



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E

INGENIERÍA METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“COMPORTAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LAS ZONAS
DE ALTERACION HIDROTERMAL DEL PROYECTO CALATOS -
MOQUEGUA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

BACH. NELSON FREDY RIVERA LLANQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

**COMPORTAMIENTO DEL MACIZO ROCO
SO EN LAS ZONAS DE ALTERACION HID
ROTERMAL DEL PROYECTO CALATOS -
MOQUEGUA**

AUTOR

NELSON FREDY RIVERA LLANQUE

RECuento DE PALABRAS

38497 Words

RECuento DE CARACTERES

210909 Characters

RECuento DE PÁGINAS

114 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.6MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 19, 2023 6:39 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 19, 2023 6:41 AM GMT-5

● **8% de similitud general**

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

- 7% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)


Leonel Palomino Ascencio
Ascesar




Dr. Leonel Palomino Ascencio
Director (e) de la Unidad de Investigación
EPIG



DEDICATORIA

Primeramente, dar gracias al Dios todopoderoso por haberme guiado y cuidado, nunca me abandono y siempre estuvo en todos los momentos de mi vida.

A mis padres, Pedro Rivera y Barbara llanque, quienes me apoyaron incondicionalmente para lograr mí objetivo, gracias a ellos soy lo que soy y siempre les estaré agradecido por todo lo que me dieron.

Con mucho cariño para mi tía Ignacia Rivera, en cada momento me demostró su apoyo infinito, y también a mi abuelo Domingo Rivera, quien me protege y cuida desde el cielo, gracias por todo lo bueno que me diste.

A mi hermana Marisabel, que siempre estaba en las buenas y en las malas dándome su apoyo incondicional.

A mi Esposa Wilma Turpo, estabas en las buenas y en las malas dándome apoyo y cariño incondicional, siempre me animaste con palabras de aliento cuando más lo necesitaba para que yo siga adelante.

A mis hijos Pierina, Angeli y Yahir son la razón de mi vivir, quienes con su inocencia, alegría y ternura motivan mi vida para seguir adelante y gracias a ellos me supero cada día más y más.



AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento profundo a mi alma mater; UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO, por haberme dado la oportunidad de formarme un profesional competente y de buenos valores.

A la Facultad de Ingeniería Geológica, a los docentes quienes impartieron sus conocimientos y experiencia durante mi formación profesional.

Un agradecimiento desde el profundo de mi corazón al Director y Asesor M.Sc. Ing. Leonel Palomino Ascencio, por su orientación y apoyo en el desarrollo del presente estudio de investigación.

Mi agradecimiento a los miembros de jurado D. Sc Ernesto Samuel Machacca Hancco, M. Sc. Valentín Elías Fernández Valdivia y M. Sc. Roger Gonzales Aliaga por sus sugerencias en el transcurso de la elaboración del presente proyecto de investigación.

Un profundo agradecimiento al Ing. Enrique Vega, Ing. Carlos Miranda y Ing. Oscar Amorós por el apoyo incondicional que me brindaron durante la elaboración del presente proyecto de investigación.

Nelson Fredy Rivera Llanque



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	18
ABSTRACT	19
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.2.1 Problema General	23
1.2.2 Problemas específicos.....	23
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	23
1.4 HIPÓTESIS.....	24
1.4.1 Hipótesis general	24
1.4.2 Hipótesis específica	24
1.5 OBJETIVOS	24
1.5.1 Objetivo general	24
1.5.2 Objetivos específicos	25

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1	ANTECEDENTES.....	26
22	MARCO TEORICO.....	28
2.2.1	Geomorfología.....	28
2.2.2	Sistema de planicie costera.....	28
2.2.2.1	Planicie ondulada	29
2.2.2.2	Mantos de Arena	29
2.2.2.3	Valle	29
2.2.3	Cordillera de la costa	30
2.2.4	Pampas costaneras	30
2.2.5	Estribaciones de los andes occidentales	31
2.2.6	Altiplano	31
2.2.7	Cadena de conos volcánicos	31
2.2.8	Procesos geomorfológicos.....	32
2.2.8.1	Procesos endógenos.....	32
2.2.8.2	Procesos exógenos.....	32
2.2.9	LITOEstratigrafía.....	33
2.2.9.1	Grupo Toquepala.....	33
2.2.9.1.1	Deposito Coluvial (Q-col).....	37
2.2.9.1.2	Deposito Fluvial (Q-fl).....	37
2.2.9.1.3	Deposito Aluvial (Q-al).....	38
2.2.9.1.4	Rocas Intrusivas.....	38
2.2.9.1.5	Diorita – Granodiorita	38
2.2.9.1.6	Monzonitas y Dacitas	39
2.2.10	Geología Estructural Regional	40
2.2.10.1	Fallas	42



2.2.10.2 Pleguies	46
2.2.11 Perforación diamantina	47
2.2.11.1 Plataforma de perforación	47
2.2.11.2 Maquina perforadora	47
2.2.11.3 Tubos de perforación.....	48
2.2.11.4 Extracción de muestras de testigos.....	49
2.2.11.5 Manipulación de testigos.....	49
2.2.11.6 Registro de perforación	50
2.2.12 Logueo geomecánico	50
2.2.12.1 Recuperación de muestra.....	51
2.2.12.2 RQD (Rock Quality Designation)	51
2.2.12.3 Descripción de litología.....	52
2.2.12.4 Tipos de discontinuidades	52
2.2.12.4.1 Numero de familia de discontinuidades	53
2.2.13 Resistencia	54
2.2.14 Características de discontinuidades	59
2.2.15 Clasificación geomecánica.....	62
2.2.15.1 Sistema RMR	62
2.2.15.2 Sistema Q	63
2.2.15.3 Índice de resistencia geológica (GSI) (HOEK – BROWN)	65
2.2.16 Fluidos hidrotermales.....	66
2.2.16.1 Alteración hidrotermal.....	67
2.2.16.1.1 Alteración argilica	68
2.2.16.1.2 Alteración filica	68
2.2.16.1.3 Alteración propilica	69



2.2.16.1.4 Alteración potasica	70
2.2.16.1.5 Alteración silcificacion	71
2.2.17 Televiwer.....	71
2.2.17.1 Televiwer acústico	71
2.2.17.2 Televiwer óptico	72
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	72
2.3.1 Abertura	72
2.3.2 Andesita	73
2.3.3 Azimut.....	73
2.3.4 Buzamiento	73
2.3.5 Caracterización geomecánica.....	73
2.3.6 Clasificación del macizo rocoso	74
2.3.7 Diaclasas	74
2.3.8 Discontinuidad	74
2.3.9 Diorita	74
2.3.10 Ensayo de Carga puntual	75
2.3.11 Espaciado	75
2.3.12 Fractura	75
2.3.13 Logueo	75
2.3.14 Índice de calidad de roca, RQD	75
2.3.15 Orientación.....	76
2.3.16 Perforación.....	76
2.3.17 Relleno	76
2.3.18 Roca	76
2.3.19 Rugosidad.....	76



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	77
3.1.1	Tipo de investigación	77
3.2	POBLACION Y MUESTRA	77
3.2.1	Población	77
3.2.2	Muestra	77
3.3	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	78
3.3.1	Variable independiente	78
3.3.2	Variable dependiente	78
3.4	ETAPAS DE INVESTIGACIÓN	78
3.4.1	Recopilación de información.....	78
3.4.2	Trabajo en campo	79
3.4.3	Trabajo en gabinete	79
3.5	EQUIPOS DE CAMPO.....	80
3.6	INSTRUMENTOS	80
3.7	MATERIALES	80

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1	UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA.....	81
4.2	ACCESIBILIDAD	83
4.3	CLIMA Y TEMPERATURA	83
4.4	GEOLOGÍA LOCAL	83
4.4.1	Grupo Toquepala	84
4.4.2	Rocas intrusivas.....	84



4.4.2.1	Diorita.....	84
4.4.2.2	Pórfido dacítico	85
4.4.2.3	Pórfidos tardíos.....	86
4.4.2.4	Diatrema	86
4.4.2.5	Brecha Hidrotermal	87
4.5	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	87
4.6	ALTERACION HIDROTHERMAL	88
4.7	LOGUEO GEOTECNICO DE TESTIGOS DE PERFORACION	90
4.7.1	Lugar de logueo	90
4.7.2	Fotografía de testigos	91
4.8	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS – GEOLÓGICO.....	92
4.8.1	Caracterización Geológica - Geomecánica de la perforación DDH-01 ...	92
4.8.2	Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación DDH-02	95
4.8.3	Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación DDH-03	96
4.8.4	Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación DDH-04	98
4.8.5	Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación DDH-05	100
4.8.6	Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación DDH-06	102
4.9	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL	104
4.9.1	Equipo Carga Puntual.....	105
4.9.1.1	Procedimiento.....	105



4.9.1.2	Longitud para ensayos en HQ y NQ	106
4.9.1.3	Validación y Calidad del ensayo	107
4.10	TELEVIEWER	108
4.10.1	Televiwer óptico	108
4.10.2	Televiwer acústico	109
4.10.3	Clasificación de estructuras	110
CAPÍTULO V		
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		
5.1	ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y GEOLÓGICA	111
5.1.1	Análisis Geomecánica y geológica del sondaje DDH-01	111
5.1.2	Análisis geomecánica y geológica del sondaje DDH-02	114
5.1.3	Análisis geomecánica y geológica DEL sondaje DDH-03.....	118
5.1.4	Análisis geomecánica y geológica DEL sondaje DDH-04.....	122
5.1.5	Análisis geomecánica y geológica del sondaje DDH-05	125
5.1.6	Analisis geomecanica y geologica del sondaje DDH-06	128
5.2	CARACTERIZACION GEOMECANICA CON RESPECTO A LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES	132
VI.	CONCLUSIONES.....	136
VII.	RECOMENDACIONES	137
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
ANEXOS.....		142

Área:

Tema:

Fecha de Sustentación:



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Columna litoestratigráfica de los cuadrángulos de Moquegua	40
Figura 02: Mapa geológico regional de la zona de estudio	46
Figura 03: Procedimiento de medición y cálculo del RQD (ligeramente modificado después de Deere, 1989).....	51
Figura 04: Determinación de la resistencia a la compresión simple a partir de los datos obtenidos con el martillo de Schmidt.....	57
Figura 05: Perfiles de rugosidad y los valores de JRC que corresponden (después Barton y choubey 1977)	60
Figura 06: GSI (Hoek, Marinos 2000).....	66
Figura 07: Regularización de las cajas de testigos de perforación, en in situ.....	79
Figura 08: Área de ubicación de sondajes	82
Figura 09: Grupo Toquepala – Riolita.....	84
Figura 10: Roca diorita, a una profundidad de 706m.	85
Figura 11: Roca diorita, a una profundidad de 706m.	85
Figura 12: Pórfido dacítico, con venillas de cuarzo, con una alteración potásica.	86
Figura 13: Pórfido tardío, afectado por alteración propílica.....	86
Figura 14: Diatrema, compuesto por diferentes clastos de roca.	87
Figura 15: A. Brechas de anhidrita (foto real). B. brecha de anhidrita de color violáceo, procesada para ver el porcentaje de anhedrita.....	87
Figura 16: Imagen satelital del yacimiento los calatos, se observa la zona lixiviada. .	88
Figura 17: Alteracion clorita – sericita.	89
Figura 18: Alteración propílica, con ensamble típico de clorita, epidota, calcita y piritita.	90



Figura 19: Testigos extraídos, puestas en caja.....	91
Figura 19: Testigos de perforación diamantina, que muestra un bajo de índice de calidad de RQD.	92
Figura 21: Comparación RQD vs FF del DDH 1	94
Figura 22: Testigos de perforación diamantina del sondaje DDH 02.....	95
Figura 23: Contacto entre la andesita y la diorita a una profundidad de 6.9metros. ...	97
Figura 24: Testigos de perforación; Zonas de falla, tramos agilizados y de alteración propílica.....	99
Figura 25: Testigo de perforación diamantina en el sondeo DDH-05, corresponde a una a un pórfido dacítico con alteración filica.	101
Figura 26: Testigos de perforación diamantina DDH-06; se aprecia el contacto entre la andesita del grupo Toquepala y la diorita, las fracturas se encuentran alteradas (relleno de óxidos).	104
Figura 27: Equipo de carga puntual.....	105
Figura 28: Formato para el ensayo de carga puntual-diametral.....	106
Figura 29: Imágenes obtenidas a través de televiewer óptico.	108
Figura 30: Imágenes obtenidas a través de televiewer acústico.	109
Figura 31: Diagrama de dispersión de la concentración de polos, tomados a través de la prueba de televiewers.	113
Figura 32: Proyección estereográfica de los principales dominios; de sistemas de discontinuidades que son notorios en el sondaje.....	114
Figura 33: Diagrama de dispersión DDH 2	117
Figura 34: Testigos de perforación diamantina del sondaje DDH 2.....	117
Figura 35: Diagrama de planos dominantes	118
Figura 36: Contacto entre la andesita y la diorita a una profundidad de 6.9metros. ...	119



Figura 37:	Diagrama de dispersión de las discontinuidades en el sondaje DDH-03.	121
Figura 38:	Diagrama de planos mayores, dominantes que se encuentran en el sondaje DDH-03.....	121
Figura 39:	Testigos de perforación; Zonas de falla, tramos aguilizados y de alteración propílica.....	122
Figura 40:	Diagrama de dispersión de la concentración de los polos, se tiene dos sistemas principales y un aleatorio.....	124
Figura 41:	Diagrama de planos mayores en el sondeo de perforación diamantina DDH-04. Se aprecia las discontinuidades predominantes.	124
Figura 42:	Testigo de perforación diamantina en el sondeo DDH-05, corresponde a una a un pórfido dacítico con alteración filica.	126
Figura 43:	Diagrama de dispersión de la concentración de polos en los testigos de diamantina del sondaje DDH – 05.	127
Figura 44:	Diagrama de planos mayores de la concentración de polos de los cores del sondaje DDH-05.....	127
Figura 45:	Testigos de perforación diamantina DDH-06.	129
Figura 46:	Diagrama de dispersión de la concentración de los polos del sondaje DDH-06.....	131
Figura 47:	Diagrama de planos mayores de la concentración de polos en sondeo DDH-06.....	131
Figura 48:	Sondajes perforados en planta.....	133
Figura 49:	Sondajes perforados en perfil, sección E.	133
Figura 50:	Sección E.....	134
Figura 51:	Sondajes perforados en perfil, sección S.....	134
Figura 52:	Sección S.....	135



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Índice de calidad de roca	52
Tabla 02: Clasificación de macizos rocosos por el número de familias de discontinuidades.	54
Tabla 03: Criterios para la Estimación de la Resistencia del Material.	58
Tabla 04: Interpretación de los valores de RMR, (Bieniawski, 1989).....	63
Tabla 05: Interpretación del índice Q (Barton, 1974).....	64
Tabla 06: Área de estudio.	81
Tabla 07: Vías de acceso al área del proyecto.	83
Tabla 08: Parámetros geomecánicas del sondaje DDH-01	93
Tabla 09: Parámetros geomecánicas del sondaje DDH-02.....	95
Tabla 10: Evaluación geomecánica del sondaje DDH-03	97
Tabla 11: Características geológico y geomecánica de la perforación diamantina del sondaje DDH - 04	99
Tabla 12: Logueo geotécnico de los cores del sondaje DDH-06.....	101
Tabla 13: Evaluación geológica y geomecánica de perforación diamantina de DDH-06	103
Tabla 14: Análisis de los resultados de ensayo de carga puntual	107
Tabla 15: Resultados obtenidos a través de las imágenes.....	108
Tabla 16: Resultados obtenidos a través de las imágenes.....	110
Tabla 17: Clasificación de estructuras	110
Tabla 18: Resultados obtenidos de RMR, Q y GSI.	112
Tabla 19: Sistema de discontinuidades del DDH 1.....	114
Tabla 20: Clasificación Geomecánica del macizo rocoso DDH 02.....	116
Tabla 21: Sistema de discontinuidades del DDH 2.....	118
Tabla 22: Clasificación del macizo rocoso del sondaje DDH-03	120
Tabla 23: Sistema de discontinuidades de DDH 3.....	121
Tabla 24: Clasificación el macizo rocoso del sondaje DDH-04	123



Tabla 25:	Sistema de discontinuidades de DDH 4.....	124
Tabla 26:	Caracterización Geomecánica del sondaje DDH-05.....	126
Tabla 27:	Sistema de discontinuidades del sondaje DDH 5	128
Tabla 28:	Caracterización geomecánica del sondaje DDH-06	130
Tabla 29:	Sistema de discontinuidades del DDH 06.....	132



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Ca	: Calcita
Cm	: Centímetro
CPY	: Calcopirita
Cu	: Cobre
DDH	: Diamond Drill Hole
DI	: Diorita
DIA	: Diatrema
E	: Este
Fe	: Hierro
FF	: Frecuencia de fracturas
Fm.	: Formación
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
Gr.	: Grupo
INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
Jn	: Parámetro basado en el número de familias de discontinuidades.
Jr	: Parámetro basado en la rugosidad de las discontinuidades.
Ja	: Parámetro basado en la alteración de las discontinuidades.
Jw	: Parámetro basado en la presencia de agua.
km	: Kilómetro
LAP	: Pórfido tardío
N	: Norte
NE	: Noreste
m	: Metro
mm	: Milímetro
m s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
Ma	: Millones de años



Mo	: Molibdeno
MZ	: Monzonita
MPA	: Mega pascales
NE	: Noreste
NO	: Noroeste
OSINERGMIN	: Organismo supervisor de la inversión en energía y minería
PDA	: Pórfido dacítico
PY	: Pirita
PLT	: Ensayo de carga puntual
Qz	: Cuarzo
RQD	: Rock Quality Designation
RMR	: Rock Mass Rating
S	: Sur
SO	: Suroeste
SSD	: Solid State Detector
SRF	: Factor de reducción de esfuerzos
TOG	: Toquepala
µm	: Micras
UCS	: Esfuerzo a compresión axial
W	: Oeste
Zn	: Zinc



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se encuentra ubicado en el Distrito de Torata, Provincia Mariscal Nieto, en el Departamento de Moquegua; tiene como finalidad, determinar los comportamientos del macizo rocoso, en zonas de alteración hidrotermal del proyecto Calatos – Moquegua. El proyecto es un yacimiento de tipo pórfido de Cu-Mo, en la zona de estudio afloran unidades desde Cretaceo superior al Neogeno. Las unidades aflorantes corresponden a la andesita, traquiandesitas y riolitas correspondiente al grupo Toquepala, la mayor parte de estas unidades se encuentra afectada por cuerpos intrusivos, y finalmente culmina con los materiales recientes de los depósitos semiconsolidados a consolidados, como coluviales y aluviales. Se determinaron las características y parámetros geomecánicas del macizo rocoso de cada sondaje mediante el logueo geotécnico, logueo geológico, televiwer y ensayo de carga puntual; obteniendo como resultados: en zonas de alteración filica el RQD llega hasta 90% con RMR de 57, correspondiente a Tipo III. La alteración argílica posee RQD menores a 25% con RMR de 40, Tipo IV. En cambio, las zonas de alteración propílica presentan un RQD hasta 100% con resistencia de 155 Mpa, correspondiente a RMR = 61, de Tipo II y finalmente se aprecia pequeñas zonas de alteración clorita sericita con RMR de 50 - III a 65 – II correspondiente a Tipo regular a buena respectivamente. Las litologías que se encontraron en los sondajes es la diorita, porfido dacítico, monzonita, porfido andesítico tardío y la diatrema; afectadas por las alteraciones hidrotermales típicas de un yacimiento tipo pórfido. En la parte superficial se aprecia alteración argílica de baja resistencia, a más profundidad se encuentra la alteración filica, y como la transición entre potásica y filica se encuentra la alteración clorita sericita y finalmente en la parte distal esta la alteración propilítica. Las alteraciones mencionadas se comportan de una manera diferente y están sujetos a diferentes procesos de deformación.

Palabras Clave: Alteración Hidrotermales, Estudio geológico, Estructuras mineralizadas, Logueo Geológico, Logueo Geomecánica, Macizo Rcoso.



ABSTRACT

This research work is located in the Torata District, Mariscal Nieto Province, in the Department of Moquegua; Its purpose is to determine the behavior of the rock mass, in areas of hydrothermal alteration of the Calatos – Moquegua project. The project is a Cu-Mo porphyry type deposit, in the study area units from the Upper Cretaceous to the Neogene emerge. The outcropping units correspond to the andesite, trachyandesites and rhyolites corresponding to the Toquepala group, most of these units are affected by intrusive bodies, and finally culminate with the recent materials of the semi-consolidated to consolidated deposits, such as colluvial and alluvial deposits. The characteristics and geomechanical parameters of the rock mass of each borehole were determined through geotechnical logging, geological logging, televiwer and point load testing; obtaining as results: in areas of phyllic alteration the RQD reaches up to 90% with RMR of 57, corresponding to Type III. The argillic alteration has RQD less than 25% with RMR of 40, Type IV. On the other hand, the zones of propyl alteration present a RQD up to 100% with resistance of 155 Mpa, corresponding to RMR = 61, Type II and finally small zones of chlorite sericite alteration are seen with RMR of 50 - III to 65 - II corresponding a Fair type to good respectively. The lithologies that were found in the drillings are diorite, dacitic porphyry, monzonite, late andesitic porphyry and diatrema; affected by the hydrothermal alterations typical of a porphyry-type reservoir. In the superficial part, low resistance argillic alteration is seen, at a deeper level the phyllic alteration is found, and as the transition between potassic and phyllic, the chlorite sericite alteration is found and finally in the distal part is the propylitic alteration. The aforementioned alterations behave in a different way and are subject to different deformation processes.

Keywords: Hydrothermal Alteration, Geological Study, Mineralized Structures, Geological Logging, Geomechanical Logging, Rock Massif.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente en nuestro país la industria minera constituye una de las principales ramas de la economía, que estimula el desarrollo de la industria, asegurando el abastecimiento de las principales materias primas e influye directamente en el desarrollo económico y social del país.

Ale Véliz (2012, p. 32) menciona que: “La alteración de la roca en la clasificación RMR tiene un efecto en los parámetros correspondientes a la dureza de la roca intacta y la condición de la discontinuidad”. En tanto que la clasificación del Sistema Q, por su parte: considera la alteración de la roca dentro del factor de reducción por alteración Ja (índice que indica la alteración de las discontinuidades) de una manera directa. Indirectamente la alteración de la roca afecta a la clasificación del macizo rocoso en este sistema, en el parámetro de reducción de esfuerzos, ya que la resistencia a la compresión y a la tracción uniaxial de la roca se ve afectada bajo la influencia de la alteración.

Betancur & López, (2019, p. 52) menciona que: “la alteración en las zonas mineralizadas es mayor, ya que los fluidos hidrotermales afectan de manera directa al cuerpo de veta. Encima, los procesos ambientales, como el agua meteórica infiltrada por la mayor porosidad secundaria, aumentan la alteración del macizo rocoso. Estas alteraciones se traducen en la disminución de la resistencia de la roca intacta, de la cohesión y fricción entre discontinuidades y la deformabilidad de la roca. Los datos tomados arrojan en su mayoría alteraciones de altamente meteorizada a ligeramente meteorizada. Siendo, las estructuras principales las afectadas por una meteorización alta, lo que significa alta permeabilidad y una resistencia baja, en términos generales.



Teran Ulloa, (2020, p. 117) menciona que la “tendencia de la resistencia es de menor a mayor con respecto a los tipos de alteración hidrotermal analizados es Argílica, Fílica, Skarn, Potásica, Propilítica y Silicificación, asimismo también menciona que una roca del mismo tipo de litología sin ningún proceso de alteración (inalterada) presenta una disminución de la resistencia con alteraciones Argílica, Fílica, Skarn y Potásica. Por otro lado, se evidencia un aumento en la resistencia para las alteraciones propilítica y silicificación”.

Herrera Carranza, (2016, p. 134) indica que “la calidad del macizo rocoso difiere por cada tipo de alteración hidrotermal, a mayor valor RMR mayor es el factor de seguridad; en la zona de óxidos la alteración SC es la que presenta los valores menores (47) de RMR mientras que la alteración SA presenta los valores mayores (56) de RMR; en la zona de sulfuros se observa que la alteración CP es la que presenta los valores menores (40) de RMR mientras que la alteración SM presenta los valores mayores (61) de RMR.”

Lowell y Guilbert (1970) y Hoek y Karzulovic (2000) demostraron “la influencia de las alteraciones hidrotermales en las propiedades geomecánicas de las rocas, tales como la variabilidad de la constante en función a la resistencia a la compresión simple de la roca intacta para cada tipo de alteraciones hidrotermales”.

Cada descripción de los aspectos geológicos y geotécnicos se establece de acuerdo a la litología, mineralización, alteración, fracturas, estructura tectónica, etc.; posteriormente, se describe de forma puntual los parámetros geomecánicas del macizo rocoso y sus propiedades; finalmente, a partir de los datos obtenidos, se clasifica el macizo rocoso mediante criterios de RMR, Q y GSI.



1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las alteraciones hidrotermales son primordiales para la mineralización de un yacimiento, pero involucran cambios mineralógicos, físicos y químicos resultados de la interacción de fluidos de agua caliente con las rocas, creando macizos rocosos competentes y zonas desfavorables.

Actualmente el proyecto Calatos se encuentra en etapa de exploración, pero con el pasar del tiempo entraran a una etapa de explotación, donde se requerirá diseñar diferentes estructuras de ingeniería para la extracción del mineral, tales como; apertura de taludes, carreteras, rampas, túneles, presas de relave, botaderos, etc. Para realizar las construcciones de dichas infraestructuras se requiere determinar las características geomecánicas del macizo rocoso.

En el proyecto se tiene las alteraciones típicas de un yacimiento tipo pórfido; en la parte superficial se aprecia alteración argílica de baja resistencia y en la parte inferior presenta alteración clorita sericita, ambas alteraciones con diferentes características mecánica y también sujeto a diferentes procesos de deformación. Es muy probable que en la etapa de explotación dichas alteraciones puedan crear desprendimientos del mineral y/o deslizamiento de la masa rocosa de la roca huésped.

Para prevenir la inestabilidad del macizo rocoso, es importante esclarecer las zonas favorables y desfavorables de cada litología según la alteración hidrotermal que se tiene a diferentes profundidades.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Considerando los problemas descritos en la investigación, responde las siguientes interrogantes:



1.2.1 Problema General

De acuerdo al planteamiento del problema nos lleva a la formulación de la siguiente interrogante:

¿Cuál es el comportamiento del macizo rocoso, en las zonas de alteración hidrotermal del proyecto Calatos - Moquegua?

1.2.2 Problemas específicos

Como interrogantes específicos se tienen formuladas las siguientes:

- ¿Cuáles son los parámetros geomecánicas del macizo rocoso a diferentes profundidades, según las alteraciones hidrotermales que presentan en el proyecto Calatos - Moquegua?
- ¿Qué zonas de alteración hidrotermal se encuentran con excelentes características geomecánicas de macizo rocoso del proyecto Calatos - Moquegua?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El proyecto Calatos está próximo a ingresar en la fase de explotación, durante la cual se realizarán diversos tipos de construcciones de ingeniería. En el presente estudio se determinará el comportamiento del macizo rocoso en las diferentes zonas de alteración hidrotermal, así mismo la influencia de la alteración hidrotermal con respecto a la resistencia de la roca intacta. La información que se recolectará durante el estudio servirá como base para realizar un modelo geomecánico contrastando con la geología.

La descripción de los aspectos geológicos y geotécnicos se establece de acuerdo a la litología, fracturas, resistencia de la roca, alteración, estructura tectónica, etc.; posteriormente, se describe de forma puntual las características geomecánicas del macizo



rocoso; finalmente, en base a toda la información recopilada, se forma dominios geotécnicos para la clasifica geomecánica. Cada zona se debe realizar de forma objetiva e individualizada.

Los resultados del presente proyecto de investigación serán utilizados como guía para estudiantes e investigadores que deseen formarse en temas relacionados, así como Universidades, Empresas que desarrollen temas alusivos a Mecánica de Rocas, gobiernos Regionales, Municipios, y otras entidades del sector privado y público.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

Las alteraciones hidrotermales influyen en los parámetros geomecánicas y en el comportamiento del macizo rocoso a medida que va profundizando, en el proyecto Calatos – Moquegua.

1.4.2 Hipótesis específica

Los parámetros geomecánicas del macizo rocoso dependen del tipo de alteración hidrotermal, a medida que va profundizando en el proyecto Calatos - Moquegua.

Cada zona de alteración hidrotermal se delimita, según sus características geomecánicas para optimizar el diseño del proyecto Calatos – Moquegua.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Determinar el comportamiento del macizo rocoso, en las zonas de alteración hidrotermal del proyecto Calatos – Moquegua.



1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros geomecánicos del macizo rocoso a diferentes profundidades, según las alteraciones hidrotermales que presentan en el proyecto Calatos – Moquegua.
- Definir las zonas de alteración hidrotermal que encuentran con excelentes características geomecánicas de macizo rocoso del proyecto Calatos – Moquegua.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Betancur (2019), desarrolla su tesis de pregrado, “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”, con el fin de obtener el título de Geólogo, de la Universidad EAFIT – Medellín - Colombia. Teniendo como objetivo; realizar una comparación entre el macizo rocoso sano y las zonas con alteración hidrotermal, a través de la caracterización geomecánica. Concluyendo que la alteración hidrotermal es un proceso endógeno que produce cambios complejos en las propiedades de la roca preexistentes (físicos) y cambios químicos que se encuentran en función de la composición mineralógica, lo que traduce en variaciones geomecánicas que afectan de forma desfavorable la calidad del macizo rocoso.

Donders (2009), desarrolla su tesis de postgrado “The Relationship between Rock Mass Conditions and Alteration and Weathering in the Lower Hamersley Group Iron Formations”, con el fin de obtener el título de maestro en ciencias en Ingeniería Geológica en la Universidad de Canterbury - Australia. Su investigación está basada en desarrollar un método para estimar la estabilidad de taludes del tajo abierto en las minas de hierro en la provincia de Hamersley a través del análisis geoquímico y mineralógico de las rocas. Concluyendo, que las áreas más inestables se encuentran en zonas extremadamente alteradas y/o meteorizadas.

Ale (2012), desarrolla su tesis de postgrado “Influencia de la alteración hidrotermal en la calidad del macizo rocoso en taludes de tajos abiertos”. para optar el



Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Geotécnica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Tiene como objetivo encontrar una relación de la influencia de la alteración hidrotermal en la calidad del macizo rocoso en un yacimiento mineral, desde el punto de vista geomecánico, empleando la resistencia compresiva de la roca intacta, y el impacto de esta alteración. Concluyo en realizar una agrupación de cada caso según su tipo de litología y en cada una se correlaciono entre el grado de alteración y la resistencia a la compresión de la roca mediante regresiones lineales, parabólicas, exponenciales y potenciales.

Mamani (2016), desarrolla su tesis de pregrado denominado “Análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera sina yanahuaya tramo III - sub tramo 02, a partir de la caracterización geológica y resistencia a la compresión simple”, para obtener el título profesional de ingeniero Geólogo de la Universidad Nacional del Altiplano. Teniendo como objetivo específico realizar la clasificación geomecánica de los macizos rocosos, para realizar el análisis de estabilidad de talud. Concluyendo; que la clasificación geomecánica se determinó mediante la clasificación del macizo rocoso y la resistencia a la compresión simple. Obteniendo rocas de clase II y III, con un RMR de 43 hasta 72.

Chura (2006), desarrolla su tesis de pre grado “Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana maría-la rinconada”, para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo de la Universidad Nacional del Altiplano. Tiene como objetivo realizar una evaluación del comportamiento físico – mecánico del macizo rocoso. concluyendo que la clasificación geomecánica obtenido es de una calidad de tipo III, roca regular en pizarra y calidad buena de tipo II en cuarcita, el dominio estructural de la caracterización geomecánica en ambas calidades de roca se muestra es un



mecanismo de falla de tipo cuña, debido a un comportamiento de discontinuidades de dos a tres familias.

Nina (2014), desarrolla su tesis de pregrado “Estudio geológico – geotécnico del proyecto túnel de desvío río Asana – Quellaveco – Moquegua”, para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo de la Universidad Nacional del Altiplano. teniendo como objetivo principal, determinar las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso del proyecto túnel de desvío río Asan. concluyendo que la clasificación geomecánica del macizo rocoso son: portal de entrada se ha estimado como mala con tipo de roca IV según (RMR) y muy mala con valores de (0.02 – 2.5) según (Q).

22 MARCO TEORICO

2.2.1 Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, la región está ubicada entre la faja costanera y la vertiente occidental de los andes. El relieve de la región presenta una forma irregular, con unidades geomorfológicas muy variables, producidas por agentes geotectónicos, deposicionales y erosivos; el origen de estos ambientes geomorfológicos está muy ligado al proceso del levantamiento andino. (Acosta, Rodríguez y Huanacuni, 2011)

2.2.2 Sistema de planicie costera

La planicie costera se caracteriza por la presencia de superficies planas a ligeramente inclinadas tanto de origen eólico como deposicional, de carácter desértico y que han sido originados por el relleno de una cuenca, de probable origen tectónico, por depósitos clásticos continentales del terciario superior y cuaternario. (Acosta et al., 2011)



2.2.2.1 Planicie ondulada

Estas unidades están identificadas por áreas de morfología ondulada con cimas de baja altura, formados por un acelerado proceso erosión diferencial sobre litología de baja resistencia, en cuyos flancos se dan procesos menores de erosión. Se encuentran generalmente sobresaliendo en las superficies de colmatación y han sido originadas por la constante modelación y denudación de antiguas formas onduladas de poca altura. Presentan procesos erosivos de poca magnitud. (Acosta et al., 2011)

2.2.2.2 Mantos de Arena

Esta unidad se caracteriza por presentar materiales arenosos de variada composición litológica, constituida principalmente por arenas finas, medias y gruesas, transportados básicamente por acción de los vientos, y depositadas sobre la planicie costera, lomadas, colinas, y las estribaciones bajas de la Cordillera costera. (Acosta et al., 2011)

2.2.2.3 Valle

La característica principal de los valles es su juventud, los principales se presentan encañonados, con perfiles transversales en “V” y con pendientes más fuertes que las de las superficies de erosión cortadas por ellos. Se tiene como ejemplo el valle formado por el pasar del río Tambo. (Acosta et al., 2011)



2.2.3 Cordillera de la costa

Paralelamente, y a corta distancia del litoral se presentan en la Costa Sur del Perú, desde la latitud de Pisco, una cadena de cerros bajos, a la que conocemos tanto en el Perú como en Chile, bajo la denominación de Cordillera de la Costa o Cadena Costanera. En Punta de Bombón y Cledesí, la línea de cumbres que forman esta unidad morfológica entra alineándose por la parte alta del Puerto Mollendo, constituyendo los cerros Miramar (1316 m), Caballo Blanco (1137 m.) etc., que se hallan todavía en el borde de la Pampa de la Joya; continuando hacia el Sureste, ya dentro del Cuadrángulo de Punta de Bombón, con los cerros de Curi-Curi (969 m.), Gordo (1008 m.); Bronce (1080 m.), donde queda interrumpida por el valle Tambo para presentarse en el lado Sureste del mismo, con los cerros Lomas de Chucarapi (906 m.), Lomas El Sauce (813 m.), Iñane (842 m.), El Abra (1146 m.), Cerrillos Negros (1288 m.), Arenal (1528 m.) y Bedel (1469 m.) en el extremo Sur del Cuadrángulo de Cledesí. (Acosta et al., 2011)

2.2.4 Pampas costaneras

Esta unidad fisiográfica se extiende longitudinalmente entre la Cadena Costanera y el pie de las estribaciones de los Andes Occidentales. Es un territorio relativamente llano y desértico de ancho variable que ha sido originado por el relleno de una cuenca, de probable origen tectónico, por depósitos clásticos continentales del Terciario superior y Cuaternario. La superficie de esta planicie tiene una suave inclinación hacia el Sur. Entre el río Tambo y el borde occidental de la Quebrada Guaneros la planicie se encuentra formada por una sucesión de pampas ligeramente escalonadas, debido posiblemente al sistema de fallamiento en bloques del substrato. Las pampas Colorada, Repartición, Salinas, Cledesí, La



Zorra, etc., constituyen extensas superficies casi planas, cuya monotonía es rota por la presencia de suaves colinas bajas, redondeadas o alargadas que se presentan indistintamente dentro del área. El conjunto de estas pampas constituye el desierto Cledesí. (Acosta et al., 2011)

2.2.5 Estribaciones de los andes occidentales

Las Pampas Costaneras pasan irregularmente al este, a una zona formada de cerros alargados de perfiles agrestes que rápidamente se elevan hacia el flanco de los Andes. Evidentemente, esta sección corresponde a las partes más bajas de las estribaciones andinas y se caracterizan por su topografía áspera y ambiente desértico. En ciertos sectores, como a la altura del río Tambo, este pasaje no es muy claro, las colinas y cerros de la Cadena Costanera pasan inmediatamente a las estribaciones de los Andes. Igualmente, entre la Quebrada Guaneros y el río Moquegua los cerros que corresponden a estas estribaciones avanzan notablemente hacia la Costa. (Acosta et al., 2011)

2.2.6 Altiplano

El altiplano es una unidad geomorfológica que está ligada a la zona sur oriental de nuestro país, las altitudes varían de acuerdo con la proximidad de la cordillera oriental, están van de 4000 a 4300m de altitud, asimismo; se presentan unidades de montañas y conos volcánicos que oscilan entre los 5000 m de altitud y en la región predomina la cordillera del barroso. (Palenque & Estremera, 2008)

2.2.7 Cadena de conos volcánicos

La cadena Volcánica tiene un ancho de 20 a 30 km con rumbo NO-SE. Toda la zona volcánica ha sido afectada por la glaciación cuaternaria. Rasgos morfológicos de erosión glaciaria como circos, pequeñas lagunas en cubetas



rocosas, superficies estriadas, etc. son comunes en los flancos de los volcanes. Igualmente, las acumulaciones morrénicos, frontales y laterales, se observan por doquier. (Acosta et al., 2011)

2.2.8 Procesos geomorfológicos

2.2.8.1 Procesos endógenos

Los procesos endógenos son aquellos que ocurren por debajo de la superficie terrestre, pero que tienden a modelarla, entre estos tenemos a cámaras magmáticas (forman volcanes) la tectónica de placas (forman cordilleras y fosas), etc. (Lugo J.,2010)

Orogénicos: la orogenia genera relieves plegados y fallados. Se pueden considerar tres momentos que corresponden a tres fases de violencia de la orogenia: el plegamiento, en el que se pliegan los materiales blandos; el fallamiento, en el que se rompen los materiales duros y los pliegues; y el cabalgamiento.

Epirogénicos: son formadores de continentes, y se caracterizan porque el desplazamiento preferente se produce en el plano vertical. Se dan, por ejemplo, por la erosión de una montaña. La pérdida de los materiales produce una disminución del peso, con lo que se origina un movimiento de las rocas hacia arriba.

2.2.8.2 Procesos exógenos

Los procesos exógenos se presentan, sobre la superficie terrestre, dependiendo bastante de los procesos atmosféricos o del clima, y se puede subdividir de la siguiente manera: (Lugo J.,2010)



Agradación: es la acumulación de los sedimentos que traerá consigo la construcción de otros relieves, por ejemplo, la formación de rocas sedimentarias (litogenesis).

Degradación: es destrucción del a causa de la meteorización o alteración de los materiales. Erosión de los materiales debido a diferentes agentes externos como la precipitación, la escorrentía, hielo viento y entre otros.

La zona de estudio presenta una degradación notoria a causa de los agentes atmosféricos, y formación de unidades geomorfológicas por la acción de las escorrentías y del viento, que enmarcan el relieve actual.

2.2.9 LITOEstratigrafía

2.2.9.1 Grupo Toquepala

El nombre de Grupo Toquepala ha sido establecido por Bellido (1962) para un conjunto de rocas volcánicas con intercalaciones de sedimentos gruesos, que afloran a lo largo del flanco andino, desde los cerros la caldera, en Arequipa, hasta la frontera con Chile. Las unidades superiores de este grupo están presentes en el área de la mina Toquepala, Quellaveco y Cuajone, donde fueron estudiadas por los geólogos RICHARD COURTHRIGHT (1958) y otros de la Southern Perú Copper Corporation. (Bellido, E., 1979)

En el cuadrángulo de Moquegua el grupo Toquepala se ha dividido, en las siguientes formaciones:

a. Formación Toquepala



Bellido & Guevara, (1963) señalan que las secciones más bajas del grupo Toquepala afloran en la parte norte del cuadrángulo de Clemesi, sobreyaciendo discordantemente a la formación Guaneros, del Jurásico superior. La prolongación de dichos afloramientos, hacia el este, penetran en el cuadrángulo de Moquegua, con magnificas exposiciones en los cañones de los cursos inferiores de los ríos Huarancane y Torata.

La formación se compone, en la parte inferior, de derrames, brechas de flujos piroclásticos de composición andesítica, dacítica y riolítica de color gris, gris verdoso, pardo y violeta; en la parte media incluye lentes de conglomerados y areniscas de color verdoso a marrón, y en la parte superior derrames y brechas de flujos riolíticos, de colores pardo claro y aglomerados de color blanquecino, rosado o verdoso. La secuencia tiene un grosor de 650-700 m. (Bellido, E., 1979)

b. Formación Inogoya

La formación Inogoya presenta 430 metros de grosor. En la mitad inferior se compone de conglomerados muy gruesos, de naturaleza volcánica y matriz areno-tufácea; la roca es de color marrón claro a gris verdoso y los elementos del conglomerado son principalmente pórfidos con tamaño que varía desde pocos centímetros hasta cerca de 100 cm. de diámetro; La parte superior es areno-tufácea de color pardo a verdoso, con bandas y lentes de conglomerados de elementos medianos a pequeños. (Bellido, E., 1979)

c. Formación Paralaque

El nombre de esta formación deriva de la hacienda Paralaque, ubicada en las laderas del río Quele, a unos 5 Km. al NO de Torata. Esta



unidad aflora al oeste de la zona mineralizada en el sector de Tala, aflora una secuencia de rocas volcánicas, compuesta mayormente por derrames de dacita, riolita y andesitas, de colores marrón y rosado claro con intercalaciones de piroclásticos y lentes de conglomerados en el tercio superior. Los derrames volcánicos tienen rumbo general NO con buzamientos que varían desde pocos grados hasta 30 o y 35 o al N y EN. (Bellido, E., 1979)

d. Formación Sotillo

Está conformada de la base al techo por niveles de conglomerados brechas y areniscas en las cuales se intercalan niveles delgados de lutitas (lenticulares). Los niveles medios son más evaporíticos constituidos por sedimentos de arenas y limoarcillas con intercalaciones de capas de yeso que alcanzan grosores de hasta 30 cm., de colores gris claro amarillentos como se observa en la carretera Moquegua – Omate (sector de Jaguay). Hacia la parte superior se encuentra niveles de areniscas de grano medio y fino con niveles de limoarcillitas, rojizas a verde grisáceas con niveles muy delgados de yeso, en su conjunto tienen una coloración rojiza. Petrográficamente los clastos en los conglomerados son de variada composición donde predominan los de naturaleza riolítica y algunas calizas y cuarcitas bastante redondeadas de hasta 10 cm. de diámetro, se encuentran englobados en una matriz arenosa feldespática. Esta cuenca presenta anticlinales y sinclinales interrumpidos por fallas. Su origen se puede relacionar a un ambiente intramontana continental desértico con influencia lacustrina. Esta unidad no ha reportado presencia de fósiles lo cual nos hace difícil determinar su edad, solamente por posición



estratigráfica se le correlaciona estratigráficamente con la Formación Huanca (hoja de Huambo), sobreyace en discordancia erosional a la Formación Paralaque del Cretáceo inferior e infrayace a la Formación Huaylillas de edad Miocena inferior. Se le asigna una edad Oligocena. (Martínez, W. y Cervantes J., 2010)

e. Formación Huaylillas

Sobreyace concordante a la Formación Sotillo. Está conformada por tobas cristalolíticas, soldadas blancas variando a rosadas con textura ignimbrítica. Su composición química varía de riolitas a riocácitas (Martínez y Zuloaga, 2000). Próximos al área de estudio se realizaron dataciones en roca total por el método K/Ar dando 22.8 0.7 Ma. (Tosdal, et.al. 1981)., en Tala - Coscori 17.6 0.6 Ma. (Tosdal, et.al. 1981)., Cerro Piedra Labrada y Tala 18.4 0.6 Ma. (Tosdal, et.al. 1981). Se le asigna una edad Miocena inferior. (Martínez & Zuloaga, 2010)

f. Formación Millo

Litológicamente conformada por conglomerados de tamaño heterogéneo moderadamente consolidados, con clastos polimícticos subredondeados a subángulosos englobados en matriz areno-limoso con intercalaciones de areniscas de grano medio a grueso. Por posición estratigráfica se le asume una edad Miocena. (Martínez, W. y Cervantes J., 2010)

g. Volcanico Quellaveco

Bajo esta denominación se reúne a un conjunto de rocas volcánicas de la parte superior del grupo Toquepala, las cuales afloran en la porción nororiental del cuadrángulo a lo largo de una faja de rumbo NO-SE. En la



parte central de este afloramiento se encuentra el depósito cuprífero de Quellaveco, de donde deriva el nombre de la formación. Los yacimientos Cujajone y Toquepala se hallan dentro de la misma formación al NO y SE de Quellaveco respectivamente. RICHARD and COURT RIGHT (1956), describen las rocas volcánicas del área de quellaveco -Toquepala con la denominación Porfido cuarífero de Quellaveco. (Richard & Court R., 1956)

2.2.9.1.1 Depósito Coluvial (Q-col)

Los depósitos coluviales son muy pequeños y no tienen mayor significación geológica en el área. La acumulación más importante de esta clase de depósitos se encuentra en las laderas del río Asana, los fragmentos de bloques de tufos y materiales volcánicos, han cubierto una gran parte de dicha ladera. (Bellido, E., 1979)

2.2.9.1.2 Depósito Fluvial (Q-fl)

A esta clase de depósitos corresponden las gravas, arenas y arcillas que están en proceso de transporte y deposición por los ríos actuales; consiste en toda clase de materiales clásticos sueltos, desde bloques gruesos hasta arcillas con predominio de conglomerados y arena; en forma de bancos de grava o pequeñas playas de arena a lo largo del lecho de los ríos; los depósitos aluviales inmediatos a sus márgenes, ligeramente más altos, son utilizados como terreno de cultivo. Durante la avenida, parte de estos terrenos, que corresponden al piso del valle, son a veces parcialmente inundados por el río renovándose el transporte y la sedimentación. (Bellido, E., 1979)



2.2.9.1.3 Depósito Aluvial (Q-al)

Son acumulaciones de clastos que se encuentran constituidos por arcillas, arenas, gravas, cantos y bloques de variada naturaleza en diferentes proporciones, debido a que han sido depositados bajo condiciones variables en cuanto a volumen y velocidad de flujo. Estos depósitos han sido transportados por el río, dando origen a la llanura fluvio-aluvial. (Bellido, E., 1979)

2.2.9.1.4 Rocas Intrusivas

La secuencia de ignimbritas de la Formación Paralaque son intruidas por cuerpos granodioríticos y dioríticos asignados al Batolito Yarabamba. Las granodioritas son de color gris claro de grano medio a fino, holocristalino, inequigranular con plagioclasa, cuarzo, feldespatos potásicos, biotita y hornablenda, pueden variar hacia gabrodioritas y rocas melanocratas con plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y hornablenda y químicamente calco alcalinas. Existen cuerpos intrusivos sub-volcánicos que se encuentran asociados al batolito en base a sus relaciones de yacencia y texturales y por encontrarse bajo las secuencias de la Formación Huaylillas. Estos cuerpos sub-volcánicos se encuentran totalmente alterados con oxidaciones de Fe (limonita, hematita) posiblemente como productos de alteración supergena. (Martínez, W. y Cervantes, J., 2010)

2.2.9.1.5 Diorita – Granodiorita

Los mayores cuerpos intrusivos del área consisten de rocas cuyas composiciones varía gradacionalmente de diorita a Granodiorita. A este grupo pertenece el Stock de Calumbraya-Micalaco; los intrusivos de la



parte central norte que se asocian constituyendo un afloramiento casi anular; el macizo del cerro Huanaco, en la esquina noroeste; los afloramientos del río Otorá, aguas abajo del depósito Cuajone; el pequeño Stock que aparece en la cabecera de la quebrada Charaque. Superficialmente, por el intemperismo tiene una coloración marrón rojiza débil; en algunas localidades como el cerro Piruncho, alrededores de Tala, partes altas de Micalaco, etc, tienen disminución esferoidal; en otras áreas especialmente en las laderas de la quebrada, se muestran con disminución tabular, unas veces bien marcadas y otras en forma bastante grosera. (Bellido, E., 1979)

2.2.9.1.6 Monzonitas y Dacitas

El afloramiento de monzonita tiene topografía suave: la roca ofrece disyunción tabular e irregular y coloración de intemperismo pardo amarillento. En superficie fresca la roca es maciza, con textura granular porfírica y de color rosado débil; en la masa de la roca se observa en forma dispersa numerosos granos y manchitas verdosas. A simple vista se reconocen granos de feldespatos y minerales de color negro muy finos no reconocibles ni con lupa. (Bellido, E., 1979)

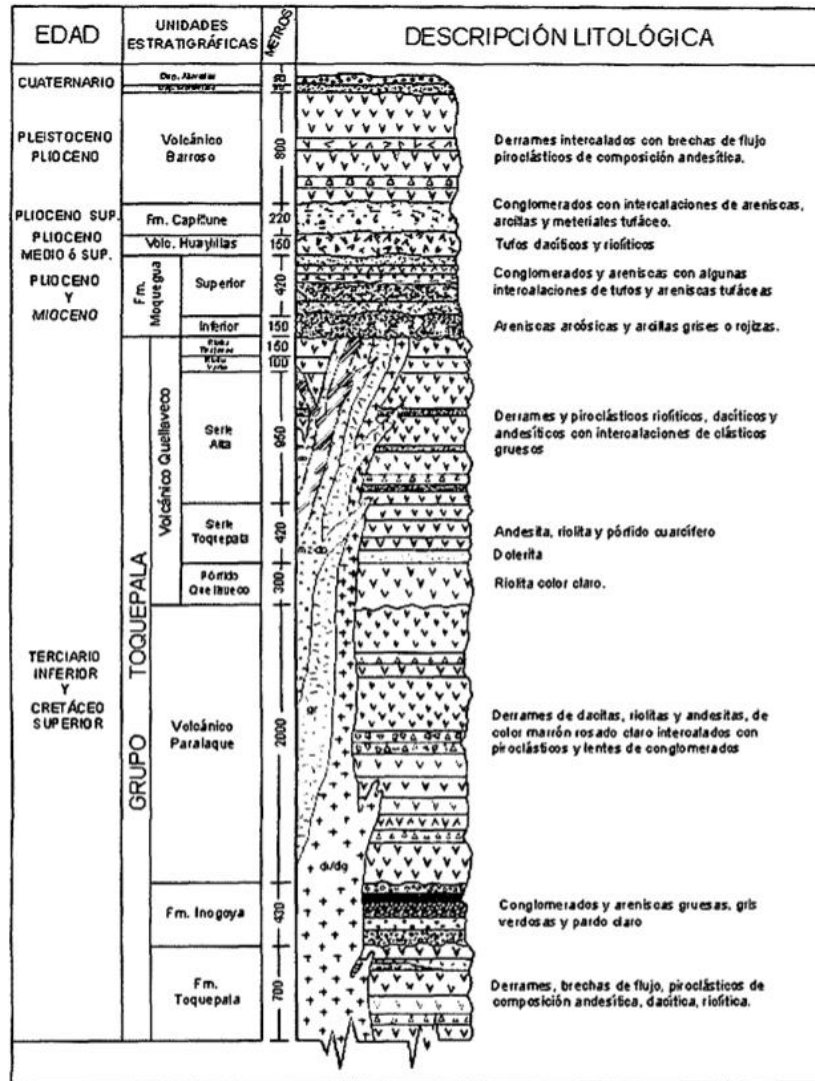


Figura 01: Columna litoestratigráfica de los cuadrángulos de Moquegua

Fuente: INGEMMET - Bellido, E., 1979

2.2.10 Geología Estructural Regional

Para el sur de Perú, existe un sistema de transcurrencia (Sistema de Fallas Incapuquio-SFI) con dirección 315°-310° y antiguos lineamientos con dirección 50°70° los cuales fueron desplazados por el SFI. Estas dos estructuras se interceptaron y originaron zonas de debilidad estructural, por donde se emplazaron intrusiones magmáticas durante el lapso de 70 a 50 Ma.

Varias de estas zonas de debilidad están asociadas a importantes yacimientos de pórfidos de Cu: Cerro verde, Chapi, Cuajone, Quellaveco, Toquepala, así como a anomalías hidrotermales y prospectos: Los Calatos,



Huaracane y Yaritol al parecer los pórfidos de Cu emplazados en la costa sobre terrenos jurásicos, también están asociados a este tipo de estructuras transcurrentes, así los prospectos Cachuyo y Cachuyito se encuentran próximos al fallamiento dextral del Fiscal. (Martínez et al., 2017)

Es posible la correspondencia estructural con el SFI con la prolongación del sistema Domeyko (N-S) de Chile, que en esta región se comporta como dextral.

La evolución tectónica en el Mesozoico, edad de los pórfidos más antiguos se inició por un fuerte estiramiento de la corteza a partir de ~240 Ma (Triásico medio), continuando hasta el Cretácico inferior, con marcada migración del sistema arco-cuencas hacia el oeste. Esta migración se detuvo alrededor de ~130 Ma, para luego reanudarse en dirección al este. El magmatismo de arco se incrementó primero en ~110 Ma y más nítidamente en ~90 Ma, y a partir de ~75 Ma sufrió una verdadera “llamarada” (flare-up) que resultó en un sustancial engrosamiento magmático de la corteza, lo cual causó deformaciones en los flancos del arco (Noury et al., 2017). Siguiendo el proceso clásico, la corteza sobre-engrosada del arco sufrió a partir de ~60 Ma un colapso gravitacional que prosiguió durante el Paleógeno inferior, produciendo otras deformaciones de varios tipos. La migración del arco hacia el noreste prosiguió en forma mucho más marcada en el sur del país a partir de ~50 Ma; ahí la actividad del arco construyó el batolito Andahuaylas-Yauri hasta ~30 Ma, para luego migrar otra vez hacia el suroeste, traducido en magmatismo. (Mamani et al., 2010)



2.2.10.1 Fallas

En la parte septentrional del cuadrángulo se han registrado numerosas fallas; sin embargo, muchos aspectos de estas estructuras como son: movimiento relativo de los bloques, magnitud de los desplazamientos, tipo, etc. son casi desconocidos. La traza de las fallas ha sido determinada principalmente por la presencia de zonas de alteración, escarpas topográficas, orientación de quebradas, contactos anómalos entre unidades estratigráficas conocidas, etc. (Bellido, E., 1979)

- **Sistema de Fallas incapuquio**

Según Wilson & García, (1962); la falla Incapuquio es clasificada como de tipo transcurrente por tiene desarrollo regional. Está reconocida y mapeada desde la frontera con Chile hasta el valle del Tambo, en una distancia cerca de 140 km.

Las fallas de Incapuquio están asociadas con otras fallas, éstas unas veces son más o menos paralelas y en otros casos constituyen ramificaciones que se desprenden de la principal con ángulos de 30° o más, por lo cual es más conveniente denominarlas sistema de fallas Incapuquio. (Bellido, E., 1979)

En el cuadrángulo de Moquegua la falla Incapuquio ingresa por el tercio inferior del lado oriental de la hoja, justamente por la parte alta del pueblo de Ilabaya, de donde sigue con dirección N 45° O. La traza de falla es reconocible a través de las localidades de Calumbraya, parte frontal del macizo diorítico-granodiorítico de Micalaco, Villa de Toquepala, hondonada de Incapuquio, quebrada La Simarrona y cerros del Chorro.



Luego continúa por la parte frontal de los cerros Calera y Chilca, formados de roca ígnea. Se supone que la notable escarpa de rumbo este-oeste que se halla inmediatamente al norte de Moquegua, delante de la línea de los cerros Los Angeles, Estuquiña y Huaracane, representa la continuación de la falla Incapuquio al ONO, pues su posición y dirección coinciden con el alineamiento de la falla. (Bellido, E., 1979)

La falla Incapuquio, conforme puede apreciarse en el mapa tiene una traza casi recta. A lo largo de su recorrido troza a las rocas volcánicas del Grupo Toquepala y también a los cuerpos intrusivos. En el lado suroriental del cuadrángulo ofrece una bifurcación, los ramales después de un recorrido de cerca de 15 km vuelven a juntarse, limitando un bloque lenticular alargado de roca volcánica, aparentemente hundido. (Bellido, E., 1979)

A pocos kilómetros al NO de la localidad de Incapuquio se desprende un ramal con rumbo N 35° O, de traza más o menos recta, que pone en contacto anormal las dioritas del cerro Trebolar con las riolitas Yarito. En el ángulo formado por la bifurcación, se ha emplazado un cuerpo granítico de grano medio a fino y color rosado. En algunos tramos de la falla se observan zonas más o menos anchas de fragmentación, trituración y alteración; por ejemplo, al este de Calumbraya, (borde oriental del cuadrángulo) y también en las proximidades de Incapuquio, a lo largo de la carretera que sale de Toquepala para unirse con la principal en la quebrada La Simarrona.



En la hoja de Moquegua no se ha observado los característicos pliegues de arrastre anotado por Wilson y García. Que sirvieron para indicar su movimiento horizontal, pero como se trata de la misma estructura regional, de por sí compleja en su génesis, desarrollo y desplazamiento, consideramos que dicho movimiento transcurrente haya sido regional, y de intensidad variable a lo largo de la falla. (Bellido, E., 1979)

En Pachía y Palca, según Wilson; los movimientos subsecuentes de la falla Incapuquio fueron verticales y los reajustes finales tuvieron lugar después de la deposición de la formación Moquegua, a la cual afecta muy débilmente; sin embargo, al NE de la ciudad de Moquegua en la zona de probable prolongación de la falla, las capas de la formación Moquegua no muestran disturbios por fallamientos. En las localidades de Incapuquio y Villa Toquepala, la falla pone en contacto al Volcánico Paralaque con el Pórfido Quellaveco en la parte norte y con la Serie Alta en el Sur. (Bellido, E., 1979)

- **Falla Micalaco**

Esta estructura queda a 6 o 7 km al norte de la falla Incapuquio, es más o menos paralela a ésta y puede pertenecer al mismo sistema. La falla en mención se reconoce desde el paraje de Micalaco, hasta el borde sur del tajo abierto de la mina Toquepala y probablemente continúa formando el contacto del intrusivo diorítico del cerro Sargento con los volcánicos de la Serie Toquepala. (Bellido, E., 1979)



La falla en el trayecto reconocido tiene traza recta y en algunos sitios se ha constatado pequeñas vetas de óxido de fierro. En el tajo abierto de la Mina Toquepala, en cuya porción central se encuentra la chimenea de brecha que controla a la mineralización, el stock de pórfido dacítico, con el cual se supone realcionada genéticamente dicha mineralización, así como el cuello de aglomerado dacítico y otras intrusiones filoneanas, se hallan prácticamente sobre esta falla y concentrados en un área relativamente pequeña. Todo parece indicar que en esta parte de la falla se produjo, por causas aún no bien conocidas, una zona de debilidad que permitió el emplazamiento del stock dacítico, la formación de la chimenea de brecha y su posterior mineralización. (Bellido, E., 1979)

- **Falla del Área de Otorá**

En el cuadrante noroeste de la hoja de Moquegua entre los parajes de Otorá y Polobaya se han mapeado dos fallas paralelas, de rumbo norte-sur, que afectan a las rocas del volcánico Paralaque. El curso de las fallas se reconoce por las escarpas topográficas, hendiduras o cuellos en los esplosiones por donde cruzan, además de las alteraciones superficiales y distorsiones del rumbo y buzamiento de los bancos volcánicos. (Bellido, E., 1979).

En general, la posición de las fallas coincide con el frente del gran escarpamiento que se levanta inmediatamente al este de la línea Torata-Paralaque-Otorá. Por el escalonamiento de las escarpas se infiere que el bloque occidental ha bajado en relación al oriental, posiblemente con saltos considerables. Por el norte las fallas descritas pasan al cuadrángulo de Omate, por el sur se le ha seguido hasta las cercanías de Torata, siendo

muy probable que la falla oriental se prolongue hasta chocar con el gran macizo ígneo del cerro Trebolar. (Bellido, E., 1979)

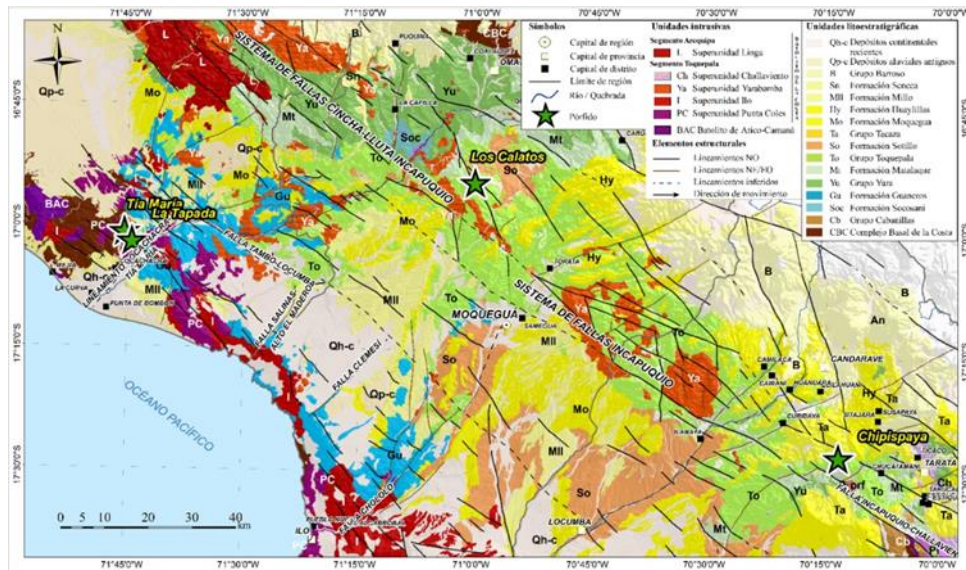


Figura 02: Mapa geológico regional de la zona de estudio

Fuente: Tomado y modificado de martinez et al.(2017a).

2.2.10.2 Pleguies

En Moquegua no se ha observado pliegues producidos por esfuerzos de compresión. Las suaves ondulaciones y flexura que muestran las capas de la formación Moquegua, del Terciario superior, probablemente se deben a reacomodos de dichos sedimentos durante los movimientos post orogénicos, como son los reajustes del sistema de fallas Incapuquio, el Levantamiento Andino, etc. (Bellido, E., 1979)

Las ondulaciones tienen ejes de rumbo NO; en general, son de corto recorrido y no han sido registradas en el mapa, pues los rumbos y buzamientos de las capas Moquegua son muy variables. (Bellido, E., 1979)

La estructura más importante observada en el área, es un pequeño anticlinal casi simétrico que afecta a la formación Moquegua, el cual se puede asemejar a un cono ligeramente alargado. La estructura se encuentra



en el cerro Huancanane, está cortada por la quebrada Purgatorio y la carretera que va a la mina Toquepala la atraviesa por el extremo sureste. En las laderas de la mencionada quebrada y otras tributarias se nota que las capas y bancos de areniscas, conglomerados, etc., del Moquegua superior, se arquean suavemente haciendo un cierre más o menos perfecto, tal como puede observarse en el mapa geológico. (Bellido, E., 1979)

2.2.11 Perforación diamantina

La perforación diamantina es un tipo de perforación que se realiza con la intención de extraer testigo sólido de roca. Existen equipos para perforación diamantina en superficie como equipos para perforación diamantina subterránea. (Susanibar, 2017)

2.2.11.1 Plataforma de perforación

Para cada taladro se proyecta una plataforma de 15 m x 15 m o 225 m². Sobre esta se instala el equipo de perforación, cisterna para almacenar agua para la perforación, la caseta para almacenaje temporal de barras y testigos, las pozas de sedimentación y baño químico portátil y área de seguridad para el personal. (Susanibar, 2017)

2.2.11.2 Máquina perforadora

La máquina perforadora se coloca sobre el punto de perforación, con la dirección e inclinación indicada.

Se nivelará la máquina de perforación de acuerdo a la dirección e inclinación exacta, la nivelación se efectúa mediante el uso de gatas hidráulicas sobre la plataforma de madera, con el objeto de evitar que éstos



se hundan y provoquen una desnivelación de la máquina. El giro de alineamiento para la dirección exacta se efectúa con el apoyo de movimientos de palanca con la ayuda de barretas o tubos de acero. (Susanibar, 2017)

Utiliza un cabezal o broca diamantada, que rota en el extremo de las barras de perforación. La abertura en el extremo de la broca diamantada permite cortar un testigo sólido de roca que se desplaza hacia arriba en la tubería de perforación y se recupera luego en la superficie. (Susanibar, 2017)

Después de los 3 metros de perforación, se atornilla una nueva sección de tubo en el extremo superior y así sucesivamente.

El cabezal diamantado gira lentamente con suave presión mientras se lubrica con agua para evitar el sobrecalentamiento. La profundidad de perforación se estima manteniendo la cuenta del número de barras de perforación que se han insertado en la perforación. (Susanibar, 2017)

2.2.11.3 Tubos de perforación

Son barras de acero que sirven para transmitir la presión y el empuje de rotación sobre la broca. Las barras de perforación son de 05 o 10 pies de largo (1.524 y 3.048 metros), se presentan en múltiples medidas. (Susanibar, 2017)

s de diámetro como: PQ-115mm, HQ-100 mm, NQ76mm, BQ-51mm o AQ-50mm, según sea la necesidad a perforar. Por el interior de las barras circula el lodo de perforación, también representan la profundidad del pozo y alberga al tubo interior. (Susanibar, 2017)



2.2.11.4 Extracción de muestras de testigos

Dentro de la tubería de perforación hay otro tubo interno, que se tiene un mecanismo de cierre conectado a un cable de acero. Al final de cada serie de 3 metros, el cable se utiliza para izar el tubo que contiene el testigo de roca a la superficie donde se puede recuperar. El testigo se almacena en cajas especialmente diseñadas que contienen compartimientos para mantener secciones del testigo. (Procedimiento de registro geotécnico - Mining Plus, 2017)

2.2.11.5 Manipulación de testigos

El testigo de perforación debe ponerse en una canaleta receptora que se encuentra a un costado de la máquina para lavar el testigo y sea mapeado sin dificultad por un geólogo calificado, la canaleta receptora o caja porta testigos debe tener convenientemente identificado el nombre del proyecto, número de sondaje, ubicación, intervalos de perforación de las muestras, fechas y otros. En el interior está dividido por canales limitadas por tabiquería de madera o plástico, cuyo ancho corresponde al diámetro de la muestra a colocar. Las muestras de cada tramo perforado son separadas con tacos de madera en donde se anotan más profundidades correspondientes. (Procedimiento de registro geotécnico - Mining Plus, 2017)

Es importante que las manipulaciones de las muestras, tanto al ser extraídas de los muestreadores y dispuestas en las cajas de madera, así como al ser trasladadas esta para su almacenamiento, tengan que ser tratadas con cuidado, procurando evitar la disturbancia de estas. El



almacenamiento deberá hacerse en ambientes con un mínimo contenido de humedad. (Procedimiento de registro geotécnico - Mining Plus, 2017)

2.2.11.6 Registro de perforación

Es un formato para las anotaciones de las características de la perforación, informaciones obtenidas a partir de los testigos y los resultados de los ensayos ejecutados. (Susanibar, 2017)

En la parte que corresponde al registro de perforación en sí, se anotan en función a la profundidad, los diámetros de perforación empleados, los revestimientos instalados, la profundidad del nivel freático, el porcentaje de retorno de agua de circulación, el tramo del que se obtenga muestras especiales o testigos de rocas retiradas de la caja de muestra para que sean analizadas en laboratorio. (Procedimiento de registro geotécnico - Mining Plus, 2017)

2.2.12 Logueo geomecánico

El logueo geomecánica es la base de los datos geomecánicas y son fundamentales en un proyecto porque es el inicio de registro de las propiedades de la roca. Dentro del logueo podemos empezar a pensar en el tipo de roca, la resistencia que tiene y cuáles son las características de la roca intacta en contra de las fracturas que tiene. El macizo rocoso se describe con fines de ingeniería, requiere de la evaluación de las características tanto del material rocoso como de las fracturas que lo atraviesan (por ejemplo: planos de estratificación, diaclasas, foliación, fallas, estructuras). El material rocoso en su estado fresco o inalterado puede variar en resistencias desde relativamente blando a extremadamente duro.

La resistencia a lo largo de las fracturas puede también variar significativamente dependiendo de la condición de la fractura. (Susanibar, 2017)

2.2.12.1 Recuperación de muestra

La recuperación de muestra se representa gráficamente, siendo esta una relación porcentual entre la longitud de las muestras recuperada respecto a la longitud del tramo perforado.

$$\text{Recuperacion de muestra (\%)} = \frac{\text{Long. de muestra obtenida o recuperada}}{\text{Long. de tramo perforado}} \times 100$$

2.2.12.2 RQD (Rock Quality Designation)

El RQD (rock Quality Designation), es una medida del grado de fracturamiento del macizo rocoso, propuesta por Deere, D. (1964) que se expresa como una relación porcentual de la sumatoria de los testigos carentes de discontinuidades naturales mayores de 10cm. Y la longitud del tramo perforado; en el registro de perforación se representa también gráficamente, diferenciándolo de la recuperación de la muestra, con un achurado diferente. (Deere, D., 1964)

$$\text{RQD (\%)} = \frac{\text{Long. de testigos sin discontinuidades} > 10\text{cm}}{\text{Long. de tramo perforado}} \times 100$$

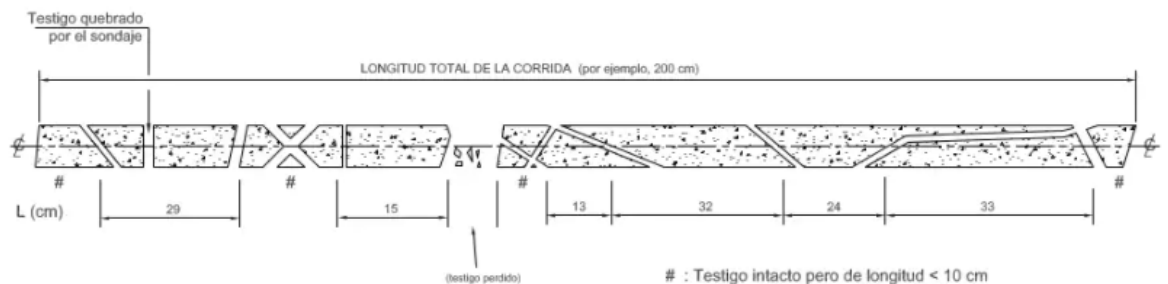


Figura 03: Procedimiento de medición y cálculo del RQD (ligeramente modificado después de Deere, 1989).

Fuente: Arild-Palmstron, 2005.

De acuerdo al RQD, un macizo rocoso es calificado de la siguiente manera, en función al grado de fracturamiento.

Tabla 01: Índice de calidad de roca

RQD %	CALIDAD DE ROCA
0 - 25%	Muy mala
25 - 50%	Mala
50 -75%	Regular
75 - 90%	Buena
90 - 100%	Muy Buena

Fuente: ISRM, 1978.

2.2.12.3 Descripción de litología

Es recomendable realizar logueo geomecanico antes que el logueo geológico haya terminado, el logueador deberá intentar identificar la litología usando una letra o código de la leyenda geológica. De ser importante reconocer estructuras mayores de zonas de debilidad (ej. Fallas y zonas fuertemente intemperizadas). Mojar el testigo incrementa el contraste y hace más fácil de identificar las características de las litologías. (Susanibar, 2017)

2.2.12.4 Tipos de discontinuidades

Las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos. La resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto más importante en la determinación de la resistencia de los macizos rocosos duros fracturados, y para su estimación es necesario



definir las características y propiedades de los planos de discontinuidad.
(Vallejo, 2002)

- **Discontinuidades Naturales:**

Son discontinuidades con superficies algo redondeadas, meteorizadas, con relleno y en ángulos distintivos, las superficies no se ajustan con facilidad o precisión. Se recomienda incluir fracturas de orígenes mecánicas en el conjunto de fracturas naturales (mejor sobre - estimar la fracturación que sub - estimar adoptando un coeficiente de seguridad más bajo). (Vallejo, 2002)

- **Discontinuidades Mecánicas:**

Fracturas mecánicamente inducidas por la perforación que no afectan el RQD y los testigos son consideradas como enteras. Estas se distinguen porque las superficies son frescas y limpias y de ángulos agudos con respecto al eje del testigo y se pueden unir fácilmente. (Vallejo, 2002)

2.2.12.4.1 Numero de familia de discontinuidades

El comportamiento mecánico del macizo rocoso, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura están condicionados por el número de familias de discontinuidades. (ISRM, 1981)

El grado de fracturación y el tamaño de los bloques del macizo rocoso vienen dados por el número de familias de discontinuidades, y por el espaciamiento de las familias. Cada una de las familias queda caracterizada por su orientación en el espacio y por las propiedades y características de los planos. (Vallejo, 2002)

Tabla 02

Clasificación de macizos rocosos por el número de familias de discontinuidades

TIPO DE MACIZO ROCOSO	NUMERO DE FAMILIAS
I	Masivo, discontinuidades ocasionales.
II	Una familia de discontinuidades.
III	Una familia de discontinuidades más otras ocasionales.
IV	Dos familias de discontinuidades.
V	Dos familias de discontinuidades más otras ocasionales
VI	Tres familias de discontinuidades
VII	Tres familias de discontinuidades más otras ocasionales.
VIII	Cuatro o más familias de discontinuidades.
IX	Brechificado

Fuente: ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.

2.2.13 Resistencia

La resistencia de la matriz rocosa puede ser estimada en el afloramiento mediante índices de campo o a partir de correlaciones con datos proporcionados por sencillos ensayos de campo, como el ensayo de carga puntual (PLT) o martillo de Schmidt.

Los índices de campo permiten una estimación del rango de resistencia de la roca. Los criterios para su identificación aparecen y deben ser aplicados sobre la roca una vez limpiada la capa de alteración superficial. (Vallejo, 2002)

- **Ensayo de carga puntual**

El ensayo de carga puntual tiene como objetivo estimar la resistencia a la compresión simple de manera indirecta, mediante la obtención del índice $IS_{(50)}$ en muestras de rocas regulares e irregulares. Es un ensayo muy sencillo de ejecución rápida y bajo costo. (OSINERGMIN, 2017)



La resistencia a la compresión simple (UCS) se determina de la siguiente manera:

- En primer lugar, se debe determinar el diámetro equivalente (D_e) según el tipo de ensayo ejecutado diametral, axial o irregular.
- En segundo lugar, se debe determinar el valor de I_s a partir del valor de carga de ruptura (P) y el diámetro equivalente (D_e).

$$I_s = \left(\frac{P}{D_e^2} \right)$$

En tercer lugar, dado que el valor I_s es una función del parámetro D_e , se debe aplicar una corrección para obtener un valor único de resistencia, el cual es denominado $I_s(50)$ y representa un valor medido a partir de un ensayo de carga puntual diametral en una muestra con un diámetro de 50 mm, dicho valor se obtiene de la siguiente manera:

$$I_{s(50)} = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45} * \left(\frac{P}{D_e^2} \right)$$

- Finalmente, para estimar el valor de la resistencia a la compresión simple es necesario contar con el factor de conversión K , el cual puede variar de 10 a 50 de acuerdo al tipo de roca. Por ello, es recomendable realizar una serie de ensayos de compresión simple y carga puntual sobre una determinada muestra y así poder determinar el factor de conversión K adecuado para cada dicho tipo de roca. Una vez determinado y calibrado el factor K , el valor de UCS se estima de la siguiente manera:

$$\sigma_c = K * I_{s(50)}$$

- **Ensayo con esclerometría (martillo de Schmidt)**



El ensayo con esclerómetro tiene como objetivo estimar, de manera aproximada, la resistencia a la compresión simple mediante una correlación entre el número de rebotes, dirección de aplicación de carga y la densidad de la muestra. Se puede aplicar tanto a la roca intacta como a las discontinuidades; es un ensayo fácil de realizar, rápido y de uso extendido. A continuación, se detalla el proceso de estimación de la resistencia a la compresión simple a partir de este ensayo. (OSINERGMIN, 2017)

- En primer lugar, se debe conocer la densidad de la muestra sobre la cual se va a desarrollar el ensayo y se debe establecer la orientación de aplicación del martillo. Se recomienda aplicar la carga perpendicularmente a la superficie de la muestra y con una separación mínima equivalente al diámetro de la punta del martillo.
- En segundo lugar, se debe verificar que la muestra esté firmemente apoyada sobre el soporte y comprobar que la superficie esté lisa y sin presencia de discontinuidades. Acto seguido, se realizan al menos 20 mediciones, de las cuales se descartan la mitad (aquellas que presenten los valores inferiores) y se determina la media con las mediciones restantes.
- En tercer lugar, se necesita la tabla de “Dispersión media de valores de resistencia para la mayoría de rocas”, donde se ubica la media de dureza de rebote en el eje X correspondiente a la orientación de aplicación del martillo y se traza una línea vertical que intersecte a la línea correspondiente a la densidad de la muestra. A partir de dicha intersección, se traza una línea horizontal que corte al eje de las ordenadas Y, el cual brindará la resistencia a la compresión estimada de la roca en MPa.

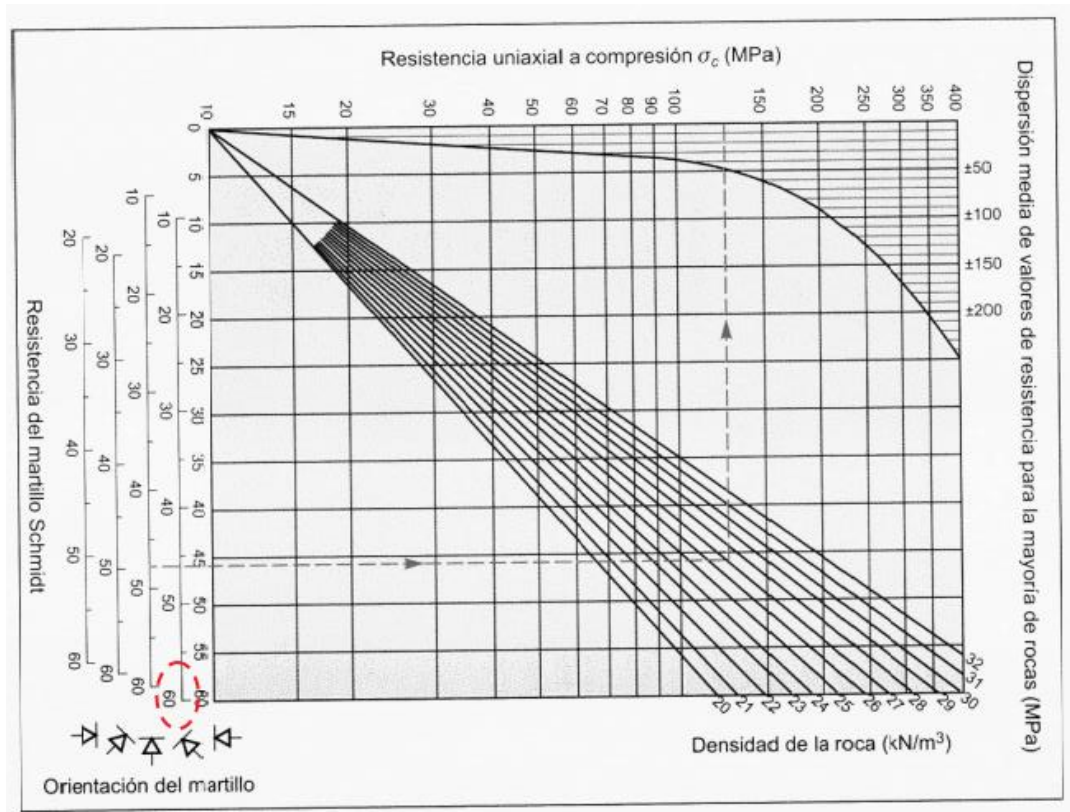


Figura 04: determinación de la resistencia a la compresión simple a partir de los datos obtenidos con el martillo de Schmidt.

Fuente: OSINERGMIN, 2017.

- **Ensayo de compresión simple (UCS)**

El ensayo de compresión simple tiene como objetivo determinar la resistencia máxima a la compresión de una muestra cilíndrica de testigo, la cual es sometida a una carga axial sin ninguna carga de confinamiento, que debe ser aplicada de manera continua e incrementada gradualmente hasta que la muestra falle. El esfuerzo normal vertical sobre el espécimen, cuando la falla ocurre, es conocido como la resistencia a la compresión simple o resistencia a la compresión no confinada.

Además del ensayo de compresión simple propiamente dicho, existen otros ensayos que permiten estimar la resistencia obtenida del ensayo de

compresión simple, estos son el ensayo de carga puntual y el ensayo con esclerómetro. (OSINERGMIN, 2017)

- **Ensayo triaxial**

Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión de una muestra cilíndrica de roca (testigo), que es sometida a una presión de confinamiento constante mientras se le aplica una carga axial de manera continua y gradual. Este escenario permite reproducir en el laboratorio los esfuerzos de confinamiento que experimenta el macizo rocoso in situ.

En el ensayo, la carga axial aplicada representa el esfuerzo principal mayor (σ_1) correspondiente, mientras que la tensión radial producida por la presión hidráulica representa el esfuerzo principal menor (σ_3). A partir de cada par de valores σ_1 y σ_3 se podrá construir la envolvente de esfuerzos (criterio de falla de Hoek & Brown) desde la cual se puede obtener la constante de roca intacta m_i u otros. (OSINERGMIN, 2017)

Tabla 03

Criterios para la Estimación de la Resistencia del Material.

Grado	Descripción	Identificación de terreno	Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)
S1	Arcilla Muy Blanda	Fácilmente penetrable varias pulgadas con el puño	< 0,025
S2	Arcilla Blanda	Fácilmente penetrable varias pulgadas con el puño	0,025 - 0,05
S3	Arcilla Firme	Puede ser penetrada varias pulgadas con el pulgar, con esfuerzo moderado.	0,05 - 0,10
S4	Arcilla Rígida	Fácilmente marcada por el pulgar, solamente puede ser penetrada con gran esfuerzo.	0,10 - 0,25
S5	Arcilla Muy	Fácilmente marcada por la uña.	0,25 - 0,50
S6	Arcilla Dura	Marcada con dificultad por la uña.	> 0,50
R0	Roca Extremadamente Débil	Marcada por la uña	0,25 - 1,0
R1	Roca Muy Débil	Se disgrega por un golpe fuerte de la punta del martillo geológico, puede ser escarbada por el cortaplumas.	1,0 - 5,0
R2	Roca Débil	Puede ser escarbada por el cortaplumas con dificultad, se deforma o disgrega por un fuerte golpe de la punta del martillo.	5,0 - 25
R3	Roca Medianamente Fuerte	No puede ser escarbada o disgregada por una corta plumas, la muestra se fractura con un solo golpe firme del martillo geológico.	25 - 50
R4	Roca Fuerte	La muestra requiere más de un golpe del martillo geológico para ser fracturada.	50 - 100
R5	Roca Muy Fuerte	La muestra requiere de muchos golpes del martillo geológico para ser fracturada.	100 - 250
R6	Roca Extremadamente Fuerte	La muestra solo puede ser astillada con el martillo geológico.	>250

Fuente: ISRM, 1981.



2.2.14 Características de discontinuidades

- **Espaciamiento**

Según Gonzáles de Vallejo et al. (2002), Es la distancia media perpendicular entre los planos de discontinuidad de una misma familia. Influye en el comportamiento en el comportamiento global del macizo rocoso y define el tamaño de bloques de matriz rocosa que forman las diferentes familias”. (p. 181)

- **Rugosidad**

Según Gonzáles de Vallejo et al. (2002), la rugosidad de un plano de discontinuidad determina su resistencia al corte. A mayor rugosidad mayor es la resistencia. La presencia de irregularidades dificulta el movimiento durante los procesos de desplazamiento tangencial por corte a favor de las discontinuidades. (p. 181). Esta referenciada básicamente el comportamiento mecánico de resistencia al corte entre las paredes de la fractura, la alta rugosidad aumenta la resistencia al corte (τ) y que decrece con el espacio de separación entre las paredes y la presencia de relleno suave, en si la rugosidad son las imperfecciones de las paredes por la presencia de los minerales conformadores de la roca o de la creación de superficies escalonadas por los planos de foliación o esquistosidad. (Ferrer, M. et. al. 1999)

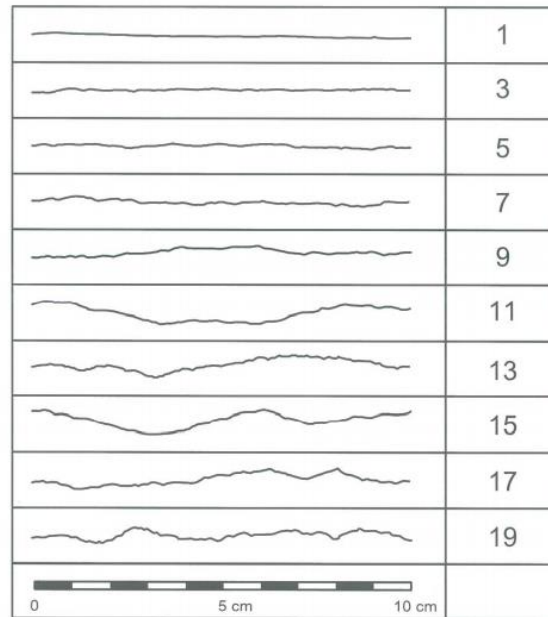


Figura 05: Perfiles de rugosidad y los valores de JRC que corresponden (después Barton y Choubey 1977)

Fuente: Piteau Engineering Latin America.

- **Relleno**

Según González de Vallejo et al. (2002), en ocasiones las discontinuidades aparecen con relleno de materiales blandos arcillosos o con material rocoso de naturaleza distinta a la de las paredes. Las propiedades físicas y mecánicas del relleno, con la resistencia al corte, deformabilidad y permeabilidad, pueden ser muy variables, y controlan el comportamiento de la discontinuidad. (p. 181). Las discontinuidades pueden tener presencia de rellenos de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes. Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables. La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado. (Ferrer, M. et al., 1999)

Debe tenerse en cuenta que, si se trata de materiales blandos o alterados, éstos pueden sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a corto



plazo, si cambia su contenido en humedad o si tiene lugar algún movimiento a lo largo de las juntas.

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca y de las paredes del pozo de perforación.

La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estados.

Se define el relleno como el material que se ubica entre las paredes de las discontinuidades de la roca, en general las estructuras que presentan relleno son fallas o vetillas. Para la determinación de la resistencia del relleno, sin embargo, se pueden también caracterizar los dos tipos en el mismo formato.

El tipo de relleno corresponde a los tipos mineralógicos que constituyen el relleno de la estructura, con énfasis en los de menor resistencia. Por ejemplo Arcilla, Yeso, Brecha de Falla.

- **Abertura**

Según Gonzáles de Vallejo et al. (2002), es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existen relleno. Este parámetro puede sufrir gran variación en diferentes zonas de macizo rocoso: mientras que en superficie la abertura puede ser elevada; al aumentar la profundidad se reduce, pudiendo llegar a cerrarse. La influencia en la abertura en la resistencia al corte es muy importante incluso en discontinuidades muy cerradas, al modificar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes. (p. 181)

- **Alteración de las paredes**



La alteración de las paredes de discontinuidades se refiere al grado de alteración de éstas con respecto a la matriz de la roca, en este caso el núcleo del testigo. los criterios utilizados para determinar este parámetro. Es importante señalar que este parámetro se refiere a la variación comparativa en las propiedades resistentes de la roca. (Vallejo, 2002)

2.2.15 Clasificación geomecánica

Los sistemas de clasificación del macizo rocoso sustituyen un enfoque para estimar las propiedades del macizo rocoso a gran escala. En la industria minera, los sistemas RMR, Q y índice GSI son parámetros de entrada para muchos métodos de diseño, así como parámetro de entrada de muchos programas de modelamiento numérico. Los sistemas de clasificación geomecánica son un intento de representar con un solo valor las propiedades de resistencia de un macizo rocoso. El macizo rocoso es usualmente un material altamente anisotrópico y puede ser representado por más de un sistema de clasificación. (Vallejo, 2002)

2.2.15.1 Sistema RMR

El sistema Rock Mass Rating (RMR) fue desarrollado por Bieniawski, y clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, siendo 0 para roca muy mala y 100 para roca muy buena, de acuerdo a la siguiente tabla.

Las versiones más usadas son el RMR76 y el RMR89. Ambas incorporan la valoración de parámetros como:

- Resistencia de la Roca Intacta.
- RQD.
- Espaciamiento de discontinuidades.

- Condición de discontinuidades.
- Agua subterránea

Tabla 04:

Interpretación de los valores de RMR, (Bieniawski, 1989)

Descripción	RMR	Clase de Macizo Rocoso
Roca Muy Buena	81 – 100	I
Roca Buena	61 – 80	II
Roca Regular	41 – 60	III
Roca Mala	21 – 40	IV
Roca Muy Mala	0 – 20	V

Fuente: Osinergmin

El puntaje total del RMR está definido por:

$RMR = (i) + (ii) + (iii) + (iv) + (v) - \text{Ajuste por orientación de discontinuidades}$

2.2.15.2 Sistema Q

El sistema Q fue desarrollado en el NGI (Norwegian Geotechnical Institute) por Barton, Lien y Lunde (1974), para el diseño de excavaciones subterráneas, principalmente túneles. Este sistema ha sido mejorado y actualizado constantemente, siendo la última actualización del año 2007, la cual incluye investigaciones analíticas respecto al espesor, espaciamiento y reforzamiento de arcos armados reforzados con concreto lanzado (RRS) como una función de la carga y de la calidad del macizo rocoso, así como la absorción de energía del concreto lanzado (Normas EFNARC – European Federation of National Associations Representing for Concrete).

El Sistema Q es un sistema de clasificación del macizo rocoso con respecto a la estabilidad de excavaciones subterráneas para brindar una descripción de la calidad del macizo rocoso. El Sistema Q se basa en la estimación de seis parámetros independientes y expresa la calidad de la roca Q, como función de esos parámetros.

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

Donde:

RQD = Índice de calidad de la roca.

J_n = Parámetro basado en el número de familias de discontinuidades.

J_r = Parámetro basado en la rugosidad de las discontinuidades.

J_a = Parámetro basado en la alteración de las discontinuidades.

J_w = Parámetro basado en la presencia de agua.

SRF = Factor de reducción de esfuerzos

Tabla 05

Interpretación del índice Q (Barton, 1974)

Descripción	Q
Roca Excepcionalmente Mala	0.001 - 0.01
Roca Extremadamente Mala	0.01 - 0.1
Roca Muy Mala	0.1-1
Roca Mala	1 - 4
Roca Regular	4 - 10
Roca Buena	10 - 40
Roca Muy Buena	40 - 100
Roca Extremadamente Buena	100-400
Roca Excepcionalmente Buena	400-1000

Fuente: Osinergmin



R.Q.D./Jn: representa la estructura de la masa rocosa es una medida aproximada del tamaño de los bloques o partículas, los que generalmente se observan para la estabilidad del túnel.

Jr/Ja: representa la rugosidad y las características de fricción de las paredes de las discontinuidades o del material del relleno, que se encuentra en la obtención de las perforaciones diamantinas.

Jw/SRF: representa la pérdida de carga, en las excavaciones subterráneas y la presión de confinamiento del macizo de acuerdo a las profundidades, las condiciones de flujo de aguas subterráneas, el tipo de relleno, la resistencia de la roca y otros aspectos que afectan al comportamiento geomecánica.

2.2.15.3 Índice de resistencia geológica (GSI) (HOEK – BROWN)

El índice de resistencia geológica (GSI) es un índice de caracterización de macizos rocosos que mide el grado de libertad del macizo rocoso, en años anteriores el RMR era el método de clasificación dominante, pero Hoek se dio cuenta que esta clasificación no representaba lo que el buscaba en su envolvente el macizo rocoso.

Para la determinación del GSI según Hoek, Carter y Diederichs (2013).

$$GSI = 1.5 * JCond_{89} + RQD/2$$

Las limitaciones del GSI, el factor escala del proyecto u afloramiento. En el 2007 Hoek, se da cuenta del uso indiscriminado de GSI. Su uso n bloques de roca intacta, demasiadas grandes ya no es recomendable el uso de GSI, Hoek recomienda usar el criterio de Barton

Brandis otra limitación en su aplicación en materiales muy fracturados los cuales se comportan como un material continuo y Hoek recomienda usar criterios de Mohr Coulomb.

ESTRUCTURA	CONDICIONES SUPERFICIALES				
	MUY BUENA Muy rugoso. Superficies frescas sin meteorización	BUENO Rugoso, ligeramente meteorizada, superficies con óxido.	REGULAR Lizas, moderadamente meteorizadas y superficies alteradas.	MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos	MUY MALA Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos
Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masivo in roca in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.	90			N/A	N/A
Levemente fracturado: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades	80				
Moderadamente Fracturado: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o mas familias de discontinuidades		70			
Muy Fracturado/Disturbado/Agrietada: Foleada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistocidad		60			
Desintegrado: Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondeadas			50		
Foliado/Laminado/Cizallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamento o esquistocidad débil o planos de corte			40		
			30		
				20	
	N/A	N/A			10

Figura 06: GSI (Hoek, Marinos 2000)

2.2.16 Fluidos hidrotermales

Una gran parte de yacimientos emplazados en las franjas metalogénicas del Perú fueron mineralizados por fluidos hidrotermales conocidos también como aguas juveniles, aguas magmáticas, aguas hipogénicas. Los fluidos hidrotermales se forman al final de la consolidación magmática, el mismo que tiene de 1 – 5% de agua, en el Perú el magma, corresponde a rocas ígneas de composición félsicas a intermedias (calco – alcalinas). En profundidad se tiene mayor presión y



temperatura, cerca de superficie la presión y temperatura disminuyen. En esta última condición decrece la solubilidad de los iones complejos de los fluidos hidrotermales, produciéndose las precipitaciones para formar estructuras mineralizadas. El flujo hidrotermal en profundidad es ligeramente ácido, al reaccionar dicho flujo con la roca encajonante durante su ascenso la acidez baja y se produce la precipitación de los minerales. (Tumialan P., 2000)

2.2.16.1 Alteración hidrotermal

El término “alteración hidrotermal” como su nombre lo dice, hace referencia al efecto de las aguas o fluidos de altas temperaturas sobre las rocas, las cuales se elevan desde la profundidad hacia la superficie. Estos fluidos hidrotermales son en su mayoría de origen magmático (Giggenbach, 1997). Implica una interacción química entre los elementos de la roca primaria y los elementos (iones disueltos en gran cantidad) llevados en solución a través del flujo hidrotermal (Fitcher, 2000; Zharikov et al., 2007). Si producto de esta interacción entre la roca primaria y el fluido hidrotermal hay sustracción o adición de compuestos químicos, se denomina metasomatismo (Zharikov et al., 2007). La alteración hidrotermal comúnmente está localizada dentro de un radio de unos pocos metros de las fallas o fracturas principales, y puede ocurrir a lo largo de zonas de un kilómetro de ancho o más (Whaltam, 2002). Debido a los cambios químicos y además mineralógicos ocasionados en la roca primaria, la alteración hidrotermal. Puede ser considerada como un proceso de transformación química y mineralógica de la roca primaria en un sistema termodinámico abierto. A pesar de existir estos cambios químicos y mineralógicos, no existe un cambio de volumen. En la



naturaleza se reconocen variados tipos de alteración hidrotermal, caracterizados por asociaciones de minerales específicos. Los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido hidrotermal, la composición de la roca encajonante, la temperatura, la acidez (pH), la energía, la relación agua/roca y el tiempo de interacción, entre otros. (Townley, 2005)

2.2.16.1.1 Alteración argílica

Se caracteriza por la presencia de minerales arcillosos como el caolín con diferentes cantidades de cuarzo. Al tener metasomatismo de H⁺ intenso y lavados con pH muy ácidos, varía gradualmente hacia las partes internas en zonas fílicas y externamente hacia alteraciones propilíticas (Rose y Burt, 1979). Esta alteración resulta muy útil como guía de mineralización y sus ambientes principales son sistemas epitermales y pórfidos.

Los feldespatos se destruyen totalmente, la alteración da paso a minerales como alunita y en otros casos la caolinita. Esta alteración sucede cuando las rocas sufren de hidrólisis extrema donde los enlaces de aluminio se rompen en los silicatos dando como resultado la formación de la alunita y óxidos de aluminio. En algunos otros casos extremos la roca se transforma llegando a poseer una textura “vuggy silica” o masa de sílice oquerosa de residuo. Las condiciones de formación son de pH ácidos a altas temperaturas donde pequeñas variaciones pueden dar como resultado diferentes aleaciones minerales. (Ospino, 2022)

2.2.16.1.2 Alteración fílica



Está representada por el ensamblaje cuarzo-sericita-pirita, resumida en las siglas (QSP). Sus fases minerales principales son el feldespato potásico, caolinita, calcita, biotita, rutilo, anhidrita y apatito. Se puede presentar una variación hacia la alteración potásica por medio del incremento en las cantidades de feldespato potásico y hacia la argílica por el aumento de minerales arcillosos. (Barton y Skinner, 1979)

Esta alteración ocurre normalmente entre valores de pH de 5 a 6 sobre los 250°C. Cuando el medio tiene temperaturas más bajas de 200 a 250 C° se da la illita y en variaciones pequeñas a esta, se da la illita-smectita. A temperaturas sobre los 450°C el corindón aparece en asociación con sericita y andalucita (Barnes y Czamanske, 1967). En esta alteración pueden aparecer micas como la paragonita, estableciéndose como un mineral dominante y otras micas como la roescolita y la fuchsita. A este tipo de alteración se le atribuye como principal formador la desestabilización de feldespatos cuando hay presencia de H⁺, OH⁻, K y S dando como resultado cuarzo, mica blanca, pirita y algo de calcopirita. (Ospino, 2022.)

2.2.16.1.3 Alteración propilica

Domina la asociación clorita-epidota dónde se presentan minerales como la albita, calcita, pirita, y accesorios de cuarzo, magnetita e illita. La alteración propilítica se presenta como halo gradacional y distal cercana a una alteración potásica, con minerales graduados desde actinolita y biotita en la zona de contacto a actinolita, y epidota en la zona propilítica (Barton, P.B. y Skinner, B.J., 1979). A medida que se llega más al punto de la



alteración se observan asociaciones donde predominan la Epidota, Clorita, Albita y carbonatos gradando a zonas con más abundancia en clorita y zeolitas hidratadas y cristalizadas en bajas temperaturas. Estas características son el resultado de una gradiente termal que disminuye desde el núcleo termal (alteración potásica) hacia afuera. Para que esta alteración ocurra deben predominar condiciones de pH neutro a alcalino a temperaturas bajas (200°- 250°C). La presencia de actinolita (280°- 300°C) puede ser indicador de la zona de alteración propilítica interior. (Ospino, 2022.)

2.2.16.1.4 Alteración potásica

Es común en yacimientos minerales tipo pórfido y epitermales, en los cuales se manifiesta hacia las partes más profundas y centrales constituyendo generalmente el núcleo. Los minerales característicos de esta alteración son el feldespato potásico en pófidios; y la adularia en sistemas epitermales. Es usualmente acompañada por sulfuros (calcopirita, pirita y molibdenita). (Ospino, 2022.)

La alteración potásica se forma como un reemplazamiento de plagioclasas y minerales máficos a temperaturas entre 450-600°C. Los ensamblajes comunes son Feld K-Bio-Qtz, Feld K-Chl, Feld K-biotita-magnetita acompañados por cantidades variables de minerales como albita, sericita, anhidrita, apatito y ocasionalmente rutilo. Los feldespatos potásicos en la zona potásica son comúnmente rojizos en color debido a las diminutas inclusiones de hematita. Los fluidos hidrotermales



responsables de esta alteración son normalmente de pH neutro a alcalino.
(Malvicini y Saulnier, 1979)

2.2.16.1.5 Alteración silcificación

Caracterizada por la destrucción total de la mineralogía original. La roca queda convertida en una masa silíceo. Representa el mayor grado de hidrólisis posible. Es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos, en un rango de temperatura de 300°-400°C y en un rango de pH 5 a 6.

2.2.17 Televiewer

Desde la introducción de televiewer en los pozos, a principios de la década de 1990, ha habido un aumento de uso considerable en todas las industrias, incluida la exploración y producción mineras, la ingeniería geotécnica, la investigación universitaria y la exploración de aguas subterráneas.

Con las herramientas actuales que brindan imágenes de resolución mucho más alta y tasas de recolección más rápidas, tanto los telespectadores acústicos como los ópticos se han convertido en la corriente principal en las investigaciones del subsuelo y brindan información valiosa sobre la litología, la estructura, las fracturas y la orientación de la tensión dentro del pozo. (Bornav, 2017)

2.2.17.1 Televiewer acústico

La sonda acústica genera una imagen de la pared del pozo transmitiendo pulsos ultrasónicos desde un transductor fijo con espejo giratorio y registrando la amplitud y el tiempo de viaje de las señales reflejadas en la interfaz entre el fluido del pozo y la formación (pared del



pozo). Una superficie de pozo más dura se traduce en una mayor amplitud registrada por la herramienta, mientras que las superficies más blandas, las fracturas y los espacios vacíos se registran con una amplitud relativa más baja. (Bornav, 2017)

2.2.17.2 Televiewer óptico

El sistema Optical Televiewer consta de un conjunto óptico y una electrónica completamente rediseñados, y utiliza un sensor de imagen digital CMOS de alta resolución combinado con una lente ojo de pez y luces LED.

La herramienta produce una imagen digital sin envolver de 360 °, extraordinariamente nítida y continua de la pared del pozo, ya sea en el aire o en agua clara. Se puede lograr una resolución de hasta 1800 píxeles sobre la circunferencia del pozo, lo que lo hace ideal para análisis litológicos, mineralógicos y estructurales. (Bornav, 2017)

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Abertura

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de las discontinuidades cuando no existe relleno. Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso: mientras que en la superficie el macizo puede ser alta, esta se reduce por la profundidad pudiendo llegar a cerrarse. (González de Vallejo, 2002)



2.3.2 Andesita

Es una roca ígnea - plutónica de textura afanítica de color grisáceo, es rica en plagioclasas, feldespatos y anfíboles. Los minerales de cuarzo y piroxeno pueden estar ausentes o presentes en pequeñas cantidades. (Soto, 2010)

2.3.3 Azimut

Es la dirección de una línea, definida por el ángulo horizontal de una poligonal que siempre parte del norte en sentido de las manecillas del reloj, respecto al norte. Su abertura angular varía entre 0 a 360 grados. (Gonzales de Vallejo, 2002)

2.3.4 Buzamiento

Angulo medido entre la línea de intersección del plano geológico con un plano vertical y su proyección horizontal, es la línea mayor pendiente del plano, siempre es perpendicular a la línea de rumbo. Los valores del ángulo van desde 0° hasta 90°. (Gonzales de Vallejo, 2002)

2.3.5 Caracterización geomecánica

Son sistemas de clasificación que proporciona una evaluación y estimación de la calidad del macizo rocoso a partir de observaciones en el campo y ensayos sencillos, como son R.M.R. (Bieniawski), Q (Barton) y G.S.I. (Hoek & Brown). (Norly, B. et al. 2012). La clasificación de macizos rocosos, permiten a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento. (Torrijo E. & Córtes G., 2007)



2.3.6 Clasificación del macizo rocoso

Los sistemas de clasificación del macizo rocoso sustituyen un enfoque para estimar las propiedades del macizo rocoso a gran escala. En la industria minera, el índice GSI y los sistemas RMR y Q, son parámetros de entrada para muchos métodos de diseño, así como parámetro de entrada de muchos programas de modelamiento numérico. Los sistemas de clasificación geomecánica son un intento de representar con un solo valor las propiedades de resistencia de un macizo rocoso. El macizo rocoso es usualmente un material altamente anisotrópico y puede ser representado por más de un sistema de clasificación.

2.3.7 Diaclasas

Plano de discontinuidades en un cuerpo rocoso, sin movimiento perceptible paralelo a la superficie de discontinuidades. (Gonzales de Vallejo, 2002)

2.3.8 Discontinuidad

González de Vallejo, 2002. Lo define como: Cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Que condiciona de una forma definitiva sus propiedades y comportamiento resistente deformacional e hidráulico. (González de Vallejo, 2002)

2.3.9 Diorita

Roca ígnea intrusiva de textura fanerítico, compuesto de plagioclasas ricas en sodio, cantidades mínimas de hornblenda, biotita y piroxeno. Contiene



cantidades poco significativas de cuarzo, haciendo que la diorita sea una roca de grano minerales blancos y negros. (Soto, 2010)

2.3.10 Ensayo de Carga puntual

El ensayo de carga puntual tiene como objetivo estimar la resistencia a la compresión simple de manera indirecta, mediante la obtención del índice IS (50) en muestras de rocas regulares e irregulares. (OSINERGMIN, 2017)

2.3.11 Espaciado

El espaciamiento entre los planos de discontinuidades condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa y, por lo tanto, define el papel que esta tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso, y su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades. (Gonzales de Vallejo, 2002)

2.3.12 Fractura

Término general aplicable a cualquier discontinuidad mecánica en rocas. Es un término colectivo para grietas, diaclasas, fallas, etc. (Gonzales de Vallejo, 2002)

2.3.13 Logueo

Descripción detallada de un testigo de roca; litología, mineralogía, alteración, estructuras. (Susanibar, 2017)

2.3.14 Índice de calidad de roca, RQD

Calificación de la calidad de una masa de roca propuesta por Deere con base en el estado de los núcleos de perforación de diámetro. Numéricamente el RQD se define como la relación porcentual entre a) la sumatoria de las longitudes



de los trozos de núcleos mayores a 10cm, y la longitud de la perforación. (Deere, 1967)

2.3.15 Orientación

Posición de la discontinuidad en el espacio, definida por la dirección del buzamiento y el buzamiento de la línea de máxima pendiente en el plano de la discontinuidad. (Instituto Geológico y Minero de España, 2006)

2.3.16 Perforación

Acción que consiste en agujerear una superficie, con una maquina perforadora. (Susanibar, 2017)

2.3.17 Relleno

Material que separa las paredes de una discontinuidad, normalmente más débil que la roca matriz. (Gonzáles de Vallejo, 2002)

2.3.18 Roca

Es un agregado natural duro y compacto de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. (Gonzáles de Vallejo, 2002)

2.3.19 Rugosidad

La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos, que para discontinuidades sin cohesión puede ser estimada a partir de datos de campo y expresiones impiricas. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y por lo general, con el espesor de relleno. (Gonzáles de Vallejo, 2002)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio está enfocado en el campo Descriptivo - Aplicativo del comportamiento geomecánica del macizo rocoso bajo la influencia de la alteración hidrotermal en relación a datos de campo, donde se pretende brindar resultados inmediatos para interpretaciones en base al logueo geotécnico, geológico, y proyecciones estereográficas mediante el software Dips.

3.1.1 Tipo de investigación

El presente estudio de investigación es de tipo descriptivo, aplicativo con respecto a las características del macizo rocoso en función a la influencia del tipo de alteraciones hidrotermales que se presenta de cada litología en in situ.

3.2 POBLACION Y MUESTRA

3.2.1 Población

La población considerada para el presente estudio comprende un área de 17.039 Ha, dentro de las cuales se realizarán perforaciones diamantinas para determinar las características geomecánicas y tipos de litologías. También se conocerá la influencia de las alteraciones hidrotermales en el macizo rocoso.

3.2.2 Muestra

Las muestras se obtuvieron a través de la perforación diamantina, desde la parte superficial hasta una profundidad de 701.4m; de los sondajes DDH 1, DDH 2, DDH 3, DDH 4, DDH 5, DDH 6. Para la ubicación de los sondajes, se utilizó

el sistema de posicionamiento global (GPS) y la Brújula Brunton para posicionar el azimut y el buzamiento.

3.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

3.3.1 Variable independiente

Clasificación Geomecánica
RMR
Q Barton
GSI

3.3.2 Variable dependiente

Alteración Hidrotermal
Alteración Argílica
Alteración Propílica
Alteración Filica
Alteración Clorita - sericita

3.4 ETAPAS DE INVESTIGACIÓN

3.4.1 Recopilación de información

La primera etapa será identificar el área de investigación, donde se recopilará gran parte de información geotécnica y geológica, asimismo reportes e informes realizados de las campañas anteriores. En esta etapa se estandarizarán las hojas de logueo geotécnico y su adecuado registro de datos para su posterior análisis.

3.4.2 Trabajo en campo

Se realizará la obtención de datos e informaciones, a través de los testigos de perforación, mediante el logeo geotécnico de cada sondaje correspondiente a la zona de estudio del proyecto minero. En esta etapa también está contemplado realizar lo siguiente: Ubicación de Lugares a Perforar, construcción de plataformas, colocación de puesta de azimut en la máquina perforadora, regularizado de cajas de testigo, identificación de Litologías en in situ, logeo Geomecánica, logeo Geológico, realización de televiever, selección de muestras para ensayo carga puntual y densidad.



Figura 07: Regularización de las cajas de testigos de perforación, en in situ.

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3 Trabajo en gabinete

Al obtener los datos del campo, se realizará la trabajabilidad de los datos con la ayuda de software, como: sistema de información geográfica ArcGis 10.5, AutoCAD Civil 3D 2018, AutoCAD 2018, Dip 7, Leafrog, Microsoft Excel 2016, Microsoft Office 2016. Todos los datos serán trabajados mediante los softwares mencionados. Con el objetivo de determinar la influencia de las alteraciones hidrotermales en la resistencia de la roca.



En esta etapa, se generan los mapas geomecánicas, mapas geológicos, estructurales y alteraciones.

3.5 EQUIPOS DE CAMPO

- GPS Garmin 62X 303
- Tablet para logueo Geomecánico
- Equipo de Carga Puntual
- Impresora
- Cámara
- Laptop

3.6 INSTRUMENTOS

- Brújula Brunton (Azimutal)
- Lupa Iwamoto (20X)
- Picota de Geólogo
- Tablero de Aluminio
- Magnetómetro
- Rayador
- Protactor
- Wincha de 100m
- Flexómetro 5m

3.7 MATERIALES

- Planos
- Tarjetas para muestras
- Libreta de notas y útiles de escritorio



CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

El presente trabajo de estudio se realizará en el proyecto calatos, Departamento de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Distrito de Torata, Peru, a una altitud variable entre 2800,00 y 3200,00 m.s.n.m.

Geológicamente se encuentra en las laderas pertenecientes a la cordillera occidental del sur del Perú, definida regionalmente como el dominio del arco magmático cretacio-paleogeno. Esta región ha experimentado interacción de placas convergentes, procesos de subducción y posterior a la orogénesis andina.

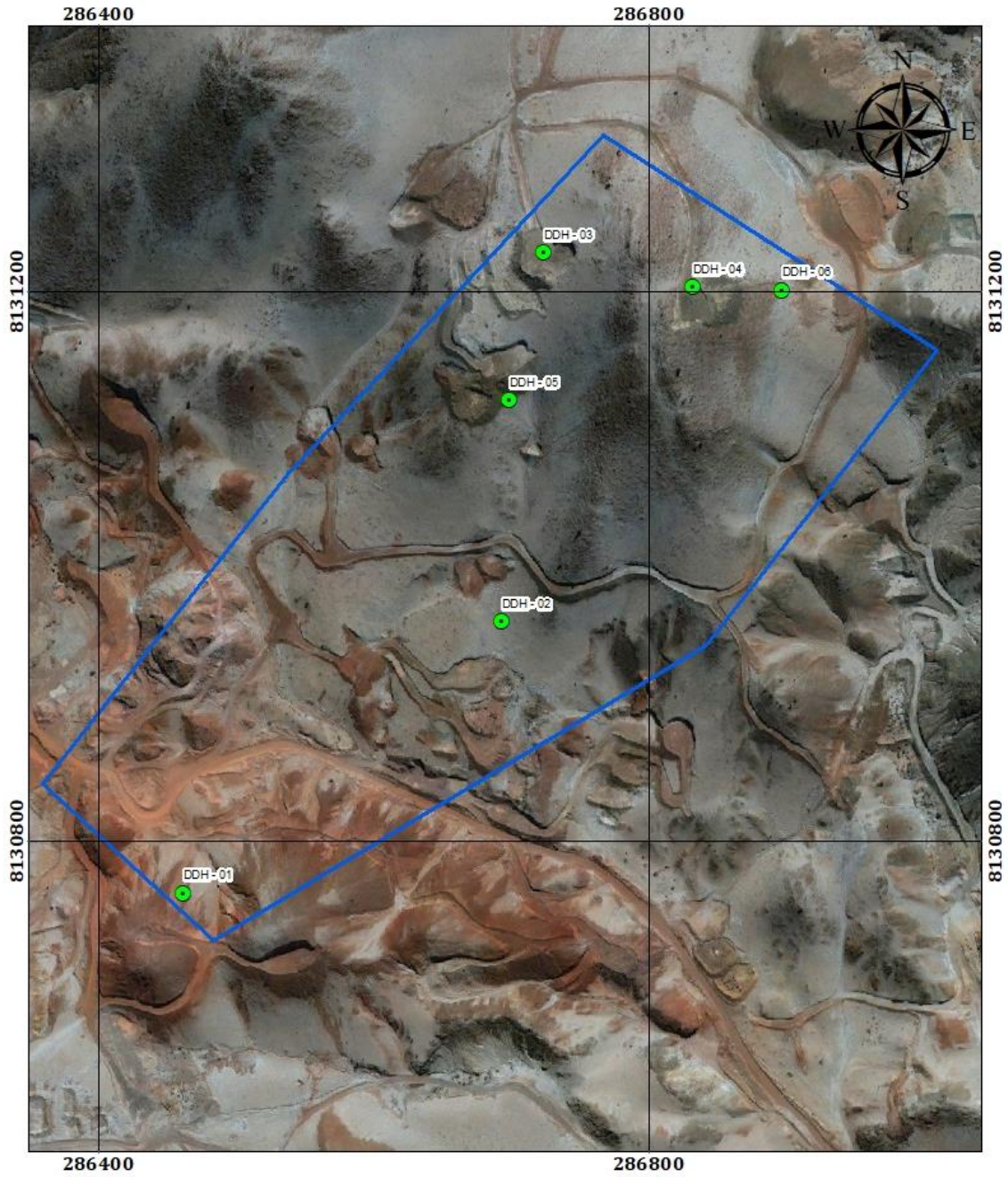
Se encuentra en la extensión NE del alineamiento Toquepala-Quellaveco-Cuajone, con tendencia NW-SE que se comprende un cinturón interno de intrusiones más jóvenes que cubren desde Cretáceo tardío hasta el Eoceno Tardío.

Tabla 06

Área de estudio.

Punto	Coordenadas	
	Este	Norte
1	286537	8131067
2	286767	8131314
3	287009	8131158
4	286842	8130943
5	286483	8130728
6	286359	8130842

Fuente: Elaboración propia.



Leyenda	
	PUNTOS_DE_SONDAJES
	Perimetro

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
Tesis: COMPORTAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LAS ZONAS DE ALTERACION HIDROTHERMAL DEL PROYECTO CALATOS - MOQUEGUA			
PLANO DE UBICACION DE SONDAJES			
DATOS GEOGRAFICOS		UBICACION	
PROYECCION: UTM		REGION : MOQUEGUA	
DATUM : WGS 84		PROV. : M. NIETO	
ZONA : 19 S		DIST. : TORATA	
		ASESOR: LEONEL PALOMINO ASENCIO	
		BACH. NELSON FREDY RIVERA LLANQUE	
		ESCALA: 1/3500	
		FECHA: SEPTIEMBRE 2023	
			PS

Figura 08: Área de ubicación de sondajes

Fuente: Elaboración Propia

4.2 ACCESIBILIDAD

El acceso desde la ciudad de Lima se realiza de la siguiente manera:

Tabla 07:

Vías de acceso al área del proyecto.

RUTA	DISTANCIA (Km.)	TIEMPO (Hrs.)	ACCESO
Lima – Tacna	1370	2	Vía aérea
Tacna –Moquegua	150	2	Carretera asfaltada
Moquegua – Torata	22.5	1	Carretera asfaltada
Torata – Desvió Calatos (carretera Omate)	88.5	2	Carretera afirmada
Desvió Calatos (carretera Omate) - Proyecto Calatos	48	0.6	Carretera afirmada y trocha carrozable
TOTAL	1679	7.6	

Fuente: Elaboración propia del tesista.

4.3 CLIMA Y TEMPERATURA

El clima en la zona de estudio se identificada como; árido, semiárido y templado, propia de las regiones desértica; los meses más cálidos son de enero a marzo, con temperaturas promedio de 18.1°C. durante la temporada de invierno (junio a agosto) las temperaturas alcanzan hasta 0°C y los niveles más altos de precipitación ocurren entre noviembre y marzo; en promedio anual esta entre los 100 y 125 mm/año.

4.4 GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio se aprecia escaso afloramientos de rocas, la mayor parte se encuentra cubierto por cenizas volcánicas. Las unidades aflorantes más notorias corresponden al Grupo Toquepala, Intrusivos y pórfidos. Las unidades volcánicas se encuentran afectadas por pulsaciones de cuerpos intrusivos acidas a intermedias.

4.4.1 Grupo Toquepala

El Grupo Toquepala se encuentra constituido por los flujos andesíticos, dacíticos, aglomerados, tufos y riolitas. Esta unidad litológica predominante que fue encontrada, en las perforaciones diamantinas; es de composición riolítica y andesítica. La Riolita presenta una textura laminada con presencia de fenocristales de cuarzo y feldespato de hasta 3mm. Siguiendo con la programación de perforaciones, se encontró también la andesita; que generalmente tienen una textura de grano fino a afanítico.

El Grupo Toquepala es la unidad litológica que ha sido extensamente afectada en la región por los intrusivos. En algunas zonas se puede observar intrusiones de pórfidos y rocas intrusivas.



Figura 09: Grupo Toquepala – Riolita.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Rocas intrusivas

4.4.2.1 Diorita

La diorita se encuentra constituido por cristales de plagioclasas, minerales maficos alterándose a cloritas y epidotas. En las perforaciones diamantinas se observan, que no presentan un contacto definido entre la diorita y la monzonita, sin embargo, el cambio de la granulometría es muchos casos es muy abrupto, probablemente debido a cambios bruscos

de temperatura al momento del emplazamiento del Plutón. Esta unidad litológica presenta textura equigranular con un tamaño de grano fino a medio.



Figura 10: Roca diorita, a una profundidad de 700m.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 11: Roca diorita, a una profundidad de 700m.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.2 Pórfido dacítico

Se encuentra constituido por cristales de plagioclasa, minerales maficos y cuarzo. La abundancia de cuarzo que en promedio es de 10% hace posible su reconocimiento, incluso cuando, esta unidad se encuentre alterada. En algunas zonas existe sobreabundancia de cristales de cuarzo (20% a 25%) que se asemeja a la composición de riolita.



Figura 12: Pórfido dacítico, con venillas de cuarzo, con una alteración potásica.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.3 Pórfidos tardíos

Los pórfidos tardíos se encuentran con débil alteración propílica, los fenocristales de plagioclasas se encuentran en una matriz afanítica, en algunas zonas se puede apreciar cuarzos que no superan el 2%.

Se presentan en forma de diques con anchos generalmente menores a 10m.



Figura 13: Pórfido tardío, afectado por alteración propílica.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.4 Diatrema

La diatrema se presenta en diferentes texturas, aunque predomina el color gris oscuro a blanco. Se aprecia en su composición de textura rocas y minerales existentes en la zona del depósito.



Figura 14: Diatrema, compuesto por diferentes clastos de roca.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.5 Brecha Hidrotermal

Se caracterizan por la presencia de mineralización en la matriz, corresponde a una brecha con fragmentos angulosos a subredondeados, pueden ser polimicticas o monomicticas, la matriz presenta mineralización de pirita, anhedrita, y en algunos casos minerales de Cu.

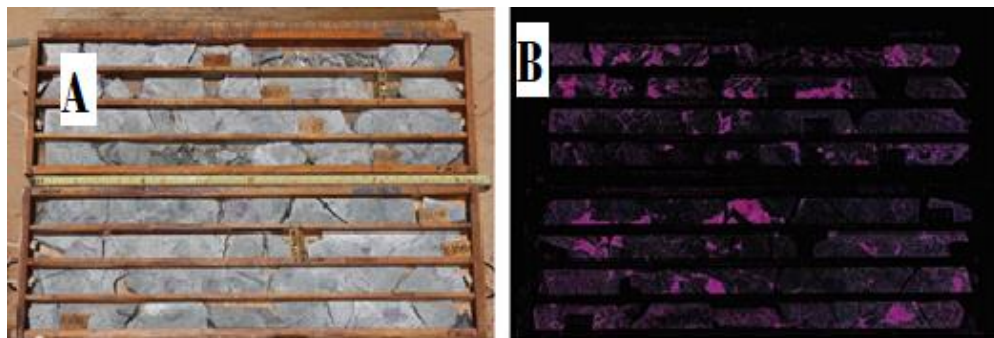


Figura 15: A. Brechas de anhidrita (foto real). B. brecha de anhidrita de color violáceo, procesada para ver el porcentaje de anhedrita.

4.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

El área de estudio está ubicada en una cuenca estructural tipo jog, a lo largo del tiempo se depositaron materiales cuaternarios. Esta afectado por la falla Micalaco con dirección N 130°-135° E de componente transcurrente dextral y buzamiento 70° SO, y en la parte NW del Sistema de Fallas Incapuquio, cuyos alineamientos continúan por Cuajone, Quellaveco y Toquepala. Se emplazó en un sistema de falla transgresiva con movimiento dextral, generando un sigmoide donde se depositó una cuenca intramontaña

(Cuenca Jaguay). En esta zona de extensión (sigmoide) se emplazaron cuerpos intrusivos de diferentes fases como parte del metalotecto asociado a la formación del yacimiento cuprífero. El control estructural dominante para la formación del yacimiento parte del Sistema de Fallas Incapuquio, donde emplazó la cuenca de extensión (sigmoide) producto de la falla dextral Micalaco contribuyendo con la formación del depósito los Calatos.

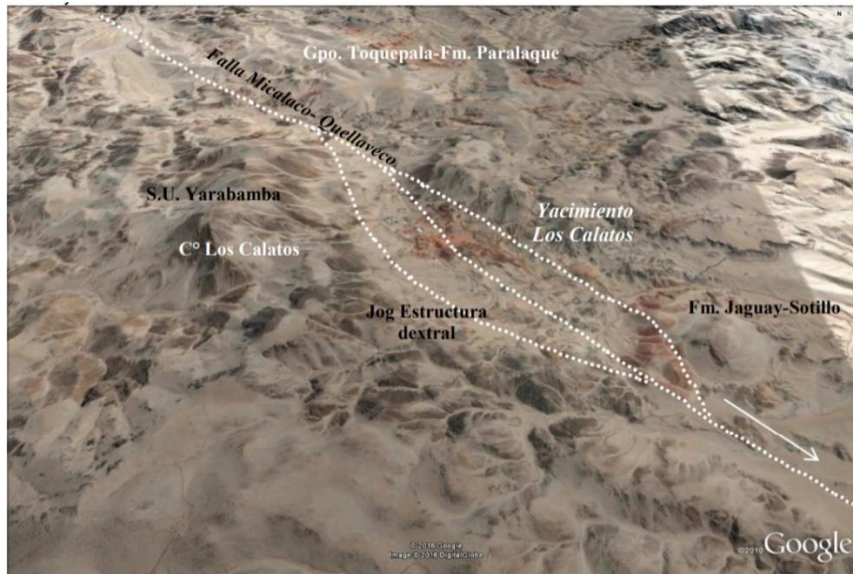


Figura 16: Imagen satelital del yacimiento los calatos, se observa la zona lixiviada.

4.6 ALTERACION HIDROTERMAL

Las alteraciones hidrotermales en la zona de estudio son bastante notorias de acuerdo a sus ensambles mineralógicos, reconociendo las siguientes alteraciones; alteración argílica, predominado por las arcillas de caolín, alteración fílica, alteración propílica y alteración clorita-sericita. Dentro de la diorita se puede apreciar predominantemente la alteración propilítica (clorita, epídota, pirita) que se localiza en la parte distal del porfido, principalmente al NO. La mineralización reconocida, consiste en minerales oxidados de hierro (hematita, limonita y jarosita) y más abajo se encuentra la alteración clorita sericita.

a. Alteración Clorita-sericita

La alteración clorita-sericita, aparece como una transición entre la alteración potásica y alteración filica, aunque también se han encontrado islas de este tipo de alteración en las diferentes zonas del área de estudio.



Figura 17: Alteración clorita – sericita.

Fuente: Elaboracion propia.

b. Alteración Fílica

La alteración filica caracterizada por el conjunto cuarzo-sericita - pirita, esta alteración a afectado ampliamente a las unidades intrusivas del depósito. El más afectado por las alteraciones mencionadas es el pórfido dacítico, que en su mayoría presenta una textura irreconocible. La otra unidad que se encuentra afectada son las porciones del precursor diorita, que han estado en contacto con el pórfido dacítico. Esta alteración adquiere una forma tabular que se extiende a las partes superiores que se superpone.

c. Alteración Propilica

La alteración propilitica afecta en la gran medida a las rocas hospedantes del depósito, es decir el precursor y el Grupo Toquepala. A menor intensidad afecta al resto de unidades, incluidos a los pórfidos tardíos que solo presentan esta alteración.

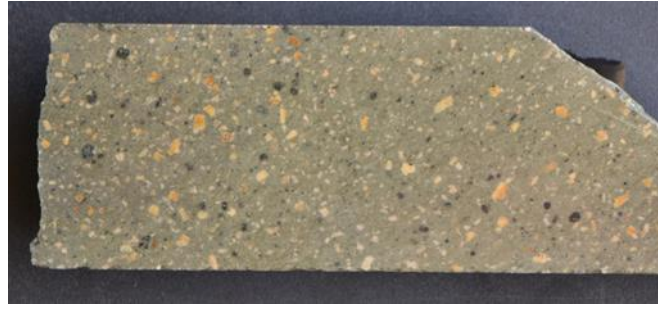


Figura 18: Alteración propílica, con ensamble típico de clorita, epidota, calcita y pirita.

Fuente: Elaboración propia.

d. Alteración Argílica

La argilización, es producto de la meteorización-oxidación, se caracteriza por la destrucción de feldspatos en condiciones de una hidrolisis muy fuerte, dando lugar a la formación de caolinitas.

4.7 LOGUEO GEOTECNICO DE TESTIGOS DE PERFORACION

Los parámetros de registro geotécnico capturan toda la información relevante para los principales sistemas de clasificación de rocas dentro de cada dominio geotécnico

4.7.1 Lugar de logueo

Estos procedimientos están dirigidos principalmente a la ejecución del logueo o registro en un lugar adyacente a la plataforma, pero también son apropiados para el logueo o registro en una ubicación remota tal como un cobertizo / zona de testigos. Idealmente, cada corrida debe ser registrada en la plataforma. Esto es particularmente deseable para la medición de las propiedades de las rocas tales como la longitud de RQD, la estimación de la resistencia del campo, la frecuencia de fractura y también para el muestreo geotécnico para ensayo de carga puntual.

4.7.2 Fotografía de testigos

La fotografía de testigos proporciona información invaluable sobre el testigo para referencia futura. Las fotografías proporcionan un registro permanente del testigo que puede llegar a ser cortado, muestreado, dañado o deteriorado con el tiempo. Es imprescindible que se obtengan fotografías de buena calidad para cumplir con este propósito. Varios requisitos principales se pueden describir de la siguiente manera:

- El testigo debe ser fácilmente visto y evaluado a partir de fotos, con información de referencia.
- El testigo debe aparecer en su verdadero color en las fotos y estar uniformemente iluminado.
- Hay una imagen clara de la información importante, incluyendo el tipo de roca, las estructuras y las texturas.



Figura 19: Testigos extraídos, puestas en caja

Fuente: Elaboración propia.

4.8 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS – GEOLÓGICO

Para la caracterizar el macizo rocoso a través de cores, se realiza un trabajo detallado de registro geotécnico – geológico de los sondajes perforados que se encuentran en el área de estudio.

4.8.1 Caracterización Geológica - Geomecánica de la perforación DDH-01

El sondaje DDH -01; está orientado para obtener las características geológicas y geomecánicas; en la parte superficial se aprecia afloramiento de Pórfido Dacítico 1, con alteración argílica compuesto por arcillas (caolín), asociado a óxidos de fierro y con esporádicos relictos de diorita; presenta un RQD de 0% y la resistencia de la roca es menor a 25MPA. A partir de los 100 metros la resistencia de la roca aumenta con rangos de 25 – 50MPA, con RQD Buena. A los 250 metros se aprecia la litología Diorita con alteración propílica (clorita, epidota, piritita, carbonatos) y la resistencia de la roca es de es regular, con RQD buena.

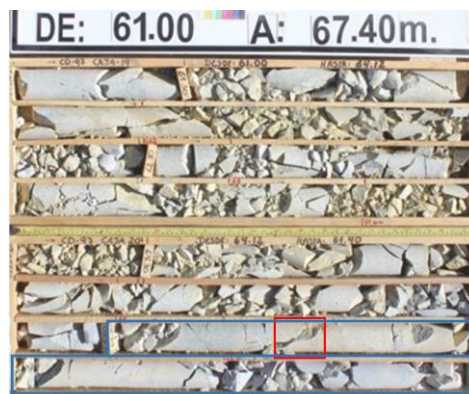


Figura 20: Testigos de perforación diamantina, que muestra un bajo de índice de calidad de RQD.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 08:

Parámetros geomecánicas del sondaje DDH-01

De	A	Récup	RQD	CALIDAD	Litología	Alteración	dureza1	espacia_discont	Familias	Suav	Ond	ALT	RELL	ABERT
0	30.6	100%	0%	Muy Mala	PDA 1	5	1 - 5 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Débilmente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
30.6	35.12	99%	12%	Buena	PDA 1	5	5 - 25 MPa	60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aléctorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	2.5 - 5 mm
35.12	38.7	100%	25%	Muy Mala	PDA 1	5	1 - 5 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
38.7	56.8	99%	24.0%	Regular	PDA 1	5	5 - 25 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades + aléctorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	> 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
56.8	62.8	100%	24%	Mala	PDA 1	5	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	2.5 - 5 mm
62.8	65.8	100%	0%	Muy Mala	PDA 1	5	1 - 5 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
65.8	69	99%	87%	Regular	PDA 1	3	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
69	73.8	99%	23%	Regular	PDA 1	3	5 - 25 MPa	60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
73.8	74.8	100%	0%	Muy Mala	PDA 1	3	1 - 5 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
74.8	83.7	99%	88%	Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
83.7	86.9	99%	0%	Muy Mala	PDA 1	3	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
86.9	92.1	100%	52%	Muy Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	1 familia de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
92.1	95.3	100%	24%	Mala	PDA 1	3	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
95.3	100.1	100%	89%	Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
100.1	103	100%	20%	Mala	PDA 1	3	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
103	145.2	100%	84%	Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
145.2	154.3	100%	23%	Mala	PDA 1	3	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
154.3	172.6	99%	90%	Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades + aléctorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
172.6	176.2	100%	24%	Mala	PDA 1	3	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
176.2	190.2	100%	87%	Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
190.2	198.6	100%	24%	Buena	PDA 1	5	5 - 25 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
198.6	215.9	100%	79%	Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
215.9	217.6	99%			PDA 1	3	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
217.6	224.4	94%	21%	Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
224.4	236.4	98%	84%	Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
236.4	243.2	80%	2%	Muy Mala	PDA 1	3	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Débilmente ondulada	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
243.2	248.6	99%	96%	Muy Buena	PDA 1	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades + aléctorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
248.6	254.1	100%	91%	Muy Buena	DI	4	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
254.1	258.2	100%	96%	Muy Buena	PDA 3	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades + aléctorio	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
258.2	264.9	98%	0%	Muy Mala	PDA 3	3	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelo)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
264.9	290	99%	80%	Buena	PDA 3	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
290	298.6	100%	49%	Mala	PDA 3	3	25 - 50 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
298.6	304	94%	14%	Muy Mala	PDA 3	3	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
304	306.7	94%	33%	Mala	PDA 3	3	25 - 50 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
306.7	353.3	100%	96%	Muy Buena	PDA 3	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades + aléctorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	10 - 25 mm

A 250 m. se aprecia litología pórfido dacítico 3, de textura porfirítica con alteración filica; la resistencia de la roca es de 25 a 50 MPa, con RQD de 80 a 90% de suavidad ligerante rugoso, las fracturas tienen una abertura de 1-2.5 mm. Pero también existe zonas de mala calidad de roca que oscila entre 5 – 25 MPa.

Comparación de RQD vs Frecuencia de fracturas

- El RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (el mas competente) a 0% (el menos competente: condición de suelo). El sistema se basa en medir la frecuencia del número de fracturas naturales presentes en el macizo rocoso, en la dirección que se mide.
- Las áreas con una frecuencia de fracturas muy alta, pero también con un RQD relativamente alto. La mayoría de estos valores, deben tener un valor de RQD muy bajo.
- El RQD y frecuencia de fracturas deben guardar una correlación adecuada.

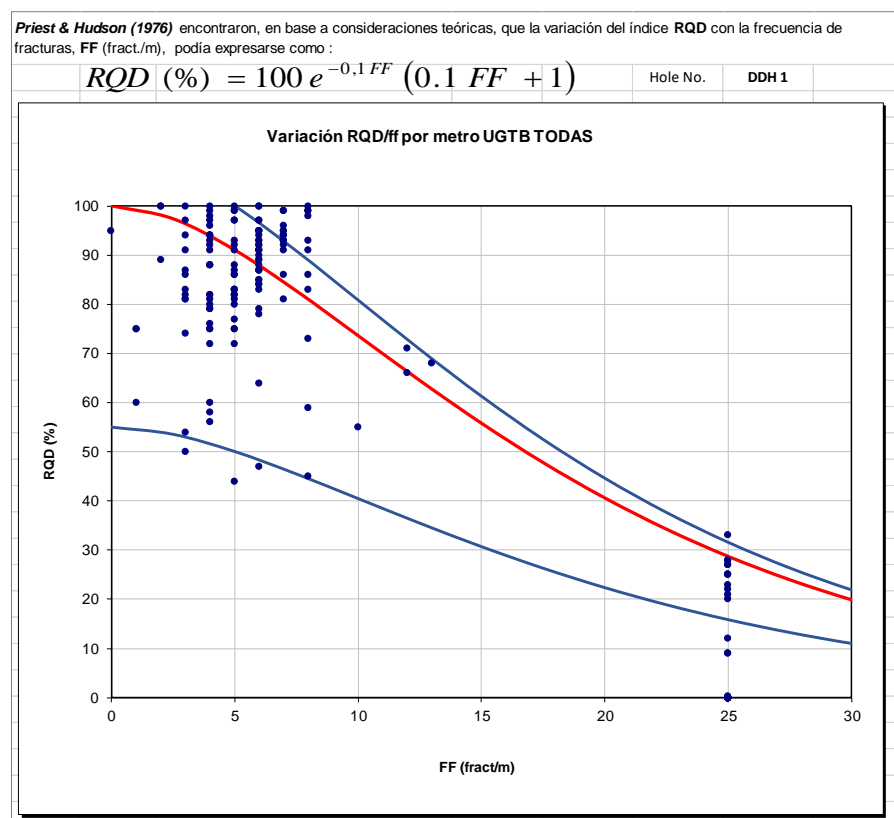


Figura 21: Comparación RQD vs FF del DDH 1

4.8.2 Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación

DDH-02

Los resultados de las investigaciones geotécnicas-geológicas que se realizaron a través de la perforación diamantina del sondaje DDH-02, corresponde a rocas intrusivas; dioritas, monzonita y pórfidos, algunas zonas el RQD llega hasta 100%. considerándose una roca buena a regular, pero existe zonas de mala calidad.



Figura 22: Testigos de perforación diamantina del sondaje DDH 02.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 09:

Parámetros geomecánicas del sondaje DDH-02



depth_from	depth_to	RQD	CALIDAD	LITOLOGIA	ALT	dureza1	ESPACIAMIENTO	FAMILIAS	SUAVIDAD	ONDULACION	ALTERACION	TIPO RELLENO	APERTURA
0	20.7	13%	Muy Mala	SO	5	< 1 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
20.7	26.1	0%	Muy Mala	LAP	5	1 - 5 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	< 0.1 mm
26.1	30.7	23%	Mala	LAP	5	1 - 5 MPa	200 - 600 mm	3 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
30.7	41.4	0%	Muy Mala	LAP	5	< 1 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
41.4	54	20%	Mala	DI	5	1 - 5 MPa	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
54	58.2	37%	Mala	DI	4	5 - 25 MPa	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
58.2	71.6	90%	Buena	DI	4	5 - 25 MPa	200 - 600 mm	3 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
71.6	92.6	86%	Buena	DI	3	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
92.6	103.08	93%	Muy Buena	DI	4	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
103.08	117.8	90%	Buena	DI	4	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
117.8	139.7	91%	Buena	DI	3	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
139.7	151.3	86%	Buena	DI	4	5 - 25 MPa	200 - 600 mm	3 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	2 - 2.5 mm
151.3	202.4	91%	Muy Buena	MZ	4	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
202.4	205.9	21%	Mala	MZ	3	1 - 5 MPa	60 - 200 mm	3 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
205.9	223.66	76%	Regular	MZ	3	5 - 25 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
223.66	248.8	19%	Mala	MZ	3	1 - 5 MPa	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
248.8	260.6	24%	Muy Buena	MZ	3	5 - 25 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
260.6	276.08	23%	Regular	MZ	3	1 - 5 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	2.5 - 5 mm
276.08	284.3	18%	Buena	MZ	3	5 - 25 MPa	200 - 600 mm	1 familia de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	5 - 10 mm
284.3	291	10%	Muy Mala	MZ	3	1 - 5 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	5 - 10 mm
291	307.6	21%	Mala	MZ	3	1 - 5 MPa	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	5 - 10 mm
307.6	317.1	12%	Regular	DIA	5	1 - 5 MPa	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
317.1	329.3	23%	Buena	MZ	3	1 - 5 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
329.3	362.1	70%	Regular	MZ	3	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
362.1	382.7	86%	Buena	MZ	3	50 - 100 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Discontinuidades rellenas	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	2.5 - 5 mm
382.7	388.8	39%	Mala	MZ	4	50 - 100 MPa	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Discontinuidades rellenas	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
388.8	452.5	87%	Buena	MZ	3	50 - 100 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Discontinuidades rellenas	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm

La diorita se encuentra alterada por la alteración filica y propílica, a una profundidad de 117.8 a 139.7 se tiene un RQD de 91%, con resistencia de 25-50MPa, relleno con material blando cohesivos, y luego se aprecia la monzonita con un RQD de 91% con alteración propílica, la suavidad de las fracturas se encuentra ligeramente rugoso y con ondulaciones moderadas.

4.8.3 Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación

DDH-03

En el presente sondaje se muestra el grupo Toquepala, compuesto por andesitas de color gris verdoso, se encuentra fuertemente alterado a causa de los fluidos hidrotermales y a mayor profundidad se aprecia la diorita con alteración propílica y filica.

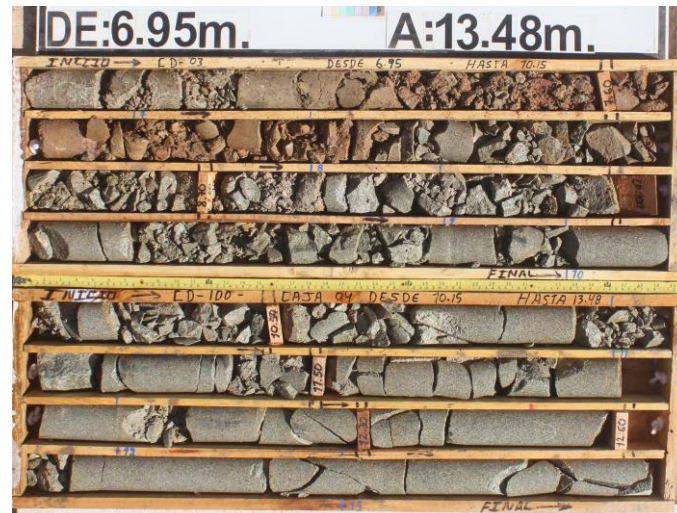


Figura 23: Contacto entre la andesita y la diorita a una profundidad de 6.9metros.

Fuente: Elaboración propia.

A través de los testigos se determina que la alteración argílica ha tenido un impacto negativo en la roca andesita, la cual presenta un RQD de 10.38%, los cores se encuentran triturados, paredes de discontinuidades alteradas con relleno blando. Con respecto a la roca diorita en zonas de alteración propílica presentan adecuado RQD que llega hasta 88.18%, con suavidad ligeramente rugoso, débil ondulación y paredes de discontinuidades ligeramente alteradas en la mayor parte de las fracturas; sin embargo, dentro del tramo existe áreas de fallas con RQD muy mala y una baja dureza de la roca. Y en cuanto a las zonas de alteración filica la resistencia de la roca es mala.

Tabla 10:

Evaluación geomecánica del sondaje DDH-03

depth_from	depth_to	RQD	LITO	ALT	DUREZA	ESPC.	# FAM.	SUAV.	OND.	ALT.	RELE.	APERTURA.
0	10.5	10.38%	TOG	5	Muy Mala	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	En contacto con pared - Blando, materiales	1 - 2.5 mm
10.5	27.3	26.00%	DI	4	Buena	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
27.3	37.47	20.00%	DI	5	Muy Mala	60 - 200 mm	3 familias de discontinuidades + aleatorio	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
37.47	49.4	67.67%	DI	4	Regular	60 - 200 mm	3 familias de discontinuidades + aleatorio	Suave	Planos	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
49.4	63.3	18.00%	DI	4	Muy Mala	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
63.3	99.8	82.89%	DI	4	Buena	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
99.8	108.7	73.80%	DI	3	Regular	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Planos	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
108.7	132.1	70.54%	DI	4	Buena	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
132.1	145.3	14.70%	DI	4	Muy Mala	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
145.3	179.2	93.39%	DI	4	Buena	200 - 600 mm	1 familia de discontinuidad + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
179.2	190.4	98.17%	DI	4	Regular	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Inalteradas, paredes de discontinuidades frescas	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
190.4	203.8	89.14%	DI	4	Buena	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
203.8	216.3	69.20%	DI	4	Regular	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
216.3	271.4	94.20%	DI	4	Buena	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
271.4	285.3	50.75%	DI	4	Mala	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
285.3	294.3	14.00%	DI	4	Muy Mala	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
294.3	321.3	58.13%	DI	4	Buena	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
321.3	358.4	59.06%	DI	4	Regular	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
358.4	369	83.00%	DI	4	Buena	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
369	371	50.33%	DI	5	Muy Mala	60 - 200 mm	4 o más familias de discontinuidades; muy diaclasado	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
371	410.2	67.09%	DI	4	Mala	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
410.2	507.5	88.18%	DI	4	Buena	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Discontinuidades sanas o soldadas	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
507.5	525.8	84.43%	DI	3	Mala	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm

4.8.4 Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación

DDH-04

Los parámetros geomecánicos en el sondaje DDH-04; son determinados mediante testigos de perforación, en la cual se muestra la calidad del macizo rocoso de acuerdo a la profundidad; consiste en continuar la perforación para fines de investigar la calidad del macizo rocoso, zonas de alteración, mineralización y tipos de litología donde se alberga el mineral económico.

En los tramos iniciales se muestra una alteración argílica, donde la roca es de mala calidad. A medida que se va profundizando la roca presenta una resistencia hasta 156 MPA, exceptos en las zonas de falla.



Figura 24: Testigos de perforación; Zonas de falla, tramos agilizados y de alteración propílica.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11: Características geológico y geomecánica de la perforación diamantina del sondaje DDH - 04

depth_from	depth_to	RQD	LITO	ALTERACI	DUREZA	dureza1	ESPA.	# FAM.	SUAV.	OND.	ALT.	RELL.	APERT.	RMR	
0	10	8%	DI	5	0	Muy Mala	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	4 o más familias de discontinuidades; muy diaclasado	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	33 MALA IV
10	13.2	48%	DI	4	186	Buena	50 - 100 MPa	200 - 600 mm	4 o más familias de discontinuidades; muy diaclasado	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	54 REGULAR III
38	54.6	19%	DI	5	25	Muy Mala	1 - 5 MPa	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	37 MALA IV
54.6	140.6	68%	DI	4	168	Buena	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	1 familia de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	59 REGULAR III
140.6	171.6	76%	DI	4	86.90	Regular	50 - 100 MPa	200 - 600 mm	1 familia de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	58 REGULAR III
171.6	200.8	86%	DI	4	156	Buena	50 - 100 MPa	200 - 600 mm	1 familia de discontinuidades + aleatorio	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	58 REGULAR III
200.8	224.5	43%	DI	4	57	Regular	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	44 REGULAR III
224.5	243.8	54%	DI	4	121	Buena	50 - 100 MPa	200 - 600 mm	1 familia de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	56 REGULAR III
243.8	248.5	0%	DI	5	53	Regular	5 - 25 MPa	< 60 mm	Roca triturada, terroso	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	28 MALA IV
248.5	262.1	25%	DI	4	91	Regular	5 - 25 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	43 REGULAR III
262.1	327.6	54%	DI	4	139	Buena	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	1 familia de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	56 REGULAR III
327.6	333.6	12%	DI	3	49	Mala	5 - 25 MPa	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	31 MALA IV
333.6	346	23%	DI	5	15	Muy Mala	1 - 5 MPa	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	30 MALA IV
346	368.4	32%	DI	4	133	Buena	5 - 25 MPa	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	44 REGULAR III
368.4	374.2	6%	DI	5	7	Muy Mala	5 - 25 MPa	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm	29 MALA IV
374.2	383.9	52%	DI	4	156	Buena	25 - 50 MPa	60 - 200 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	54 REGULAR III
383.9	400.4	16%	DI	4	46	Mala	5 - 25 MPa	60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	36 MALA IV
400.4	416.4	56%	DI	4	128	Buena	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	56 REGULAR III
416.4	458.4	64%	DI	4	87	Regular	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	54 REGULAR III
458.4	512.3	72%	DI	4	103.50	Buena	50 - 100 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm	56 REGULAR III
512.3	518.1	59%	DI	4	80.94	Regular	25 - 50 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades	Rugoso o irregular	Débilmente onduladas	Discontinuidades sanas o soldadas	< 5 mm - Materiales de fricción	0.5 - 1 mm	57 REGULAR III
518.1	602.4	82%	DI	4	115.20	Buena	50 - 100 MPa	200 - 600 mm	2 familias de discontinuidades + aleatorio	Rugoso o irregular	Débilmente onduladas	Discontinuidades sanas o soldadas	< 5 mm - Materiales de fricción	0.5 - 1 mm	66 BUENA II



La roca diorita con alteración argílica presenta una mala calidad del macizo rocoso, con resistencia de 25 MPa, un RQD que oscila entre 0 a 25%, las paredes de las discontinuidades se encuentran ligeramente alteradas

A una profundidad de 327.6 se aprecia la alteración filica, con resistencia de 49 MPa, espaciamiento de 60 a 200 mm, ligeramente rugoso, débil ondulada, con rellenos de 5mm de material blando cohesivos y apertura de discontinuidades de 1 – 2.5mm. Finalmente se observa la alteración propílica en la misma roca, con resistencia de hasta 186 MPa y un RDQ regular.

4.8.5 Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación

DDH-05

Los testigos extraídos a través de la perforación diamantina; se utilizaron para determinar el comportamiento de los parámetros geomecánicas del sondaje DDH-05; muestran que la calidad del macizo rocoso varía en función a la profundidad a la que se encuentre y que está afectado por un sistema de discontinuidades bien definida, de aberturas de 1 a 2.5mm, superficie ligeramente rugosa, paredes de discontinuidades alteradas rellenas con materiales cohesivos.

En la parte superficial se encuentra la roca diorita con alteración argílica, intercalada con propílica, a los 330.75 m aparece el pórfido dacítico asociado a la alteración filica con RQD de 73%, con resistencia de 125 MPa; valores que son favorables para un proceso constructivo de obras ingenieriles.

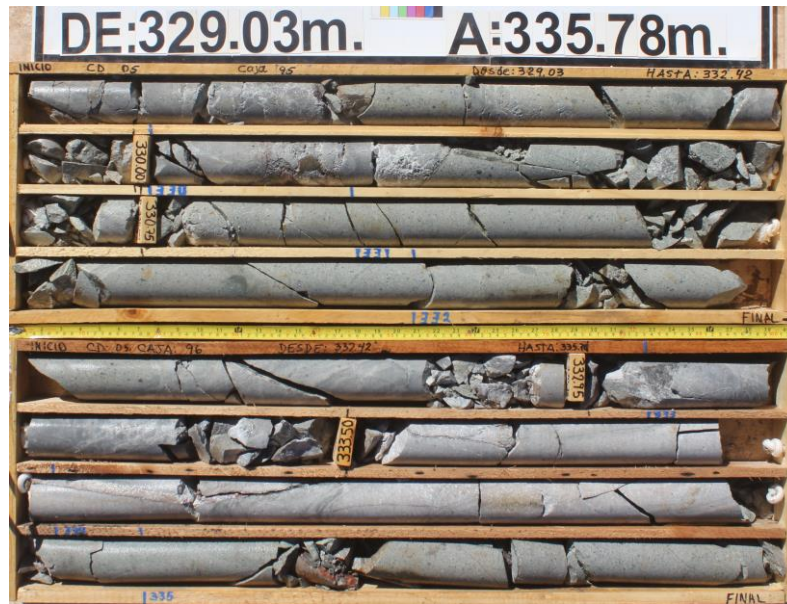


Figura 25: Testigo de perforación diamantina en el sondeo DDH-05, corresponde a una a un pórfido dacítico con alteración filica.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Logueo geotécnico de los cores del sondaje DDH-06



depth	fi	depth_to	RQD	LITO	ALT	DUREZA	ESP	# FAM.	SUAV	OND.	ALT. DIS	RELLENO	APERTURA
0	9.3	3%		S	5	0	Muy Mala	< 60 mm	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
9.3	32.9	27%		DI	4	176	Buena	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	Contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
32.9	44.3	13%		DI	5	14	Muy Mala	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
44.3	54.5	78%		DI	4	109	Buena	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	Contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
54.5	72.1	41%		DI	5	34	Mala	60 - 200 mm	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
72.1	81.5	74%		DI	4	64	Regular	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
81.5	114.5	52%		DI	4	135	Buena	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	Contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
114.5	121.8	0%		DI	5	0	Muy Mala	60 - 200 mm	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	< 0.1 mm
121.8	189.5	0%		DI	4	138	Buena	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
189.5	200.9	54%		DI	4	63	Regular	60 - 200 mm	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
200.9	230.4	93%		DI	4	106	Buena	200 - 600 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
230.4	249.8	79%		DI	4	40	Mala	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
249.8	309.5	67%		DI	3	75	Regular	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
309.5	320.3	19%		DI	3	13	Muy Mala	< 60 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
320.3	330.75	51%		DI	3	39	Mala	60 - 200 mm	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
330.75	336.6	73%		PDA1	3	125	Buena	60 - 200 mm	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
336.6	358.9	59%		DI	3	57	Regular	60 - 200 mm	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
358.9	368.4	2%		DI	3	0	Muy Mala	< 60 mm	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared - Materiales de fricción	1 - 2.5 mm
368.4	409.6	77%		DI	4	141	Buena	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
409.6	412.7	95%		DIA2	3	39	Mala	60 - 200 mm	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
412.7	424.8	96%		DI	2	121	Buena	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
424.8	436.2	36%		DI	2	26	Regular	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	Contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
436.2	458.7	91%		DI	2	115	Buena	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	Contacto con pared - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
458.7	469.4	36%		DI	2	57	Regular	60 - 200 mm			Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)		
469.4	490.6	87%		DI	3	123	Buena	200 - 600 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
490.6	491.8	63%		DI	3	71	Regular	60 - 200 mm	Suave	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	> 5 mm - Blando, materiales cohesivos	10 - 25 mm
491.8	510.5	84%		DI	3	107	Buena	200 - 600 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
510.5	519.1	31%		DI	3	20	Muy Mala	< 60 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
519.1	528.7	50%		DI	3	104	Buena	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
528.7	541.2	38%		DI	3	49	Mala	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	< 0.1 mm
541.2	555.3	92%		DI	2	76	Regular	60 - 200 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
555.3	571.7	95%		DI	2	41	Mala	200 - 600 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	2.5 - 5 mm
571.7	600	95%		DI	4	89	Regular	200 - 600 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
600	609.3	94%		DI	4	47	Mala	200 - 600 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
609.3	621.4	93%		LAP	4	95	Regular	200 - 600 mm	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
621.4	629.3	97%		DI	4	143	Buena	0.6 - 2 m	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm

4.8.6 Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la perforación

DDH-06

Los parámetros geomecánicos en los cores de perforación diamantina permitirán determinar la calidad del macizo dependiendo del tipo de alteración que se tiene en in situ; la Andesita se encuentra afectado por la alteración argílica y con pequeñas intercalaciones de alteración propílica. En la parte superficial

presenta una mala calidad de RQD, a los 70 metros se aprecia la intercalación de la diorita y la andesita, ambos afectados por la alteración propilica, pero presentan un RQD adecuado. A la profundidad de 550 metros se puede observar la alteración filica y cómo dicha alteración afecta a la resistencia de la matriz rocosa.

Tabla 13:

Evaluación geológica y geomecánica de perforación diamantina de DDH-06

depth_fro	depth_to	RQD	LITO	ALT	DUREZ	ESP	# FAM	SUAV	OND	ALT	RELL.	APERT.
0	11.65	5%	TOG	5	0	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared-Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
11.65	14.15	0%	TOG	5	0	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared-Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
14.15	18.95	14%	TOG	5	4	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared-Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
18.95	23.6	19%	TOG	5	5	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared-Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
23.6	48.75	20%	TOG	5	10	Muy Mala 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
48.75	50.45	0%	TOG	5	4	Muy Mala 60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
50.45	58.25	18%	TOG	4	12	Muy Mala 200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
58.25	59.85	0%	TOG	5	2	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared-Blando, materiales cohesivos	5 - 10 mm
59.85	62.85	14%	TOG	5	4	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	Sin contacto con pared-Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
62.85	70.25	15%	DI	5	3	Muy Mala 60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
66.05	70.25	23%	TOG	4	14	Muy Mala 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
70.25	73	85%	TOG	4	165	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
73	79.85	72%	DI	4	113	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
79.85	89.45	86%	TOG	4	126	Buena 200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
89.45	92.65	96%	DI	4	146	Buena 200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
92.65	94.95	46%	TOG	4	104	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	Sin contacto con pared-Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
94.95	110.95	55%	TOG	4	116	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
110.95	128.75	93%	DI	4	289	Muy Buena 200 - 600 mm	1 Familia de discontinuidad + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
128.75	170.45	79%	DI	4	200	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
170.45	178.88	66%	DI	4	88	Regular 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Suave	Planos	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
178.88	182.65	0%	DI	5	0	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	Sin contacto con pared-Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
182.65	209	70%	DI	3	96	Regular 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
209	217.8	88%	DI	4	194	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
217.8	230.7	42%	DI	4	88	Regular 60 - 200 mm	3 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
230.7	246.6	86%	DI	4	179	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
246.6	250.4	11%	DI	5	0	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	Sin contacto con pared-Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
250.4	253.3	16%	DI	4	8	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	Sin contacto con pared-Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
253.3	264.6	9%	DI	5	3	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	Sin contacto con pared-Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
264.6	268.5	19%	DI	4	9	Muy Mala 60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	Sin contacto con pared-Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
268.5	272.8	20%	DI	5	7	Muy Mala 60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	Sin contacto con pared-Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
272.8	280.8	71%	DI	4	189	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
280.8	298.6	13%	DI	5	2	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	Sin contacto con pared-Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
298.6	303.2	29%	DI	4	41	Mala 60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Moderadamente onduladas	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	Sin contacto con pared-Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
303.2	321	89%	DI	4	72	Regular 200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Planos	Recubrimiento de materiales de fricción (limo, arena, etc.)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
321	379.4	92%	DI	4	207	Buena 200 - 600 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
379.4	410.7	90%	DI	4	125	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
410.7	452.8	92%	DI	4	191	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
452.8	454	5%	DI	5	2	Muy Mala < 60 mm	Roca triturada, terroso	Rugoso o irregular	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	5 - 10 mm
454	491.4	93%	DI	4	118	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
491.4	534	81%	DI	4	88	Regular 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Suave	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
534	543.3	78%	DI	4	124	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
543.3	557.4	90%	DI	4	55	Regular 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades alteradas (material no suelto)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
557.4	569.4	97%	DI	4	114	Buena 200 - 600 mm	1 Familia de discontinuidad	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.1 - 0.5 mm
569.4	595.4	91%	DI	4	75	Regular 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
595.4	600.2	45%	DI	3	83	Regular 60 - 200 mm	Roca triturada, terroso	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
600.2	617.4	98%	DI	4	112	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
617.4	626.4	99%	LAP	4	82	Regular 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
626.4	641	89%	DI	4	114	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
641	650.1	64%	DI	3	88	Regular 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
650.1	664.2	97%	LAP	4	52	Regular 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Blando, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm
664.2	677.4	58%	DI	3	32	Mala 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Moderadamente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	1 - 2.5 mm
677.4	701.4	97%	DI	4	122	Buena 60 - 200 mm	2 Familias de discontinuidades + aleatorio	Ligeramente rugoso	Débilmente onduladas	Paredes de discontinuidades ligeramente alteradas (coloreado, manchado seco)	< 5 mm - Duro, materiales cohesivos	0.5 - 1 mm



Figura 26: Testigos de perforación diamantina DDH-06; se aprecia el contacto entre la andesita del grupo Toquepala y la diorita, las fracturas se encuentran alteradas (relleno de óxidos).

Fuente: Elaboración propia.

Del tramo 69.47 metros hasta 73 metros se aprecia la roca andesita de una textura afanítica, con ensamble característico de la alteración propílica (clorita, calcita, pirita y con venillas de epidota). A partir de 73 metros hasta 77 metros se observa claramente el intrusivo diorita con RQD de calidad buena.

4.9 ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

Las muestras en forma de testigo, bloques o ya sean irregulares con un diámetro de prueba de 30 a 85 mm se pueden probar mediante este método de prueba. Este método de prueba se puede realizar en el campo o en el laboratorio. La prueba se usa típicamente en el campo porque la máquina de prueba es portátil, se requiere una preparación mínima de la muestra, y las muestras se pueden analizar en un período corto de tiempo después de su recolección.

4.9.1 Equipo Carga Puntual

Equipo de carga puntual básicamente, consiste en un sistema de carga que generalmente son aplicados a la roca, con un sistema de medición para indicar la carga, P, (necesario para romper la muestra) y un medio para medir la distancia, D. El equipo debe ser resistente a golpes y vibraciones para que la precisión de las lecturas no se vea afectada negativamente por pruebas repetidas. Deberán seguirse todas las instrucciones especiales de funcionamiento, mantenimiento o calibración proporcionadas por el fabricante para el aparato en particular que se esté utilizando.

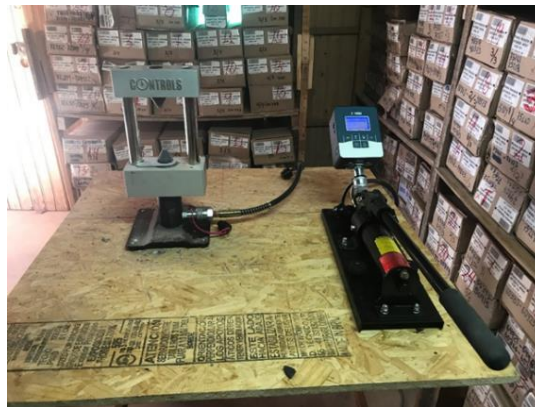


Figura 27: Equipo de carga puntual.

4.9.1.1 Procedimiento

- Se debe marcar con plumón cada muestra a ser ensayada, D: diametral o Ax: axial, conjuntamente con la profundidad media de la muestra.
- La frecuencia de las pruebas diametrales se desarrollará cada 10m. Si la prueba es mala, se debe repetir y buscar la misma muestra en otro lugar para ensayarla, o tal vez es necesario reemplazar la prueba con otra muestra de la caja.

- La frecuencia de los ensayos axiales es cada 10mm, si la prueba es mala, no es necesario repetirla.
- La dureza de las muestras deben ser mayores a R2 como se recomienda en el texto de “Guidelines for open Pit Slope Design” por el CSIRO, 2009.

4.9.1.2 Longitud para ensayos en HQ y NQ

- Para Diámetros HQ, la longitud de los ensayos diametrales debe ser más de 6cm y máximo 20cm. La longitud de muestras para las pruebas axiales es de 3 y 6cm.
- Para Diámetros NQ, la longitud de los ensayos diametrales debe ser más de 4.5cm y no debe exceder a 15cm. La longitud de muestras para pruebas axiales es de 2.5 y 4.5cm.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <p>Proyecto Lo Calatos</p> <p>Carga Puntual Diametral</p> <p>SONDAJE _____</p> <p>Medido _____</p> <p>Supervisor _____</p> </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: right;"> </div> </div>							
Desde	Hasta	Diametro de testigo	Lectura de Carga puntual KN	Lectura de Carga puntual Mpa	Fecha	Tipo de Rotura	Observaciones

Figura 28: Formato para el ensayo de carga puntual-diametral.

Fuente: Elaboración propia.

4.9.1.3 Validación y Calidad del ensayo

En cada ensayo que se realice, es muy importante ver el tipo de ruptura de la muestra y también el tipo de fractura ocasionada por la máquina. Normalmente si la fractura pasa por los dos puntos, el ensayo se califica como “BUENO”. Cuando no se pasa por los dos puntos, es un ensayo “MALO”

Tabla 14:

Análisis de los resultados de ensayo de carga puntual

Nro.	Date	Carga (KN)	From	To	Carga (Kgf)	L > 1/2D			(1 KN = 10197 Kgf) (1 Kgf/cm ² = 0.098067 Mpa)				Condition
						D (mm)	Di	Di2	Is	F.C.	Is(50)	Oc (MPa)	
1	19/12/2017	3.58	150.56	150.70	365.06	63.5	63.5	4032.3	0.89	1.13	1.00	21.01	Very Bad
2	19/12/2017	2.91	160.04	160.16	296.74	63.5	63.5	4032.3	0.72	1.13	0.81	17.08	Very Bad
3	19/12/2017				0.00	63.5	63.5	4032.3	0.00	1.13	0.00	0.00	Very Bad
4	19/12/2017	16.12	180.06	180.17	1643.79	63.5	63.5	4032.3	4.00	1.13	4.51	94.61	Regular
5	19/12/2017	3.79	190.65	190.76	386.47	63.5	63.5	4032.3	0.94	1.13	1.06	22.24	Very Bad
6	19/12/2017	2.52	199.96	200.08	256.97	63.5	63.5	4032.3	0.62	1.13	0.70	14.79	Very Bad
7	19/12/2017	15.74	209.92	210.04	1605.04	63.5	63.5	4032.3	3.90	1.13	4.40	92.38	Regular
8	19/12/2017	7.94	220.01	220.15	809.66	63.5	63.5	4032.3	1.97	1.13	2.22	46.60	Bad
9	19/12/2017	3.52	230.10	230.25	358.94	63.5	63.5	4032.3	0.87	1.13	0.98	20.66	Very Bad
10	19/12/2017	8.55	240.00	240.12	871.86	63.5	63.5	4032.3	2.12	1.13	2.39	50.18	Regular
11	19/12/2017	3.51	250.00	250.14	357.92	63.5	63.5	4032.3	0.87	1.13	0.98	20.60	Very Bad
12	19/12/2017	10.70	260.10	260.22	1091.10	63.5	63.5	4032.3	2.65	1.13	2.99	62.80	Regular
13	19/12/2017	12.89	270.30	270.47	1314.42	63.5	63.5	4032.3	3.20	1.13	3.60	75.65	Regular
14	19/12/2017	12.30	280.23	280.35	1254.26	63.5	63.5	4032.3	3.05	1.13	3.44	72.19	Regular
15	19/12/2017	14.29	290.00	290.13	1457.18	63.5	63.5	4032.3	3.54	1.13	3.99	83.87	Regular
16	19/12/2017	1.74	300.10	300.24	177.43	63.5	63.5	4032.3	0.43	1.13	0.49	10.21	Very Bad
17	19/12/2017	3.81	310.20	310.37	388.51	63.5	63.5	4032.3	0.94	1.13	1.06	22.36	Very Bad
18	19/12/2017	4.71	320.48	320.61	480.29	63.5	63.5	4032.3	1.17	1.13	1.32	27.64	Bad
19	19/12/2017	5.12	330.75	330.89	522.10	63.5	63.5	4032.3	1.27	1.13	1.43	30.05	Bad
20	19/12/2017	3.25	339.95	340.10	331.41	63.5	63.5	4032.3	0.81	1.13	0.91	19.07	Very Bad
21	19/12/2017	2.07	350.00	350.12	211.08	63.5	63.5	4032.3	0.51	1.13	0.58	12.15	Very Bad
22	19/12/2017	4.10	360.20	360.34	418.09	63.5	63.5	4032.3	1.02	1.13	1.15	24.06	Very Bad
23	19/12/2017	7.37	370.31	370.44	751.53	63.5	63.5	4032.3	1.83	1.13	2.06	43.26	Bad
24	19/12/2017	26.82	380.03	380.16	2734.89	63.5	63.5	4032.3	6.65	1.13	7.50	157.41	Good
25	19/12/2017	14.03	390.31	390.46	1430.67	63.5	63.5	4032.3	3.48	1.13	3.92	82.34	Regular
26	19/12/2017	11.07	400.10	400.22	1128.83	63.5	63.5	4032.3	2.75	1.13	3.09	64.97	Regular
27	19/12/2017	8.87	410.00	410.12	904.49	63.5	63.5	4032.3	2.20	1.13	2.48	52.06	Regular
28	19/12/2017	6.38	420.05	420.21	650.58	63.5	63.5	4032.3	1.58	1.13	1.78	37.45	Bad
29	19/12/2017	4.54	430.40	430.52	462.95	63.5	63.5	4032.3	1.13	1.13	1.27	26.65	Bad
30	19/12/2017	5.86	440.05	440.17	597.56	63.5	63.5	4032.3	1.45	1.13	1.64	34.39	Bad
31	19/12/2017	10.96	450.12	450.25	1117.61	63.5	63.5	4032.3	2.72	1.13	3.06	64.33	Regular
32	19/12/2017	6.21	460.43	460.60	633.25	63.5	63.5	4032.3	1.54	1.13	1.74	36.45	Bad
33	20/12/2017	9.92	470.05	470.18	1011.56	63.5	63.5	4032.3	2.46	1.13	2.77	58.22	Regular
34	20/12/2017	18.60	480.60	480.74	1896.68	63.5	63.5	4032.3	4.61	1.13	5.20	109.17	Good
35	20/12/2017	13.17	490.18	490.29	1342.97	63.5	63.5	4032.3	3.27	1.13	3.68	77.30	Regular
36	20/12/2017	18.71	500.15	500.30	1907.90	63.5	63.5	4032.3	4.64	1.13	5.23	109.81	Good
37	20/12/2017	18.58	510.35	510.50	1894.64	63.5	63.5	4032.3	4.61	1.13	5.19	109.05	Good
38	20/12/2017	17.06	520.03	520.20	1739.64	63.5	63.5	4032.3	4.23	1.13	4.77	100.13	Good
39	20/12/2017	14.75	530.25	530.39	1504.09	63.5	63.5	4032.3	3.66	1.13	4.12	86.57	Regular
40	21/12/2017	20.42	540.17	540.35	2082.27	63.5	63.5	4032.3	5.06	1.13	5.71	119.85	Good
41	21/12/2017	15.70	550.94	551.10	1600.96	63.5	63.5	4032.3	3.89	1.13	4.39	92.15	Regular
42	21/12/2017	14.25	561.1	561.2	1453.10	63.5	63.5	4032.3	3.53	1.13	3.98	83.64	Regular
43	21/12/2017	21.72	570.1	570.2	2214.83	63.5	63.5	4032.3	5.39	1.13	6.07	127.48	Good
44	21/12/2017	12.06	580.7	580.8	1229.78	63.5	63.5	4032.3	2.99	1.13	3.37	70.78	Regular
45	21/12/2017	14.79	589.9	590	1508.17	63.5	63.5	4032.3	3.67	1.13	4.13	86.80	Regular
46	21/12/2017	10.13	599.3	599.4	1032.98	63.5	63.5	4032.3	2.51	1.13	2.83	59.45	Regular

4.10 TELEVIEWER

El objetivo de televiewer es obtener la mayor información posible de los diferentes tipos de estructuras geológicas-geotécnicas que se presentan en in situ (fallas, fracturas, contactos litológicos, diaclasas, venillas, etc.) a medida que se va perforando.) y también otras características de interés. Las informaciones de estructuras son obtenidas mediante televiewer acústica y óptica en forma de imágenes.

4.10.1 Televiewer óptico

El televiewer óptico se realiza en sondajes sin fluidos, se obtiene resultado de imágenes de 1mm de resolución vertical.

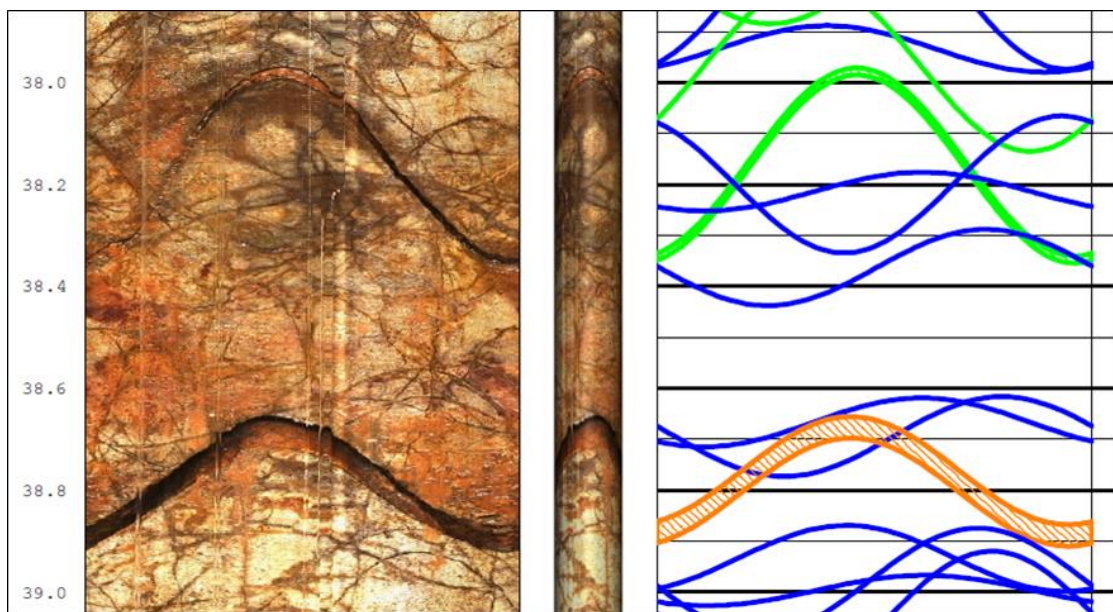


Figura 29: Imágenes obtenidas a través de televiewer óptico.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos a través del televiewer óptico, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15:

Resulta dos obtenidos a través de las imágenes

Pozo	Profundidad	Rank	Clasificación de estructuras	Dirección de manto de estructuras	Manteo de estructuras	Espesor en mm	Tipo de lectura	Norte	Este	TVD
DDH 1	46.45	5	Venas	264.99	89.11	0	OTV	8130746.327	286449.652	2928.112
DDH 1	46.68	1	Muy finas	227.58	89.34	0	OTV	8130746.251	286449.589	2927.907
DDH 1	46.75	2	Finas	86.97	33.60	0	OTV	8130746.225	286449.568	2927.838
DDH 1	46.87	2	Finas	249.67	88.18	2.59	OTV	8130746.186	286449.535	2927.730
DDH 1	47.87	5	Venas	266.20	89.05	4.39	OTV	8130745.855	286449.260	2926.832
DDH 1	48.48	2	Finas	231.95	88.03	5.47	OTV	8130745.653	286449.092	2926.283
DDH 1	48.53	2	Finas	312.18	65.63	5.45	OTV	8130745.636	286449.078	2926.238
DDH 1	49.06	3	Moderadamente gruesas	36.06	84.89	13.25	OTV	8130745.459	286448.931	2925.758
DDH 1	49.06	2	Finas	310.13	61.26	6.11	OTV	8130745.459	286448.931	2925.756
DDH 1	49.18	1	Muy finas	333.06	37.44	0	OTV	8130745.420	286448.899	2925.652
DDH 1	49.66	5	Venas	50.25	70.93	0	OTV	8130745.261	286448.766	2925.220
DDH 1	49.85	4	Gruesas	85.50	65.30	55.84	OTV	8130745.198	286448.714	2925.050
DDH 1	50.03	1	Muy finas	58.41	81.08	0	OTV	8130745.137	286448.664	2924.884

4.10.2 Televiever acústico

El televiever acústico, se mide en sondajes llenos de fluidos, como resultado se obtienen imágenes de 4mm de resolución vertical, estas imágenes se generan en amplitud de respuesta y tiempo de tránsito de un haz acústico enfocado.

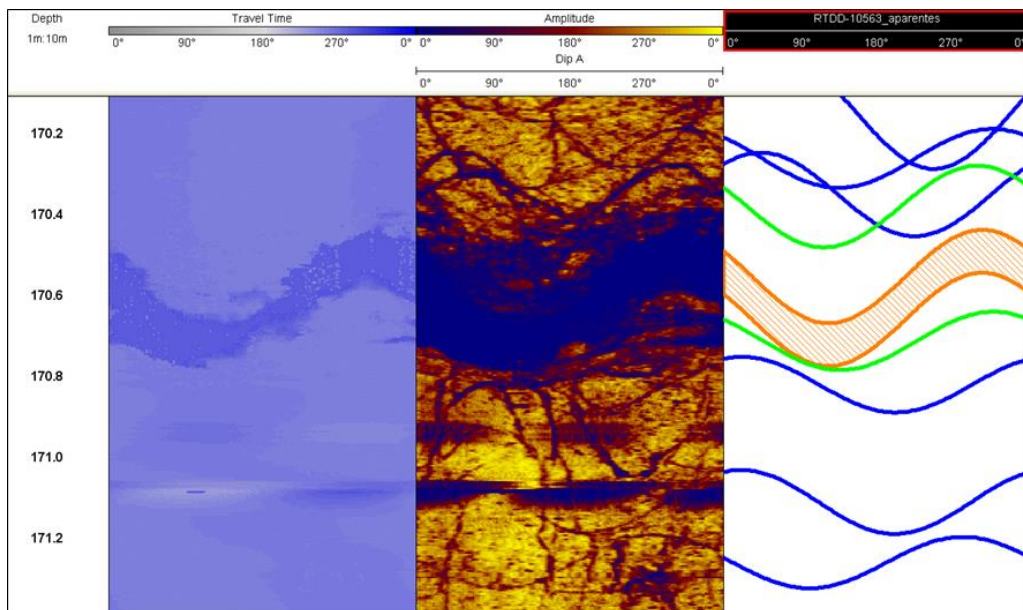


Figura 30: Imágenes obtenidas a través de televiever acústico.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos a través del televiever acústico, se muestra en la siguiente tabla

Tabla 16:

Resultados obtenidos a través de las imágenes

Pozo	Profundidad	Rank	Clasificación de estructuras	Dirección de manto de estructuras	Manto de estructuras	Espesor en mm	Tipo de lectura	Norte	Este	TVD
DDH 3	669.45	5	Venas	211.44	77.64	0	ATV	8130937.884	286530.342	2394.050
DDH 3	669.93	5	Venas	177.58	53.64	4.91	ATV	8130937.761	286530.206	2393.607
DDH 3	671.02	2	Finas	152.66	40.50	0	ATV	8130937.480	286529.896	2392.601
DDH 3	671.07	1	Muy finas	340.01	83.47	0	ATV	8130937.468	286529.883	2392.558
DDH 3	671.55	2	Finas	161.74	17.55	8.34	ATV	8130937.344	286529.746	2392.113
DDH 3	672.70	2	Finas	205.03	29.80	0	ATV	8130937.048	286529.420	2391.052
DDH 3	673.37	3	Moderadamente gruesas	345.79	44.76	39.12	ATV	8130936.876	286529.231	2390.436
DDH 3	673.58	2	Finas	318.11	38.57	0	ATV	8130936.822	286529.172	2390.242
DDH 3	674.20	2	Finas	156.79	45.99	4.41	ATV	8130936.662	286528.996	2389.672
DDH 3	674.62	3	Moderadamente gruesas	163.63	53.85	24.58	ATV	8130936.554	286528.877	2389.282
DDH 3	675.27	2	Finas	170.21	29.33	0	ATV	8130936.384	286528.690	2388.675
DDH 3	675.78	2	Finas	12.00	71.56	0	ATV	8130936.253	286528.545	2388.203
DDH 3	676.72	5	Venas	279.48	35.21	0	ATV	8130936.011	286528.279	2387.336
DDH 3	676.90	5	Venas	35.93	76.59	0	ATV	8130935.966	286528.229	2387.173
DDH 3	677.93	1	Muy finas	299.76	43.61	0	ATV	8130935.700	286527.937	2386.222

4.10.3 Clasificación de estructuras

Las estructuras se clasifican de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 17:

Clasificación de estructuras

Rank	Colour	Code	Structure
1	Blue	●	Very fine Structure (< 0 mm)
2	Green	●	Fine Structure (0-10 mm)
3	Orange	●	Moderately Thick Structure (10-50 mm)
4	Red	●	Fracture (> 50 mm)
5	Cyan	●	Vein
6	Fuchsia	●	Unclassified
7	Purple	●	Lithological Contact

Las estructuras muy finas, finas y con venillas corresponden a las diaclasas con aberturas menores a 10 mm. Relleno de anhidrita y sulfuros.

Las estructuras gruesas y moderadamente gruesas parecen estructuras de fallas, fracturas, con aberturas mayores de 10 mm.

Se obtienen las estructuras reales, donde posteriormente se trabajó en estereogramas, definiendo el número de familias de orientaciones, planos de orientaciones, dirección de inmersión y comportamiento de las estructuras obtenidas en cada perforación.



CAPÍTULO V

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y GEOLÓGICA

Para la caracterización del macizo rocoso, se realiza un trabajo detallado de registro geológico – geotécnico de los sondajes perforados que se encuentran en el área de estudio.

5.1.1 Análisis Geomecánica y geológica del sondaje DDH-01

En la parte superficial de 0 a 65.8 metros se observa pórfido dacítico 1 afectado por la alteración argílica, con RMR de 35 a 40 de calidad mala, que se asemeja bastante al Q de Barton con valores que oscilan de 0.001 a 1.6 de calidad muy mala a mala y con GSI que oscila entre 19.5 a 33.

Las características de las fracturas y el tipo de alteración hidrotermal, determinan claramente el comportamiento del macizo rocoso en in situ; las zonas argílicas presentan resistencia de roca menores a 25 Mpa y RQD debajo de 25%; dichos parámetros son causados por los fluidos hidrotermales que alteran drásticamente a los minerales existentes; convirtiendo en caolinita (arcilla).

En las zonas de alteración filica, se encuentra el pórfido dacítico 1 y el pórfido dacítico 3, ambas litologías presentan características similares con respecto al comportamiento del macizo rocoso; con RMR de calidad mala a regular. Las paredes de las juntas se encuentran ligeramente alteradas, y en algunos tramos cubiertos por sericita, poseen una abertura de 1 – 2.5mm rellenos de material blando cohesivo.

En las zonas de fallas y de cizallamiento el macizo rocoso es de mala calidad, a causa de la destrucción minerales primarios convertidos en sericita.

A profundidad de 248.6 se aprecia la diorita afectada por la alteración propílica con RMR de 52 de tipo regular - III, $Q = 11.4$, de calidad Buena y GSI =62. La alteración propílica conserva sus características mecánicas.

Tabla 18

Resultados obtenidos de RMR, Q y GSI.

From	To	Lito	Alt.	RQD	RMR 89		Q		GSI	
0	30.6	PDA 1	5	0%	40	IV MALA	0.0	EXCEPCIONALMENTE MALA	24	MALA
30.6	35.12	PDA 1	5	12%	40	IV MALA	2.0	MALA	24	MALA
35.12	38.7	PDA 1	5	25%	35	IV MALA	0.6	MUY MALA	29	MALA
38.7	56.8	PDA 1	5	24%	45	III REGULAR	7.0	MEDIA	36	MALA
56.8	62.8	PDA 1	5	24%	38	IV MALA	1.6	MALA	33	MALA
62.8	65.8	PDA 1	5	0%	37	IV MALA	0.0	EXCEPCIONALMENTE MALA	19.5	MUY MALA
65.8	69	PDA 1	3	87%	55	III REGULAR	21.8	BUENA	60	REGULAR
69	73.8	PDA 1	3	23%	39	IV MALA	5.8	MEDIA	28	MALA
73.8	74.8	PDA 1	3	0%	35	IV MALA	0.0	EXCEPCIONALMENTE MALA	16.5	MUY MALA
74.8	83.7	PDA 1	3	88%	58	III REGULAR	22.0	BUENA	65	BUENA
83.7	86.9	PDA 1	3	0%	33	IV MALA	0.0	EXCEPCIONALMENTE MALA	12	MUY MALA
86.9	92.1	PDA 1	3	92%	63	II BUENA	34.5	BUENA	67	BUENA
92.1	95.3	PDA 1	3	24%	35	IV MALA	0.5	MUY MALA	27	MALA
95.3	100.1	PDA 1	3	89%	54	III REGULAR	11.1	BUENA	56.5	REGULAR
100.1	103	PDA 1	3	20%	35	IV MALA	0.5	MUY MALA	25	MALA
103	145.2	PDA 1	3	84%	54	III REGULAR	10.5	BUENA	54	REGULAR
145.2	154.3	PDA 1	3	23%	30	IV MALA	0.3	MUY MALA	26.5	MALA
154.3	172.6	PDA 1	3	90%	58	III REGULAR	5.0	MEDIA	61.5	BUENA
172.6	176.2	PDA 1	3	24%	36	IV MALA	0.6	MUY MALA	36	MALA
176.2	190.2	PDA 1	3	87%	49	III REGULAR	10.9	BUENA	60	REGULAR
190.2	198.6	PDA 1	5	24%	33	IV MALA	3.0	MALA	28.5	MALA
198.6	215.9	PDA 1	3	79%	49	III REGULAR	9.9	MEDIA	56	REGULAR
215.9	217.6	PDA 1	3	0%	30	IV MALA	0.0	EXCEPCIONALMENTE MALA	19.5	MUY MALA
217.6	224.4	PDA 1	3	21%	33	IV MALA	2.6	MALA	27	MALA
224.4	236.4	PDA 1	3	84%	47	III REGULAR	10.5	BUENA	58.5	REGULAR
236.4	243.2	PDA 1	3	2%	27	IV MALA	0.0	MUY MALA	16	MUY MALA
243.2	248.6	PDA 1	3	96%	49	III REGULAR	4.0	MALA	60	REGULAR
248.6	254.1	DI	4	91%	52	III REGULAR	11.4	BUENA	62	BUENA
254.1	258.2	PDA 3	3	96%	49	III REGULAR	6.0	MEDIA	60	REGULAR
258.2	264.9	PDA 3	3	0%	27	IV MALA	0.0	EXCEPCIONALMENTE MALA	15	MUY MALA
264.9	290	PDA 3	3	80%	52	III REGULAR	10.0	MEDIA	61	BUENA
290	298.6	PDA 3	3	49%	35	IV MALA	1.2	MALA	41	REGULAR
298.6	304	PDA 3	3	14%	31	IV MALA	0.4	MUY MALA	28	MALA
304	306.7	PDA 3	3	33%	38	IV MALA	0.8	MUY MALA	37.5	MALA
306.7	353.3	PDA 3	3	96%	54	III REGULAR	8.0	MEDIA	67.5	BUENA

En la roca pórfido dacítico 1 que es afectado por la alteración argílica se obtiene un macizo rocoso de mala calidad a causa de que el fluido hidrotermal destruye de manera p rvasiva los minerales primarios, convirtiendo en arcillas y algunos relictos de cuarzo. En cambio, en zonas de alteración filica de pórfido dacítico 1 y 3 se tiene una calidad de roca mala a regular; las rocas de calidad mala están asociados en zonas de falla, fracturas alteradas y las rocas de calidad regular se encuentran en zonas de débil fracturamiento y ligeramente alteradas.

El comportamiento de la diorita en la alteración propílica es de calidad regular a buena, esta zona se encuentra distal al depósito donde la alteración no es p rvasiva.

El análisis de proyecciones estereográficas de los sistemas de fracturas del sondaje, son identificados a través de la prueba de telev viewers; obteniendo la orientación y la inclinación de las estructuras.

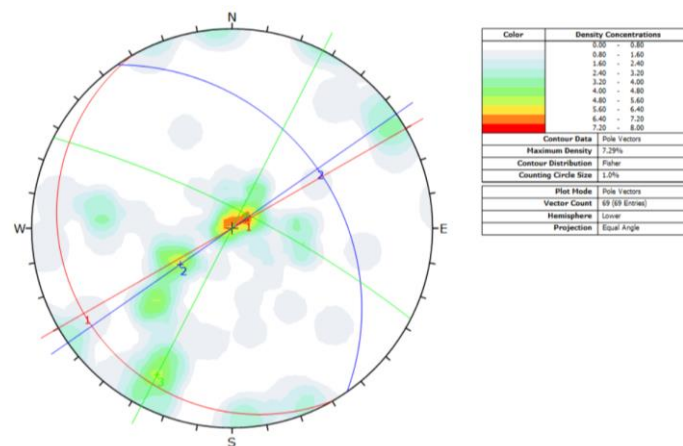


Figura 31: Diagrama de dispersión de la concentración de polos, tomados a través de la prueba de telev viewers.

La distribución de polos en el análisis de dispersión muestra que existe dos principales sistemas de discontinuidad y una aleatoria. El primer sistema de discontinuidad es la más resaltante, luego se encuentra el segundo sistema y el

ultimo sistema que sería la aleatoria. Posiblemente en estas zonas puedan producirse cuñas, producto de las filtraciones de agua.

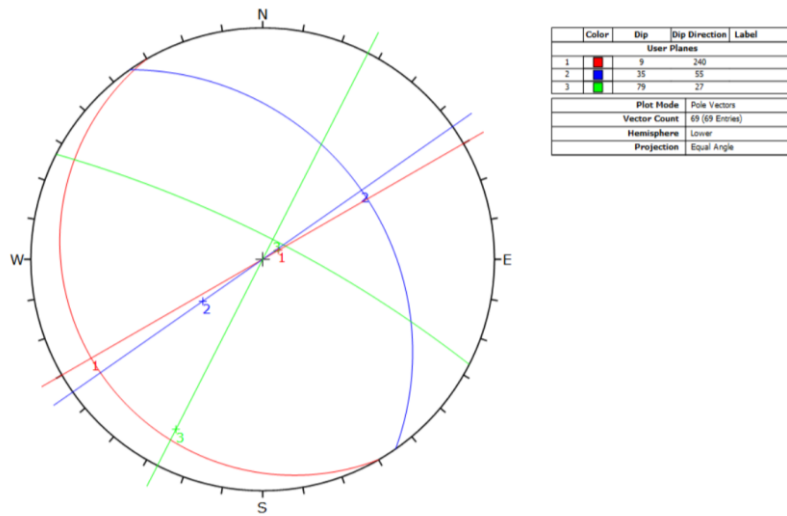


Figura 32: Proyección estereográfica de los principales dominios; de sistemas de discontinuidades que son notorios en el sondaje.

Se aprecia tres sistemas de discontinuidades dominantes que llegan a fracturar al macizo rocoso.

Tabla 19

Sistema de discontinuidades del DDH 1

N°	Sistemas de Discontinuidades		Observaciones
	Dip	Dip Direccction	
1	09	240	Familia 1
2	35	55	Familia 2
3	79	27	Aleatorio

5.1.2 Análisis geomecánica y geológica del sondaje DDH-02

En los primeros metros se encuentra cubierto por material cuaternario, luego se observa los pórfidos tardíos o eventos tardíos con potencia de 20 metros, dichos pórfidos se encuentran afectados por la alteración argílica, con RQD inferiores a 25% y la resistencia de la roca intacta es menor 5Mpa, los cores se



encuentran fuertemente fracturados y rellenadas por material blando. En la clasificación del macizo rocoso se obtiene valores de RMR de 33 a 39, de calidad Mala-IV, Q de 0.0 a 5.8 de calidad Mala y GSI = 21 a 40.

A los 41.4 metros a 54 metros se aprecia la diorita afectada por la alteración argílica con RQD menor a 25%, con RMR de 37; correspondiente a mala calidad, tanto para Q y GSI.

La alteración filica y propílica se encuentra intercalado a partir del tramo 54 a 202 metros. La alteración filica en la litología diorita se encuentra con RMR de 57 a 59, calidad regular III; $Q=22.8$, calidad buena y GSI = 73. Y las zonas que son afectadas a la misma litología por la alteración propílica se encuentran con RMR de 46 a 62 de calidad regular a buena, $Q= 7.1$ a 33.7 de calidad media a buena y GSI = 48 a 79. En el presente tramo la alteración propílica se encuentra con calidad regular a buena.

No existe un contacto definido entre la monzonita y la diorita, pero el comportamiento de cada litología es diferente según el tipo de alteración. La monzonita afectada por la alteración filica presenta un RMR de 23 a 52 de calidad Mala a regular, $Q =0.2$ a 9.7 de calidad Mala a regular y GSI se encuentra entre el intervalo de puntuación de 21 a 73; como resultado la monzonita es afectada de manera negativa por la alteración filica. En cambio, la monzonita afectada por la alteración propílica presenta un comportamiento diferente; con RMR, que se encuentran en calidad regular, Q se encuentran de calidad media a regular y en GSI de calidad regular a buena.

A la profundidad de 307.6 metros aparece un pequeño tramo de diatrema afectado por la alteración argílica con RMR =29 de mala calidad, Q= 1.5 de mala calidad y GSI de 32 de mala calidad.

Tabla 20:

Clasificación Geomecánica del macizo rocoso DDH 02

From	To	LITO	ALT.	RQD	RMR 89		Q barton		GSI	
0	20.7	SO	5	13%	33	IV MALA	0.5	MUY MALA	27	MALA
20.7	26.1	LAP	5	0%	35	IV MALA	0.0	EXCEPCIONALMENTE MALA	23	MALA
26.1	30.7	LAP	5	23%	39	IV MALA	5.8	MEDIA	40	MALA
30.7	41.4	LAP	5	0%	33	IV MALA	0.0	EXCEPCIONALMENTE MALA	21	MALA
41.4	54	DI	5	20%	37	IV MALA	2.5	MALA	36	MALA
54	58.2	DI	4	37%	46	III REGULAR	9.2	MEDIA	48	REGULAR
58.2	71.6	DI	4	90%	57	III REGULAR	15.0	BUENA	78	BUENA
71.6	92.6	DI	3	86%	57	III REGULAR	32.4	BUENA	73	BUENA
92.6	103.08	DI	4	93%	62	II BUENA	23.2	BUENA	79	BUENA
103.08	117.8	DI	4	90%	56	III REGULAR	33.7	BUENA	73	BUENA
117.8	139.7	DI	3	91%	59	III REGULAR	22.8	BUENA	74	BUENA
139.7	151.3	DI	4	86%	49	III REGULAR	7.1	MEDIA	71	BUENA
151.3	202.4	MZ	4	91%	51	III REGULAR	17.0	BUENA	74	BUENA
202.4	205.9	MZ	3	21%	26	IV MALA	0.9	MUY MALA	32	MALA
205.9	223.66	MZ	3	76%	46	III REGULAR	6.4	MEDIA	67	BUENA
223.66	248.8	MZ	3	19%	29	IV MALA	0.7	MUY MALA	35	MALA
248.8	260.6	MZ	3	24%	32	IV MALA	4.5	MEDIA	41	REGULAR
260.6	276.08	MZ	3	23%	31	IV MALA	2.9	MALA	40	MALA
276.08	284.3	MZ	3	18%	28	IV MALA	2.3	MALA	32	MALA
284.3	291	MZ	3	10%	23	IV MALA	0.2	MUY MALA	21	MALA
291	307.6	MZ	3	21%	28	IV MALA	0.8	MUY MALA	35	MALA
307.6	317.1	DIA	5	12%	29	IV MALA	1.5	MALA	32	MALA
317.1	329.3	MZ	3	23%	31	IV MALA	2.9	MALA	40	MALA
329.3	362.1	MZ	3	70%	45	III REGULAR	8.7	MEDIA	65	BUENA
362.1	382.7	MZ	3	86%	52	III REGULAR	21.5	BUENA	73	BUENA
382.7	388.8	MZ	4	39%	41	III REGULAR	9.7	MEDIA	46	REGULAR
388.8	452.5	MZ	3	87%	52	III REGULAR	21.8	BUENA	74	BUENA

Las proyecciones estereográficas se realizaron con la información obtenida de televiseurs óptico y acústico a diferentes profundidades, se aprecia claramente las familias dominantes y aleatorias en la siguiente figura.

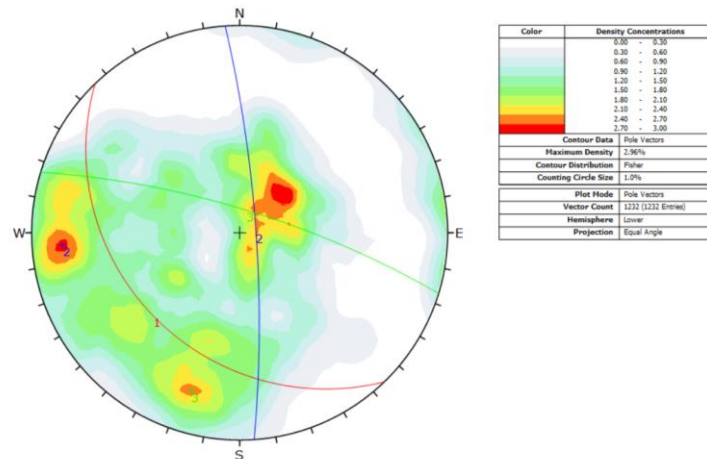


Figura 33: Diagrama de dispersión DDH 2

Diagrama de dispersión; del sondaje DDH-02, muestra dos sistemas de discontinuidades dominantes y una aleatoria que pueden generar cuñas al momento de realizar la extracción del mineral.



Figura 34: Testigos de perforación diamantina del sondaje DDH 2.

Testigos de perforación diamantina, con una recuperación de 100%; roca monzonita lixiviada con alteración filica, se observa pequeñas zonas de falla (presencia de gauge). De calidad mala a regular

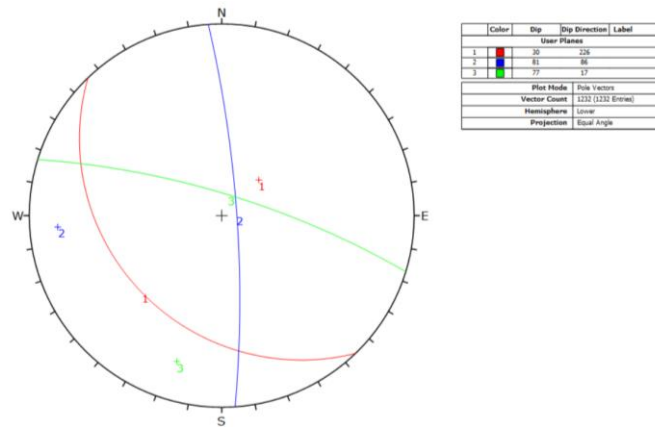


Figura 35: Diagrama de planos dominantes

Diagrama de planos mayores; se observan 2 sistemas dominantes y una aleatoria.

Tabla 21:

Sistema de discontinuidades del DDH 2

N°	Sistemas de Discontinuidades		Observaciones
	Dip	Dip Direction	
1	30	226	Familia 1
2	81	86	Familia 2
3	77	17	Aleatorio

Las zonas fracturadas son afectadas por los fluidos hidrotermales, los minerales existentes son convertidos en minerales secundarios y estos afectan de manera negativa en el comportamiento del macizo rocoso. Cada litología se comporta de diferente forma según sus parámetros geomecánicas, composición del mineral y el tipo de alteración; en las zonas de fallas el comportamiento del macizo es de calidad Mala. Pero en zonas distales al depósito se obtiene un comportamiento adecuado del macizo rocoso.

5.1.3 Análisis geomecánica y geológica DEL sondaje DDH-03

En los primeros 10.5 metros se tiene la andesita del grupo Toquepala afectado por la alteración argílica, con RMR de 31 y $Q = 0.39$, ambas

clasificaciones corresponden a una calidad mala del macizo rocoso. Es afectado fuertemente por la alteración argílica, presentando cores menores de 10 centímetros, fracturas alteradas de rellenos blandos compuestos por arcillas y la dureza de la roca es inferior a 5 Mpa.

Posteriormente la diorita intruye al grupo Toquepala. Una parte de la diorita es afectada por la alteración argílica, y a medida que se va profundizando se observa las alteraciones filica y propílica. El comportamiento en las zonas de alteración argílica es de es de calidad mala con RMR de 34, correspondiente a mala calidad tanto para Q y GSI.

La diorita afectada por la alteración filica presenta una clasificación geomecánica según RMR de 54 a 50, de calidad regular, en dicha zona los fluidos hidrotermales afectan de una manera débil. Y finalmente la alteración propílica con $Q = 5.88$ a 20.72 de calidad media a buena

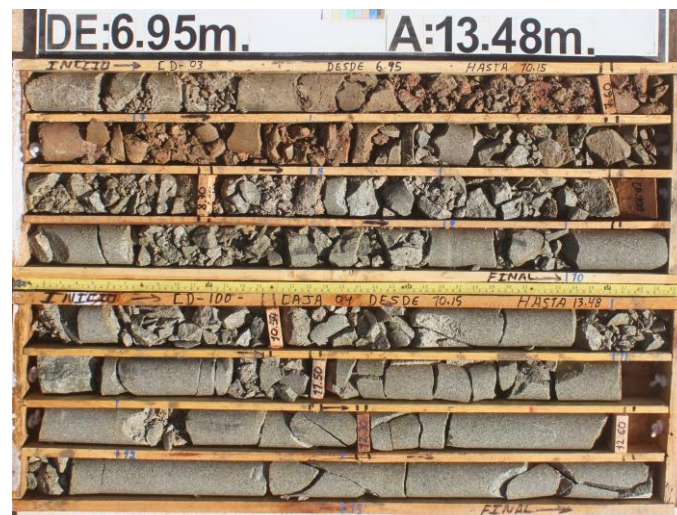


Figura 36: Contacto entre la andesita y la diorita a una profundidad de 6.9metros.

Los tipos de alteraciones hidrotermales definen el comportamiento del macizo rocoso según su grado de alteración; la alteración argílica es pervasiva y afecta de manera negativa en el comportamiento del macizo rocoso. Los minerales

existentes se convierten en arcillas de baja resistencia. En cambio, la alteración filica es selectiva, solo afecta a pequeños tramos convirtiéndolos en una roca de competitividad regular y la alteración propílica mantiene las características de los minerales sin cambiar sus parámetros iniciales, obteniendo un comportamiento regular a buena del macizo rocoso.

Tabla 22:

Clasificación del macizo rocoso del sondaje DDH-03

From	To	LITO	ALT.	RQD	RMR 89		Q barton		GSI	
0	10.5	TOG	5	10.4%	31	IV MALA	0.39	MUY MALA	16	MUY MALA
10.5	27.3	DI	4	26.0%	55	III REGULAR	0.98	MUY MALA	31	MALA
27.3	37.47	DI	5	20.0%	34	IV MALA	0.83	MUY MALA	19	MUY MALA
37.47	49.4	DI	4	67.7%	52	III REGULAR	1.41	MALA	47	REGULAR
49.4	63.3	DI	4	18.0%	34	IV MALA	0.45	MUY MALA	18	MUY MALA
63.3	99.8	DI	4	82.9%	64	II BUENA	20.72	BUENA	59	REGULAR
99.8	108.7	DI	3	73.8%	54	III REGULAR	3.08	MALA	53	REGULAR
108.7	132.1	DI	4	70.5%	57	III REGULAR	5.88	MEDIA	49	REGULAR
132.1	145.3	DI	4	14.7%	33	IV MALA	0.37	MUY MALA	19	MUY MALA
145.3	179.2	DI	4	93.4%	66	II BUENA	20.55	BUENA	68	BUENA
179.2	190.4	DI	4	98.2%	65	II BUENA	21.60	BUENA	76	BUENA
190.4	203.8	DI	4	89.1%	60	III REGULAR	11.14	BUENA	66	BUENA
203.8	216.3	DI	4	69.2%	51	III REGULAR	5.77	MEDIA	56	REGULAR
216.3	271.4	DI	4	94.2%	61	II BUENA	7.85	MEDIA	68	BUENA
271.4	285.3	DI	4	50.8%	41	III REGULAR	2.11	MALA	39	MALA
285.3	294.3	DI	4	14.0%	26	IV MALA	0.18	MUY MALA	21	MALA
294.3	321.3	DI	4	58.1%	51	III REGULAR	2.42	MALA	46	REGULAR
321.3	358.4	DI	4	59.1%	46	III REGULAR	2.46	MALA	46	REGULAR
358.4	369	DI	4	83.0%	57	III REGULAR	6.92	MEDIA	58	REGULAR
369	371	DI	5	50.3%	38	IV MALA	1.68	MALA	39	MALA
371	410.2	DI	4	67.1%	46	III REGULAR	5.59	MEDIA	55	REGULAR
410.2	507.5	DI	4	88.2%	62	II BUENA	14.70	BUENA	71	BUENA
507.5	525.8	DI	3	84.4%	50	III REGULAR	10.55	BUENA	63	BUENA

Con el análisis de las proyecciones estereográficas, se ha encontrado dos sistemas principales y una aleatoria, el plano principal tiene una orientación a SE, el plano secundario va orientado a NE, y finalmente se aprecia un sistema de discontinuidades aleatoria con dirección a NE.

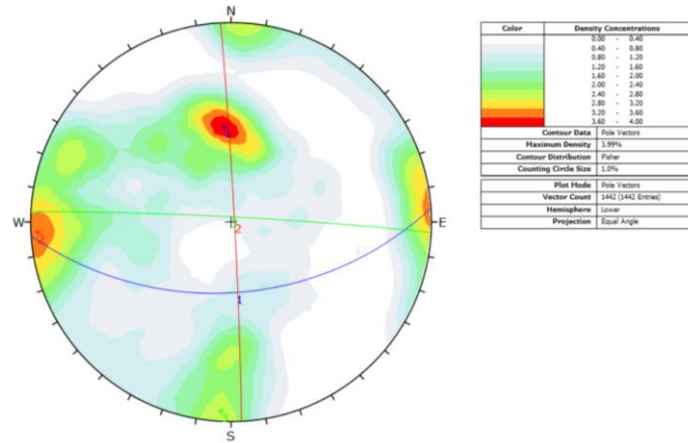


Figura 37: Diagrama de dispersión de las discontinuidades en el sondaje DDH-03.

Diagrama de dispersión, que muestra la concentración y la orientación de los sistemas de discontinuidades dominantes en el macizo rocoso.

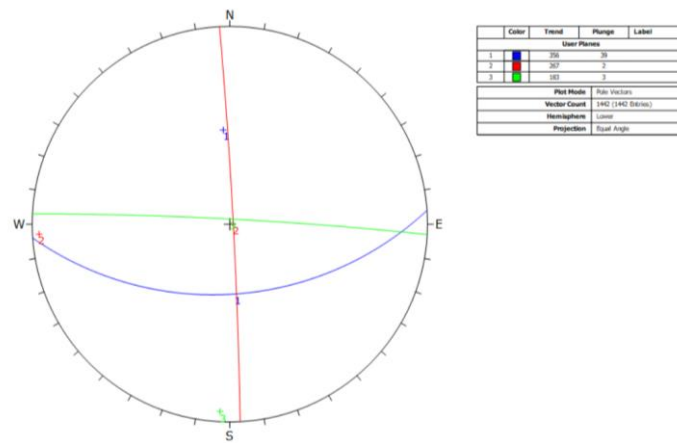


Figura 38: Diagrama de planos mayores, dominantes que se encuentran en el sondaje DDH-03

Tabla 23:

Sistema de discontinuidades de DDH 3

N°	Sistemas de Discontinuidades		Observaciones
	Dip	Dip Direction	
1	39	356	Familia 1
2	2	267	Familia 2
3	3	183	Aleatorio

5.1.4 Análisis geomecánica y geológica DEL sondaje DDH-04

El presente sondaje está se aprecia la litología diorita; en los primeros 10 metros la roca se encuentra afectada por la alteración argílica con RMR de 37 de calidad mala, $Q = 0.53$ de calidad muy mala y GSI de 21, la alteración argilica influye de manera negativa en el comportamiento del macizo rocoso. A medida que se va profundizando se aprecia la alteración propílica con RMR que oscila de 44 a 69 de calidad regular a buena y finalmente aparece un tramo de alteración filica con RMR de 36 de mala calidad, $Q=0.68$ de muy mala calidad y GSI 27, afectada de manera pervasiva.

Existe zona de falla influenciados por la alteración filica, y su comportamiento del macizo rocoso es de mala calidad, en cambio la alteración propílica presenta un comportamiento adecuado con calidad de Regular a buena como se aprecia en la Tabla 24.



Figura 39: Testigos de perforación; Zonas de falla, tramos agilizados y de alteración propílica.

La alteración argílica afecta de una manera negativa en la resistencia de la roca intacta según los resultados de ensayo carga puntual, así mismo el

comportamiento en dichas zonas es de mala calidad. En zonas de falla se aprecia la alteración propílica débil con muy mala calidad, a causa de que los minerales primarios cambian su composición química, dando como resultado una roca de baja calidad y resistencia.

Tabla 24:

Clasificación el macizo rocoso del sondaje DDH-04

From	To	LITO	ALT.	RQD	RMR 89		Q barton		GSI	
0	10	DI	5	8%	37	IV MALA	0.53	MUY MALA	21	MALA
10	38	DI	4	48%	53	III REGULAR	1.60	MALA	36	MALA
38	54.6	DI	5	19%	36	IV MALA	0.47	MUY MALA	21	MALA
54.6	140.6	DI	4	68%	69	II BUENA	22.59	BUENA	50	REGULAR
140.6	171.6	DI	4	76%	58	III REGULAR	16.77	BUENA	59	REGULAR
171.6	200.8	DI	4	86%	58	III REGULAR	14.28	BUENA	61	BUENA
200.8	224.5	DI	4	43%	44	III REGULAR	3.62	MALA	43	REGULAR
224.5	243.8	DI	4	54%	56	III REGULAR	8.99	MEDIA	48	REGULAR
243.8	248.5	DI	5	4%	26	IV MALA	0.10	MUY MALA	16	MUY MALA
248.5	262.1	DI	4	25%	38	IV MALA	3.10	MALA	29	MALA
262.1	327.6	DI	4	54%	56	III REGULAR	9.05	MEDIA	48	REGULAR
327.6	333.6	DI	3	27%	36	IV MALA	0.68	MUY MALA	27	MALA
333.6	346	DI	5	23%	31	IV MALA	0.58	MUY MALA	28	MALA
346	368.4	DI	4	32%	49	III REGULAR	0.80	MUY MALA	37	MALA
368.4	374.2	DI	5	6%	31	IV MALA	0.14	MUY MALA	19	MUY MALA
374.2	383.9	DI	4	52%	54	III REGULAR	4.31	MEDIA	47	REGULAR
383.9	400.4	DI	4	16%	36	IV MALA	0.41	MUY MALA	29	MALA
400.4	416.4	DI	4	56%	56	III REGULAR	4.64	MEDIA	49	REGULAR
416.4	458.4	DI	4	64%	54	III REGULAR	7.98	MEDIA	57	REGULAR
458.4	512.3	DI	4	72%	56	III REGULAR	6.03	MEDIA	57	REGULAR
512.3	518.1	DI	4	59%	55	III REGULAR	14.63	BUENA	56	REGULAR
518.1	602.4	DI	4	82%	64	II BUENA	13.64	BUENA	68	BUENA

Existen tres tipos de discontinuidades notorias, la principal tiene una orientación a SW, luego se tiene una secundaria orientada a SE y la aleatoria tiene una dirección a NE

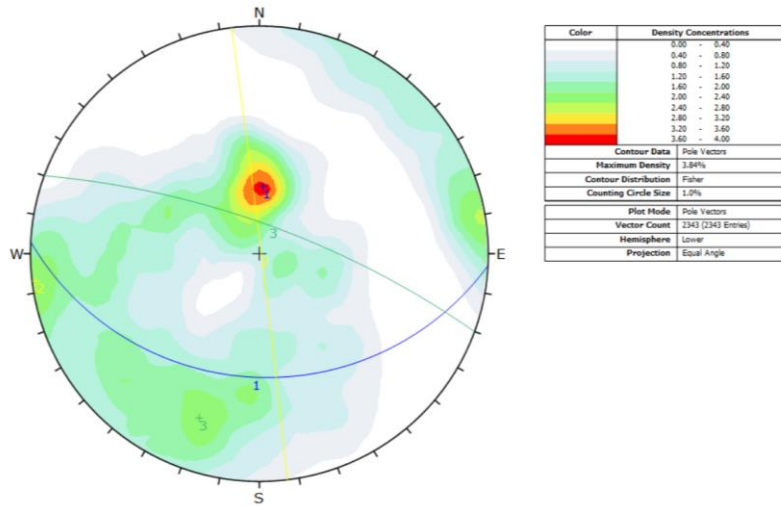


Figura 40: Diagrama de dispersión de la concentración de los polos, se tiene dos sistemas principales y un aleatorio

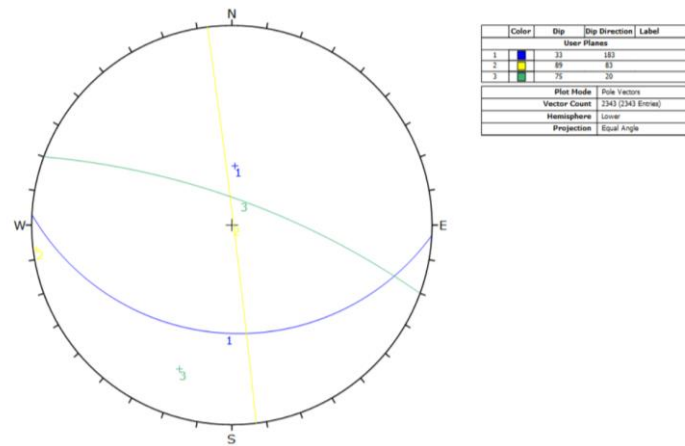


Figura 41: Diagrama de planos mayores en el sondeo de perforación diamantina DDH-04. Se aprecia las discontinuidades predominantes.

Tabla 25:

Sistema de discontinuidades de DDH 4

N°	Sistemas de Discontinuidades		Observaciones
	Dip	Dip Direccion	
1	33	183	Familia 1
2	89	83	Familia 2
3	20	75	Aleatorio

La principal discontinuidad tiene una dirección de buzamiento 183 SW, con buzamiento de 33 y la secundaria presenta una dirección de buzamiento 83 y buzamiento de 89 casi perpendicular a la vertical.



5.1.5 Análisis geomecánica y geológica del sondaje DDH-05

Los primeros 9 metros se encuentra cubierto por material cuaternario, con pequeños tramos de rocas de mala calidad, a medida que se va profundizando el sondaje se aprecia tres tipos de litología, pero cada uno se comporta de una manera diferente según el tipo de alteración.

En la parte superficial la diorita es afectada por la alteración argílica presenta los resultados; $RMR = 38$ y $Q=1.08$, ambos correspondientes a una roca de calidad mala, correspondiente a una profundidad de 32.9 a 44.3 metros, luego la misma roca es afectada por la alteración filica con RMR de 25 a 46 de calidad mala a regular. Los macizos de calidad mala se encuentran en estructuras de contacto litológico, la intrusión del pórfido afecto de una manera negativa en el comportamiento del macizo rocoso.

La alteración propílica se aprecia con Q de 3.07 a 7.7, de calidad media, excepto en tramos cercanas a las fallas que baja drásticamente la calidad y el comportamiento del macizo rocoso. A una profundidad de 412.7 se tiene la alteración clorita sericita, en este tramo el macizo rocoso se comporta con RMR de 43 a 64 de calidad regular a buena.

El pórfido dacítico aparece a una profundidad de 330.75 metros, influenciado por la alteración filica, con $RMR=49$, de calidad regular-III y $GSI = 50$. Finalmente, a la profundidad de 409.6 metros la tenemos la diatrema con $RMR= 54$, de calidad regular-III, $Q=7.92$, de calidad media y $GSI =70$.

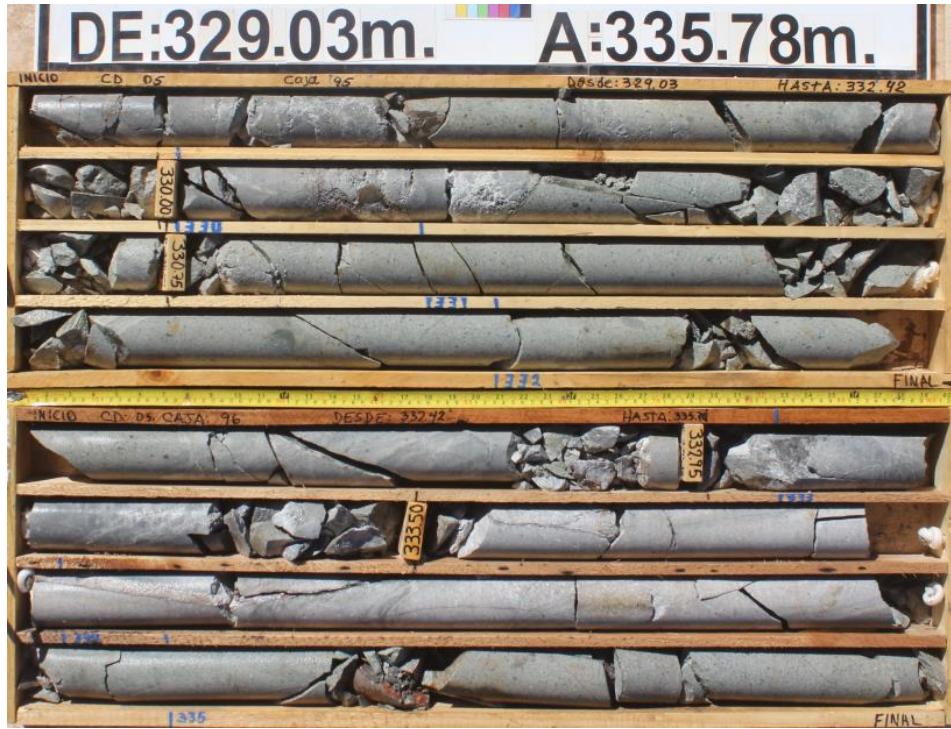


Figura 42: Testigo de perforación diamantina en el sondeo DDH-05, corresponde a una a un pórfido dacítico con alteración filica.

Tabla 26:

Caracterización Geomecánica del sondaje DDH-05

From	To	LITO	ALT.	RQD	RMR 89		Q barton		GSI	
0	9.3	S	5	3%	36	IV MALA	0.103	MUY MALA	21	MALA
9.3	32.9	DI	4	27%	51	III REGULAR	4.486	MEDIA	33	MALA
32.9	44.3	DI	5	13%	38	IV MALA	1.083	MALA	22	MALA
44.3	54.5	DI	4	78%	65	II BUENA	13.000	BUENA	59	REGULAR
54.5	72.1	DI	5	41%	48	III REGULAR	1.519	MALA	40	MALA
72.1	81.5	DI	4	74%	53	III REGULAR	3.075	MALA	52	REGULAR
81.5	114.5	DI	4	52%	61	II BUENA	5.830	MEDIA	46	REGULAR
114.5	121.8	DI	5	0%	37	IV MALA	0.000	EXCEPCIONALMENTE MALA	21	MALA
121.8	189.5	DI	4	0%	39	IV MALA	0.000	EXCEPCIONALMENTE MALA	21	MALA
189.5	200.9	DI	4	54%	44	III REGULAR	4.500	MEDIA	41	REGULAR
200.9	230.4	DI	4	93%	66	II BUENA	7.735	MEDIA	72	BUENA
230.4	249.8	DI	4	79%	50	III REGULAR	6.598	MEDIA	61	BUENA
249.8	309.5	DI	3	67%	46	III REGULAR	2.773	MALA	50	REGULAR
309.5	320.3	DI	3	19%	25	IV MALA	0.238	MUY MALA	22	MALA
320.3	330.75	DI	3	51%	38	IV MALA	1.056	MALA	34	MALA
330.75	336.6	PDA1	3	73%	49	III REGULAR	3.056	MALA	50	REGULAR
336.6	358.9	DI	3	59%	41	III REGULAR	2.463	MALA	39	MALA
358.9	368.4	DI	3	2%	25	IV MALA	0.038	MUY MALA	16	MUY MALA
368.4	409.6	DI	4	77%	55	III REGULAR	3.200	MALA	55	REGULAR
409.6	412.7	DIA2	3	95%	54	III REGULAR	7.917	MEDIA	70	BUENA
412.7	424.8	DI	2	96%	64	II BUENA	15.933	BUENA	73	BUENA
424.8	436.2	DI	2	36%	40	IV MALA	3.000	MALA	38	MALA
436.2	458.7	DI	2	91%	60	III REGULAR	22.813	BUENA	65	BUENA
458.7	469.4	DI	2	36%	43	III REGULAR	4.500	MEDIA	38	MALA
469.4	490.6	DI	3	87%	60	III REGULAR	7.274	MEDIA	65	BUENA
490.6	491.8	DI	3	63%	39	IV MALA	3.938	MALA	38	MALA
491.8	510.5	DI	3	84%	60	III REGULAR	7.019	MEDIA	63	BUENA
510.5	519.1	DI	3	31%	36	IV MALA	0.770	MUY MALA	36	MALA
519.1	528.7	DI	3	50%	49	III REGULAR	6.219	MEDIA	46	REGULAR
528.7	541.2	DI	3	38%	42	III REGULAR	3.139	MALA	41	REGULAR
541.2	555.3	DI	2	92%	59	III REGULAR	7.625	MEDIA	71	BUENA
555.3	571.7	DI	2	95%	55	III REGULAR	7.889	MEDIA	68	BUENA
571.7	600	DI	4	95%	58	III REGULAR	11.830	BUENA	68	BUENA
600	609.3	DI	4	94%	55	III REGULAR	11.750	BUENA	68	BUENA
609.3	621.4	LAP	4	93%	61	II BUENA	7.708	MEDIA	72	BUENA
621.4	629.3	DI	4	97%	73	II BUENA	16.167	BUENA	70	BUENA

La alteración clorita sericitica, es la transición entre la alteración filica y la alteración potásica, en esta zona el comportamiento del macizo rocoso es aceptable para la roca diorita y presenta regular a buenas los parámetros geomecánicos.

Análisis de proyección estereográfica en el sondeo de perforación diamantina DDH – 05, muestra dos sistemas principales y una aleatoria.

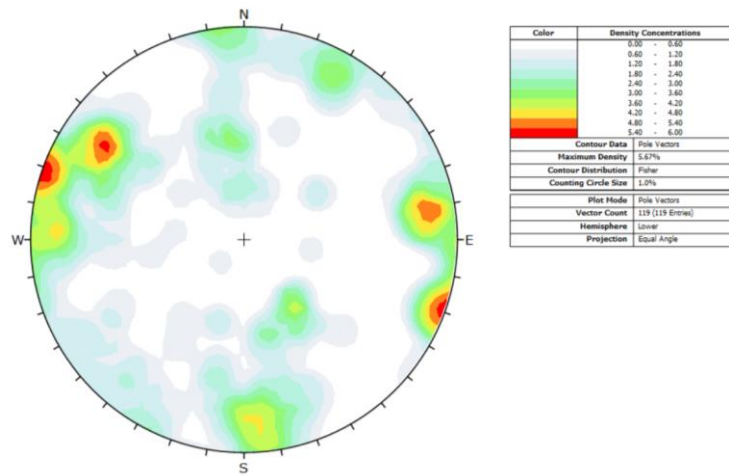


Figura 43: Diagrama de dispersión de la concentración de polos en los testigos de diamantina del sondeaje DDH – 05.

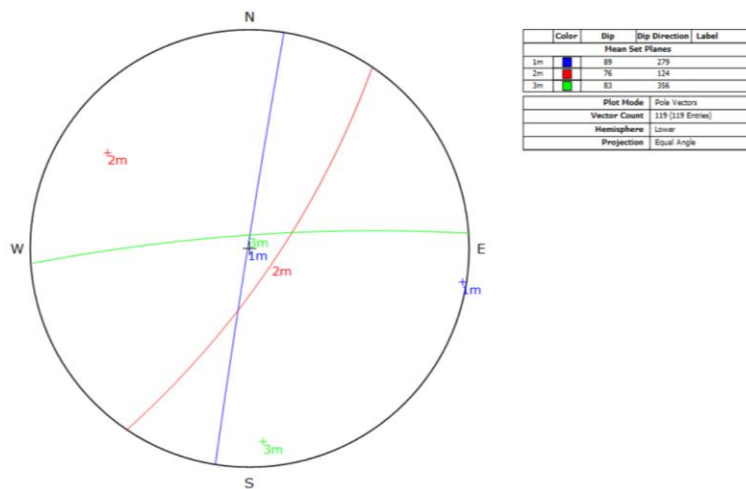


Figura 44: Diagrama de planos mayores de la concentración de polos de los cores del sondeaje DDH-05.

Tabla 27:

Sistema de discontinuidades del sondaje DDH 5

N°	Sistemas de Discontinuidades		Observaciones
	Dip	Dip Direccion	
1	89	279	Familia 1
2	76	124	Familia 2
3	83	356	Aleatorio

Se definió dos sistemas de discontinuidades dominantes y una aleatoria.

5.1.6 Analisis geomecanica y geologica del sondaje DDH-06

El comportamiento del grupo Toquepala, influenciado por la alteración argílica es inadecuada, con RMR que oscila entre 30 a 38 y Q que oscila entre 0.19 a 0.75 ambos de mala calidad. En las zonas de alteración propílica, el macizo rocoso se encuentra con RMR de 42 a 69 de calidad regular a Buena. A la profundidad de 110.95 metros se aprecia la diorita con RMR que oscila entre 47 a 63 de calidad regular a buena, influenciada por la alteración propílica, en la cual presenta un comportamiento adecuado, pero existen zonas influenciados por la alteración filica con $Q = 5.80$ de calidad media y tramos de alteración argílica con comportamiento malos

Los pequeños cuerpos de diques post mineral, afectados por la alteración propílica presentan un RMR =56, de calidad regular-III, $Q=12.08$, de calidad buena y GSI=69



Figura 45: Testigos de perforación diamantina DDH-06.

Se aprecia el contacto entre la andesita del grupo Toquepala y la diorita, las fracturas se encuentran alteradas (relleno de óxidos).



Tabla 28:

Caracterización geomecánica del sondaje DDH-06

From	To	LITO	ALT.	RQD	RMR 89		Q barton		GSI	
0	11.65	TOG	5	5%	33	IV MALA	0.19	MUY MALA	18	MUY MALA
11.65	14.15	TOG	5	0%	30	IV MALA	0.00	EXCEPCIONALMENTE MALA	15	MUY MALA
14.15	18.95	TOG	5	14%	34	IV MALA	0.52	MUY MALA	22	MALA
18.95	23.6	TOG	5	19%	35	IV MALA	0.72	MUY MALA	25	MALA
23.6	48.75	TOG	5	20%	39	IV MALA	0.83	MUY MALA	27	MALA
48.75	50.45	TOG	5	0%	35	IV MALA	0.00	EXCEPCIONALMENTE MALA	17	MUY MALA
50.45	58.25	TOG	4	18%	41	III REGULAR	2.25	MALA	26	MALA
58.25	59.85	TOG	5	0%	30	IV MALA	0.00	EXCEPCIONALMENTE MALA	14	MUY MALA
59.85	62.85	TOG	5	14%	34	IV MALA	0.53	MUY MALA	22	MALA
62.85	70.25	DI	5	15%	38	IV MALA	0.75	MUY MALA	24	MALA
66.05	70.25	TOG	4	23%	42	III REGULAR	3.83	MALA	33	MALA
70.25	73	TOG	4	85%	66	II BUENA	14.11	BUENA	63	BUENA
73	79.85	DI	4	72%	59	III REGULAR	9.03	MEDIA	53	REGULAR
79.85	89.45	TOG	4	86%	69	II BUENA	14.33	BUENA	66	BUENA
89.45	92.65	DI	4	96%	74	II BUENA	15.92	BUENA	73	BUENA
92.65	94.95	TOG	4	46%	56	III REGULAR	7.67	MEDIA	43	REGULAR
94.95	110.95	TOG	4	55%	62	II BUENA	13.65	BUENA	48	REGULAR
110.95	128.75	DI	4	93%	72	II BUENA	20.41	BUENA	72	BUENA
128.75	170.45	DI	4	79%	61	II BUENA	6.49	MEDIA	60	BUENA
170.45	178.88	DI	4	66%	47	III REGULAR	4.13	MEDIA	51	REGULAR
178.88	182.65	DI	5	0%	23	IV MALA	0.00	EXCEPCIONALMENTE MALA	17	MUY MALA
182.65	209	DI	3	70%	49	III REGULAR	5.80	MEDIA	56	REGULAR
209	217.8	DI	4	88%	58	III REGULAR	10.94	BUENA	65	BUENA
217.8	230.7	DI	4	42%	42	III REGULAR	0.87	MUY MALA	39	MALA
230.7	246.6	DI	4	86%	59	III REGULAR	3.60	MALA	66	BUENA
246.6	250.4	DI	5	11%	26	IV MALA	0.20	MUY MALA	22	MALA
250.4	253.3	DI	4	16%	28	IV MALA	0.30	MUY MALA	25	MALA
253.3	264.6	DI	5	9%	27	IV MALA	0.17	MUY MALA	21	MALA
264.6	268.5	DI	4	19%	31	IV MALA	0.35	MUY MALA	26	MALA
268.5	272.8	DI	5	20%	31	IV MALA	0.38	MUY MALA	27	MALA
272.8	280.8	DI	4	71%	55	III REGULAR	2.95	MALA	58	REGULAR
280.8	298.6	DI	5	13%	27	IV MALA	0.17	MUY MALA	23	MALA
298.6	303.2	DI	4	29%	38	IV MALA	0.54	MUY MALA	31	MALA
303.2	321	DI	4	89%	56	III REGULAR	1.85	MALA	67	BUENA
321	379.4	DI	4	92%	63	II BUENA	11.45	BUENA	67	BUENA
379.4	410.7	DI	4	90%	59	III REGULAR	11.25	BUENA	63	BUENA
410.7	452.8	DI	4	92%	64	II BUENA	7.65	MEDIA	71	BUENA
452.8	454	DI	5	5%	21	IV MALA	0.06	MUY MALA	10	MUY MALA
454	491.4	DI	4	93%	59	III REGULAR	7.74	MEDIA	64	BUENA
491.4	534	DI	4	81%	48	III REGULAR	3.39	MALA	54	REGULAR
534	543.3	DI	4	78%	58	III REGULAR	3.25	MALA	60	REGULAR
543.3	557.4	DI	4	90%	56	III REGULAR	3.75	MALA	66	BUENA
557.4	569.4	DI	4	97%	63	II BUENA	24.19	BUENA	69	BUENA
569.4	595.4	DI	4	91%	56	III REGULAR	7.56	MEDIA	66	BUENA
595.4	600.2	DI	3	45%	47	III REGULAR	1.13	MALA	48	REGULAR
600.2	617.4	DI	4	98%	64	II BUENA	18.44	BUENA	75	BUENA
617.4	626.4	LAP	4	99%	59	III REGULAR	18.56	BUENA	75	BUENA
626.4	641	DI	4	89%	61	II BUENA	11.18	BUENA	70	BUENA
641	650.1	DI	3	64%	49	III REGULAR	8.00	MEDIA	53	REGULAR
650.1	664.2	LAP	4	97%	56	III REGULAR	12.08	BUENA	69	BUENA
664.2	677.4	DI	3	58%	46	III REGULAR	7.30	MEDIA	50	REGULAR
677.4	701.4	DI	4	97%	64	II BUENA	8.10	MEDIA	74	BUENA

Del tramo 69.47 metros hasta 73 metros se aprecia la roca andesita de una textura afanítica, con ensamble característico de la alteración propílica (clorita, calcita, pirita y con venillas de epidota). A partir de 73 metros hasta 77 metros se observa claramente la diorita con textura fanerítica equigranular con RMR de 67 de calidad buena.

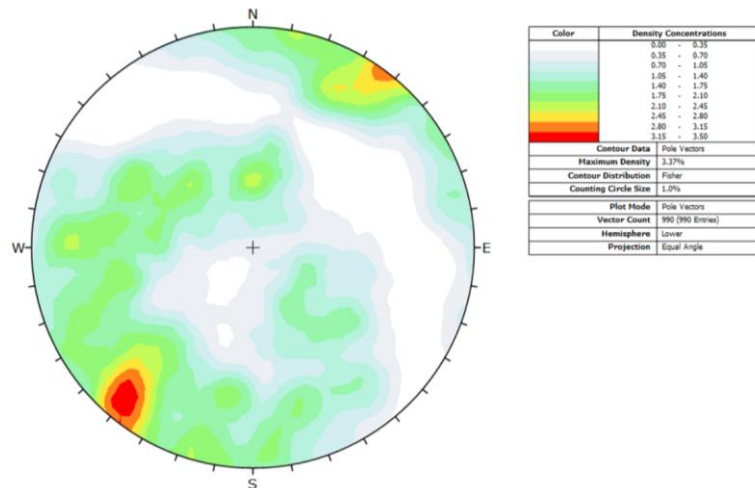


Figura 46: Diagrama de dispersión de la concentración de los polos del sondaje DDH-06.

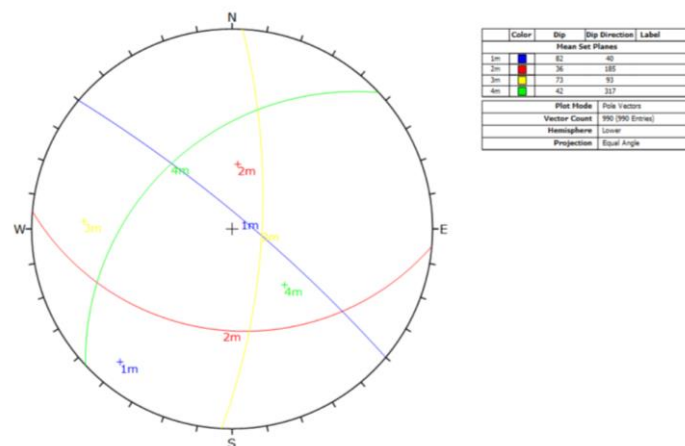


Figura 47: Diagrama de planos mayores de la concentración de polos en sondeo DDH-06.

Según el análisis de estereograma; se puede apreciar 4 tipos de discontinuidades notorias, la principal que tiene una orientación a NE, la

secundaria a SW, la tercera a SE y la aleatoria a NW. La familia dominante o principal tiene una casi vertical.

Tabla 29:

Sistema de discontinuidades del DDH 06

N°	Sistemas de Discontinuidades		Observaciones
	Dip	Dip Direccion	
1	82	40	Familia 1
2	36	185	Familia 2
3	73	93	Familia 3
4	42	317	Aleatorio

5.2 CARACTERIZACION GEOMECANICA CON RESPECTO A LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES

El comportamiento del macizo rocoso depende de la alteración hidrotermal, litología y estructuras mayores. Las zonas de alteración argílica, tienen un comportamiento pésimo según las clasificaciones de RMR, Q y GSI. En cambio, las zonas de alteración filica los resultados son de calidad mala a regular, y en las zonas de alteración propílica el comportamiento del macizo rocoso es más competente, con calidad regular a buena, ya que dichas zonas son distales al depósito. A medida que se va profundizando se intercepta la alteración clorita sericita que presenta una calidad Regular.

Cada litología se comporta de una manera diferente para cada tipo de alteración hidrotermal, pero también las estructuras geológicas cumplen un rol muy importante para la competitividad de los macizos. A mayor profundidad el macizo rocoso presenta un RQD considerablemente buena, tanto para la resistencia de roca intacta y parámetros de las discontinuidades favorecen considerablemente para obtener un macizo rocoso de buena calidad.

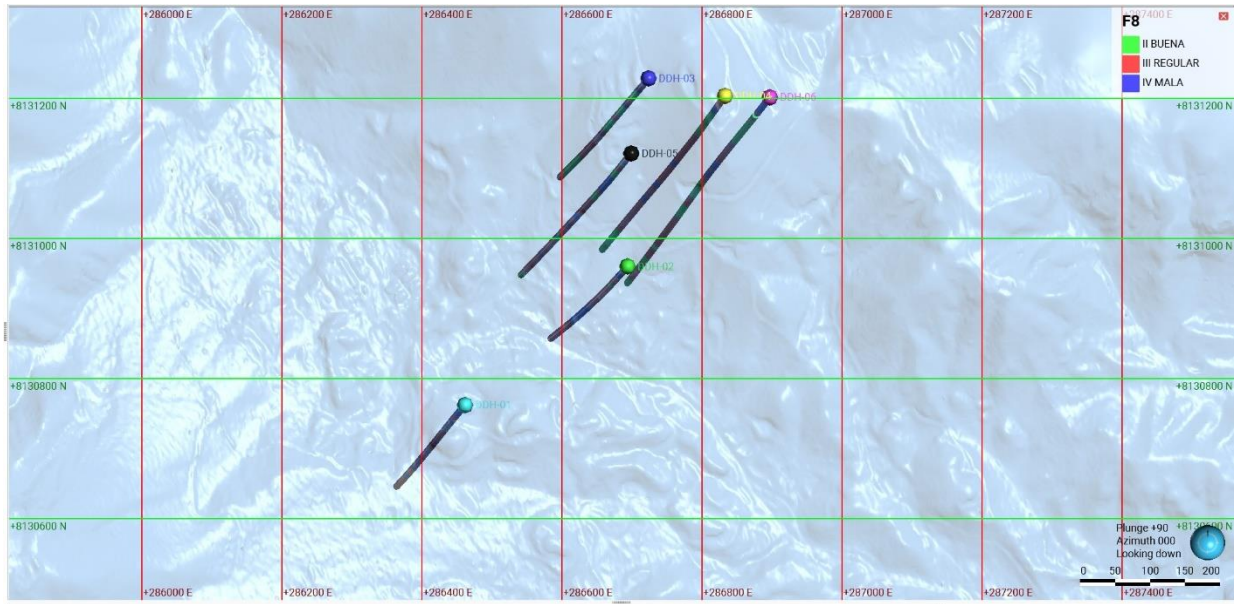


Figura 48: Sondajes perforados en planta

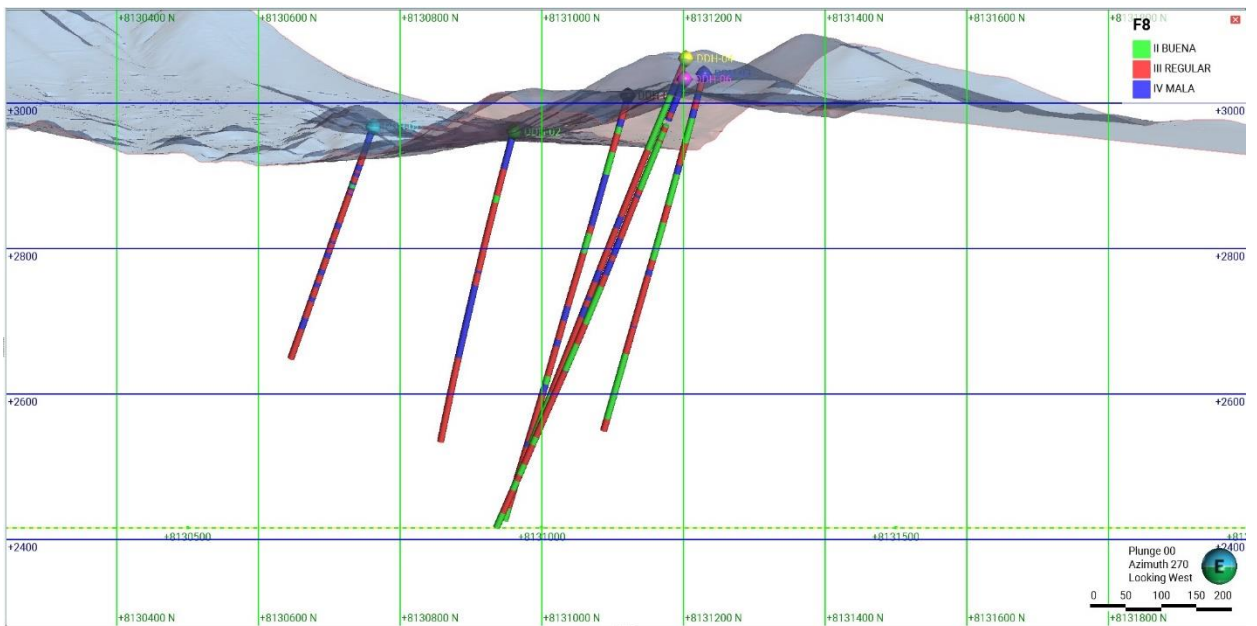


Figura 49: Sondajes perforados en perfil, sección E.

Sección E

En la sección E; En la parte superficial se aprecia claramente la alteración argílica que afecta de manera pervasiva a las rocas que afloran como pórfido dacítico 1, pórfidos tardíos y la diorita; con mala calidad del macizo rocoso. En la parte central las litologías

son alteradas por la alteración filica, teniendo zonas de mala calidad y zonas de calidad regular. Y a mayor profundidad la roca es más competente con un RQD de 80 a 100%.

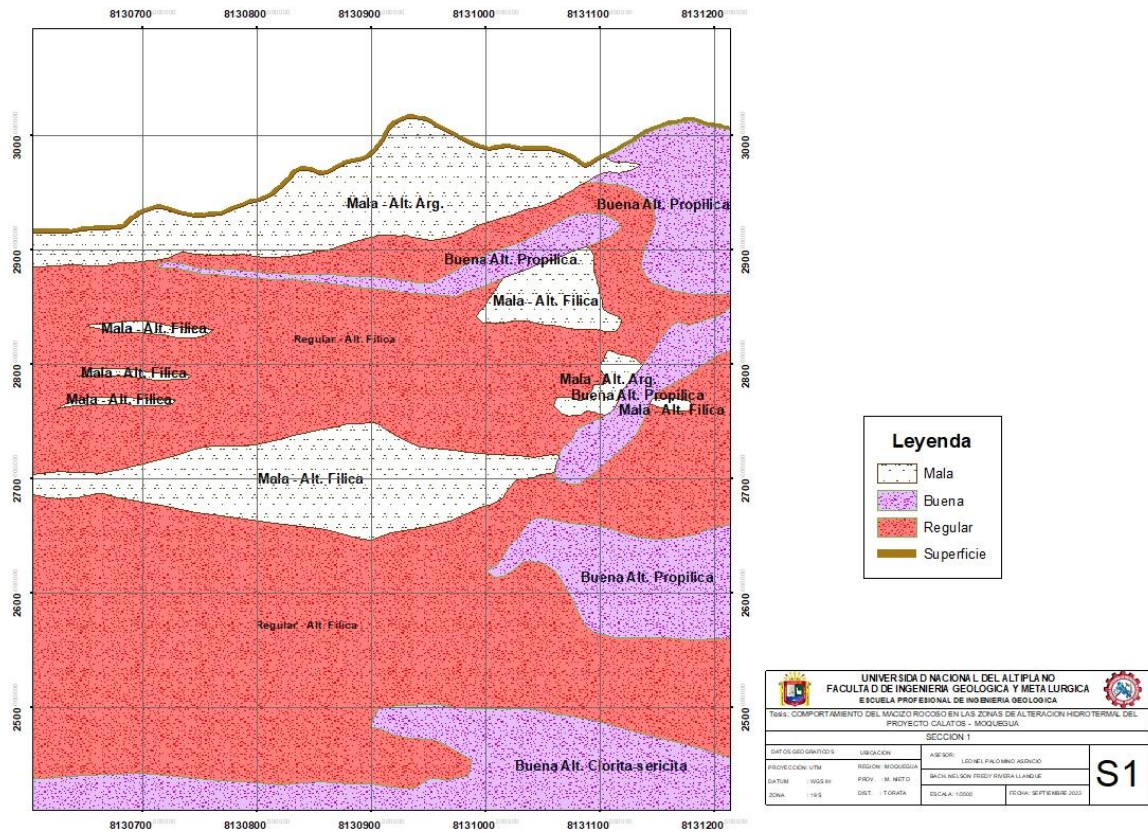


Figura 50: Sección E

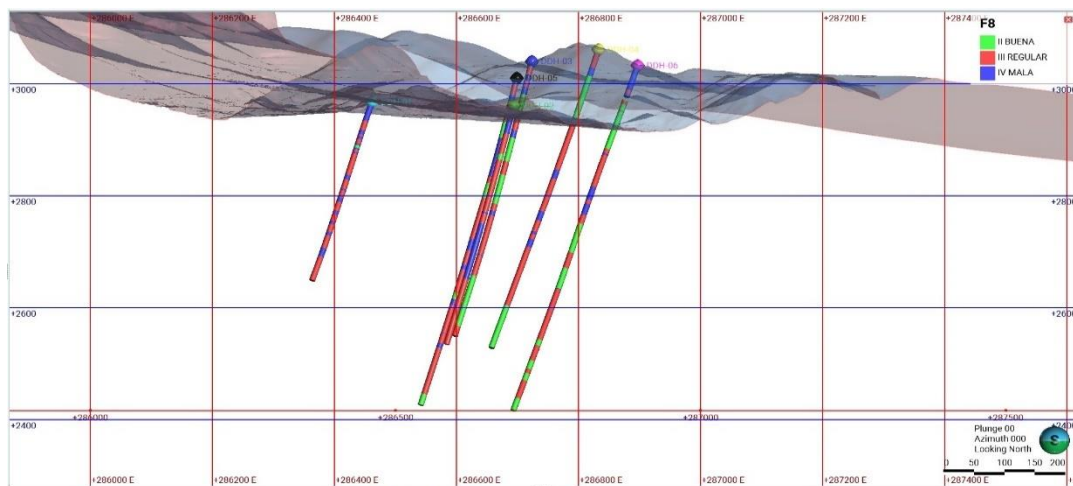


Figura 51: Sondajes perforados en perfil, sección S.

Sección S

En la sección S; la parte superficial esta influenciado por la alteración argílica, con mala calidad del macizo rocoso. En las zonas de alteración propílica la roca se encuentra compacto con calidad de regular a buena. La zona central está afectada por la alteración filica, gran parte de dicha alteración se encuentra con calidad regular, pero existe pequeños tramos de mala calidad.

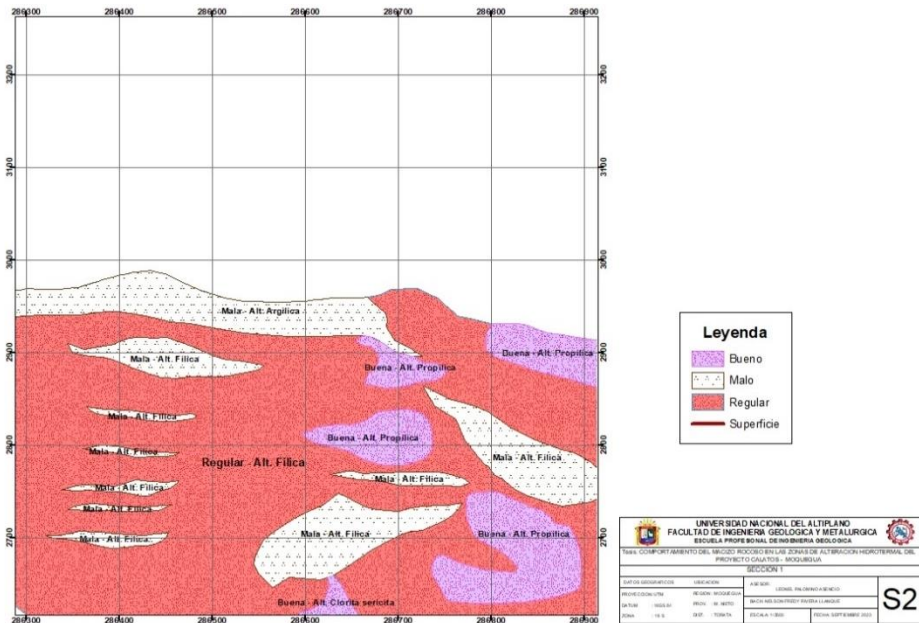


Figura 52: Sección S,



VI. CONCLUSIONES

- Los parámetros geomecánicos del macizo rocoso dependen de las estructuras geológicas, litología y la alteración hidrotermal que se tiene en in situ. Según la caracterización geomecánica RMR, Q y GSI, cada zona de alteración se comporta de una manera diferente; en las zonas argílicas la resistencia de la roca es inferior a 25Mpa, la alteración de las juntas es alta a moderadamente alterada, con RQD inferiores a 25%. Las zonas de alteración propílica presentan una resistencia favorable de la roca intacta, excepto en zonas cercanas a las fallas, adecuado RQD, ligera alteración de juntas, y en la alteración filica se aprecia una calidad mala en la parte superficial, a medida que va profundizando llega hasta una calidad regular del macizo rocoso.

- Las zonas de alteración hidrotermal se zonificaron de la siguiente manera:

Las rocas; diorita, Toquepala, pórfido dacítico, diatrema y los pórfidos tardíos afectados por la alteración hidrotermal argílica, presentan un comportamiento de mala calidad. En las zonas de alteración propílica; las litologías diorita, pórfido tardío, monzonita y toquepala se encuentran con calidad regular a buena. En zonas de alteración filica las litologías diorita, pórfido dacítico, diatrema y monzonita se comportan de mala a regular calidad. Y finalmente la diorita influenciada por la alteración clorita - sericita presenta una calidad de regular a buena.



VII. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones adoptadas para la presente investigación son las siguientes:

- Se recomienda realizar perforaciones orientadas a geotecnia, con fines de obtener las direcciones de las estructuras que influyen en el comportamiento del macizo rocoso.
- Se recomienda realizar mapeo superficial por celdas, con fines de obtener la persistencia del macizo rocoso.
- Se recomienda realizar mapeo geológico detallado de las alteraciones hidrotermales según su grado de afectación al macizo rocoso en la parte superficial y en los sondajes.
- Se recomienda realizar mapeo superficial de las alteraciones hidrotermales en el área de influencia del depósito.
- Se recomienda que, durante la construcción de los componentes, se verifique las condiciones estructurales y de calidad del macizo rocoso, para ir ajustando las características geológicas y geotécnicas del depósito.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ale, J. (2012). Tesis para optar el grado de maestro en ciencias en ingeniería geotécnica, titulado: “Influencia de la alteración hidrotermal en la calidad del macizo rocoso en taludes de tajo abierto”, *Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú, 92p.*
- Acosta, Rodríguez y Huanacuni, (2011). Memoria sobre la geología económica de la región Moquegua (Proyecto GE 33). *INGEMMET, metalogenia y geología económica por regiones, 24p.*
- Barton, N., Løset, F., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.
- Bieniawski, Z.T. (1976). Rock mass classification in rock engineering. In *Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.*
- Bellido, E. (1979). Geología del cuadrángulo de Moquegua. *Bol. N° 15, Hoja 35-u, Serie A INGEMMET.*
- Betancur & López, (2019). Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de geólogo(a), titulado: “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”, *Universidad EAFIT, Medellín – Colombia, 134p.*
- Chura, W. (2006). Tesis de para obtener el título profesional de ingeniero Geólogo, Titulo: “Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica



- administrativa Ana maría-la rinconada”, *Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.*
- Dávila J. (2006). Diccionario Geológico Bilingüe Español Inglés.
- Deere, D.U. and Deere, D.W. (1988). The rock quality designation (RQD) index in practice. In *Rock classification systems for engineering purposes*, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat
- Donders, (2009). Tesis de postgrado “The Relationship between Rock Mass Conditions and Alteration and Weathering in the Lower Hamersley Group Iron Formations”, *Universidad de Canterbury – Australia, 203p.*
- Gonzales de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica* (2da ed.). Madrid, España: Pearson Education.
- Herrera, E. (2020). Tesis para optar el grado académico de magister en geología mención en geotecnia, titulado: “Caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicado al análisis de estabilidad de taludes en el yacimiento Jesica, Ocuwiri - Lampa – Puno – 2015 – 2016”, *Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Peru, 134, 140p.*
- Hoek E. (2000). Analysis of rockfall hazard. *Rock Engineering: Course Notes, Rocsciense*, pp. 115-136 (Available at www.rocsciense.com).
- International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field 185 test. (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Ankara, Turkia: ISRM.
- Lowell y Guilbert (1970) & Hoek y Karzulovic (2000), *Guías Geotécnicas para una transición desde rajo abierto a minería subterránea* caracterización geotécnica.
- Lugo, J. (2010). *Geomorfología. Investigaciones geográficas*, (71), 126-127.



- Mamani, R. (2016). Tesis de para obtener el título profesional de ingeniero Geólogo, Titulo: “Análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera sina yanahuaya tramo III - sub tramo 02, a partir de la caracterización geológica y resistencia a la compresión simple”, *Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú*.
- Marinos, P., & Hoek, E. (2000). GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Melbourne: Technomic Publishing Co.
- Martínez, W. & Cervantes J., (2010). Proyecto los calatos, marco estructural y características geológicas, sector Jaguay Moquegua, *Sociedad Geologica del Peru. Esp. N°9, 568 – 570p*
- Martínez, Marchera, Otero, Cervantes y León, (2017). Geología y controles tectonomagmaticos de los sistemas porfiríticos en el arco magmático occidental sur de Perú, *INGEMMET, 112p*
- Nina, J. (2014). Tesis de para obtener el título profesional de ingeniero Geólogo, Titulo: “Estudio geológico – geotécnico del proyecto túnel de desvió rio Asana – Quellaveco – Moquegua”, *Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Perú, 96p*.
- Otero, Martínez, Marchena y Gómez, (2019). Indicios de alteración y mineralización relacionados a un sistema pórfido de Cu-Mo en el sur del Perú: Torata – Moquegua, *Instituto de Ingenieros de minas del Peru, Proexplo, 119 – 123p*.
- Palenque, J., & Estremera, D. (2008). El clima de la vertiente del Pacífico de los Andes centrales y sus implicaciones geomorfológicas. *Espacio y Desarrollo, (20), 31-56*.
- Rodriguez Illachura, H. T. (2014). Problemas Estructurales y la Estabilidad de los Macizos Rocosos. *El Ingeniero, 72*.



- Teran, M. (2020). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, título “Evaluación de la estabilidad física de los taludes de un tajo abierto en función a la alteración hidrotermal del macizo rocoso”, *Universidad nacional de Ingeniería, Lima – Peru, 117, 190p.*
- Ulusay. (2007-2014). *The ISRM Suggested Methods For Rock Characterization, Testing and Monitoring.* Ankara, Turkia: ISRM.
- Soto, M. (2008) *Manual de Geología del Perú.*
- Soto, M. (2005) *Texto Universitario de Petrología.* 181p
- Susanibar, J. (2017). *Manual de Procedimiento de Registro Geotécnico. Proyecto Los Calatos.*



ANEXOS



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo NELSON FREDY RIVERA LLANQUE
identificado con DNI 45902482 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

" COMPORTAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LAS ZONAS DE
ALTERACION HIDROTÉRMAL DEL PROYECTO CALATOS - MOQUEGUA"

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mí persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

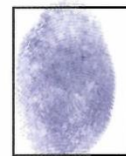
Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de SEPTIEMBRE del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo NELSON FREDY RIVERA LLANQUE
identificado con DNI 45902482 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"COMPORTAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LAS ZONAS DE ALTERACION HIDROTHERMAL DEL PROYECTO CALATOS - MOQUEGUA"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de SEPTIEMBRE del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella