia el hastial izquierdo y al hastial derecho por tufos, tobas soldadas y lavas volcánicas andesíticas – dacíticas brechadas por tramos siguiendo el contacto. La geología local se plasma en el plano geológico – estructural local.

**Figura 44**  
*Plano geológico - estructural local del proyecto Gioconda*



Fuente: Elaboración propia.



## CAPITULO V. CONTEXTO GEOTECTÓNICO

El aspecto tectónico de una zona de estudio juega un papel importante en la reconstrucción de los hechos de una zona a nivel macro con el entendimiento de la dinámica del ciclo del comportamiento y régimen tectónico-estructural por esfuerzos acumulados traducándose en un campo tectónico de carga tensional a la que fue sometida dicha zona y que se pudieran liberar durante el laboreo minero en fallas geológicas, zonas de perturbación tensional, zonas de deformación o hasta explosiones de roca que pudieran controlar el diseño y soporte de las excavaciones subterráneas por ende con la geotectónica se reconstruye la historia geológica del terreno a la que se enfrenta.

### 5.1. GEOTECTÓNICA LOCAL.

El contexto geotectónico y la historia geológica del terreno de la Cordillera Occidental al que se enfrenta se remonta al Triásico Superior ~230Ma como las primeras manifestaciones del vulcanismo en los Andes Peruanos y que suscitan durante la orogenia Hercínica Tardía es decir en la fase Finiherciniana de carácter distensivo formándose fondos oceánicos y cuencas profundas paralelo a este evento en la Cordillera Oriental se manifestaban inicios de eventos combinados de plutonismo



con vulcanismos debido a la subducción y reactivaciones volcánicas que generaban levantamientos, tipificados en fallamientos, fracturamientos y plegamientos en dirección Andina NW-SE esto perduró por Ma hasta llegar al Jurásico, en el Jurásico Inferior la actividad volcánica continuaba solo que ahora se generalizó por toda la margen continental de la faja costera.

A finales del Jurásico Medio e inicios del Jurásico Superior se da inicio a la Fase Nevadiana ~160Ma de carácter compresivo que genera emersiones de rocas de los fondos marinos en lo que es ahora la Cordillera Occidental y las transgresiones marinas continuaban aportando material como las sedimentitas de la Fm. Chicama probablemente debido a este evento nevadiano la parte basal de la Fm. Chicama está constituida por pizarras pelíticas posterior al Chicama continuaron la sedimentación hasta llegar al Cretácico Inferior con el aporte de materiales orgánicos (Fm. Oyón), secuencias de areniscas (Fm. Chimú), niveles de calizas grises, verdes y rojizas (Fm. Carhuaz) la sedimentación continuaba hasta fines del Cretácico hasta que el mar se retira y comienza a surgir la fase peruana ~80 a 60 Ma también de carácter compresivo iniciándose etapas de levantamientos, plegamientos, fracturamientos, fallamientos paralelos y movimientos verticales a lo largo de la cuenca Andina asociado a lineamientos estructurales donde el sistema Andino va tomando notoriedad además se desarrollan tres subcuencas marinas entre ellas la cuenca del Santa y con esto se generan ejes estratigráficos donde marcan alineamientos de conos volcánicos, moldeando la forma longitudinal del batolito de la Costa.

Finalizada la fase Peruana con una sedimentación abundante durante el Cretácico y plegamiento de esta, surge la fase Incaica ~40Ma durante el Eoceno temprano a medio de dominio compresivo importantísimo por su extensión e intensidad erosiva de las capas Cretácicas inmediatamente en esta fase se origina un vulcanismo activo, el Grupo Calipuy en el norte.



Durante el Oligoceno continuaba el vulcanismo activo desarrollando secuencias esperadas de rocas volcánicas y lacustrinas con diferentes litologías, el vulcanismo proseguía en avanzada hasta intensificarse de manera explosiva en la Cordillera Occidental hasta el Mioceno donde se acumula grandes espesores de secuencias volcánicas mezclados con sedimentos lacustrinos es entonces que en el Mioceno medio surge la Fase Quechua 1 ~21 a 6 Ma de carácter compresivo pero desde el Mioceno Inferior ya se evidenciaba grandes deformaciones en la Cordillera Andina aunque menores que la Fase Incaica pero las fracturas más abiertas y fallamientos reactivados en el centro del Perú.

La Fase Quechua 2 inicia a finales del Mioceno ~5 a 4 Ma de carácter compresivo dominada por levantamientos epirogenéticos y es la responsable de una fuerte erosión además reactivándose la actividad volcánica intensa y explosiva se acumulan secuencias volcánicas mayormente andesíticas de fases explosivas y efusivas alrededor de aparatos volcánicos hasta el Plioceno.





## **CAPITULO VI. CONTEXTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL**

La geología estructural desde el concepto de la mecánica del medio continuo estudia las estructuras en conjunto geológicas y geomecánicas, que están contenidas en un material considerado homogéneo o continuo (Padilla y Sánchez, 2021). En este trabajo se estudian distintivamente a las estructuras geológicas (vetas, vetas-falla, estratos, mantos, etc) y estructuras geomecánicas (fracturas, diaclasas y juntas) que se abordan en el capítulo VI de geomecánica de rocas.

El proyecto Gioconda está regido por eventos de perturbación estructural como el tectonismo de la cordillera Andina traducidos en plegamientos, fracturamientos, lineamientos y fallamientos por dominios longitudinales de fallas con rumbo Andino y transversales de rumbo anti-Andinos en rocas Mesozoicas y Cenozoicas a lo largo del ciclo Andino con regímenes distensivos, compresionales y conjugados.

### **6.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL**

El proyecto Gioconda localmente está controlado por unidades estructurales mayores de dirección Andina en forma de fallas, estratos, mantos, lineamientos, diaclasas, fracturas y estructuras



menores de direcciones anti – Andinas en forma de tensionales, vetas-falla, vetas, fallas, diaclasas, lineamientos que cortan a las brechas y que se reactivaron producto del juego dinámico de estructuras regionales inmensas como los emplazamientos de flujos magmaticos y vulcanismos intensos a lo largo de la tectónica Andina.

Las estructuras mineralizadas en direccion Andina se presentan como mantos, mineralizaciones estratiformes, de contacto y brechados por tramos en rocas volcanosedimentarias y metasedimentarias donde las estructuras geograficas tienen rumbos anti-Andinos de buzamientos casi verticales entre  $75^{\circ}$  y  $85^{\circ}$ , los estratos están mineralizados de forma errática con Rb Andino y Bz variables entre  $35^{\circ}$  a  $65^{\circ}$ SW. Estas unidades estructurales juegan un papel importante en el campo tensional del macizo rocoso del proyecto Gioconda.

### **6.1.1. Estructuras Mayores**

#### **6.1.1.1. Sistema de fallas Santa (SFS)**

Este sistema de estructuras de rumbo Andino, NW-SE se originan durante la tectónica Andina y constituyen ensambles de fallas de rumbo y normales.

#### **6.1.1.2. Sistema de fallas Jinchis (SFJ)**

El SFJ tienen tendencia planar de rumbo Andino (NW-SE) con buzamientos subverticales entre  $70^{\circ}$  y  $85^{\circ}$ , la zona con valores económicos de la brecha Rescate se ubica hacia el piso Este de la falla Jinchis.

### **6.2.2. Estructuras Menores**

#### **6.2.2.1. Sistema de fallas transversales**

El sistema de fallas transversales poseen rumbo anti – Andinos de direccion NE – SW con  $20^{\circ}$  de juego dextral, son ortogonales al eje Andino y constituyen fallas conjugadas, originados por reactivaciones (Bussell, 1976) sin embargo, existen estructuras menores de cizallamientos por tensión



de juegos sinextrales con rumbo NE que representan a fracturamientos locales y son individualmente menores (Cobbing et al., 1973).

1. El juego estructural del distrito minero Ticapampa – Aija de orientación N120° es el responsable del emplazamiento de los intrusivos, brechas hidrotermales y la formación de vetas, mantos y cuerpos mineralizados.

2. El sistema de fracturamiento con orientación N – S a N30° y buzamientos de 20° a 40°NE son los que controlan las vetas, mantos y cuerpos del Sistema Hercules – Coturcan.

3. Los fracturamientos tensionales de orientación N45°E a E-W controlan la mineralización del sistema Huancapetí – Alsacia – Cuncush – Carpa - Tarugo.

4. Las estructuras originadas por el ascenso de fluidos magmáticos a la superficie con mineralización de Ag – Au – Cu son los sistemas Nebraska, Collaracra, La florida, La negra, Llacsha, Olga y San Salvador.

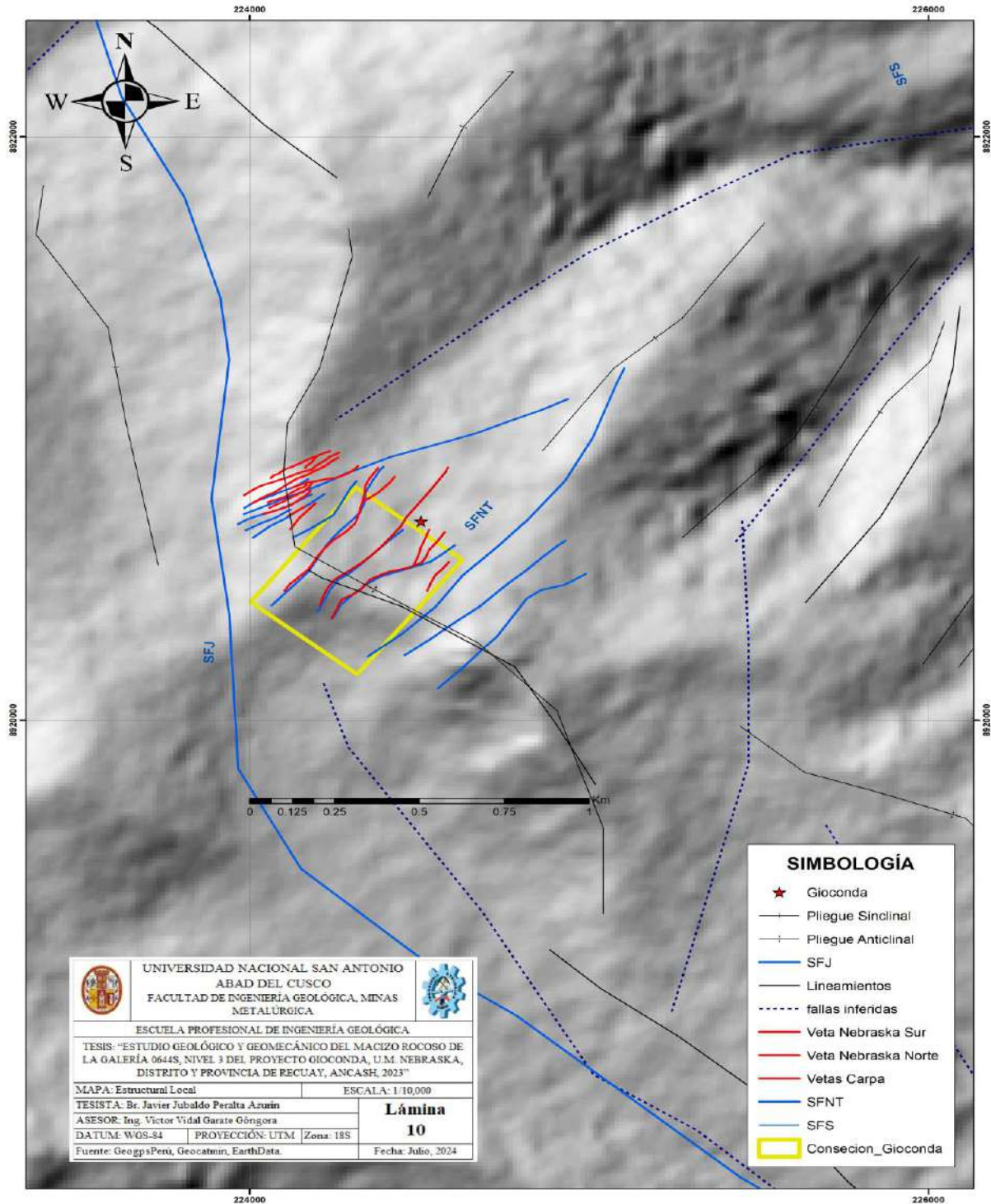
#### **6.2.2.2. Sistema de fallas Nebraska –Tarugo (SFNT)**

El sistema Nebraska -Tarugo muestra una tendencia planar de rumbo NE y buzamiento subvertical hacia el SE, son vetas-falla polimetálicas con mineralización de esfalerita, galena, arsenopirita y pirrotita frecuentemente están acompañadas de tensionales.

El proyecto Gioconda es intersectado longitudinal y transversalmente por sistemas de fallamientos, fracturamientos, cizallamientos, lineamientos, vetas, vetas-falla del sistema NW – SE, NE – SW a E – W tal como se puede visualizar en la (figura 45) del mapa geoestructural local.

La mineralización es un índice de incremento de la resistencia de las rocas debido al relleno de minerales en poros sin embargo el producto puede presentar minerales secundarios hidratados y capaces de generar zonas de alteración en presencia de agua que evidentemente afecta a la dureza de estas y la cohesión dependiendo de sus concentraciones y tiempo de permanencia.

**Figura 45**  
*Mapa estructural local del proyecto Gioconda*



Fuente: Elaboración propia.



## CAPITULO VII. GEOMECÁNICA DE ROCAS

Este capítulo está enfocado en el conocimiento de las propiedades mecánicas del macizo rocoso sometido a esfuerzos tensionales in-situ y sus características geológicas y geomecánicas desde la caracterización de la matriz rocosa o roca intacta hasta la caracterización de las discontinuidades del macizo rocoso con el fin de obtener su calidad en base a los índices y parámetros de clasificación geomecánica como el RMR y Q para posteriormente estimar los tipos y diseños de sostenimiento en la galería 0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda.

Los sistemas de clasificación geomecánica de macizos rocosos relacionan parámetros e índices de calidad con índices de diseño de sostenimientos en túneles. Para ello se ha realizado el levantamiento de la información con el mapeo geomecánico en base al RMR de Bieniawski, 1989 y Q de Barton et al., 1974 teniendo en cuenta los factores influyentes que pueden desencadenar eventos como la presencia de agua, minerales argílicos o sulfatos, fracturas post voladuras, etc.



## **7.1. CONTROL DE MUESTRAS PARA LABORATORIO**

Las muestras de rocas son fuentes de información que se recogen conforme se presenta una variación en las condiciones geológicas y geomecánicas durante el mapeo de acuerdo al avance y profundización de labores, estas muestras proporcionan datos representativos para los distintos análisis de contrastación y/o definitorios en el entendimiento del comportamiento del macizo rocoso de la galería en este sentido la selección de las muestras apropiadas y/o representativas implica un proceso de control que no solo dependen de las dimensiones y la seguridad sino también de la ubicación espacial que se encuentra al momento de extraer por ello requiere de un control que implica un proceso bajo los pets de muestreo geomecánico.

### **7.1.1. SELECCIÓN DE MUESTRAS**

En las muestras al momento de ser elegidas como representativas del macizo rocoso se suelen cometer errores en su extracción para ello se sigue el estándar siguiente basado en el pets de muestreo geomecánico:

1. Extraer por dos personas como mínimo con ayuda de barretillas de acero, martillo de geólogo y en caso fuera necesario comba en bloques de dimensiones de 15cm x 15cm x 10cm.
2. Las muestras deben estar libres de alteraciones, es decir deben ser muestras “frescas” en caso contrario indicar en el detalle del croquis el estado real del área de extracción.
3. Cuando se extrae del techo este se debe realizar a través del equipo Scissor.
4. Codificar las muestras en las bolsas de muestreo indicando su posición espacial real antes de ser extraída, ubicación como HI, HD o Tch respecto de puntos topográficos de referencia en el croquis de la labor que se está muestreando.
5. Indicar con plumón indeleble la dirección de la “huella natural” originada por el estado tensional in - situ y la dirección del estrato.





## **7.2. ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO**

Los ensayos realizados en campo y laboratorio se llevan a cabo en muestras de rocas masivas y estructurales con especímenes de dimensiones similares a 10cmx10cmx15cm extraídos del Tch y HD e HI.

El proyecto Gioconda no cuenta con un departamento de Geomecánica y menos con un laboratorio propio pero si cuenta con la supervisión de Cia. Minera Lincuna S.A.

### **7.2.1. ENSAYOS DE LABORATORIO**

Los ensayos de laboratorio se realizan con “muestras preparadas” de la roca intacta sobreentendiéndose que son “frescas” y no alteradas cabe indicar que se deben trabajar en lo posible con el mínimo de ensayos de laboratorio, básicamente los ensayos de las propiedades físicas y la resistencia ya que la mayor información se obtiene por relaciones empíricas que implican un menor costo es preciso recalcar que con esto no se quiere dar a entender que los resultados de laboratorio no sean importantes pero hay que recordar que los ensayos se realizan sólo en la matriz rocosa o roca intacta más no en el macizo y además que la presencia de discontinuidades del macizo rocoso condicionan la reducción abismal con tendencias a cero de su resistencia prácticamente controlan el comportamiento del macizo. Los datos de laboratorio se emplean en la caracterización de la matriz rocosa, estos ensayos son los siguientes:

#### **7.2.1.1. ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS**

El ensayo de propiedades físicas se realiza bajo el estándar ASTM D6473, este ensayo es fundamental y muy importante para obtener resultados de las propiedades de la roca como los parámetros de densidad, porosidad, resistencia, humedad, etc de acuerdo al requerimiento.



### **7.2.1.2. ENSAYO DE CARGA PUNTUAL PARA LA RESISTENCIA**

La resistencia de la roca se puede obtener de dos maneras como compresión uniaxial en muestras cilíndricas no confinadas (UCS) y por el ensayo PLT por sus siglas en inglés de “Point Load Test” o de carga puntual realizado en bloques de roca, este último es menos costosa porque los ensayos se realizan en bloques de roca a través del Índice de resistencia de carga puntual ( $I_s$ ) mediante la aplicación de dos punzones metálicos (carga puntual) bajo la norma estándar ASTM D5731-16 en bloques y fragmentos de roca. Ver fotografía Ap-01 y Ap-02 sobre el ensayo PLT en la sección del apéndice A.

### **7.2.2. ENSAYOS DE CAMPO O IN-SITU**

El ensayo in-situ o en campo se realiza con “muestras no preparadas” las mismas que deben estar en “zonas frescas” o en todo caso limpiar el área sobre los bloques de roca, exentos de discontinuidades visibles en el macizo rocoso, donde se realizó el siguiente ensayo:

#### **7.2.2.1. ENSAYO DE ÍNDICES DE CAMPO (MARTILLO DE GEÓLOGO)**

Es un ensayo que “brinda un método sencillo para estimar la resistencia a compresión simple de la roca, el método se basa en la estimación a partir de índices de campo y obtener la dureza con la que se raya y/o marca con la uña o la navaja o se fractura al dar golpes con la parte roma del martillo de geólogo” (ISRM, 1981).


Este método simple y sencillo de determinación de la resistencia a compresión simple de las rocas se trata de un ensayo cualitativo para estimar de manera aproximada el rango de la resistencia a compresión simple en MPa de la roca a partir del número de golpes en los bloques de roca hasta fracturarlas haciéndose uso de rangos proporcionado por la ISRM.



### **7.3. CARACTERIZACION DE LA MATRIZ ROCOSA**


Los principales índices descriptivos y algunos semicuantitativos se encuentran plasmados en una ficha de descripción del bloque rocoso empleado para la caracterización del bloque rocoso que a continuación se muestran en los (cuadros 32, 33, 34 y 35).

**Cuadro 32**  
*Caracterización geológica de bloques rocosos de lodolitas*

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE BLOQUES ROCOSOS						
				CÓDIGO: MGM-01		
				Minerales		
				Py		20%
				Cpy		15%
				Gl-Arg		10%
Sbn		5%				
<b>NOMBRE:</b>		<b>LODOLITA</b>				
<b>UBICACIÓN:</b>	X:	Y:	z:			
<b>PATRON TEXTURAL:</b>	Clástica					
<b>TIPO DE ROCA:</b>	Sedimentaria					
<b>FABRICA:</b>	No se observa					
<b>ESTRUCTURA:</b>	Bandeada					
<b>TAMAÑO DE GRANO:</b> (clastos, minerales, granos)	Diametro	<60mm	2 - 60mm	0.06-2mm	0.002-0.06mm	<0.002mm
	Visibilidad	Afanítica		Fanerítica:		
	matriz	Afanítica:		Fanerítica:		
<b>Forma de clastos</b>	No se observa					
<b>Color</b>	Color: Negro		Matiz: Grisáceo		Intensidad: Oscuro	
<b>Grado de meteorización</b>	II					
<b>Rango de resistencia</b>	R1 - Roca muy blanda					
<b>OBSERVACIONES:</b>	Roca ligeramente alterada, se raya con la navaja, presenta fracturas abiertas paralelos a su estratificación con recubrimiento de sulfatos blanquecinos					
Fuente: Castro, 1989; Jordá, et al., 2016; ISRM, 1977.						

Fuente: Elaboración propia.


**Cuadro 33**  
*Caracterización geológica de bloques rocosos de hornfels*

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE BLOQUES ROCOSOS						
				CÓDIGO: MGM-02		
				Minerales		
				Plg	20%	
				Qz	15%	
Py	15%					
NOMBRE:	HORNFELS					
UBICACIÓN:	X:	Y:	z:			
PATRON TEXTURAL:	Secuencial II					
TIPO DE ROCA:	Sedimentaria					
FABRICA:	Planar					
ESTRUCTURA:	Bandeada					
TAMAÑO DE GRANO: (clastos, minerales, granos)	Diametro	<60mm	2 - 60mm	0.06-2mm	0.002-0.06mm	<0.002mm
	Visibilidad	Afanítica		Fanerítica:		
	matriz	Afanítica:		Fanerítica:		
Forma de clastos	Angulares					
Color	Color: Gris		Matiz: Grisáceo		Intensidad: Claro	
Grado de meteorización	I					
Rango de resistencia	R4 - Roca dura					
OBSERVACIONES:	Roca con intercalaciones de metasedimentos, aparente silicificación, presenta plagioclasas y fracturas cerradas en contra de las capas					
Fuente: Castro, 1989; Jordá, et al., 2016; ISRM, 1977.						

Fuente: Elaboración propia.



**Cuadro 34**  
*Caracterización geológica de bloques rocosos de metacuarcitas*

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE BLOQUES ROCOSOS						
				CÓDIGO: MGM-03		
				Minerales		
				Py	5%	
Cpy	2%					
NOMBRE:	METACUARCITA					
UBICACIÓN:	X:	Y:	z:			
PATRON TEXTURAL:	Secuencial I					
TIPO DE ROCA:	Sedimentaria					
FABRICA:	Isotropa					
ESTRUCTURA:	Bandeada					
TAMAÑO DE GRANO: (clastos, minerales, granos)	Diametro	<60mm	2 - 60mm	0.06-2mm	0.002-0.06mm	<0.002mm
	Visibilidad	Afanítica		Fanerítica:		
	matriz	Afanítica:		Fanerítica:		
Forma de clastos	No se observa					
Color	Color: Gris		Matiz: Grisáceo		Intensidad: Claro	
Grado de meteorización	II					
Rango de resistencia	R5 - Roca muy dura					
OBSERVACIONES:	Roca con presencia de sulfatos blanquecinos, aparente silicificación, presenta fracturas cerradas en contra de la estratificación					
Fuente: Castro, 1989; Jordá, et al., 2016; ISRM, 1977.						

Fuente: Elaboración propia.



**Cuadro 35**  
*Caracterización geológica de bloques rocosos de tufos andesíticos*

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE BLOQUES ROCOSOS						
				CÓDIGO: MGM-04		
				Minerales		
				Py	35%	
	Cpy	10%				
	Ar-py	5%				
NOMBRE:	TUFO ANDESITICO					
UBICACIÓN:	X:	Y:	Z:			
PATRON TEXTURAL:	Cristaloblastica					
TIPO DE ROCA:	Volcánica					
FABRICA:	Isotropa					
ESTRUCTURA:	Brechoide					
TAMAÑO DE GRANO: (clastos, minerales, granos)	Diametro	<60mm	2 - 60mm	0.06-2mm	0.002-0.06mm	<0.002mm
	Visibilidad	Afanitica		Faneritica:		
	matriz	Afanitica:		Faneritica:		
Forma de clastos	Cubicas					
Color	Color: Verde oliva		Matiz: Oliva		Intensidad: Claro	
Grado de meteorización	II					
Rango de resistencia	R4 - Roca dura					
OBSERVACIONES:	Roca con abundante minerales de Ar-py y Py, por sectores con Py oxidada, presenta fracturamiento cerrado y es ligeramente poroso					
Fuente: Castro, 1989; Jordá, et al., 2016; ISRM, 1977.						

Fuente: Elaboración propia.



### 7.3.1. ÍNDICES SEMICUANTITATIVOS DE LA ROCA

Los índices semicuantitativos como la porosidad, resistencia a compresión uniaxial y la densidad son índices de caracterización de la matriz rocosa que se obtienen en laboratorio ver (cuadro 36).

**Cuadro 36**  
*Índices semicuantitativos de las rocas obtenidas en laboratorio*

	Tipo de litología	Grado de dureza	Resistencia por muestra (MPa)	Densidad (ton/m3)	Porosidad (%)	Descripción
Metasedimento	Lodolita	R5	138.81	2.71	25.30	Roca dura a muy dura
	Hornfels	R5	163.81	2.85	10.00	
	Metacuarcita	R5	216.26	2.95	0.42	
Roca volcánica	Tufo	R4	89.74	2.41	11.41	Roca dura
	Andesítico	R5	114.07	2.55	10.20	Roca dura a muy dura
		R5	238.27	3.00	9.80	

Fuente: Elaboración propia.

El índice como la porosidad es inversamente proporcional a la resistencia y la densidad, así mismo es directamente proporcional a la deformabilidad, capacidad de una roca para deformarse con facilidad, ya que a mayor cantidad de huecos genera mayor “flexibilidad”; Los poros en el caso de las rocas ígneas o metamórficas pueden ser microfisuras o grietas en la matriz rocosa, “la porosidad en general decrece con la profundidad y la edad de las rocas” (Vallejo et al., 2002. p. 132).

El comportamiento geomecánico de las rocas está definido por la resistencia y deformabilidad es decir una roca cuando está sometida a un esfuerzo en incremento experimenta una deformación en primera instancia elástica, luego plástica y finalmente llegar a un punto pico o de quiebre llamado rotura y perder resistencia en rocas frágiles no obstante esa roca al llegar al punto de quiebre puede



comportarse como dúctil depende de algunos índices como la porosidad, permeabilidad, densidad, presencia de agua, alteración, fuerzas cohesivas y de fricción, características índice, etc.

### 7.3.2. ÍNDICES CUANTITATIVOS DE LA ROCA

Los índices cuantitativos requieren de “muestras preparadas” y se determinan con ensayos complejos y completos es decir, ensayos específicos que son finalmente costosos y más en minería subterránea.

En efecto es importante tener en cuenta los criterios de rotura de las rocas sobre todo para la comprensión del comportamiento de las resistencias de las rocas sometido a esfuerzos, del mismo modo los parámetros físicos así como la densidad, la porosidad e índices como el GSI y constantes de las características de las rocas que se emplean como datos de entrada o “alimentación” para el software RocData 3.0 del paquete Rocscience tal como se muestran en el (cuadro 37) para cada tipo de litología, los datos de la resistencia uniaxial representativa se obtienen tomando en cuenta el criterio de grados de dispersión para datos no agrupados de este modo evitar el sesgo de valores que podrían interpretarse como una subdimensionamiento o sobredimensionamiento de resultados; Respecto al factor  $D = 0$  se asume buenas prácticas de voladura y se comprueba con la inspección visual del grado de perturbación en la galería, la constante ( $m_i$ ) depende de la naturaleza de la roca, el índice GSI es representativo de la condición superficial del macizo, la constante de profundidad ( $z$ ) que indica la medida de la profundidad ubicada la galería y la resistencia a compresión uniaxial ( $\sigma_{ci}$ ) obtenida en laboratorio, son datos de entrada para la obtención de datos de salida en la interpretación del comportamiento geomecánico de la matriz rocosa y el macizo rocoso.

Los valores de resistencia obtenidos en laboratorio de las litologías representativas en la GL-0644S son de metasedimentos y tufos volcánicos andesíticos con valores de 172.96MPa y 89.74MPa respectivamente tal como se presenta en el (cuadro 37).



### Cuadro 37

*Datos de entrada representativos de la roca por tipología para el RocData*

Litología	Tipo de litología	Grado	Resistencia Representativa sigci (MPa)	GSI	mi	D	z (mts)
Metasedimento	Lodolita						
	Hornfels	R5	172.96	55	19	0	330
	Metacuarcita						
Roca volcánica	Tufo Andesítico	R4	89.74	61	13	0	330

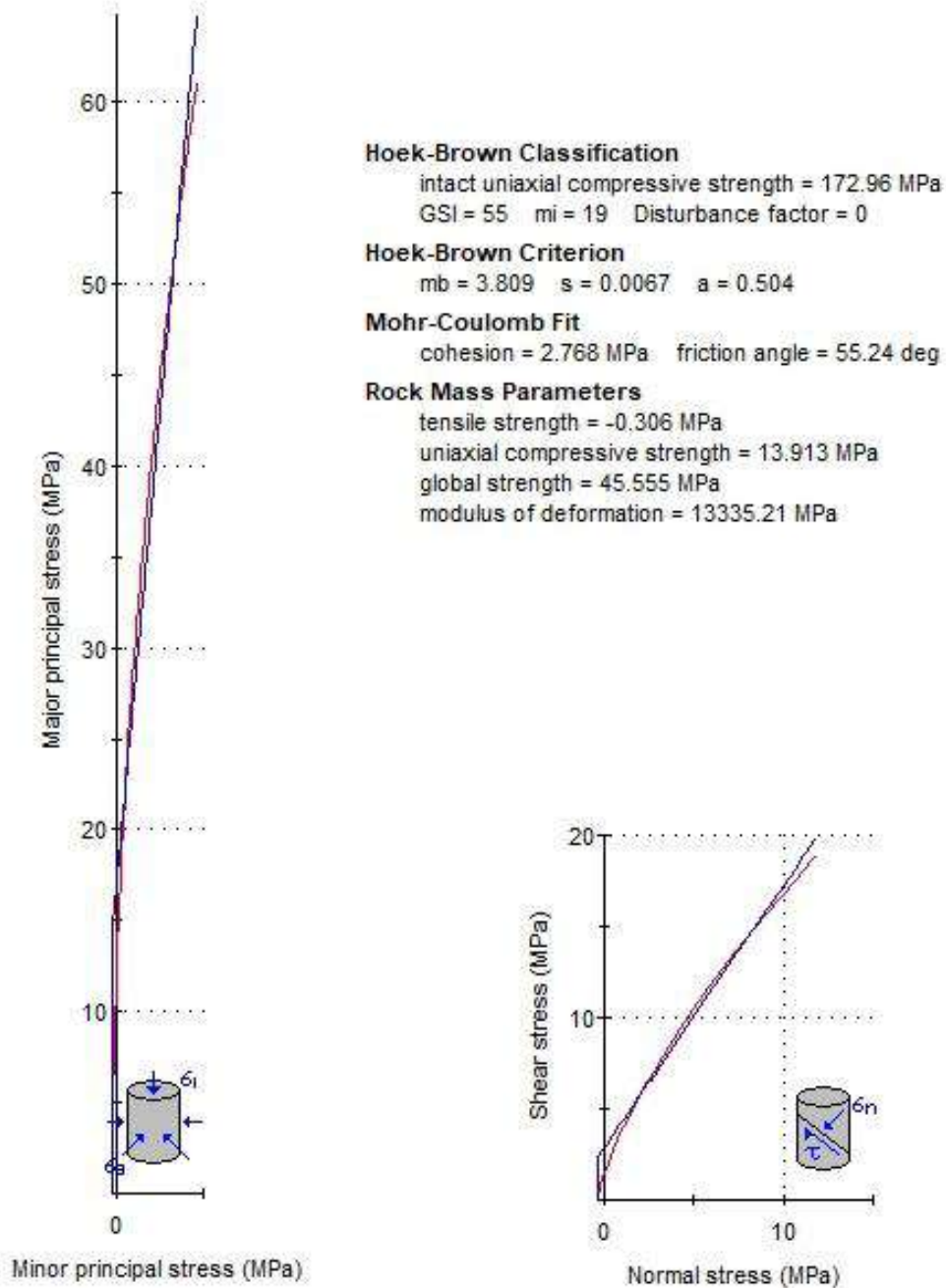
Fuente: Elaboración propia.

Por cuestiones prácticas las resistencias a compresión uniaxial representativas se obtienen por cada litología donde en el caso de los metasedimentos se ha tomado el promedio debido a la dispersión mínima de los datos no agrupados y en el caso del tufo andesítico se obtiene el mínimo valor debido al comportamiento de las condiciones de porosidad y densidad de esta litología contextualizándose en el peor escenario. El análisis de resistencias de la matriz rocosa de metasedimentos y tufo andesítico se realiza usando RocData 3.0 en términos de esfuerzos principales y tensionales que se muestran en las (figuras 46 y 47).

**Figura 46**

*Diagrama de análisis tensional de bloques rocosos de metasedimentos*

**Analysis of Rock/Soil Strength using RocData for Metasediments**



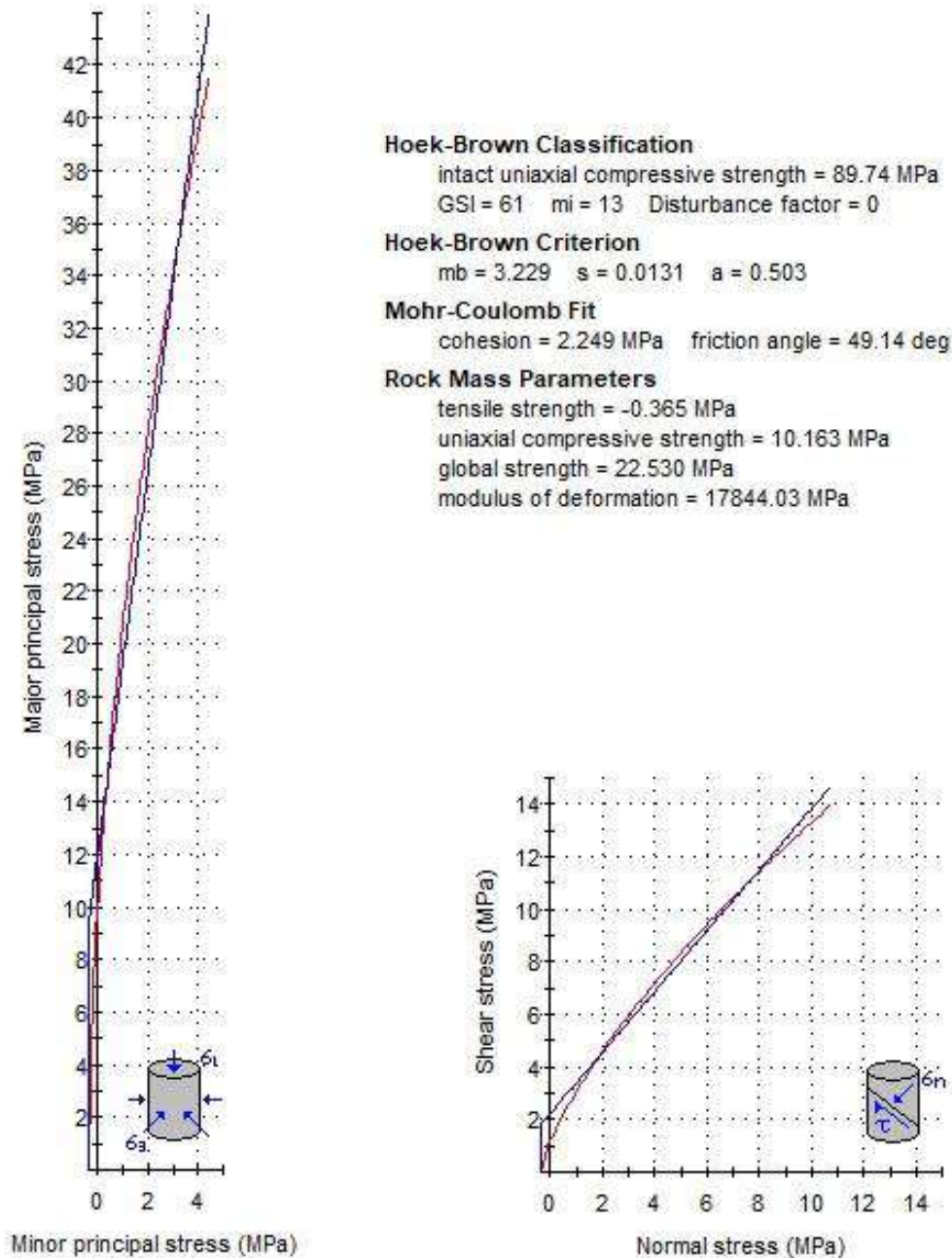
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 47**

*Diagrama de análisis tensional de bloques rocosos de tufos andesíticos*

**Analysis of Rock/Soil Strength using RocData for tuff andesitic**



Fuente: Elaboración propia.





Los datos de salida de la matriz rocosa y el macizo rocoso se muestran en los (cuadros 38 y 39) respectivamente.

**Cuadro 38**

*Parámetros estimados del análisis tensional de la matriz rocosa con RocData*

Litología	Tipo de litología	Grado	Resistencia Representativa (MPa)	Densidad (ton/m <sup>3</sup> )	Densidad (MN/m <sup>3</sup> )	mb	mi	s	a	c(MPa)	φ (°)	Descripción
Metasedimento	Lodolita Hornfels Metacuarcita	R5	172.96	2.78	0.027	3.809	1.009	0.0067	0.504	2.768	55.24	Roca dura a muy dura
Roca volcánica	Tufo Andesítico	R4	89.74	2.41	0.024	3.229	1.03	0.0131	0.503	2.249	49.14	Roca dura

Fuente: Elaboración propia.

(s) y (a) son constantes del macizo rocoso, donde  $s = 1$  es para roca intacta, (mi) y (mb) son constantes del material, (mb) es un valor reducido de la constante del material (mi); (c) y (φ) son la cohesión y el ángulo de fricción de la matriz rocosa.

**Cuadro 39**

*Parámetros de salida estimados del macizo global con RocData*

Litología	resistencia a la tracción	Resistencia global	Módulo de deformación
Metasedimento	(-) 0.306 MPa	45.555MPa	13335.21 MPa
Roca volcánica	(-) 0.363 MPa	22.530MPa	17844.03 MPa

Fuente: Elaboración propia.



#### 7.4. MEDICIÓN DE ESFUERZOS IN SITU

Las mediciones de esfuerzos in-situ se deben principalmente a la modificación del estado tensional natural de equilibrio al inicio del proyecto y el control tensional del macizo rocoso en las excavaciones aledañas durante el laboreo minero que dependerán de factores condicionantes y desencadenantes.

Existen métodos de medición directos e indirectos, los métodos de medición directos son mediante ensayos especializados in-situ costosos para un proyecto y son ejecutados por consultoras sin embargo se tienen alternativas de medición como los métodos empíricos que son baratísimos y con resultados confiables.

Los esfuerzos  $\sigma_z$  y  $\sigma_x$  ( $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ ) pueden conseguir el equilibrio a profundidades mayores de 1km, pero a profundidades menores de 500 mts considerada como excavaciones poco profundas, el valor de k es variable y las tensiones laterales ( $\sigma_x$ ) podrían superar a las tensiones verticales ( $\sigma_z$ ) depende de la topografía y el campo tensional generado por los esfuerzos tectónicos principales, sin embargo más allá de los 1000 mts de profundidad considerándose excavaciones profundas el valor de k tiende a 1 (Vallejo et al., 2002. p. 219), si la zona ha sido sometida a esfuerzos tectónicos intensos se puede obtener el estado tensional con el índice SRF.

En las unidades de Caridad y Hércules, hacia el NO del proyecto se encontró tectonitas evidenciando una importante zona de tectonismo a su vez la falla regional Jinchis cruza el proyecto longitudinalmente en dirección N-S y se encuentra paralela al sistema de fallas Huaraz - Recuay, por ello el índice SRF es aplicable a este contexto.

Índice SRF (Stress Relief Factor), indica el campo de carga tensional cuando el macizo experimenta perturbaciones tectónicas importantes y se expresa de la siguiente forma:



$$\text{SRF} = \text{Log} [T/(\epsilon \times H)] \times \text{NC} \times \text{SC} \dots (2) \text{ Fuente: (Vallejo et al., 2002. p. 502).}$$

Donde:

T = edad del ultimo plegamiento principal que afectó al macizo (años).

$\epsilon$  = módulo de elasticidad de la roca matriz (GPa)

H = máxima carga litostática en su historia geológica (espesor de estratos antes de la erosión)

en mts.

NC = coeficiente de actividad sismotectónica

SC = coeficiente de influencia topográfica.

Entonces los datos conocidos para obtener el factor de campo de carga tensional para el proyecto Gioconda que se tienen son los siguientes: T = 200 Ma (Hercínico, último plegamiento), H = 330 + 2000 mts (dato obtenido del cuadrángulo de geología regional del boletín N°76), NC = 0.25 (presencia de zonas sismo tectónicas), SC = 0.30 (la influencia topográfica no es accidentada sin embargo, la Cordillera Negra es considerada montaña),  $\epsilon = (12632.61 + 13335.21) / 2 = 12983.91 \text{ Mpa} = 12.98391 \text{ GPa}$  (Dato que brinda el RocData en base a la litología), entonces el factor de campo de carga tensional es el siguiente:

$$\text{SRF} = \text{Log} \frac{200 \times 10^6}{12.98 \times 2000} \times 0.25 \times 0.30 = \mathbf{2.7617}, \text{ entonces el } \mathbf{SRF} = \mathbf{2.7617} \text{ y por ende } k \text{ estimado}$$

es >2.0 de acuerdo al (cuadro 40) de criterios de aplicación del factor SRF.



**Cuadro 40**  
*Criterios de aplicación del factor SRF*

Rocas plegadas en el Hercínico			Rocas plegadas en el Alpino		
SRF	k	Estado tensional	SRF	k	Estado tensional
>3.6	<1.0	Bajo	>2.4	<1.0	Bajo
3.6 a 3.4	1.0 a 1.5	Medio	2.4 a 2.2	1.0 a 1.5	Medio
3.4 a 3.2	1.5 a 2.0	Alto	2.2 a 2.0	1.5 a 2.0	Alto
<3.2	>2.0	Muy alto	<2.0	>2.0	Muy alto

*Fuente: (Vallejo et al., 2002).*

El índice SRF permite estimar los valores del “parámetro k” a partir de datos geológicos y de deformabilidad que suscitaron en el macizo (Vallejo, 1988).

$$k = (SRF - 4.02) / (-0.34) \dots (3) \text{ [Para rocas plegadas en el Hercínico, } 3 < k, SRF < 5$$

$$k = (SRF - 2.67) / (-0.27) \dots \dots \dots \text{ [Para rocas plegadas en el Alpino; } 2 < k, SRF < 4$$

Es así que:

$$k = (2.7617 - 4.02) / (-0.34) = (-3.0209) / (-0.34), \text{ entonces el valor de } k = 3.7008$$

Las tensiones in-situ se pueden estimar a partir de las siguientes relaciones extraídas de (Berrocal, 2015) y (Hoek y Brown, 1985):

**Tensión Vertical:**

$$\sigma_v(\text{MPa}) = \gamma \cdot z \dots \dots \dots (4)$$

donde:

$\sigma_v$  = Tensión, esfuerzo o presión vertical.

$\gamma$  = densidad de la roca o material sobreyacente.

$z$  = Profundidad desde la superficie, hasta el punto de medición.

$$\text{Entonces, } \sigma_v = (0.0255) \times (330) = 8.415 \text{ Mpa}$$



Para  $\gamma$  = valor promedio de  $(0.027 + 0.024)/ 2 = 0.0255$  del (cuadro 13) obtenido de datos de laboratorio y  $z = 330\text{m}$  dato de campo.

**Tensión Horizontal:**

$$\sigma_h \text{ (MPa)} = k \cdot \gamma \cdot z \dots\dots\dots (5)$$

donde:

$\sigma_h$  = Tensión horizontal

$k$  = Parámetro de relación de la tensión horizontal con la vertical.

$\gamma$  = densidad de la roca o material sobreyacente

$z$  = Profundidad desde la superficie, hasta el punto de medición.

**Constante “k”**

Sustituyendo Ec. (4) en (5) se obtiene la siguiente relación (6) validada por Sheorey

La relación de esfuerzo vertical entre horizontal es  $k$

$$\frac{\sigma_h}{\sigma_v} = k \dots\dots\dots (6) \text{ Método de Sheorey}$$

Reemplazando el valor de “ $k$ ” obtenida en la Ec. (2) y densidad ( $\gamma$ ),  $z$  conocidos, se tiene el valor de la tensión horizontal ( $\sigma_h$ ), como sigue:

$$\sigma_h = (3.7008) \times (0.0255) \times (330) = 31.1429\text{MPa}$$

En algunas unidades mineras del Perú para labores entre 100 y 1500 mts de profundidad por asuntos de practicidad se realiza una iteración de 3 valores de “ $k$ ” ( $\sim 1$ ), ( $\sim 0.5$ ) y ( $\sim 1.5$ ) según el dominio geotectónico realizado por medio de ensayos específicos dirigido por consultoras y entre los rangos de valores estimados vs la profundidad por Hoek y Brown para no subdimensionar o sobredimensionar dichos valores.

Entonces de acuerdo a los valores de “k” iterados en la Ec. (7) líneas arriba se tiene el valor de la tensión horizontal ( $\sigma_h$ ) de la siguiente manera:

$$\sigma_h \text{ (MPa)} = k \cdot \gamma \cdot z \dots \dots \dots (7)$$

para  $k = 1$

$$\sigma_h \text{ (MPa)} = (1) \times (0.0255) \times (330) = 8.415 \text{ MPa}$$

para  $k = 0.5$

$$\sigma_h \text{ (MPa)} = (0.5) \times (0.0255) \times (330) = 4.208 \text{ MPa}$$

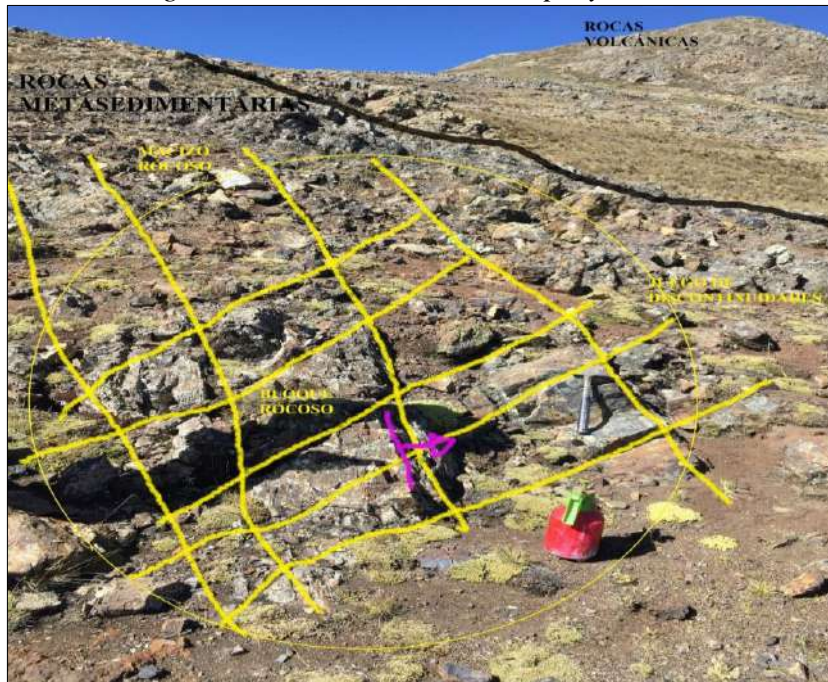
para  $k = 1.5$

$$\sigma_h \text{ (MPa)} = (1.5) \times (0.0255) \times (330) = 12.623 \text{ MPa}$$

#### 7.4. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

**Fotografía 10**

*Características geomecánicas del macizo del proyecto Gioconda*



Fuente: Elaboración propia.





## **7.4.1. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA EN AFLORAMIENTOS ROCOSOS**

Los afloramientos rocosos son fuentes de datos de comportamientos del macizo rocoso que se recolectan en puntos estratégicos denominados estaciones geomecánicas y desde 1970 las estaciones se extienden y formalizan como una herramienta imprescindible en trabajos ingenieriles y sigue siendo la piedra angular en el primer paso en todo estudio de mecánica de rocas, sí este no cuenta con estaciones geomecánicas por más que se utilicen los métodos más sofisticados de análisis se traducen en estudios inconsistentes y trabajos que carecen de seriedad (Hoek, 2007).

Las estaciones geomecánicas son la base fundamental de todo estudio de mecánica de rocas y donde se pueden visualizar las características geomecánicas del macizo rocoso (Jordá et al., 2016).

En estudios ingenieriles que impliquen diseños geomecánicos y geotécnicos, el primer paso es la toma de datos en afloramientos in-situ y se realizan mediante las estaciones geomecánicas con medidas directas como los mapeos geomecánicos e indirectas como los ensayos geotécnicos de la roca intacta y el macizo rocoso para su interpretación del comportamiento geoestructural y parámetros de propiedades físicas y diseño de estabilidad.

### **7.4.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO EN SUPERFICIE**

La caracterización del macizo rocoso en afloramientos de superficie con proyección en profundidad a la GL-0644S se han establecido 6 estaciones geomecánicas los que se ilustran en la (fotografía 11) con celdas de 3mx3m de barrido por el sistema RMR a lo largo del contacto sedimentario y volcánico.

### Fotografía 11

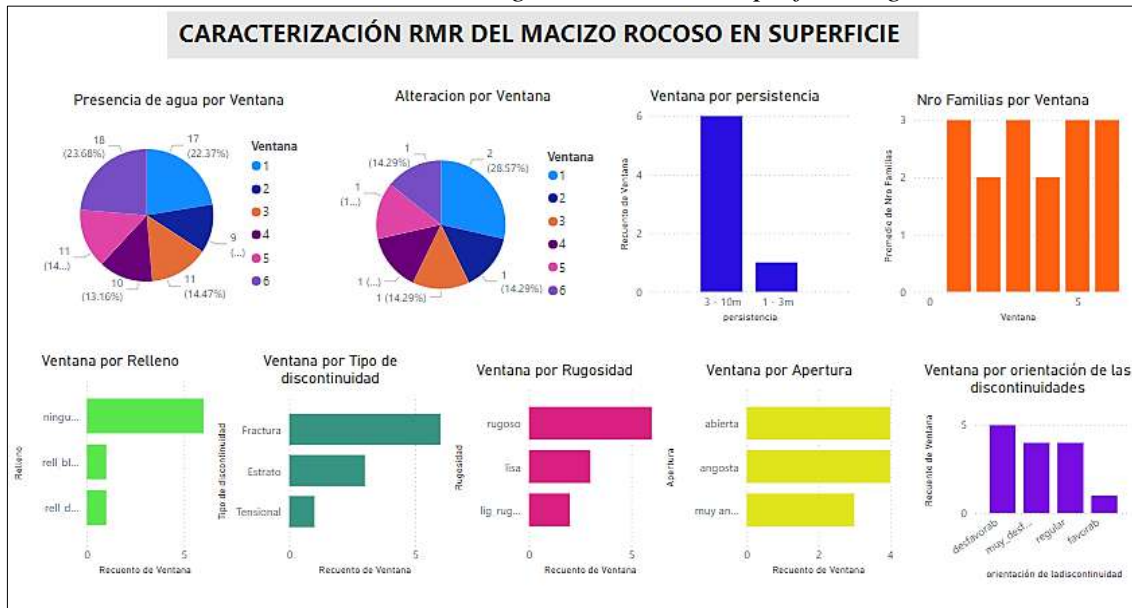
*Vista al Sur de las estaciones geomecánicas en superficie*



Fuente: Elaboración propia.

Las características mecánicas del macizo rocoso se levantan durante el mapeo geomecánico y se almacenan en una base de datos geomecánica descriptiva ver (tabla 3) en la sección de anexos con la finalidad de realizar análisis rápidos y en tiempo real del comportamiento estructural del macizo como se visualiza en la (figura 48) de algunos parámetros geomecánicos del RMR de acuerdo al requerimiento.

**Figura 48**  
*Parámetros de caracterización geomecánica en superficie según el RMR*



Fuente: Elaboración propia.

#### 7.4.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO EN MINA

En la GL-0644S del nivel 3 se realiza la caracterización geomecánica por el sistema RMR- Q estableciéndose 39 estaciones geomecánicas a lo largo de aproximadamente 240 metros lineales de avance, las estaciones geomecánicas son celdas cuadradas de área 1mx1m ubicadas en los hastiales derecho e izquierdo de forma sistemática de acuerdo a las condiciones estructurales y geológicas críticas de inspección visual, y sus variaciones de parámetros RMR se muestran en la (figura 46).

Mediante el mapeo geomecánico en mina se identifica el grupo de familias de discontinuidades con tendencias preferentes de dirección, condiciones de las discontinuidades geomecánicas y geológicas.

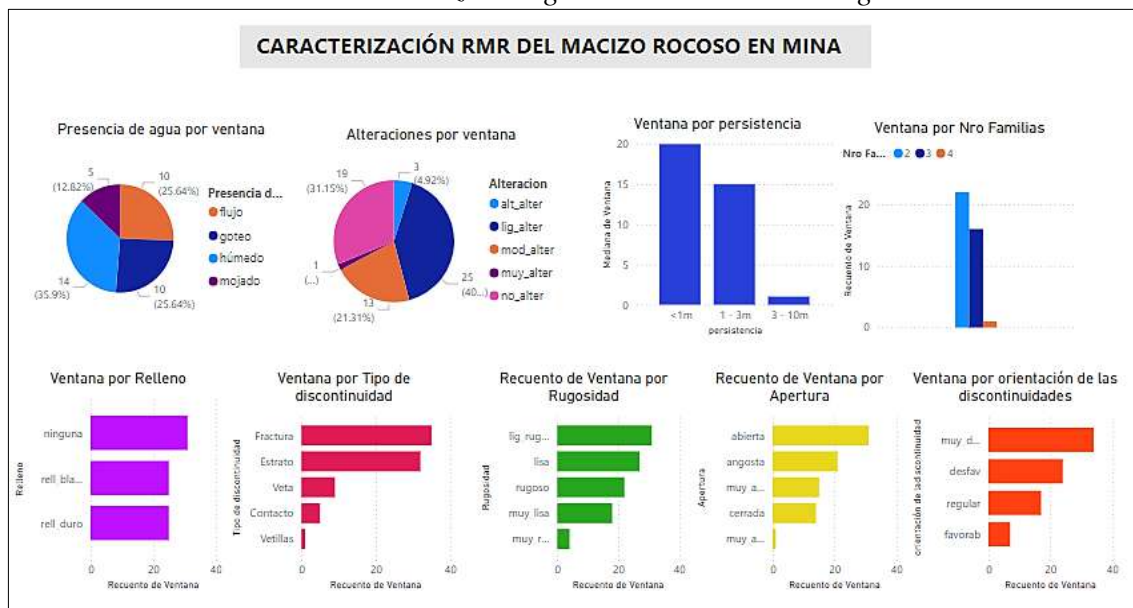
La GL - 0644S está ubicada tomando la RP – 0634 desde BM hasta el nivel 3 donde se gira a la derecha por el XC – 0690 luego se toma la izquierda en dirección al sur ingresando a la galería de estudio tal como se puede apreciar en la (fotografía 12).

**Fotografía 12**  
*Vista al Sur del ingreso a la GL-0644S, nivel 3*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 49**  
*Parámetros de caracterización geomecánica en mina según el RMR*



Fuente: Elaboración propia.



#### **7.4.2. ANÁLISIS GEOLÓGICO, ESTRUCTURAL Y CINEMÁTICO DE LAS DISCONTINUIDADES**

El análisis geológico, estructural y cinemático examina el comportamiento de la influencia de las perturbaciones y la cinemática de las estructuras geológicas y geomecánicas en familias y aleatorias registradas en las ventanas geomecánicas como se muestran en la (figura 50) del plano estructural de mina en la GL-0644S registradas y que se muestran como un extracto en las (tablas 3 y 4) de base de datos de superficie y mina en un escenario generalizado en el apartado del Apéndice. El ploteo de polos de las estructuras geomecánicas y geológicas en familias e individuales se realizan como un todo con la excepción de que las estructuras geológicas se analizan de forma individual, la cantidad de datos estructurales recomendable es más de 100 y para mayor confiabilidad se requiere por lo menos 1000 datos (Stauffer, 1966) en la galería se tiene cerca de 400 datos estructurales levantadas en las ventanas geomecánicas de afloramientos de superficie y mina.

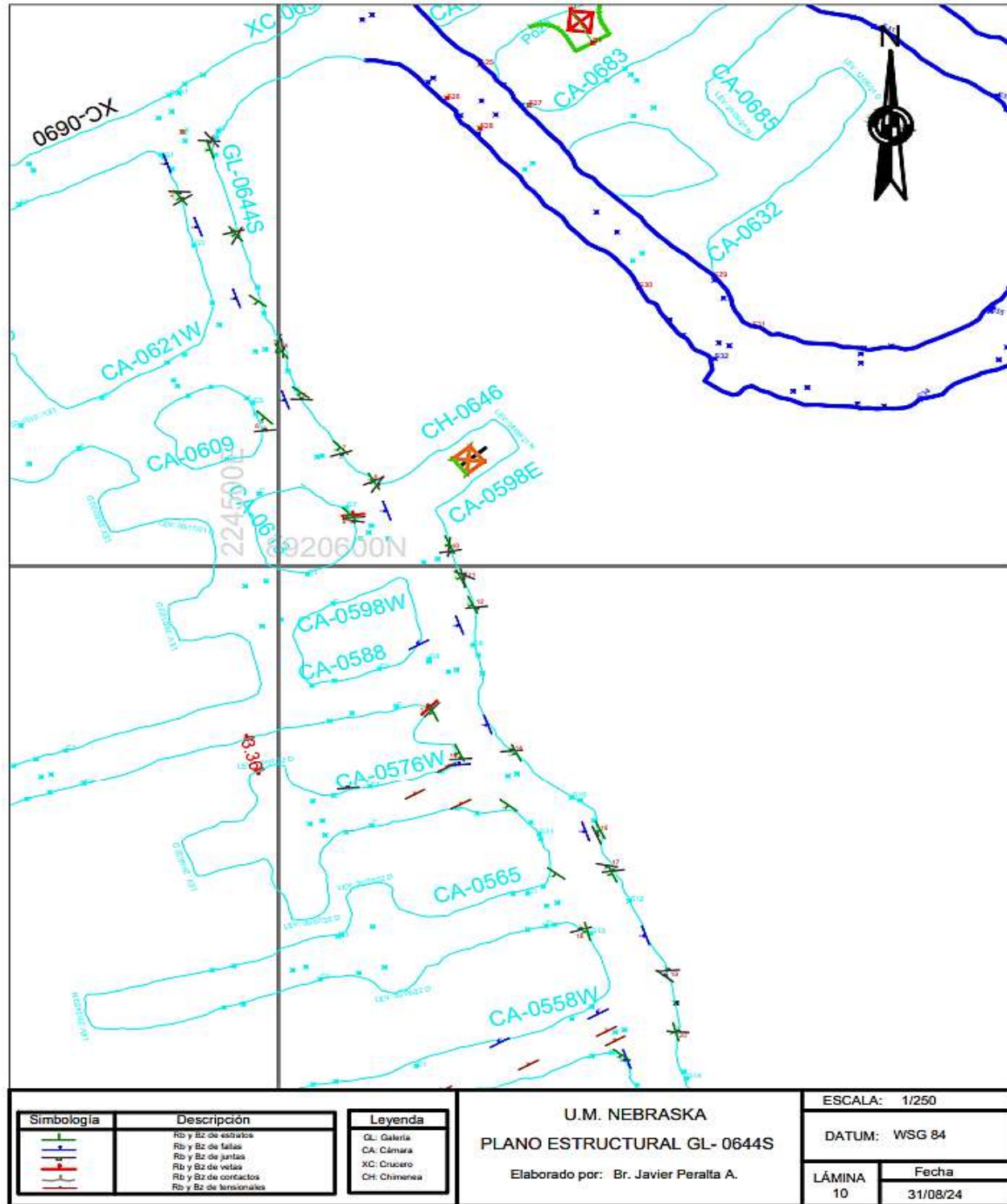
En el proyecto Gioconda a escala regional el control del régimen tectónico es compresivo debido a la influencia predominante del Ciclo Andino, sin embargo, este régimen se presenta de manera discontinua como sucede naturalmente en los regímenes tectónicos y durante el desarrollo del episodio Andino se identifican tres fases de plegamiento predominantes que se alternan con regímenes tensionales: En el eje NO-SE los cuales produjeron dos alineamientos de fracturas: 1. Por compresión de  $N45^{\circ}$  a  $225^{\circ}$  asociados a fallas de rumbo con tendencia dextral NNE a  $20^{\circ}$  y sinextral de  $N225^{\circ}$  normales al eje Andino y 2. Por tensión de  $N45^{\circ}$  a  $225^{\circ}$  asociados a juntas de tensión de  $N315^{\circ}$  en dirección Andina (Palacios, 1995). En el ámbito local se traducen en un predominio de estructuras mayores con lineamientos en dirección longitudinal o Andino los mismos que son paralelos al eje de Tapacocha y al sistema de fallas de la Cordillera Blanca con tendencia dextral y presencia de estructuras menores en dirección transversales o anti-Andina que son perpendiculares al



sistema Andino como tensiones de desgarre de control estructural, incrementándose la perturbación de carga tensional evidenciado en la GL-0644S.



**Figura 50**  
*Plano estructural en planta de mina en la GL-0644S*



Fuente: Elaboración propia.

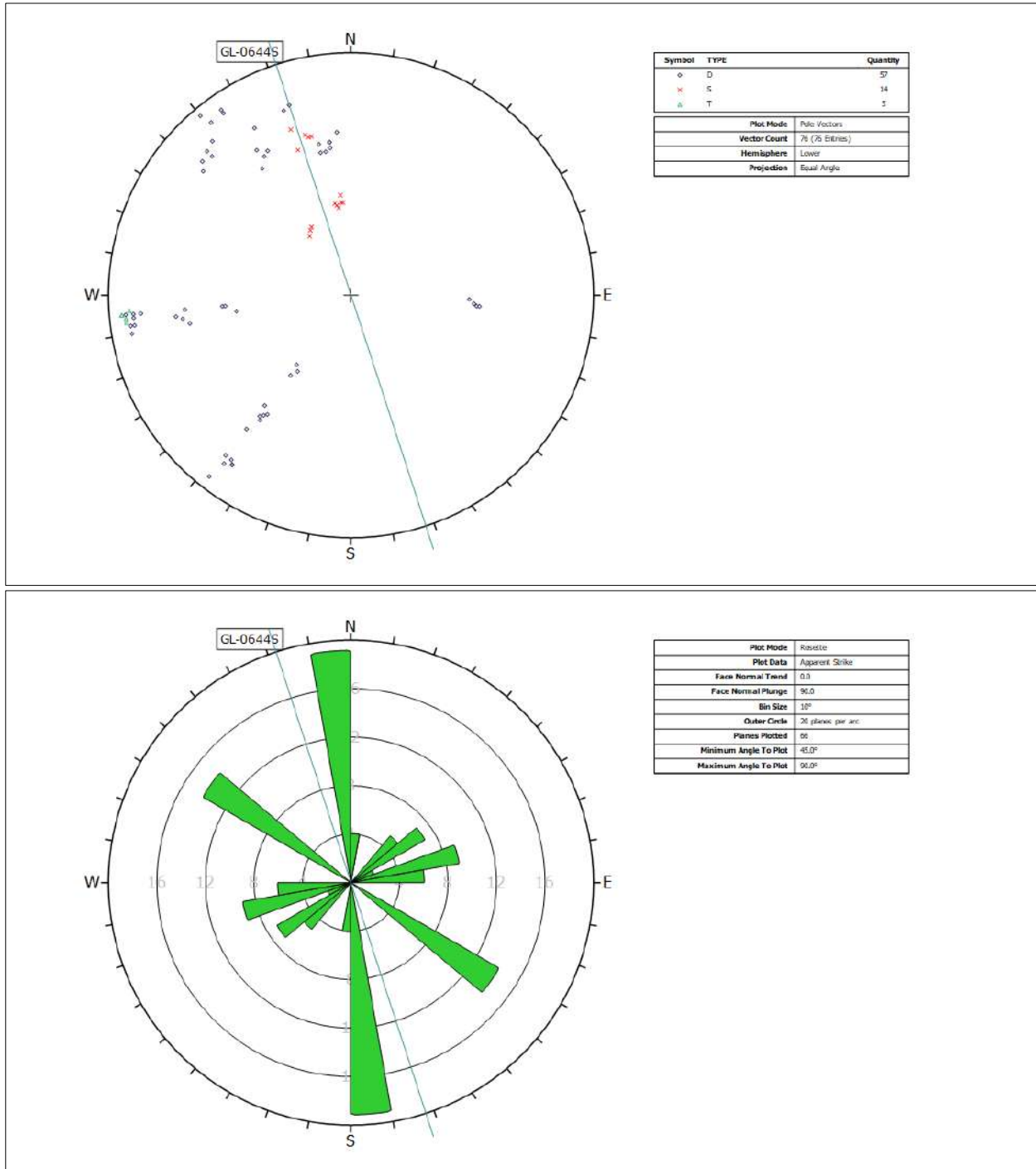


Las discontinuidades geomecánicas y geológicas en el proyecto Gioconda se presentan en tres direcciones preferentes en superficie y consecuentemente en profundidad es de la misma manera, las direcciones preferentes son: 1. En direcciones del sistema Andino (NW-SE). 2. En sistemas anti-Andino (NE-SW) y 3. En direcciones al E-W como una variación del sistema anti-Andino de mayor abertura creándose condiciones para el depósito de minerales.

En superficie y en mina el macizo es controlado mayormente por dos familias y en menor frecuencia por dos familias y un aleatorio sin embargo existe un porcentaje incluso menor de presencia de dos familias y dos aleatorios catalogándose como un macizo rocoso de tipo V, las estructuras geológicas se presentan en forma de vetas, veta-fallas, tensionales, contactos y estratos son las que controlan estructuralmente la estabilidad de las labores.

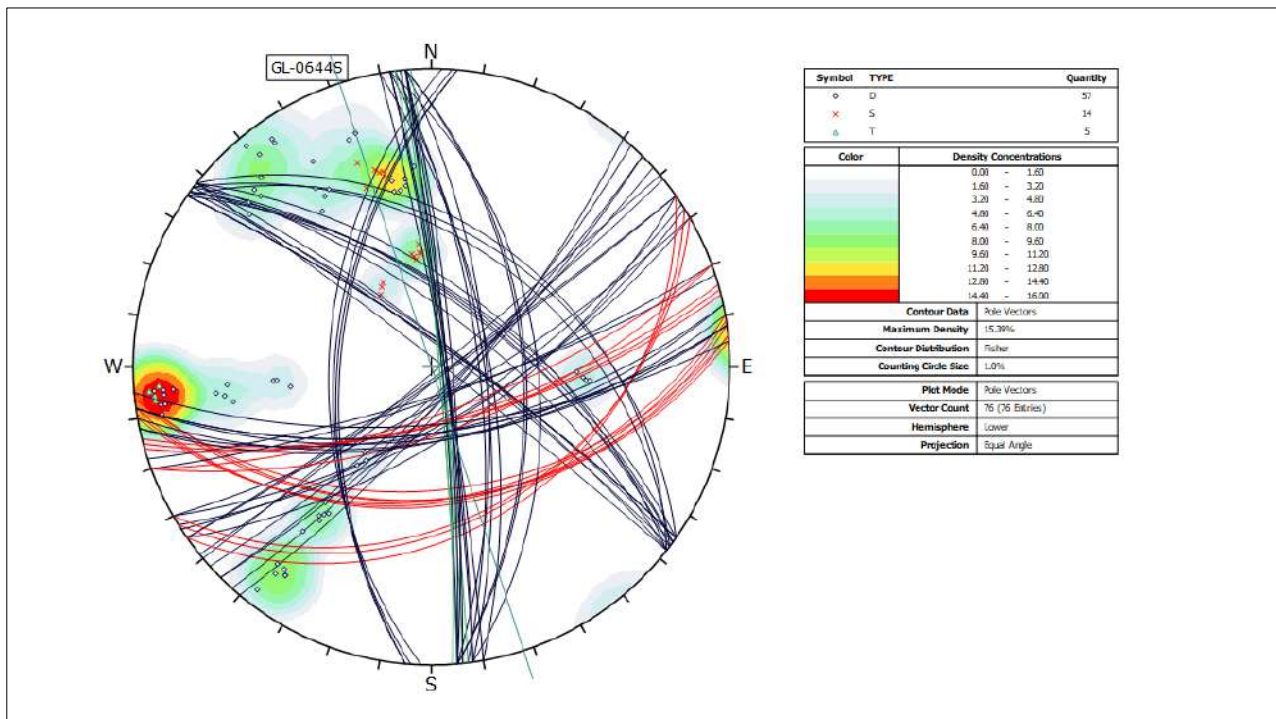
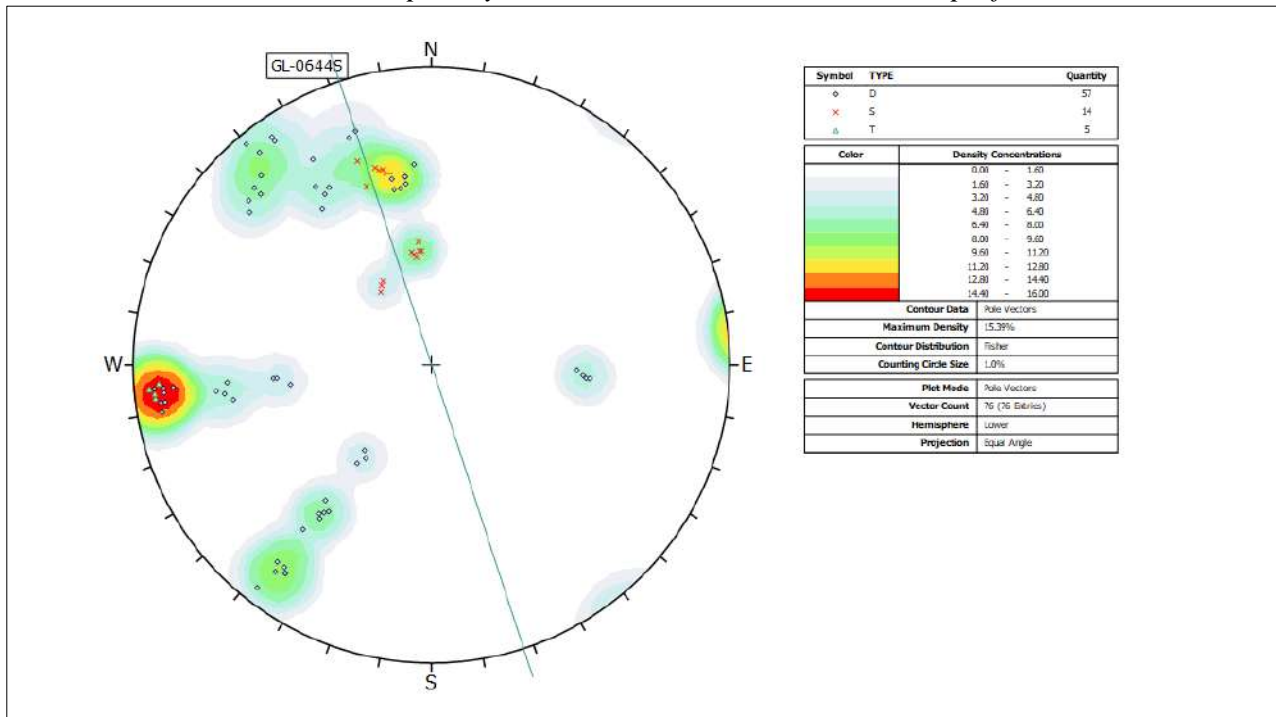
El ploteo total de estructuras geológicas y geomecánicas en superficie son 76 polos que muestran las tendencias preferentes de direcciones como en el diagrama de rosetas y las propias estructuras ploteadas en el diagrama de polos que se aprecian en la (figura 51) del mismo modo la densidad de polos y manteos de las estructuras en la (figura 52) estos factores determinan el parámetro  $J_n$  que es el número total de familias del índice Q, en la (figura 53) se presentan los sets principales y aquellos que tienen la capacidad de generar fallas planares con ninguno a nivel crítico identificándose una familia de dirección NW y Buzamientos al SE es decir estructuras en dirección del sistema Andino y en la (figura 54) se identifican a los mismos sets de dirección NW capaces de generar fallas en cuña por intersecciones de discontinuidades sin embargo con carácter crítico ninguno en la misma figura se puede visualizar 14 discontinuidades en estado crítico del total que generan derrumbes por flexión es decir “pandeamiento del techo” obtenido con el programa Dips v.7.0 del paquete Rocscience.

**Figura 51**  
*Ploteo de polos y rosetas de discontinuidades en superficie*



Fuente: Elaboración propia.

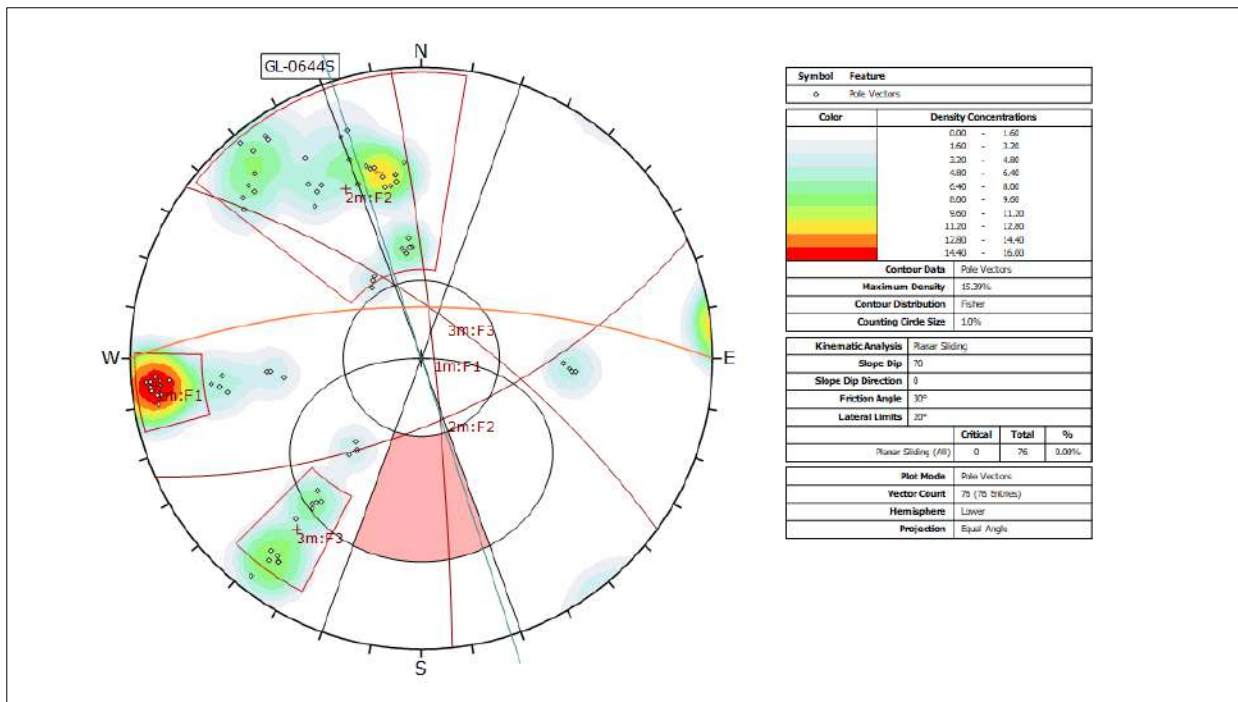
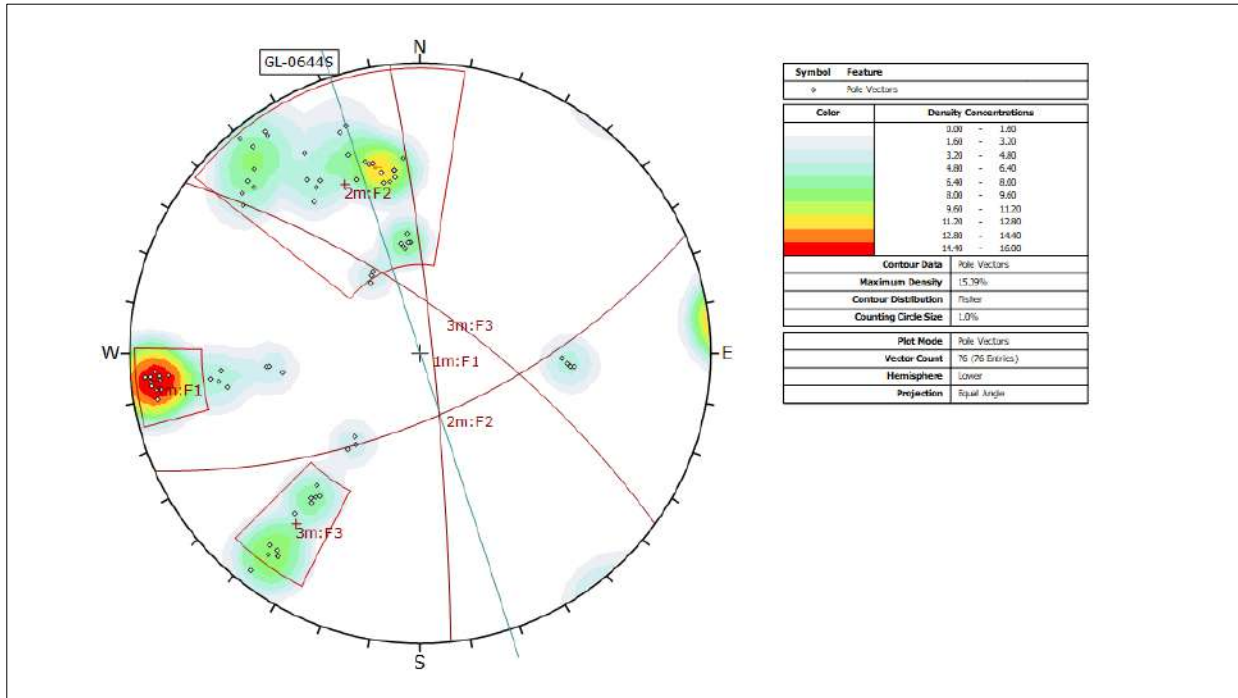
**Figura 52**  
*Densidad de polos y manteos de discontinuidades en superficie*



Fuente: Elaboración propia.

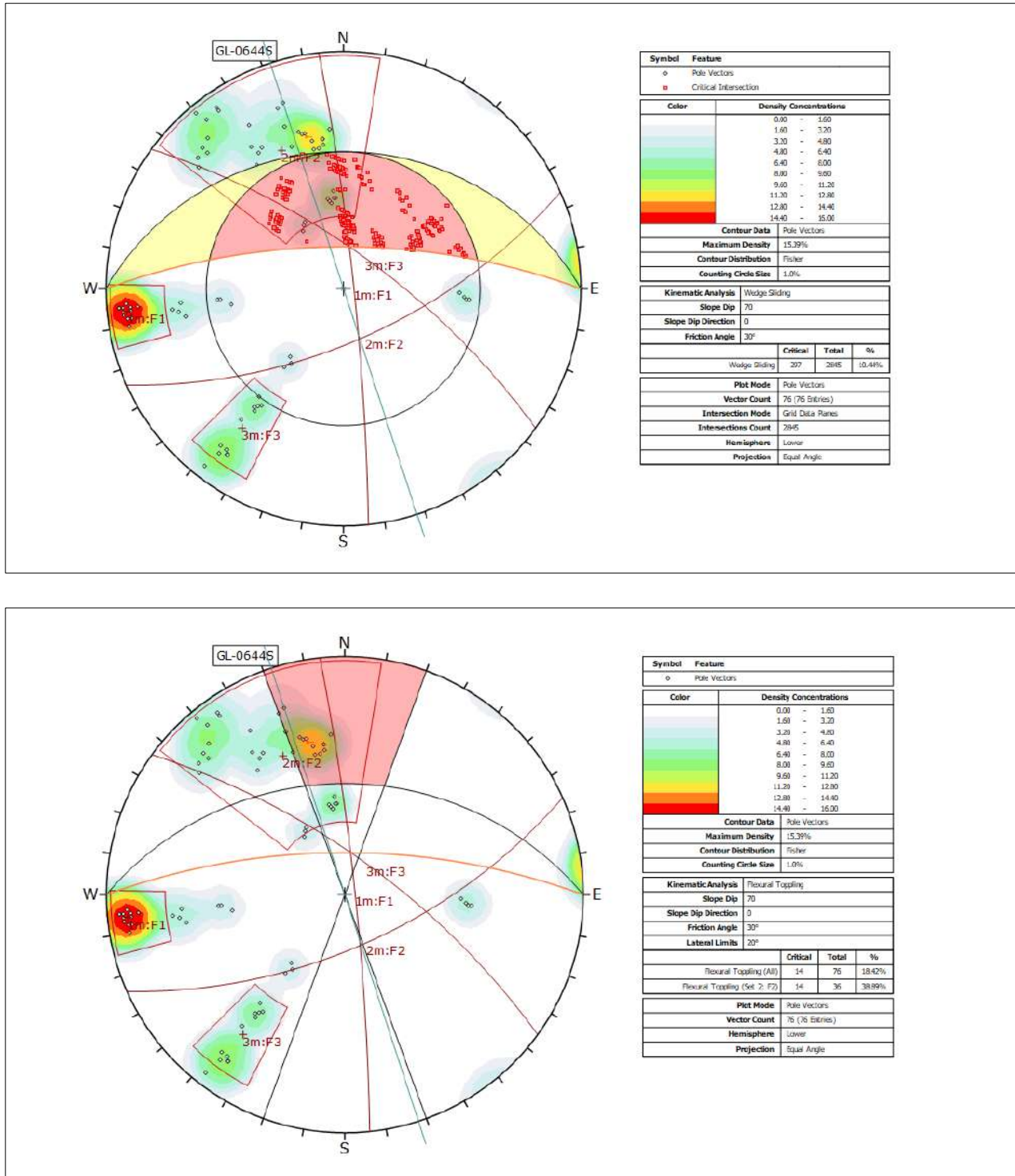


**Figura 53**  
*Familias de fallas planares en superficie*



Fuente: Elaboración propia.

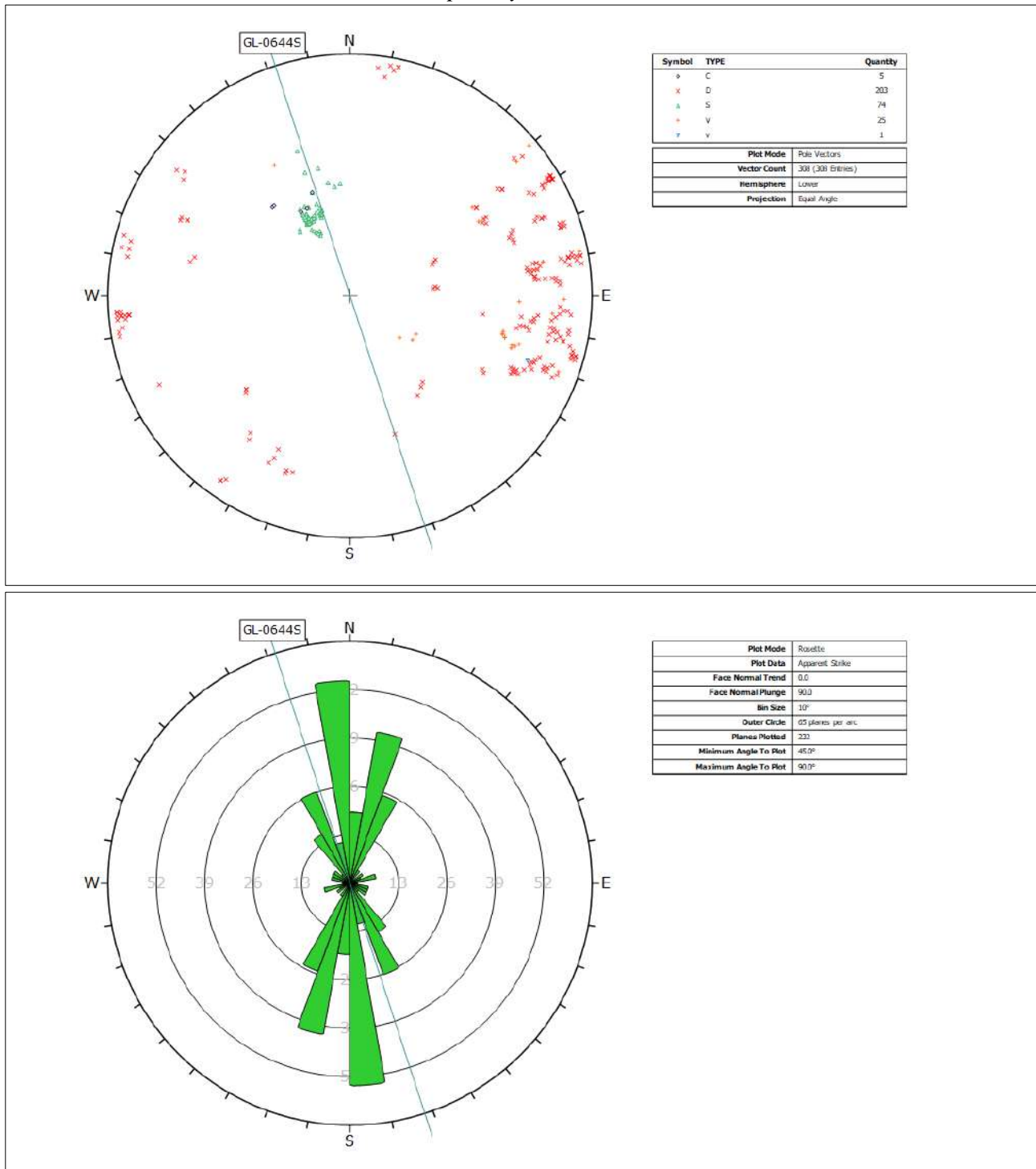
**Figura 54**  
*Fallas en cuña y flexurales en superficie*



Fuente: Elaboración propia.

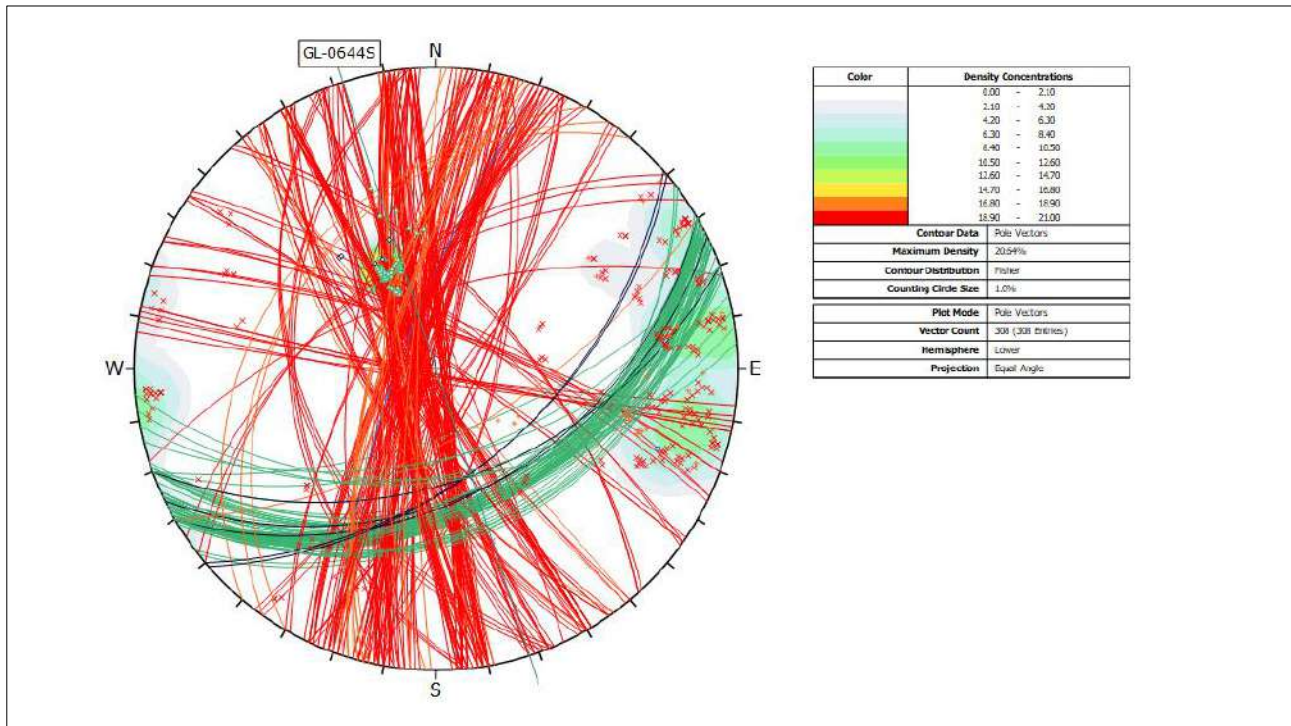
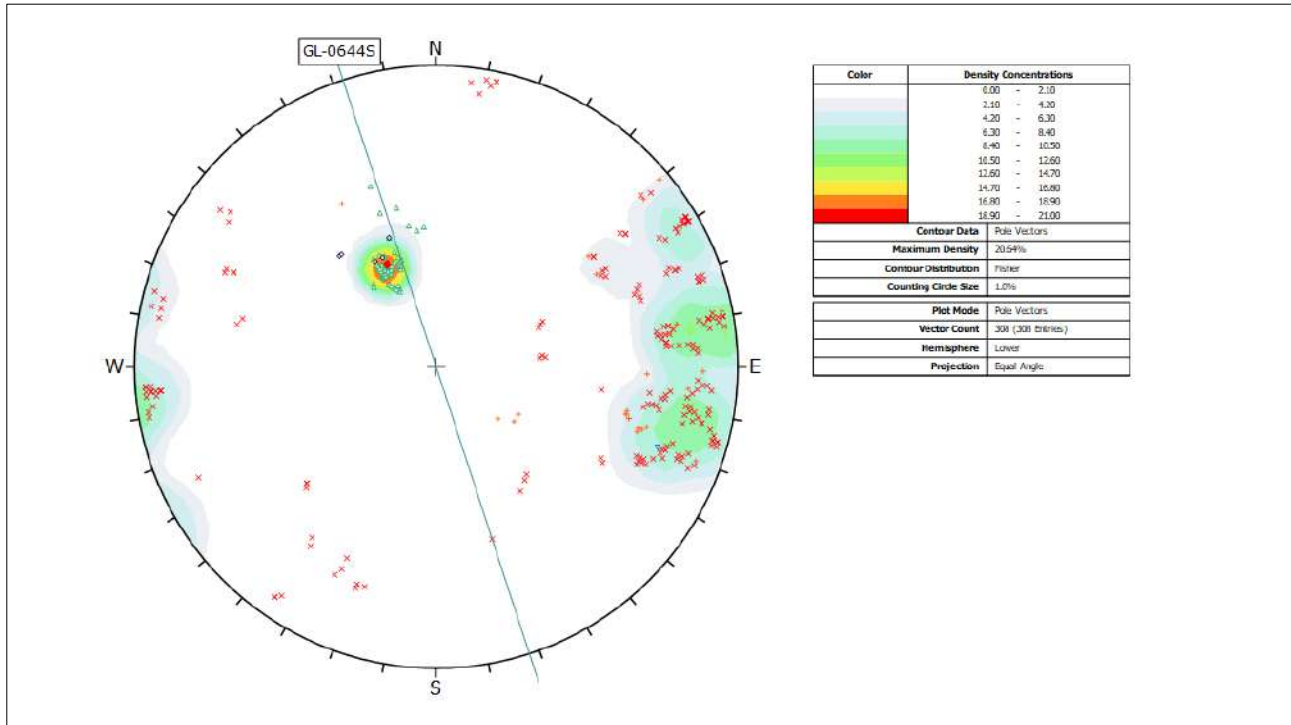


**Figura 55**  
*Ploteo de polos y rosetas en mina*



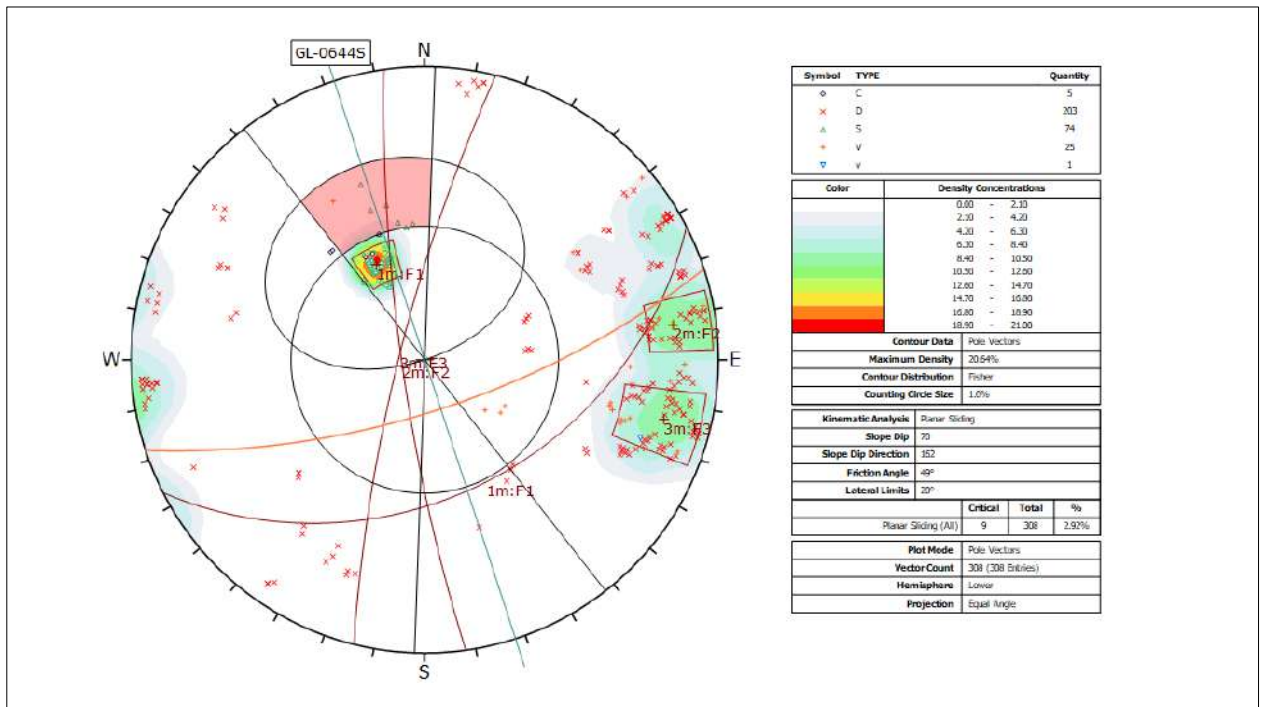
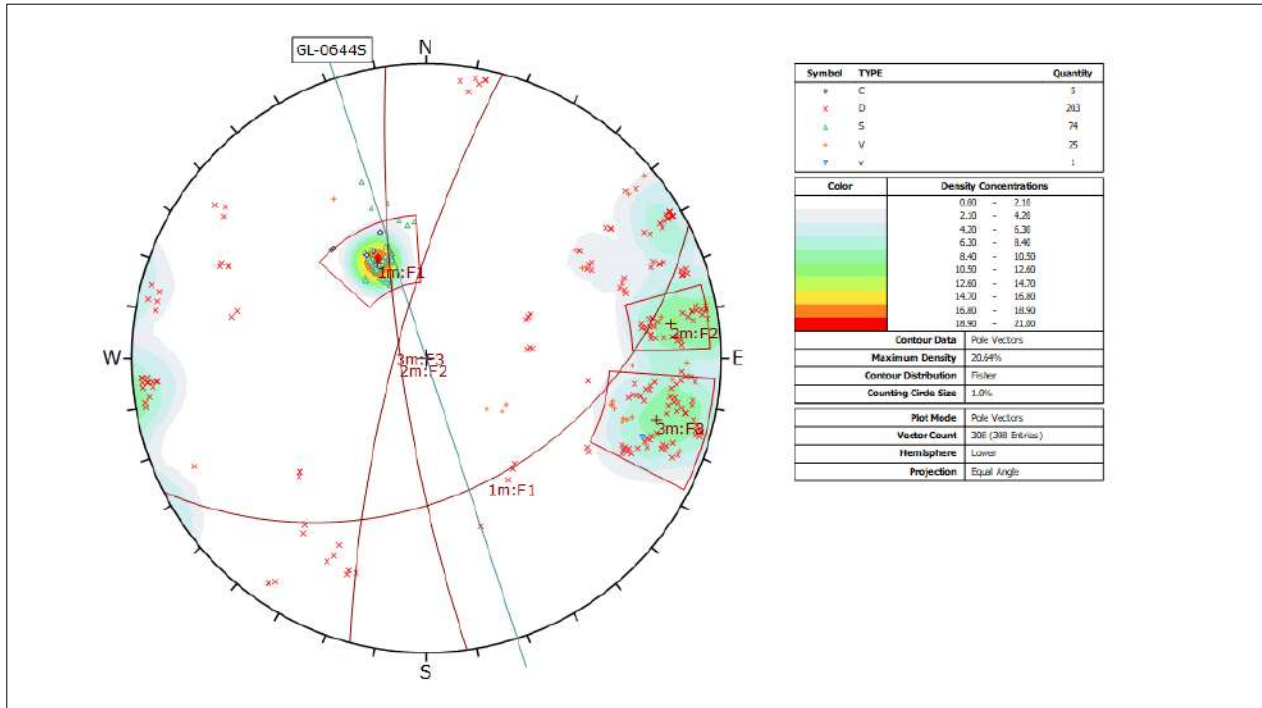
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 56**  
*Densidad de polos y mapeo de discontinuidades en mina*



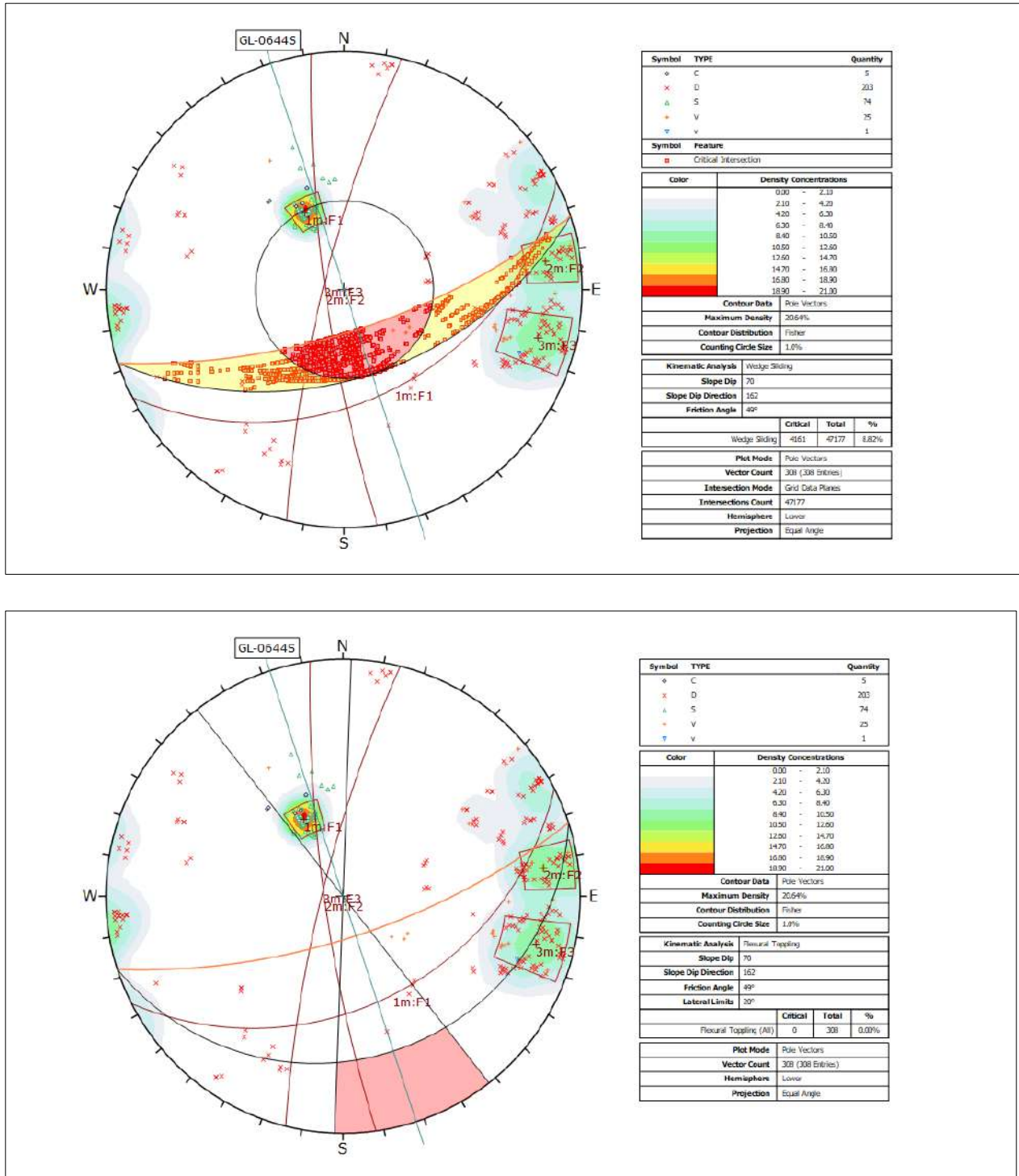
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 57**  
*Familias de fallas planares en mina*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 58**  
*Fallas en cuña y flexurales en mina*



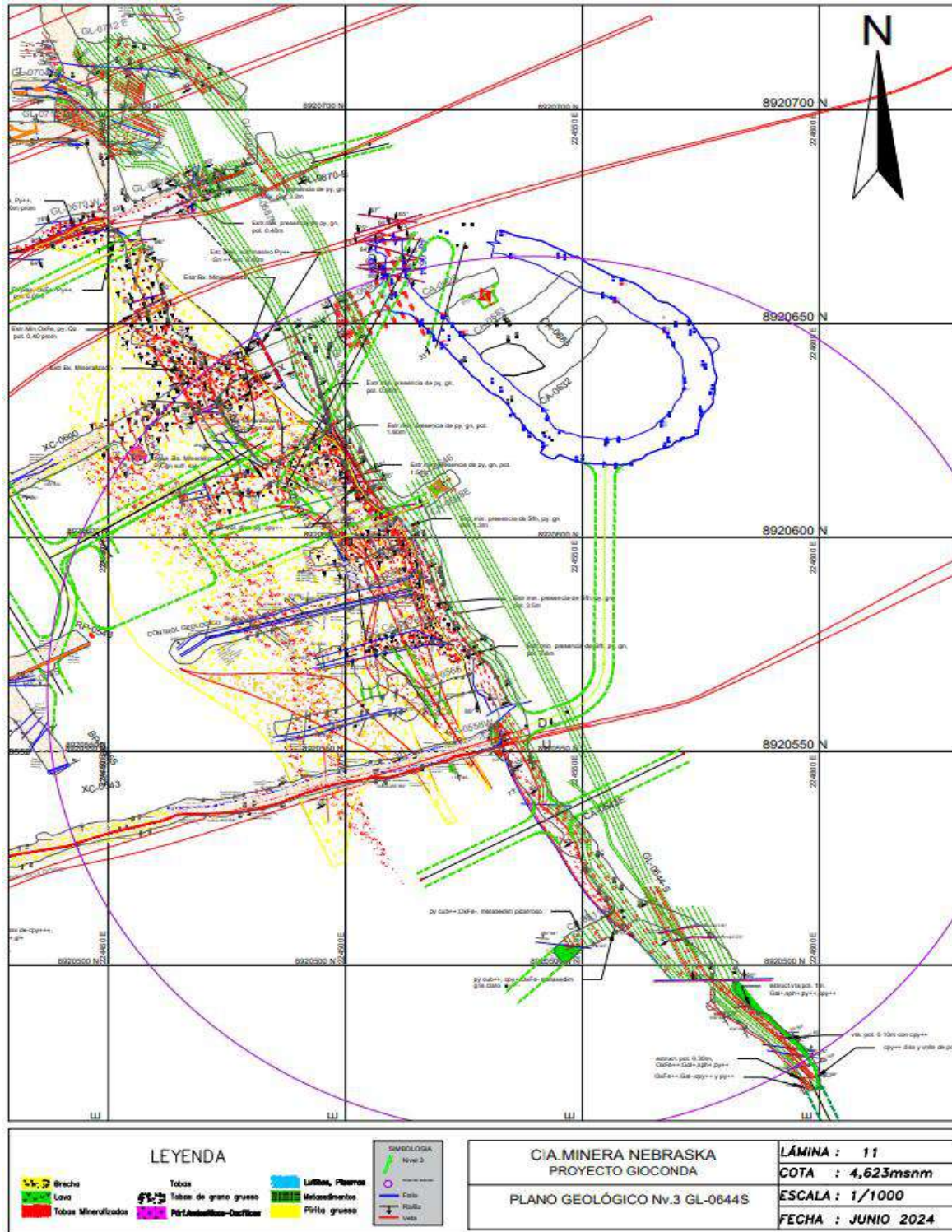
Fuente: Elaboración propia.



El total de las estructuras geológicas y geomecánicas en mina ploteados son 308 polos que tienen direcciones preferentes mostrados en el plano geológico de la (figura 59) en la GL-0644S y las tendencias en el diagrama de rosetas de la (figura 55) del mismo modo la (figura 56) muestra la densidad de polos y manteos de hasta cuatro familias de discontinuidades y sus proyecciones se visualizan como una concentración de líneas, en la (figura 57) se tienen familias principales que muestran la capacidad de generar fallas planares, determinándose un total de 9 discontinuidades en estado crítico con direcciones Andinas (NW – SE) que podrían generar fallas en cuña por intersecciones cercanas y representan el 10% de intersecciones en estado crítico ver la (figura 58) ocasionado en su mayoría por familias con direcciones Andinas y anti-Andinas, los análisis cinemáticos muestran fallamientos por flexión que podrían generarse por el “peso muerto” de la carga litostática de cabeza y desencadenarse por agentes condicionantes y desencadenantes como las alteraciones y la presencia de agua debido al dominio de tensiones horizontales.



**Figura 59**  
*Plano geológico en la GL-0644S*



**Fuente: Elaboración propia.**



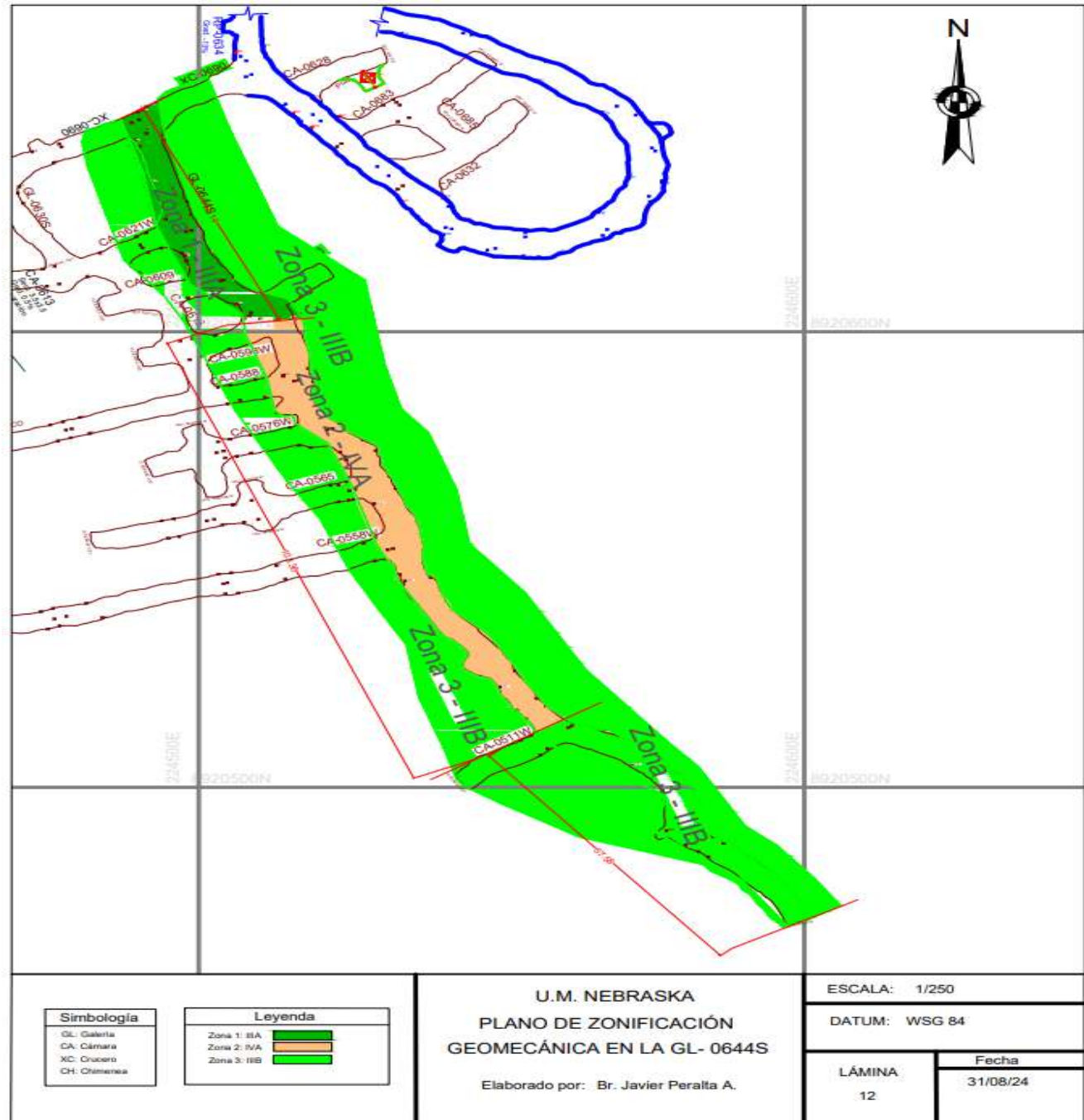


## 7.5. ZONIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

La zonificación del macizo rocoso es la sectorización por zonas basadas en características mecánicas y estructurales similares, cada zona tiene características particulares de litología, alteración y condición estructural cuantitativas y cualitativas tomando en cuenta rangos de valores más que un valor único y de esta manera evitar caer en el efecto de la “calculitis” (Vallejo et al, 2002. p. 242).

La galería 0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda se divide en tres zonas geomecánicas como son: Zona 1 de calidad regular buena (IIIA), zona 2 de calidad mala buena (IVA) y zona 3 de calidad regular mala (IIIB) con características particulares de litología, orientación de las discontinuidades (RMR), grado de fracturación (GSI), alteración, presencia de agua y el MRMR, resultando como producto el plano de zonificación geomecánica que se muestra en la (figura 60).

**Figura 60**  
Plano de zonificación geomecánica de la GL-0644S



Fuente: Elaboración propia.



## CAPITULO VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 8.1. RESULTADOS

Mediante la descripción geológica y caracterización geomecánica de la roca intacta y el macizo rocoso en afloramientos de superficie e interior mina en estaciones geomecánicas por la técnica de ventanas se registran las estructuras sistemáticas y singulares del macizo rocoso en dos familias y dos aleatorias haciendo uso del sistema RMR-Q en estrecha relación con el MRMR y el RQD.

En la GL-0644S, nivel 3 se tienen tres zonas geomecánicas sectorizadas como la zona 1, 2 y 3 con calidades diferenciadas de regular tipo IIIA, mala tipo IVA y regular tipo IIIB respectivamente, confeccionado en el plano de zonificación geomecánica de la (figura 57), las zonas geomecánicas son sectores independientes de características estructurales y mecánicas similares. Donde la zona 1 está dominada por una litología de rocas metasedimentarias calcáreas, silicificadas, presencia de agua y minerales de alteración, la zona 2 es la más crítica con una calificación de IVA caracterizándose con una calidad mala tipo A que presenta intersecciones transversales de estructuras geológicas de vetas, fallas y vetas-falla de dirección anti-Andinas con intercalaciones recurrentes de lodolitas y la zona 3 como un zona de calidad regular tipo IIIB si bien es cierto presenta estructuras geológicas sin embargo, las fisuras contienen relleno de minerales relativamente con mayor dureza y presencia mínima de agua dominada por rocas volcano-sedimentarias. Así mismo, el índice Q se obtiene por zonas tipificadas en la (tabla 7). El índice MRMR como es evidente castiga a la roca en un valor inmediato inferior de calidad como se puede visualizar en la (tabla 1)

**Tabla 1**  
*Valores del RMR y MRMR por zonas en la GL-0644S*

Zona 1			Zona 2			Zona 3		
Estación	RMR	MRMR	Estación	RMR	MRMR	Estación	RMR	MRMR
1	56.78	42.73	11	39.94	30.92	27	45.16	34.84
2	61.41	45.89	12	34.95	27.42	28	60.2	45.06
3	57.25	43.06	13	49.5	37.79	29	49.71	37.93
4	48.82	37.32	14	44	34.05	30	47.4	36.36
5	42	32.69	15	41.25	31.18	31	47	36.09
6	55.64	41.96	16	38	29.97	32	47.33	36.31
7	58	43.57	17	38.57	30.35	33	48.33	36.99
8	60	44.93	18	36.43	28.9	34	47.6	36.49
9	56	42.21	19	34.85	27.83	35	49.67	37.9
10	49	37.45	20	34.85	27.83	36	50.2	38.26
<b>Promedio1</b>	<b>54.49</b>	<b>41.181</b>	21	38.16	30.08	37	49.16	37.56
			22	40.17	31.44	38	48.29	36.96
			23	33.87	27.16	39	49.4	37.72
			24	26.66	22.26	<b>Promedio3</b>	<b>49.18846</b>	<b>37.57462</b>
			25	36.14	28.7			
			26	36.66	29.06			
			<b>Promedio2</b>	<b>37.75</b>	<b>29.68375</b>			
			<b>Promedio total</b>	<b>P1+P2+P3/3</b>				
				RMR	MRMR			
				<b>47.14282</b>	<b>36.14646</b>			

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 2**  
Valores del Q, RQD y Jv por zonas en la GL-0644S

Zona 1				Zona 2				Zona 3			
Estaciones	Q	RQD	Jv	Estaciones	Q	RQD	Jv	Estaciones	Q	RQD	Jv
1	5.38	85.3	9	11	9.3	82	10	27	8.1	95.2	6
2	4.18	58.9	17	12	6.41	82	12	28	8.38	98.5	5
3	5.35	75.4	12	13	7.7	95.2	6	29	8.34	91.9	7
4	11.16	78.7	11	14	6.03	88.6	8	30	8.38	98.5	5
5	8.53	91.9	7	15	8.66	91.9	4	31	6.48	95.2	6
6	6.7	78.7	11	16	6.7	78.7	11	32	5.21	91.9	7
7	10.06	98.5	5	17	6.95	91.9	7	33	5.4	95.2	6
8	6.98	82	10	18	5.21	91.9	7	34	7.45	98.5	5
9	5.02	78.7	11	19	5.21	91.9	7	35	6.08	95.2	6
10	16.72	65.5	15	20	5.21	91.9	7	36	8.38	98.5	5
<b>Promedio1</b>	<b>8.008</b>	<b>79.36</b>	<b>10.8</b>	21	5.4	95.2	6	37	6.07	95.2	6
				22	4.32	95.2	6	38	7.82	91.9	7
				23	5.03	88.6	8	39	8.38	98.5	5
				24	6.42	75.4	12	<b>Promedio3</b>	<b>7.2669231</b>	<b>95.707692</b>	<b>5.8461538</b>
				25	6.95	91.9	7				
				26	6.17	95.2	6				
				<b>Promedio2</b>	<b>6.354375</b>	<b>89.21875</b>	<b>7.75</b>				
				<b>Promedio total Q</b>	<b>P1+P2+P3/3</b>	<b>7.209766</b>					

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3**  
Valores del Jr, Jn y Q por zonas en la GL0644S

Zona 1				Zona 2				Zona 3			
Estaciones	Jr	Jn	Q	Estaciones	Jr	Jn	Q	Estaciones	Jr	Jn	Q
1	2	3	5.38	11	2	3	9.3	27	1.5	2	8.1
2	2	3	4.18	12	1	2	6.41	28	1	2	8.38
3	2	3	5.35	13	2	3	7.7	29	2	3	8.34
4	2	3	11.16	14	1	2	6.03	30	1	2	8.38
5	2	2	8.53	15	1	2	8.66	31	1	3	6.48
6	2	2	6.7	16	1	2	6.7	32	1	3	5.21
7	3	2	10.06	17	2	3	6.95	33	1	3	5.4
8	3	3	6.98	18	1	2	5.21	34	2	3	7.45
9	3	4	5.02	19	1	2	5.21	35	1.5	2	6.08
10	3	3	16.72	20	1	2	5.21	36	1	2	8.38
<b>Promedio</b>	<b>2.4</b>	<b>2.8</b>	<b>8.008</b>	21	1	3	5.4	37	1.5	2	6.07
				22	1	3	4.32	38	2	2	7.82
				23	1	3	5.03	39	2	2	8.38
				24	1	2	6.42	<b>Promedio</b>	<b>1.4230769</b>	<b>2.3846154</b>	<b>7.2669231</b>
				25	2	3	6.95				
				26	2	3	6.17				
				<b>Promedio</b>	<b>1.3125</b>	<b>2.5</b>	<b>6.354375</b>				
				<b>Promedios totales</b>	<b>Jr</b>	<b>Jn</b>	<b>Q</b>				
					<b>1.711859</b>	<b>2.561538</b>	<b>7.209766</b>				

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 4**  
*Clasificación RMR89 para la zona 1*

ZONA 1: CLASIFICACIÓN RMR89									
PARAMETROS		ESCALA DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Bajo carga puntual	>10MPa	4 - 10MPa	2 - 4MPa	1 - 2MPa	Para estos valores es preferible la resistencia a compresión simple		
		A compresión simple	>250MPa	100 - 250MPa	50 - 100MPa	25 - 50MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	<1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%			
	VALOR	20	17	13	8	5			
3	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	>2 m	0.6 - 2 m	200-600mm	60-200mm	<60mm			
	VALOR	20	15	10	8	5			
4	CONDICIÓN DE LAS JUNTAS	Muy rugosas, sin continuidad, cerradas, roca de caras sana	Ligeramente rugosa separación <1mm, roca de caras levemente meteorizada	Ligeramente rugosa separación <1mm, roca de caras muy meteorizada	Espejo de falla o relleno de espesor <5mm, juntas abiertas de 1-5mm, juntas continuas	Relleno blando de espesor >5mm, o juntas abiertas de >5mm, juntas continuas			
		VALOR	30	25	20	10	0		
5	AGUA	Flujo en cada 10m del tunel	Ninguno	<10 L/min	10-25 L/min	25-125 L/min	>125 L/min		
		Relacion presión del agua en la junta/ tensión principal máxima	0	<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5		
		Condiciones generales	Completamente seco	Manchas de humedad	Muy humedo	Goteo	Flujo de agua		
		VALOR	15	10	7	4	0		
6	ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELES	Muy favorable	Favorable	Regular	desfavorable	Muy desfavorable			
	VALOR	0	2	5	10	12			
CLASIFICACIÓN RMR DEL MACIZO ROCOSO	Muy buena	Buena	Regular o media	Mala	Muy mala				
	I	II	III	IV	V				
	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20				
Cohesion (KPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100				
angulo de friccion (deg)	>45	35-45	25-35	15-25	<15				
VALUACIÓN			54.49						

Fuente: Elaboración propia.





**Tabla 5**  
*Clasificación RMR89 para la zona 2*

ZONA 2: CLASIFICACIÓN RMR89									
PARAMETROS		ESCALA DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Bajo carga puntual	>10MPa	4 - 10MPa	2 - 4MPa	1 - 2MPa	Para estos valores es preferible la resistencia a compresión		
		A compresión simple	>250MPa	100 - 250MPa	50 - 100MPa	25 - 50MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	<1 MPa
	VALOR		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%		
	VALOR		20	17	13	8	5		
3	ESPACIADO DE LAS JUNTAS		>2 m	0.6 - 2 m	200-600mm	60-200mm	<60mm		
	VALOR		20	15	10	8	5		
4	CONDICIÓN DE LAS JUNTAS		Muy rugosas, sin continuidad, cerradas, roca de caras sana	Ligeramente rugosa separación <1mm, roca de caras levemente meteorizada	Ligeramente rugosa separación <1mm, roca de caras muy meteorizada	Espejo de falla o relleno de espesor <5mm, juntas abiertas de 1-5mm, juntas continuas	Relleno blando de espesor >5mm, o juntas abiertas de >5mm, juntas continuas		
		VALOR		30	25	20	10	0	
5	AGUA	Flujo en cada 10m del tunel	Ninguno	<10 L/min	10-25 L/min	25-125 L/min	>125 L/min		
		Relacion presión del agua en la	0	<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5		
		Condiciones generales	Completamente seco	Manchas de humedad	Muy humedo	Goteo	Flujo de agua		
		VALOR		15	10	7	4	0	
6	ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELES		Muy favorable	Favorable	Regular	desfavorable	Muy desfavorable		
		VALOR		0	2	5	10	12	
CLASIFICACIÓN RMR DEL MACIZO ROCOSO			Muy buena	Buena	Regular o media	Mala	Muy mala		
			I	II	III	IV	V		
			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20		
	Cohesion (KPa)		>400	300-400	200-300	100-200	<100		
	angulo de friccion (deg)		>45	35-45	25-35	15-25	<15		
	VALUACIÓN					37.75			

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 6**  
*Clasificación RMR89 para la zona 3*

ZONA 3: CLASIFICACIÓN RMR89									
PARAMETROS		ESCALA DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Bajo carga puntual	>10MPa	4 - 10MPa	2 - 4MPa	1 - 2MPa	Para estos valores es preferible la resistencia a compresion		
		A compresión simple	>250MPa	100 - 250MPa	50 - 100MPa	25 - 50MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	<1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%			
	VALOR	20	17	13	8	5			
3	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	>2 m	0.6 - 2 m	200-600mm	60-200mm	<60mm			
	VALOR	20	15	10	8	5			
4	CONDICIÓN DE LAS JUNTAS	Muy rugosas, sin continuidad, cerradas, roca de caras sana	Ligeramente rugosa separación <1mm, roca de caras levemente meteorizada	Ligeramente rugosa separacion <1mm, roca de caras muy meteorizada	Espajo de falla o relleno de espesor <5mm, juntas abiertas de 1-5mm, juntas continuas	Relleno blando de espesor >5mm, o juntas abiertas de >5mm, juntas continuas			
		VALOR	30	25	20	10	0		
5	AGUA	Flujo en cada 10m del tunel	Ninguno	<10 L/min	10-25 L/min	25-125 L/min	>125 L/min		
		Relacion presión del agua en la junta/ tension principal máxima	0	<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5		
		Condiciones generales	Completamente seco	Manchas de humedad	Muy humedo	Goteo	Flujo de agua		
		VALOR	15	10	7	4	0		
6	ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELES	Muy favorable	Favorable	Regular	desfavorable	Muy desfavorable			
		VALOR	0	2	5	10	12		
CLASIFICACIÓN RMR DEL MACIZO ROCOSO		Muy buena	Buena	Regular o media	Mala	Muy mala			
		I	II	III	IV	V			
		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20			
Cohesion (KPa)		>400	300-400	200-300	100-200	<100			
angulo de friccion (deg)		>45	35-45	25-35	15-25	<15			
VALUACIÓN				49.18					

Fuente: Elaboración propia.

En el presente trabajo de investigacion se toma importancia al indice MRMR por su aplicabilidad al contexto real de los eventos de ocurrencia en mineria donde la perturbacion al macizo es evidente, ver el (cuadro 40).



**Cuadro 40**  
*Calidades del macizo rocoso según el RMR y MRMR*

macizo rocoso GL-0644S	Clasificación según RMR (Bieniawski, 1989)	Clasificación según MRMR (Laubscher,1990)	Calidad	Valoración
	IIIA	IIIB	Regular B	41 a 50
	IIIA	IVA	Pobre A	31 a 40
	IVA	IVB	Pobre B	21 a 30

Fuente: Elaboración propia.

El índice RMR esta relacionado a tiempos de sostenimiento en un claro para un tiempo determinado acorde a su calidad, cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso como se muestra en el (cuadro 41).

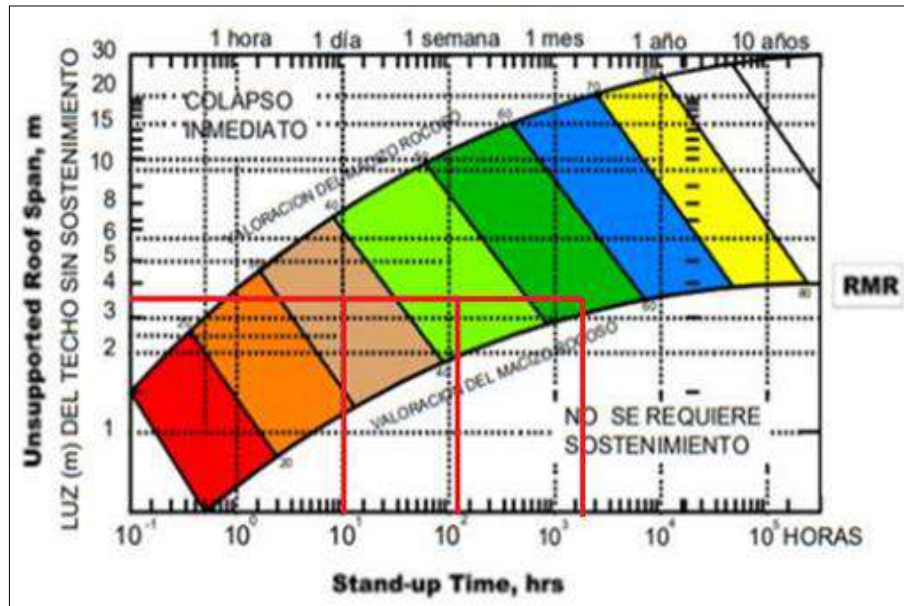
**Cuadro 41**  
*Tiempos de sostenimiento de la GL-0644S*

Clase	RMR para los tiempos de Sostenimiento				
	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala
Tiempo medio de sostén y longitud	10 años para claro de 5m	6 meses para claro de 4m	1 semana para claro de 3m	5 horas para claro de 15m	10 min para claro de 0.5m
Cohesión	>300 KPa	200 - 300 KPa	150 - 200KPa	100 - 150KPa	<100KPa
Angulo de fricción	>45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	<30°

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Las calidades del macizo estan relacionados al claro de labor, el tiempo de la instalación del sostenimiento en horas y su duracion en años como se puede mostrar en la (figura 61).

**Figura 61**  
*Ábaco de Bieniawski para tiempos de autosostenimiento en la GL-0644S*



*Fuente:* (Cia. Minera Lincuna, 2022).

El tamaño de las excavaciones subterráneas juega un papel importante independiente de la calidad del macizo rocoso de acuerdo con el ábaco de Bieniawski mostrado en la (figura 58) se observa que a menor tamaño de excavación es menor el sostenimiento.

Los tiempos de sostenimiento temporales y permanentes indican no sólo el tiempo de duración sin sostenimiento (en años) sino que además indican el tiempo límite permitido para sostener (en horas) después de cada ciclo de voladura en el tiempo oportuno de sostenimiento de lo contrario los bloques rocosos se relajan o reacomodan reduciéndose su resistencia hasta potencialmente caer producto de la separación del bloque mayor y ocurrir un desprendimiento de una plancha rocosa y con un sostenimiento a destiempo es un peligro oculto de una posibilidad de desprendimiento de roca por lo tanto existe tiempos límites y grados de estabilidad en labores subterráneas operativas y permanentes en relación a la calidad y condición del macizo tal como se muestra en el (cuadro 42).



**Cuadro 42**  
*Grado de estabilidad en la GL-0644S*

CODIGO DE COLORES	CATEGORIA	DESCRIPCIÓN CLASE DE ROCA	VALUACIÓN SEGÚN RMR	GRADO DE ESTABILIDAD	ABIERTO MAXIMO SIN SOSTENIMIENTO LABOR PERMANENTE (m)	TIEMPO DE AUTOSOPORTE (DIAS) LABOR PERMANENTE	ABIERTO MAXIMO SIN SOSTENIMIENTO LABOR TEMPORAL (m)	TIEMPO DE AUTOSOPORTE (DIAS) LABOR TEMPORAL
Yellow	II A	BUENA A	71 - 80	ESTABLE	9.0	250	16.0	200.0
Blue	II B	BUENA B	61 - 70		6.0	50	10.0	25.0
Green	III A	REGULAR A	51 - 60	MED. ESTABLE A MED. INESTABLE	4.0	8	6.8	6.0
Light Green	III B	REGULAR B	41 - 50		4.0	1	4.0	1
Brown	IV A	POBRE A	31 - 40	INESTABLE	---	INMEDIATO	---	INMEDIATO
Orange	IV B	POBRE B	21 - 30		---	INMEDIATO	---	INMEDIATO
Red	V	MUY POBRE	<20	MUY INESTABLE	---	INMEDIATO	---	INMEDIATO

Fuente: (Cia. Minera Lincuna, 2022).

El índice RMR está relacionado a grados de estabilidad en áreas localizadas del macizo rocoso como se indica en el (cuadro 43).

**Cuadro 43**  
*Relación del índice RMR con grados de estabilidad en la GL-0644S*

TABLA GEOMECANICA RMR					
RIESGO DE ESTABILIDAD	CODIGO DE COLORES	CATEGORIA	DESCRIPCIÓN CLASE DE ROCA	VALUACIÓN SEGÚN RMR	GRADO DE ESTABILIDAD
RIESGO BAJO	Yellow	II A	BUENA A	71 - 80	ESTABLE
	Blue	II B	BUENA B	61 - 70	
RIESGO MEDIO	Green	III A	REGULAR A	51 - 60	MED. ESTABLE A MED. INESTABLE
	Light Green	III B	REGULAR B	41 - 50	
RIESGO ALTO	Brown	IV A	POBRE A	31 - 40	INESTABLE
	Orange	IV B	POBRE B	21 - 30	
	Red	V	MUY POBRE	< 20	

Fuente:(Cia. Minera Lincuna, 2022).





**Tabla 7**  
*Valores del Q por zonas en la GL-0644S*

Zona 1										
Estación	Jn	Jr	RQD	Ja	Jw	SRF	RQD/Jn	Jr/Ja	Jw/SRF	Q
1	3	2	85.3	9	2.5	2.76	28.43	0.22	0.91	5.72
2	3	2	58.9	8	2.5	2.76	19.63	0.25	0.91	4.45
3	3	2	75.4	8	2.5	2.76	25.13	0.25	0.91	5.69
4	3	2	78.7	4	2.5	2.76	26.23	0.50	0.91	11.88
5	2	2	91.9	11	3	2.76	45.95	0.18	1.09	9.08
6	2	2	78.7	4	1	2.76	39.35	0.50	0.36	7.13
7	2	3	98.5	5	1	2.76	49.25	0.60	0.36	10.71
8	3	3	82	4	1	2.76	27.33	0.75	0.36	7.43
9	4	3	78.7	4	1	2.76	19.68	0.75	0.36	5.35
10	3	3	65.5	4	3	2.76	21.83	0.75	1.09	17.80
<b>Promedio</b>	<b>2.80</b>	<b>2.40</b>	<b>79.36</b>	<b>6.10</b>	<b>2.00</b>	<b>2.76</b>	<b>30.28</b>	<b>0.48</b>	<b>0.72</b>	<b>8.52</b>
Zona 2										
Estación	Jn	Jr	RQD	Ja	Jw	SRF	RQD/Jn	Jr/Ja	Jw/SRF	Q
11	3	2	82	4	2	2.76	27.33	0.50	0.72	9.90
12	2	1	75.4	4	2	2.76	37.70	0.25	0.72	6.83
13	3	2	95.2	7	2.5	2.76	31.73	0.29	0.91	8.21
14	2	1	88.6	5	2	2.76	44.30	0.20	0.72	6.42
15	2	1	101.8	4	2	2.76	50.90	0.25	0.72	9.22
16	2	1	78.7	4	2	2.76	39.35	0.25	0.72	7.13
17	3	2	91.9	6	2	2.76	30.63	0.33	0.72	7.40
18	2	1	91.9	6	2	2.76	45.95	0.17	0.72	5.55
19	2	1	91.9	6	2	2.76	45.95	0.17	0.72	5.55
20	2	1	91.9	6	2	2.76	45.95	0.17	0.72	5.55
21	3	1	95.2	6	2	2.76	31.73	0.17	0.72	3.83
22	3	1	95.2	5	2	2.76	31.73	0.20	0.72	4.60
23	3	1	88.6	4	2	2.76	29.53	0.25	0.72	5.35
24	2	1	75.4	4	2	2.76	37.70	0.25	0.72	6.83
25	3	2	91.9	6	2	2.76	30.63	0.33	0.72	7.40
26	3	2	95.2	7	2	2.76	31.73	0.29	0.72	6.57
<b>Promedio</b>	<b>2.50</b>	<b>1.31</b>	<b>89.43</b>	<b>5.25</b>	<b>2.03</b>	<b>2.76</b>	<b>37.05</b>	<b>0.25</b>	<b>0.74</b>	<b>6.65</b>
Zona 3										
Estación	Jn	Jr	RQD	Ja	Jw	SRF	RQD/Jn	Jr/Ja	Jw/SRF	Q
27	2	1.5	95.2	6	2	2.76	47.60	0.25	0.72	8.62
28	2	1	98.5	5	2.5	2.76	49.25	0.20	0.91	8.92
29	3	2	91.9	5	2	2.76	30.63	0.40	0.72	8.88
30	2	1	98.5	6	3	2.76	49.25	0.17	1.09	8.92
31	3	1	95.2	5	3	2.76	31.73	0.20	1.09	6.90
32	3	1	91.9	6	3	2.76	30.63	0.17	1.09	5.55
33	3	1	95.2	6	3	2.76	31.73	0.17	1.09	5.75
34	3	2	98.5	6	2	2.76	32.83	0.33	0.72	7.93
35	2	1.5	95.2	6	1.5	2.76	47.60	0.25	0.54	6.47
36	2	1	98.5	4	2	2.76	49.25	0.25	0.72	8.92
37	2	1.5	95.2	6	1.5	2.76	47.60	0.25	0.54	6.47
38	2	2	91.9	6	1.5	2.76	45.95	0.33	0.54	8.32
39	2	2	98.5	6	1.5	2.76	49.25	0.33	0.54	8.92
<b>Promedio</b>	<b>2.38</b>	<b>1.42</b>	<b>95.71</b>	<b>5.62</b>	<b>2.19</b>	<b>2.76</b>	<b>41.79</b>	<b>0.25</b>	<b>0.79</b>	<b>7.74</b>
<b>Q total</b>										<b>7.635445</b>

Fuente: Elaboración propia.



Las valoraciones del índice Q para cada zona en la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda se encuentra en el rango de 4 – 10, por ende el tipo de roca al que pertenece es de calidad media, como se muestra en el (cuadro 44).

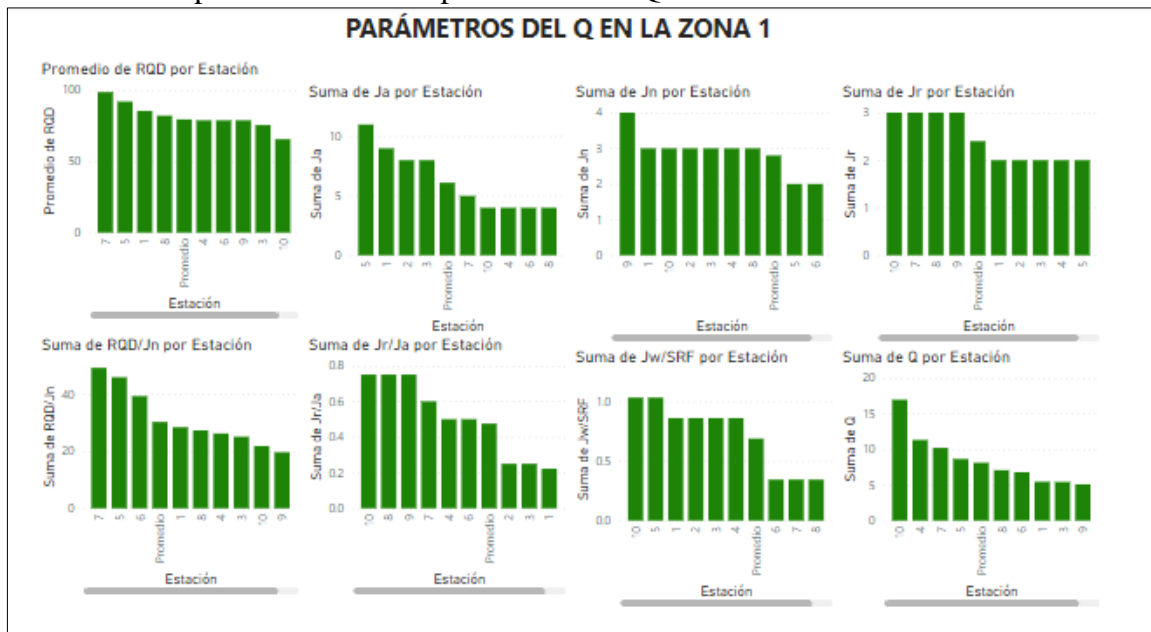
**Cuadro 44**  
Tipo de roca por zonas en la GL-0644S según el Q de Barton

TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala	0.001 - 0.01
Extremadamente mala	0.01 - 0.1
Muy mala	0.1 - 1
Mala	1 - 4
<b>Media</b>	<b>4 - 10</b>
Buena	10 - 40
Muy buena	40 - 100
Extremadamente buena	100 - 400
Excepcionalmente buena	400 - 1000

Fuente. (Barton, 2000).

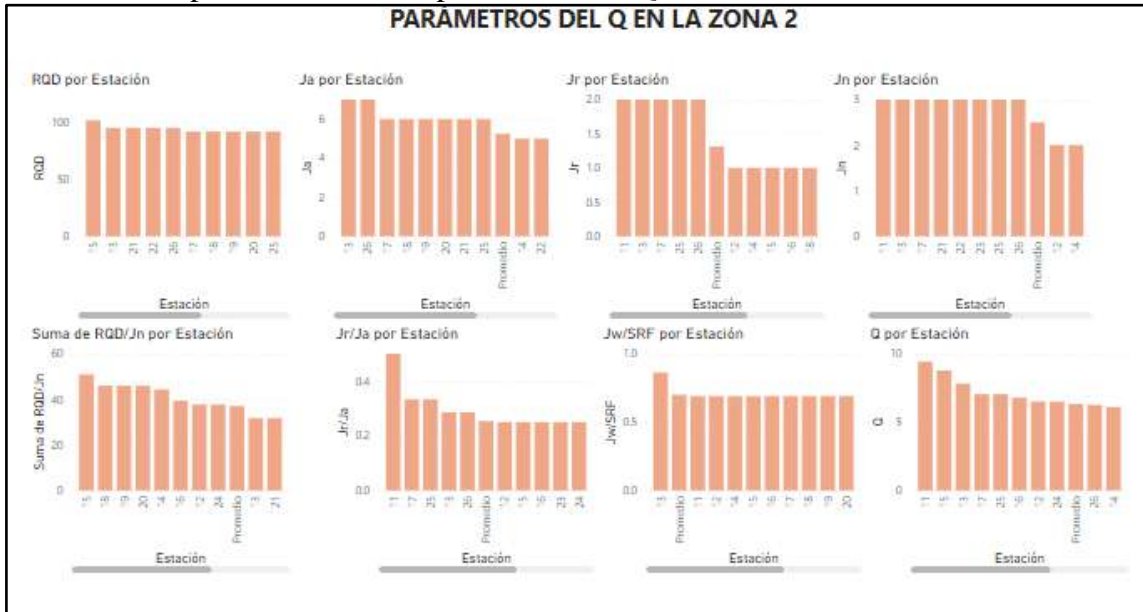
El comportamiento de los parámetros del índice Q de Barton por zonas se visualiza en las (figuras 62, 63 y 64).

**Figura 62**  
Comportamiento de los parámetros del Q en la zona 1 de la GL-0644S



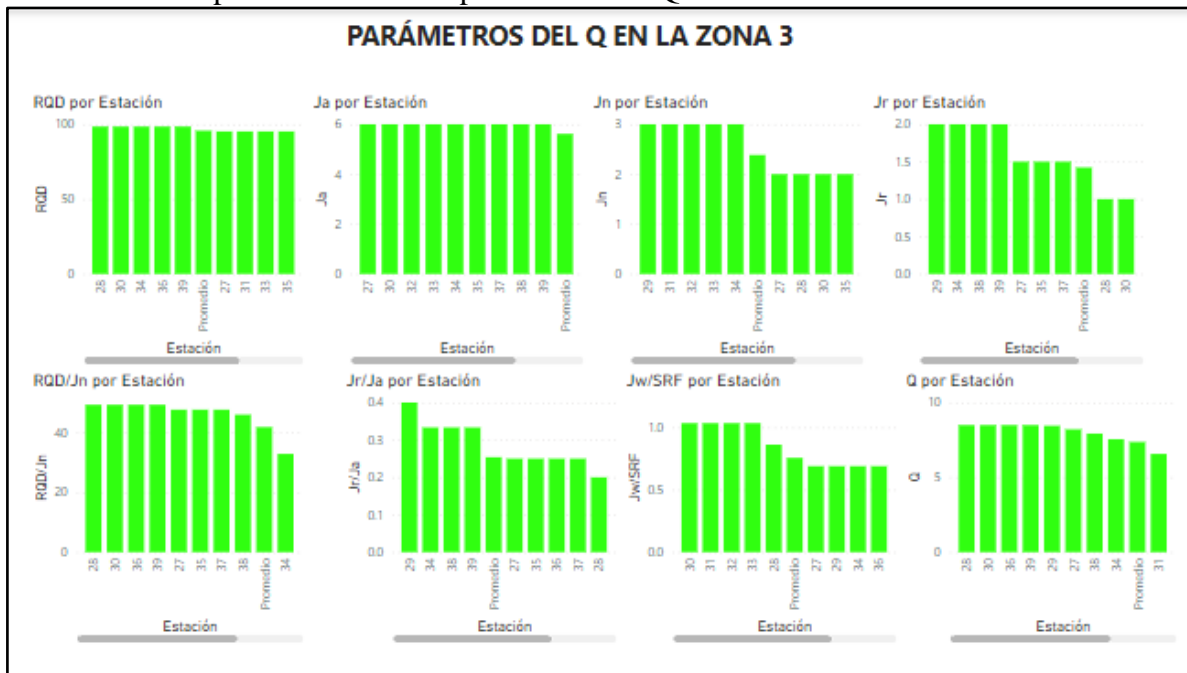
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 63**  
Comportamiento de los parámetros del Q en la zona 2 de la GL-0644S



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 64**  
Comportamiento de los parámetros del Q en la zona 3 de la GL-0644S



Fuente: Elaboración propia.



### 8.1.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS GEOLÓGICO, ESTRUCTURAL Y CINEMÁTICO

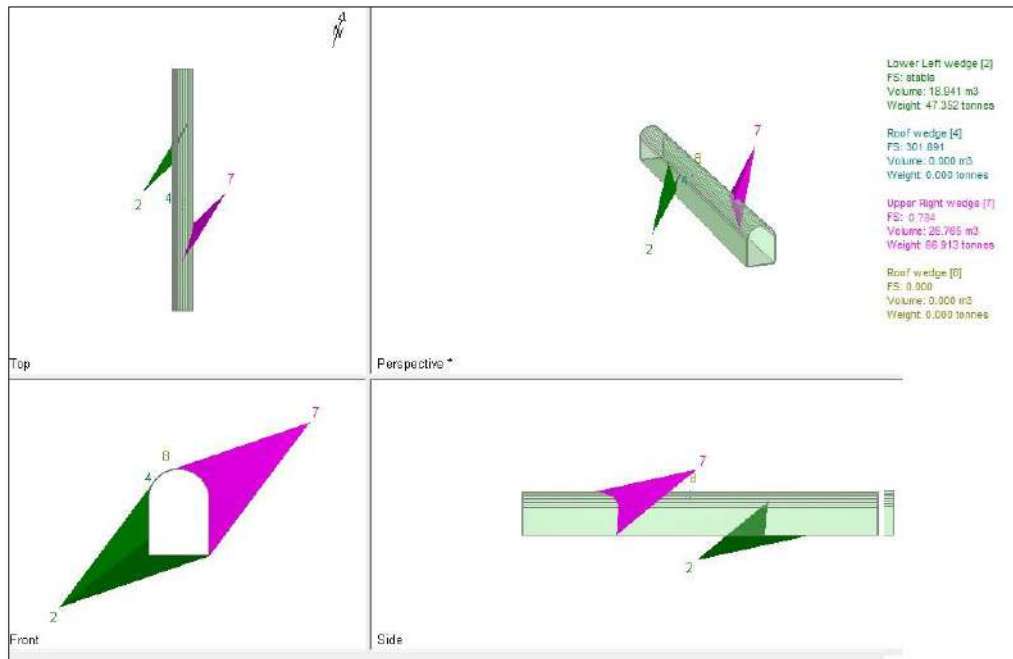
El proyecto Gioconda, geomorfológicamente está constituida por colinas y lomadas es decir la zona no es accidentada sin embargo regionalmente se encuentra en la cordillera occidental, zona de alta montaña evidentemente lo que favorece a contextualizar como una zona de carga litostática considerable y de acuerdo a su geología estructural y tectónica de zonas de cargas tensionales por esfuerzos horizontales controlado por estructuras geológicas y verticales considerando el “peso muerto” como consecuencia de la carga litostática de cabeza desde la GL-0644S de rocas metasedimentarias de caja piso y de caja techo de rocas volcánicas como tufos andesíticos- dacíticos.

El proyecto a nivel estructural y geotectónico presenta estructuras mayores en dirección del sistema andino, NW-SE y estructuras menores y locales en dirección anti-Andina, NE-SW con tendencia dextral es decir hacia el E-W como lo evidencian el ploteo de los sets en el diagrama de rosetas y ploteo de los polos mostrados en las (figuras 48 y 52) mediante un control estructural de direcciones favorables para la mineralización de vetas, veta-falla asociadas a tensionales, sets de discontinuidades y fallas regionales que favorecen el campo de carga tensional en dirección horizontal y el  $\sigma_3$  se torna como las tensiones de control por ende el escenario de las perturbaciones del macizo rocoso se revierten a los esfuerzos cortantes y/o horizontales.

La GL-0644S a nivel estructural y cinemático obtenido mediante el cartografiado geológico y geomecánico, ensayos de campo y laboratorio se determina que existe un control estructural por el dominio de estructuras geológicas e influencia de estructuras geomecánicas, de acuerdo al ploteo de polos, los sets presentan condiciones para desarrollar fallas planares y fallas flexurales de dimensiones considerables y capacidad de generar bloques en cuña de dimensiones menores en el techo, específicamente los sets de rumbo NW que presentan condicionamientos para desarrollar caída de rocas.

El índice GSI no aplica en este contexto debido a que la galería presenta un control estructural y se emplean valores puntuales sólo para los grados de fracturación en los datos de entrada al software libre RocData de GSI = 50 - 53 para los metasedimentos y GSI = 60 - 65 para los tufos andesíticos y el índice RQD son estimados a través de datos de afloramiento por ventanas geomecánicas.

**Figura 65**  
*Resultado del análisis de estabilidad de cuñas en la GL-0644S*



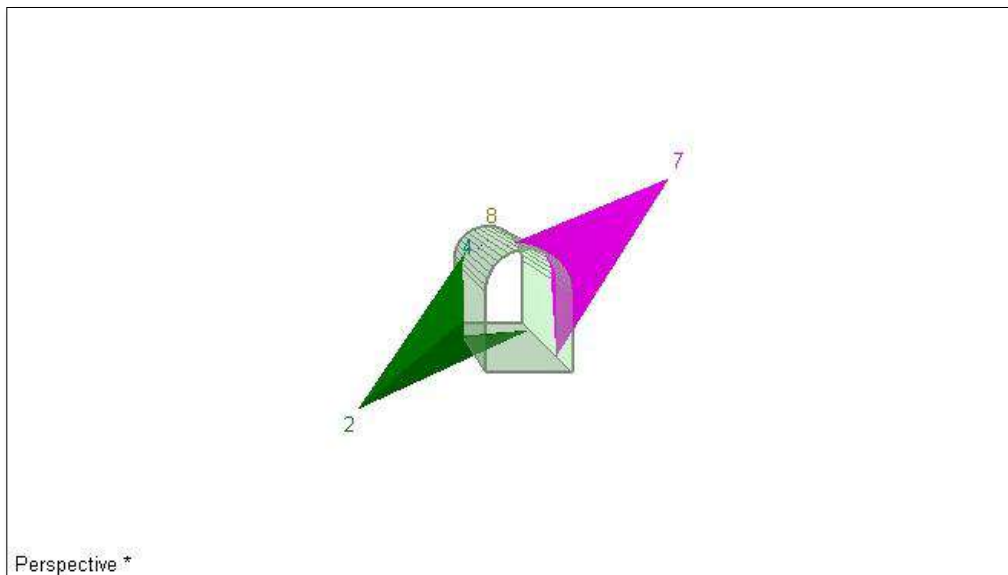
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de estabilidad de cuñas mostrado en la (figura 65) en diferentes vistas como superior, perspectiva, frontal y lateral con cuñas laterales de mayor dimensión (cuña 2 y 7) y del techo de menores dimensiones (4 y 8) donde cada cuña está asociada a un factor de seguridad (F.S) junto a sus volúmenes y pesos, identificándose:

La cuña 2 es estable, con un factor de seguridad (FS) mayor que 1, la cuña 4 también es estable, la cuña 7 tiene un FS de 0.784, lo que indica que es inestable y podría deslizarse ver (figura 63), la cuña 8 tiene un FS de 0, lo que indica que no tiene estabilidad estructural.

En cuanto a los volúmenes y pesos de las cuñas se tiene que la cuña 2, que es la cuña inferior izquierda, tiene un volumen de 18.941 m<sup>3</sup> y un peso de 47.352 toneladas, la cuña 7, en la parte superior derecha, tiene un volumen de 26.763 m<sup>3</sup> y un peso de 66.913 toneladas, es inestable con un F.S menor que 1, las cuñas 4 y 8 no tienen volumen ni peso significativo en el modelo, lo que puede indicar que estas áreas están libres de material o no contribuyen a la inestabilidad estructural sin embargo muestran susceptibilidad de caída de bloques sueltos que podrían ocasionar accidentes, las cuñas identificadas como inestables (con F.S < 1) requieren sostenimiento, ya que pueden representar un riesgo de colapso o deslizamiento.

**Figura 66**  
*Vista transversal de las cuñas por FEA en la GL-0644S*

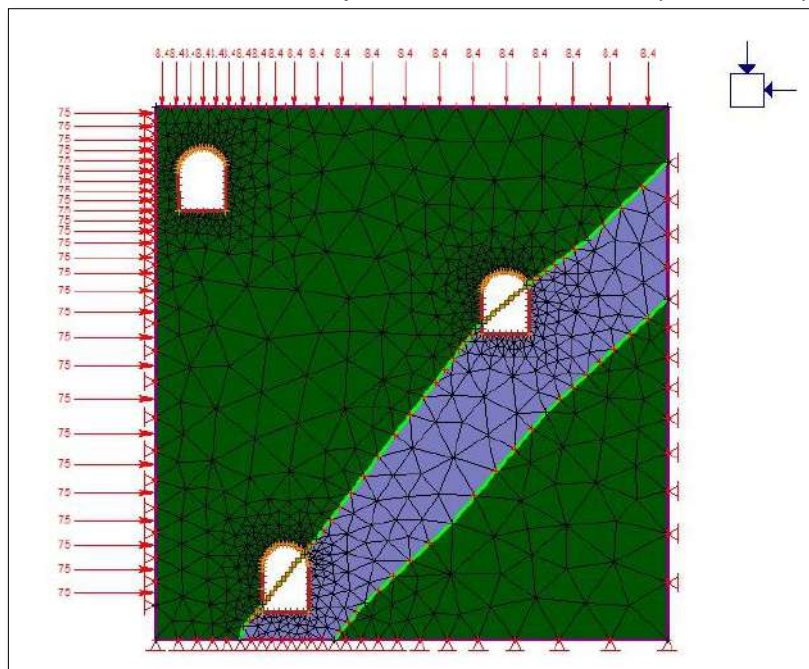


Fuente: Elaboración propia.

### 8.1.2. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA ROCA INTACTA Y EL MACIZO ROCOSO

El resultado del análisis de elementos finitos (FEA) con software libre del macizo rocoso en perfil de la GL-0644S relacionados con los niveles 1 y 2 muestra un escenario de cargas por esfuerzos verticales y horizontales ver (figura 67) en cada tipo de litología y se evidencia una malla más densa alrededor de las excavaciones y en la roca metasedimentaria, lo cual sugiere que se espera una mayor concentración de tensiones en esas áreas y la densidad de la malla es mayor donde los gradientes de tensiones son más altas presentándose como áreas de debilidad por concentración de esfuerzos y deformación crítica en las rocas clásticas y excavaciones. Las cargas aplicadas en los bordes son cargas de compresión y tracción. Esto es consistente con un análisis estructural donde se evalúa la respuesta del material a estas fuerzas.

**Figura 67**  
*Escenarios de concentración de esfuerzos en la GL-0644S y niveles 1 y 2*



Fuente: Elaboración propia.





Los parámetros geomecánicos de la roca intacta se han obtenido mediante datos de entrada alimentados al software libre RocData recopilados en campo y de ensayos de laboratorio como el ensayo de carga puntual para obtener la resistencia a compresión uniaxial de los bloques de roca intacta y ensayo de propiedades físicas para obtener la densidad y porosidad.

Los bloques de roca intacta de metasedimentos están constituidas con intercalaciones de lodolitas, hornfels y metacuarcitas que presentan grados de dureza tipo R5 catalogada como roca dura a muy dura y resistencias buenas de 138.81, 163.81 y 216.26 MPa respectivamente y una resistencia trabajable de 172.96MPa obtenido del promedio aritmético debido al menor rango de dispersión de los datos sueltos, porosidades (%) de 25.30, 10.0 y 0.42 respectivamente así como densidades de 2.71, 2.85 y 2.95 Kg/m<sup>3</sup> en contraposición a los bloques de tufo andesítico que presentan datos con mayor rango de dispersión y con el fin de no sesgar valores se considera el menor dato de 89.74 como trabajable respecto de 114.07 y 238.27 referente a la resistencia y con valores de porosidad(%) de 11.41, 10.20, 9.80 y densidad de 2.41, 2.55, 3.0 kg/m<sup>3</sup>; En el caso de los tufos andesíticos se cataloga como una roca dura a muy dura es decir que incluso son menos duras que los hornfels y metacuarcitas debido a que estas últimas antes de los procesos de silicificación posiblemente ya presentaban en su composición minerales cuarcíferos esto se evidencia en los resultados de la porosidad mayores y densidades menores de las rocas volcanosedimentarias.

Los parámetros del macizo rocoso global por litología se muestran en las figuras 28 y 29 donde las rocas metasedimentarias tienen la resistencia a tensión de -0.306, resistencia uniaxial a compresión de 13.913, resistencia global de 45.555, módulo de deformación de 13335.21 MPa y los tufos volcánicos se tiene una resistencia a tensión de -0.250, resistencia uniaxial a compresión de 10.163, resistencia global de 26.803 y módulo de deformación de 17844.03MPa; zona 1 RMR = IIIA y Q = 8.52, zona 2 un RMR = IVA y Q=6.65 y en la zona 3 un RMR = IIIB, Q= 7.74.



Algunos de estos parámetros se emplean para encontrar el SRF (factor de campo de la carga tensional):

$$\text{SRF} = \text{Log} [T/(\epsilon \times H)] \times \text{NC} \times \text{SC} \dots (1)$$

Donde:

T = edad del ultimo plegamiento principal que afectó al macizo rocoso (años).

$\epsilon$  = módulo de elasticidad de la roca matriz (GPa)

H = máxima carga litostática en su historia geológica (cabeza de la GL-0644S) en mts.

NC = coeficiente de actividad sismotectónica

SC = coeficiente de influencia topográfica.

entonces el factor de campo de carga tensional es el siguiente:

$$\text{SRF} = \text{Log} \frac{200 \times 10^6}{12.98 \times 2000} \times 0.25 \times 0.30 = 2.9378, \text{ entonces el } \text{SRF} = \mathbf{2.9378}$$

**SRF = 2.9378 (factor de campo de la carga tensional)**

Por lo tanto se tiene **que el SRF < 3.2** y el parámetro **k > 2**, **k = 3.7008**; se interpreta que estaríamos tratando con un valor muy alto de estado tensional, implicando un campo tensional de alta perturbación en la zona Gioconda.

Además, Las tensiones principales  $\sigma_v$  y  $\sigma_h$  ( $\sigma_3$  y  $\sigma_1$ ) in-situ, obteniéndose como resultado:

$$\sigma_v = \mathbf{8.415MPa}$$

$$\sigma_h = \mathbf{31.1429MPa}$$

No obstante, en algunas unidades mineras del Perú iteran 3 valores de k empíricamente lo utilizan en base a ensayos genéricos e informes no publicados que a continuación se interpretan:



**Para  $k=1$  el  $\sigma_h = 8.415\text{MPa}$** , este escenario es casi imposible que se presente debido a que si  $k=1$  entonces según la relación de Sheorey  $\sigma_h/\sigma_v = k$  solo se da en labores muy profundas donde las excavaciones tienden a la convergencia por un dominio netamente tensional y los esfuerzos tanto lateral como vertical de la excavación tienden a valores iguales.

**Para  $k=0.5$  el  $\sigma_h = 4.208\text{MPa}$** , este escenario podría ocurrir debido a que las labores poco profundas lo cumplen, sin embargo, el  $\sigma_h$  es menor que  $\sigma_v$  por ende no podría considerarse debido a que se estaría asumiendo un escenario contrario a la historia geológica intensa conocida.

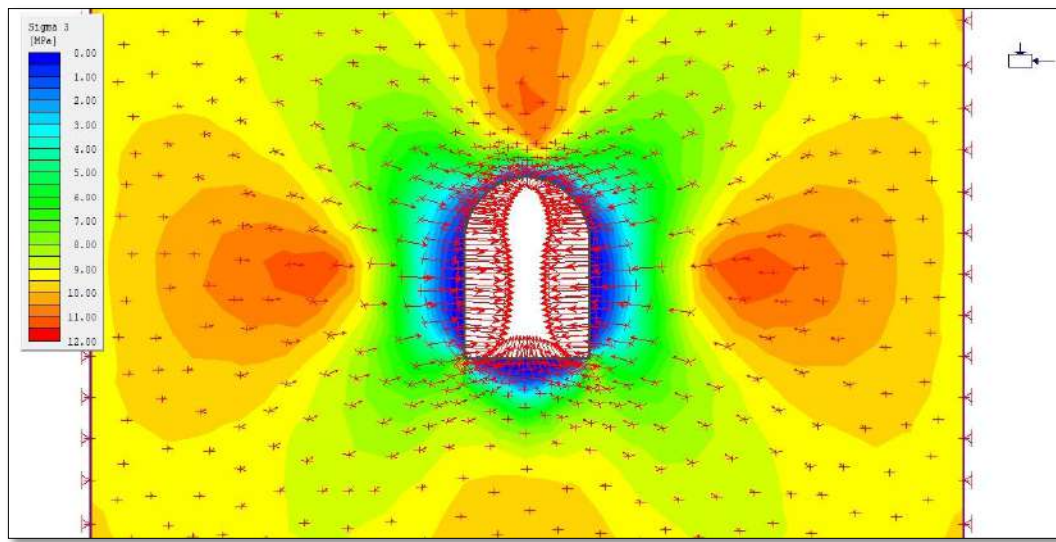
**Para  $k=1.5$  entonces el  $\sigma_h = 12.623\text{MPa}$** , este escenario es propio de labores poco profundas y además el  $\sigma_h$  es mayor que la  $\sigma_v$ .

En este contexto influenciado por la historia geológica del proyecto Gioconda descrito con la geología, geomorfología, geología estructural y geotectónica para el valor de  $\sigma_h$  se recomienda realizar estudios más específicos y validar este dato.

En el software Phase2 se visualizan las densidades de los esfuerzos en las zonas de perturbación medido por un F.S (Factor de seguridad) como se puede visualizar en la (figura 68).

### **Figura 68**

*Escenario del dominio de esfuerzos principales en la GL-0644S*



Fuente: Elaboración propia

El análisis de tensiones por elementos finitos muestra un escenario de la distribución de las tensiones principales sigma 3 y sigma 1 en MPa alrededor de la GL-0644S, indicando con los colores que van desde azul (bajas tensiones) hasta rojo (altas tensiones), traduciéndose en magnitudes de tensiones en diferentes direcciones tanto horizontales como verticales y experimentan una concentración de tensiones significativa, colores (naranja y rojo) alrededor de la galería que en un momento crítico se podrían generar fallos estructurales compresivos y de tracción si las tensiones exceden la capacidad del macizo.

La carga generada por los esfuerzos verticales, es la denominada “peso muerto” que podría crear condiciones inestables si esta estructura no se controla, la concentración de tensiones alrededor del centro podría indicar una zona de alta susceptibilidad a fallos, como agrietamiento o caída de rocas. El análisis sugiere que el diseño debe considerar refuerzos o modificaciones en la geometría para distribuir mejor las tensiones y reducir el riesgo de fallo.



### 8.1.3. ESTIMACIÓN DEL SOSTENIMIENTO

#### 8.1.3.1. ESTIMACIÓN DE SOSTENIMIENTO SEGÚN EL RMR89

El sistema de clasificación RMR relaciona la calidad del macizo rocoso con tipos de sostenimiento en túneles tal cual se observan en el (cuadro 45).

**Cuadro 45**  
*Sostenimiento en túneles según el índice RMR*

CLASE DE MACIZO ROCOSO	EXCAVACIÓN	PERNOS (20 mm DE DIÁMETRO) INYECTADOS.	SOPORTE CON CONCRETO ARMADO	COSTILLAS
I . Roca muy Buena, RMR: 81 - 100	A sección completa. 3 m de avance.	Generalmente no se requiere.		Ninguno
II . Roca Buena, RMR: 61 - 80	A sección completa 1-1.5 m de avance. Soporte completo a 20 m del frente.	Pernos en la corona de 3 m de longitud espaciados a 2.5 m malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III . Roca regular, RMR: 41 - 60	Frente superior y destroza, 1.5-3 m de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 m del frente.	Pernos sistemáticos, 4 m de longitud, espaciados 1.5-2 m en la corona y hastiales con malla en la corona.	50 – 100 mm en la corona y 30 mm por los lados	Ninguno
IV . Roca Pobre, RMR: 21 - 40	Frente superior y destroza, 1 – 1.5 m de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m del frente.	Pernos sistemáticos , 4- 5 m de longitud, espaciados 1 – 1.5 m en la corona y hastiales con malla.	100 – 150 mm en la corona y 30 mm por los lados	Costillas ligeras a medias espaciadas 1.5 m a donde se requiera.
V. Roca muy pobre RMR: < 20	Múltiples galerías 0.5-1.5 mts.de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos, 5-6 m de longitud, espaciados 1 – 1.5 m en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150- 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente	Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 m con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

Fuente: Traducido de Engineering Rock Mass Classifications (Bieniawski, 1989. p.62).



### 8.1.3.2. ESTIMACIÓN DE SOSTENIMIENTO SEGÚN EL ÍNDICE Q

El índice Q de Barton sugiere tipos de sostenimiento que se pueden determinar en conjunto con el valor resultante del índice RMR y sólo el Q de Barton ya que ambos se complementan, se emplean factores de sostenimiento como: la “Excavation Support Ratio” (ESR) mostrado en el (cuadro 46) que se entiende como un factor de uso final del túnel y la dimensión equivalente (De) (Hoek y Brown, 1985. p. 42). El factor ESR es aproximadamente análoga al inverso del factor de seguridad (F.S).

**Cuadro 46**  
*Valuación del ESR de Barton*

Excavation Support Ratio (ESR)		
CATEGORIA	TIPOS DE EXCAVACIÓN	ESR
<b>A</b>	Excavaciones mineras provisionales	3 - 5
<b>B</b>	Excavaciones mineras permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (excepto las cámaras de alta presión para compuertas), <u>túneles piloto (exploración)</u> , excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes	1.6
<b>C</b>	Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión, túneles auxiliares.	1.3
<b>D</b>	Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel	1.0
<b>E</b>	Estaciones nucleoeeléctricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas.	0.8

Fuente: (Hoek y Brown, 1985. p. 43).

La **dimensión equivalente (De)** es un factor cuantitativo de la excavación relacionado a la luz de la excavación.





$$De = \frac{\text{Ancho, diametro o altura de la excavación (m)}}{ESR}$$

En la GL-0644S la altura de la excavación es de 3.5m (Luz de la excavación) y el ESR= 1.6 por lo tanto la **De = 2.19m**.

La **longitud del perno (Lp)** se determina con a la siguiente relación:

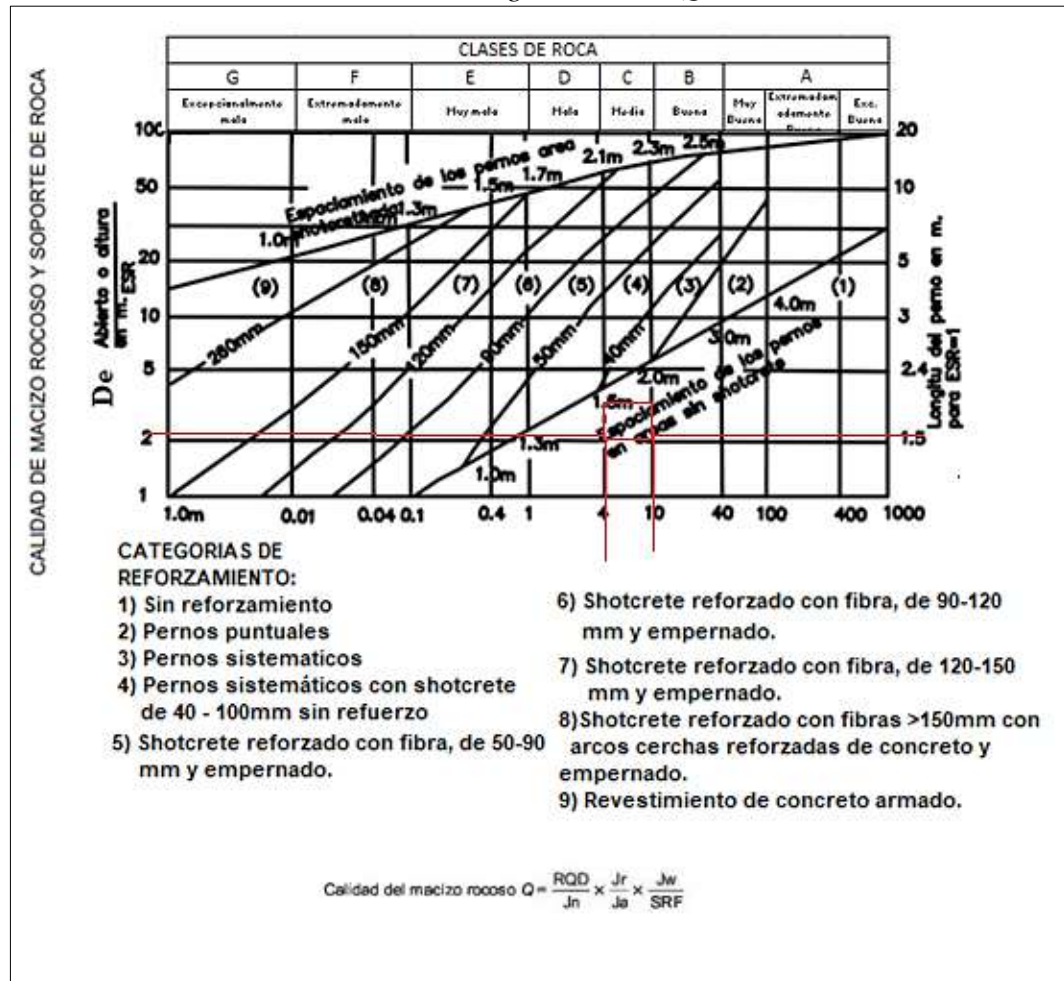
$$Lp = \frac{2 + 0.15B}{ESR}$$

Donde B = ancho de la excavación en metros, entonces de la relación se tiene que la

$$\mathbf{Lp = 1.58m (5 pies)}$$

Los tipos de sostenimiento que brinda el Q de Barton según la calidad del macizo se visualiza en la (figura 69).

**Figura 69**  
Sostenimientos según el índice Q



Fuente: (U.M. Nebraska, 2022)

Una manera de comprobar si este sostenimiento es el correcto, es verificando la relación del Q y el RMR sugerida por Bieniawski (1989) y se aplica cuando el macizo es de calidad buena a media; definida mediante la expresión:

$$RMR = 44 + 9\ln Q$$

$$RMR = 44 + 9(\ln 5.5)$$

$$RMR = 44 + 9(1.70)$$

$$RMR \sim 59.30$$



El **máximo claro sin sostener (p)** (longitud de pase) en metros, es igual a:

$$p = \text{ESR} \times \text{De}(\text{m}) \dots \dots \dots (\text{Hoek y Brown, 1985. p.43})$$

$$p = 3.5\text{m}$$

La **carga de roca sobre el techo (Pt)** (Vallejo et al., 2002. p.516) en KPa/cm<sup>2</sup> es igual a:

$$Pt = \frac{2\sqrt{Jn}}{3Jr^3\sqrt{Q}} \text{ (para macizos rocosos con } < 3 \text{ familias de diaclasas)}$$

$$Pt = \frac{2}{Jr^3\sqrt{Q}} \text{ (para macizos rocosos con } > 3 \text{ familias de diaclasas)}$$

Para valores promedios de  $Jn = 2.56$ ,  $Jr = 1.71$ ,  $Q = 7.20$  detallado en la (tabla 3) del capítulo de resultados.

$$Pt = 0.8327591 \text{KPa/cm}^2 = 0.000832759 \text{MPa/cm}^2.$$

La **carga de roca en hastiales (Ph)** (Vallejo et al., 2002. p.517) en KPa/cm<sup>2</sup> es igual a:

$$\text{Para } Q > 10, Ph = 5Q$$

$$\text{Para } 0.1 < Q < 10, Ph = 2.5Q$$

$$\text{Para } Q < 0.1, Ph = Q$$

$$Q = 7.20 \text{ entonces } Ph = 18 \text{KPa/cm}^2 = 0.018 \text{MPa/cm}^2.$$

La GL-0644S se zonifica en tres zonas con diferentes calidades de roca y condiciones estructurales como zona 1 de calidad regular - buena tipo IIIA, la zona 2 de calidad mala o tipo IVA y la zona 3 de calidad regular – mala o tipo IIIB, rocas con calidades regulares o medias se consideran medianamente inestable y rocas de mala calidad como inestables ver (cuadro 43) traduciéndose en un riesgo de labor de regular a alto, se precisa del Ábaco de Bieniawski, ver (figura 61) para los tiempos de auto-sostenimiento en labores de 3.5mx3.5m de sección que los macizos de calidad regular, el



stand-up time o tiempo máximo sin sostenimiento es de  $10^2$  a  $<10^3$  horas y tiempo de duración entre 1 día hasta  $<1$  semana y para macizos de calidad mala el tiempo máximo sin sostenimiento es de  $10^1$  hasta  $10^2$  horas y tiempo de duración un poco más de 1h hasta máximo antes de 1 día, es crucial no sólo el tiempo de duración del sostenimiento sino también el tiempo máximo para su instalación ya que posterior al plazo, el macizo se relaja y aun así se siga el procedimiento estandarizado de sostenimiento se podría comprometer la seguridad de la operación.

Según el RMR se tiene un macizo de calidad regular a mala que sugiere sostenimientos pernos sistemáticos de 4 a 5 metros de longitud, espaciados desde 1, 1.5 y 2 metros tanto en la corona como en los hastiales con malla, ver (cuadro 45) de los sostenimientos en túneles según el índice RMR.

En la GL-O644S, se tiene rocas masivas que ameritan un sostenimiento mixto y sistemático que se determina según el RMR, Q y una tabla geomecánica de otras unidades de la misma compañía ver (figura 70) por zonas: en la zona 1 de calidad IIIA se estiman con pernos de fricción del tipo “Split Set” de 7 pies espaciados de 1.5mx1.5m sistemáticos en forma de rombos con malla electrosoldada nro. 10, para la zona 2 de calidad IVA se estiman pernos expansivos tipo “Swellex” de 8 pies de longitud espaciados de 1.2mx1.5m reforzado con shotcrete de 2” de espesor y para la zona 3 de calidad de roca tipo IIIB espaciados de perno a perno en 0.85mx1.5m en forma de rombos con pernos de fricción tipo “Split Set” de 7 pies de longitud con malla electrosoldada nro. 10 con una permanente descarga inmediata de “bolsones” de bloques de roca y campaña de desate de rocas mensual.

**Figura 70**

*Tabla geomecánica de otras unidades mineras de Compañía*

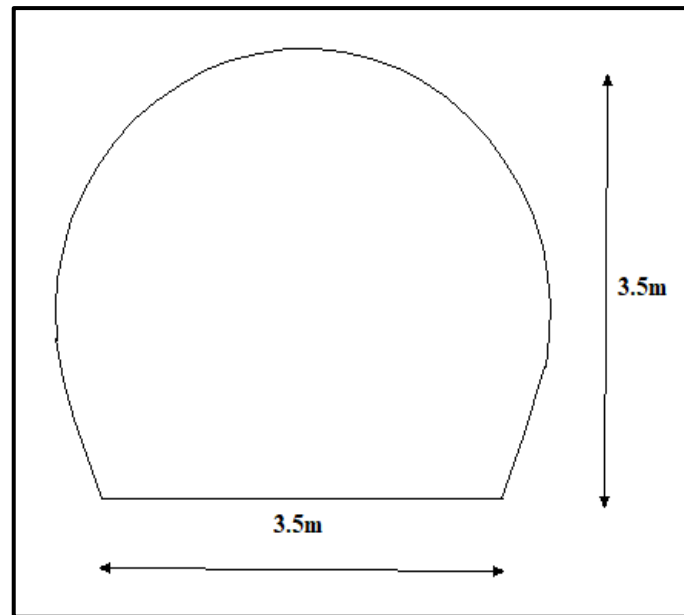
<b>TABLA GEOMECANICA RMR</b>					<b>TIPO DE SOSTENIMIENTO</b>	
<b>RIESGO DE ESTABILIDAD</b>	<b>CODIGO DE COLORES</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN CLASE DE ROCA</b>	<b>VALUACIÓN SEGÚN RMR</b>	<b>AVANCES (PREPARACIONES Y EXPLORACION Y DESARROLLO)</b>	
					<b>TEMPORALES &lt;= 1 año</b>	<b>PERMANENTES &gt;1 año</b>
<b>RIESGO BAJO</b>	Yellow	II A	BUENA A	71 - 80	Perno de fricción ocasional o puntual	Perno helicoidal ocasional o puntual
	Blue	II B	BUENA B	61 - 70	Perno de fricción espaciados a 1.75mx1.75m en forma de rombo	Perno helicoidal espaciados a 1.75mx1.75m en forma de rombo
<b>RIESGO MEDIO</b>	Green	III A	REGULAR A	51 - 60	Perno de fricción espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo	Perno helicoidal espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo
	Light Green	III B	REGULAR B	41 - 50	Perno de fricción espaciados a 1.50mx0.85m en forma de rombo mas malla electrosoldada	Perno helicoidal espaciados a 1.50mx0.85m en forma de rombo mas malla electrosoldada
<b>RIESGO ALTO</b>	Brown	IV A	POBRE A	31 - 40	Shotcrete de 2" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo	Shotcrete de 2" con fibra más perno cementados y/o resina a columna completa espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo
	Orange	IV B	POBRE B	21 - 30	Shotcrete de 3" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.25mx1.25m en forma de rombo	Shotcrete de 3" con fibra más perno cementados y/o resina a columna completa espaciados a 1.00m x 1.00m en forma de rombo
	Red	V	MUY POBRE	< 20	Shotcrete de 4" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.0mx1.0m en forma de rombo y/o cimbras de perfil H tipo 6W20	Shotcrete de 4" con fibra mas perno cementado y/o resina a columna completa espaciados a 1.0mx1.0m en forma de rombo y/o cimbras de perfil H tipo 6W20

Fuente: Cia. Minera Lincuna S.A.

La historia geológica del proyecto Gioconda da como resultado un  $\sigma_h$  mayor que  $\sigma_v$ , confirmándose hasta en dos veces que las tensiones horizontales son mayores que las tensiones verticales por lo tanto este resultado sugiere una forma de excavación en herradura o con los hastiales abiertos como se muestra en la (figura 71) para redistribuir las tensiones horizontales y brindar mejores condiciones de estabilidad estructural.

**Figura 71**

*Propuesta de excavación en forma de herradura para la GL-0644S*

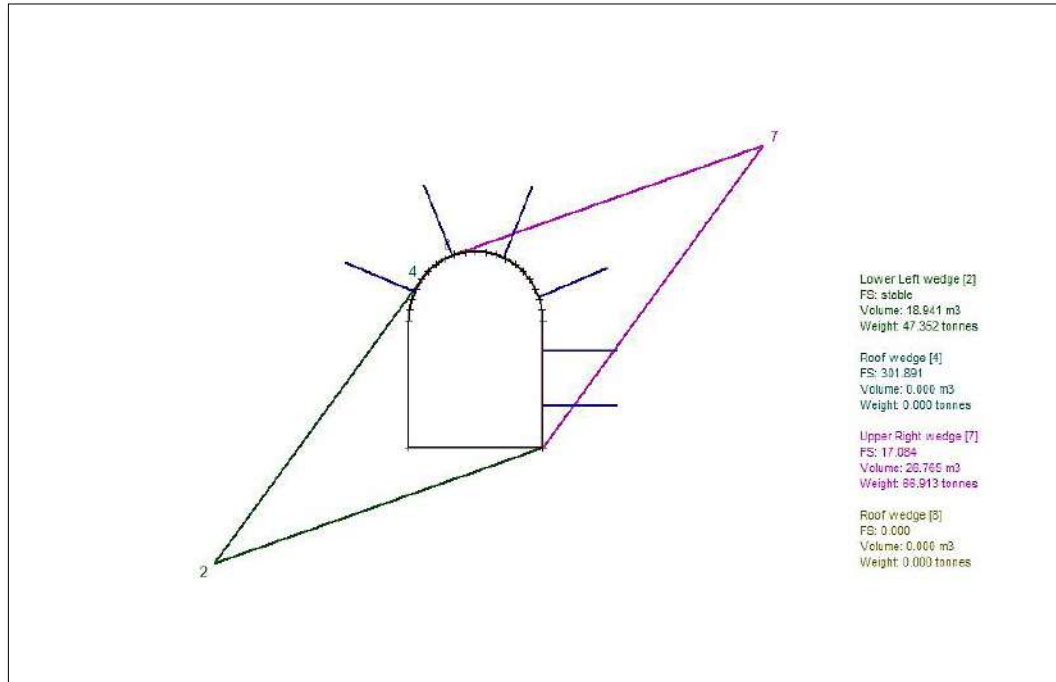


Fuente: Elaboración propia.

El sostenimiento en la GL-0644S debido a la presencia de la cuña 7 inestable y cuñas 4 y 5 que si bien es cierto no presenta un volumen y peso considerable podrian ocasionar accidentes por caida de bloques de roca, el sostenimiento abarca el techo y el hastial izquierdo de manera mixta como se visualiza en la (figura 72).



**Figura 72**  
*Sostenimiento del techo y HI en la GL-0644S*



Fuente: Elaboración propia.



#### **8.1.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Mediante este trabajo de tesis se han empleado técnicas geológicas y geomecánicas como el cartografiado geológico y geomecánico de los bloques de roca y el macizo rocoso por medio de la técnica de ventanas o celdas geomecánicas en afloramientos rocoso prescindiendo de la forma convencional de cores de recuperación con las clasificaciones del RMR y Q, ensayos de campo y laboratorio con lo cual se consiguen parámetros, índices y factores de valuación que han permitido la caracterización geomecánica y geológica por relaciones empíricas para su clasificación geomecánica del macizo rocoso jugando un papel muy importante la historia geológica de la zona de estudio y validada con modelos numéricos de números finitos (FEM) y análisis por elementos finitos (FEA) con software libre que procesan la data en distintos escenarios a través de los modelos geomecánicos.



## 8.2. DISCUSIÓN

### 8.2.1. Resumen de los hallazgos principales

En este estudio, se ha realizado una caracterización geológica de la roca intacta y geomecánica del macizo rocoso en la GL-0644S del nivel 3, utilizando técnicas de mapeo geomecánico y se aplican sistemas reconocidos como el RMR89 y el Q de Barton; Los resultados indican que el macizo rocoso de la GL-0644S se divide en tres zonas geomecánicas diferenciadas: zona 1, de calidad regular (IIIA); zona 2, de calidad mala (IVA); y zona 3, de calidad regular (IIIB).

### 8.2.2. Interpretación de resultados

La interpretación del  $SRF = 2.9378$  y  $k = 3.7008$  está relacionado con el estado tensional en el proyecto Gioconda catalogado como un complejo polimetálico, revelando lo siguiente de los resultados obtenidos:

**1.  $SRF < 3.2$ :** Según los criterios de aplicación del campo tensional  $SRF=2.9378$  indica que la condición tensional en este terreno es moderada a muy alto, en general un  $SRF > 2$  sugiere condiciones tensionales críticas evidentemente por el control estructural asociado a estructuras geológicas por perturbaciones significativas y condiciones de agua elevada.

**2.  $k > 2$  ( $k = 3.7008$ ):** El valor de  $k = 3.7008$  se refiere a la relación de esfuerzos horizontales a verticales del macizo, que indica el estado tensional in-situ implica una condición en la estabilidad y el diseño de las excavaciones donde un  $k > 1$  está dominado por esfuerzos horizontales muy probablemente por la acumulación de tensiones horizontales por efectos tectónicos y/o confinamiento lateral, lo que es coherente con la caracterización de la zona Gioconda, donde se observan un control estructural.



### **8.2.3. Comparación con estudios previos**

Los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos en los que se ha observado que las zonas con presencia moderada de agua y materiales más débiles, como los lodolíticos, tienden a presentar calificaciones geomecánicas más bajas y, por ende, mayores riesgos de inestabilidad. Sin embargo, se diferencia de otros estudios en cuanto a la evaluación del índice MRMR, donde este estudio observa un castigo significativo en la calidad de la roca debido a las condiciones locales particulares del proyecto, lo que resalta la necesidad de adaptaciones locales en la aplicación de estos índices.

### **8.2.4. Implicaciones prácticas**

La diferenciación clara de zonas geomecánicas dentro del nivel 3 de la GL-0644S tiene implicaciones directas para la planificación de las operaciones mineras y el diseño de sostenimientos. La zona 2, al ser la más crítica, requiere una atención especial, con el uso de soportes adicionales o el refuerzo de las técnicas de sostenimiento existentes donde el uso de pernos de fricción es más óptima para rocas de calidad regular (Hoek y Brown, 1985) y en rocas de mala calidad es óptimo el uso de pernos expansivos. Además, la clasificación detallada permite una optimización de los recursos, enfocando los esfuerzos en las áreas que presentan mayores desafíos para la estabilidad.

El hecho de que la zona Gioconda esté caracterizada como un complejo polimetálico con presencia de fallas, fallas-veta y vetas asociadas a tensiones durante el ciclo Hercínico refuerza la idea de que este es un ambiente geológicamente activo y perturbado. Las tensiones asociadas al plegamiento Hercínico pueden haber generado estas estructuras, lo que coincide con los altos valores de  $k$  observados.



### **8.2.5. Limitaciones del estudio**

Aunque este estudio proporciona una evaluación detallada del macizo rocoso en el nivel 3, es importante considerar que las condiciones pueden variar a mayores profundidades o en otras áreas de la mina; Algunas ventanas se registraron en rocas volcanosedimentarias, esto conlleva a considerar áreas más distales de la GL-0644S y otra metodología de “caracterización y otros sistemas en rocas volcánicas como la clasificación VRFSR” (Hernández y Santamarta, 2015), ya que los sistemas empleados en este trabajo de investigación funcionan para rocas sedimentarias, metasedimentarias y volcanosedimentarias.



## CONCLUSIONES

1. El macizo rocoso de la galería 0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda se caracteriza según el RMR como del tipo regular IIIA (zona 1), IIIB (zona 3) y mala IVA (zona 2) y según el Q de Barton de calidad media con valores de 8.11 en la zona 1,  $Q=7.36$  en la zona 3 y  $Q=6.33$  en la zona 2 con valores inferiores respecto al MRMR.
2. La descripción del contexto geomorfológico, geológico, geoestructural y geotectónico del macizo rocoso del proyecto Gioconda ha permitido comprender las condiciones de niveles de relieve caracterizadas por rocas metasedimentarias y volcanosedimentarias con discontinuidades geológicas y geomecánicas con una actividad tectónica significativa de nivel moderado con valor del SRF (factor de campo de la carga tensional) de 2.7617,  $k=3.7008$  y  $k=1.5$ , valores de las tensiones horizontales  $\sigma_h = 31.1429\text{MPa}$  y  $\sigma_h = 12.623\text{MPa}$  y vertical de  $\sigma_v = 8.415\text{MPa}$  que impactan en la estabilidad de la galería.
3. Mediante el análisis del comportamiento geológico, geoestructural y cinemático de las estructuras geológicas y geomecánicas del macizo en la GL-0644S, nivel 3 se ha mostrado que presentan un control estructural con alteraciones locales y un comportamiento cinemático que indican fallamientos planares, en cuñas y flexurales influenciados por movimientos mayores del sistema andino y menores del sistema anti-Andino.
4. Mediante el análisis de la caracterización geológica y geomecánica del macizo se determinó el control estructural de estructuras geológicas y geomecánicas que condicionan reducir el impacto de los esfuerzos laterales y flexurales que disgregan el macizo por fallas lineales y planares acompañado de confinamientos laterales en la GL-0644S, nivel 3 del proyecto Gioconda.





5. El sostenimiento estimado es de una excavación en forma de herradura y diseño del tipo “mixto” con pernos sistemáticos en forma de rombos por zonas: la zona 1 con pernos de fricción “Split Set” de 7 pies de longitud espaciados a 1.5mx1.5m con malla electrosoldada, la zona 2 con pernos expansivos “Swellex” de 8 pies de longitud espaciados a 1.2mx1.5m con shotcrete de 2” por vía seca, la zona 3 con pernos “Split set” de 7 pies espaciados en 0.85mx1.5m con malla electrosoldada.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos geomecánicos de laboratorio más específicos y cartografiado de exploración geológica más intensiva para estimar con mayor precisión la carga tensional y parámetros a la que está sometida el área de estudio.
2. Ampliar estudios adicionales en otros niveles o sectores de la mina para confirmar las ventajas del método de caracterización RMR-Q con las estrategias de sostenimiento de acuerdo a las condiciones geológicas y geomecánicas de cada zona.
3. Coordinar con el área de operación-mina para las campañas frecuentes de desate de rocas debido a la condición de anisotropía, relajamiento y caída de pequeños bloques de cuña del techo.
4. Tomar medidas de mejora continua sobre los pernos colgados, pernos en intersecciones de fisuras y pernos con grados de inclinación mayor de  $80^\circ$ .
5. Evaluar en reunión con el área de operación-mina sobre el diseño de excavación en forma de herradura y costo del reajuste del sostenimiento en la zona 2 con shotcrete.



## BIBLIOGRAFÍA

Ale Veliz, J.D, Huamán Egóavil, C., Tumialán de la cruz, P., (s.f.). Influencia de la alteración hidrotermal en la calidad del macizo rocoso.

Ávila Acosta, R.B. (1997). Introducción a la metodología de la investigación. Estudios y Ediciones R.A.

Berrocal Mallqui, M.A. (2015). Estabilidad de excavaciones subterráneas. Ventura Graf.

Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. Wiley Interscience Publication.

Bieniawski, Z.T. (2011). Errores en la aplicación de las clasificaciones geomecánicas y su corrección. Bieniawski Design Enterprises.

Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodríguez, R., Romero, D., Cerpa, L., Mamani, M., Diaz-Martínez\*, E., Navarro, P., Jaimes, F., Velarde, T., Lu, S., & Cueva, E. Dominios Geotectónicos y metalogénesis del Perú. (2009). Sociedad Geológica del Perú, Bol. Soc. Perú 103: 1-89 (2009) con ISSN 0079-1091.

Castro Dorado, A. (1989). PETROGRAFIA BASICA. Texturas, clasificación y nomenclatura de rocas. PARANINFO S.A.

Cobbing, J., Sánchez, F., Martínez, V., & Zárate, O. H. (1996). Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La unión, Chiquian y Yanahuanca; Hojas: 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j; del boletín N° 76 de la serie A.

Chacón Abad, N., Palacios Moncayo, O., Agapito Sánchez, F., Walther León, L., Canchaya, S., & Aranda, A., (1995). Geología del Perú, boletín N° 55 de la serie A.

García Córdova, F. (2005). La tesis y el trabajo de Tesis. Limusa Noriega Editores.

Gilsanz de Pedraza, J. et al (1996). GEOMORFOLOGÍA: Principios, métodos y aplicaciones. Editorial rueda.

González de Vallejo, L.I. et al. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación.

Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. Mc Graw Hill Education, 6ta Edición.

Hernández, L.E y Santamarta, J.C. (2015). Ingeniería Geológica en Terrenos Volcánicos Métodos, Técnicas y Experiencias en las Islas Canarias. Ilustre colegio oficial de Geólogos, 1ra Edición.



Hoek, E y Brown, E.T. (1985). Excavaciones subterráneas en roca. Litográfica Ingramex S.A. de México D.F. traducido de la 1ra Edición de Mc Graw Hill.

Hoek, E., Kaiser, P.K. y Bawden W.F. (1993). Support of underground excavations in hart rock. Mining Research Directorate and Universities Research Incentive Found.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (ISRM). (1977).

Jakubec, J. y Laubscher, D.H. (2000). The MRMR Rock Mass Rating Classification System in Mining Practice.

Jordá Bordehore, L. et al. (2016). Manual de estaciones geomecánicas. Gráficas Arias Montano S.A.

Laubscher, D.H. (1990). A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design, J.S. Afr. Inst. Min. Metall., vol. 90, no. 10. p. 257-273.

Murphy, W.L. (1985). Descripción Geotécnica de rocas y macizos rocosos. En el departamento de la Armada de USA.

NGI (2022). Using the Q – sytem, rock mass classification and support design. Allkopi AS.

Osinergmin (2017). Guía de criterios geomecanicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Inversiones IAKOB S.A.C.

Ramírez Oyangüren, P. et al. (1962). Mecánica de rocas aplicadas a la minería metálica subterránea. Instituto geológico y minero de España.

Rivera Mantilla, H. (2005). Geología General. Centro de ediciones de la UNMSM, 1ra Edición.

Sánchez, P. (2021). GEOLOGÍA ESTRUCTURAL, métodos modernos. Centro de ediciones de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Tabla geomecánica de U.M: Hércules, Caridad, Coturcan (2022). Cia Minera Lincuna S.A.

Tarback, E.J. & Lutgens, F.K. (2005). CIENCIAS DE LA TIERRA, una introducción a la geología física, 8va Edición. Pearson educación.

Tomás, R., Santamarta Cerezal, J.C., Cano, M., Hernández Gutiérrez, L.E., & García Barba, J. (2013). Ensayos geotécnicos de suelos y rocas, 1ra edición. Creative commons.



## WEBGRAFÍA

<https://convertlive.com/es/u/convertir/tonelada-fuerza/a/meganewtons#2.41>

<https://bibliotecas.unam.mx/index.php/desarrollo-de-habilidades-informativas/como-hacer-citas-y-referencias-en-formato-apa>

<https://dle.rae.es/diccionario>

<https://aprendizaje.uchile.cl/recursos-para-leer-escribir-y-hablar-en-la-universidad/profundiza/en-la-tesis/conclusiones/>

<https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG16-086.pdf>

[https://www.researchgate.net/profile/Javier-DePedraza/publication/235864020\\_Geomorfologia\\_Principios\\_Meto](https://www.researchgate.net/profile/Javier-DePedraza/publication/235864020_Geomorfologia_Principios_Meto)

<https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/P-447.pdf>

<https://hdl.handle.net/20.500.12544/199>

<https://www.saimm.co.za/Journal/v090n10p257.pdf>

<https://www.srk.com/en/publications/mrmr-rock-mass-rating-classification-system-in-miningpractice#:~:text=The%20classification%20system%20is%20not,part%20of%20the%20design%20process.>

<https://isrm.net/>

[https://www.world-stress-map.org/fileadmin/wsm/pdfs/Heidbach\\_et\\_al\\_2018\\_WSM\\_2016\\_Tectonophysics.pdf](https://www.world-stress-map.org/fileadmin/wsm/pdfs/Heidbach_et_al_2018_WSM_2016_Tectonophysics.pdf)

<https://www.redalyc.org/journal/1695/169555640004/html/>

<https://www.redalyc.org/journal/1695/169555640004/html/>

<https://www.dsiunderground.com/es/latam/productos/sistemas-de-anclaje/sistema-friction-bolt-dsi-underground.>

<https://americanasac.pe/producto/mallas-ciclonicas-de-acero-galvanizado-20-m-calibre-12-5-fiero/>

[\*\*https://pe.anuto.app/ad/mallas-electrosoldadas-de-acero-promine-peru.\*\*](https://pe.anuto.app/ad/mallas-electrosoldadas-de-acero-promine-peru.)



## APÉNDICE

### A. MAPEO GEOMECÁNICO EN SUPERFICIE

UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES		FORMATO VERSIÓN 001-U.M.N-2022 DE MAPEO GEOMECÁNICO RMR-Q											IPERC	CHECK-LIST	PETAR	ORDEN			
Coor. UTM		X:	Y:	Zona: 18S	Datum: WGS-84		Obs:												
Nº de discontinuidad	Tipo de discontinuidad	Dip (Dip, buzamiento)	Dip DR (Azimut, Dip direction)	OC	RQD estimado	Exposición (m)	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Presencia de Agua	Orientación de la discontinuidad	Alteración	Tipo de Roca	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	Foto	
							PERSISTENCIA IA (m)	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN								
				15 12 7 4 3	20 17 11 8 1	20 15 10 8 5	8 4 2 1 0	6 5 4 3 0	4 3 2 1 0	4 3 2 1 0	8 5 5 1 0	15 10 7 4 0	0 -2 -5 -10 -12						
1	D1	81 (SE)	N335	7	13	8	4	2	4	5	4	1	12	5		59	54		
2	D1	81 (SE)	N337	7	13	8	4	2	4	5	4	1	12	5		59	54		
3	D1	81 (SE)	N338	7	13	8	4	2	4	5	4	1	12	5		59	54		
4	D1	81 (SE)	N325	7	13	8	4	2	4	5	4	1	12	5		59	54		
5	D1	81 (SE)	N346	7	13	10	2	4	5	4	1	12	5		61	56			
6	D1	81 (SE)	N337	7	13	10	2	4	5	4	1	12	5		61	56			
7	D1	87 (SE)	N318	7	13	10	2	3	2	4	1	12	5		60	55			
8	D1	89 (SE)	N340	7	13	10	2	3	3	4	1	12	10		60	50			
9	D2	89 (NE)	N345	7	13	15	2	5	3	4	1	12	10		65	55			
10	D2	89 (NE)	N344	7	13	8	2	3	3	4	1	12	10		58	48			
11	D2	85 (NE)	N345	7	13	8	2	1	5	6	3	15	10		60	50			
12	S1	45 (SW)	N174	7	13	15	2	1	5	6	3	15	12		67	55			
13	S1	42 (SW)	N370	7	13	15	2	1	5	8	3	15	12		62	50			
14	S1	49 (SW)	N372	7	13	10	2	5	1	6	3	15	12		62	50			
15	S1	41 (SW)	N371	7	13	10	2	5	1	6	3	15	12		62	50			
16	S1	45 (SW)	N375	7	13	10	2	5	1	6	3	15	12		62	50			
17	S1	42 (SW)	N374	7	13	10	2	5	1	6	3	15	12		62	50			
Valores total					58.9												61.33	52.14	
RMR		CATEGORIA DESCRIPCION VALUACION															REGULAR A		
R		VALUACION															54.71		
Información		In = 3	Ir = 2	RQD = 58.9	Ja =	9	Jw = 2.5	SRF =	2.9378	4.33333333	0.22222222	0.851	Q	0.819459258					
GSI		Condición de estructura: condición superficial: VALUACION GSI																	

### B. MAPEO GEOMECÁNICO EN MINA

UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES		FORMATO VERSIÓN 001-U.M.N-2022 DE MAPEO GEOMECÁNICO RMR-Q											IPERC	CHECK-LIST	PETAR	ORDEN				
Coor. UTM		X:	Y:	Zona:	Datum:		Obs: III-VI													
Nº de discontinuidad	Tipo de discontinuidad	Dip (Dip, buzamiento)	Dip DR (Azimut, Dip direction)	OC	RQD estimado	Exposición (m)	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Presencia de Agua	Orientación de la discontinuidad	Alteración	Tipo de Roca	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	Foto		
							PERSISTENCIA IA (m)	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN									
				15 12 7 4 3	20 17 15 8 5	20 15 10 8 5	8 4 2 1 0	6 5 4 3 0	8 5 5 1 0	8 4 2 1 0	8 5 5 1 0	15 10 7 4 0	0 -2 -5 -10 -12							
1	D1	88 (SW)	N129	12	17	5	4	5	1	1	6	10	5		61.00	56.00				
2	D1	88 (SW)	N132	12	17	5	4	4	1	1	6	10	5		60.00	55.00				
3	D1	88 (SW)	N104	12	17	5	4	4	1	1	6	10	5		62.00	57.00				
4	D1	88 (SW)	N102	12	17	5	4	1	5	5	6	10	5		57.00	52.00				
5	D1	88 (SW)	N100	12	17	5	4	4	1	1	6	10	5		60.00	55.00				
6	D2	58 (NE)	N378	12	17	5	6	5	1	1	6	10	5		63.00	61.00				
7	D2	33 (NE)	N326	12	17	5	6	5	1	1	6	10	2		63.00	61.00				
8	D2	67 (NE)	N342	12	17	5	6	5	1	1	6	10	2		63.00	61.00				
9	S1	49 (SW)	N180	12	17	5	2	5	1	6	10	22		65.00	51.00					
10					85.3															
11																				
12																				
Valores total																	61.56	54.71		
RMR		CATEGORIA DESCRIPCION VALUACION															REGULAR A			
R		VALUACION															54.71			
Información		In = 9	Ir = 5	RQD = 85.3	Ja =	9	Jw = 2.5	SRF =	2.9378	4.33333333	0.22222222	0.8087882	Q	5.78951437						
GSI		Condición de estructura: VALUACION GSI																		





## ANEXOS

### A. ENSAYO DE CARGA PUNTUAL.



# DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA DE CARGA PUNTUAL DE LA ROCA

(Método de prueba estándar para la determinación del índice de resistencia de carga puntual de la roca y su aplicación a las clasificaciones de resistencia de la roca ASTM D5731-16)

---

PROYECTO: GIOCONDA

UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO	:	ANCASH
PROVINCIA	:	RECUAY
DISTRITO	:	RECUAY

SOLICITANTE: Javier Peralta A.