

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Relogeo geomecánico de sondajes históricos para determinar la
confiabilidad de logeo del Target la Tapada en el proyecto de exploración
Carhuacayán, Cía. Minera Volcan S.A.A. – Junín 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Luis Guillermo CARDENAS JIMENEZ

Asesor:

MSc. Saturnino Eleuterio FLORES COAGUILA

Cerro de Pasco - Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Relogeo geomecánico de sondajes históricos para determinar la
confiabilidad de logueo del Target la Tapada en el proyecto de exploración
Carhuacayán, Cía. Minera Volcan S.A.A. – Junín 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Favio Máximo MENA OSORIO
PRESIDENTE

Dr. José Fermín HINOJOSA DE LA SOTA
MIEMBRO

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 328-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

“Relogeo geomecánico de sondajes históricos para determinar la confiabilidad de logeo del Target La Tapada en el proyecto de exploración Carhuacayán, Cía. Minera Volcan S.A.A. – Junín 2023”

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Luis Guillermo CARDENAS JIMENEZ

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Saturnino Eleuterio, FLORES COAGUILA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

11 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 2 de octubre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
SIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02.10.2025 17:34:52 -05:00

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación es dedicado a: mis padres Luis y Blanca, por ser mi guía de superación desde niño y el apoyo incondicional durante mi carrera, a mis hermanos Jerasely y Jefferson que siempre confían mí y en especial a mi pareja Denisse por sus recomendaciones y fuerza para acabar este proyecto.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a Dios por la vida y por darme una familia que permitió el crecimiento como profesional.

Segundo, agradezco a mi alma mater por los conocimientos brindados para mi desarrollo como profesional y poder afrontar los retos de la vida.

Tercero, al asesor por la guía y recomendaciones para el desarrollo de la presente tesis.

RESUMEN

La presente tesis denominada “Relogeo geomecánico de sondajes históricos para determinar la confiabilidad de logueo del Target La Tapada en el proyecto de exploración Carhuacayán, Cía. Minera Volcan S.A.A. – Junín 2023”; tiene como principal objetivo determinar la confiabilidad de la data geomecánica histórica obtenida durante las campañas de perforación y logueo 2016 – 2019, mediante el relogeo de tres sondajes alcanzando un metraje total de 1669.70 m; además de ello definir un método de validación en la futura generación de data geomecánica. Para esto se verá el uso de herramientas que apoyen el proceso de relogeo como: lápiz de dureza, lápiz imán o péndulo, navaja de dureza, ácido clorhídrico, protector y formatos automatizados. El método utilizado es de carácter observacional-comparativo, el cual nos ayuda a la descripción de características geomecánicas de testigos diamantinos en los sistemas de clasificación RMR89', Q', GSI y IRMR de Laubsher, para una posterior comparación con resultados históricos y determinar las causas de una buena o mala correlación. Los resultados obtenidos demuestran una variabilidad dentro de la caracterización de la calidad de la roca, dando un déficit dentro del logueo geomecánico histórico. Concluyendo: 1. Los resultados obtenidos en la etapa de relogeo cuentan con un alto grado de confiabilidad debido a la estandarización de parámetros geomecánicos, 2. El comparativo de resultados deja ver un cálculo subestimado dentro de la data histórica, el cual no se ve reflejado en los testigos diamantinos, 3. Es necesario contar con un método de validación de datos geomecánicos y así obtener un alto grado de confiabilidad en el logueo geomecánico.

Palabras clave: Relogeo, validación, clasificaciones geomecánicas, confiabilidad, data histórica, comparación de resultados.

ABSTRACT

The present thesis called "Geomechanical relogging of historical drillholes to determine the logging reliability of the La Tapada Target in the Carhuacayán exploration project, Cía. Minera Volcan S.A.A. - Junín 2023"; The main objective is to determine the reliability of the historical geomechanical data obtained during the 2016 - 2019 drilling and logging campaigns, by relogging three drillholes reaching a total footage of 1669.70 m; in addition to defining a validation method in the future generation of geomechanical data. For this, the use of tools that support the relogging process will be seen such as: hardness pencil, magnet pencil or pendulum, hardness knife, hydrochloric acid, protactor and automated formats. The method used is of an observational-comparative nature, which helps us describe the geomechanical characteristics of diamond cores in the RMR89', Q', GSI and Laubscher IRMR classification systems, for subsequent comparison with historical results and to determine the causes of a good or poor correlation. The results obtained demonstrate variability within the characterization of rock quality, giving a deficit in historical geomechanical logging. Concluding: 1. The results obtained in the relogging stage have a high degree of reliability due to the standardization of geomechanical parameters, 2. The comparative results reveal an underestimated calculation within the historical data, which is not reflected in the diamond cores, 3. It is necessary to have a method for validating geomechanical data to obtain a high degree of reliability in geomechanical logging.

Keywords: Relogging, validation, geomechanical classifications, reliability, historical data, comparison of results.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, Volcan Compañía Minera S.A.A. ha priorizado la recopilación de información geomecánica confiable dentro de sus proyectos de exploración, implementando desde el año 2021 un sistema unificado y estandarizado de logueo geomecánico. Esta información resulta esencial para el desarrollo de modelos geomecánicos confiables, fundamentales para los estudios de scoping, prefactibilidad y factibilidad en la evaluación de un yacimiento.

El presente trabajo de investigación se desarrolla en el marco del proyecto de exploración Carhuacayán, específicamente en el Target La Tapada, ubicado en la región Junín. Entre los años 2016 y 2019 se realizaron múltiples campañas de perforación diamantina; sin embargo, muchas de ellas carecen de información geomecánica estandarizada. En ese contexto, esta tesis tiene como objetivo determinar la confiabilidad del logueo de sondajes históricos mediante un relogueo geomecánico detallado de tres sondajes representativos, utilizando criterios y formatos actuales.

La investigación parte del análisis del estado de conservación de los testigos de perforación y los registros fotográficos históricos, para luego aplicar una metodología rigurosa de relogueo geomecánico que incluye parámetros como RMR89', Q de Barton, GSI e IRMR. Los resultados obtenidos permiten realizar un análisis comparativo que valida la calidad de los datos previos y proponen mejoras para su uso futuro en modelos geomecánicos.

La presente tesis se encuentra estructurada en los siguientes capítulos:

Capítulo I: En el cual se describe la problemática identificada en el proyecto Carhuacayán, formulando el problema general y específicos, objetivos, hipótesis, justificación, limitaciones y la delimitación del estudio.

Capítulo II: Presenta los antecedentes nacionales y locales, así como los fundamentos científicos y técnicos relacionados con el logueo y relogueo geomecánico, las clasificaciones

geomecánicas aplicadas, la geología del área de estudio y las variables involucradas en la investigación.

Capítulo III: Expone el tipo y nivel de investigación, el diseño metodológico, la población y muestra, los instrumentos de recolección de datos, y las técnicas de análisis utilizadas para evaluar la confiabilidad de los registros geomecánicos.

Capítulo IV: Resultados y Discusión. Se detallan los hallazgos obtenidos del relogueo de los sondajes seleccionados, incluyendo análisis comparativos con los datos históricos, correlaciones entre parámetros geomecánicos y validación de los resultados mediante métodos gráficos y estadísticos.

Capítulo V: Conclusiones. Resume los principales hallazgos del estudio, enfatizando la confiabilidad alcanzada con el nuevo sistema de logueo y su impacto en la toma de decisiones para futuras campañas exploratorias.

Capítulo VI: Recomendaciones. Se proponen acciones y mejoras orientadas a optimizar el proceso de logueo geomecánico en futuros proyectos, con base en los resultados de esta investigación.

Esta estructura permite una comprensión integral del estudio, facilitando la evaluación técnica de los datos históricos y proponiendo lineamientos que fortalezcan la gestión geotécnica en proyectos mineros en etapa de exploración avanzada.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema.....	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.3.	Formulación del problema.....	3
1.3.1.	Problema general.....	3
1.3.2.	Problemas específicos.....	4
1.4.	Formulación de objetivos.....	4
1.4.1.	Objetivo general.....	4
1.4.2.	Objetivos específicos.....	4
1.5.	Justificación de la investigación.....	4
1.6.	Limitaciones de la Investigación.....	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	6
2.2.	Bases teóricas – científicas.....	8
2.3.	Definición de términos.....	54
2.4.	Formulación de hipótesis.....	55
2.4.1.	Hipótesis general.....	55
2.4.2.	Hipótesis específicos.....	56
2.5.	Identificación de variables.....	56
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	56

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	57
3.2.	Nivel de investigación.....	57
3.3.	Método de investigación	58
3.4.	Diseño de la investigación.....	59
3.5.	Población y muestra	59
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	59
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	60
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	62
3.9.	Tratamiento estadístico.....	62
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	63

CAPITULO IV

RESULTADO Y DISCUSIONES

4.1.	Descripción del trabajo de campo	64
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de datos	68
4.3.	Prueba de hipótesis.....	97
4.4.	Discusión de resultados	110

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Plano de Concesiones Proyecto Carhuacayán.	3
Figura 2. Mapa Geológico Regional	14
Figura 3. Columna Estratigráfica A-A´(Plano Regional) – Proyecto Carhuacayán.....	19
Figura 4. Plano Geológico Local – Proyecto Carhuacayán – Target La Tapada.	20
Figura 5. Plano Estructural Regional – Proyecto Carhuacayán.	22
Figura 6. Plano Estructural Local – Proyecto Carhuacayán – Target La Tapada.	23
Figura 7. Plano de Alteración – Target La Tapada.	25
Figura 8. “Anatomía de un pórfido telescopeado”; mostrando la interacción espacial entre un pórfido central de Cu-Au-Mo y sus rocas caja circundantes. Sillitoe; 2010.....	26
Figura 9. Sección Esquemática – Target La Tapada; Estadios de mineralización en el yacimiento polimetálico Carhuacayán, Perú.	27
Figura 10. Estadio de mineralización A – Manto Mt-Po-Sp, DDHTPD17016 a 465.80 m, @ 0.1 g/t Au, 0.1 Oz Ag, 0.0 % Pb, 2.6 % Zn, 0.1% Cu.	28
Figura 11. Estadio de mineralización A – Manto Mt-Po-Sp, DDHTPD17003 a 234.7 m, @ 0.1 g/t Au, 0.0 Oz Ag, 0.0 % Pb, 2.7 % Zn, 0.0 % Cu.	28
Figura 12. Estadio de mineralización B – Manto Py - Arcillas , DDHTPD17025 a 286.3 m, @ 0.3 g/t Au, 1.0 Oz Ag, 0.3 % Pb, 0.4 % Zn, 0.0 % Cu.	29
Figura 13. Estadio de mineralización B reemplazando estadio A, DDHTPD17007 a 475.8 m, @ 0.5 g/t Au, 0.6 Oz Ag, 0.0 % Pb, 4.1 % Zn, 0.1 % Cu.	29
Figura 14. Estadio de mineralización C vetas de Sp-Gn-Td-Tn(Ag)-Cpy, DDHTPD17003 a 299.9 m, @ 1.8 g/t Au, 8.2 Oz Ag, 6.2 % Pb, 5.6 % Zn, 0.3 % Cu.	30
Figura 15. Etapas para una caracterización geomecánica en testigos diamantinos.....	30
Figura 16. Valoración geomecánica Q´ Barton 1974.....	35
Figura 17. Clasificación geomecánica general GSI – descripciones y valoraciones.	41
Figura 18. Clasificación geomecánica GSI para rocas estratificados – descripciones y valoraciones.....	42
Figura 19. Fotografía. con selección y separación de corridas.	43
Figura 20. Fotografía. con casos de fracturas naturales.	44
Figura 21. Fotografía. con casos de fracturas mecánicas.	44
Figura 22. Fotografía muestra la selección para toma de recuperación de perforación, en	

testigos moderadamente fracturados.	45
Figura 23. Gráfica procedimiento y cálculo del RQD, tramos ≥ 10 cm entre fractura natural.	46
Figura 24. Gráfica correcta toma del RQD, entre fractura natural.	46
Figura 25. Fotografía ejemplo de la correcta toma del RQD, entre fractura natural.	47
Figura 26. Fotografía RQD = 0 en zonas de falla o con baja dureza.	47
Figura 27. Fotografía identificación de tramos fracturados.	48
Figura 28. Determinación del número de familias en una corrida de perforación.	50
Figura 29. Parámetros geomecánicos en condición de fractura – Formato de logueo geomecánico.	51
Figura 30. Valoración GSI correlacionando a testigos diamantinos.	53
Figura 31. Flujograma de logueo geomecánico.	60
Figura 32. Gráfica de correlación entre el RQD % vs. Espaciamiento.	61
Figura 33. Gráfica de correlación entre el RQD % vs. FF/m.	62
Figura 34. Plano Plano de Ubicación	64
Figura 35. Formatos de logueo geomecánico 2019.	66
Figura 36. Formato de logueo geomecánico actual 2023.	67
Figura 37. Comparativo del estado de conservación de sondajes diamantinos.	67
Figura 38. Dominios litológicos sondajes DDHTPD19065, DDHTPD19068 y DDH19079.	75
Figura 39. Gráfica de caracterización geomecánica RMR, IRMR y GSI, diferenciado por dominio litológico.	78
Figura 40. Gráfica de caracterización geomecánica Q' Barton, diferenciado por dominio litológico.	78
Figura 41. Gráfica de cálculo promedio de dureza por dominio litológico – logueo geomecánico 2019.	79
Figura 42. Gráfica de cálculo promedio de dureza por dominio litológico – logueo geomecánico 2023.	79
Figura 43. Gráfica comparativa de resultados RQD% 2019 vs. RQD% 2023 – Sondaje DDHTPD19065.	80
Figura 44. Gráfica comparativa de resultados RQD% 2019 vs. RQD% 2023 – Sondaje DDHTPD19068.	80
Figura 45. Gráfica. comparativa de resultados RQD% 2019 vs. RQD% 2023 – Sondaje DDHTPD19079.	81

Figura 46. Gráficas de comparación resultados RMR obtenidos en las campañas 2019 - 2023; izquierda indica la valoración de la roca como mala, derecha indica la valoración de la roca como regular – Sondaje DDHTPD19065.	82
Figura 47. Gráficas de comparación de resultados RMR obtenidos en las campañas 2019 - 2023. Izquierda indica valoración de roca mala, derecha valoración de roca buena – Sondaje DDHTPD19068.	83
Figura 48. Gráficas de comparación resultados RMR obtenidos en las campañas 2019 - 2023. Izquierda indica valoración de roca mala, derecha indica valoración de roca buena – Sondaje DDHTPD19079.	84
Figura 49. Evaluación de RMR89' por dominio litológico, 2019 vs. 2023 – Sondaje DDHTPD19065.....	85
Figura 50. Evaluación de RMR89' por dominio litológico, 2019 vs. 2023 – Sondaje DDHTPD19068.....	86
Figura 51. Evaluación de RMR89' por dominio litológico, 2019 vs. 2023 – Sondaje DDHTPD19079.....	86
Figura 52. Boxplot resultado de valores RMR89' obtenidos en el proceso de relagueo geomecánico 2022.....	87
Figura 53. Boxplot resultado de valores RMR89' obtenidos en el proceso de logueo geomecánico 2019.....	88
Figura 54. Comparativo de resultados RMR, IRMR, GSI y Q' Barton – Relagueo geomecánico 2023, Sondaje DDHTPD19065.....	89
Figura 55. Comparativo de resultados RMR, IRMR, GSI y Q' Barton – Relagueo geomecánico 2023, Sondaje DDHTPD19068.....	90
Figura 56. Comparativo de resultados RMR, IRMR, GSI y Q' Barton – Relagueo geomecánico 2023, Sondaje DDHTPD19079.....	91
Figura 57. Gráfica de correlación: Metraje – Litología – RMR – Q' - IRMR, sondaje DDHTPD19065.....	93
Figura 58. Gráfica de correlación: Metraje – Litología – RMR – Q' - IRMR, sondaje DDHTPD19068.....	94
Figura 59. Gráfica de correlación: Metraje – Litología – RMR – Q' - IRMR, sondaje DDHTPD19079.....	95
Figura 60. Gráfica de correlación: RMR vs. Q', sondaje DDHTPD19065.....	96
Figura 61. Gráfica de correlación: RMR vs. Q', sondaje DDHTPD19068.....	96
Figura 62. Gráfica de correlación: RMR vs. Q', sondaje DDHTPD19079.....	97

Figura 63. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados logueo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19065.....	98
Figura 64. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados logueo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19068.....	98
Figura 65. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados logueo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19079.....	99
Figura 66. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados logueo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19065.....	99
Figura 67. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados logueo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19068.....	100
Figura 68. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados logueo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19079.....	100
Figura 69. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados relogueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19065.....	101
Figura 70. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados relogueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19068.....	101
Figura 71. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados relogueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19079.....	102
Figura 72. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados relogueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19065.....	102
Figura 73. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados relogueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19068.....	103
Figura 74. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados relogueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19079.....	103
Figura 75. Comparativo de estado de testigos diamantinos y selección de fracturas naturales y mecánicas, Sondaje DDHTPD19079.....	105
Figura 76. Gráfica de correlación %RQD vs. Espaciamiento, explicación de datos outlier debido a problemas de perforación.	109
Figura 77. Gráfica de correlación %RQD vs. FF/m, explicación de datos outlier debido a problemas de perforación.	110
Figura 78. Vista en planta y línea de sección A-A', distribución de sondajes ejecutados (prioritarios) y sondajes por ejecutar campaña 2024.....	
Figura 79. Sección A-A', distribución de sondajes ejecutados (prioritarios) y sondajes por ejecutar campaña 2024 – zona La Tapada.....	

Figura 80. Vista en planta de sondajes ejecutados prioridad 1 y sondajes por ejecutar campaña 2024, línea de sección B-B´; zona La Tapada.....	
Figura 81. Sección B-B´ de sondajes ejecutados prioridad 1 y sondajes por ejecutar campaña 2024	
Figura 82. Vista en planta de sondajes ejecutados prioridad 2 y sondajes por ejecutar campaña 2024, línea de sección C-C´; zona La Tapada.....	
Figura 83. Sección C-C´ de sondajes ejecutados prioridad 2 y sondajes por ejecutar campaña 2024	
Figura 84. Vista en planta de sondajes ejecutados prioridad 3 y sondajes por ejecutar campaña 2024, línea de sección D-D´; zona La Tapada.	
Figura 85. Sección D-D´ de sondajes ejecutados prioridad 3 y sondajes por ejecutar campaña 2024.....	

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Clasificaciones geomecánicas.	31
Tabla 2. Valoración Geomecánica RMR89' Bieniawski.	32
Tabla 3. Parámetros geomecánicos RMR89' con sus respectivas valoraciones rating.	34
Tabla 4. Parámetro Jn – Q' Barton con su respectiva valoración.	36
Tabla 5. Parámetro Jr – Q' Barton con su respectiva valoración.	36
Tabla 6. Parámetro Ja – Q' Barton con su respectiva valoración.	37
Tabla 7. Parámetro SRF – Q' Barton con su respectiva valoración.	37
Tabla 8. Valoración geomecánica MRMR Laubscher 1990.	39
Tabla 9. Parámetro IRS – MRMR con su respectiva valoración.	39
Tabla 10. Parámetro FF/m – MRMR con su respectiva valoración.	39
Tabla 11. Parámetro condición de fracturas – MRMR con su respectiva valoración.	40
Tabla 12. Registro de información de sondaje.	42
Tabla 13. Registro de información del personal y versión del formato.	43
Tabla 14. Escala de identificación de dureza y valor aproximados de la resistencia a la compresión simple.	48
Tabla 15. Clasificación del grado de fracturamiento.	49
Tabla 16. Datos de discontinuidad.	50
Tabla 17. Parámetros geomecánicos clasificación RMR89' Bieniawski.	51
Tabla 18. Valoraciones en condición de fractura MRMR Laubscher.	53
Tabla 19. Operacionalización de variables.	56
Tabla 20. Vía 1: Lima – La Oroya – Cruce la Cima – S.B. Carhuacayán – La Tapada.	65
Tabla 21. Vía 2: Lima – Canta – Alpamarca – S.B. Carhuacayán - La Tapada.	65
Tabla 22. Dominios litológicos observados dentro del logueo geomecánico.	76
Tabla 23. Dominios litológicos y caracterizaciones geomecánicas promedio.	77
Tabla 24. Comparaciones RMR89' 2019 vs. RMR89' 2023.	81
Tabla 25. Lista de sondajes campaña 2019 y sus prioridades para la nueva campaña de relogueo geomecánico.	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

El Proyecto Carhuacayán (Target La Tapada), es un proyecto de exploración avanzado de Compañía Minera Volcan S.A.A.; actualmente se encuentra en la etapa de estudio de factibilidad económica.

Geológicamente, el proyecto Carhuacayán fue definido como un yacimiento del tipo cordillerano, controlado principalmente por estructuras con orientación NW los cuales desarrollan vetas y vetillas de Pb-Zn±Cu, además mantos de sulfuros polimetálicos de Pb-Zn emplazados en horizontes de caliza.

Entre los años 2017, 2018 y 2019, se ha ejecutado 35,537 m de perforación diamantina dentro del Target La Tapada; con lo que se ha estimado recursos inferidos e indicados de: 10.1Mt @5.6% Zn Eq. (3.4% Zn – 1.4% Pb – 42.2 g/t Ag – 0.3 g/t Au); del total 3.6 Mt son recursos indicados y 6.5 Mt son recursos inferidos.

Ahora bien, considerando el alcance del “Scoping Study”; es necesario contar con los siguientes estudios: 1. Estimación de Recursos, 2. Estudio Geometalúrgico, 3. Estudios Geoquímicos, 4. Modelo Geológico, 5. Estudio de Recursos Hídricos, 6.

Estudio del tipo de explotación y 7. Estudio Geomecánico.

De todos estos aspectos mencionados, el estudio geomecánico presenta observaciones en los resultados obtenidos; considerando esto se ve la necesidad de validar la data geomecánica obtenida en campañas anteriores y adquirir parámetros adicionales que den soporte a la validez de estos; para esto es necesario realizar un relevamiento geomecánico en sondajes seleccionados, utilizando formatos estandarizados y automatizados los cuales ayuden a la generación de data confiable, apoyados por gráficas comparativas y gráficas de validación de las mismas.

Para el presente trabajo se seleccionaron 3 sondajes los cuales se encuentran con mejor estado de conservación y con su registro fotográfico completo, esto para dar soporte a la generación de la nueva data en el proceso de relevamiento geomecánico.

1.2. Delimitación de la investigación

Delimitación temporal

La investigación del relevamiento geomecánico se realizó en tres sondajes logueados durante las campañas de exploración (2018 y 2019), y el proceso de relevamiento geomecánico de los tres sondajes seleccionados se ejecutó dentro de 3 meses del año 2023.

Delimitación de universo

Se cuenta con 50 sondajes distribuidos alrededor del target La Tapada con un total de 35 500 m de perforación, de los cuales se escogieron 3 sondajes para su representatividad con un total 1669.7 m de perforación; considerando el estado físico de estos, el tiempo estimado en el proceso de registro geomecánico por sondaje y los registros fotográficos.

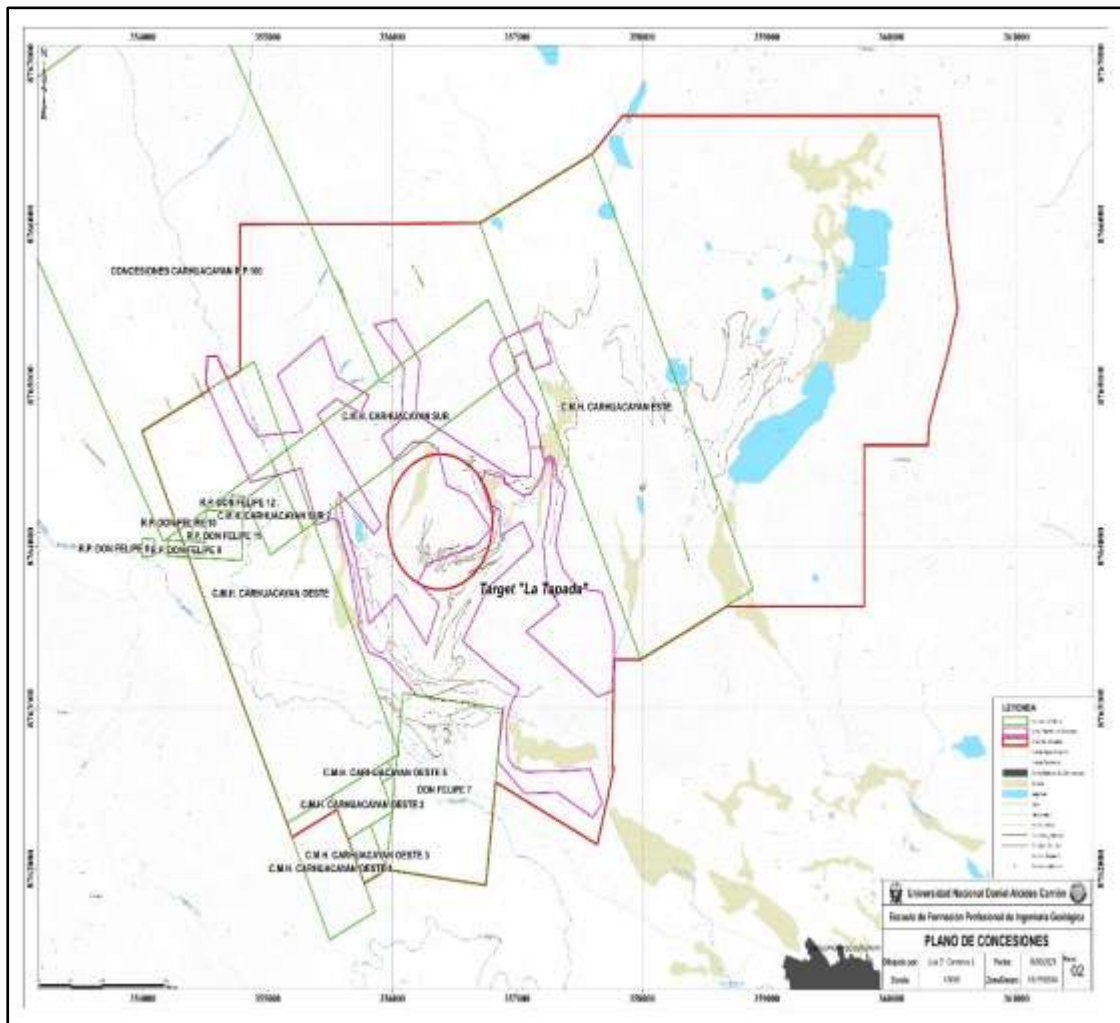
Concesiones

El distrito minero de Carhuacayán, está constituido por cinco concesiones

mineras de propiedad de Compañía Minera Vichaycocha.

Actualmente el Proyecto Carhuacayán se encuentra ubicado dentro de cinco concesiones mineras a propiedad de Compañía Minera Vichaycocha S.A.C.; donde el Target La Tapada se encuentra distribuida dentro de tres concesiones mineras, haciendo un total de 457.4 has.

Figura 1. Plano de Concesiones Proyecto Carhuacayán.



Fuente: Propia.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿En qué medida el relevo geomecánico de sondajes históricos determinará la confiabilidad del logeo del Target La Tapada en el Proyecto de exploración Carhuacayán, Cía. Minera Volcan S.A.A. – Junín 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los resultados del relogueo geomecánico de sondajes históricos?
- ¿Cuál es el grado de confiabilidad entre la data de logueo y relogueo geomecánico de sondajes históricos?
- ¿Cuál es el método de validación de resultados para obtener un buen control de calidad?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la confiabilidad del logueo geomecánico de los sondajes históricos del Target La Tapada, mediante el relogueo de tres sondajes en el proyecto de exploración Carhuacayán, Cía. Minera Volcan S.A.A. – Junín 2023, para usar los datos en la planificación de proyectos futuros.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los resultados del relogueo geomecánico de sondajes históricos.
- Realizar un comparativo entre los resultados obtenidos en los años 2019 y 2023, para determinar la fiabilidad en la obtención de parámetros geomecánicos.
- Definir el método de validación mediante gráficas de correlación %RQD, espaciamiento y FF/m los cuales faciliten un buen control de calidad.

1.5. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación es de gran importancia para la empresa Volcan Compañía Minera S.A.A., el cual ha implementado a partir del 2021 un sistema unificado de toma de datos geomecánicos en cores, y a todo esto sumado el “Scoping Study”; se ve la necesidad de determinar la fiabilidad de estos datos preexistentes al

2021, los cuales cuentan con resultados geomecánicos en el sistema RMR y registros fotográficos; además de ello ver la viabilidad de realizar una campaña de relogueo geomecánico en sondajes históricos.

1.6. Limitaciones de la Investigación

El estado físico de los testigos de perforación los cuales se encuentran cortados y muestreados, dificultan en gran medida el proceso de toma de datos y restringe la cantidad de muestras representativas, además de ello demandan una gran cantidad de tiempo en la adquisición de estos.

La comparación de resultados se ve restringida a los alcances obtenidos en el 2019 como es el RMR89', considerando los estándares geomecánicos detallados y variados implementados por la empresa como son: RMR'89, IRMR Laubscher, GSI y Q' Barton.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Internacionales

- Nawaf Abdullah H. Alkharboush Universidad Tecnológica de Queensland - Australia “A data mining approach to improve the automated quality of data”; esta tesis describe el desarrollo de un prototipo robusto y novedoso para abordar los problemas de calidad de datos relacionados con la dimensión de los datos atípicos. Investiga a fondo los problemas asociados con la detección, evaluación y determinación de la gravedad del problema de los datos atípicos; y propone técnicas alternativas basadas en minería de gránulos para mejorar significativamente la eficacia de la minería y la evaluación de datos atípicos.
- Dr Henri Sans 2010 A comprehensive QA-QC methodology designed to enhance the quality of the geological database; este documento describe una metodología innovadora que pretende abordar todos los aspectos que afectan a la calidad de los datos —ya sean técnicos, de proceso y organizativos—, comúnmente asociados a las campañas de perforación. La metodología abarca todas las etapas de una

campana de perforación, incluyendo la preparación del yacimiento, las cuestiones de campo, de plataforma y de laboratorio, la validación de datos y el almacenamiento en la base de datos.

Nacionales.

- Angel R., David V. & Rosa P. (Perumin 35) “Minería de datos para establecer el control de calidad del logueo geológico en Antamina”, con el objetivo de establecer un mecanismo de control de calidad del logueo geológico, basado en datos existentes como leyes; para identificar intervalos posiblemente mal logueados por una confusión entre intrusivo y endoskarn, exoskarn y desmonte en el yacimiento Antamina.

Generar alertas al momento de recepción de leyes, de aquellos intervalos en los sondajes recientes que requieren ser relogueados inmediatamente.

Mejorar la estimación de recursos minerales de Antamina por el establecimiento de un mejor logueo geológico.

- Sánchez, E. D., & Sánchez, J. E. (2015). Implementación de un sistema de control de calidad QA/QC aplicado al análisis de muestras geológicas, para mejorar el nivel de confiabilidad de los resultados de laboratorio, en la empresa Anglo American - Quellaveco - 2015

Donde se determinó el efecto de la implementación de un sistema de control de calidad QA/QC en el análisis de muestras geológicas y así aumentar el grado de confiabilidad de los resultados de laboratorio, para esto fue necesario la recopilación de información de la empresa especialmente en la campana de perforación realizada el 2009; los cuales sirvieron como base indispensable para elaborar la tesis. El efecto de la implementación de un sistema de control de calidad QA/QC tuvo como resultados, coeficientes de correlación altos para duplicados de

grueso y pulpas, además de que los valores de las muestras de referencia reportados por laboratorio se han ajustado a los esperados originalmente sin mayores inconvenientes.

Locales.

- Se cuenta con antecedentes de relogueo en la unidad de producción Alpamarca con un total de 4517.45 m (Caracterización Geomecánica en el Tajo Centro – Pared Este realizados por Bach. Luis G. Cardenas Jimenez, 2020), con el objetivo de realizar caracterizaciones geomecánicas de los tajos centro y norte con sondajes ejecutados con anterioridad, rescatando información de estos sondajes ya ejecutados y ayudando a la elaboración del modelo geomecánico.

Seguido de la unidad de producción Cerro S.A.C. con un total de 1500 m (realizados por equipo de geomecánica Cerro S.A.C. y empresa especializada APT) con el objetivo de caracterizar los taludes NE y SW.

2.2. Bases teóricas – científicas

En la presente tesis es necesario considerar las bases conceptuales (geológicas – geomecánicas) en la que se basa la investigación, considerando la caracterización geológica como también las fuentes teóricas en la que está basada el logueo geomecánico y el control de calidad aplicado en el proyecto Carhuacayán.

Confiability de relogueo de sondajes históricos

Confiability: Grado en que un instrumento produce resultados consistentes y coherentes. Es decir, en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto produce resultados iguales. Kerlinger (2002).

- **Medida de estabilidad:** Un mismo instrumento de medición se aplica dos más veces a un mismo grupo de personas, después de cierto periodo. Confiability por test-retest, “r” de Pearson.

- **Método de formas alternativas o paralelas:** Aquí no se administra el mismo instrumento de medición, sino dos o más versiones equivalentes de este. Coeficiente de correlación producto-momento de Pearson.
- **Método de mitades partidas:** Se necesita solo una aplicación, el total de los ítems se divide en dos partes y se comparan los resultados. (Pearson y Spearman-Brown).
- **Medidas de consistencia interna:** Requiere sólo una administración. El test de confiabilidad según el método de división de las mitades por Rulon y Guttman, Fórmula 20 de Kuder-Richardson, el Coeficiente del Alfa de Cronbach.

Tipos de Confiabilidad: Según Carlos J. Zapata (2011), se divide en:

- **Cualitativo:** Es una valoración subjetiva; no se establecen índices numéricos.
- **Cuantitativo:** Es una valoración objetiva; se establecen índices numéricos, que pueden ser determinísticos o probabilísticos.
- **Determinístico:** Las variables se consideran fijas o con funciones que determinan su valor para cualquier instante del tiempo.
- **Probabilístico:** Las variables se consideran aleatorias, es decir no tienen un valor fijo ni existe una función que permita determinar su valor en un instante de tiempo dado. La ocurrencia de determinados valores de la variable se expresa en términos de probabilidad.
- **Analítico:** Se representa el componente o sistema bajo estudio por medio de un modelo matemático (ecuación o conjunto de ecuaciones) y se evalúan los índices de confiabilidad por medio de soluciones matemáticas directas.
- **Simulación:** Se simula el comportamiento aleatorio del componente o sistema y se evalúan los índices de confiabilidad en forma indirecta por medio de técnicas numéricas.
- **Histórico:** Se estudia el componente o sistema basado en los datos de su

comportamiento operativo pasado. Con estos datos se establecen índices históricos o medidas de desempeño que generalmente son estadísticas.

- **Predictivo:** Mediante un estudio se predicen u obtienen los índices del componente o sistema para un instante de tiempo o periodo de tiempo futuro. Se determinan los valores esperados de los índices de confiabilidad o las funciones de probabilidad.

Definiciones de logueo y relogueo

- **Logueo:** Derivado del término en inglés “logging”, el cual tiene por significado “registro”; por lo tanto, al hablar de logueo geológico o geomecánico, hace referencia al procedimiento de registro de datos geológico y geomecánicos obtenidas de un testigo diamantino.
- **Relogueo:** Procedimiento acondicionado para recapturar datos geológicos o geomecánicos que se pudieron haber obviado durante el proceso de logueo; esto se puede realizar con la intención de realizar reinterpretaciones geológicas y geomecánicas.

Clima y vegetación

Según J. Pulgar (1943) en su tesis sobre las ocho regiones naturales del Perú, el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán se encuentra dentro de la región Puna; caracterizado por un clima frígido con temperaturas que oscilan entre los 17°C (temperatura máxima en verano, mayo – octubre) y -10°C (temperatura mínima en invierno, noviembre – abril), se considera como una zona con fuertes vientos los cuales pueden llegar alcanzar 50 km/h. El desarrollo de la vegetación se ve limitada por los fuertes cambios de temperatura; donde se desarrolla, las especies con mayor predominancia tiene son: Juncos de lagunas, el ichu (*stipa ichu*) y la champa (*Campomanesia lineatifolia*).

Geomorfología

El área de estudio se encuentra dentro de la región Janca – Puna del centro del Perú, puntualmente se pudieron distinguir unidades morfológicas de erosión y acumulación.

Valles Glaciares

Valle con sección en forma de “U”, formado principalmente por la interacción de masas hielo (pertenecientes al glaciar) con la superficie del suelo y afloramientos, generando desgaste, ensanchamiento y profundización. Estas geoformas se observan dentro del trayecto Santa Bárbara de Carhuacayán - La Tapada.

Bofedales

Humedal altoandino con presencia de vegetación hidrófila (*distichia muscoide*, *oreobolus obtusangulus*, *sphagnum sp*, *oritrophium limnophilum*) los cuales se encuentran alimentados por el agua estancada y los suelos saturados de agua. Estas geoformas se encuentran distribuidas dentro del área de influencia de las lagunas: Yanacocha, Puricocha, Lucmacocha y Pocococha.

Lagunas

Deposito natural de agua de forma irregular y bordes cóncavos; su formación se debe a la alimentación de agua fluvial, subterránea, manantiales, etc; dentro de debilidades estructurales o depresiones irregulares dentro de un área determinada. Dentro del proyecto resaltan las lagunas: Yanacocha, Puricocha, Lucmacocha y Pocococha.

Llanuras Fluvio-glaciar

Depósitos glaciares formados por el flujo y desemboque glaciar o de hielo, generando un delta de materiales arrastrados por el hielo, las pendientes son suaves y con una composición morrénica, arena y limos. Estas morfologías resaltan cercanas al NE del cerro La Tapada y al este del cerro Peña Blanca.

Terrazas Fluviales

Depósitos fluviales que fueron modeladas por la interacción del flujo de agua con sus sedimentos (arena, grabas y limos); esto debido al incremento del caudal del río, el perfil transversal tiene forma de “V”. Estas geoformas se pueden observar dentro del trayecto Santa Bárbara de Carhuacayán – La Tapada.

Circos Glaciares

Zona de acumulación de sedimentos del glaciar, adopta la forma de un anfiteatro o se acomoda concordante a las cabeceras de las lagunas glaciares; cuando los glaciares llegan a derretirse, estos dejan un cumulo de sedimentos en su mayoría bloques de roca. En el proyecto se puede observar en las faldas de los cerros La Tapada, Candelaría y Peña Blanca.

Geología regional

Paleozoico inferior: determinada por las rocas del grupo Cabanillas (Mc Laughlin 1924 - Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores, INGEMMET, 1996), constituidas por lutitas pizarrosas negras, pizarras con intercalaciones de areniscas cuarzosa.

Mesozoico (Pérmico superior): representada por la formación Mitu, el cual se encuentra sobre-yaciendo en forma de discordancia erosional con el grupo Cabanillas e infra-yaciendo concordantemente al grupo Pucará (Mc Laughlin 1924 - Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores, INGEMMET, 1996); esta formación está constituida por areniscas rojas y conglomerado polimíctico con clastos volcánicos, sedimentarios y metamórficos.

Mesozoico (Triásico superior – Jurásico inferior): presentes con las rocas del grupo Pucará; divididas en sus tres unidades Chambará, Aramachay y Condorsinga; las secuencias están conformadas por calizas y dolomías, alguna de ellas fosilíferas, los

cuales indican un ambiente marino somero, pero de gran amplitud; sus mejores afloramientos se observan en Cerro de Pasco y Ondores (Mc Laughlin 1924 - Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores, INGEMMET, 1996).

Mesozoico (Cretácico inferior): Sobre-yaciendo al grupo Pucará se encuentra el grupo Goyllarisquizga (Wilson 1963 - Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores, INGEMMET, 1996); conformada por sus formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat; los cuales cuentan secuencias de areniscas y lutitas bituminosas con niveles de carbón.

Mesozoico (Cretácico medio – superior): presente con las secuencias de la formación Pariahuanca, Chulec y Pariatambo; los cuales están constituidos por calizas grises intercaladas con margas fosilíferas, los cuales se encuentran con mejores afloramientos en la Oroya, Cordillera la Viuda y restringidas en el proyecto.

Mesozoico (Cretácico superior): representada principalmente por la formación Jumasha, constituida principalmente calizas grises a pardas en bancos gruesos intercaladas con limo-arcillitas. Aflora dentro de los límites del proyecto; los mejores afloramientos se encuentran en las cordilleras Puajanca y La Viuda.

Paleoceno: constituida principalmente por la formación Casapalca; compuesta por una secuencia molásica de conglomerados, areniscas, limolitas y lodolitas con fuerte hematización; rocas huésped en la mineralización de las minas Huarón y Animón.

Eoceno – Paleoceno: representada por el grupo Calipuy el cual se encuentra desarrollada al oeste del proyecto; constituida por lavas de composición andesítica, dacítica, riodacíticos, flujos piroclásticos y domos subvolcánicos.

Geología local

Estratigrafía

Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)

No se cuenta con afloramientos en superficie. Las evidencias de esta formación se encontraron en los sondajes de más de 400 metros realizados hacia la zona de la Tapada donde se describen orto-cuarcita de color gris claro y desde el punto de la mineralización esta secuencia no contiene ningún nivel con reemplazamiento o alteración.

De acuerdo con los estudios realizados por Wilson J. (1963); nos encontraríamos en el borde de la paleo-cuenca de deposición de esta unidad ya que las primeras facies proximales son principalmente de cuarcitas.

Formación Pariatambo

Constituida por estratos de lutitas calizas y dolomitas bituminosas en los andes centrales (Wilson J. 1963). Dentro de la zona del proyecto los afloramientos de esta unidad se restringen al pie del cerro Peña Blanca donde se observan lutitas laminares muy deleznable y debido a su fácil erosión se encuentra cubierto por material cuaternario. Sin embargo, los sondajes diamantinos de la campaña 2017 alcanzaron a interceptar niveles calcáreos bituminosos con niveles fosilíferos que solo podrían pertenecer a dicha formación.

Formación Chulec (Cretácico Medio)

Los afloramientos más representativos de esta unidad estratigráfica se observan en el cerro Peña Blanca, por lo que también es mencionada en las descripciones de Harrison J. (1956) como calizas grises del Albiano medio. Los estratos yacentes en Peña Blanca constituyen el flanco este del Anticlinal Carhuacayán; en la Mina Santo Domingo, aparentemente esta sufre una erosión parcial.

Alrededor de la zona de estudio no se ha encontrado evidencia clara de afloramientos de esta formación. Sin embargo, al norte del anticlinal Carhuacayán en inmediaciones de la mina de asfaltita Santo Domingo (J.A. Broggi 1927), se aprecia una caliza beige con intercalaciones de margas de grano medio a grueso, su estratificación es irregular y a veces se encuentran formando repliegues.

En el flanco este del anticlinal sobre la quebrada de Shalapata se observan calcosilicatos diseminados en forma esporádica lo que demuestra el desarrollo de un Skarn Incipiente entre el contacto de las calizas con el intrusivo.

Los testigos de perforación presentan una secuencia de margas y calizas que se encuentra infrayacente a la caliza bituminosa y mayormente con una alteración a Skarn, que se podría atribuir a esta formación, pero faltan más estudios para su confirmación. Así mismo se resalta que esta secuencia sedimentaria es favorable para la mineralización ya que los mejores intervalos de mineralización se dan en este nivel sedimentario.

Formación Pariahuanca (Cretácico Medio)

Según (Wilson J. 1963) esta unidad estratigráfica se encuentra constituida por calizas y areniscas calcáreas; no obstante, dentro del área de estudio no se observa afloramientos en superficie. Sin embargo, en sondajes diamantinos se han llegado a interceptar “hornfels” resultado del proceso de metamorfismo de contacto de arenisca calcárea. Se estima una potencia aproximada de 150 metros de esta formación sedimentaria.

Formación Jumasha (Albiano Medio)

Los mejores afloramientos se pueden observar en la zona de Peña Blanca (Harrison J. 1956); describe bancos definidos de calizas grises con intercalaciones de dolomías. Los estratos yacentes constituyen el flanco del anticlinal Carhuacayán; hacia el norte en dirección a la mina Santo Domingo, esta secuencia sufre una erosión parcial,

esta formación conforma la secuencia calcárea superior y con mayor exposición dentro del área del proyecto.

Hacia el tope se encuentra intercalado en bancos de 1.5 metros con paquetes laminares de caliza con textura micrita, grano fino y color gris oscuro con esporádicas venillas de calcita. En la parte media se observan bancos de caliza gris oscura de grano medio a grueso divididos en paquetes de 5 a 20cm. Entre estos estratos se observan algunos mantos y vetas de OxFe y OXMn (Peña Blanca) acompañado de venillas de calcita. Hacia la base se observa una intercalación de caliza color gris grano medio con caliza y margas/dolomitas color beige que conforman bancos de 50cm aproximadamente. En el flanco este del anticlinal sobre la quebrada de Challapata se observan calcosilicatos diseminados en forma esporádica lo que demuestra el desarrollo de un Skarn Incipiente entre el contacto de las calizas con el intrusivo (Peña Blanca).

Formación Casapalca (cretácico superior - paleógeno)

Forma la unidad más superior del anticlinal Carhuacayán cuyos afloramientos tienen buena exposición al NE de Peña Blanca donde esta suprayaciendo en discordancia angular a las calizas de la Formación Jumasha. Se estima un espesor aproximado de 1000 metros de sección. En la zona se le reconocen cinco miembros.

Capa Roja inferior: Secuencia de 260 metros de espesor, lo constituye una intercalación de limolitas y areniscas rojas con un ligero contenido calcáreo que en algunas partes intemperiza a un color verdoso.

Conglomerado de cuarcitas: Compuesto por cantos de cuarcita bien redondeados y fracturados con un aspecto de color rojizo superficial, cementado por material silíceo, el cual posee un espesor de 40 metros.

Capa roja superior: Secuencia de 300 metros de intercalación de limolitas y areniscas bien estratificadas con un ligero contenido calcáreo y una coloración rojiza

similar a la primera secuencia, hacia el tope se observa un estrato de 20 metros de espesor de caliza gris con nódulos de chert.

Conglomerado calcáreo: Un segundo conglomerado de 60 metros de espesor a diferencia del primero está compuesto por clastos angulares predominantemente de caliza gris, cementada por un lodo arenoso calcáreo.

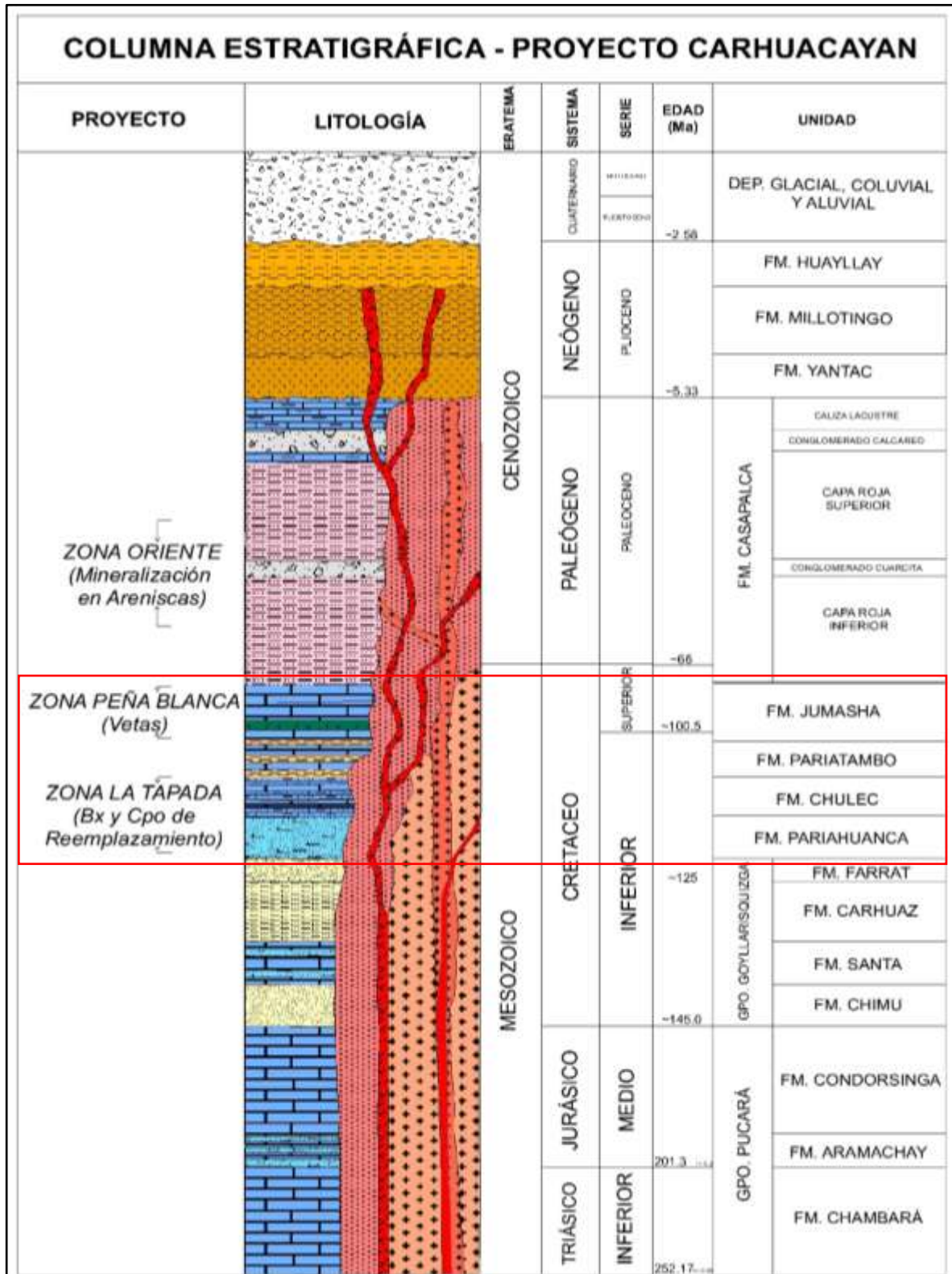
Calizas lacustrinas: Finalmente hacia el tope, se observa una intercalación de calizas grises claras con areniscas verdosas y conglomerádicas de estratificación cruzada, la cual posee mayor exposición hacia la parte norte del anticlinal.

Rocas ígneas

Diabasa: Estas manifestaciones finales del magmatismo se encuentran a manera de sill emplazado entre los estratos inferiores de la formación Jumasha aflorando en la zona de Peña Blanca. Desde el punto de vista mineralógico posee alrededor de 60% de plagioclasas con un 20% de minerales máficos como hornblenda y biotita alterándose a cloritas, como carácter secundario contiene epidota y material carbonatado, los minerales opacos lo compone la magnetita alterándose que en algunas partes se altera a limonita, la alteración que presenta es la propilitización; representada por tres texturas: amigdalar, pórfirítica y afanítica.

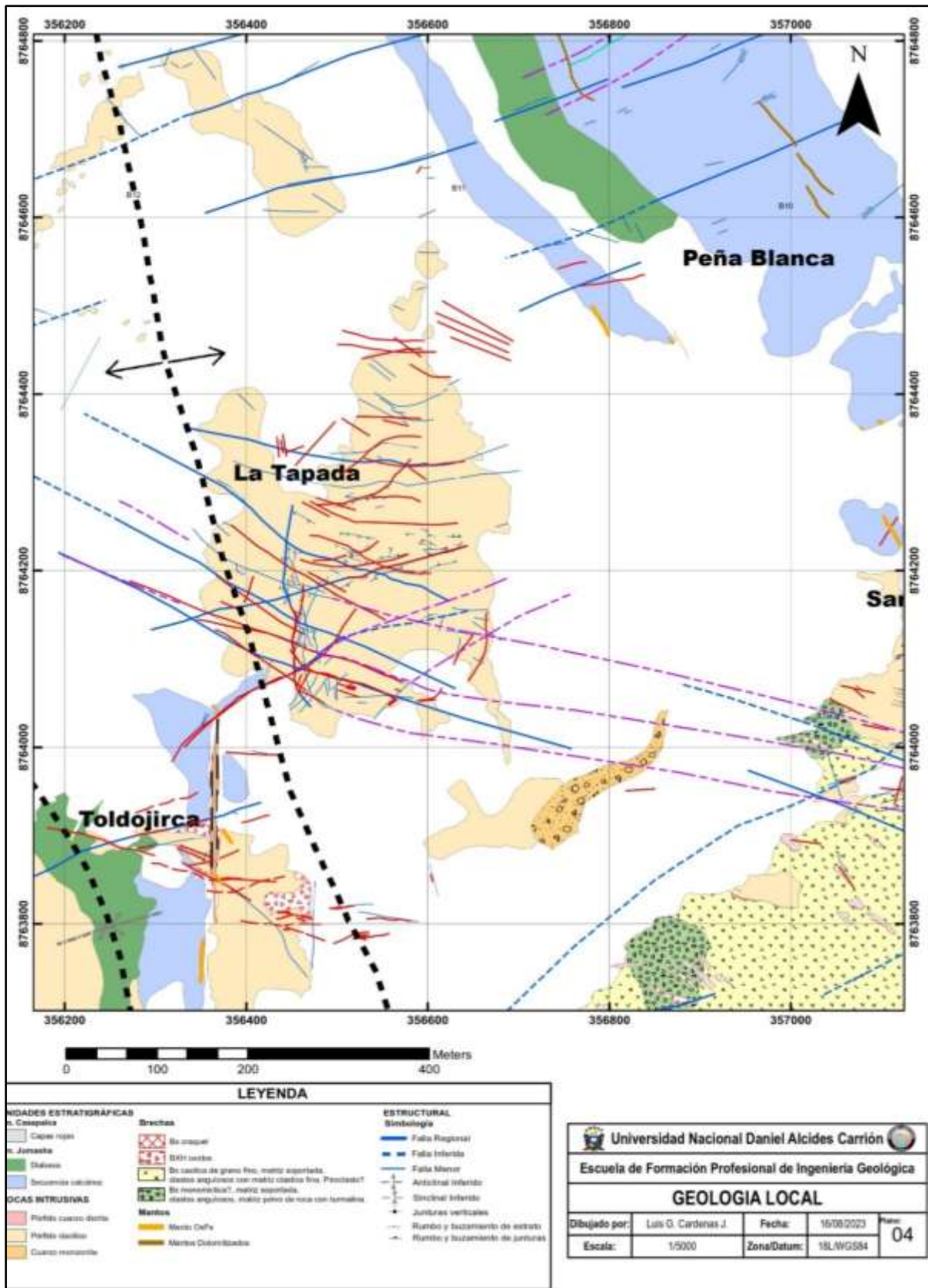
Pórfido Dacítico: Dentro de la zona de estudio se caracteriza por una alteración fílica pervasiva (Ser-Py); en el cual solo se observa los fenocristales de cuarzo >10% y minerales formadores de roca (bt, plg) obliterados parcialmente o en su totalidad. La forma de emplazamiento refiere a un lacolito concordante a la estratificación del anticlinal.

Figura 3. Columna Estratigráfica A-A' (Plano Regional) – Proyecto Carhuacayán.



Nota: Informe anual Proyecto Carhuacayán -Volcan S.A.A. 2019.

Figura 4. Plano Geológico Local – Proyecto Carhuacayán – Target La Tapada.



Nota: Fuente propia.

Marco Tectónico

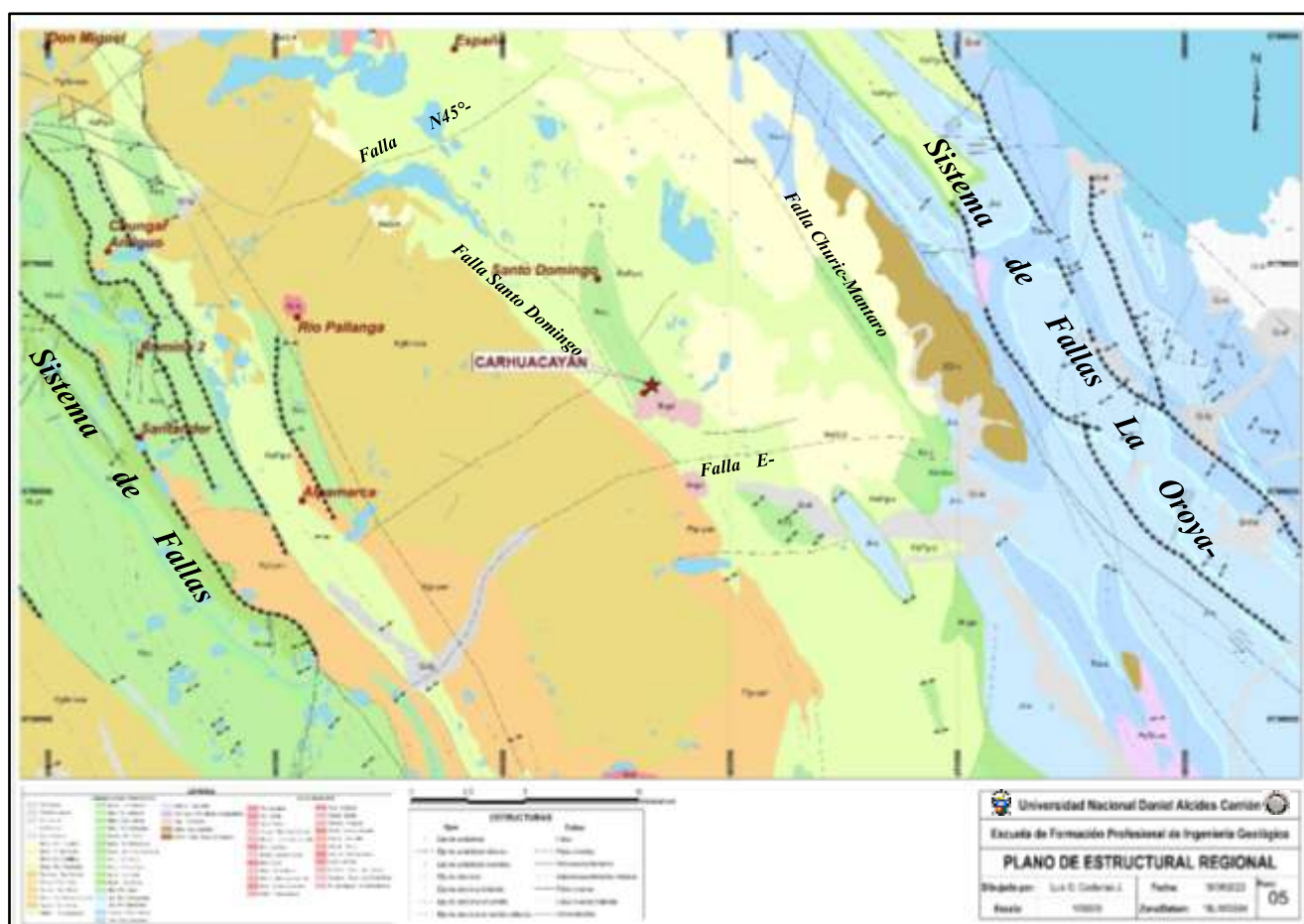
Geología Estructural Regional

Dentro del marco regional el área de estudio se encuentra constituido principalmente por dos sistemas de fallas regionales: 1. Sistema de fallas La Oroya – Huancavelica (NW-SE) y 2. Sistema de fallas Chonta (SE-NW). Los cuales cuentan con un movimiento inverso; esto se puede observar en el sector este, en donde el sistema de fallas La Oroya – Huancavelica pone en contacto rocas del Grupo Pucará con rocas de la Fm. Casapalca; y en el sector oeste, en donde el sistema de fallas Chonta pone en contacto rocas de la Fm. Yantac con rocas del Grupo Goyllarisquizga.

Distritalmente y paralelas al sistema principal La Oroya-Huancavelica se observan las fallas Churic – Mantaro y Santo Domingo, el primero controla el discurrimiento del río Churic y río Mantaro, mientras el segundo controla la paleocuenca volcánica de Chuqui. Ortogonalmente se distinguen fallas con sentido E-W y N45°-N55°, los cuales son resultados del movimiento de los sistemas de fallas principales.

Regional y localmente se distinguen un sistema de plegamientos del Cretácico – Paleógeno, en los cuales resalta los anticlinales Huayllay y Carhuacayán, en donde se diferenciaron a la unidad más joven a Fm. Casapalca y la unidad más antigua a Fm. Pariatambo.

Figura 5. Plano Estructural Regional – Proyecto Carhuacayán.



Nota: Fuente INGEMMET.

Geología Estructural Local

Según la extensión se encuentra dividido en:

a) Fallas mayores.

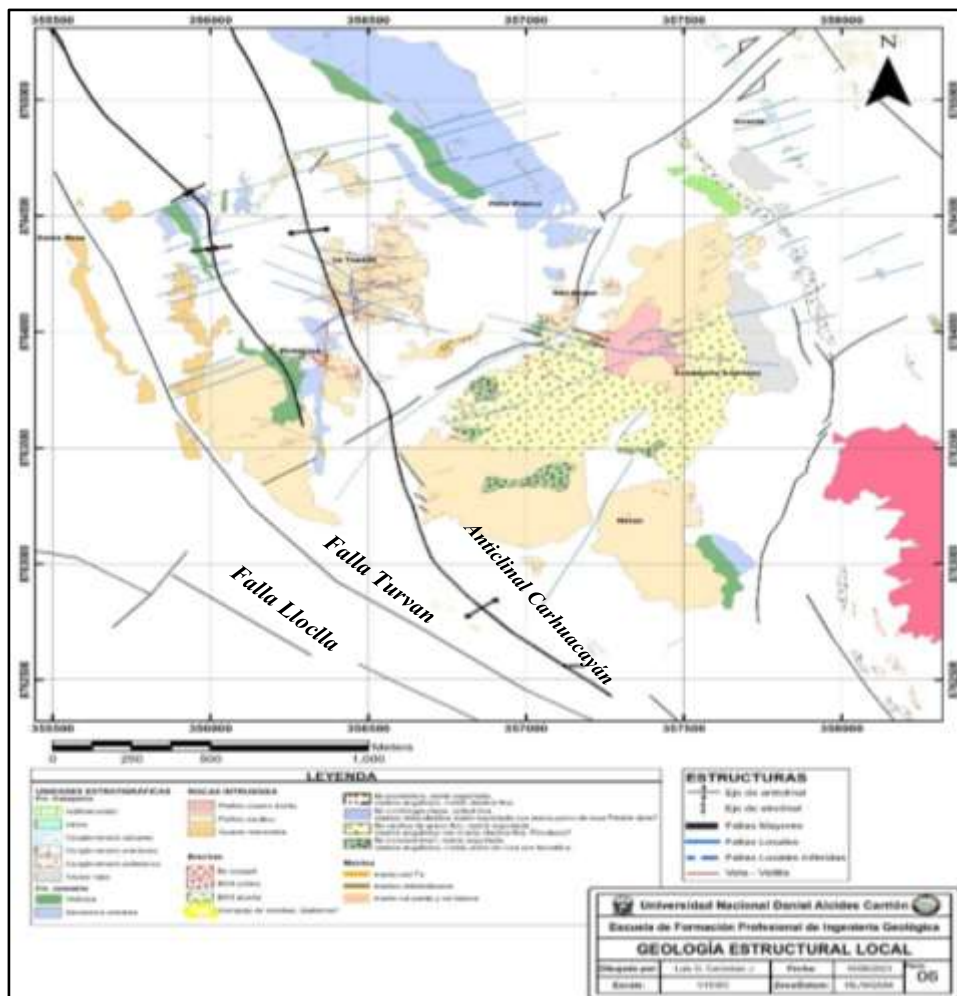
- **Falla Turvan:** Ubicada al sur del proyecto, limitada en el oeste por la falla Santo Domingo; la orientación preferencial es de $N90^\circ$ con un movimiento normal.
- **Falla Lloclla:** El cual delimita la zona del proyecto por la parte sur, es una de las fallas con mayor extensión con una orientación preferencial de $N95^\circ$; el trazo de esta falla pone en contacto stocks intrusivos con rocas de la Fm. Casapalca y Fm. Jumasha.
- **Falla Santo Domingo:** Con orientación preferencial de $N320$, ubicada al oeste

del proyecto el cual limita stocks intrusivos con rocas de la Fm. Casapalca y travertinos.

b) Fallas menores o locales.

- **Falla N100° - N110°:** Ubicadas principalmente dentro los targets La Tapada y Candelaria, estas compuestas principalmente por gouge de falla y en algunos casos con OxFe y sulfuros (Gn-Sp).
- **Fallas N20°:** La mayor representatividad se observa en Peña Blanca norte, la predominancia de movimiento es dextral.

Figura 6. Plano Estructural Local – Proyecto Carhuacayán – Target La Tapada.



Nota: Fuente propia.

Geología Económica

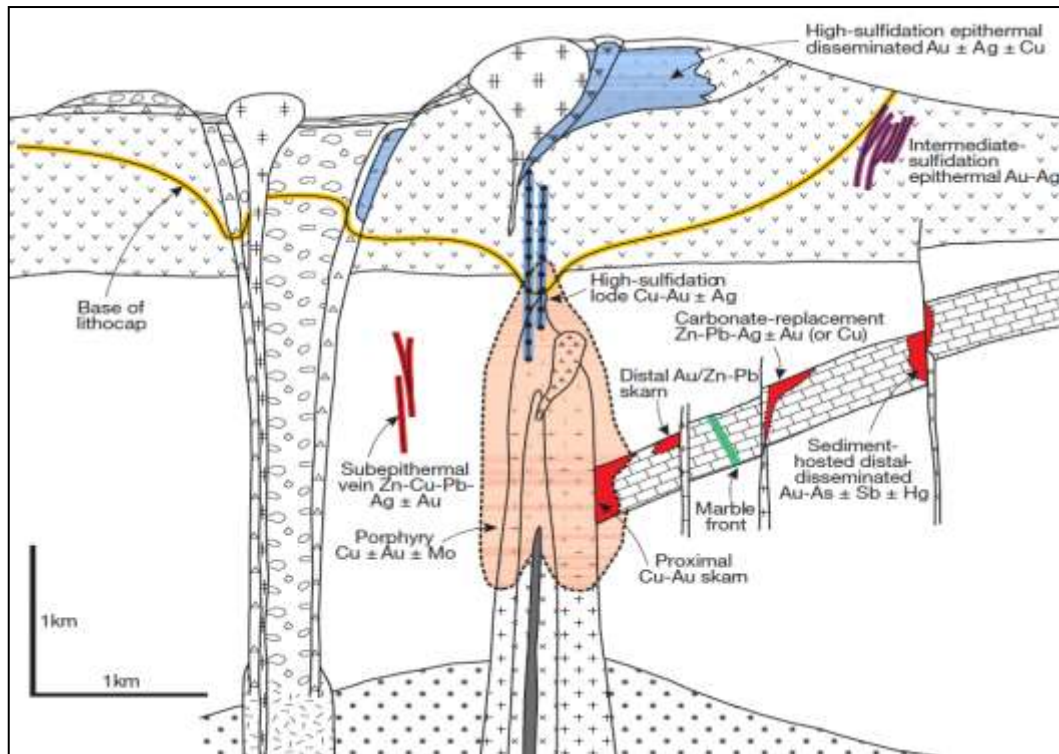
Alteraciones

Según el cartografiado superficial y logueo geológico se determinó como:

- **Alteración Argílica (Caolinita – Illita):** Ensamble mineralógico que se observó con mayor desarrollo en zonas céntricas y superficiales de los targets La Tapada y Candelaria, sobreimpuesta a la alteración fílica y asociadas a zonas de falla o zonas con intenso fracturamiento.
- **Alteración Fílica (Ser – Qz – Py):** Alteración hidrotermal que tiene mayor predominancia superficialmente y en profundidad dentro del target la Tapada, desarrollándose de manera pervasiva a moderada y sobre imponiéndose a la alteración potásica.
- **Alteración Propilítica (Clo – Ep ± Mt):** Desarrollada principalmente en las periferias del sistema y dentro de las rocas intrusivas pórfido dacíta, diabasa y cuarzo feldespatos.
- **Alteración Potásica (Feld Pot. – Bio II):** Es la que se encuentra con menor desarrollo dentro del sistema y solo se observa remanentes dentro de testigos diamantinos; esto debido a la sobre imposición de la alteración fílica.
- **Skarn (Srp – Tlc – Cal – Chl – Trm):** Desarrollada dentro del contacto de las secuencias calcáreas con intrusivos; formando un ensamble de skarn magnesiano con bordes marmolizados; esto logra un mejor desarrollo de manera superficial y con mayor porcentaje en profundidad, en donde se observa los estadios de mineralización.
- **Alteración Cuarzo – Sericita ± Arcillas:** Asociado a sulfuros masivos a semi-masivos de Py pertenecientes al estadio B de mineralización.

Carhuacayán con los diferentes yacimientos polimetálicos ubicados en el centro del Perú: Cerro de Pasco, Atacocha, Colquijirca, Raura, Chungar-Animón, Huarón, Santander, Rio Pallanga, Morococha, Alpamarca, etc.

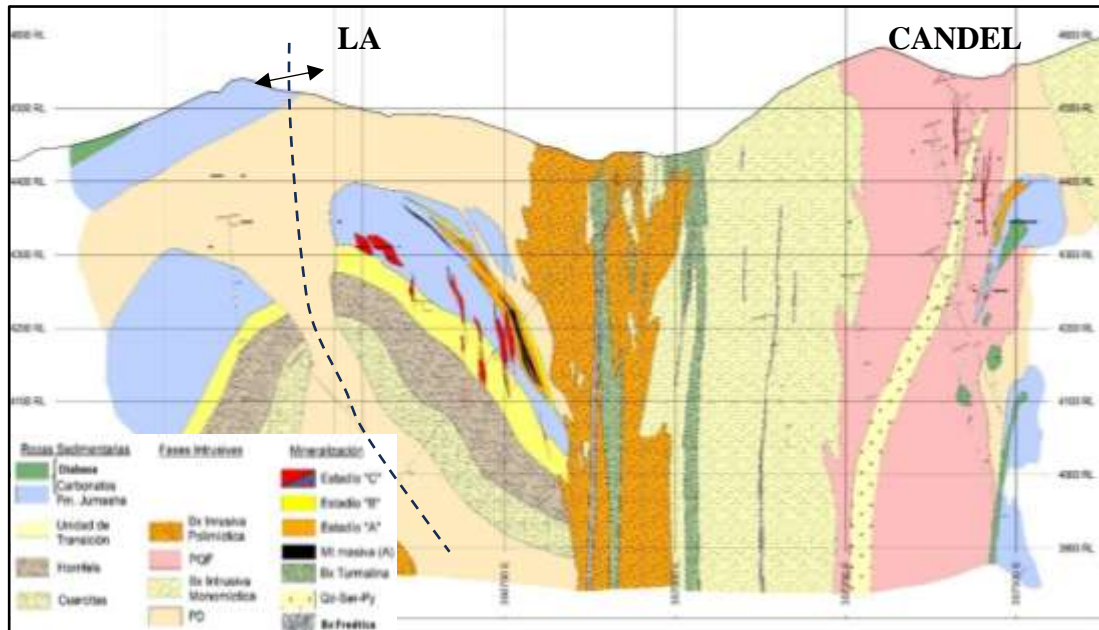
Figura 8. “Anatomía de un pórfido telescopeado”; mostrando la interacción espacial entre un pórfido central de Cu-Au-Mo y sus rocas caja circundantes. Sillitoe; 2010.



Fuente: Sillitoe 2010.

Dentro del proyecto Carhuacayán se tiene reconocido zonas con diferentes estilos de mineralización: 1. Target Santa Bárbara, se caracteriza por una mineralización del tipo pórfido Cu-Au; 2. Target La Tapada, el cual cuenta con una mineralización del tipo cordillerana polimetálica Zn-Pb-Ag que obedecen a un control estructural, además de ello se cuenta con niveles de reemplazamiento tipo manto en niveles sedimentarios calcáreos favorables; 3. Target Candelaria, cuenta con mineralización tipo pórfido Cu-Mo y cuerpos de reemplazamiento polimetálicas.

Figura 9. Sección Esquemática – Target La Tapada; Estadios de mineralización en el yacimiento polimetálico Carhuacayán, Perú.

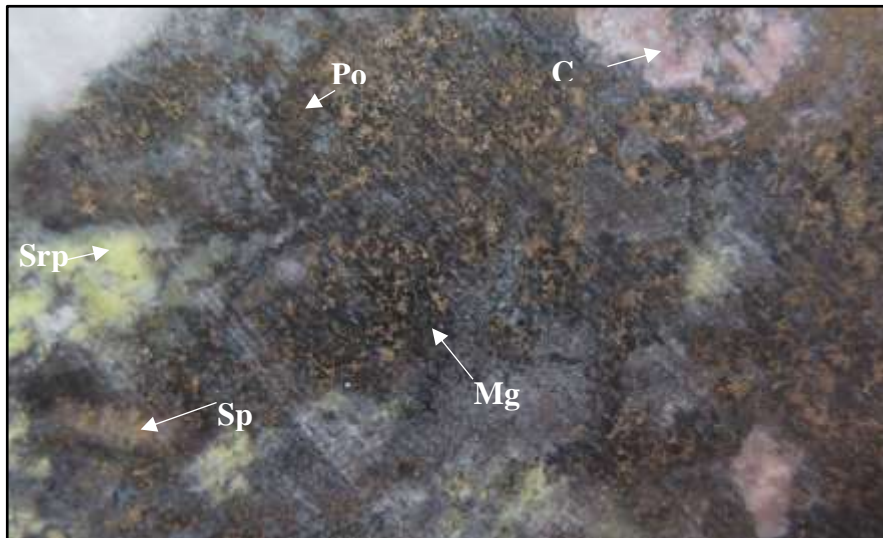


Nota: Fuente C. Velásquez, M. Díaz, S. Espinoza, R. Bernaola, C. Farfán y L. Fontboté 2020.

La Tapada es parte del depósito polimetálico Cordillerano Carhuacayán de edad Mioceno tardío, emplazado en rocas carbonatadas y silicoclásticas del Cretácico, y es interpretada como el último evento de un sistema porfirítico de múltiples fases. Similarmente, a otros depósitos Cordilleranos, se reconocen tres principales eventos de mineralización polimetálica. En La Tapada, se puede observar la transición de las condiciones de baja a intermedia sulfuración en los fluidos hidrotermales.

- **Estadio A (Mantos de $Mgt \pm Po \pm Sp$):** Mantos de reemplazamiento dentro de secuencias carbonatadas de la Fm. Chúlec con alteración skarn magnesiano retrogrado (alto contenido de serpentina) y distribución mineralógica $Mgt > Po > Sp$ (rica en Fe) $> Cpy$; además de ello se presentan mantos de magnetita masiva a semi-masiva, intercrecimiento de esfalerita (rica en Fe) y/o pirrotita \pm calcopirita en partes profundas. Este estadio estaría relacionado a un sistema de baja sulfuración (G. Marcelo S., 2019).

Figura 10. Estadío de mineralización A – Manto Mt-Po-Sp, DDHTPD17016 a 465.80 m, @ 0.1 g/t Au, 0.1 Oz Ag, 0.0 % Pb, 2.6 % Zn, 0.1% Cu.



Nota: Fuente C. Velásquez, M. Díaz, S. Espinoza, R. Bernaola, C. Farfán y L. Fontboté 2020.

Figura 11. Estadío de mineralización A – Manto Mt-Po-Sp, DDHTPD17003 a 234.7 m, @ 0.1 g/t Au, 0.0 Oz Ag, 0.0 % Pb, 2.7 % Zn, 0.0 % Cu.



Nota: Fuente C. Velásquez, M. Díaz, S. Espinoza, R. Bernaola, C. Farfán y L. Fontboté 2020.

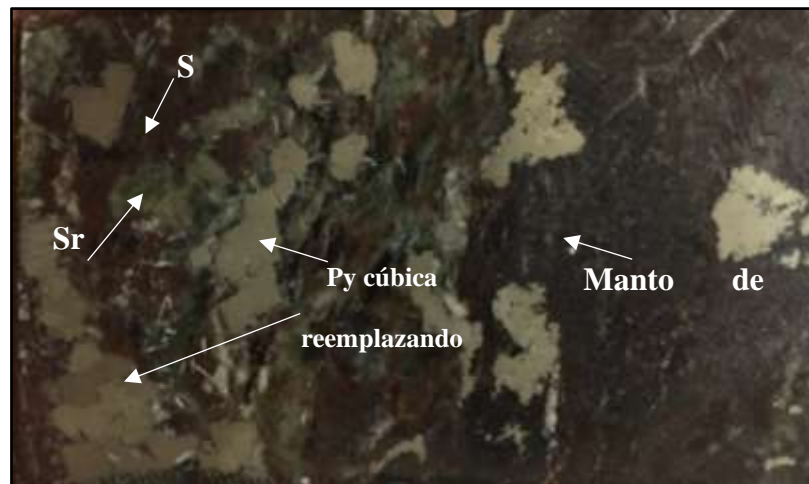
- **Estadío B (Mantos de Py-Qz):** Mantos de reemplazamiento en secuencias carbonatadas de la Fm. Chúlec y Pariahuanca; presenta Py de manera masiva a semi-masiva con presencia de arcillas <sericita; en algunas zonas se sobrepone a mantos de magnetita, formando cristales de Py cúbicos y piritohedros), asociados a valores anómalos de Au-Ag>Zn-Pb; (G. Marcelo S., 2019).

Figura 12. Estadío de mineralización B – Manto Py - Arcillas , DDHTPD17025 a 286.3 m, @ 0.3 g/t Au, 1.0 Oz Ag, 0.3 % Pb, 0.4 % Zn, 0.0 % Cu.



Nota: Fuente C. Velásquez, M. Díaz, S. Espinoza, R. Bernaola, C. Farfán y L. Fontboté 2020.

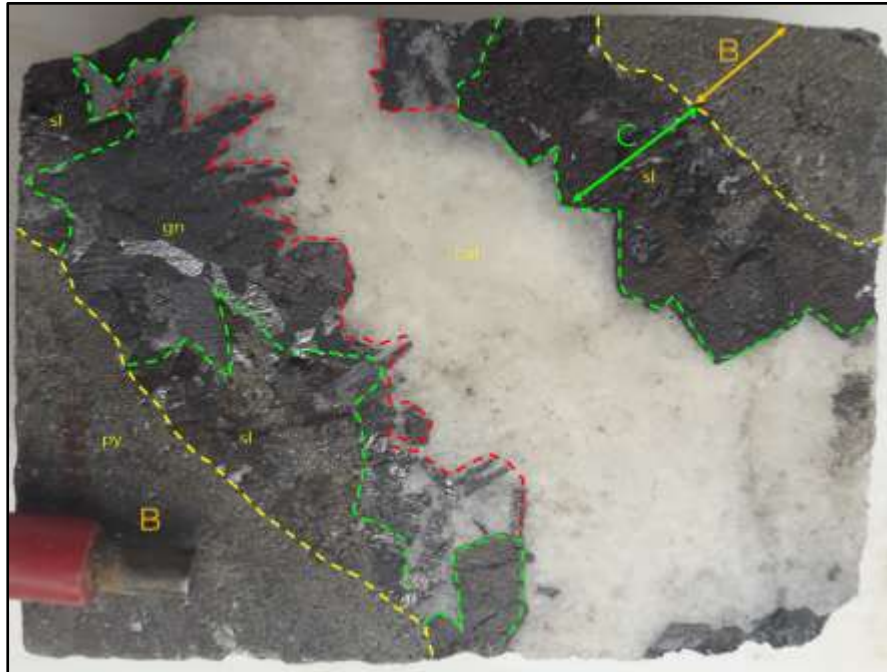
Figura 13. Estadío de mineralización B reemplazando estadio A, DDHTPD17007 a 475.8 m, @ 0.5 g/t Au, 0.6 Oz Ag, 0.0 % Pb, 4.1 % Zn, 0.1 % Cu.



Nota: Fuente C. Velásquez, M. Díaz, S. Espinoza, R. Bernaola, C. Farfán y L. Fontboté 2020.

- **Estadío C (Vetas±Brechas de disolución de Sp-Gn-Td-Tn(Ag)):** Estructuras que cortan los estadíos B y C; compuesta principalmente de esfalerita (pobre en Fe), galena, cobres grises con contenido de Ag (Tn>Td) y trazas de calcopirita; además de ello presenta carbonatos de Fe, Mn y Zn; las cajas contienen un halo de alteración argilizados. Este conjunto de vetas, vetillas y venillas, tienen una orientación NE-SW y pocos casos NW-SE, (G. Marcelo S., 2019).

Figura 14. Estadío de mineralización C vetas de Sp-Gn-Td-Tn(Ag)-Cpy, DDHTPD17003 a 299.9 m, @ 1.8 g/t Au, 8.2 Oz Ag, 6.2 % Pb, 5.6 % Zn, 0.3 % Cu.

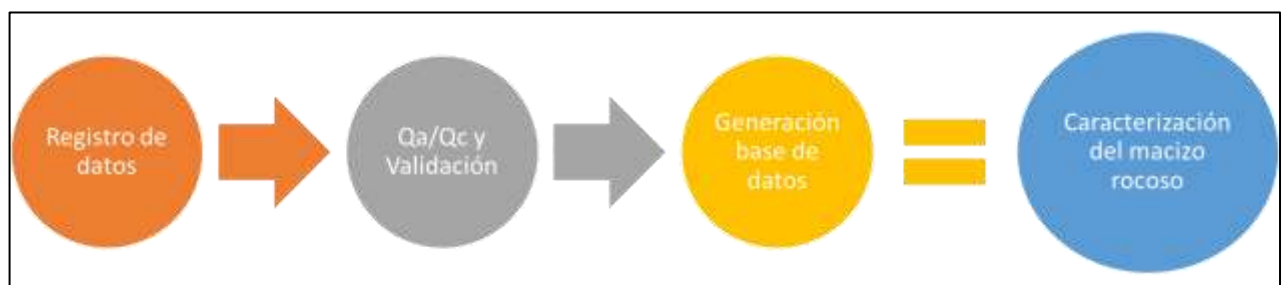


Nota: Fuente C. Velásquez, M. Díaz, S. Espinoza, R. Bernaola, C. Farfán y L. Fontboté 2020.

Base de datos geomecánicos

La recolección de datos en campo, su tratamiento y correcciones dan como resultado una buena base de datos, el cual es pilar fundamental para la generación de diferentes modelos geológicos, geomecánicos, estructurales e hidrogeológicos.

Figura 15. Etapas para una caracterización geomecánica en testigos diamantinos.



Nota: Fuente propia.

Clasificaciones geomecánicas

Considerando los conceptos básicos de geomecánica, el cual considera al macizo rocoso como discontinuo, anisotrópico y heterogéneo; se tuvo la necesidad de estudiar

estas características y clasificarlas a través de observaciones realizadas en campo y ensayos puntuales sencillos.

Las clasificaciones geomecánicas permiten estimar la calidad del macizo rocoso y de sus parámetros de resistencia (cohesión y ángulo de rozamiento interno), pero también aportan índices relacionados con el sostenimiento de túneles y taludes, excavabilidad, etc. (Alberto Gonzales D. & Patricio Martinez C. 2020).

A partir de estas descripciones y características las clasificaciones geomecánicas se dividen en dos grupos:

Tabla 1. Clasificaciones geomecánicas.

Clasificaciones Geomecánicas	
Propiedades Geomecánicas Subjetivas	<ul style="list-style-type: none"> • Terzaghi (1946). • Lauffer (1958).
Propiedades Geomecánicas Objetivas	<ul style="list-style-type: none"> • RQD Rock Quality Designation (Deere 1963-1967). • RSR Rock Structure Ratio (Wickham, Tiedemann and Skinner; 1972). • RMR Rock Mass Rating (Bieniawski 1979 y 1989). • Q' (Barton, Lien y Lunde, 1974). • SMR Slope Mass Rating (Romana, 1985-1996). • GSI Geological Strength Index (Hoek, 1994 y Hoek et al. 1995). • MRMR Mining Rock Mass Rating (Laubscher 1977 y mod. 1990).

Nota: Fuente Alberto Gonzales D. y Patricio Martínez C. 2018.

A continuación, se detallará las clasificaciones geomecánicas más usadas dentro del sector minero y dentro de la presente tesis.

RMR Rock Mass Rating (Bieniawski 1979 y 1989)

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo, de excavación y sostenimiento en túneles (Luis Gonzales V., Mercedes Ferrer, Luis Ortuño y Carlos Oteo; Madrid 2002).

El autor divide a esta clasificación en 5 grandes grupos, con los cuales describe la calidad de la roca dependientemente de las características de las discontinuidades encontradas.

Tabla 2. Valoración Geomecánica RMR89' Bieniawski.

RMR Rating	Descripción	Tipo de Roca
<21	Muy Mala	Tipo I
21 – 40	Mala	Tipo II
41 – 60	Regular	Tipo III
61 – 80	Buena	Tipo IV
81 – 100	Muy Buena	Tipo V

Nota: Fuente Bieniawski 1989.

Para realizar el cálculo del valor de RMR se evalúa los siguientes parámetros:

- Resistencia a compresión simple del material rocoso; el cual se puede realizar por métodos de campo (golpes de picota o martillo de Smith) y ensayos de laboratorio (Triaxial, PLT, UCS, etc.).

- Toma del RQD; en diferentes bibliografías se considera una clasificación independiente, en este caso es parte del cálculo del RMR y además de ello es parte fundamental para el resultado final; normalmente fue utilizado para testigos diamantinos, en donde se mide los tramos ≥ 10 cm limitados entre dos fracturas naturales.
- Espaciado de juntas; es la distancia perpendicular medida entre dos planos de discontinuidad; este dato determina el tamaño de bloque de roca intacta; cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto mayor espaciado tengan, los bloques serán más grandes.
- Naturaleza de las juntas; describimos el estado de las discontinuidades y para esto se utilizan los siguientes parámetros:
 - Persistencia de la discontinuidad.
 - Apertura.
 - Alteración.
 - Rugosidad.
 - Relleno.
- Presencia de agua; determina la cantidad de agua que puede transcurrir por el macizo rocoso; considerando las orientaciones de las discontinuidades.
- Orientación de las discontinuidades; es la relación entre las orientaciones de las diversas discontinuidades halladas con respecto a la dirección de la excavación.

Tabla 3. Parámetros geomecánicos RMR89' con sus respectivas valoraciones rating.

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS PUNTUACIONES							
Parámetros		Rango de valores					
1	Resistencia del material de roca intacta	Índice de Resistencia por carga puntual	> 30 MPa	4 – 30 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Para estos bajos rangos, es preferible ensayos de compresión uniaxial
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 MPa	300 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	
	Puntuación		15	12	7	4	2 1 0
2	Calidad del testigo RQD		90% – 100%	75% – 90%	50% – 75%	25% – 50%	< 25%
		Puntaje		20	17	13	8
3	Espaciamientos		> 2 m	0,6 – 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	< 60mm
		Puntaje		20	15	10	8
4	Condición de la discontinuidad (ver E)	Superficie muy rugosa Sin continuidad Cajas inalteradas		Superficie ligeramente rugosa Separación < 1 mm Cajas ligeramente alteradas	Superficie ligeramente rugosa Separación < 1 mm Cajas sumamente alteradas	Superficie pulida o salbanda < 5 mm de grosor o separación 1 – 5 mm Continuo	Salbanda blanda > 5 mm de grosor o separación > 5 mm Continuo
		Puntaje		30	25	20	18
5	Agua subterránea	Alfluencia por cada 10 m de largo de túnel	Ninguno	< 10	10 – 25	25 – 125	> 125
		(Presión de agua en estructural) / (r principal mayor)	0	< 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo
	Puntaje		15	10	7	4	0
B. PUNTUACIÓN POR AJUSTE DE ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES							
Rumbo y orientación de manto		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	
Puntuaciones	Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12	
	Fundaciones	0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes	0	-5	-25	-50		
C. CLASES DE MACIZO ROCOSO DETERMINADO DEL PUNTAJE TOTAL							
Puntaje		100 – 80	80 – 60	60 – 41	40 – 21	< 21	
Número de Clase		I	II	III	IV	V	
Descripción		Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca pobre	Roca muy pobre	
D. SIGNIFICADO DE CLASES DE ROCA							
Número de Clase		I	II	III	IV	V	
Tiempo promedio de auto soporte		20 años para 25 m de luz libre	1 año para 10 m de luz libre	1 semana para 5 m de luz libre	10 horas para 2,5 m de luz libre	30 minutos para 1 m de luz libre	
Cohesión del macizo rocoso (kPa)		> 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	< 100	
Ángulo de fricción del macizo rocoso (°)		> 45	35 – 45	25 – 35	15 – 25	< 15	
E. GUÍA PARA CLASIFICAR LAS CONDICIONES DE LA DISCONTINUIDAD							
Largo de Discontinuidad (Persistencia)		< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 30 m	Más de 20 m	
Puntaje		0	4	7	12	18	
Separación (Apertura)		Ninguno	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm	
Puntaje		6	5	4	3	0	
Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Liso	Pulido	
Puntaje		6	5	3	2	0	
Relleno (Salbanda)		Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm	
Puntaje		6	4	2	2	0	
Alteración		Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Sumamente alterado	Descompuesto	
Puntaje		6	5	3	1	0	
F. EFECTO DEL RUMBO Y ORIENTACIÓN DEL MANTO DE LA DISCONTINUIDAD EN TUNELERÍA							
Rumbo perpendicular al eje del túnel			Rumbo paralelo al eje del túnel				
Excavación en dirección del manto – manto 45 – 90°		Excavación en dirección del manto – manto 20 – 45°		Manto 45 – 90°		Manto 20 – 45°	
Muy favorable		Favorable		Muy desfavorable		Regular	
Excavación en contra del manto – manto 45 – 90°		Excavación en contra del manto – manto 20 – 45°		Manto 0 – 20°			
Regular		Desfavorable		Regular			

Nota: Fuente RMR Bieniawski 1989.

Q (Barton, Lien y Lunde, 1974)

La clasificación Q fue desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974 a partir de un estudio empírico de un gran número de túneles. Esta clasificación permite estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas (Victor Yepes, 2012). El valor numérico del índice Q varía en escala logarítmica desde 0,001 hasta un máximo de 1.000.

Esta clasificación está determinada por 6 parámetros principales:

- **RQD**, “Rock Quality Designation”; medida de tramos de roca ≥ 10 cm.
- **Jn**, Número de familias juntas.

- **Jr, Rugosidad de las juntas.**
- **Ja, Meteorización de las juntas.**
- **Jw, Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua.**
- **SRF, “Stress Reduction Factor”, factor dependiente principalmente de las tensiones existentes en el macizo rocoso.**

Mediante los parámetros indicados, se define la calidad del macizo rocoso con la siguiente formula:

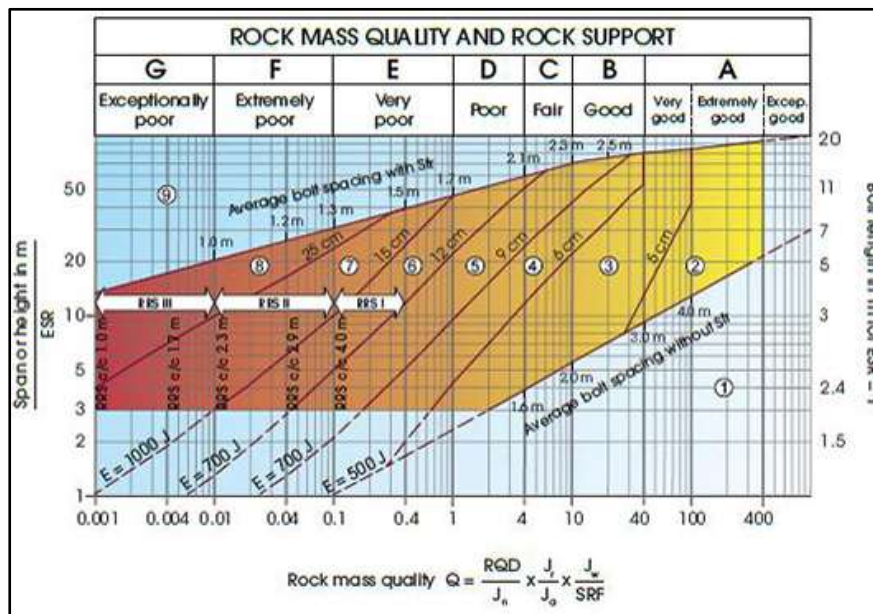
$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

El primer cociente, RQD/Jn, representa el tamaño de los bloques, (Pedro Ramirez O. & Leandro Alejano M.; 2004).

Jr/Ja permite estimar la resistencia al corte entre bloques, (Pedro Ramirez O. & Leandro Alejano M.; 2004).

Jw/SRF indica el estado tensiones en el macizo rocoso, (Pedro Ramirez O. & Leandro Alejano M.; 2004).

Figura 16. Valoración geomecánica Q' Barton 1974.



Nota: Fuente Barton, Lunde & Lien 1974.

A continuación, se detallan los valores de cada parámetro Q.

- **Parámetro Jn**

Tabla 4. Parámetro Jn – Q' Barton con su respectiva valoración.

Descripción y Puntajes para el parámetro Jn	
Caso	Valor Jn
Macizos rocosos masivos, sin o con muy pocas estructuras.	0.5
Macizos rocosos con estructura ocasional o aleatoria.	1
Macizos rocosos con un único sistema de estructuras.	2
Macizos rocosos con un sistema de estructuras más estructuras aleatorias.	3
Macizos rocosos con dos sistemas de estructuras	4
Macizos rocosos con dos sistemas de estructuras más estructuras aleatorias.	6
Macizos rocosos con tres sistemas de estructuras.	9
Macizos rocosos con tres sistemas de estructuras más estructuras aleatorias.	12
Macizos rocosos con cuatro o más sistemas de estructuras, con muchas estructuras aleatorias.	15
Macizos rocosos totalmente desintegrado, similar a un suelo granular.	20

Parámetro Jr Nota: Fuente Barton, Lunde & Lien 1974.

Tabla 5. Parámetro Jr – Q' Barton con su respectiva valoración.

Descripción y Puntajes para el parámetro Jr	
Condición	Valor Jr
a) Contacto entre las caras de la discontinuidad	
b) Contacto entre las dos caras ante una cizalla menor de 10 cm	
Estructuras sin continuidad	4
Rugosas o irregulares y onduladas	3
Suaves y onduladas	2
Estriadas y onduladas	1.5
Rugosas o irregulares y planar	1.5
Suaves y planas	1
Estriadas y planas	0.5
c) Sin contacto entre las dos superficies cuando hay cizalla	
Zona con minerales de arcillas de espesor suficiente para evitar el contacto entre las superficies.	1
Zona arenosa, de grava o de roca triturada de espesor suficiente para evitar el contacto entre las superficies.	1

Parámetro Ja Nota: Fuente Barton, Lunde & Lien 1974.

Tabla 6. Parámetro Ja – Q' Barton con su respectiva valoración.

Descripción y Puntajes para el parámetro Ja	
Condición	Ja
a) Contacto entre los planos	
Estructuras selladas, con rellenos duros, impermeables y que no se ablandan, como cuarzo, epidota.	0.75
Estructuras con cajas inalteradas o con pátinas locales	1
Estructuras con cajas ligeramente alteradas, pátinas con materiales que no se ablandan y sin arcilla (arena, roca molida, etc)	2
Estructuras con pequeñas fracciones de arcilla (no blandas)	3
Estructuras con recubrimientos de arcillas blandas o pequeñas cantidades de arcillas expansivas (hasta 2 mm)	4
b) Contacto entre los planos debido a desplazamiento de corte menores a 10 cm	
Estructuras con rellenos de arenas y/o roca molida, libres de arcilla	4
Estructuras con rellenos de arcillas consolidadas, que no se ablandan (rellenos continuos, con espesores < 5 mm)	6
Estructuras con rellenos de arcillas algo o poco consolidadas, se ablandan (rellenos continuos, con espesores <5 mm)	8
Estructuras con rellenos de arcillas expansivas (ej. Montmorillonita, rellenos continuos, espesores <5mm)	8 – 12
c) No hay contacto entre los planos cuando hay desplazamiento de corte	
Estructuras con rellenos de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver estructuras con rellenos de arcillas para descripción de la condición del material arcilloso)	6, 8 o 8 - 12
Estructuras con rellenos potentes de arenas limosas o limo-arcillosas, con poco contenido de arcillas que no se ablandan.	5
Estructuras con rellenos potentes de salbanda arcillosa (ver estructuras con rellenos de arcillas para descripciones del material arcilloso)	10, 13 o 13 -20

Nota: Fuente Barton, Lunde & Lien 1974.

- **Parámetro SRF**

Tabla 7. Parámetro SRF – Q' Barton con su respectiva valoración.

Descripción y Puntajes para el parámetro SRF	
Condición	SRF
a) Zonas débiles que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.	
Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca químicamente desintegrada, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad).	10
Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación menor de 50 m).	5

Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación mayor de 50 m).			2.5
Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).			7.5
Sólo una zona de fractura en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m).			5
Sólo una zona de fractura en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m).			2.5
Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).			5
b) Rocas competentes, problemas de tensiones en las rocas.	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	SRF
Tensiones pequeñas cerca de la superficie.	>200	>13	2.5
Tensiones medias.	200-10	13-0.66	1
Tensiones altas, estructura muy compacta (normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales).	10-5	0.66-0.33	0.5-2
Explosión de roca suave (roca masiva).	5-2.5	0.33-0.16	5-10
Explosión de roca fuerte (roca masiva).	<2.5	<0.16	10-20
σ_c y σ_t son las resistencias a compresión y tracción de la roca, respectivamente; σ_1 es la tensión principal máxima que actúa sobre la roca.			
c) Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.			SRF
Presión de flujo suave.			5-10
Presión de flujo intensa.			10-20
d) Rocas expansivas, actividad química expansiva, dependiendo de la presencia de agua.			SRF
Presión de expansión suave.			5-10
Presión de expansión intensa.			10-20
Observaciones del SRF:			
<ul style="list-style-type: none"> • Reducir los valores del SRF en un 25-50% si las zonas de rotura sólo influyen, pero no interceptan a la excavación. • En los casos en que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la anchura de este, se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5. • Para campos de tensiones muy anisótropos (si se miden) cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reducir σ_c y σ_t a $0.8 \sigma_c$ y $0.8 \sigma_t$; cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reducir σ_c y σ_t a $0.2 \sigma_c$ y $0.6 \sigma_t$, donde σ_3 es la tensión principal mínima que actúa sobre la roca. 			

Nota: Fuente Pedro Ramirez O. & Leandro Alejano M.; 2004

MRMR Mining Rock Mass Rating (Laubscher 1990)

Laubscher en 1977, modificó el RMR presentado por Bieniawski y propuso el Mining Rock Mass Rating (MRMR o IRMR), el cual fue modificado posteriormente en 1990. Laubscher define el índice RMRLB de calidad geomecánica como la sumatoria de los puntajes asociados a los parámetros IRS, FF/m y CD, expresados matemáticamente

por la siguiente ecuación:

$$RMR_{LB} = P(IRS) + P\left(\frac{FF}{m}\right) + P(CD)$$

Donde:

IRS= Resistencia a la compresión uniaxial de la roca.

FF/m= Frecuencia de Fracturas por metro.

CD = Condición de las discontinuidades y presencia de agua.

Tabla 8. Valoración geomecánica MRMR Laubscher 1990.

Clase	1		2		3		4		5	
Subclase	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Rango	100-91	90-81	80-71	70-61	60-51	50-41	40-31	30-21	21-11	10-0
Descripción	Roca Muy Buena		Roca Buena		Roca Regular		Roca Mala		Roca Muy Mala	
Color	Azul		Verde		Amarillo		Café		Rojo	

Nota: Fuente Laubscher 1990.

A continuación, se describe cada parámetro Laubscher:

- **Resistencia de la roca intacta IRS**

Tabla 9. Parámetro IRS – MRMR con su respectiva valoración.

Puntaje asociado a la resistencia de la roca intacta (IRS)													
IRS (MPa)	1	5	12	25	35	45	65	85	105	125	145	165	> 185
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
Puntuación	4	11	24	34	44	64	84	104	124	144	164	185	
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20

Nota: Fuente Laubscher 1990.

- **Frecuencia de fracturas por metro (FF/m)**

Tabla 10. Parámetro FF/m – MRMR con su respectiva valoración.

Puntaje asociado a la frecuencia de fracturas (FF/m)																			
FF = Frecuencia de fracturas																			
n = número de sistemas estructurales																			
FF(fract/m)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.5	0.8	1	1.5	2	3	5	7	10	15	20	30	40	
n = 1	40				38	36	34	31	28	26	24	21	18	15	12	10	7	5	
n = 2	40			38	36	34	31	28	26	24	21	18	15	12	10	7	5	2	
n = 3	40			38	36	34	31	28	26	24	21	18	15	12	10	7	5	40	0

Nota: Fuente Laubscher 1990.

- **Condición de discontinuidad**

Tabla 11. Parámetro condición de fracturas – MRMR con su respectiva valoración

Puntaje asociado a la condición de las discontinuidades			
Jc = A x B x C x D x 40		Discontinuidades abiertas o con rellenos no cementados	
Jc = A x E x 40		Discontinuidades selladas o con rellenos cementados	
Coeficiente y parámetro asociado	Descripción de la condición del parámetro	Coeficientes de Ajuste A, B, C, D o E	
		Condición seca	Condición húmeda
A Sinuosidad	Sinuosa en varias direcciones	1.00	
	Sinuosa en una dirección	0.95	0.92
	Curva	0.90	0.87
	Ligeramente ondulada	0.85	0.82
	Recta	0.80	0.77
B Rugosidad	Escalonada, rugosa e irregular	0.95	0.90
	Escalonada, lisa	0.90	0.85
	Escalonada, pulida	0.85	0.80
	Ondulosa y rugosa	0.80	0.75
	Ondulosa y lisa	0.75	0.70
	Ondulosa y pulida	0.70	0.65
	Plana y rugosa	0.65	0.60
	Plana y lisa	0.60	0.55
C Alteración de la roca caja	No alterada	1.00	
	Alterada pero más resistente que el material de relleno	1.00	
	Alterada y más débil que el material de relleno	0.75	0.70
D Relleno no cementados	Cizallado, duro, grueso	0.90	0.85
	Cizallado, duro, medio	0.85	0.80
	Cizallado, duro, fino	0.80	0.75
	Cizallado, blando, grueso	0.70	0.65
	Cizallado, blando, medio	0.60	0.55
	Cizallado, blando, fino	0.50	0.45
	Salbanda arcillosa < Persistencia de discontinuidad	0.45	0.40
	Salbanda arcillosa > Persistencia de discontinuidad	0.30	0.20
E Rellenos cementados	Sin relleno	1.00	
	Dureza > 5 (e.g. Anhidrita)	0.95	
	Dureza de 3 a 4 (e.g. Calcita)	0.90	
	Dureza de 1 a 2 (e.g. Yeso)	0.85	







Nota: Fuente Laubscher 1990.

GSI Geological Strength Index (Hoek et al. 1995)

Si bien el GSI es una forma de clasificación de macizo rocoso que fue definido para observaciones de un corte de talud en superficie también se utiliza en sondajes y su estimación cualitativa depende mucho del buen criterio que tenga el profesional a cargo del registro. Es por esto que parte de la metodología sugerida (sobre todo para sondajes), involucra comenzar por estimar este índice GSI al inicio del registro, para observar mejor las características estructurales nativas de la roca, es decir, sin manipular el testigo.

La estimación del índice GSI no es un valor exacto, se trabaja con un rango (mínimo y máximo); $0 \leq \text{GSI} \leq 100$.

Figura 17. Clasificación geomecánica general GSI – descripciones y valoraciones.

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES				
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
	CALIDAD DECRECIENTE DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES ⇨				
 <p>INTACTO O MASIVO Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.</p>	90			N/A	N/A
 <p>FORMADO POR BLOQUES Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.</p>	80	70			
 <p>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero sólo parcialmente.</p>		60			
 <p>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes.</p>		40		30	
 <p>DESINTEGRADO Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.</p>				20	
 <p>LAMINADO Y CIZALLADO Debido a la existencia de numerosos planos débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques.</p>	N/A	N/A			10








⇩ ENCAJE DECRECIENTE ENTRE LOS TROZOS DE ROCA

NOTAS SOBRE LAS CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES
MUY BUENA : superficies muy rugosas y sanas
BUENA : superficies rugosas, ligeramente meteorizadas y teñidas de óxido
MEDIA : superficies lisas y moderadamente meteorizadas y alteradas
MALA : superficies con espejos de falla y altamente meteorizadas, con rellenos de fragmentos angulares o con recubrimientos compactos
MUY MALA : superficies con espejo de falla altamente meteorizadas con recubrimientos o rellenos de arcillas blandas

Nota: Fuente Hoek 1995.

Existe una tabla adicional con el cual se ajusta más los macizos estratificados y foliados; alcance que no se puede determinar con la tabla tradicional.

Figura 18. Clasificación geomecánica GSI para rocas estratificadas – descripciones y valoraciones.

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS ESTRATIFICADOS HETEROGENEOS (Marinos & Hoek (2000))		CONDICION ESTRUCTURAS (PLANOS DE ESTRATIFICACION)	
En base a una descripción de la litología, la estructura del macizo y la condición de las estructuras (especialmente los planos de estratificación), seleccione una zona en la tabla. Ubique en esa zona la posición correspondiente a la condición de las estructuras y estime el valor medio de GSI. NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que suponer $GSI = 35$. Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural. Si hay estructuras desfavorablemente orientadas ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso. En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para GSI para condiciones regular, mala o muy mala de las estructuras. La presión del agua no se considera al evaluar el GSI (análisis en esfuerzos efectivos).		MUY BUENA Muy rugosas, superficies frescas o no Meteorizadas.	MUY BUENA Muy rugosas, superficies algo meteorizadas
COMPOSICION Y ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		REGULAR Lisas, superficies moderadamente meteorizadas y laterales.	
MUY MALA Muy lisas y pulidas, con pátinas compactas o relucientes con fragmentos angulosos.		MUY MALA Muy lisas y pulidas o de superficies muy meteorizadas, y con pátinas o relucientes de arcilla blanda.	
	A. Estratos gruesos de arenisca de mucha blocosidad. El efecto de posibles pátinas péfilicas en los planos de estratificación se ve minimizado por el confinamiento del macizo rocoso; sin embargo, en lóncles poco profundos y/o taludes, estos planos de estratificación pueden generar inestabilidades controladas estructuralmente.	70	A
	B. Arenisca con lóncles delgados de limonita.	60	B, C, D, E
	C. Arenisca y limonita, en estratos de similar potencia.		
	D. Limolitas o esquistos limosos con estratos de arenisca.	50	F
	E. Limolitas débiles o esquistos arcillosos con estratos de arenisca.		
C, D, E y G: Pueden estar más o menos plegados que lo indicado, pero esto no altera su resistencia. Si presentan deformación tectónica, fallamientos y pérdidas de continuidad, cambie estas categorías a F y H.		40	10
	G. Esquistos limosos o arcillosos no perturbados, con o sin intercalaciones de estratos delgados de arenisca.	N/A	G
	H. Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, muy plegados y Cizallados, con estratos de arenisca deformados y quebrados, definiendo una estructura casi caótica. Estratos delgados de arenisca quebrados en pedruzcos y bloques de roca.	N/A	H

Nota: Fuente Marinos & Hoek 2000.

Trabajo geomecánico de campo

El procedimiento de trabajo consiste analizar la data histórica (ubicación, logueo y fotografías); para una posterior toma de datos de los sondajes seleccionados, recabando información geomecánica (considerando que se encuentran muestreados), finalizando con una correlación y análisis de confiabilidad de estos.

Procedimiento

- **Toma de información del sondaje:** Es necesario conocer los datos generales del sondaje como: Código, coordenadas UTM, profundidad de la perforación, azimut, inclinación y diámetro de perforación.

Tabla 12. Registro de información de sondaje.

Información del Sondaje							
SONDAJE:	DDH008	Este:	360743.44	Norte:	8810508.98	Cota:	4225.42
		Azimut:	60	Longitud:	60 m	Dip:	60

Nota: Fuente propia.

- **Datos del personal y formato de logueo:** Para la recolección de datos se necesita

conocer el personal que intervino en la actividad como también las versiones de los formatos utilizados.

Tabla 13. Registro de información del personal y versión del formato.

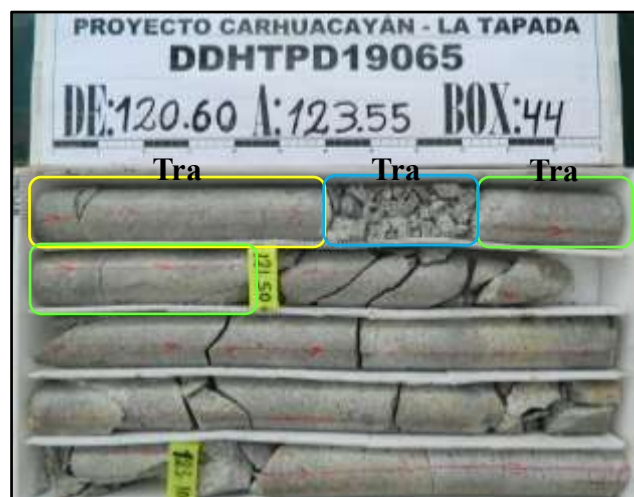
Información general			
Logueado por:	Luis G. Cardenas Jimenez	Diametro:	HQ3
Fecha de Inicio:	6/06/2023	Fecha de termino:	10/06/2023

Información del formato	
Código: AT-GM-ESTD-02-02	Versión: 2.0
Fecha de Emisión:	01/11/18
Fecha de Actualización:	03/05/23

Nota: Fuente propia.

- **Separación de corrida:** Método que considera la división de una corrida en dos o tres intervalos, siempre y cuando se observe diferencias extremas entre sus parámetros geomecánicos, litológicos, etc. Los parámetros geomecánicos de cada tramo serán registrados en el formato de registro geomecánico.

Figura 19. Fotografía. con selección y separación de corridas.



Nota: Fuente propia.

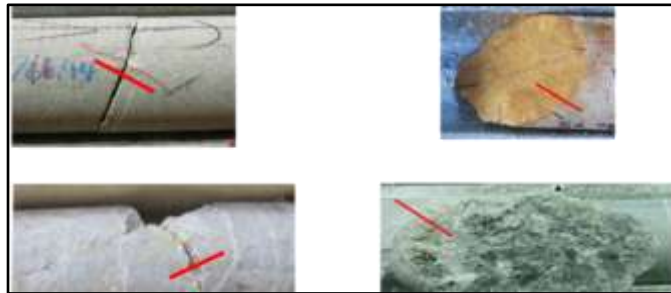
- **Identificación de fracturas naturales y mecánicas:** Paso fundamental, puesto que a partir de aquí se procederá al cálculo del RQD, condición de fractura y frecuencia de fracturas.
- **Fracturas naturales:** Generadas por factores naturales (esfuerzos tectónicos,

factores de meteorización, etc.), este tipo de fracturas serán marcadas de color rojo.

Las principales características son:

- Bordes redondeados.
- Continuo.
- Contiene relleno o patinas en sus paredes.
- Alteración en sus paredes.

Figura 20. Fotografía. con casos de fracturas naturales.



Nota: Fuente Piteau 2021.

- **Fracturas mecánicas:** Generadas por factores propios de la perforación y traslado de los testigos, este tipo de fracturas son marcadas de color amarillo. Las principales características son:

- Bordes angulosos
- No son continuas.
- Superficies frescas sin alteración o relleno.
- Se marca con crayola amarilla.

Figura 21. Fotografía. con casos de fracturas mecánicas.



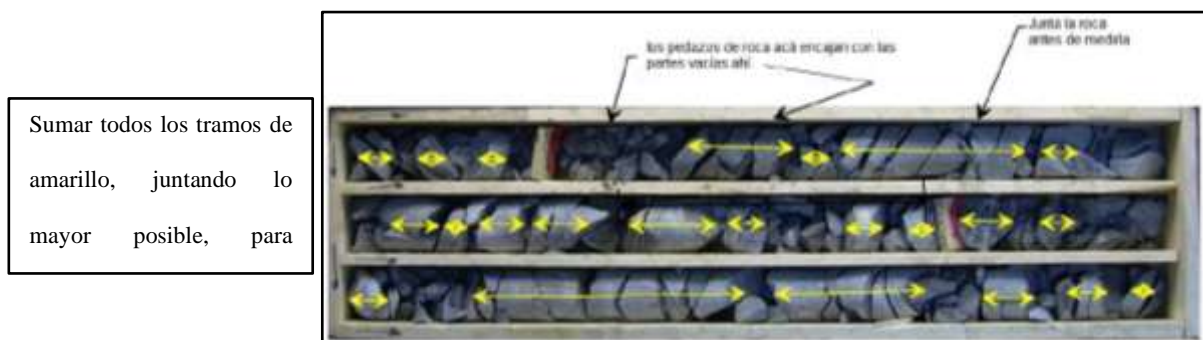
Nota: Fuente Piteau 2021.

- **Fracturas inducidas:** Son las fracturas originadas después de la perforación (es

decir, por manipulación / encajonado del testigo, transporte a la sala de logueo, prueba de dureza, etc.). En general si se tiene certeza de su origen se excluyen del recuento de fracturas mecánicas (Piteau 2021).

- **Medición de la longitud de la corrida:** Este dato se ven registrados en los tacos de separación de corridas, principalmente nos da a conocer la longitud de perforación como también la recuperación de este; proporcionados por el perforista.
- **Por precaución** el personal encargado de logueo debe de medir este dato, en caso no refleje con los datos registrados en el taco, se deberá de informar al perforista.
- **Medición de la recuperación:** La recuperación es la longitud de muestra obtenida luego del proceso de perforación, esta puede ser menor más no mayor a la longitud de la tubería de perforación.
- **Si se cuenta con muestra fracturada** se debe de juntar lo mayor posible para reducir los espacios vacíos. Se debe de revisar con cuidado las zonas de falla, puesto que puede existir muestra que no corresponde a ese tramo.

Figura 22. Fotografía muestra la selección para toma de recuperación de perforación, en testigos moderadamente fracturados.



Nota: Fuente Piteau 2021.

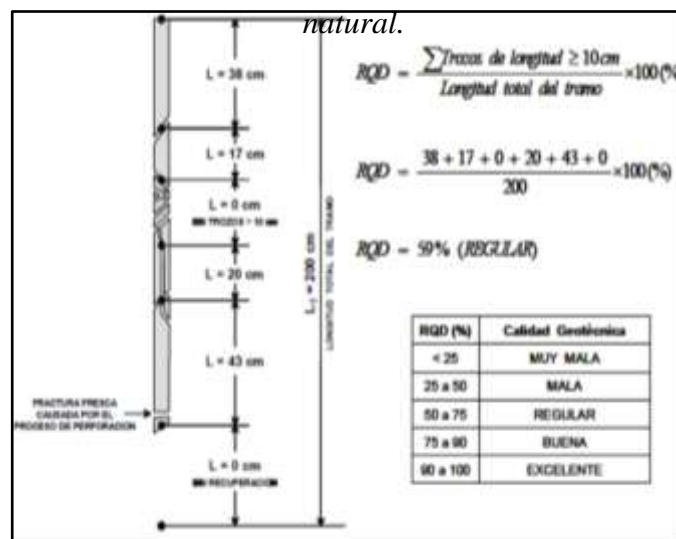
- **Medición del RQD (Rock Quality Designation):** Propuesto por Deere en 1967, propuesto en ese entonces para diseños de sostenimiento, basado en la media en porcentaje de trozos de testigo ≥ 10 cm, recuperado de un sondaje. Actualmente es utilizado como base en las diferentes clasificaciones geomecánicas como grado de

fracturamiento.

La medición se realiza al identificar tramos de roca ≥ 10 cm entre fracturas naturales. Tener en consideración que las fracturas paralelas a la dirección de perforación no se cuentan para el cálculo del RQD.

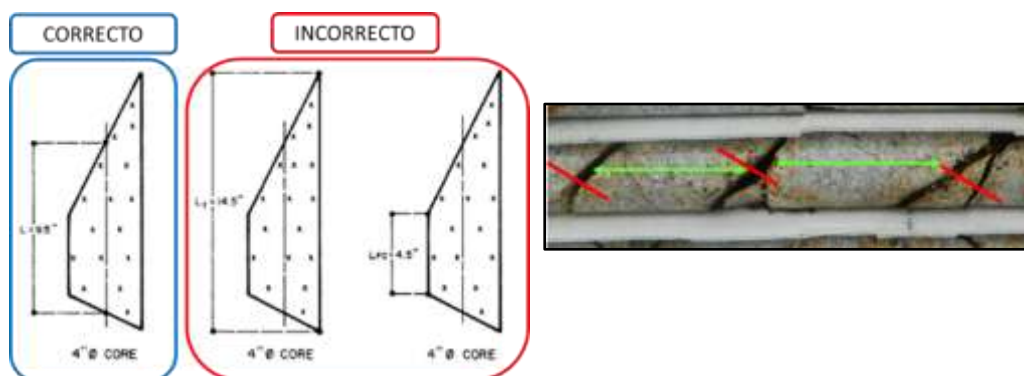
Los tramos de roca que cuentan con dureza $< R1$ (1 Mpa), se considera como un RQD = 0. Estos pudiendo ser “Zona de Falla o Zona Alterada”.

Figura 23. Gráfica procedimiento y cálculo del RQD, tramos ≥ 10 cm entre fractura natural.



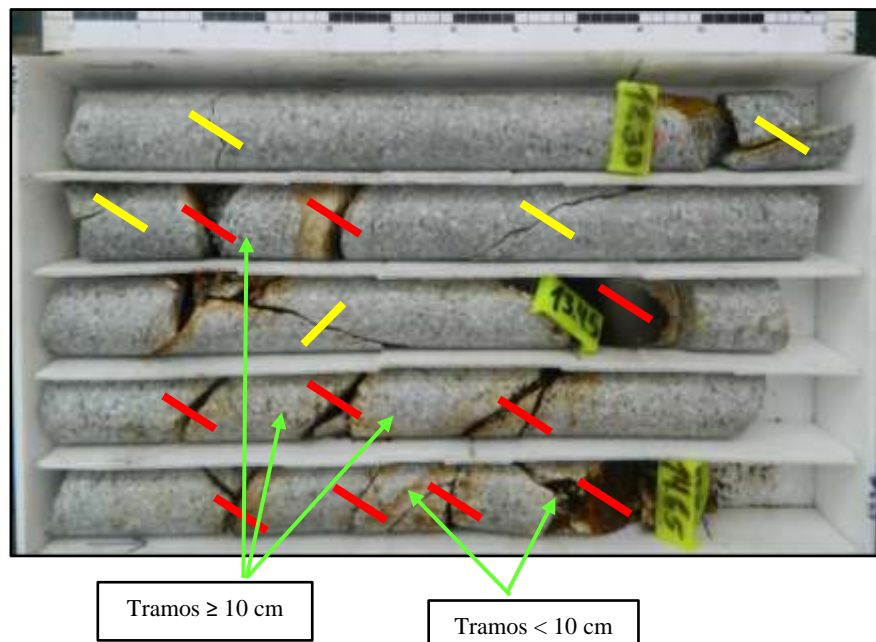
Nota: Fuente Deere 1988.

Figura 24. Gráfica correcta toma del RQD, entre fractura natural.



Nota: Fuente Deere 1988.

Figura 25. Fotografía ejemplo de la correcta toma del RQD, entre fractura natural.



Nota: Fuente propia.

Figura 26. Fotografía RQD = 0 en zonas de falla o con baja dureza.



Nota: Fuente propia.

- **Estimación de la dureza:** Clasificación de la estimación de la dureza, basada en la estimación de la resistencia a la compresión simple, realizada por el ISRM 1981. Existe muchos métodos para poder estimar u obtener estos valores.
- **Métodos de campo.**
- **Usando el Martillo de Smith (Esclerómetro).**
- **Rayando la roca con el uso de una cuchilla o martillo de geólogo.**
- **Métodos de laboratorio.**

- **Ensayos UCS, TX, PLT, brasileño, etc.**

Tabla 14. Escala de identificación de dureza y valor aproximados de la resistencia a la compresión simple.

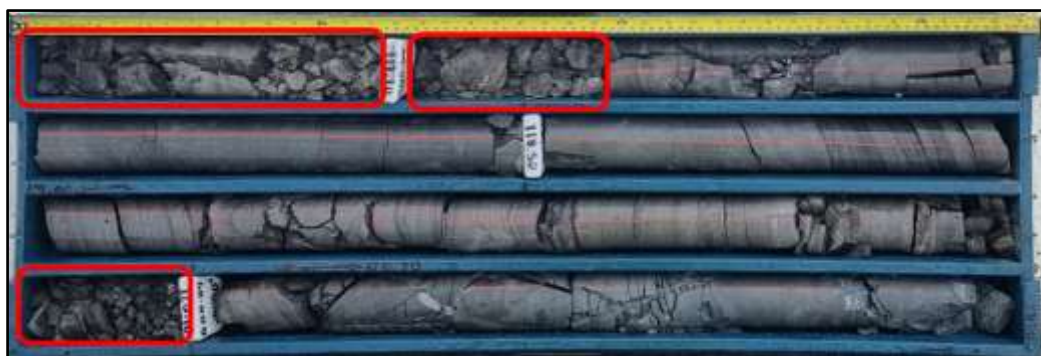
Clase	Descripción	Identificación del campo	Valor aproximado de la resistencia a compresión simple	
			Mpa	Kg/cm ²
S ₁	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0.025	< 0.25
S ₂	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0.025 - 0.05	0.25 - 0.5
S ₃	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para penetrar el dedo.	0.05 - 0.1	0.5 - 1
S ₄	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0.1 - 0.25	1 - 2.5
S ₅	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0.25 - 0.5	2.5 - 5.0
S ₆	Arcilla dura	Se marca con dificultad al marcar con la uña.	> 0.5	> 5.0
R ₁	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0.25 - 1.0	2.5 - 10
R ₂	Roca muy blanda	Deleznable bajo golpes del martillo de geólogo, puede rayarse con una navaja. Se talla fácilmente con una navaja.	1.0-5.0	10-50
R ₃	Roca blanda	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo.	5.0-25	50-250
R ₄	Roca moderadamente dura	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo indenta hasta 5 mm.	25-50	250-500
R ₅	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, especímenes sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo.	50-100	500-1000
R ₆	Roca muy dura	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	100-250	1000-2500
R ₇	Roca extremadamente dura	El martillo produce solamente descamado de la muestra, sonido metálico de golpe. Solo saltan esquirlas de roca.	> 250	> 2500

Nota: Pergamon 1981.

- **Registro de longitud de roca fracturada:** La longitud de roca fracturada LRF puede estar constituidas principalmente por: zona de falla, zona de alterada, zona con enjambre de venillas, brechas de falla o zonas con alta foliación.

En caso estos tramos sean mayores a 30 cm dentro del tramo, se recomienda realizar tacos ficticios.

Figura 27. Fotografía identificación de tramos fracturados.



Nota: Fuente propia.

- **Cálculo de fracturas naturales en longitud de roca fracturada FRF:** Indica la cantidad de fracturas naturales que “supuestamente” deberá identificarse en tramos de LRF, el valor obtenido entrará al cálculo del espaciamiento.

Para este dato se deberá utilizar la siguiente formula:

$$FRF = \frac{\text{Long. de roca fracturada (cm)}}{5 \text{ cm}} + N^{\circ} \text{ de zonas fracturadas}$$

- **Grado de fracturamiento:** Implementado por Hawley (et al., 1994).

Índice visual para estimar el grado de fracturamiento de un testigo, esta estimación se realiza considerando las fracturas naturales, mecánicas y FRF.

Tabla 15. Clasificación del grado de fracturamiento.

Grado	Espaciamiento Medio de las Fracturas	Descripción
A- A A+	<1cm	Mayormente panizo de falla o roca alterada con/sin pocos fragmentos de roca. Panizo y roca molida o roca alterada. Roca molida con/sin poco panizo, o una mezcla de roca alterada con fragmentos de roca fresca.
B- B B+	1 a 5cm	Roca molida - Puedes ver menos del 30% de la pared del en los fragmentos. Diámetro de los fragmentos de 1 a 2.33cm. Roca molida - Puedes ver algunas paredes del pozo en los fragmentos. Diámetro de los fragmentos 2.33 a 3.67cm. Roca fracturada - Puedes ver el diámetro entero del pozo en los fragmentos. Espaciamiento de fracturas 3.67 a 5cm.
C- C C+	5 a 10cm	Espaciamiento medio de roturas 5 a 6.67cm. Espaciamiento medio de roturas 6.67 a 8.33cm. Espaciamiento medio de roturas 8.33 a 10cm.
D- D D+	10 a 20cm	Espaciamiento medio de roturas 10 a 13.33cm. Espaciamiento medio de roturas 13.33 a 16.67cm. Espaciamiento medio de roturas 16.67 a 20cm.
E- E E+	>20cm	Espaciamiento medio de roturas 20 a 30cm. Espaciamiento medio de roturas 30 a 60cm. Espaciamiento medio de roturas >60cm.

Nota: Fuente Hawley 1994.

Para el cálculo del grado de fracturamiento, se debe tener en cuenta las fracturas naturales, fracturas mecánicas y fracturas naturales en tramos fracturados (ver anexo N°1); todo esto englobado en la siguiente formula:

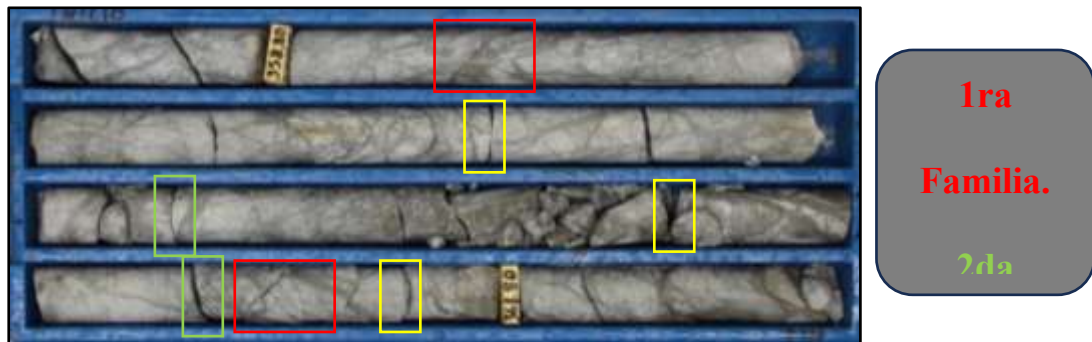
$$\text{Grado de Fract.} = \frac{\text{Recuperación (cm)}}{N^{\circ} \text{ de fracturas (FN + FM + FRF)}}$$

- **Grado de alteración:** Implementado por Hawley (et al., 1994). Índice visual para estimar el grado de alteración o intemperismo de la roca, el cual puede generar un cambio en la resistencia de esta (ver anexo N°2).
- **Cálculo de la frecuencia de fracturas por metro (FF/m):** Cálculo de la cantidad de fracturas naturales en una longitud de corrida establecida. Se considera solo fracturas naturales determinada por la siguiente formula:

$$FF/m = \frac{FN + FRF}{Long. Corrida (m)}$$

- **Estimación del número de familia de discontinuidades:** Se consideran solo las fracturas naturales, agrupándolas por: tipo de estructura, orientación, espesor, relleno, etc. Este dato se toma en cuenta para el cálculo de las clasificaciones Q' Barton y Launsher.

Figura 28. Determinación del número de familias en una corrida de perforación.



Nota: Fuente propia.

- **Registro geomecánico de estructuras/discontinuidades y orientación:**

El registro individual de las estructuras es muy importante para la caracterización del macizo rocoso por las diferentes clasificaciones existentes.

En este caso lo dividiremos en 2 principales grupos de datos:

- **Datos de las discontinuidades:** Su objetivo radica en clasificar el tipo de discontinuidad y su ubicación espacial dentro del sondaje (profundidad, tipo de discontinuidad, etc.).

Tabla 16. Datos de discontinuidad.

Desde (m)	Hasta (m)	TOTAL (m)	LITOLÓGIA	Prof.	Estr uc Geol	α	β
40.10	41.70	1.60	Cl 2	41.35	JN	40	260

Nota: Fuente propia.

- **Cálculo de condición de fractura para RMR:** Para este cálculo es necesario identificar y valorar los parámetros de discontinuidades como son:

- **Persistencia.**
- **Apertura.**
- **Alteración.**
- **Rugosidad.**
- **Relleno.**

Estos parámetros se encuentran detallados y valorados dentro de la tabla de clasificación RMR89' que se muestra a continuación.

Tabla 17. Parámetros geomecánicos clasificación RMR89' Bieniawski.

Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	>5 mm
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5 mm
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación	6	5	3	1	0

Nota: Fuente Bieniawski 1989.

Teniendo todo esto en consideración, se realizará el cálculo sumando cada parámetro de condición fractura de la siguiente manera:

Figura 29. Parámetros geomecánicos en condición de fractura – Formato de logueo geomecánico.

Parámetros Condición Fractura									
Alteración	Persistencia (m)	Rugosidad	Abertura (mm)	Tipo Relleno (Descripción)	Puntaje Condición de Fractura				
Descompuesta	0	> 20.0	0	Suave	0	> 5.0	0	Blando >5mm	0
Muy alterada	1	10.0 - 20.0	1	Ondulada	1	1 - 5.0	1	Blando <5mm	1
Mod. Alterada	3	3.0 - 10.0	2	Lig. Rugosa	3	0.1 - 1.0	3	Duro >5mm	2
Lig. Alterada	5	1.0 - 3.0	4	Rugosa	5	< 0.1	5	Duro <5mm	4
Inalterada	6	< 1.0	6	Muy rugosa	6	Nada	6	Ninguno	6
Mod. Alterada	3	7	2	Lig. rugosa	3	0.5	3	Ar. Ox	1
									12

Nota: Fuente Piteau 2021.

- **Registro y cálculo de los parámetros Q' Barton:** Caracterizada por la siguiente formula:

$$Q = \underbrace{\left(\frac{RQD}{J_n}\right)}_{\text{Tamaño de bloque}} \times \underbrace{\left(\frac{J_r}{J_a}\right)}_{\text{Resistencia al corte}} \times \underbrace{\left(\frac{J_w}{SRF}\right)}_{\text{Esfuerzo activo}}$$

Donde:

RQD: Calidad del macizo rocoso (“Rock Quality Designation”).

Jn: Es el número de sistemas o familias de discontinuidades menores o diaclasas.

Jr: Es el valor-índice de la rugosidad de las diaclasas del macizo rocoso.

Ja: Es el valor-índice del grado de alteración y materiales de relleno de los planos de diaclasas.

Jw: Es el valor-índice que representa la cantidad de presión de los afloramientos de aguas subterráneas.

SRF: Es el factor de reducción debido al estado tensional del macizo rocoso.

Para el caso de los registros geomecánicos, deberá asumirse un macizo rocoso completamente seco, por lo tanto, los parámetros Jw y SRF serán iguales a 1 (estado tensional moderado). Por lo tanto, la ecuación anterior corresponde a Q’:

$$Q' = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right)$$

- **Registro y cálculo de los parámetros IRMR:** Laubscher en 1977, modificó el RMR presentado por Bieniawski y propuso el Mining Rock Mass Rating (MRMR o IRMR), el cual fue modificado posteriormente en 1990. Laubscher define el índice RMRLB de calidad geomecánica como la sumatoria de los puntajes asociados a los parámetros IRS, FF/m y CD, expresados matemáticamente por la siguiente ecuación:

Donde:
$$RMR_{LB} = P(IRS) + P\left(\frac{FF}{m}\right) + P(CD)$$

IRS = Resistencia a la compresión uniaxial de la roca.

FF/m = Frecuencia de Fracturas por metro.

CD = Condición de las discontinuidades y presencia de agua.

Cabe señalar que el logueo se realiza en condiciones secas, por tal motivo la valoración en condiciones de discontinuidades será la siguiente:

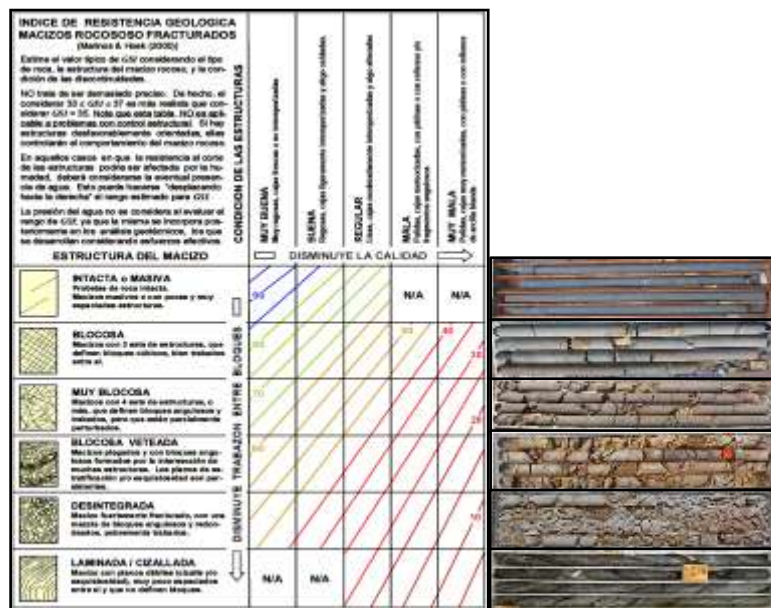
Tabla 18. Valoraciones en condición de fractura MRMR Laubscher.

Puntaje asociado a la condición de las discontinuidades		Discontinuidades abiertas o con rellenos no cementados		Discontinuidades selladas o con rellenos cementados	
Jc = A x B x C x D x 40		Jc = A x E x 40			
Coeficiente y parámetro asociado	Descripción de la condición del parámetro	Coeficientes de Ajuste A, B, C, D o E			
		Condición seca		Condición húmeda	
A Sinuosidad	Sinuosa en varias direcciones	1.00			
	Sinuosa en una dirección	0.95		0.92	
	Curva	0.90		0.87	
	Ligeramente ondulada	0.85		0.82	
	Recta	0.80		0.77	
B Rugosidad	Escalonada, rugosa e irregular	0.95		0.90	
	Escalonada, lisa	0.90		0.85	
	Escalonada, pulida	0.85		0.80	
	Ondulosa y rugosa	0.80		0.75	
	Ondulosa y lisa	0.75		0.70	
	Ondulosa y pulida	0.70		0.65	
	Plana y rugosa	0.65		0.60	
C Alteración de la roca caja	No alterada	1.00			
	Alterada pero más resistente que el material de relleno	1.00			
D Relleno no cementados	Alterada y más débil que el material de relleno	0.75		0.70	
	Cizallado, duro, grueso	0.90		0.85	
	Cizallado, duro, medio	0.85		0.80	
	Cizallado, duro, fino	0.80		0.75	
	Cizallado, blando, grueso	0.70		0.65	
	Cizallado, blando, medio	0.60		0.55	
	Cizallado, blando, fino	0.50		0.45	
E Rellenos cementados	Salbanda arcillosa < Persistencia de discontinuidad	0.45		0.40	
	Salbanda arcillosa > Persistencia de discontinuidad	0.30		0.20	
	Sin relleno	1.00			
	Dureza > 5 (e.g. Anhidrita)	0.95			
	Dureza de 3 a 4 (e.g. Calcita)	0.90			
	Dureza de 1 a 2 (e.g. Yeso)	0.85			

Nota: Fuente Laubscher 1990.

- **Evaluación del Rango GSI:** La evaluación de la calidad se realiza de manera visual y cualitativa, cabe señalar que el rango GSI fue creado para paredes en macizos rocosos y en este caso solo está adaptando a las condiciones del testigo.

Figura 30. Valoración GSI correlacionando a testigos diamantinos.



Nota: Fuente Marinós & Hoek 2000.

- **Descripción de comentarios:** Permite describir los aspectos resaltantes encontrados dentro del tramo o corrida, que no se consideran en los parámetros establecidos; jugando un papel importante dentro del entendimiento de los datos capturados en el proceso de logeo.

2.3. Definición de términos

Sondajes diamantinos

Perforaciones rotativas realizadas con máquinas especializadas, con el objetivo de recuperar muestras de suelo o roca (testigo); los cuales son utilizados para el análisis geoquímico, físicos y mecánicos en caso de rocas. Según el propósito de investigación se dividen en:

a) Sondajes Geotécnicos

- Planificada principalmente para recopilar información del macizo rocoso.
- La orientación de esta depende de las direcciones de los taludes o labores subterráneas.
- Planificada para instalaciones de instrumentación geotécnica y ensayos hidrogeológicos.
- La información obtenida cobrará mayor valor dependiendo la calidad de recuperación de sus testigos.
- El uso de aditivos dependerá del objetivo de la perforación (registro geomecánico o ensayos hidrogeológicos).

b) Sondajes Exploratorios

- Planificada principalmente para interceptar anomalías geofísicas, cuerpos o mineralizadas.
- Puede contener diferentes (+/-) orientaciones dependiendo el objetivo que se desea cortar.
- El mayor valor se obtiene en el análisis geoquímico.
- La información obtenida cobrará mayor validez dependiendo la recuperación

de testigos y procurando la menor desviación posible.

- Se usa mayor cantidad de aditivos (polímero y bentonita), para que se obtenga una mejor recuperación.

Tipos de Logueo

a) Logueo Geológico

Su objetivo principal es registrar las características litológicas, mineralógicas y alteración; buscando delimitar zonas con potencial económico, respaldado del resultado de las leyes obtenidas posterior al muestreo.

b) Logueo Geotécnico o Geomecánico

Su objetivo principal es registrar las características físicas y mecánicas de los testigos de rocas obtenidos después de la perforación y así poder caracterizar al macizo rocoso. Según el ambiente del registro se dividen en:

- Logueo geomecánico en core shack: Registro geomecánico que se realiza en un ambiente acondicionado (core shack), el cual cuenta con mesas estandarizadas, tomacorrientes y buena iluminación, para el desarrollo de esta actividad.
- Logueo geomecánico en plataforma (Laina): Registro geomecánico que se realiza en plataforma de perforación, preferentemente en una carpa con mesa estandarizada; la gran diferencia salta en que este realiza en la “laina” que sale del tubo de perforación antes de que sea almacenado en la caja porta testigo.
- Relogeo geomecánico: Retomar datos de sondajes previamente logueados, este procedimiento puede ser empleado en caso se necesite realizar una reinterpretación de datos o bien rescatar datos de sondajes históricos.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Realizar un relogeo geomecánico en sondajes históricos determinará la confiabilidad del registro de datos geomecánicos existente del Target La Tapada, para que se pueda utilizar en la planificación del Proyecto Carhuacayán.

2.4.2. Hipótesis específicos

- Los resultados obtenidos del relequeo geomecánico darán mejor detalle a la caracterización del macizo rocoso.
- El comparativo entre resultados obtenidos en la campaña 2019 y el relequeo del año 2023 darán un mejor panorama para poder encontrar el grado de confiabilidad de la data histórica.
- Las gráficas de correlación %RQD vs. Espaciamiento, %RQD vs. FF/m y RMR vs. Q' Barton; facilitan un buen control de calidad para predecir si los logueos cumplen con los parámetros que se requiere.

2.5. Identificación de variables

Variable independiente

Relequeo geomecánico.

Variable dependiente

Confiabilidad del logueo histórico.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 19. Operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Independiente	Registro detallado de características físicas y mecánicas de núcleos de perforación (testigos) y características geológicas.	Descripción de características de discontinuidades, resistencia y alteración en los testigos de perforación, cuantificándolas en clasificaciones geomecánicas.	Características de discontinuidades	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de discontinuidad. • Tipo de fractura. • Persistencia. • Rugosidad. • Relleno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testigos diamantinos. • Rayador de dureza. • Lupa. • HCl • Imán.
Relequeo Geomecánico			Clasificación geomecánica	<ul style="list-style-type: none"> • GSI. • RMR. • IRMR. • Q' Barton. 	
Dependiente	Medida de seguridad y estabilidad de datos, para futuros análisis.	Evaluación correlacional entre el %RQD y la cantidad de fracturas.	Porcentaje de medidas de registro	<ul style="list-style-type: none"> • % de variación en discontinuidades • % de variación en fracturas. • % de variación en apertura. • % de variación en persistencia. • % de variación en rugosidad. • % de variación en relleno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formatos estandarizados. • Gráficas de correlación.
Confiabilidad de logueo histórico			Porcentaje de variación de clasificaciones geomecánicas	<ul style="list-style-type: none"> • % de variación de GSI. • % de variación en RMR. • % de variación en IRMR. • % de variación Q' Barton. 	

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es cualitativo, inferencial, longitudinal y correlacional, puesto que se deberá obtener valores geomecánicos para caracterizar el macizo rocoso y posterior a este realizar una correlación o comparación para verificar el nivel de confiabilidad de la data histórica.

3.2. Nivel de investigación

- Según el enfoque o paradigma la investigación es del tipo *cuantitativo*, porque se valorarán parámetros geomecánicos y se obtendrán indicadores de comparación entre el logueo histórico y el relogueo. El objetivo de una investigación cuantitativa es el de adquirir conocimientos fundamentales y la elección del modelo más adecuado que nos permita conocer la realidad de una manera más imparcial, ya que se recogen y analizan los datos a través de los conceptos y variables (Juan Herrera, 2008).
- Según el hecho de la inferencia, la presente investigación es del tipo *inferencial*

debido a que se extrapolarán los resultados del relogueo a una población. (José Supo 2022).

- Según el alcance temporal o periodo la presente investigación es del tipo longitudinal porque los logueos geomecánicos a comparar se están realizando en diferentes periodos. (Sierra 1996)
- Según el nivel la presente investigación es del tipo correlacional, debido a la correlación entre el logueo histórico y el relogueo actual para determinar el nivel de confiabilidad. Según Hernández (2014) refiere que: “Los estudios correlacionales tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto particular”. (p. 93). En consecuencia, la presente investigación tiene un Nivel Correlacional, ya que pretende conocer la relación de confiabilidad entre el logueo histórico y el relogueo actual de sondajes.

3.3. Método de investigación

En la presente investigación utilizará el método:

- **Observacional**, porque describe y valora las características geomecánicas de los sondajes de perforación diamantina.
- **Analítico**, porque después del relogueo se realizará un análisis integral de las discontinuidades y se cuantificará sus valores en los sistemas de clasificación geomecánica
- **Comparativo**, debido a que se logrará realizar la comparación de los resultados del logueo histórico y el relogueo actual.
- **Explicativa**, porque se busca las causas del grado de confiabilidad del logueo versus relogueo de sondajes. Según (Dr. Marroquín Peña Roberto, Perú 2013). El objetivo es determinar las causas – efectos que generen una buena o mala correlación.

Equipos y materiales

Para la realización de esta investigación es necesario contar con: lápices de cera color amarillo y rojo, flexómetro, goniómetro, cintas para la medición del ángulo α y β , cuchilla, rayador, imán, ácido clorhídrico, guantes de nitrilo, lupa de aumento x20 , laptop o tablet y formatos de registro geomecánico.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es No Experimental, ya que en la presente tesis no se manipulan las variables intencionalmente, sino, se recolectan datos del relogueo, para analizar y estimar el grado de confiabilidad de los sondajes históricos. En este tipo de diseño se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único (Marizella Dzul Escamilla, 2010).

3.5. Población y muestra

Población

Target La Tapada se tiene un área total de 457.4 has; en donde se llegaron a ejecutar 50 sondajes diamantinos con un total de 35 500 m perforados.

Muestra

Se seleccionó 3 sondajes los cuales tienen un mayor estado de conservación con respecto a los sondajes restantes, con un total de 1669.7 m de testigos de roca.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Es necesario conocer el flujograma de trabajo que se realiza en el logueo geomecánico, el cual ayudará a obtener una data ordenada y confiable.

Figura 31. Flujograma de logeo geomecánico.



Nota: Fuente propia.

Instrumentos

- Lápices de cera (rojo y amarillo).
- Rayador o cuchilla.
- Flexómetro.
- Cintas de medidas de α y β .
- Goniómetro.
- Protactor.
- Ácido clorhídrico.
- Formatos de registro geomecánico y geológico.
- Tablet o laptop.

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

El registro de datos se debe realizar de manera criteriosa, con una buena identificación de fracturas mecánicas, fracturas naturales y zonas de roca fracturada; considerando que los testigos actualmente se encuentran cortados y muestreados, en tal sentido se debe de contar con una biblioteca fotográfica de estos sondajes; el cual permita la comparación de un antes y después de estos testigos, y así ayude a lograr una buena identificación de discontinuidades.

Para esto al término del registro de datos se procede a realizar la obtención de

confiabilidad, mediante dos gráficas que interpretan una correlación entre %RQD vs. Espaciamiento (Bieniawski) y %RQD vs. FF/mm (Hudson & Priest), limitado por dos líneas que reflejan los límites máximo y mínimo entre los cuales se debe distribuir estos datos. Los datos que se encuentran fuera de los límites permisibles se les denomina “datos outliers”.

La nube de datos debe reflejar una confiabilidad del 80% para que la data obtenida sea aprobada; en caso la nube de datos refleja una confiabilidad < 80% se procederá a realizar una revisión de estos datos o en el peor de los casos realizar un nuevo logueo.

Con respecto a los puntos que se encuentran superior a los límites y pegados a la línea superior, estos se deben a que se cuenta con tramos pequeños enteros con un RQD =100, pero con bajo espaciamiento debido a su corta longitud.

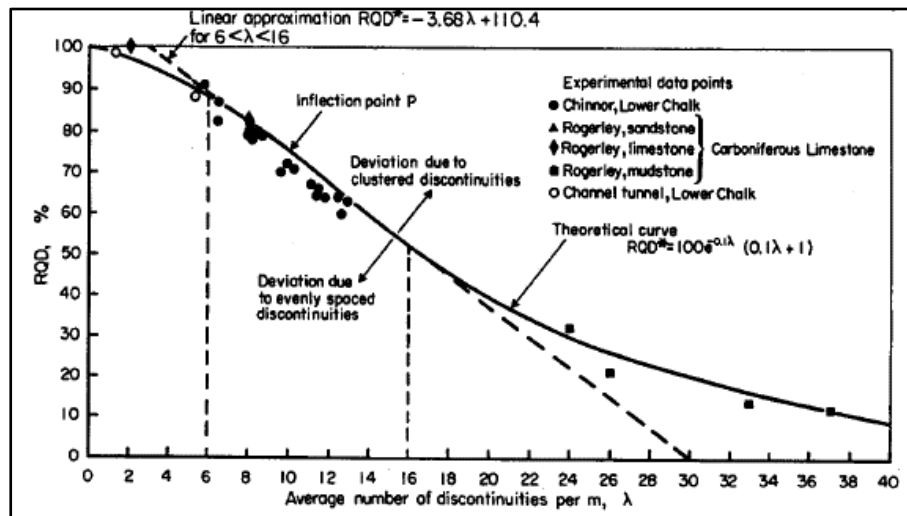
El resultado final refleja que 98% de los datos tomados se encuentran dentro de los límites permisibles lo cual refleja una confiabilidad alta en la adquisición de estas.

Figura 32. Gráfica de correlación entre el RQD % vs. Espaciamiento.



Nota: Fuente Bieniawski 1983.

Figura 33. Gráfica de correlación entre el RQD % vs. FF/m.



Nota: Fuente Hudson & Priest 1976.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La presente investigación será necesario una recolección de datos (logueo), los cuales serán plasmados en un formato de registro geomecánico, esto será apoyado por una biblioteca fotográfica histórica; los cuales ayudarán a buena obtención de datos.

Posterior a esto se realizará un control de calidad con la data obtenida, realizando un procesamiento de datos en gráficos dinámicos y para finalizar se realizará gráficas de presentación de datos con los valores obtenidos en los diferentes sistemas de clasificación geomecánica.

3.9. Tratamiento estadístico

Se usará el programa Excel para la toma de datos y análisis mediante gráficos contruidos, que nos permitirá controlar ciertos datos:

- Valores de RMR.
- Valores Q' de Barton.
- Valores de IRMR Laubsher.
- Gráfica comparativa RMR, Q' , IRMR.
- Gráfica de control de calidad RQD vs. Espaciamiento.

- Gráfica de control de calidad RQD vs. Frecuencia de fracturas por metro.
- Gráfica de correlación entre Q' y RMR.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La información que la empresa ha otorgado fue usada solamente para fines de esta investigación. El investigador se comprometió a respetar la privacidad de los resultados.

CAPITULO IV

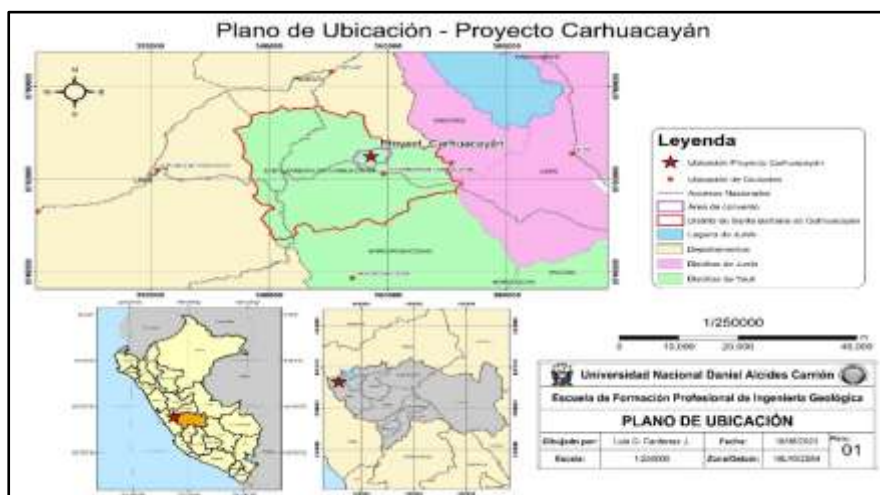
RESULTADO Y DISCUSIONES

4.1. Descripción del trabajo de campo

Ubicación

Los sondajes se encuentran distribuidos dentro del Target “La Tapada” él se encuentra ubicado dentro de los límites territoriales del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, perteneciente a la provincia de Yauli, departamento de Junín; a 9 km al NE de esta de aproximadamente. Con altitudes variables de 4100 m.s.n.m. a 4600 m.s.n.m.

Figura 34. Plano Plano de Ubicación



Fuente: Propia.

Accesibilidad.

Tabla 20. Vía 1: Lima – La Oroya – Cruce la Cima – S.B. Carhuacayán – La Tapada.

Tramo 1	Estado de la vía	Distancia (Km)
Lima – La Oroya	Asfaltado	183
La Oroya – Cruce Santa Bárbara de Carhuacayán	Asfaltado	37.3
Cruce – Santa Bárbara de Carhuacayán	Trocha	79.6
Santa Bárbara de Carhuacayán – La Tapada	Trocha	9.15
Total		309.05

Fuente: Propia.

Tabla 21. Vía 2: Lima – Canta – Alpamarca – S.B. Carhuacayán - La Tapada.

Tramo 2	Estado de la vía	Distancia (Km)
Lima – Canta	Asfaltado	105
Canta – Cruce Alpamarca	Asfaltado	63.8
Cruce Alpamarca – Santa Bárbara de Carhuacayán	Trocha	25.2
Cruce mina Carhuacayán – La Tapada	Trocha	3.4
Total		197.40

Fuente: Propia.

Descripción

- En primera instancia se realizó una revisión de la data histórica, considerando los parámetros utilizados dentro del proceso de logueo y realizando una comparación en los formatos utilizado para la recopilación de datos:

evaluación de los datos por cada parámetro, y gráficas de confiabilidad de la calidad de datos obtenidos del logeo geomecánico.

Figura 36. Formato de logeo geomecánico actual 2023.

Datos Sondaje															
Código Sondaje	Coordenadas (Collar)														
	Este			Norte			Azimuth		Inclinación		Elevación				
Fecha	Descripción Litológica		Índice de Resistencia (GSI) 2000		Desde (m)	Hasta (m)	Longitud de corrida (m)	Recup. (m)	RQD (m)	Dureza Estimada (ISRM 1981) (R)	Longitud de Rocafract. (m)	Datos del Intervalo Recuperado			
	Litología	Alteración	Min.	Max.								Zonas LRF	Número de Fracturas		Formas (Grado d F)
					FRF	FN	FM								
					0.00							0	0		
					0.00							0	0		
					0.00							0	0		
					0.00							0	0		
					0.00							0	0		
					0.00							0	0		

Nota: Base de datos Proyect. Carhuacayán.

- b) Posterior se realiza un análisis de fotografías de estado inicial y final; esto para generar una lista de sondajes que se encuentren en mejor estado de conservación; generando una lista final de los sondajes: DDHTPD19065, DDHTPD19068 Y DDHTPD19079.

Figura 37. Comparativo del estado de conservación de sondajes diamantinos.



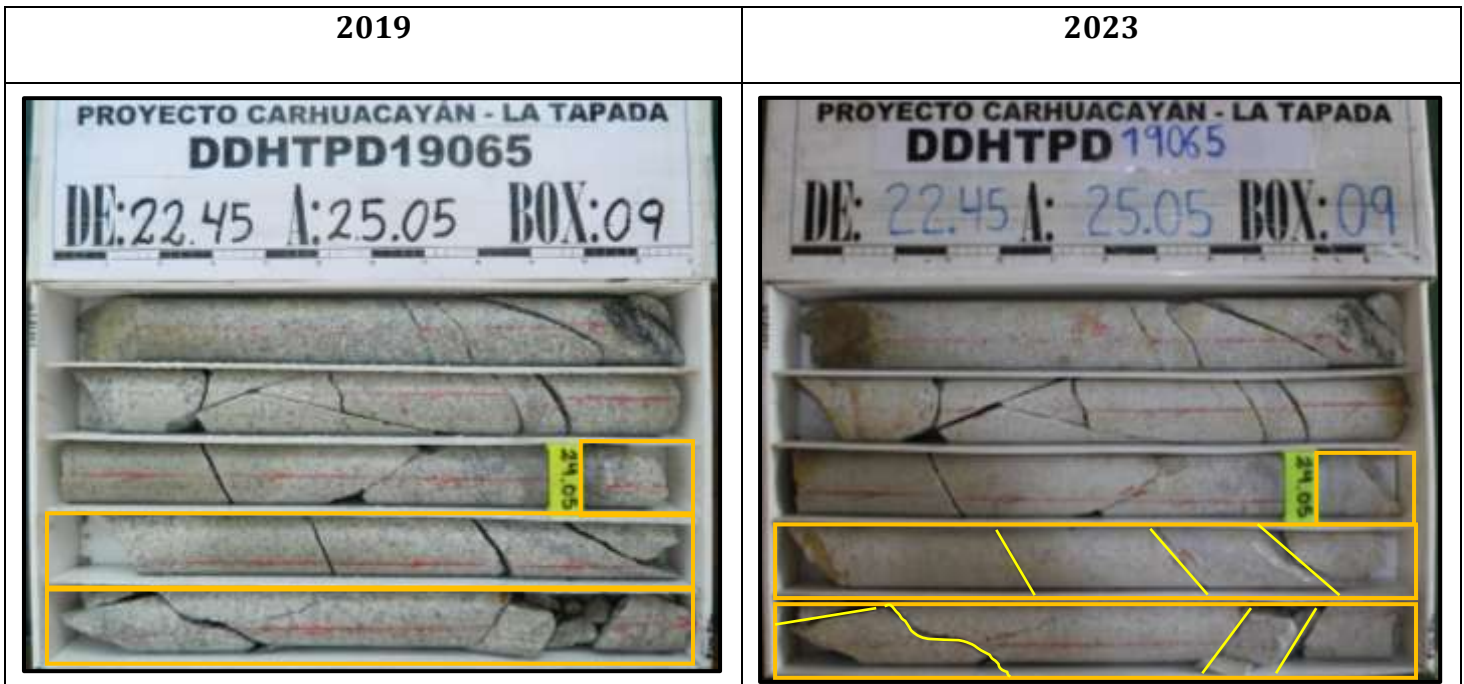
Nota: Fuente propia.

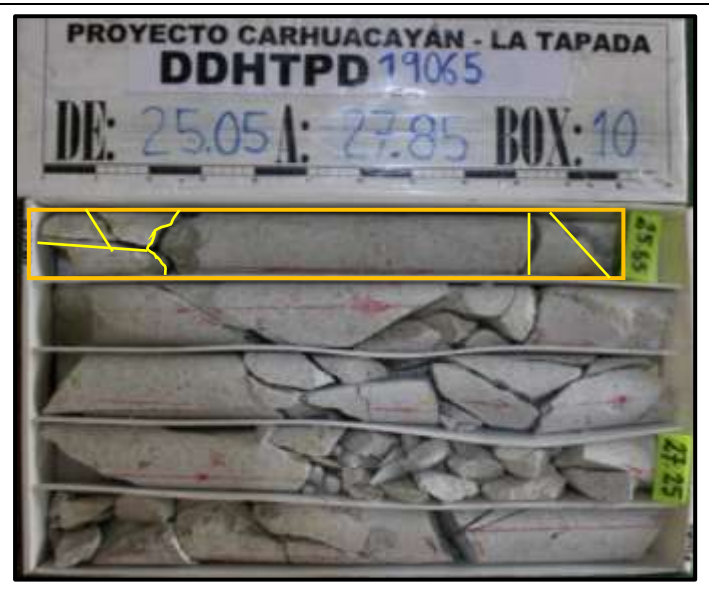
- c) Se realiza el relagueo geomecánico acompañado de fotografías iniciales de los testigos; considerando los parámetros no obtenidos en trabajos anteriores; sumando a esto el cálculo de nuevas clasificaciones geomecánica como Q´ Barton, IRMR Laubsher y GSI.
- d) Al final el proceso de logeo geomecánico, se evalúa los resultados obtenidos, generando graficas de comparación y control de calidad.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de datos

Análisis de estado físico de sondajes históricos

Al iniciar se realizó el análisis del estado físico de los testigos seleccionados, realizando una campaña de toma de fotografías y comparándolas con el estado inicial de acuerdo con el año de perforación. Con el cual se desea demostrar las condiciones y diferencias físicas con las que se encuentran estas, dando una idea de cómo va a influir en los resultados.





DDHTPD 19065 - DATOS DEL INTERVALO RECUPERADO (FROM: 24.05 - TO: 25.65)

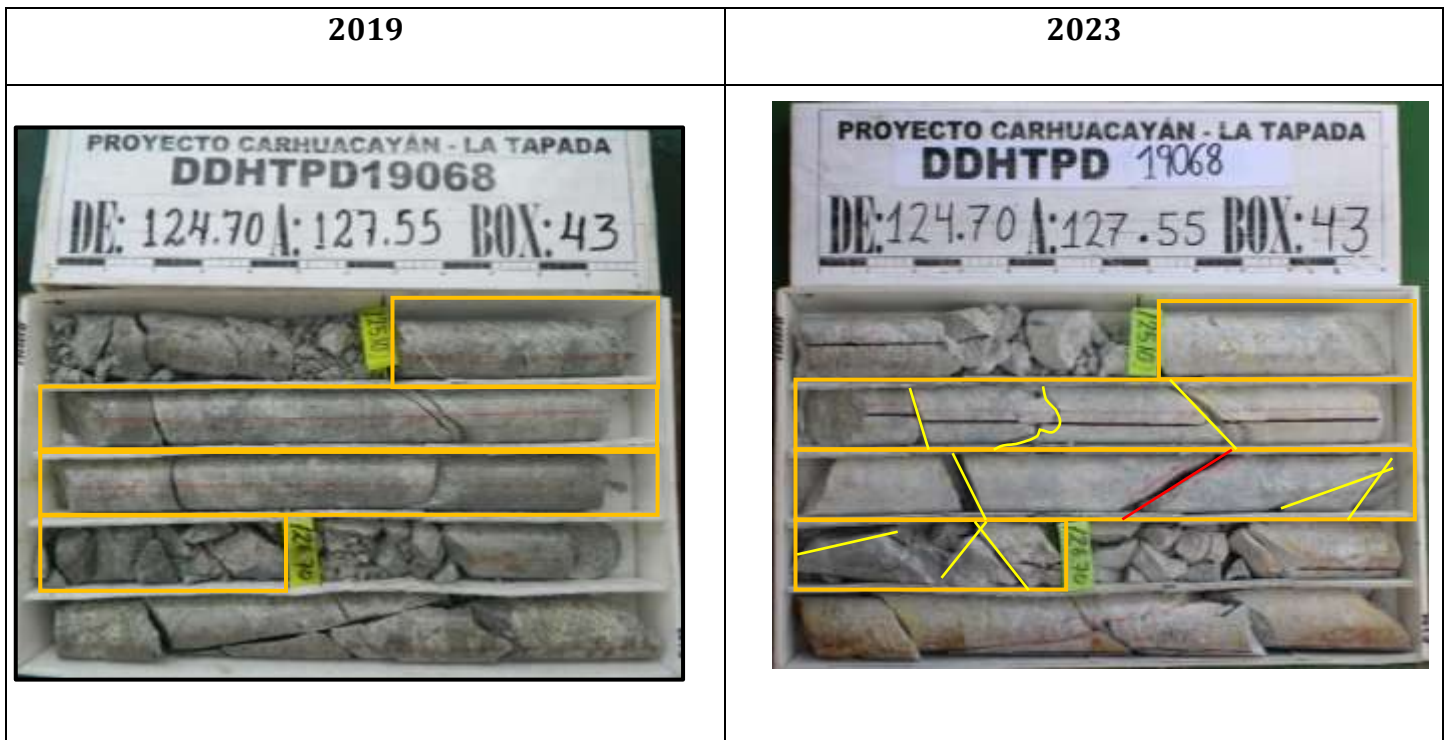
N° FN	1	0
N° FM	-	12
LRF	-	0 m
RMR	58	73
RQD	0.80 m	1.60 m
OBSERVACIONES	En el siguiente intervalo se evidencia una roca en buenas condiciones, así mismo tiene dureza R3, por lo que se le ha calificado como una roca buena.	

2019	2023

DDHTPD 19065 - DATOS DEL INTERVALO RECUPERADO (FROM: 41.80 - TO: 43.40)		
N° FN	-	2
N° FM	-	17
LRF	-	0.2 m
RMR	7	52
RQD	0.20 m	1.40 m
OBSERVACIONES	En el siguiente intervalo se evidencia una roca con zonas fracturadas, dureza R3, y se le ha calificado como una roca de estado regular.	

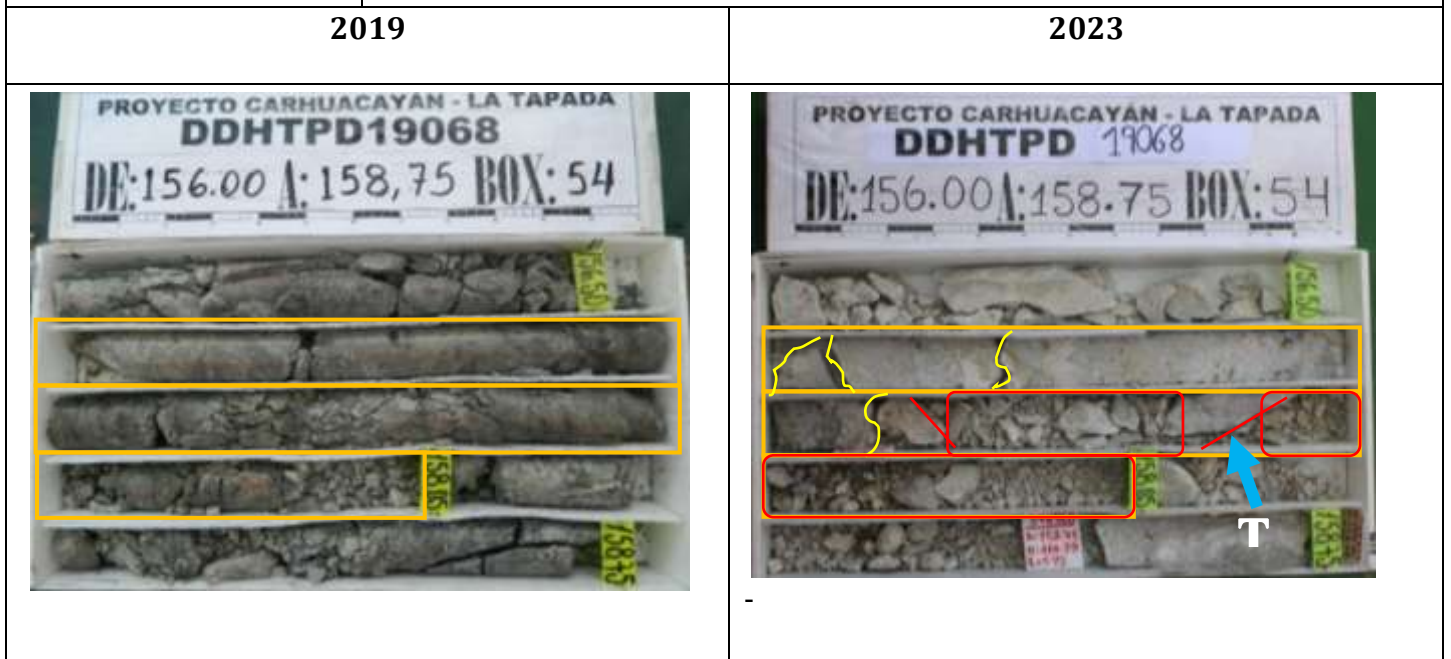
2019	2023

DDHTPD 19065 - DATOS DEL INTERVALO RECUPERADO (FROM: 46.60 - TO: 48.20)		
N° FN	3.1 - 2 - 3	7
N° FM	-	14
LRF	-	0.2 m
RMR	0.29	51
RQD	0.15 m	1.25
OBSERVACIONES	En el siguiente intervalo se evidencia una roca con fracturamiento y fracturas naturales, así mismo tiene dureza R2.5, la cual la califica como una roca regular.	


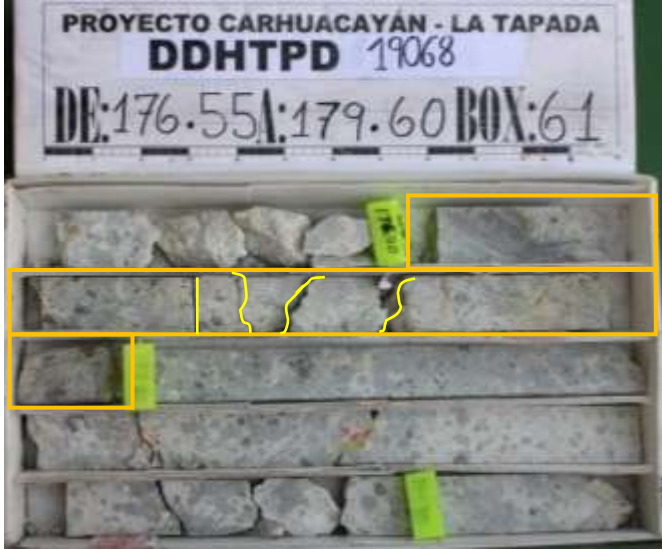


DDHTPD 19068 - DATOS DEL INTERVALO RECUPERADO (FROM: 125.10 - TO: 126.70)

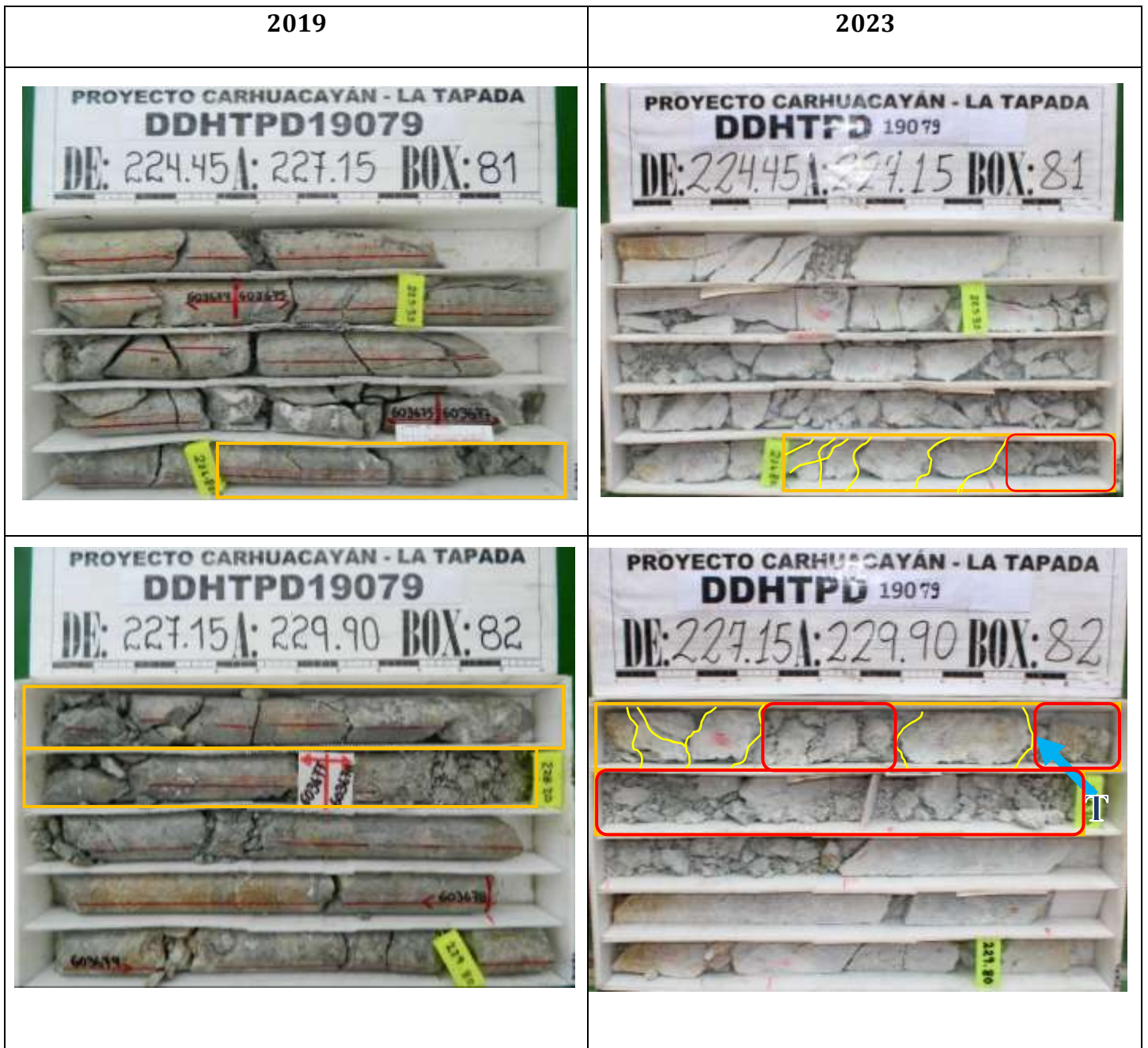
N° FN	1.1	1
N° FM	-	9
LRF	-	0 m
RMR	34	66
RQD	1.00 m	1.60 m
OBSERVACIONES	En el siguiente intervalo se evidencia una roca sin fracturamiento. Sólo fracturas mecánicas, pero sí una fractura natural, así mismo tiene dureza R3.5, la cual la califica como una roca buena.	



DDHTPD 19068 - DATOS DEL INTERVALO RECUPERADO (FROM: 156.50 - TO: 158.05)		
N° FN	2.1 - 2	2
N° FM	-	4
LRF	-	0.7 m
RMR	24	53 - 23
RQD	0.50 m	0.85 m - 0.00 m
OBSERVACIONES	En el siguiente intervalo se evidencia una roca con bastante fracturamiento y otra parte de tramo intacto, en la cual se realizó la separación de tramos por medio de un taco ficticio, debido al cambio de dureza que tiene de R3 y R0.5, eso la califica para el primer tramo en roca buena y el tramo dos como mala.	

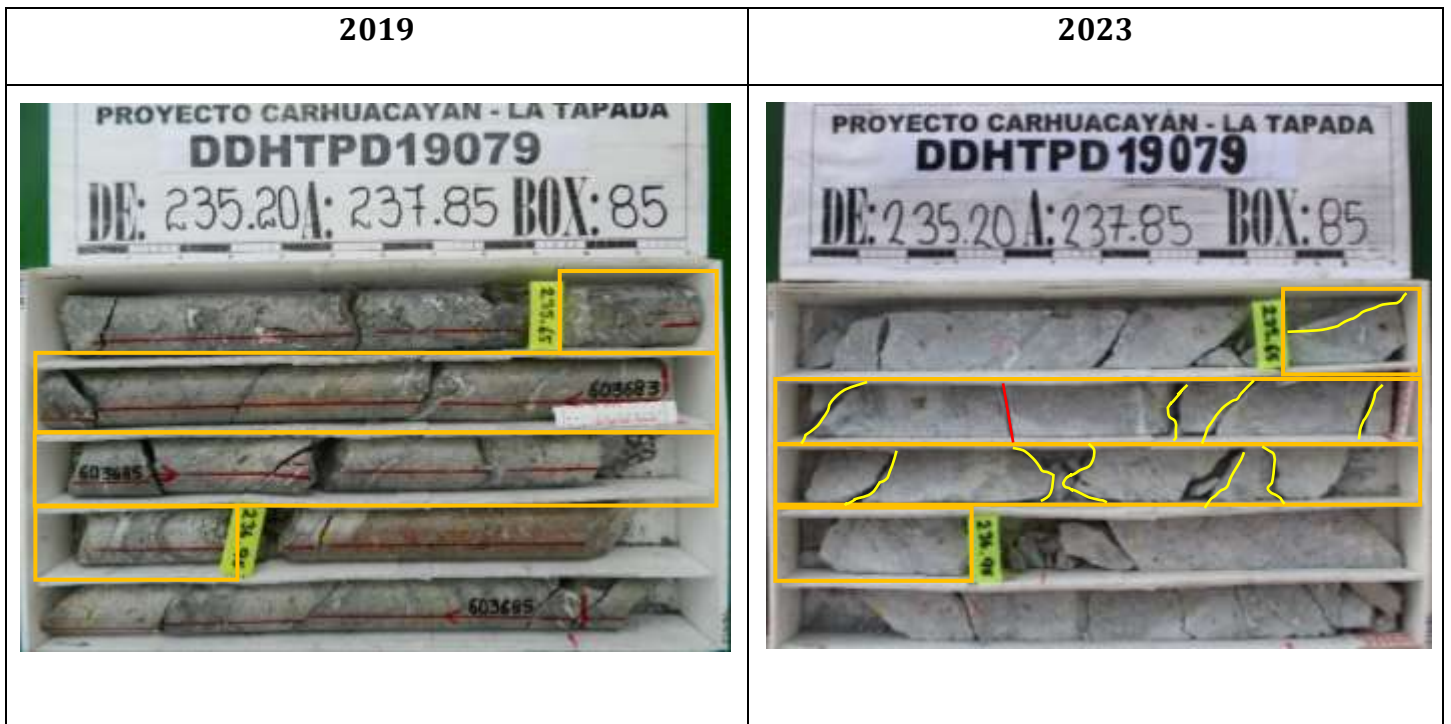
2019	2023
	

DDHTPD 19068 - DATOS DEL INTERVALO RECUPERADO (FROM: 176.90 - TO: 177.80)		
N° FN	-	0
N° FM	-	4
LRF	-	0 m
RMR	44	88.50
RQD	0.60	0.90 m
OBSERVACIONES	En el siguiente intervalo se evidencia una roca sin zonas de roca fracturada, sólo presenta fracturas mecánicas, la cual la califica como una roca muy buena con dureza de R3.5.	



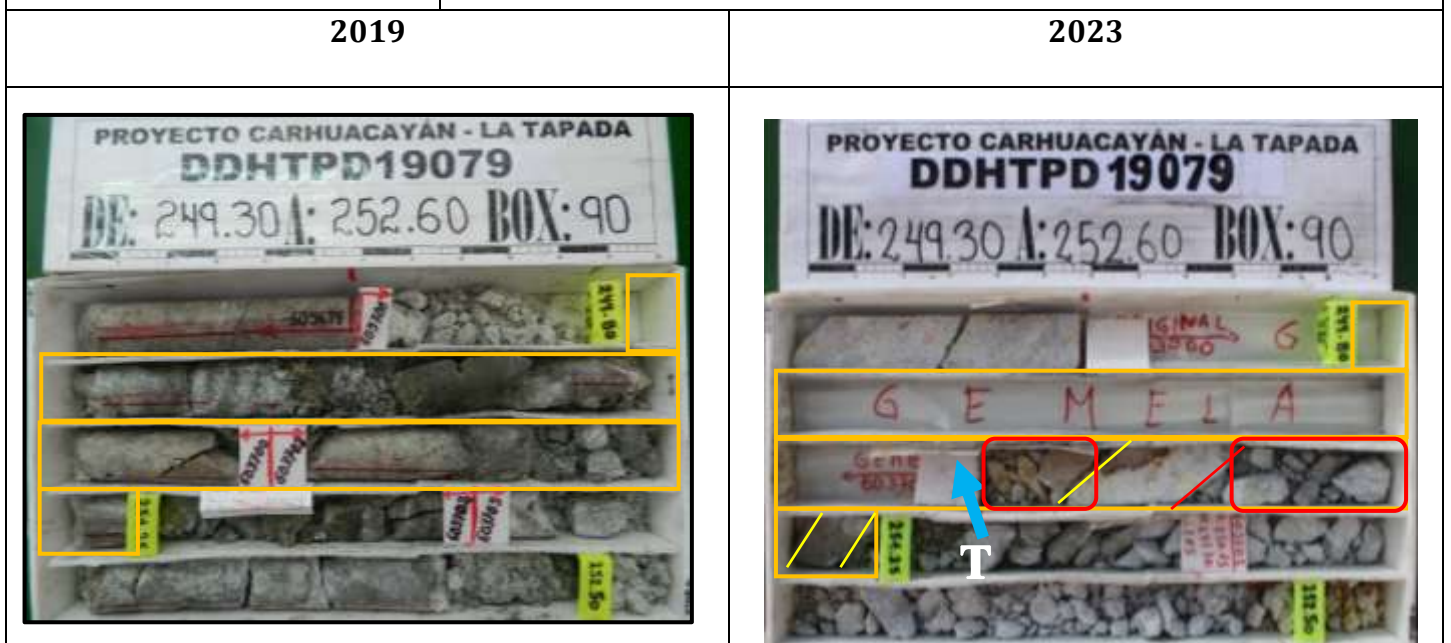
DDHTPD 19079 - DATOS DEL INTERVALO RECUPERADO (FROM: 226.80 - TO: 228.20)

N° FN	-	0
N° FM	-	12
LRF	-	0.81 m
RMR	24	44 - 25.50
RQD	0.30 m	0.59 m - 0.0 m
OBSERVACIONES	En el siguiente intervalo se evidencia una roca con intenso fracturamiento, así mismo en dicho intervalo se ha separado la corrida a través de un taco ficticio, debido al cambio de dureza de la roca. R2 y R0.5	



DDHTPD 19079 - DATOS DEL INTERVALO RECUPERADO (FROM: 235.65 - TO: 236.95)

N° FN	-	1
N° FM	-	10
LRF	-	0 m
RMR	41	72
RQD	0.45 m	1.30 m
OBSERVACIONES	En el siguiente intervalo se evidencia una roca sin zonas de roca fracturada, sólo presenta fracturas mecánicas y una natural, la cual la califica como una roca buena de dureza R2.5.	

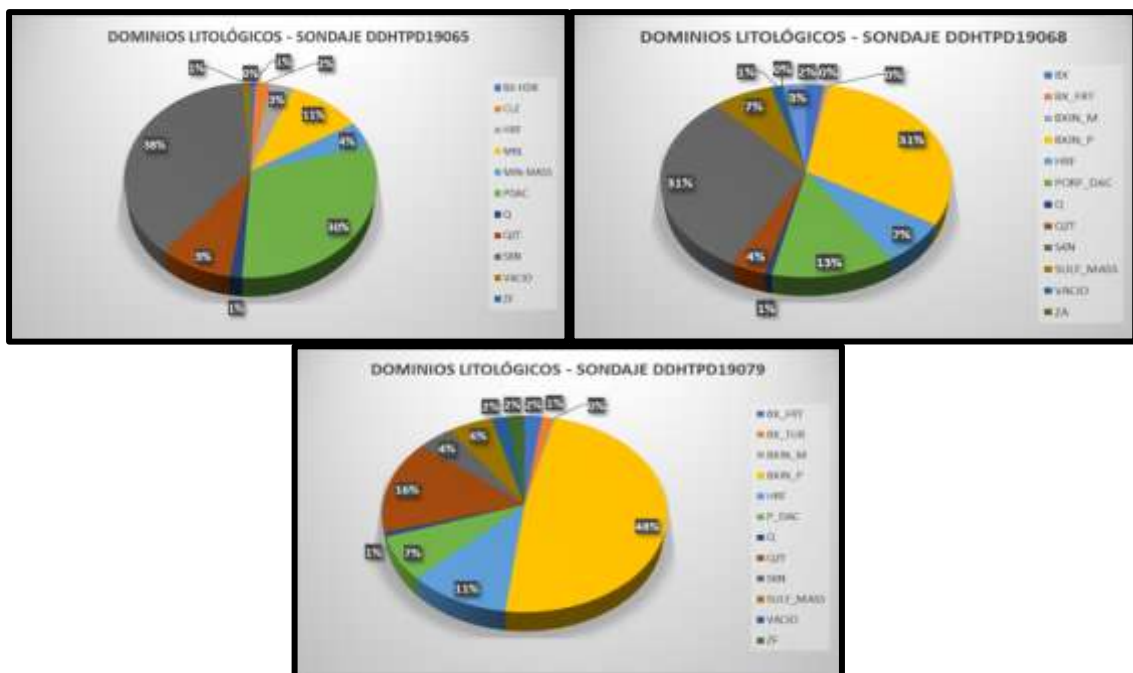


DDHTPD 19079 - DATOS DEL INTERVALO RECUPERADO (FROM: 249.80 - TO: 251.25)		
N° FN	-	1
N° FM	-	4
LRF	-	0.21 m
RMR	19	0 - 36
RQD	0.00 m	Vacio - 0.13 m
OBSERVACIONES	En el siguiente intervalo se evidencia tramos de muestra gemela (vacios), la cual genera un resultado de valor 0, es decir no se puede calificar el tipo de roca en casos así, así mismo se realizó un taco ficticio en dicha corrida, debido a la presencia de roca existente, la que presenta tramos de roca fracturada y una fractura natural, de dureza R2.5, calificandola como una roca mala.	

Generación de dominios geológicos y geomecánicos

Como en todo proyecto de exploración y de producción existe una distribución litológica y geomecánica, dentro del proyecto Carhuacayán se realizó un análisis estadístico conformado por promedios ponderados dentro de los taladros de perforación; los cuales ayudaron a la identificación de dominios geomecánicos, geológicos y discretización de resultados obtenidos.

Figura 38. Dominios litológicos sondajes DDHTPD19065, DDHTPD19068 y DDH19079.



Nota: Fuente propia.

Tabla 22. Dominios litológicos observados dentro del logueo geomecánico.

Litología	RMR Prom.	Dureza Prom.	Descripción
Q	26.1	0	Material de cobertura, con presencia de algunos fragmentos de roca como pórfido dacítico y caliza, en una matriz arcillosa.
BX-FRT	58.7	2.9	Brecha freática de color gris con presencia de alteración argílica moderada y otros tramos con alteración fílica; presenta fragmentos sub-redondeados, angulosos y sub-angulosos de pórfido dacítico, cuarcita y rocas sedimentarias alteradas.
BX-TUR	44.4	2.5	Brecha de turmalina presenta clastos sub-angulares a sub-redondeados de cuarcita, pórfido dacítico, cuarzo feldespático, parches de turmalina, con alteración fílica.
BX-HDR	66.6	3.3	Brecha hidrotermal con fragmentos sub angulosos a sub redondeados de cuarcita, carbonatos - cuarzo, matriz de Py y sulfuros.
BXIN-M	53.4	3	Brecha intrusiva monomítica con clastos sub-angulosos, es de matriz soportada, dichos clastos en su mayoría son de pórfido dacítico, presenta alteración cuarzo-sericita-pirita, tanto en los clastos como la matriz.
BXIN-P	57.1	2.8	Brecha intrusiva polimítica es matriz soportada de grano fino, con fenocristales de cuarzo, plagioclasas y pórfido dacítico, cuarcitas, se encuentran en forma sub-angulosa a sub-redondeada, presencia de alteración fílica en su matriz.
CLZ	64.8	2.9	Caliza de color gris oscuros, con niveles margosos moderadamente skarnizados, venillas de calcita
MBL	60.0	3.3	Mármol de color gris blanquecino, con venillas de calcita, presenta fracturas perpendiculares al eje del sondaje, intercalaciones con Hornfels, débil skarnificación.
HRF	69.9	3.3	Hornfels de color gris-verdoso, con niveles moderadamente skarnificados (calcosilicatos blancos, carbonatos, cloritas), diseminación de sulfuros, venillas de calcita.
P-DAC	59.6	3.0	Pórfido dacita de color gris, vetillas con un relleno de carbonatos, cloritización débil, también hay presencia de alteración argílica.
QZT	74.2	3.4	Cuarcita de color gris con parches débilmente skarnificados, con presencia de sulfuros diseminados, presencia de alteración de skarnización.
SKN	67.5	3.1	Skarn de color verde con presencia de cloritas y carbonatos, con parches o diseminados de sulfuros, presencia de alteración de skarnización.
SULF-MASS	60.8	2.9	Presencia de vetas y vetillas de sulfuros, venillas de calcita, con ciertas partes en estado masivo, algunos tramos presentan parches de sulfuros, con presencia de alteración argílica, fílica y skarnización.
ZF	26.6	0.5	Zonas de falla con presencia de panizo, roca triturada.
VACIO	0	0	Tramos con muestras gemelas.

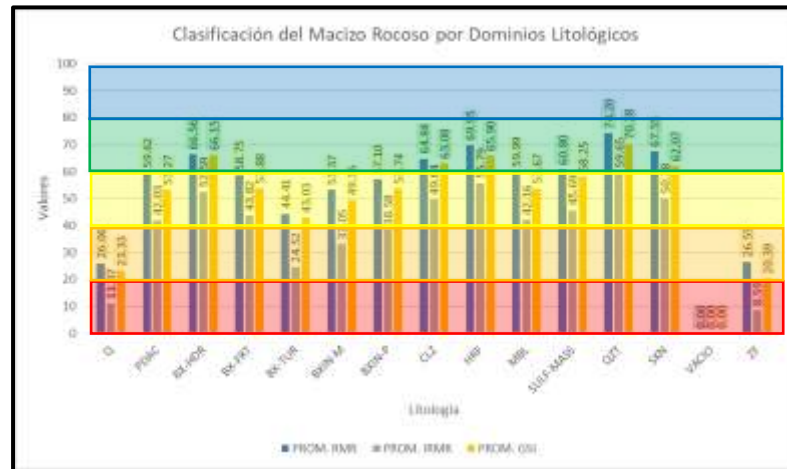
Nota: Fuente propia.

Tabla 23. Dominios litológicos y caracterizaciones geomecánicas promedio.

Dominio Litológico	Dureza Promedio	Promedio RMR	Promedio IRMR	Promedio Q´	Promedio GSI
Q	0.0	26.1	11.1	0.0	23.3
PDAC	3.0	59.6	42.0	48.0	53.3
BX-HDR	3.3	66.6	52.6	121.6	66.1
BX-FRT	2.9	58.7	43.8	60.6	53.9
BX-TUR	2.5	44.4	24.5	1.8	43.0
BXIN-M	3.0	53.4	33.0	14.1	49.4
BXIN-P	2.8	57.1	38.6	41.7	53.7
CLZ	2.9	64.8	49.6	119.2	63.1
HRF	3.3	69.9	55.8	83.0	65.9
MBL	3.3	60.0	42.2	62.2	53.7
SULF- MASS	2.9	60.8	45.7	63.1	58.3
QZT	3.4	74.2	59.7	106.0	70.3
SKN	3.1	67.5	50.3	61.6	62.1
VACIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZF	0.9	26.6	8.6	0.2	20.4

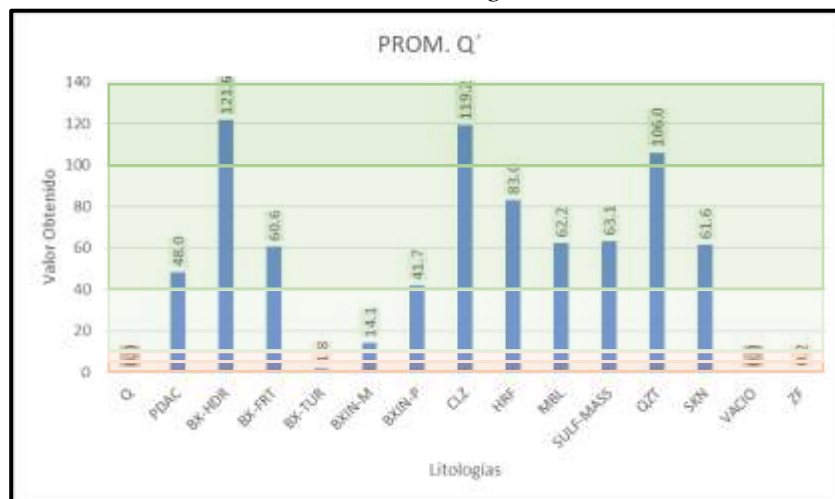
Nota: Fuente propia.

Figura 39. Gráfica de caracterización geomecánica RMR, IRMR y GSI, diferenciado por dominio litológico.



Nota: Fuente propia.

Figura 40. Gráfica de caracterización geomecánica Q' Barton, diferenciado por dominio litológico.



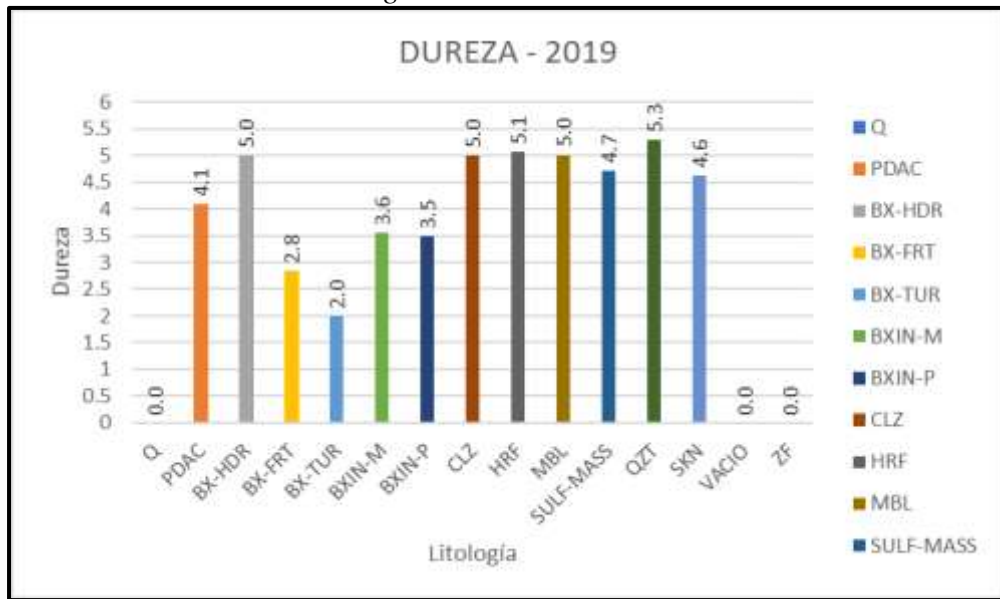
Nota: Fuente propia.

Evaluación de la dureza

Dentro del proceso de relagueo geomecánico durante la campaña 2023, se pudo determinar una predominancia de durezas entre R2.5 – R3.5; resaltando como rocas con mayor dureza a la Cuarcita, Hornfels, Skarn y Mármol.

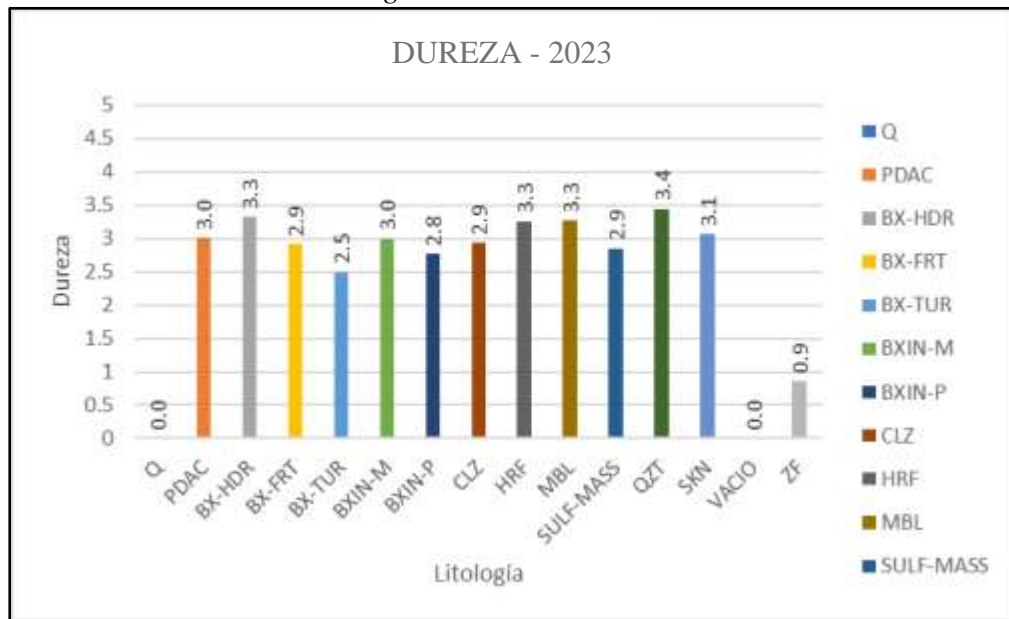
En cambio, los resultados obtenidos en la campaña 2019 muestra una predominancia de una dureza R3 – R6; esto debería ser relacionado con un tipo de Roca Muy Buena, lo cual no se refleja en los resultados del cálculo del RMR.

Figura 41. Gráfica de cálculo promedio de dureza por dominio litológico – logeo geomecánico 2019.



Nota: Fuente propia.

Figura 42. Gráfica de cálculo promedio de dureza por dominio litológico – logeo geomecánico 2023.

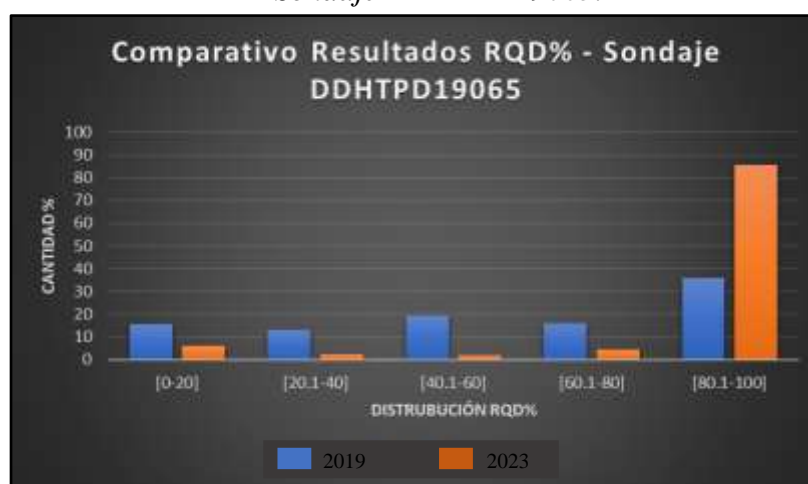


Nota: Fuente propia.

Evaluación del RQD

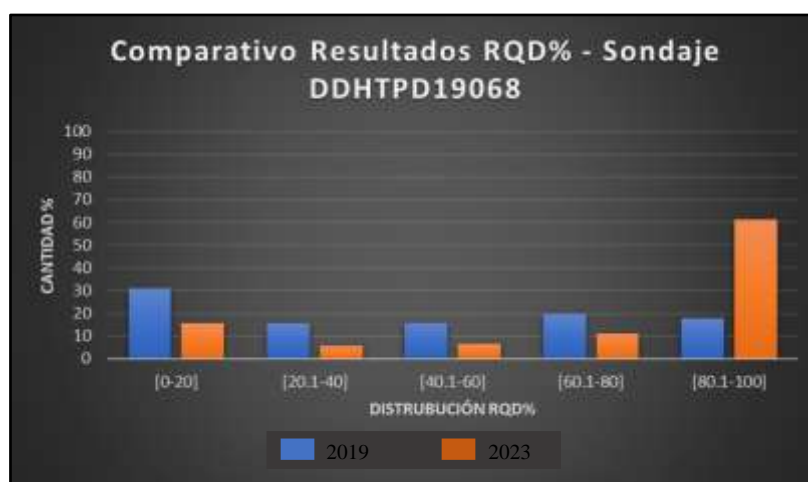
En base a nuevos conceptos adquiridos con capacitaciones y referencias bibliográficas, se logra identificar con mayor precisión el parámetro RQD; el cual tiene una gran diferencia con respecto a la data obtenida en el 2019. Este parámetro fue adquirido con ayuda de las referencias fotográficas iniciales de los sondajes.

Figura 43. Gráfica comparativa de resultados RQD% 2019 vs. RQD% 2023 – Sondaje DDHTPD19065.



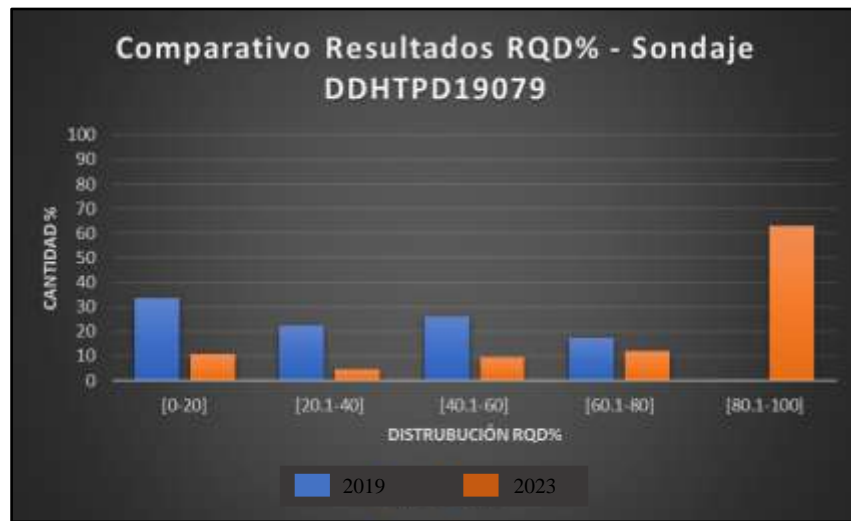
Nota: Fuente propia.

Figura 44. Gráfica comparativa de resultados RQD% 2019 vs. RQD% 2023 – Sondaje DDHTPD19068.



Nota: Fuente propia.

Figura 45. Gráfica. comparativa de resultados RQD% 2019 vs. RQD% 2023 – Sondaje DDHTPD19079.



Nota: Fuente propia.

Comparación de resultados RMR89 2019 vs 2023

En el presente apartado muestra un comparativo en base a los resultados RMR obtenidos en el año 2019 vs. 2023, en la cual se ha identificado que hay una puntuación distinta en la valoración de la calidad de la roca, debido a los siguientes casos:

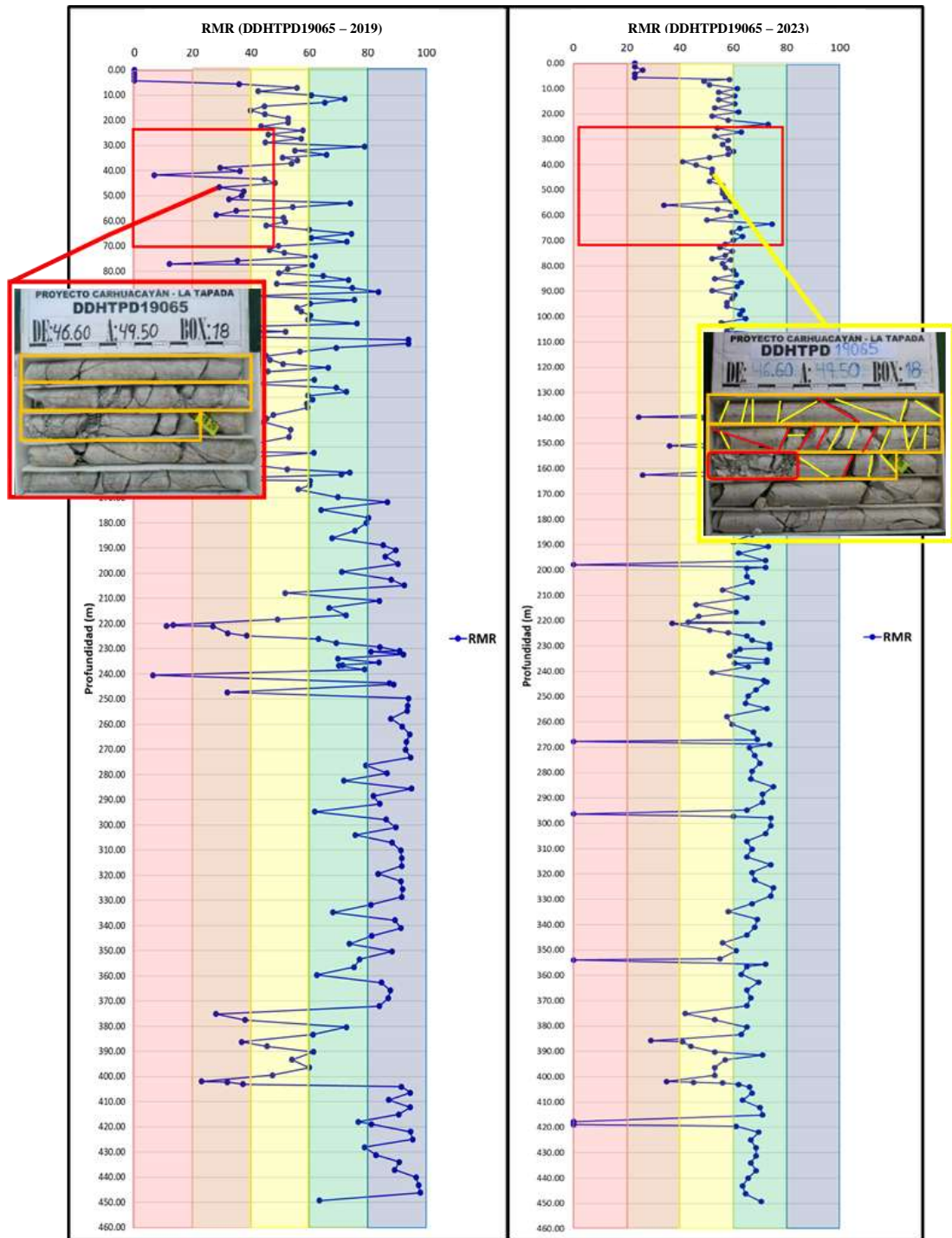
Tabla 24. Comparaciones RMR89´ 2019 vs. RMR89´ 2023.

2019	2023
<ul style="list-style-type: none"> - Logueo 2019 presenta RQD muy bajo - Logueo 2019 fue en testigos sin muestrear. - Logueo 2019 sólo calcula RQD y RMR. - Logueo 2019 presenta poca información o descripción de Fracturas Naturales, Zonas de Roca fracturada o Zonas de falla. - Fotografías 2019, muestra buen estado de la roca. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relogeo 2023 encuentra zonas de roca fracturada a causa de la manipulación al momento de ser muestreados. - Relogeo 2023 encuentra tramos vacíos (muestra gemela), dónde se ha obtenido un RMR de valor 0 por falta de información. - Relogeo 2023 calcula RQD, RMR, Q´ y MRMR. - Relogeo 2023 se realiza en un formato detallado para cada estructura presente. - Debido a la manipulación de los sondajes y/o movimiento de estos, no hay exactitud de la ubicación de las fracturas. - Fotografías 2023, muestra mal estado de la roca.

Nota: Fuente propia.

- **Sondaje DDHTPD19065**

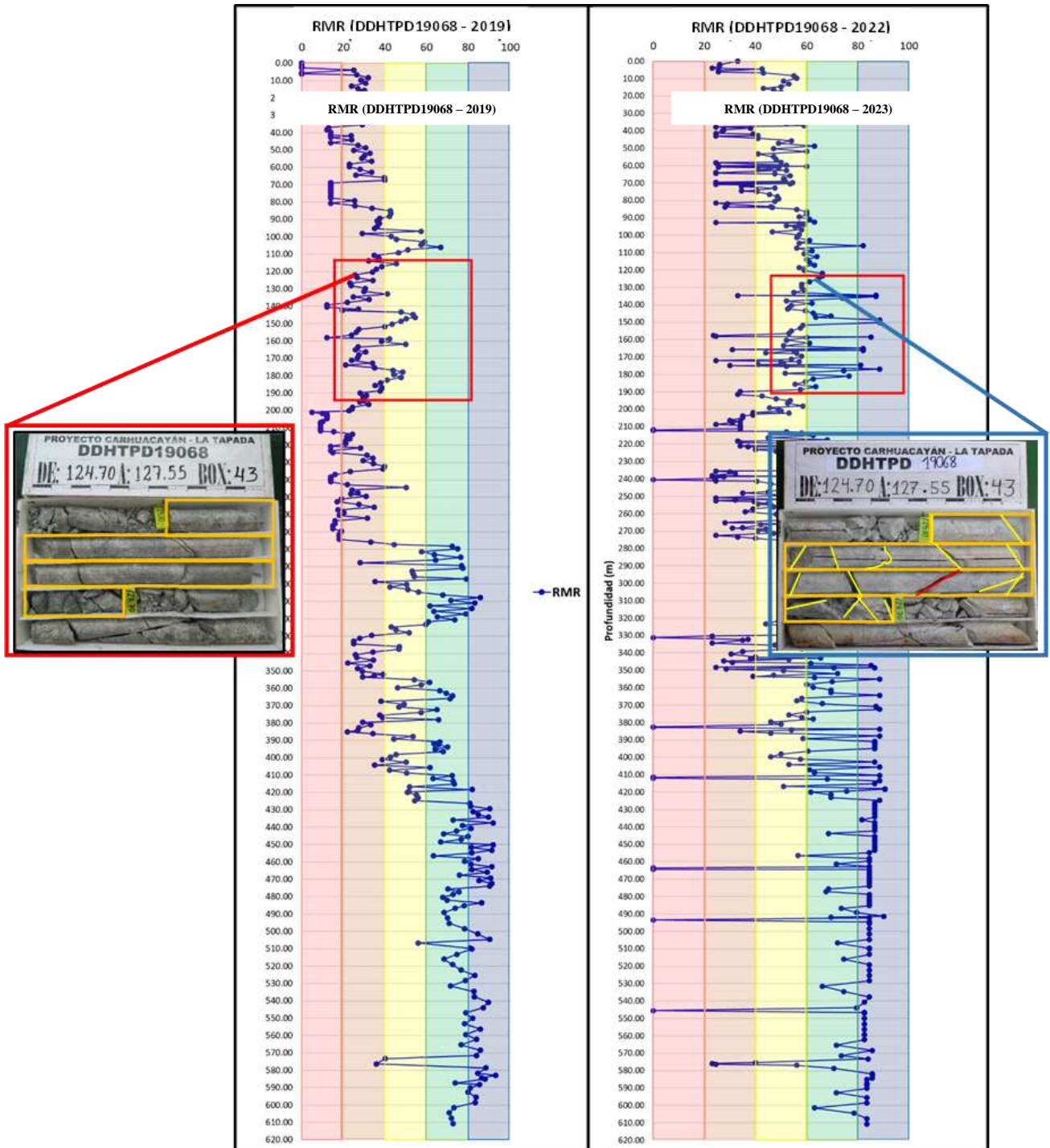
Figura 46. Gráficas de comparación resultados RMR obtenidos en las campañas 2019 - 2023; izquierda indica la valoración de la roca como mala, derecha indica la valoración de la roca como regular – Sondaje DDHTPD19065.



Nota: Fuente propia – realizado en Excel.

- **Sondaje DDHTPD19068**

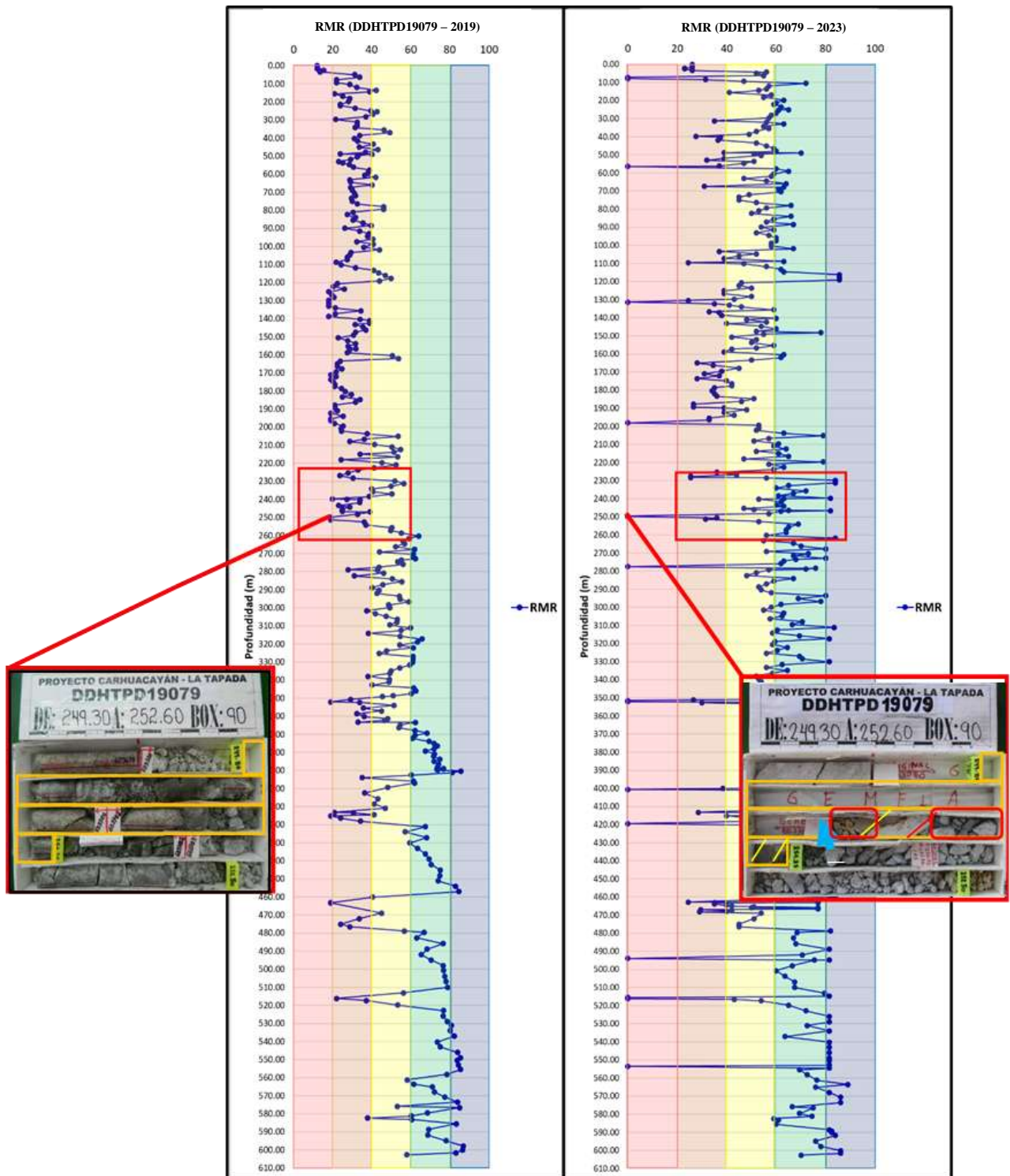
Figura 47. Gráficas de comparación de resultados RMR obtenidos en las campañas 2019 - 2023. Izquierda indica valoración de roca mala, derecha valoración de roca buena – Sondaje DDHTPD19068.



Nota: Fuente propia – realizado en Excel.

- **Sondaje DDHTPD19079**

Figura 48. Gráficas de comparación resultados RMR obtenidos en las campañas 2019 - 2023. Izquierda indica valoración de roca mala, derecha indica valoración de roca buena – Sondaje DDHTPD19079.

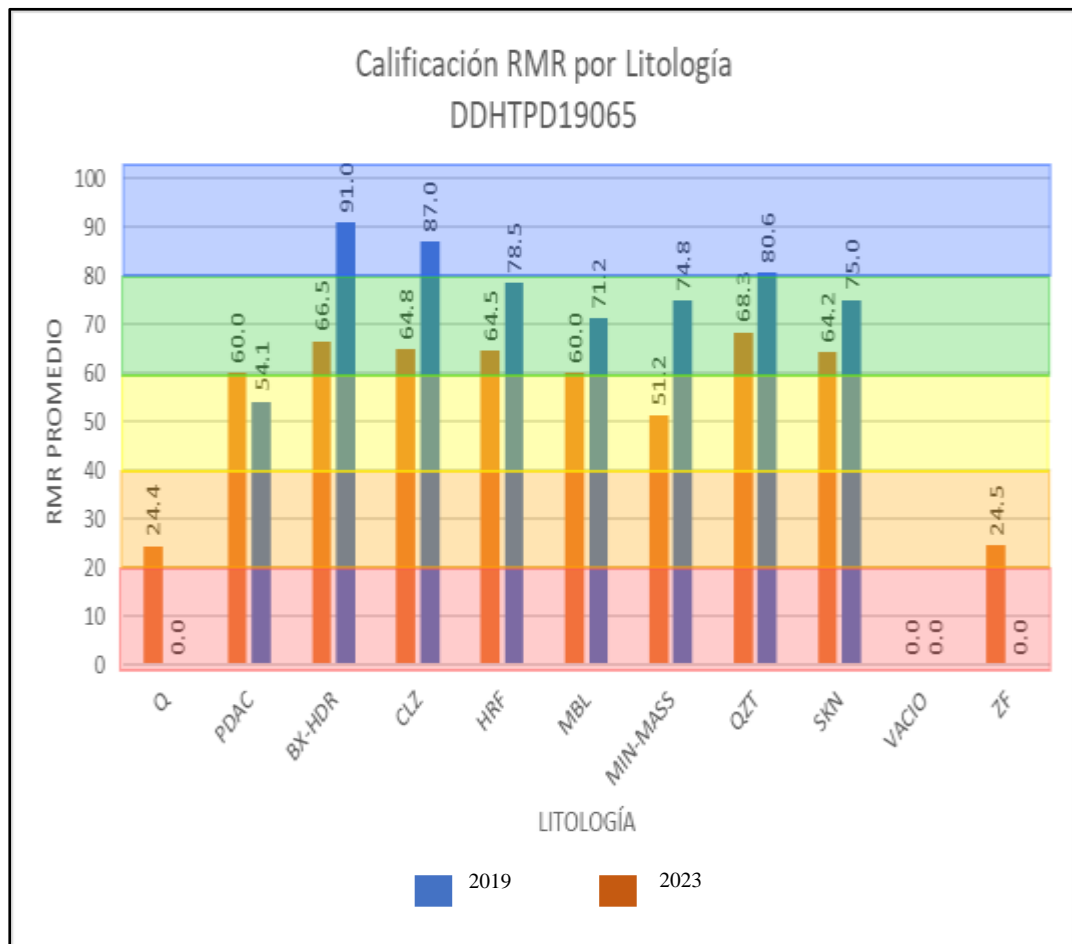


Nota: Fuente propia realizado en Excel.

Análisis comparativo de RMR89' por dominio litológico

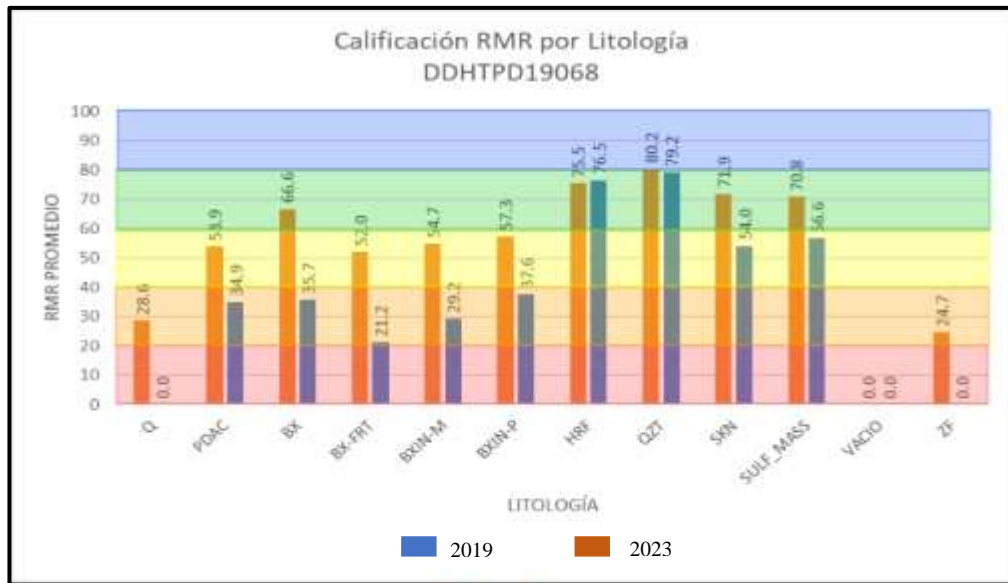
Considerando los dominios litológicos calculados anteriormente, se realizó la calificación geomecánica mediante el RMR89, en donde se pudo obtener una evaluación con predominancia de Regular – Buena; los cuales se encuentran con una variabilidad mediana con respecto al resultado del logueo de la campaña 2019. *Nota: se tomó en consideración los promedios ponderados de cada litología.*

Figura 49. Evaluación de RMR89' por dominio litológico, 2019 vs. 2023 – Sondaje DDHTPD19065.



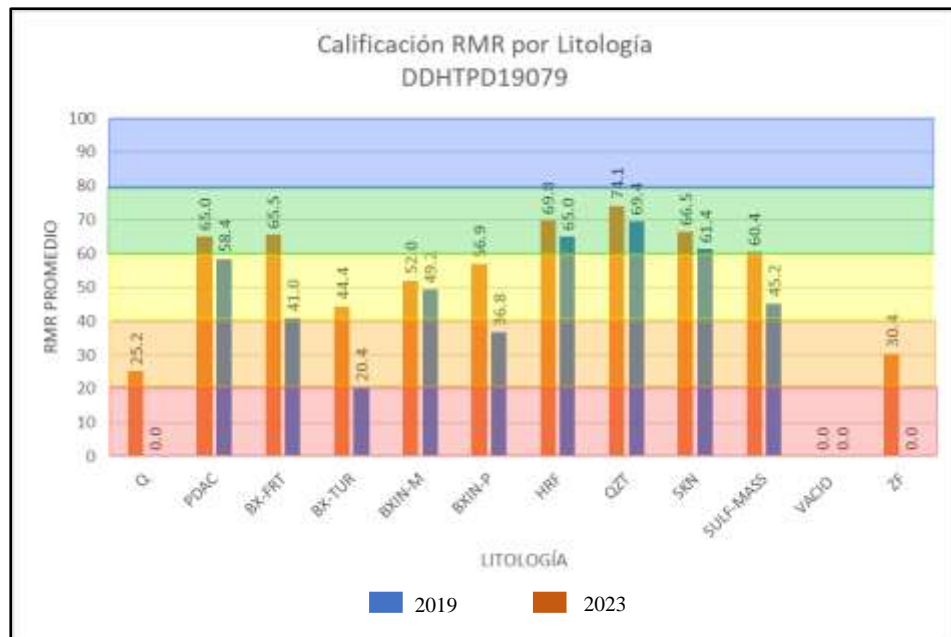
Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 50. Evaluación de RMR89' por dominio litológico, 2019 vs. 2023 – Sondaje DDHTPD19068.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 51. Evaluación de RMR89' por dominio litológico, 2019 vs. 2023 – Sondaje DDHTPD19079.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel

En los siguientes gráficos boxplot muestra los valores RMR89' teniendo en consideración los dominios geológicos, logrando identificar que el 50% de los valores RMR89' se encuentran entre 48 a 84 es decir que el tipo de roca va de regular a muy buena, así mismo hay una gran similitud en las litologías de HRF y SKN dado que el

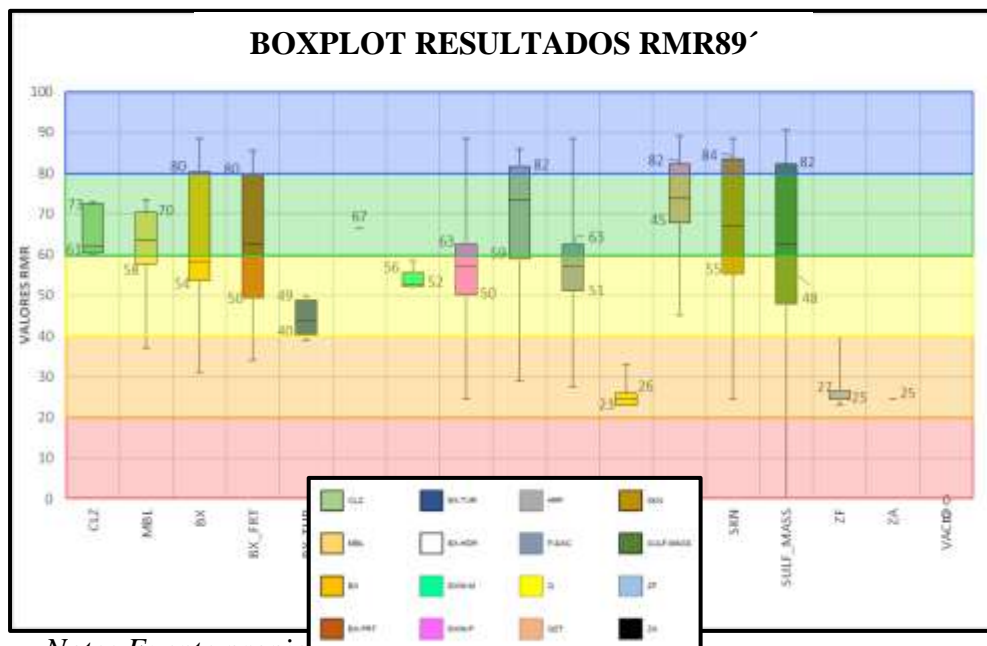
50% de sus valores RMR89' son casi cercanos, calificándola como una roca con tendencia de buena a muy buena.

El 75% de los valores RMR89' son menores o iguales que 84, esto se refleja en litologías como Brechas, HRF, QZT, SKN y SULF-MASS, dependientemente del estado de alteración.

A diferencia de lo obtenido en la campaña 2019 donde se ha identificado que el 50% de los valores RMR89' se encuentran entre 30 a 70 es decir que el tipo de roca va de mala a buena, así mismo hay una gran similitud en las litologías de MBL y QZT dado que el 50% de sus valores RMR89' son casi cercanos, calificándola como las rocas con mejor condición geomecánica del proyecto.

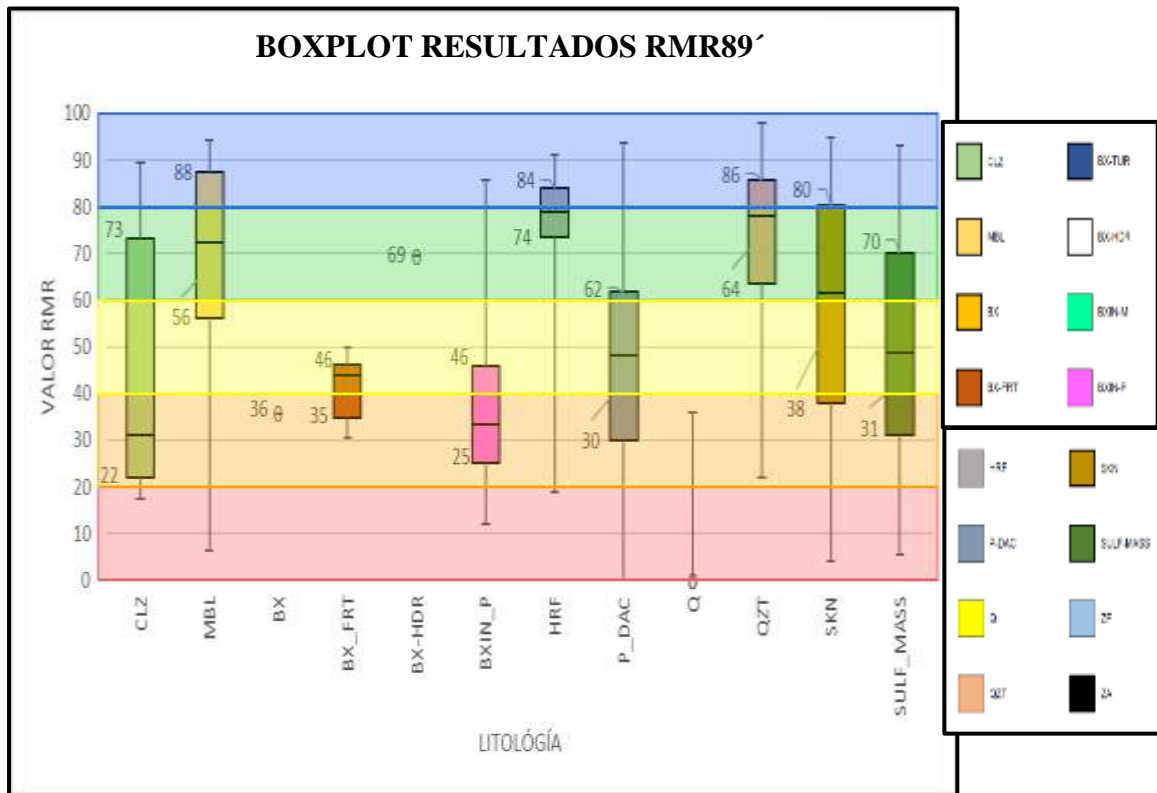
El 75% de los valores RMR son menores o iguales que 60, esto se refleja en litologías como: Brechas, CLZ, PDAC, SKN y SULF-MASS; dependientemente del estado de alteración.

Figura 52. Boxplot resultado de valores RMR89' obtenidos en el proceso de relogueo geomecánico 2022.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 53. Boxplot resultado de valores RMR89' obtenidos en el proceso de logeo geomecánico 2019.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Análisis resultados 2023

Comparativo RMR, Q', IRMR y GSI

Se realizó un análisis en 4 sistemas de Clasificación geomecánica (RMR, Q', MRMR Y GSI), esto con la intención de verificar que tipo de sistema genera datos más apegados a la realidad para nuestro tipo de yacimiento; además de ello realizar correlaciones para determinar sus similitudes entre ellas.

En las gráficas se muestran los comparativos realizados en los sistemas RMR, Q', IRMR y GSI; haciendo más visual la variabilidad entre ellas.

Figura 54. Comparativo de resultados RMR, IRMR, GSI y Q' Barton – Relogeo geomecánico 2023, Sondaje DDHTPD19065.

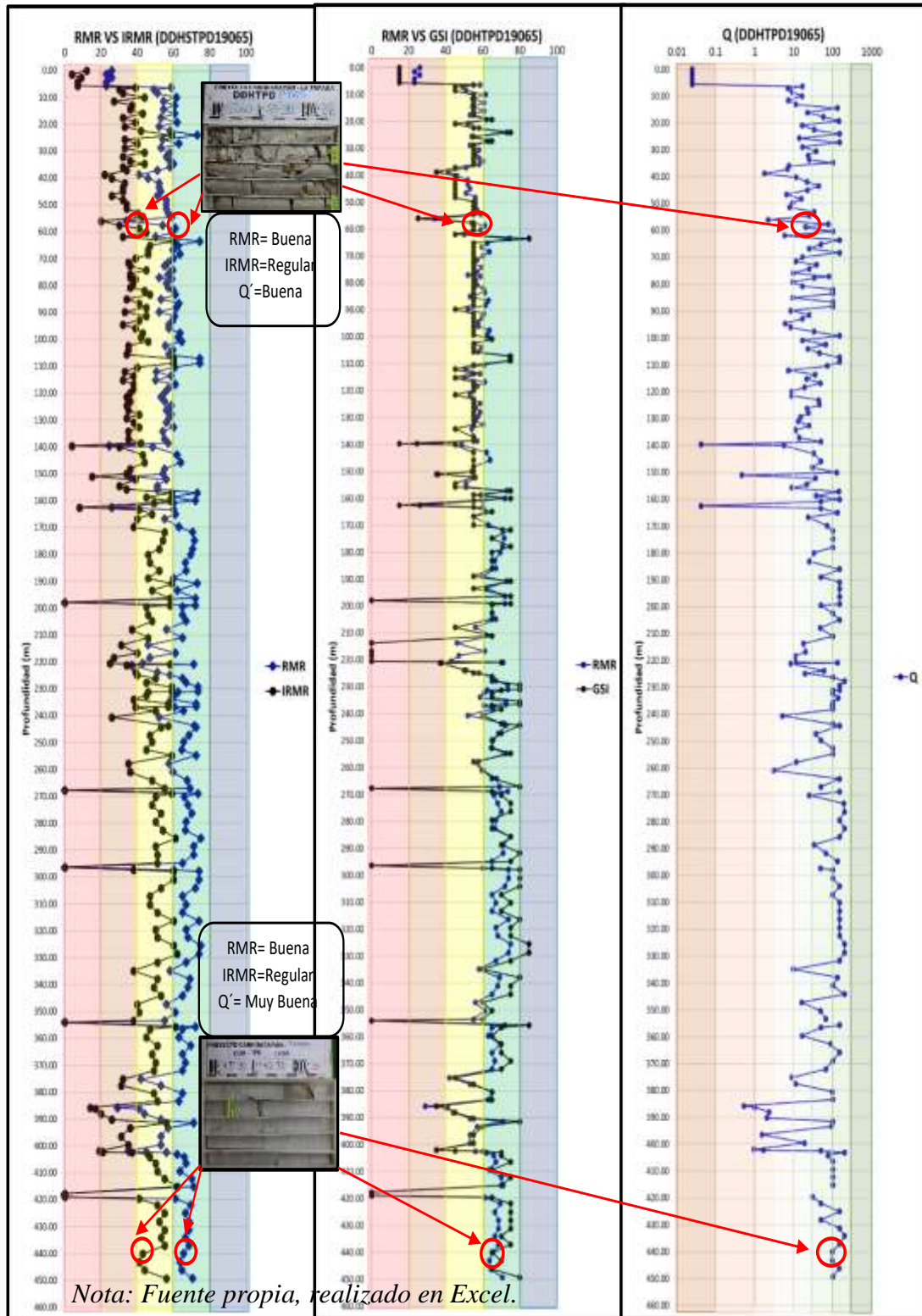
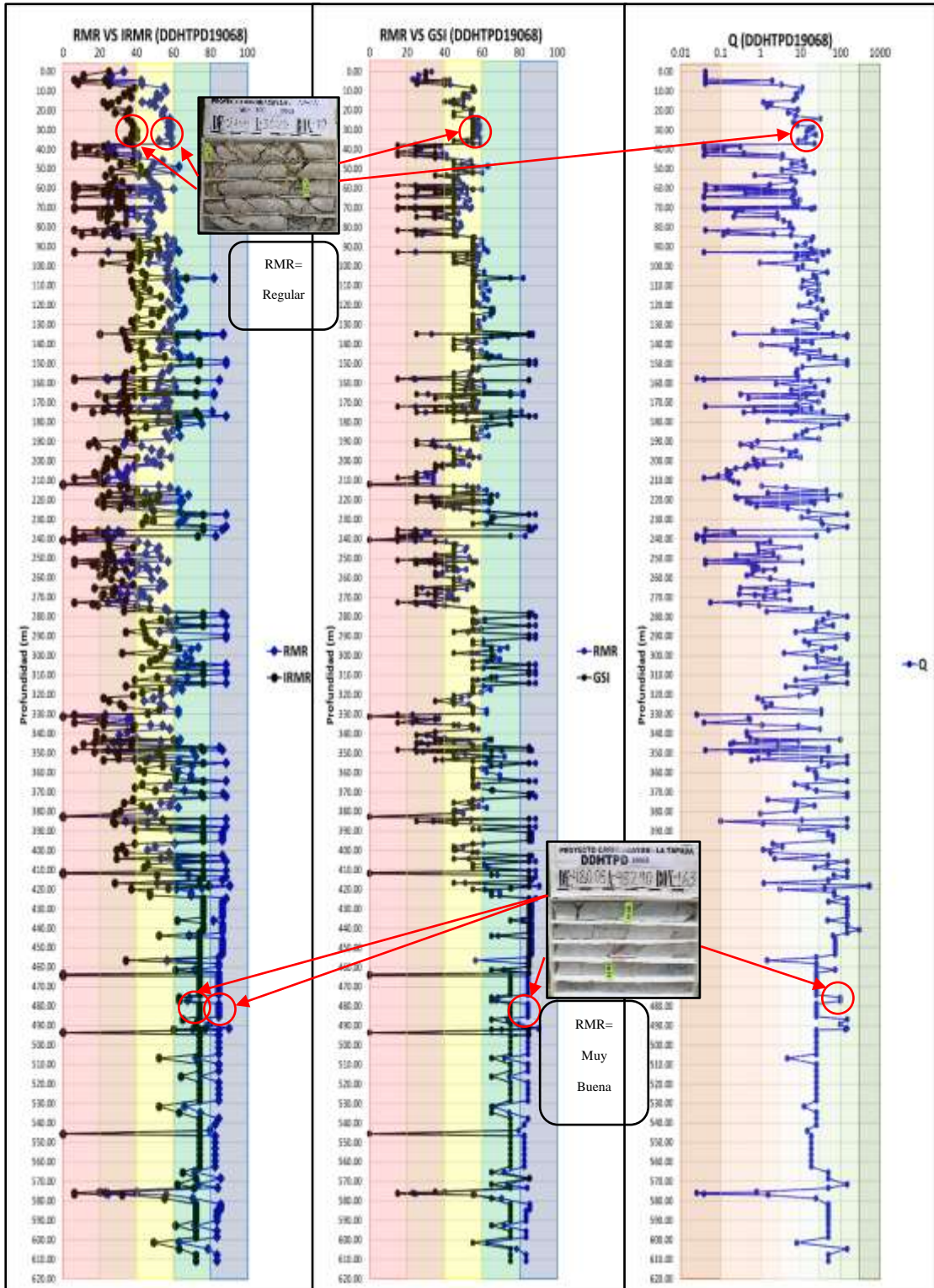
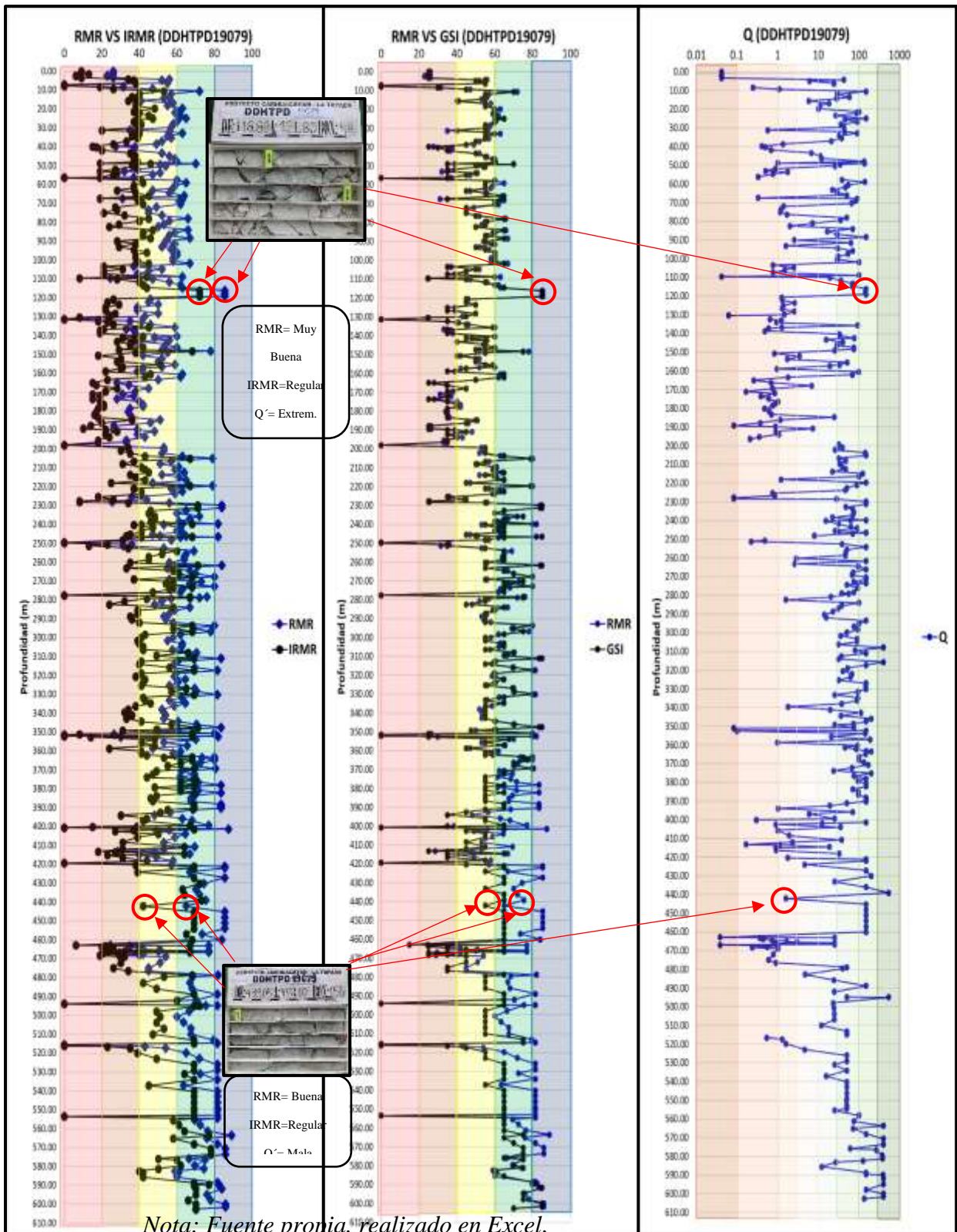


Figura 55. Comparativo de resultados RMR, IRMR, GSI y Q' Barton – Relogeo geomecánico 2023, Sondaje DDHTPD19068.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

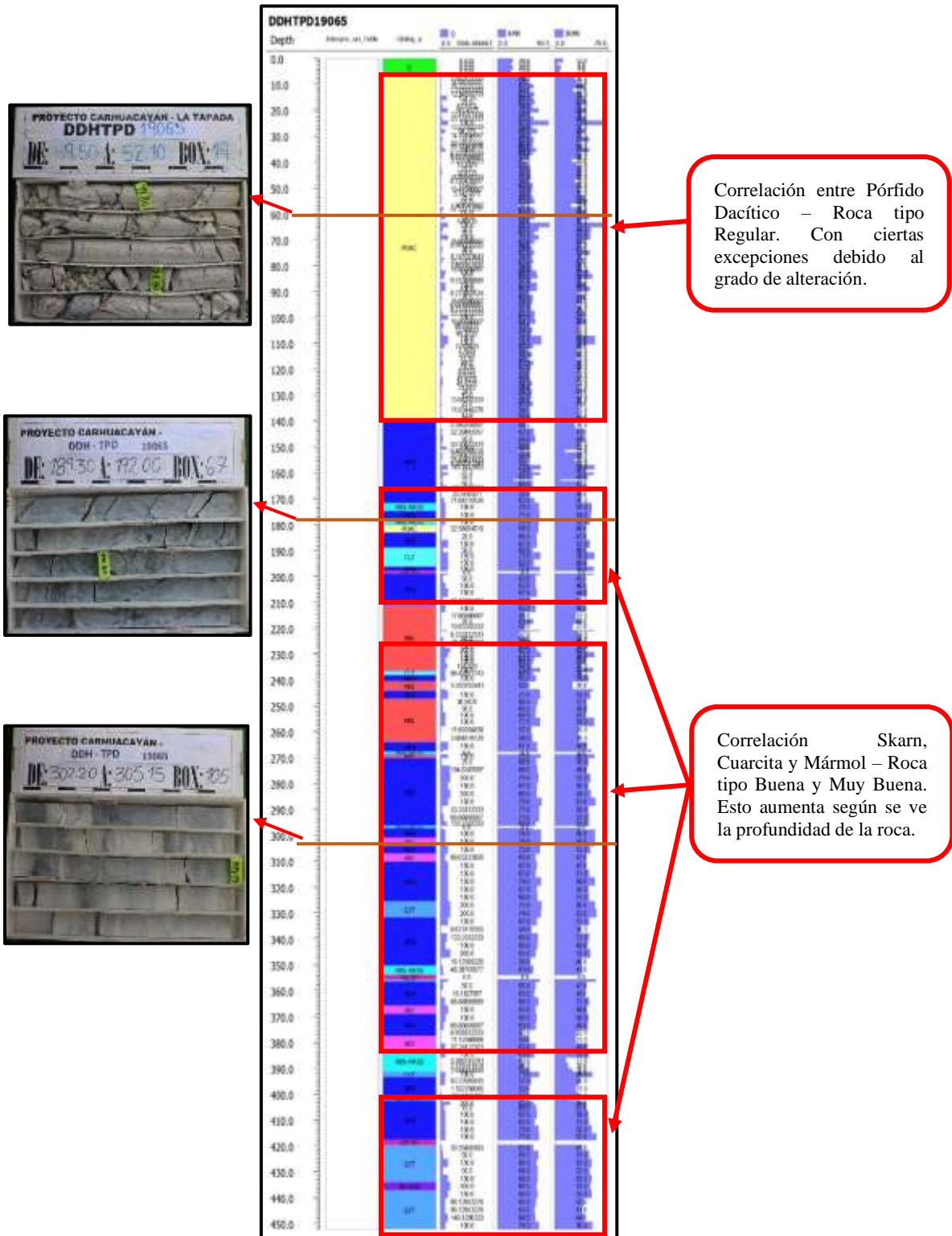
Figura 56. Comparativo de resultados RMR, IRMR, GSI y Q' Barton – Relogeo geomecánico 2023, Sondaje DDHTPD19079



Comparativo Litología vs. RMR, Q', IRMR y GSI

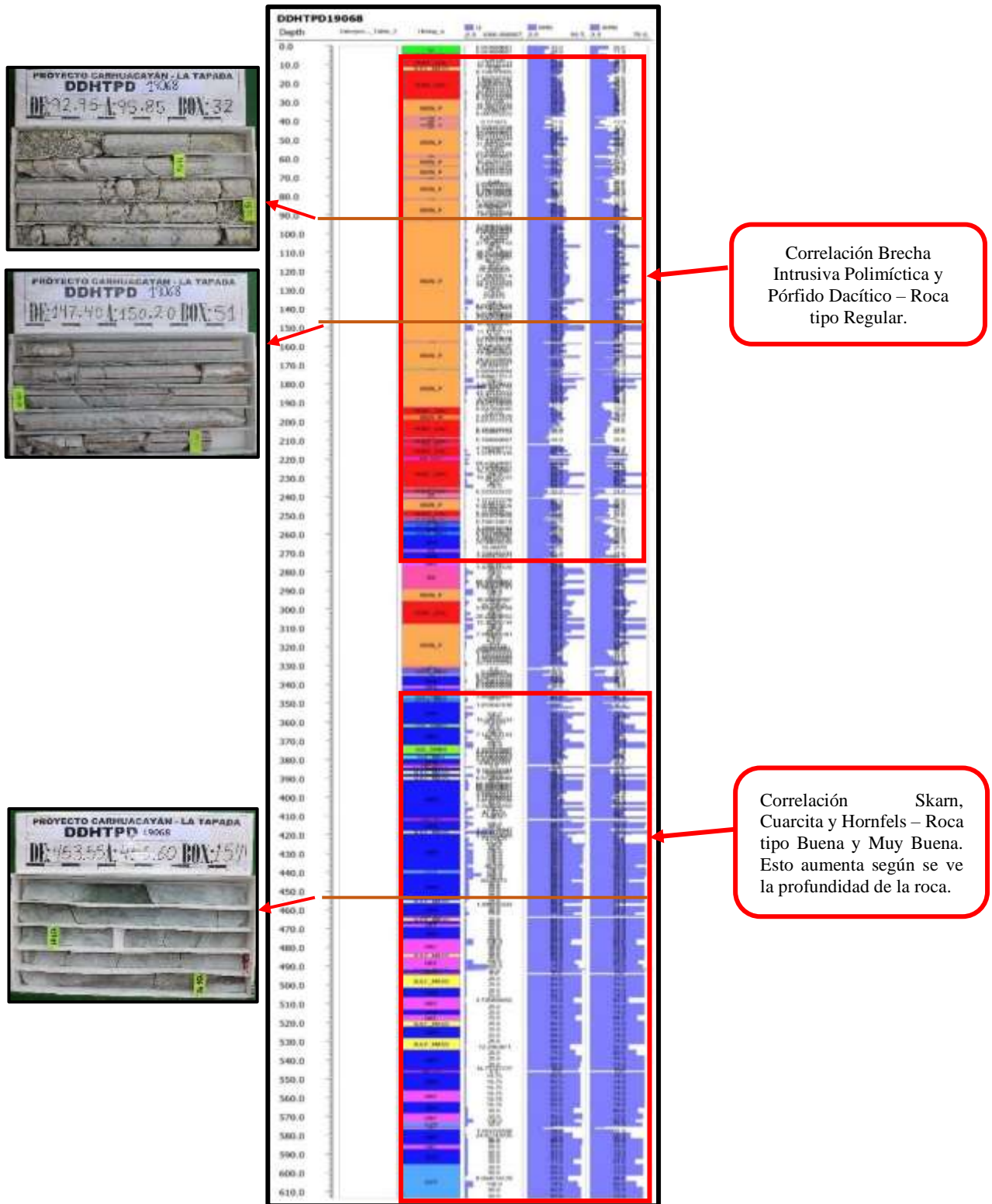
- *Sondaje DDHTPD19065*; El pórfido dacítico se encuentra relacionado en mayor porcentaje con roca de tipo regular (esto debido a la alteración fílica que contiene dentro del proyecto y sondaje), ahora el skarn y la cuarcita se encuentra en una relación media con la roca de tipo buena – muy buena (esto debido al metamorfismo y metasomatismo).
- *Sondaje DDHTPD19068*; El pórfido dacítico y brecha intrusiva polimíctica se encuentra en relación con la roca de tipo regular (esto debido a la alteración fílica que contiene dentro del proyecto y sondaje), ahora el skarn, la cuarcita y en pequeño porcentaje la brecha intrusiva polimíctica se encuentran en una relación con de roca tipo buena – muy buena (debido al metasomatismo y la baja alteración en el caso de la brecha).
- *Sondaje DDHTPD19079*; La litología de brecha intrusiva polimíctica se encuentra en relación con la roca de tipo regular y buena – muy buena (esto debido a la alteración fílica que contiene dentro del proyecto y sondaje), ahora la cuarcita, el hornfels y el pórfido dacítico se encuentra con una relación media con la roca de tipo buena – muy buena (esto debido al metamorfismo y metasomatismo).

Figura 57. Gráfica de correlación: Metraje – Litología – RMR – Q' - IRMR, sondaje DDHTPD19065.



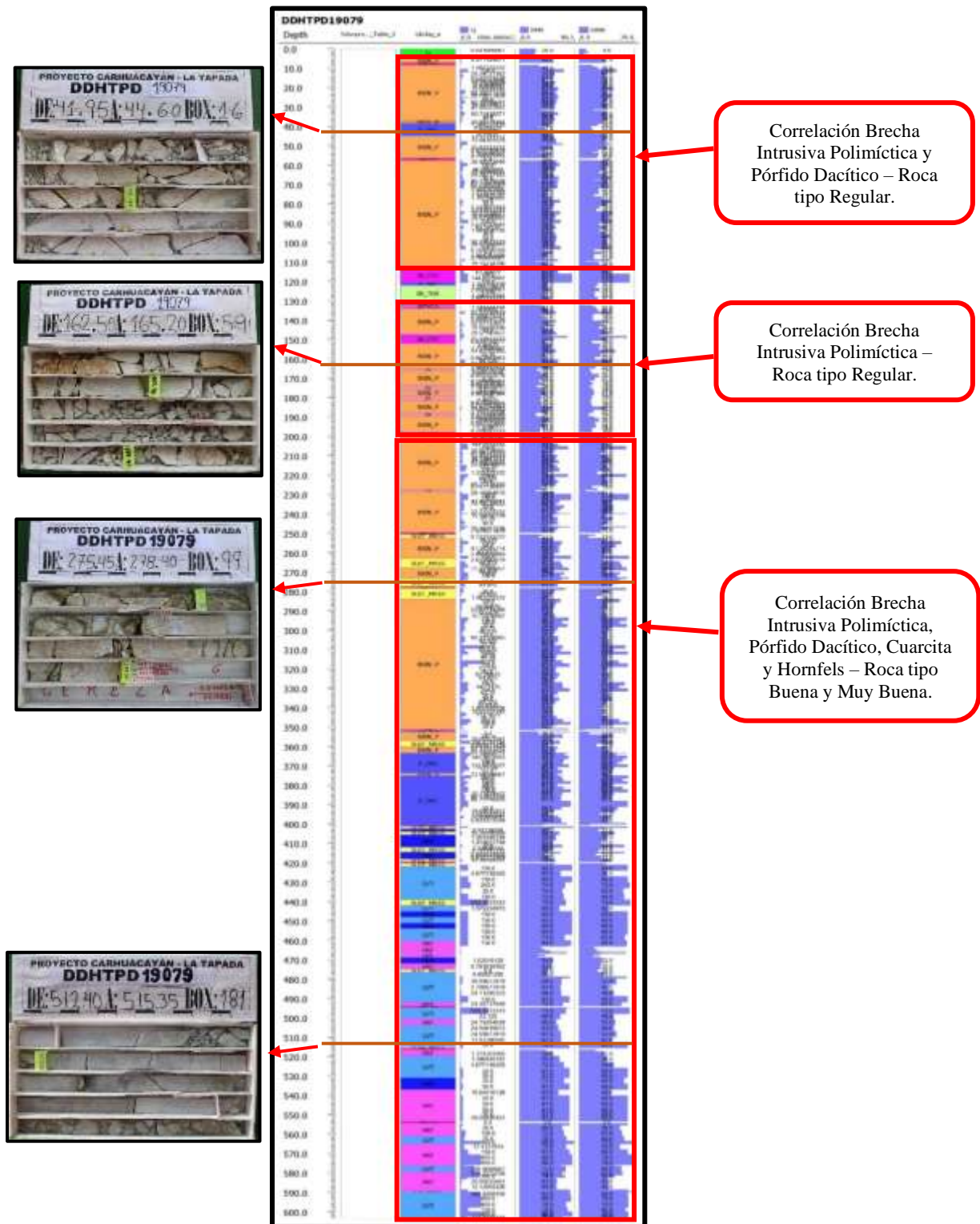
Nota: Fuente propia realizado en Leapfrog Geo.

Figura 58. Gráfica de correlación: Metraje – Litología – RMR – Q' - IRMR, sondaje DDHTPD19068.



Nota: Fuente propia realizado en Leapfrog Geo.

Figura 59. Gráfica de correlación: Metraje – Litología – RMR – Q' - IRMR, sondaje DDHTPD19079.

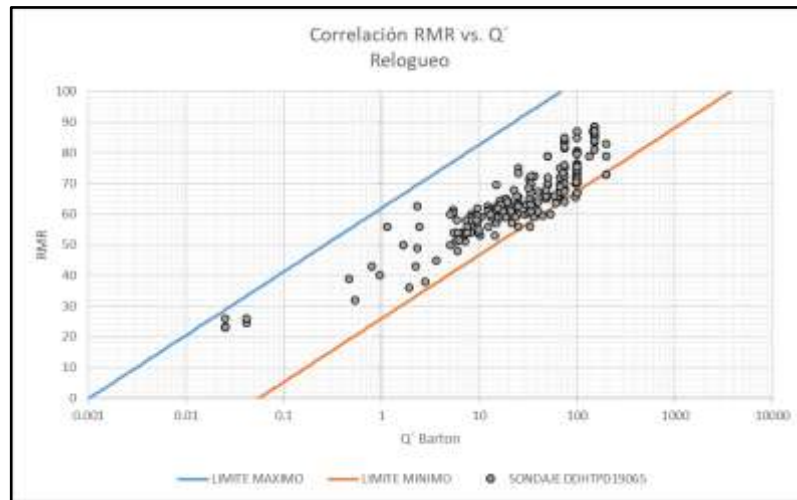


Nota: Fuente propia realizado en Leapfrog Geo.

Correlación RMR 89' vs. Q' Barton

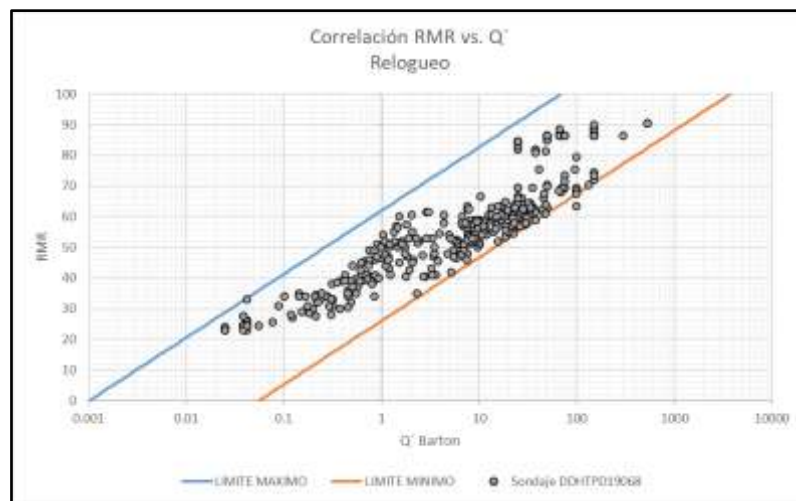
Si bien estas dos clasificaciones cuentan con distintas valoraciones y condiciones; el resultado final no debe de escapar de la realidad entre estas; en tal sentido se realizó una correlación de resultados delimitados por dos límites permisibles (Bieniawski 1976), con el cual se demuestra una correlación positiva entre estas dos clasificaciones.

Figura 60. Gráfica de correlación: RMR vs. Q', sondaje DDHTPD19065.



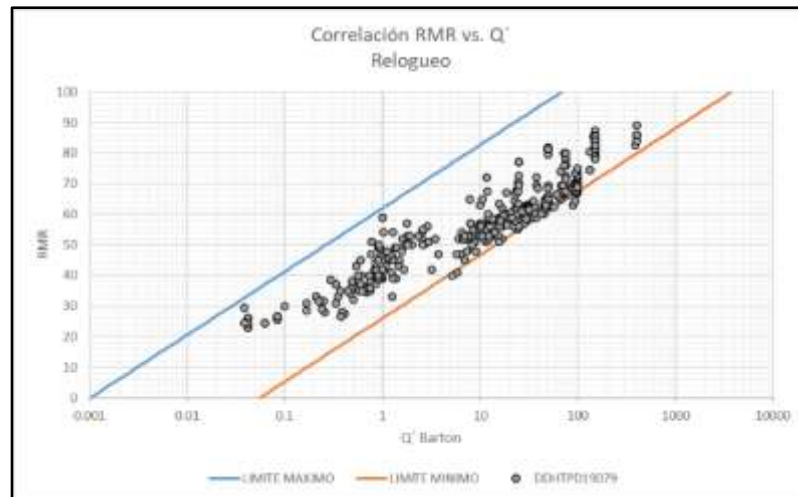
Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 61. Gráfica de correlación: RMR vs. Q', sondaje DDHTPD19068.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 62. Gráfica de correlación: RMR vs. Q' , sondaje DDHTPD19079.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

4.3. Prueba de hipótesis

La presente investigación es de carácter cualitativo, inferencial, longitudinal y correlacional, puesto que se obtuvieron parámetros geomecánicos para caracterizar el macizo rocoso, realizando un relagueo geomecánico siguiendo un flujo de trabajo establecido, para una posterior comparación y correlación de datos obtenidos, los cuales obtengan un alto grado de confiabilidad.

Hipótesis General

a) Hipótesis por probar

Realizar un relagueo geomecánico en sondajes históricos determinará la confiabilidad del registro de datos geomecánicos existente del Target La Tapada, para que se pueda utilizar en la planificación del Proyecto Carhuacayán.

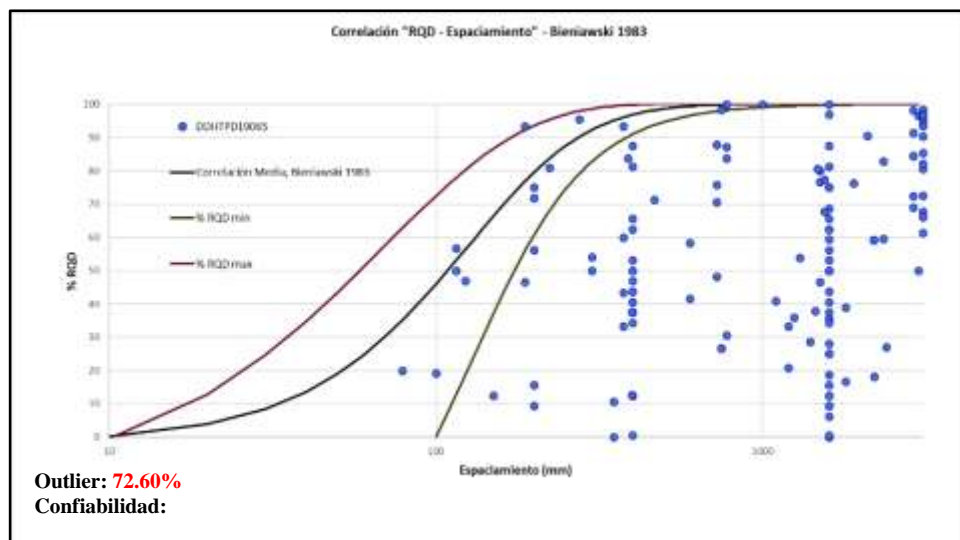
b) Pruebas

- El proyecto cuenta con data geomecánica preexistente de anteriores campañas de perforación, considerando esto se seleccionaron tres sondajes para realizar el análisis (DDHTPD19065, DDHTPD19068 y DDHTPD19079), los resultados de estos fueron analizados con gráficos de correlación, para poder determinar que se encuentren dentro de los parámetros requeridos para una

buena caracterización geomecánica, y así definir la confiabilidad de esta data para futuros modelos geomecánicos.

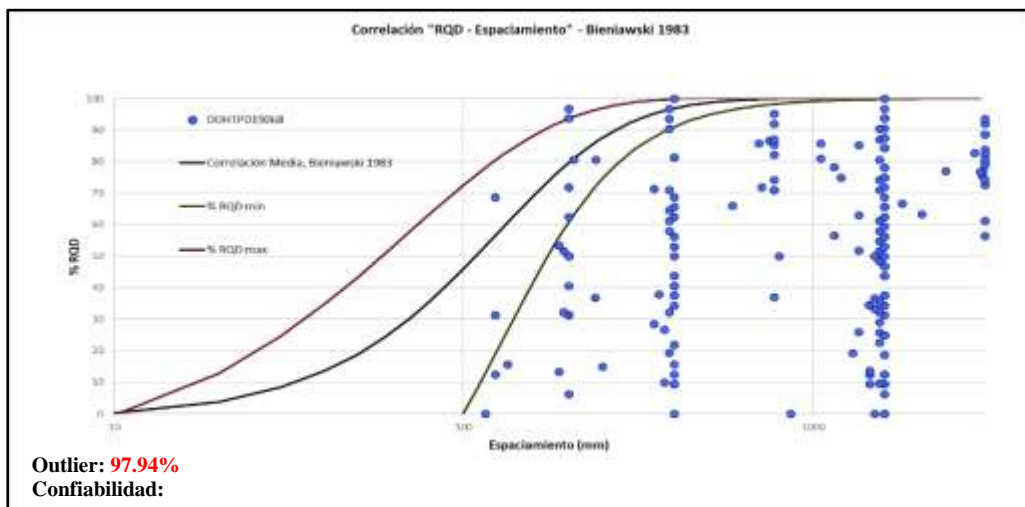
- El primer método utilizado fue la correlación entre %RQD vs. espaciamiento (Gráfica Bieniawski 1983), en donde se observa que el mayor porcentaje de estos datos se encuentran fuera de los límites permisibles, los cuales catalogan una mala toma de información y por lo tanto esta contará con una baja confiabilidad.

Figura 63. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados logeo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19065



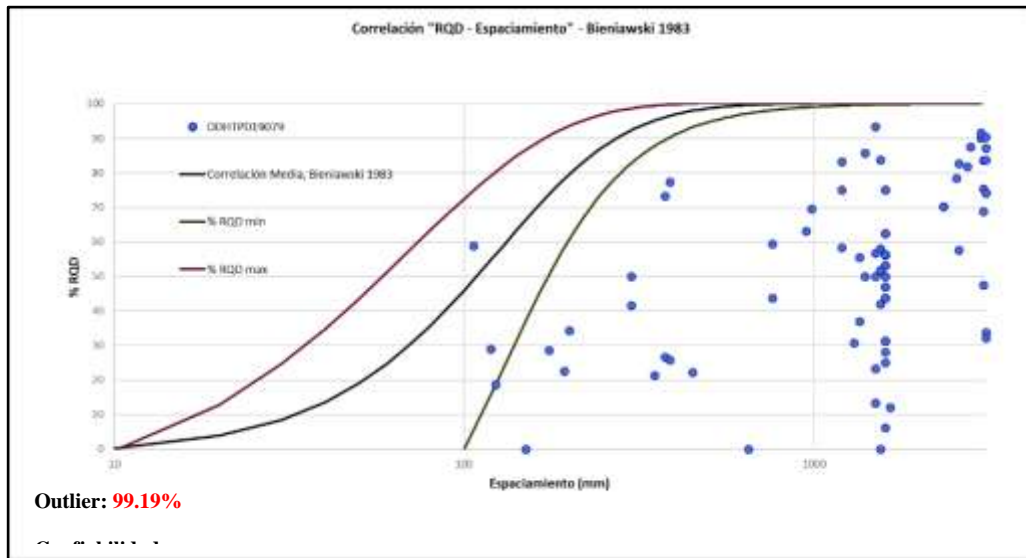
Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 64. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados logeo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19068



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

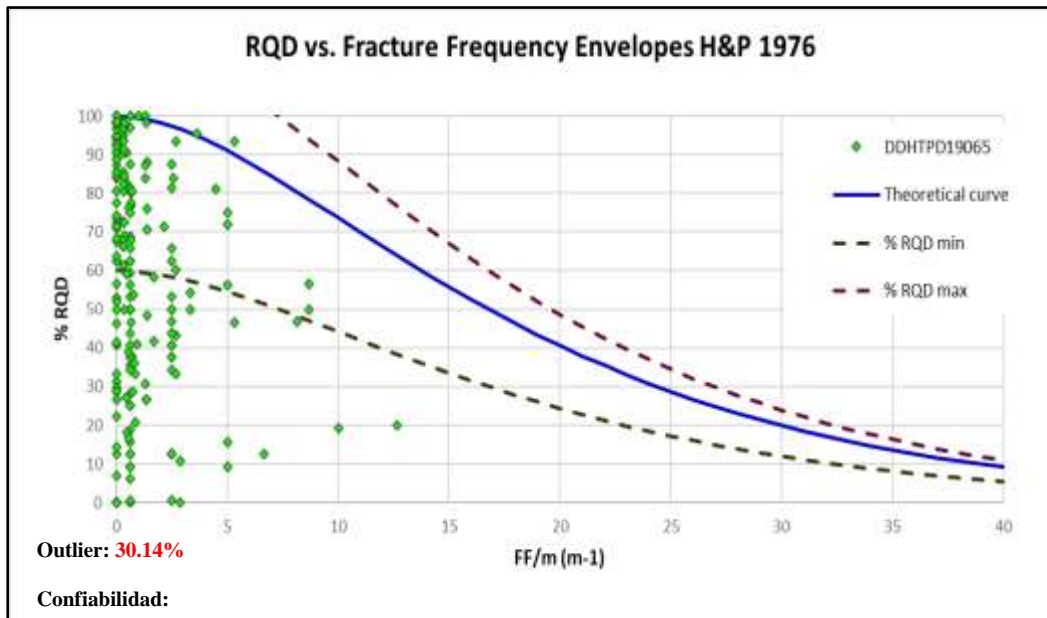
Figura 65. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados logeo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19079.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

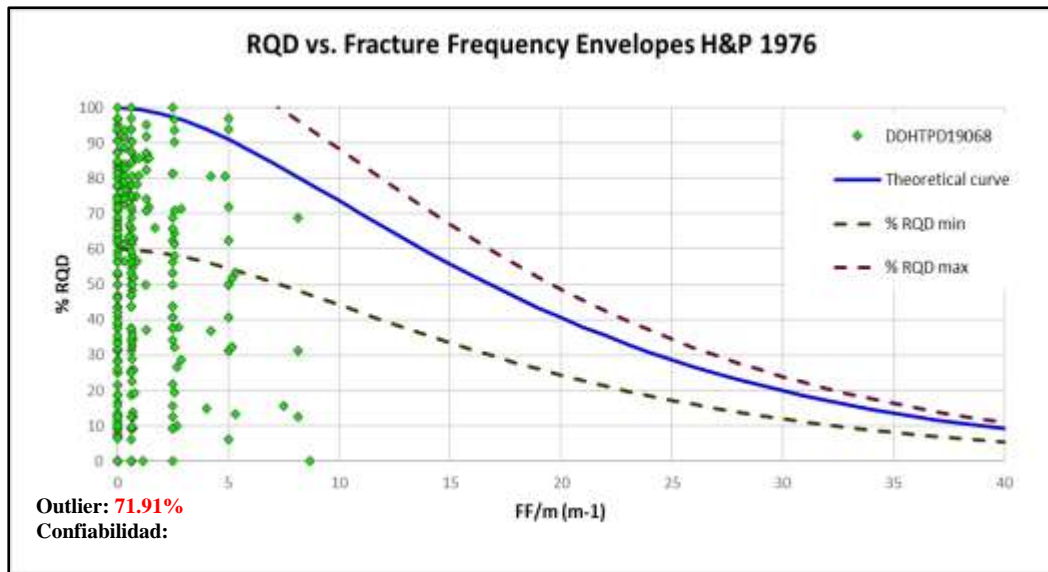
- El segundo método usado es la gráfica de correlación entre %RQD vs. FF/m (Hudson & Priest, 1976), en donde ratifica que el mayor porcentaje de datos se encuentran fuera de los límites permisibles.

Figura 66. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados logeo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19065.



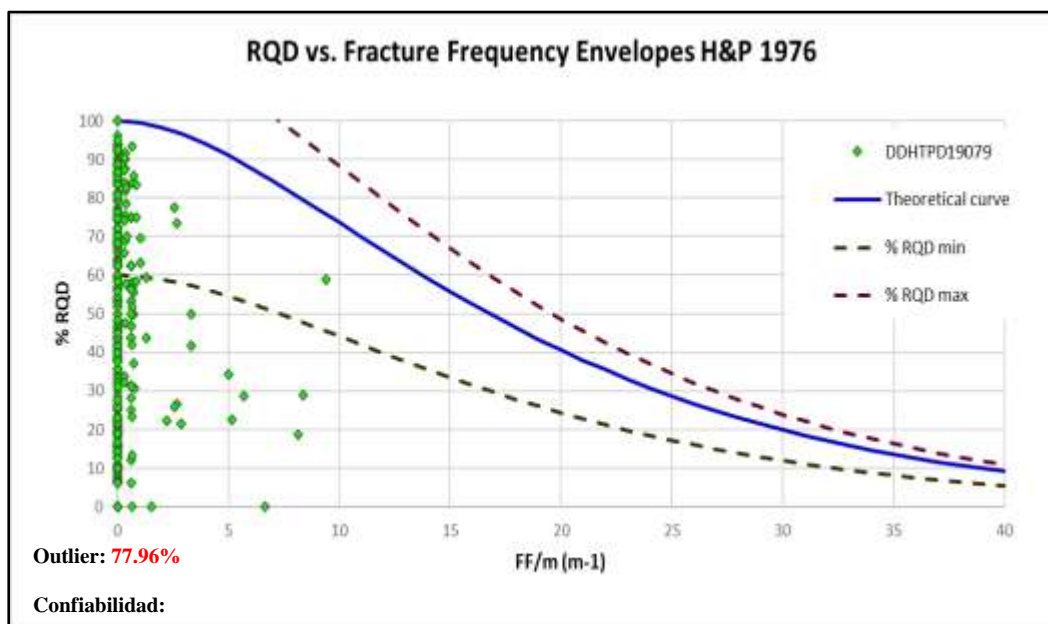
Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 67. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados logeo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19068.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 68. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados logeo geomecánico 2019, Sondaje DDHTPD19079.



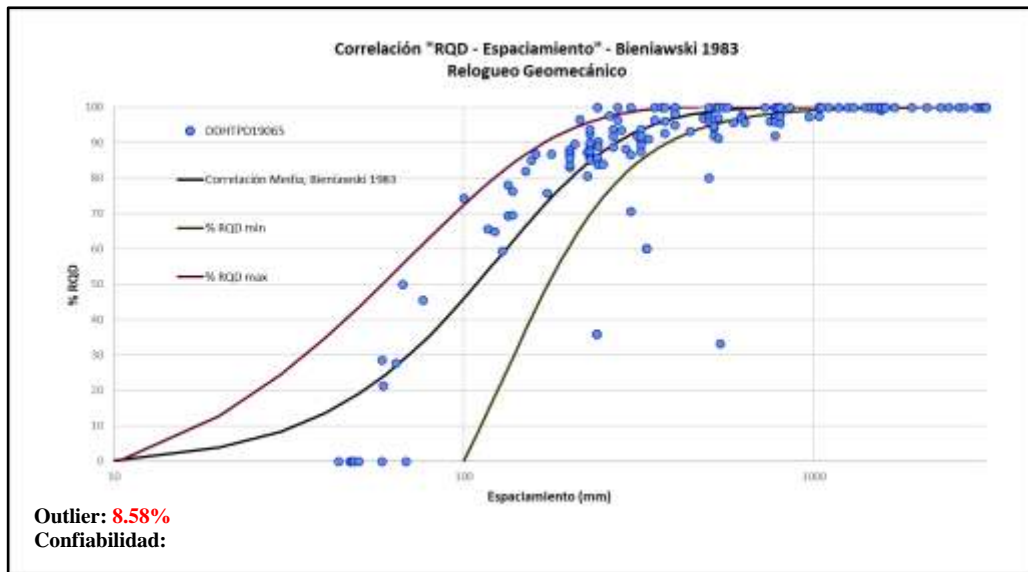
Nota: Fuente propia.

- Conociendo los déficits de la data histórica se realizó la campaña de relagueo con el cual se pudo recopilar la mayor información geomecánica pertinente, considerando que los sondajes ya se encuentran cortados y muestreados. Además de ello se pudo obtener valoraciones dentro de las clasificaciones geomecánicas

IRMR Laubscher, Q' Barton y GSI.

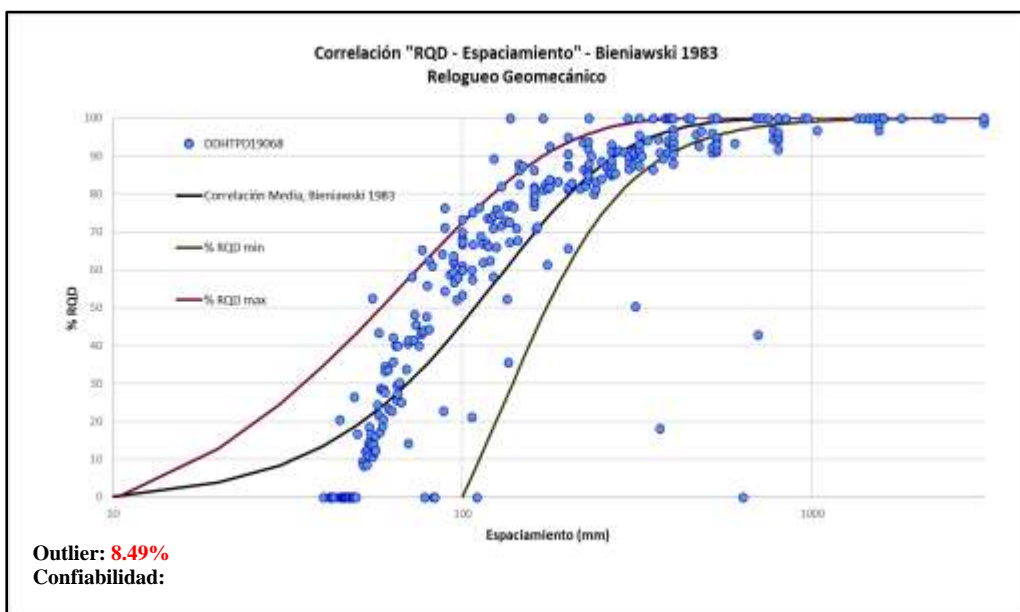
- Al momento de realizar el tratamiento mediante las gráficas de correlación (%RDQ vs. espaciamento y %RDQ vs. FF/m) se pudo obtener un alto grado de confiabilidad, quedando como demostrado la utilidad del relagueo geomecánico en sondajes históricos.

Figura 69. Gráfica de correlación: %RDQ vs. Espaciamento, resultados relagueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19065.



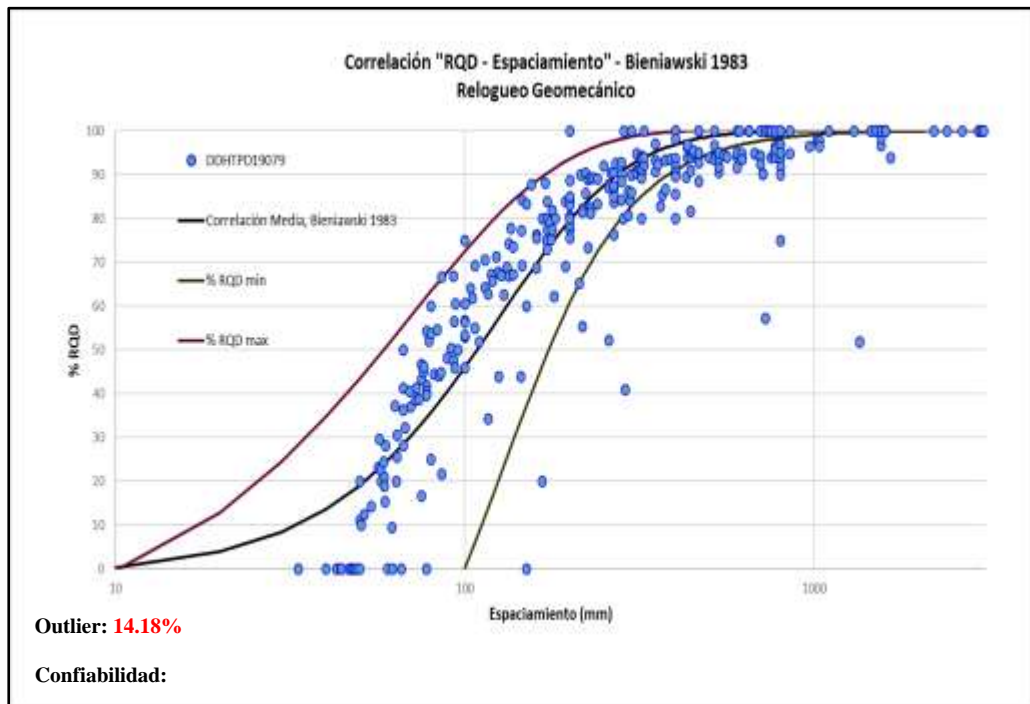
Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 70. Gráfica de correlación: %RDQ vs. Espaciamento, resultados relagueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19068.



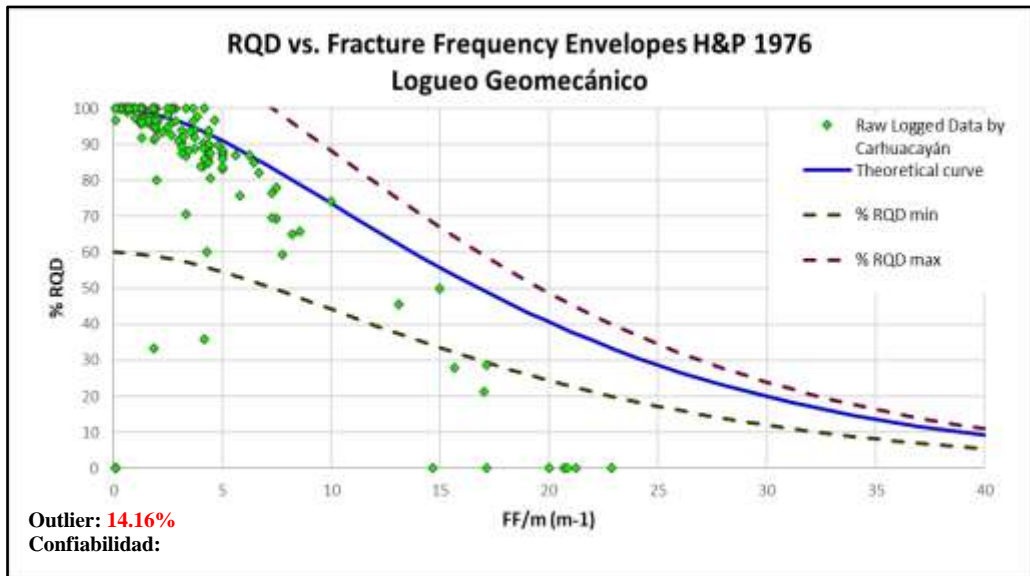
Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 71. Gráfica de correlación: %RQD vs. Espaciamiento, resultados relogeo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19079.



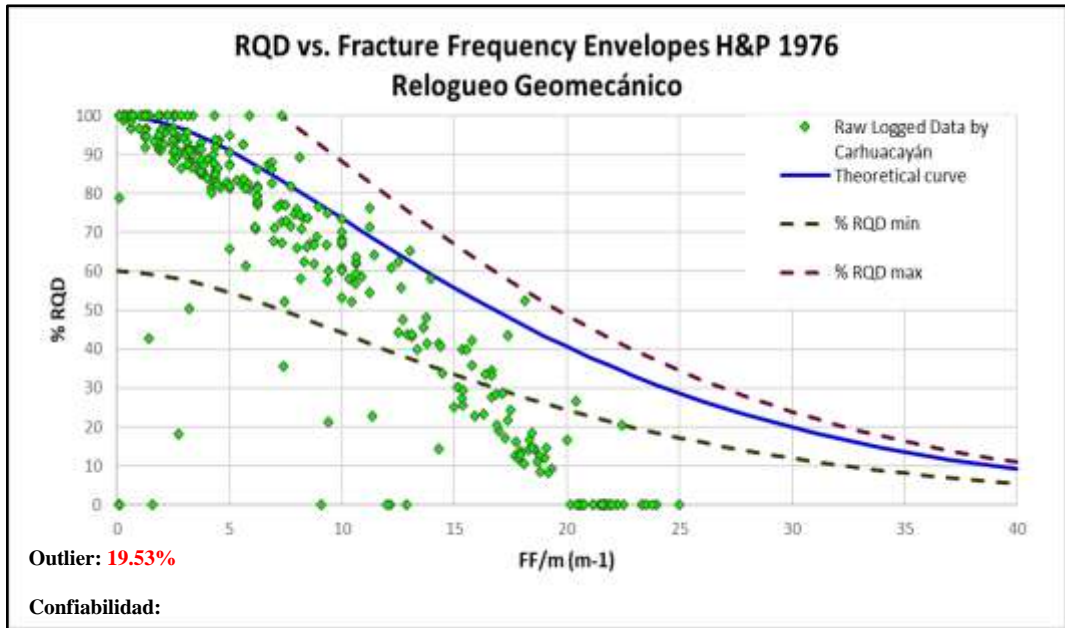
Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 72. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados relogeo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19065.



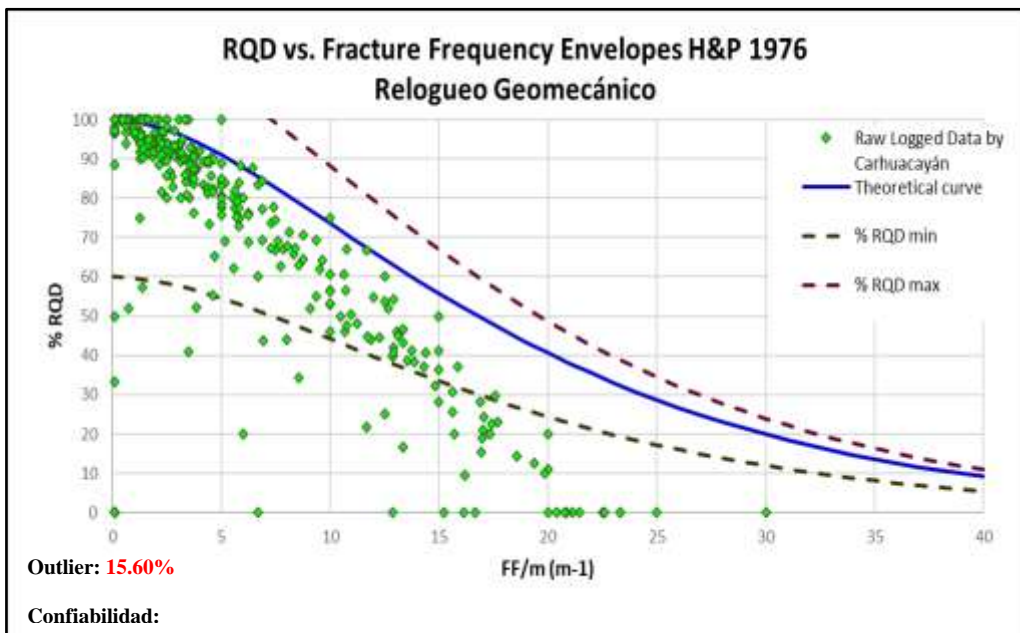
Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 73. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados relagueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19068.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

Figura 74. Gráfica de correlación: %RQD vs. FF/m, resultados relagueo geomecánico 2022, Sondaje DDHTPD19079.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

c) Conclusión

La data geomecánica existente no cumple con los parámetros necesarios para una buena calificación del macizo rocoso, esto fue demostrado con los

comparativos realizados a los resultados RMR89' y corroborado con los gráficos de correlación en donde muestran una confiabilidad por debajo del 80%; por lo tanto, quedando descartado para futuros trabajos y designando un bajo grado de confiabilidad.

Por otra parte, el relogueo geomecánico demuestra una buena calidad en la toma de datos, los cuales fueron identificados con parámetros actualizados y acompañados del expertis del geólogo; esto queda reflejado en los resultados obtenidos al momento de clasificar al macizo rocoso, acompañado de los gráficos de correlación donde los datos se encuentran dentro de los límites permisibles superando el 80% de confiabilidad.

Primera hipótesis específica

a) Hipótesis por probar:

Los resultados obtenidos del relogueo geomecánico darán mejor detalle a la caracterización del macizo rocoso.

b) Pruebas:

La caracterización del macizo rocoso es de vital importancia para realizar un modelo geomecánico que ayude a establecer el método de explotación económico para un yacimiento; para esto la mecánica de roca cuenta con una variedad de autores y clasificaciones que describen de manera detallada la calidad del macizo rocoso, esta estará restringida a la necesidad que se requiera.

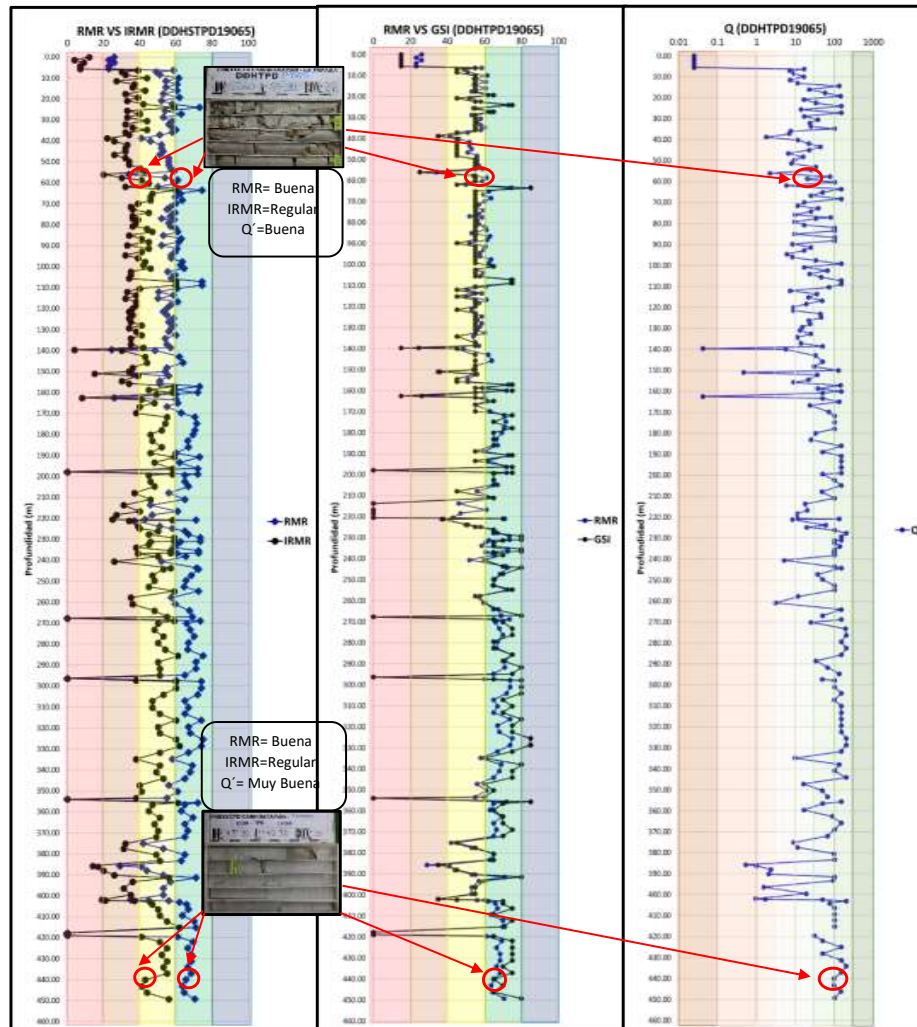
Por lo tanto, el contar con una diversidad de resultados con respecto a clasificaciones geomecánicas dará una mejor visión en los posteriores estudios geomecánicos.

Dentro del presente estudio se tomaron en cuenta las clasificaciones más usadas y con mejor resultado en estudios anteriores como son RMR89' Bieniawski, Q'

Barton, IRMR Laubscher y GSI Hoek.

- Con los resultados obtenidos se realizaron gráficas comparativas de valoraciones geomecánicas con respecto a la profundidad de perforación, los cuales nos dan una mejor perspectiva del progreso de calidad de la roca según se profundiza la perforación.

Figura 75. Comparativo de estado de testigos diamantinos y selección de fracturas naturales y mecánicas, Sondaje DDHTPD19079.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

- Con los resultados mostrados se resalta una buena relación entre los resultados RMR89 y Q' Barton, para afianzar esto se realizó una gráfica de correlación entre estas dos últimas considerando dos límites permisibles propuesto por Bieniawski 1976, ver figura 71,72 y 73.

c) Conclusión:

Se obtuvieron resultados en los sistemas de clasificación geomecánica RMR89', Q' Barton, GSI Hoek y IRMR Laubscher, los cuales dan una mejor perspectiva de la calidad del macizo rocoso y dan un mayor alcance para los futuros estudios geomecánicos; adicional a esto se pudo obtener las clasificaciones que darán mejor rendimiento dentro de nuestro tipo de yacimiento (RMR89' y Q Barton), con sustento en correlaciones de resultados obtenidos.

Segunda hipótesis específica

a) Hipótesis por probar:

El comparativo entre resultados obtenidos en la campaña 2019 y el relogueo del año 2023 darán un mejor panorama para poder encontrar el grado de confiabilidad de la data histórica.

b) Pruebas:

El comparativo de resultados se realizaron solo en el sistema RMR89', esto en base a resultados 2019; considerando esto se realizaron comparativos:

- **Fotográficos:** Donde se pudieron observar las condiciones físicas en las que se encontraba los testigos; en donde se muestra el estado inicial de los sondajes (durante la perforación) y el estado final (después del muestreo), los cuales ayudaron a la identificación de FN y FM.
- **N° de fracturas naturales y mecánicas:** Para obtener estos parámetros es necesario tener muy en claro los conceptos de fractura natural y mecánicas, puesto que de este parámetro dependerá un buen resultado del RQD; considerando esto se pudieron observar deficiencias en la toma de estos datos dentro de la campaña 2019 los cuales afectaron los resultados RMR89'.
- **RQD:** Este parámetro es dependiente del reconocimiento de fracturas naturales,

a su vez este es principal factor para el cálculo de diversas clasificaciones geomecánicas; motivo por el cual se tuvo mucho cuidado con el cálculo de este parámetro. Dentro de los resultados obtenidos de la campaña 2019 se pudieron identificar: DDHTPD19065 predominancia de RQD <50%, DDHTPD19068 predominancia de RQD < 40% y DDHTPD 19079 predominancia de RQD <30%, *ver figuras 54, 55 y 56*; los cuales difieren del relogueo 2023 en donde los sondajes tienen un RQD >60%.

- Dureza: La dureza es un parámetro que data la resistencia de la roca intacta, la estimación se realizó de manera empírica en las dos campañas; dentro de la campaña 2019 se pudo identificar la sobre valoración de este parámetro en rocas como caliza, brecha hidrotermal y skarn, los cuales se encuentran parcialmente alterados; a diferencia de los resultados de relogueo donde reflejan un valor ajustado a la realidad *ver gráfica 52 y 53*.

c) Conclusiones:

Los resultados obtenidos tras el comparativo en los parámetros del sistema RMR89' reflejan una controversial toma de datos dentro de la campaña 2019, dando infravaloraciones y sobrevaloraciones a parámetros geomecánicos que afectan al cálculo final de la valoración de la roca; además de ello ayuda a dar una perspectiva adicional a la buena adquisición de datos.

El tipo de confiabilidad utilizado es el cualitativo, motivo por el cual se realizaron comparaciones de resultados, en tal sentido el grado de confiabilidad se verá denotado como media – baja.

Tercera hipótesis específica

a) Hipótesis por probar:

Las gráficas de correlación %RQD vs. Espaciamiento, %RQD vs. FF/m y RMR

vs. Q' Barton; facilitan un buen control de calidad para predecir si los logueos cumplen con los parámetros que se requiere.

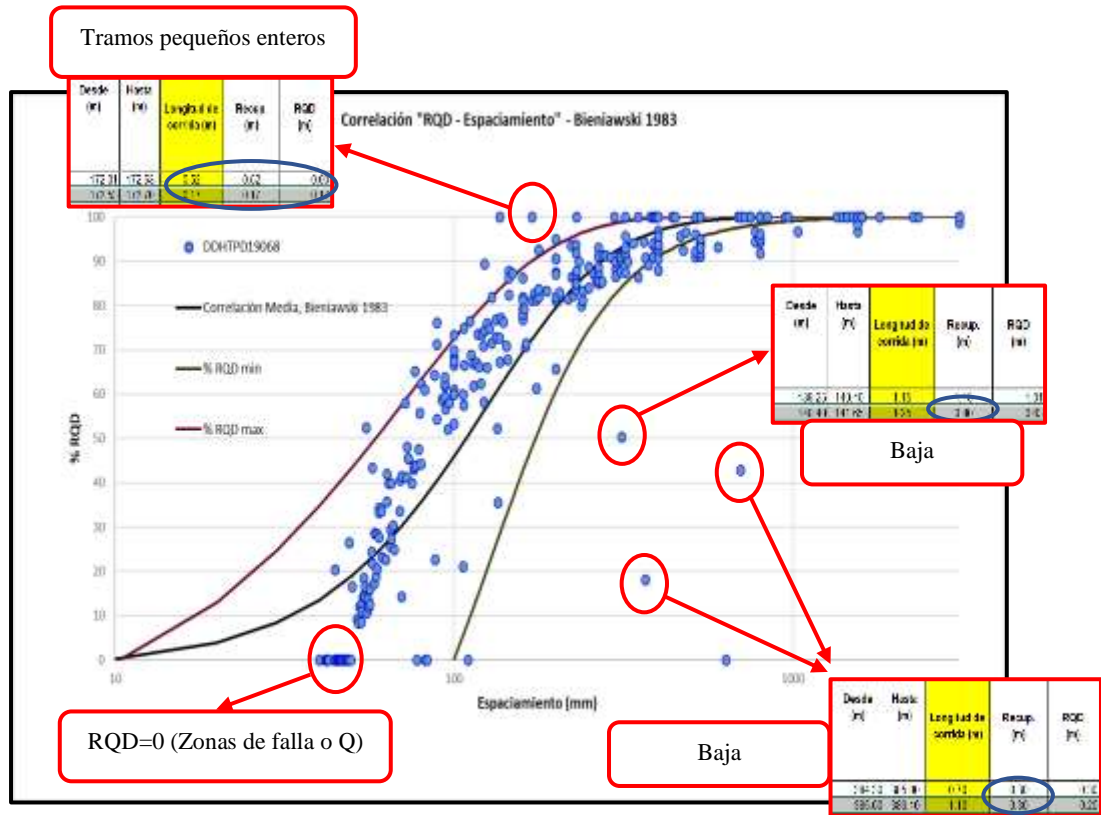
b) Pruebas:

Los gráficos de control de calidad de logueo geomecánico utilizados: %RQD vs. espaciamiento (Bieniawski 1983) y %RQD vs. FF/m (Hudson & Priest 1976), son determinantes para el control de toma de datos de logueo geomecánico, considerando que una buena toma de RQD será vital para la calificación de un macizo rocoso; en ese sentido si tenemos un %RQD alto se deberá de entender que se debe contar un espaciamiento alto; lo contrario sucede con la FF/m, que cuando obtengas un %RQD elevado tu FF/m deberá ser bajo.

Ahora bien, dentro de las gráficas se llagaron observar elementos outlier (fuera de los limites) motivo por el cual se logró realizar un análisis de la procedencia de estos elementos los cuales se detallan a continuación:

- Gráfica %RQD vs. Espaciamiento (Bieniawski 1983)
- Los valores que se encuentren por encima del límite máximo y no se encuentre error en la toma de datos, nos datarán que nos encontramos en tramos pequeños enteros.
- Los valores que se encuentren debajo del límite mínimo y no se encuentre error en la toma de datos, no datarán que nos encontramos tramos con baja recuperación.
- Los valores que se encuentren en el borde del eje de espaciamiento nos datarán tramos completamente fracturados.

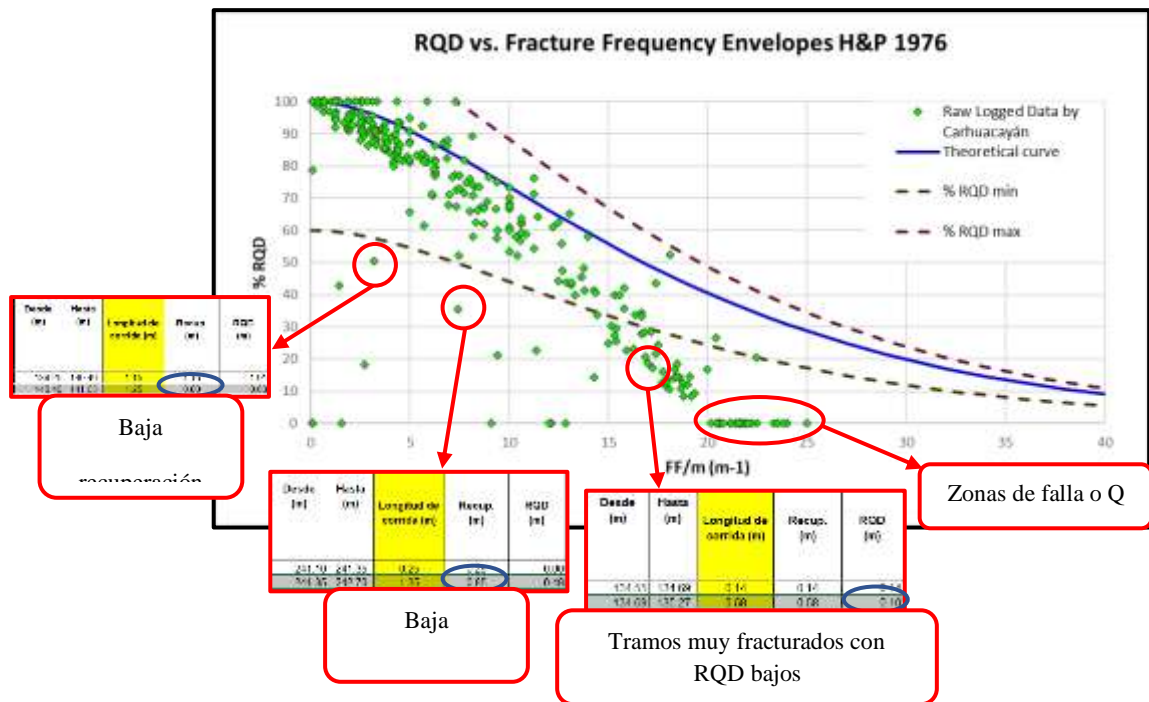
Figura 76. Gráfica de correlación %RQD vs. Espaciamento, explicación de datos outlier debido a problemas de perforación.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

- Gráfica %RQD vs. FF/m (Hudson & Priest 1976)
- Los valores que se encuentren por debajo del límite mínimo nos datarán tramos con baja recuperación o tramos con bajos valores de RQD donde predomina rocas fracturadas.
- Si los valores se encuentran dentro del eje de FF/m, nos datarán de tramos sin RQD o muy fracturados (zonas de falla o material cuaternario).

Figura 77. Gráfica de correlación %RQD vs. FF/m, explicación de datos outlier debido a problemas de perforación.



Nota: Fuente propia, realizado en Excel.

c) Conclusiones

Estas gráficas ayudan a determinar un mejor control al momento de realizar la toma de datos y a su vez identificar la ubicación de estos, ya que los límites máximos y mínimos dan un enfoque más dinámico al momento de encontrar datos outlier. Resultado que estos datos outlier no solo dependerá de la mala toma de datos, sino también de problemas en la perforación los cuales generan: corridas cortas, tramos fracturados, baja recuperación.

4.4. Discusión de resultados

Discusión 1:

Si bien dentro de la etapa de exploración el principal objetivo es obtener resultados geoquímicos para conocer el valor económico del yacimiento, no se debe pasar por alto la obtención de datos geomecánicos confiables; ya que al momento de

elegir el método de explotación será necesario conocer la calidad del macizo rocoso y si este no cuenta con datos asemejados a la realidad generará gastos en futuros estudios de estabilidad.

El resultado general ayuda a comprender los requerimientos para que una data geomecánica sea confiable, si bien es de conocimiento que la mecánica de rocas es una ciencia en crecimiento con actualizaciones constantes; por tal motivo el criterio de toma de datos y calificación de un macizo rocoso dependerá de la actualización del personal encargado del registro de estos.

El realizar un tratamiento y control de datos luego del registro geomecánico ayuda a obtener resultados limpios y asemejados a la realidad, los cuales son de vital importancia para que estos puedan ser utilizados en futuros modelos y determinar el tipo de explotación y sostenimiento.

Según los resultados de relogueo obtenidos denotan que la data histórica no tiene un alto porcentaje de confiabilidad, esto da entender que se debe de realizar campañas de relogueo de todos los sondajes que se ubican dentro del proyecto, siguiendo el flujo de trabajo ya establecido en la presente tesis.

Discusión 2:

El relogueo geomecánico en sondajes muestreados y cortados se le puede ver de manera desinteresada puesto que estos ya no cuentan con la condición inicial después de la perforación y lo principal que se quiere conocer es las características físicas de este, en muchos casos se les llamaría como pérdida de tiempo y recursos. Sin embargo, queda demostrado que existe la posibilidad de realizar del registro de estos datos, claro está que deben de contar con ciertas condiciones como son: el buen estado de conservación, tener una biblioteca fotográfica, herramientas necesarias y cuenten con personal capacitado para la actividad.

Discusión 3:

Es de conocimiento que existen diversas clasificaciones geomecánicas, los cuales cuentan con sus propios parámetros y características; de las cuales las más resaltantes utilizadas dentro del ámbito minero y civil son: RMR Bieniawski, Q' Barton, GSI y IRMR Laubsher; considerando que estos comparten ciertos parámetros en común como; RQD, IRS, N° Familias y N° de discontinuidades.

En la presente tesis se recabaron resultados en estas ultimo 4 clasificaciones geomecánicas; con los cuales se llegaron a definir correlaciones positivas entre RMR89' y Q' Barton, RMR y GSI; lo contrario ocurre con IRMR Laubsher que muestran resultados infravalorados del macizo rocoso.

CONCLUSIONES

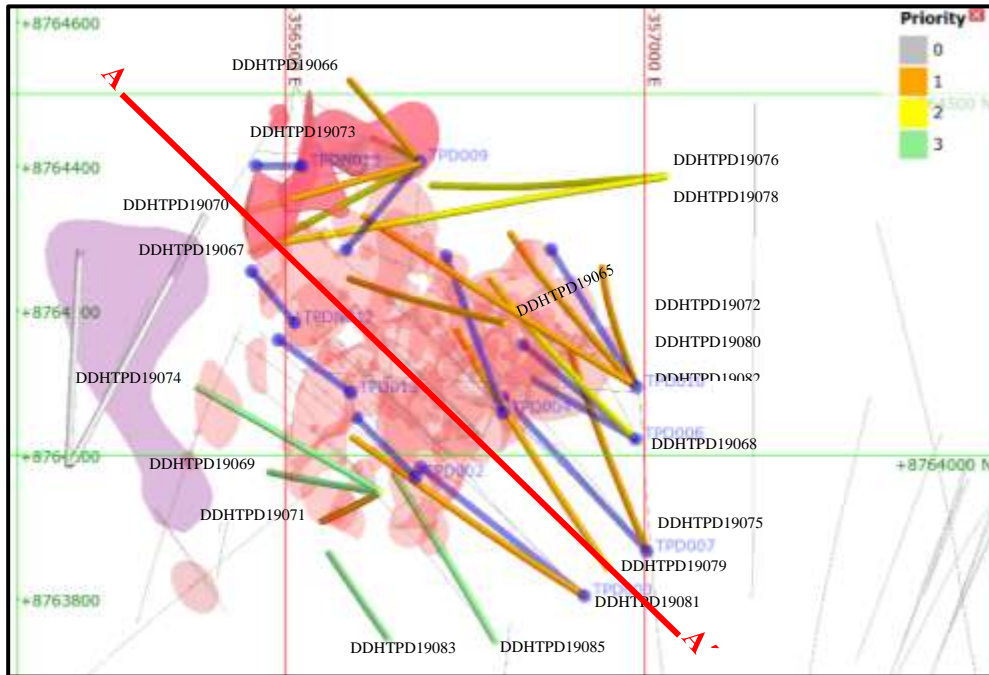
1. Se concluye que el relogueo geomecánico de los sondajes históricos del Target “La Tapada”, permitió evidenciar un bajo nivel de confiabilidad en la data geomecánica obtenida durante la campaña del 2019. Esta deficiencia se manifiesta en la limitada cobertura de parámetros geomecánicos, tales como RQD, espaciamiento de fracturas y dureza, restringidos únicamente a una clasificación básica como el RMR89 en donde se obtuvieron valores con respecto a los dominios geológicos de: $Q=0$, $BX-FRT=40.4$, $BX-HDR=64.6$, $BXIN-P=37$, $CLZ=54.1$, $HRF=72.3$, $MBL=66.8$, $PDAC=47.2$, $QZT=75.2$, $SKN=65.4$ y $SULF\ MASS=55.4$. En contraste con el relogueo realizado en 2023, los cuales fueron realizados bajo criterios actualizados y formatos mejorados, permitiendo generar información confiable y útil para la planificación de proyectos futuros; adicionando información vital en las principales clasificaciones geomecánicas y con valores mejorados de RMR89 con respecto a los dominios geológicos de: $Q=26.1$, $BX-FRT=58.7$, $BX-HDR=66.6$, $BXIN-P=53.4$, $CLZ=64.8$, $HRF=69.9$, $MBL=60$, $PDAC=59.6$, $QZT=74.2$, $SKN=67.5$ y $SULF\ MASS=60.8$.
2. Los resultados obtenidos del relogueo geomecánico mostraron un alto grado de confiabilidad superando el 80% de esta, validado mediante gráficas de correlación como %RQD vs. espaciamiento y %RQD vs. FF/m. Estas herramientas confirmaron la validez de los nuevos registros al estar dentro de rangos permisibles y ofrecer una caracterización detallada del macizo rocoso.
3. La comparación entre los datos de 2019 y los del relogueo de 2023 permitió identificar discrepancias sustanciales. En 2019 se observó una sobrevaloración de parámetros como la dureza y un registro limitado de fracturas. Por el contrario, en 2023 se emplearon metodologías más rigurosas y actualizadas, evidenciando una mejora en la precisión de la caracterización geomecánica.

4. Se demostró que las gráficas de correlación (%RQD vs. espaciamiento y %RQD vs. FF/m) fueron herramientas efectivas para validar la calidad de los datos recolectados. Estas gráficas no solo permitieron identificar errores potenciales en la toma de datos, sino que también facilitaron el control de calidad al momento del registro geomecánico
5. Finalmente, se concluye que el uso de formatos estructurados y actualizados, junto con una biblioteca fotográfica adecuada y la capacitación del personal encargado del logeo, son elementos indispensables para garantizar la confiabilidad de los registros geomecánicos. Esta práctica resulta particularmente crítica cuando se trata de relogear sondajes antiguos y muestreados.

RECOMENDACIONES

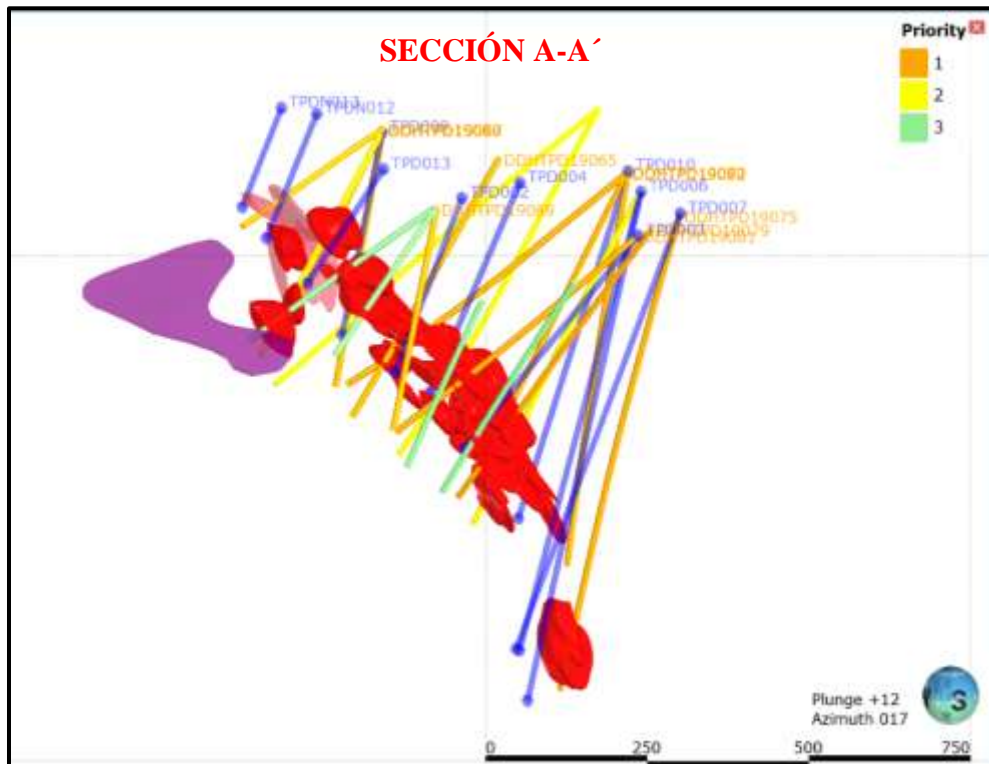
1. Descartar la data geomecánica historica para futuras tomas de decisiones, puesto estos no cuentan con los parámetros geomecánicos muy bien establecidos y el grado de confiabilidad es muy bajo.
2. Realizar un traslado y almacenamiento correcto de cajas de testigo, tratando de aislarlos de la intemperie y de la circulación del agua.
3. Realizar futuros registros geomecánicos siguiendo el flujo de trabajo mostrado en la presente tesis.
4. Realizar una campaña de relogueo geomecánico de sondajes históricos que corten las estructuras mineralizadas y se encuentren cercanos al nuevo programa de perforación 2024; con la finalidad de realizar correlaciones entre los resultados del relogueo geomecánico de sondajes cortados/muestreados y el logueo geomecánico de sondajes nuevos.
5. Realizar el relogueo geomecánico cumpliendo las prioridades planteadas, según la ubicación espacial de los sondajes y tomando en cuenta las estructuras mineralizadas, los cuales se muestran en las siguientes secciones:

Figura 78. Vista en planta y línea de sección A-A', distribución de sondajes ejecutados (prioritarios) y sondajes por ejecutar campaña 2024.



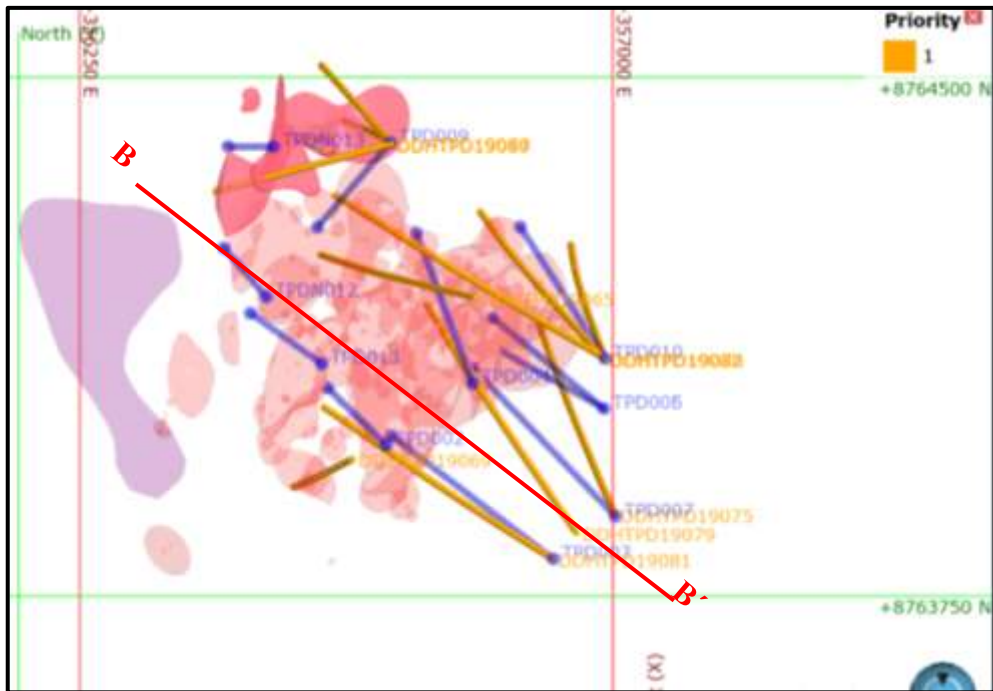
Nota: Fuente propia realizadas en Leapfrog-Geo.

Figura 79. Sección A-A', distribución de sondajes ejecutados (prioritarios) y sondajes por ejecutar campaña 2024 – zona La Tapada.



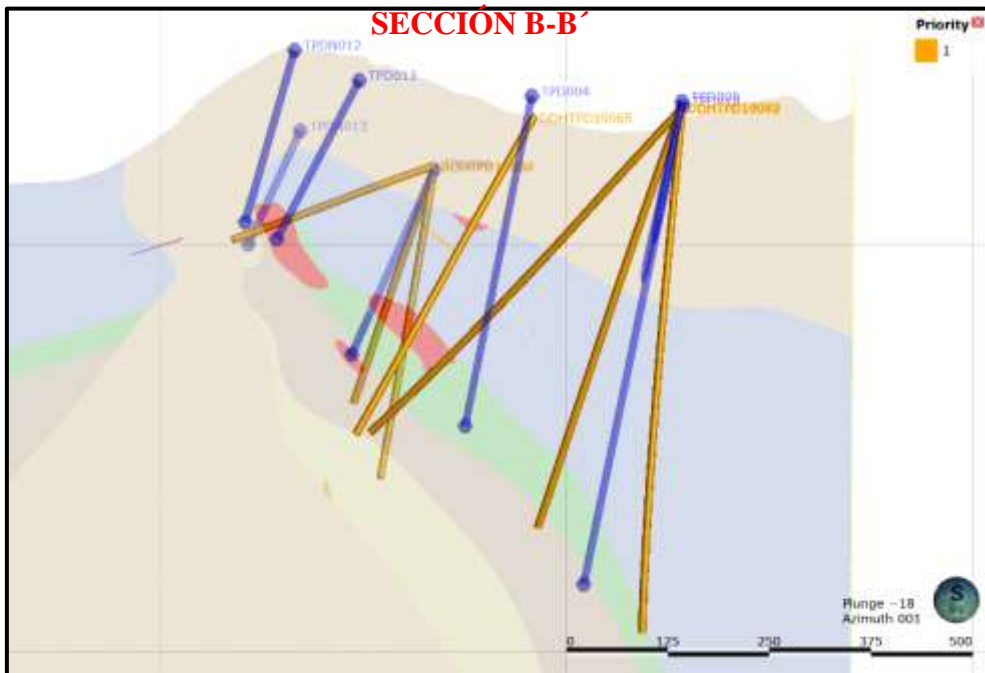
Nota: Fuente propia realizadas en Leapfrog-Geo.

Figura 80. Vista en planta de sondajes ejecutados prioridad 1 y sondajes por ejecutar campaña 2024, línea de sección B-B'; zona La Tapada.



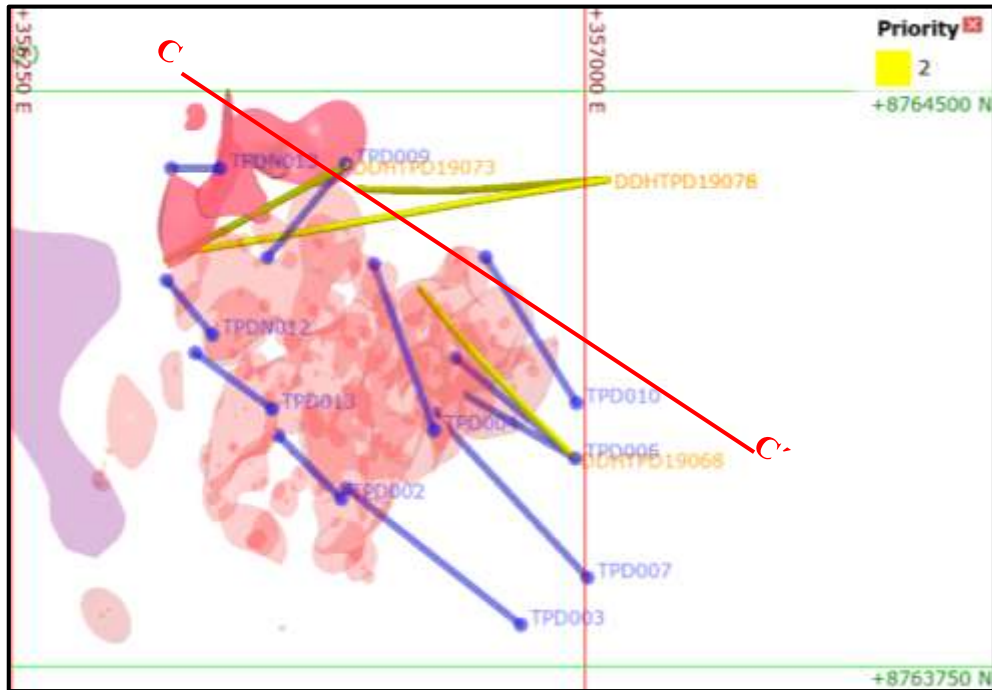
Nota: Fuente propia realizadas en Leapfrog-Geo.

Figura 81. Sección B-B' de sondajes ejecutados prioridad 1 y sondajes por ejecutar campaña 2024 .



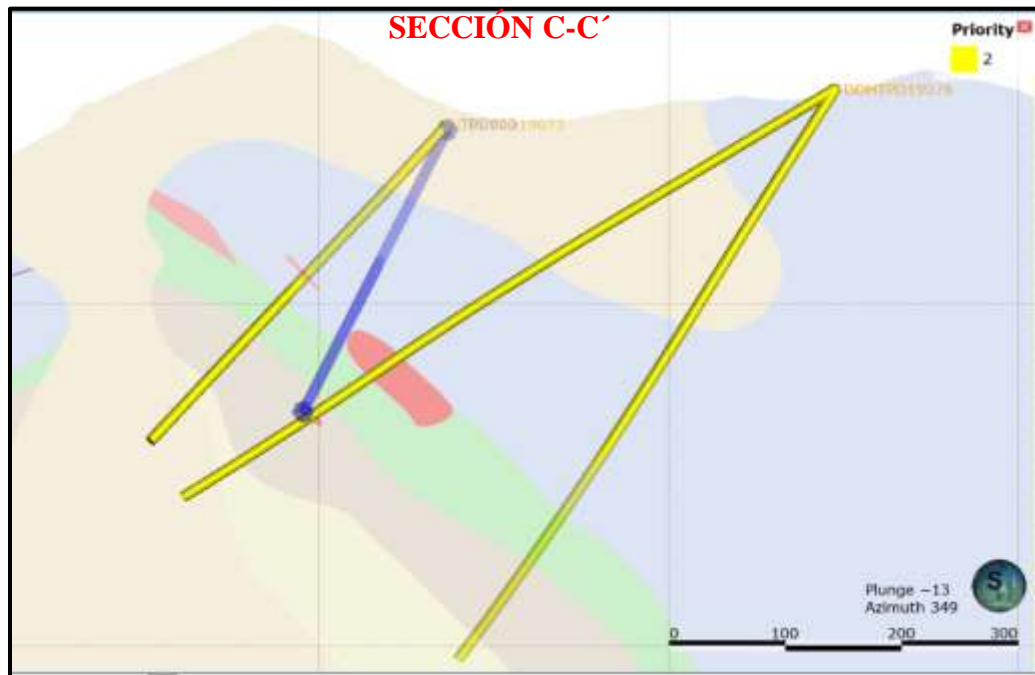
Nota: Fuente propia realizadas en Leapfrog-Geo.

Figura 82. Vista en planta de sondajes ejecutados prioridad 2 y sondajes por ejecutar campaña 2024, línea de sección C-C'; zona La Tapada.



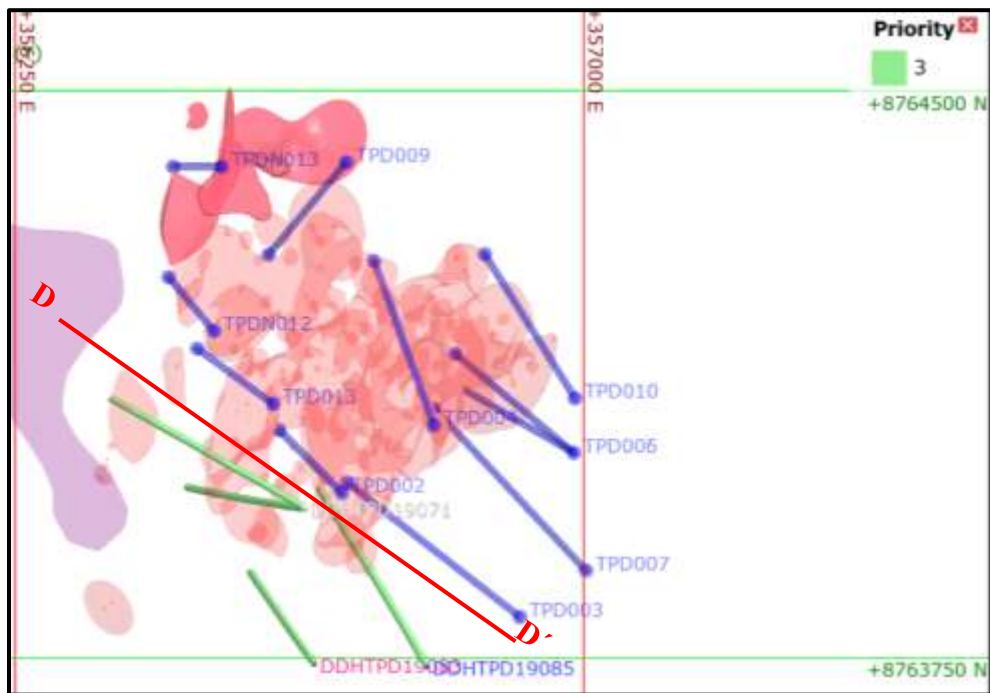
Nota: Fuente propia realizadas en Leapfrog-Geo.

Figura 83. Sección C-C' de sondajes ejecutados prioridad 2 y sondajes por ejecutar campaña 2024 .



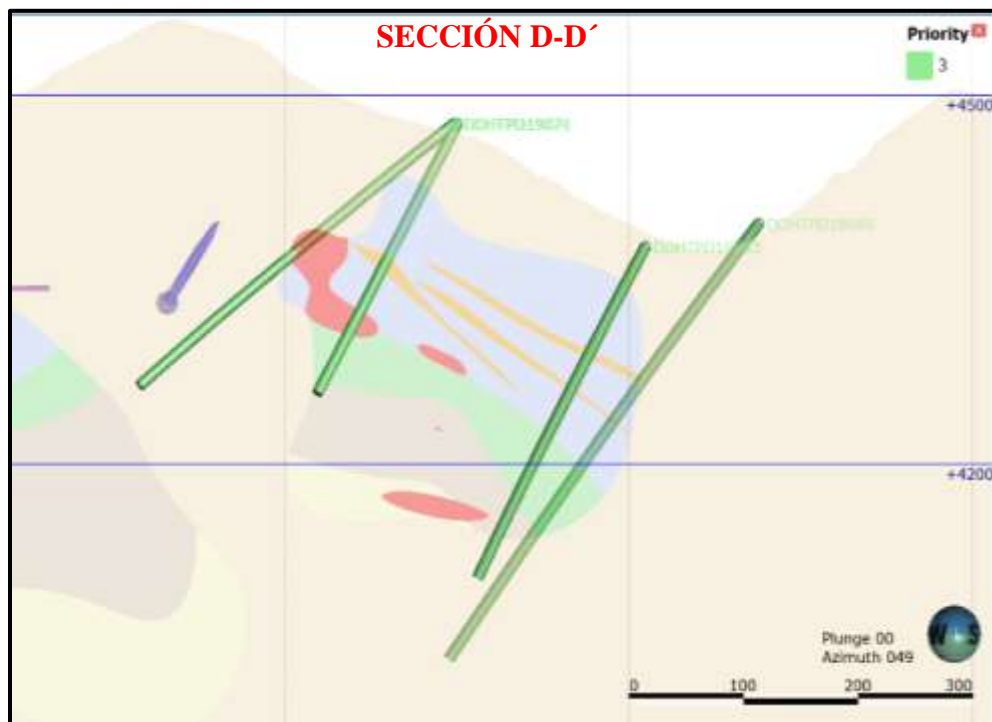
Nota: Fuente propia realizadas en Leapfrog-Geo.

Figura 84. Vista en planta de sondajes ejecutados prioridad 3 y sondajes por ejecutar campaña 2024, línea de sección D-D'; zona La Tapada.



Nota: Fuente propia realizadas en Leapfrog-Geo.

Figura 85. Sección D-D' de sondajes ejecutados prioridad 3 y sondajes por ejecutar campaña 2024.



Nota: Fuente propia realizadas en Leapfrog-Geo.

Tabla 25. Lista de sondajes campaña 2019 y sus prioridades para la nueva campaña de relagueo geomecánico.

Sondaje 2019	Zona	Metraje Total	Sondaje de Respaldo 2024	Prioridad
DDH TPD19065	Tapada	452.20	TPD006	1
DDH TPD19066	Tapada	400.00	TPD009	1
DDH TPD19067	Tapada	311.25	TPD009	1
DDH TPD19069	Tapada	337.05	TPD002	1
DDH TPD19070	Tapada	286.45	TPD009	1
DDH TPD19072	Tapada	566.80	TPD010	1
DDH TPD19075	Tapada	824.50	TPD007	1
DDH TPD19079	Tapada	603.70	TPD007	1
DDH TPD19080	Tapada	650.20	TPD010	1
DDH TPD19081	Tapada	507.20	TPD003	1
DDH TPD19082	Tapada	549.85	TPD010	1
DDHTPD19068	Tapada	613.80	TPD005	2
DDHTPD19073	Tapada	405.35	TPD009	2
DDHTPD19076	Tapada	669.75	TPD005	2
DDHTPD19078	Tapada	601.15	NT	2
DDHTPD19071	Tapada	270.75	NT	3
DDHTPD19074	Tapada	362.85	NT	3
DDHTPD19083	Tapada	308.10	NT	3
DDHTPD19085	Tapada	448.50	NT	3
	Total	9169.45		

Nota: Fuente propia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTO GONZALES, D., & MARTÍNEZ, C. P. (2020).** *Caracterización geomecánica de suelos y rocas.*
- BIENIAWSKI, R. Z. (2011).** *Errores en la aplicación de las clasificaciones geomecánicas y su corrección.*
- BROGGI, J. (1927).** *La industria carbonera en el centro del Perú. En Síntesis de la minería peruana en el centenario de Ayacucho (t. 2, pt. 2, pp. 1–93). Ministerio de Fomento.*
- COBBING, J., QUISPESIVANA, L., & PAZ, M. (1996).** *Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores (Boletín N° 77). INGEMMET.*
- DZUL ESCAMILLA, M. (2010).** *Aplicación básica de los métodos científicos: Diseños de investigación.*
- GIAFFERI, J.-L. (2003).** *Characterisation of rock masses useful for the design and the construction of underground structures.*
- HARRISON, J. V. (1953).** *Geología de la zona del camino Canta – Huayllay.*
- INDIAN BUREAU OF MINES. (2014).** *Application of rock mechanics in surface and underground mining.*
- MARROQUÍN PEÑA, R. (2013).** *Confiabilidad y validez de instrumentos de investigación.*
- MARROQUÍN PEÑA, R. (2023).** *Confiabilidad y validez de instrumentos de investigación.*
- PITEAU ASSOCIATES S.A.C. (2021).** *Descripción general del registro geomecánico de testigos diamantinos orientados.*
- PRIEST, S. D., & HUDSON, J. A. (1976).** *Rock mechanics: Mine science & geomechanics.*
- RAMÍREZ, P. O., & ALEJANO, L. M. (2004).** *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes.*
- SUÁREZ-BURGOA, L. O. (2015).** *Descripción del macizo rocoso: Introducción a la ingeniería de rocas en superficie y subterránea (2.ª ed.).*
- VELÁSQUEZ, C., DÍAZ, M., ESPINOZA, S., BERNAOLA, R., FARFÁN, C., & FONBOTÉ, L. (2019).** *Estadios de mineralización en el yacimiento cordillerano polimetálico Carhuacayán, Perú Central: Su aplicación para modelar recursos y definir nuevos targets de exploración.*
- WILSON, J. (1963).** *Estratigrafía cretácica de los Andes centrales del Perú.*
- ZAPATA, C. J. (2011).** *Confiabilidad en ingeniería (1.ª ed., p. 13).*
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. (2010).** *Metodología de la investigación.*

ANEXOS

ANEXO 1: Gráfica de grado de fracturamiento.



Nota: Fuente Piteau 2021.

ANEXO 2: Clasificación visual del grado de alteración.



A - Suelo Residual/Zona de Falla - La textura original de la roca se encuentra destruida.



B - Completamente intemperizada/alterada - Se observa remanentes de la textura original y estructuras relicticas de la roca, pero la roca se descompone y es friable.



C - Altamente intemperizada/alterada - La roca se decolora y el esfuerzo se reduce significativamente debido al intemperismo.



D - Moderadamente intemperizada/alterada - La roca se decolora pero el esfuerzo solo se afecta débilmente - discontinuidades intemperizadas.



E - Débilmente intemperizada/alterada - El esfuerzo de la roca no cambia - el intemperismo solo afecta a las fracturas.



F - Fresca e inalterada - La alteración puede resultar en un incremento de la competencia de la roca (silicificación).

Nota: Fuente Piteau 2021.

ANEXO 3: Formato de logueo geomecánico principal.

Datos Sondaje																											
Código Sondaje	DDHTPD19065	Coordenadas (Collar)										Longitud Prog. (m)	Objetivo														
		Este	Norte		Azimuth	Inclinación	Elevación																				
Fecha	Descripción Litológica		Índice de Resistencia (GSI) 2000		Desde (m)	Hasta (m)	Datos del Intervalo Recuperado										Parámetros de Fracturas para IRMR (Laubscher '90)		Comentarios								
	Litología	Alteración	Min.	Max.			Longitud de corrida (m)	Recup. (m)	RQD (m)	Dureza Estimada (ISRM 1981) (R)	Longitud de RocaFract. (m)	Zonas LRF	Número de Fracturas			Formula Grado de F	Grado de Fract.	Grado de Alt.		Frecuencia de Fracturas		Espaciamiento (m)		Jn	IRS (Resist. Estimada)	FF/m = (FF/Corrida /L de Corrida); Jn	
13/11/2021	Q	NP	10	20	0.00	1.50	1.50	1.50	0.00	R0	1.5	1	31	0	0	4.83871	B+	A	20.6667	RT	0.0483871	5	20	0	2	Material fluvioglacial	
13/11/2021	Q	NP	10	20	1.50	2.70	1.20	1.20	0.00	R0	1.2	1	25	0	0	4.8	B+	A	20.8333	RT	0.048	5	20	0	2	Material fluvioglacial	
13/11/2021	Q	NP	10	20	2.70	4.20	1.50	1.10	0.00	R0	1.1	0	22	0	0	5	B+	A	14.6667	RT	0.0681818	8	20	0	7	Material fluvioglacial	
13/11/2021	Q	NP	10	20	4.20	5.60	1.40	1.20	0.00	R0	1.2	0	24	0	0	5	B+	A	17.1429	RT	0.0583333	5	20	0	5	oxidación y arcillas.	
13/11/2021	Q	NP	10	20	5.60	6.40	0.80	0.80	0.00	R0	0.8	0	16	0	0	5	B+	A	20	RT	0.05	5	20	0	5	oxidación y arcillas.	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	6.40	7.10	0.70	0.70	0.70	R3.5	0	0	0	2	5	10	C+	D-	2.85714	1F	0.35	10	2	5	24	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	40	50	7.10	8.50	1.40	1.40	1.19	R3	0.16	1	4	5	3	11.6667	D-	D-	6.42857	1F+A	0.1555556	8	3	4	18	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	40	50	8.50	10.00	1.50	1.50	1.23	R3	0.1	1	3	7	5	10	C+	C	6.66667	1F+A	0.15	8	3	4	18	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	10.00	11.50	1.50	1.50	1.46	R3.5	0	0	0	3	7	15	D	D-	2	1F+A	0.5	10	3	5	26	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	11.50	13.00	1.50	1.50	1.30	R3.5	0.2	1	5	0	10	10	C+	D	3.33333	3F+A	0.3	10	12	5	15	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	13.00	14.45	1.45	1.45	1.31	R3.5	0	0	0	6	5	13.1818	D-	D-	4.13793	1F+A	0.2416667	10	3	5	21	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	14.45	16.05	1.60	1.60	1.40	R3.5	0.2	1	5	2	8	10.6667	D-	D-	4.375	2F+A	0.2285714	10	6	5	18	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	16.05	17.65	1.60	1.60	1.60	R3.5	0	0	0	4	11	10.6667	D-	C+	2.5	1F+A	0.4	10	3	5	24	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	17.65	19.25	1.60	1.60	1.39	R3	0.21	1	5	4	8	9.41176	C+	C+	5.625	2F+A	0.1777778	8	6	4	15	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	60	70	19.25	20.85	1.60	1.60	1.53	R3	0.07	1	2	0	14	10	C+	C+	1.25	A	0.8	15	1	4	28	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	40	50	20.85	22.45	1.60	1.60	1.39	R3	0.21	1	5	2	5	13.3333	D	C+	4.375	1F	0.2285714	10	2	4	21	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	22.45	24.05	1.60	1.60	1.60	R3	0	0	0	3	11	11.4286	D-	D-	1.875	1F+A	0.5333333	10	3	4	26	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	70	80	24.05	25.65	1.60	1.60	1.60	R3	0	0	0	0	12	13.3333	D	D-	0.1	A	10	20	1	4	40	Tramo normal, inta	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	25.65	27.25	1.60	1.60	1.33	R3	0.24	1	5	3	13	7.61905	C	C	5	1F+A	0.2	10	3	4	21	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	60	70	27.25	28.85	1.60	1.60	1.60	R3	0	0	0	2	11	12.3077	D-	C+	1.25	A	0.8	15	1	4	28	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	OX	50	60	28.85	30.45	1.60	1.60	1.42	R3	0.18	1	4	2	22	5.71429	C-	C+	3.75	1F	0.2666667	10	2	4	21	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	ARG	50	60	30.45	32.05	1.60	1.60	1.60	R2.5	0	0	0	1	12	12.3077	D-	C+	0.625	A	1.6	15	1	3	34	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	ARG	50	60	32.05	33.65	1.60	1.60	1.48	R2.5	0.12	1	3	4	18	6.4	C-	C+	4.375	1F+A	0.2285714	10	3	3	21	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	ARG	50	60	33.65	34.75	1.10	1.10	1.10	R3	0	0	0	3	9	9.16667	C+	C+	2.72727	1F	0.3666667	10	2	4	24	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	ARG	50	60	34.75	36.00	1.25	1.25	1.25	R3	0	0	0	1	9	12.5	D-	C+	0.8	A	1.25	15	1	4	34	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	ARG	50	60	36.00	37.20	1.20	1.20	1.20	R3	0	0	0	5	13	6.66667	C-	D-	4.16667	2F	0.24	10	4	4	18	Tramo normal, cor	
13/11/2021	PDAC	ARG	40	50	37.20	38.80	1.60	1.60	1.34	R3	0.18	1	4	4	9	9.41176	C+	C+	5	1F+A	0.2	10	3	4	21	Tramo normal, cor	

Nota: Fuente base de datos Project. Carhuacayán.

ANEXO 4: Formato de logueo geomecánico detallado.

		Datos Discontinuidades					Parámetros Condición Fractura																								
FROM	TO	Profundidad (m)	Espaciamiento Disc	Tipo de Discont.	Estructura	Orientación	Alteración	Persistencia (m)	Rugosidad	Abertura (mm)	Tipo Relleno (Descripción)	Σ JC-RMR	Prom. por Corrida-RMR85	JR	JA	Prom. por Corrida-Q~JR	Prom. por Corrida-Q~JA	Sinuosidad		Rugosidad		Alteración de la roca		Relleno no Cementados		JC por corrida-MR	Prom por corrida-MRMR				
																		LR	FR	Alfa (°)	Beta (°)	Descompuesta	0	>20.0	0			Suave	0	>5.0	0
7.1	8.5	7.1		JN	0.00	1	50	Lig. Alterada	5	3.0-10.0	2	Ondulada	1	0.1-1.0	3	DH	Duro <5m	4	1.00	0.70	0.75	Alterada M	1	Cizallado duro fino	0.50	20.48					
		7.81		JN	0.00	1	20	Mod. Alterada	3	10.0-20.0	1	Ondulada	1	>5.0	0	DH	Blando >5	0	0.95	0.65	1.00	Alterada M	1	Cizallado blando fino	0.50	12.75					
		7.81	0	FF	0.16	4		Muy alterada	1	10.0-20.0	1	Ondulada	1	>5.0	0	DH	Arindo >5	0	0.90	0.60	0.75	Alterada M	0.8	elb. Arcillosa > Persistencia de Dis	0.30	5.74					
		7.97		JN	0.00	1	25	Mod. Alterada	3	3.0-10.0	2	Ondulada	1	>5.0	0	DH	Blando >5	0	0.85	0.55	0.75	Alterada M	1	Cizallado blando fino	0.50	12.75					
		8.02	0.05	JN	0.00	1	35	Lig. Alterada	5	3.0-10.0	2	Ondulada	1	0.1-1.0	3	DH	Duro <5m	4	0.85	0.70	0.75	Alterada M	1	Cizallado duro fino	0.50	20.48					
		8.50		JN	0.00	1	35	Mod. Alterada	3	3.0-10.0	2	Ondulada	1	>5.0	0	DH	Arindo >5	0	0.80	0.55	0.75	Alterada M	1	Cizallado blando fino	0.50	12.75					
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
					0.21	0.08	0.16	4		ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
		8.5	10	8.56		JN	0.00	1	30	Mod. Alterada	3	10.0-20.0	1	Rugosa	5	1-5.0	1	DH	Blando <5	1	0.85	0.80	0.80	Alterada M	1	Cizallado blando medio	0.60	16.32			
				8.96		JN	0.00	1	30	Mod. Alterada	3	10.0-20.0	1	Rugosa	5	1-5.0	1	DH	Blando <5	1	0.85	0.80	0.80	Alterada M	1	Cizallado blando medio	0.60	16.32			
9.04	0.08			JN	0.00	1	45	Mod. Alterada	3	10.0-20.0	1	Rugosa	5	1-5.0	1	DH	Blando <5	1	0.85	0.80	0.80	Alterada M	1	Cizallado blando medio	0.60	16.32					
9.16				JN	0.00	1	55	Muy alterada	1	10.0-20.0	1	Rugosa	5	1-5.0	1	DH	Blando <5	1	0.85	0.80	0.80	Alterada M	1	Cizallado blando medio	0.60	16.32					
9.27	0.03			JN	0.00	1	70	Mod. Alterada	3	10.0-20.0	1	Suave	0	1-5.0	1	DH	Blando <5	1	0.8	0.60	0.60	Alterada M	1	Cizallado blando fino	0.50	9.60					
9.41				JN	0.00	1	35	Muy alterada	1	10.0-20.0	1	Ondulada	1	1-5.0	1	DH	Blando <5	1	0.85	0.80	0.75	Alterada M	1	Cizallado blando fino	0.50	12.75					
9.41	0			FF	0.10	3		Mod. Alterada	3	3.0-10.0	2	Suave	0	1-5.0	1	DH	Blando <5	1	0.8	0.60	0.60	Alterada M	0.8	Cizallado blando fino	0.50	7.20					
9.90	0.39			JN	0.00	1	6	70	Lig. Alterada	5	10.0-20.0	1	Rugosa	5	1-5.0	1	DH	Duro <5m	4	0.85	0.80	0.80	Alterada M	1	Cizallado duro fino	0.50	21.76				
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
										ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	
					0.27	0.08	0.10	3		ERROR	ERROR	ERROR	ERROR	ERROR																	

Nota: Fuente base de datos Project. Carhuacayán.

ANEXO 5: Formato de logueo geomecánico detallado.

DATA DE PARAMETROS Y TABLAS PARA EL CALCULO DEL RMR																											
PROYECTO				CARHUACAYAN				NORTE (m)				8764181.51				HOJA :				1 DE 8				SONDAJE			
UBICACIÓN				JUNIN				ESTE (m)				356807.02				AZIMUTH (°)				284.25				DDHTPD19065			
								INCLINATION (°)				-59.84				FECHA:				10 5 19							
								ELEVACION (msnm)				4497.23				DIA MES AÑO											
								Longitud (m)				452.20															
DE (m)	HASTA (m)	CORRIDA (m)	TIPO DE ROCA	RECUPERACION (m)	RECUPERACION (%)	LONGITUD RQD (m)	RQD (%)	N° JUNTAS POR CORRIDA	PROFUNDIDAD DE LA JUNTA (m)	TIPO DE DISCONTINUIDAD	BUZ JUNTA ANGULO, a	DIR BUZ JUNTA ANGULO, b	UCS (rating)	RQD (rating)	ESPACIAMIENTO (rating)	PERSISTENCIA (rating)	APERTURA (rating)	RUGOSIDAD (rating)	MATERIAL DE RELLENO 1	MATERIAL DE RELLENO 2	MATERIAL DE RELLENO 3	TIPO DE RELLENO (rating)	ALTERACION (rating)	AGUA SUBTERRANEA (rating)	RMR 1989 (Total)	Observaciones	
0	1.5	1.50	Q	0.47	31		0						0												0		
1.5	2.7	1.20	Q	1.2	100		0						0													0	
2.7	4.2	1.50	Q	1.1	73		0						0													0	
4.2	5.6	1.40	Q	1.2	86		0						0													0	
5.6	7.1	1.50	Q/PORF_DAC	1.5	100	0.40	27	2	-	J	-	-	1	6	10	2	1	3	Arc	OxFe		1	2	10	36		
7.1	8.5	1.40	PORF_DAC	1.4	100	1.00	71	3	-	J	-	-	7	15	10	2	1	3	OxFe	Arc		1	2	15	56		
8.5	10	1.50	PORF_DAC	1.5	100	0.30	20	5.1	8.57	J	32.00	145.00	4	4	10	2	0	5	Cal	OxFe		0	2	15	42		
								2	9.07	J	36.00	135.00															
								3	9.24	J	50	200															
								4	9.33	J	53	182															
								5	9.46	J	33	145															
10	11.50	1.50	PORF_DAC	1.50	100	0.75	50	4.1	10.38	J	36	200	7	11	10	4	4	3	OxFe	Py	Arc	4	3	15	60.65		
								2	10.68	J	40	125															
								3	11.05	V	54	35															
								4	11.10	F	50	38															
11.5	13	1.50	PORF_DAC	1.50	100	0.70	47	1	12.35	J	52	10	12	10	15	4	4	3	OxFe			4	5	15	72		
13	14.45	1.45	PORF_DAC	1.45	100	0.55	38	1	14.14	J	30	10	10	8	15	4	1	5	OxFe			4	3	15	65		
14.45	16.05	1.60	PORF_DAC	1.60	100	0.40	25	1	15.52	V	10	85	4	6	10	2	0	5	Py			0	3	15	45		
16.05	17.65	1.60	PORF_DAC	1.60	100	0.20	13	2.1	16.32	V	32	110	4	3	8	2	0	5	Py	Arc		0	3	15	40		

Nota: Fuente base de datos Project. Carhuacayán.

ANEXO 6: Programa de perforación 2024 – zona La Tapada.

Drillhole	Easting	Northing	Elevation	Azimuth	Dip	Depth (m)
TPD002	356681.28	8763968.8	4486.69	315	67	300
TPD003	356915.97	8763804.4	4448.0041	308	50	450
TPD004	356802.651	8764058.03	4484.50846	340	57	425
TPD005	356987.121	8764021.6	4467.012	310	74	740
TPD010	356988.725	8764093.85	4483.6098	328	68	600
TPDN012	356512.247	8764182.95	4582.33016	320	65	220
TPDN013	356522.189	8764400.32	4547.61657	270	66	160
TPD009	356686.996	8764406.3	4499.67968	220	60	320
TPD006	356987.121	8764021.6	4467.012	300	77	800
TPD007	357003.06	8763865.94	4464.06444	317	67	750
TPD013	356590.436	8764086.15	4512.72715	306	55	220

Nota: Fuente base de datos Proyect. Carhuacayán.