



CONTROL CALIDAD DE SONDAJES GEOTÉCNICOS PARA EL PROYECTO RAJO INCA, CODELCO EL SALVADOR

Autora: María José Vergara Nieto

Profesores Guía: Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra
Profesores Comisión: Msc. Abraham Elías González Martínez
Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn.

RESUMEN

Con la ejecución y desarrollo de sondajes de Aire Reverso en el Material Quebrado y en Material *In Situ* y de sondajes de diamantina (diámetro HQ) con fines Geotécnicos y Geometalúrgicos, de la campaña de perforación 2023-2024 del Rajo Inca, División Salvador, se realiza la caracterización del macizo rocoso y los ensayos metalúrgicos para la actualización del modelo Geominero (Geológico, Geotécnico y Geometalúrgicos), como también la categoría de las reservas del yacimiento.

Debido a que se obtiene una gran cantidad de datos (cada dos metros), es necesario chequear en forma cruzada la consistencia del mapeo Geotécnico de sondajes diamantinos, para lo cual existe la necesidad crear protocolos de QA/QC que se ajusten al proyecto y así obtener una base con parámetros que logren dar la confianza, que sean auditables y, posteriormente, se vean plasmados en un modelo Geotécnico sólido y confiable.

El presente informe corresponde a un avance del 100% de revisión de los sondajes indicados, quedando los datos cargados en la plataforma Xilab.

Palabras Claves

Geotecnia, control de calidad, mapeo geotectónico, Rajo Inca, Xilab, El Salvador, sondajes diamantinos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

El objetivo de este trabajo es capturar información Geológica y Geotécnica con la finalidad de mejorar la matriz de sustentabilidad que exige la normativa corporativa para la operación de los años 2023 al 2027; de los sondajes Geotécnicos de manera que permitan actualizar y asegurar la viabilidad de los diseños mineros a lo largo de la vida operativa del Rajo Inca

1.2. Ubicación

El proyecto Rajo Inca se ubica en la III Región de Atacama, Comuna de Diego de Almagro (Figura 1), entre las coordenadas (Mina, locales) Pertenece a la División Salvador de Codelco Chile.



Figura 1. Ubicación Rajo Inca (AGD 2023-2024), División Salvador. Vértices del área comprometida en la campaña Infill Rajo Inca 2023-2024. P1: 18.500N-9.000E. P2: 21.000N-9.000E. P3: 21.000N-7.000E. P4: 18.500N, -7000E

1.3. Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todos aquellos que participaron en este largo proceso de realización de esta Memoria.

A la Universidad de Concepción y a cada uno de los profesores y funcionarios que forman parte del Departamento Ciencias de la Tierra, que son parte fundamental de la Carrera de Geología. Gracias por su dedicación, tiempo, paciencia y consejos, durante mis estudios y en mi proyecto.

Con mucho afecto agradezco a mi padre, madre y hermano, que gracias a su amor, apoyo incondicional y compañía permitieron este logro.

A mis tres hijos: Gustavo, Juan José y Micaela, que son el motor fundamental para llegar a todas mis metas en esta vida.

Finalmente, quiero dar las gracias a todos aquellos que, con una palabra, una frase casual, me impulsaron a dar un paso más para llegar a donde estoy hoy.

2. METODOLOGÍA

Para efectuar este trabajo se realizó un Chequeo de los parámetros tomados durante el mapeo Geotécnico de sondajes diamantinos, analizando los parámetros Geotécnicos con los datos tomados hasta el mes de febrero de 2024 y se implementa una metodología de revisión, la cual es aplicada a cada sondaje, una vez finalizado el mapeo Geotécnico de éstos.

Se creó una cartilla de mapeo que incluyen todos los parámetros necesarios para el modelo. Esta cartilla es mapeada en el programa Xilab (Figura 2), en donde se describen algunas de las siguientes variables: RQD, Frecuencia de Fracturas (FF), GSI, IRS, grado de meteorización del macizo rocoso, set de estructuras con su propia caracterización (0° - 30° , 31° - 60° y 61° - 90°). Estas se caracterizan según su ángulo, cantidad, degradación de sus paredes, tipo de relleno, resistencia del relleno, grado de meteorización de las paredes, rugosidades. Otro ítem es de estructuras selladas y sus características, fracturas mecánicas, presencia de debilidades

como stockwork, vetillas, oquedades y finalmente cantidad de set de estructuras.

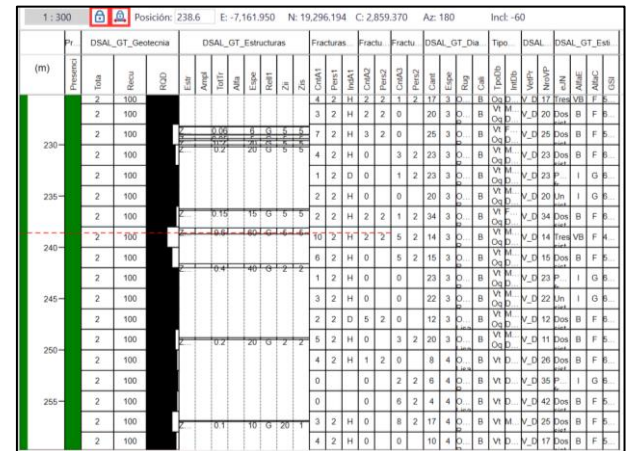


Figura 2. Mapeo Geotécnico en Xilab

Otra de las etapas del Proyecto Rajo Inca (PRI) incluyó el mapeo Geotécnico, que consistió en la captura de datos y parámetros definidos en conjunto con la empresa mandante, toma de muestras de probetas para mediciones de densidad además de ensayos geo-mecánicos y revisión de informes de medición de Televiewer.

Se revisaron los parámetros Geotécnicos mapeados hasta la fecha, que incluye a los sondajes DD1, DD2, DD3, DD4, DD5, DD6, DD7, DD8, DD9, DD10, DD11, DD12, DD113, DD14, DD15 y DD16. La revisión consistió en realizar estadísticas básicas de los parámetros Geotécnicos y efectuar un cruce entre los distintos datos para identificar potenciales inconsistencias en el mapeo y corregirlas.

Para lograr lo anterior se crearon tablas comparativas o de contingencia, ordenadas en forma que fueran fácilmente interpretadas, de manera que al quedar los valores formando una diagonal, serían 100% consistentes, siempre tengan en sus extremos sean iguales a cero (0).

Para todo lo anterior, se siguió el procedimiento de trabajo establecido, que permite agilizar los procesos de revisión, automatizando la validación de los parámetros, creando tablas y archivos de validación que permiten identificar y solucionar con mayor rapidez potenciales diferencias en los parámetros de mapeo.

3. RESULTADOS

3.1. Parámetros Geotécnicos Básicos (RQD, FF).

- **RQD (Rock Quality Designation):** Es un índice de calidad de la roca que evalúa el porcentaje de trozos de testigo mayores a 10 cm en tramo regularizado de roca. En la Tabla 1. se entregan las estadísticas globales de RQD, cuyo valor promedio es 92,2. La Tabla 2 tiene los valores de RQD desagregados por sondaje.

Tabla 1. Datos RQD Globales

n	largo	media	mediana	min	max	sd
2297	4.575,3	92,2	100	0	100	16,2

Tabla 2. Datos RQD por sondaje

Sondaje	n	largo	media	mediana	min	max	sd
DD 1	257	512,3	89,1	96,0	0,0	100	18,3
DD 2	135	270,0	87,9	97,5	8,0	100	20,7
DD 3	150	298,7	96,3	100,0	6,0	100	9,7
DD 4	190	379,1	93,1	100,0	0,0	100	16,3
DD 5	190	377,1	96,4	100,0	45,0	100	8,5
DD 6	134	265,5	867,0	96,5	0,0	100	23,4
DD 7	162	321,7	9,9	100,0	18,8	100	13,8
DD 8	105	207,8	98,9	100,0	85,0	100	2,8
DD 9	195	388,6	91,5	99,0	15,0	100	15,2
DD10	168	334,5	92,6	100,0	30,0	100	13,8
DD11	96	191,5	91,8	97,5	20,0	100	13,9
DD12	154	307,0	88,4	96,0	0,0	100	22,7
DD13	32	64,0	77,0	86,2	5,0	100	23,6
DD14	127	253,5	95,4	100,0	25,0	100	10,7
DD15	98	196,0	97,6	100,0	55,0	100	6,9
DD16	104	208,0	91,8	100,0	7,5	100	17,8

El sondaje DD8 presenta el valor promedio más alto de RQD, con un valor de 98,87, mientras que el valor más bajo se observa en el sondaje DD13, con 77. De acuerdo con estos valores se puede indicar que la roca posee rangos de calidades buena a muy buena.

FF (Frecuencia de Fracturas): Corresponde a la frecuencia de fracturas por metro de testigo. Los valores de FF desagregados por sondaje se encuentran en la Tabla 3, donde el valor promedio global de FF es 3,3 FF/m, valor promedio más alto de FF es 8,2 en el sondaje DD13 y el valor más bajo de 1,2 corresponde al sondaje DD8.

- **FF Desagregado por degradación del macizo rocoso:** En la Tabla 4 se pueden ver los valores de FF desagregados por degradación del macizo rocoso.
- **FF Desagregado por GSI:** La Tabla 5 contiene los valores del FF desagregado por clasificación de GSI.

Tabla 3. Datos FF por sondaje

Sondaje	n	largo	media	mediana	min	máx	sd
DD 1	257	512,3	4,1	3,0	0	60,0	5,5
DD 2	135	270,0	3,9	2,0	0	40,0	5,9
DD 3	150	298,7	2,5	2,0	0	40,0	3,7
DD 4	190	379,1	3,1	1,5	0	60,0	7,7
DD 5	190	377,1	1,5	0,5	0	11,5	2,1
DD 6	134	265,5	5,8	3,0	0	60,0	10,7
DD 7	162	321,7	2,7	1,5	0	25,0	3,8
DD 8	105	207,8	1,2	1,0	0	5,5	1,1
DD 9	195	388,6	2,9	2,0	0	27,5	3,5
DD10	168	334,5	3,2	2,5	0	17,0	2,7
DD11	96	191,5	3,2	2,5	0	22,5	3,4
DD12	154	307,0	5,8	3,0	0	60,0	11,9
DD13	32	64,0	8,2	6,2	2	45,0	7,8
DD14	127	253,5	2,0	1,5	0	19,5	2,5
DD15	98	196,0	1,6	1,0	0	12,0	2,1
DD16	104	208,0	3,2	1,5	0	42,5	6,4

Tabla 4. Datos FF desagregados por degradación de macizo rocoso

Degradación Macizo Rocosos	n	largo	media	mediana	min	mx	sd
Completamente degradada	10	20,0	60,0	60,0	60	60,0	0,0
Alta degradada	326	647,1	7,4	4,5	0	60,0	9,1
Moderadamente degradada	1.292	2.574,2	2,8	2,0	0	60,0	3,3
Ligeramente degradada	668	1.332,0	1,3	1,0	0	7,5	1,2
Roca fresca	1	2,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Tabla 5. FF Desagregado por clasificación GSI

Sondaje	n	largo	media_gsi	min_gsi	máx_gsi	sd_gsi
DD 1	257	512,3	64,8	27,5	92,5	12,8
DD 2	135	270,0	66,2	27,5	92,5	14,2
DD 3	150	298,7	66,8	32,5	82,5	8,2
DD 4	190	379,1	63,3	17,5	82,5	11,4
DD 5	190	377,1	67,3	32,5	82,5	10,0
DD 6	134	265,5	53,1	32,5	82,5	11,7
DD 7	162	321,7	65,5	37,5	77,5	8,7
DD 8	105	207,8	70,9	52,5	82,5	6,2
DD 9	195	388,6	67,2	27,5	82,5	11,0
DD10	168	334,5	66,6	32,5	82,5	12,1
DD11	96	191,5	62,4	22,5	72,5	11,1
DD12	154	307,0	57,5	22,5	72,5	11,8
DD13	32	64,0	52,3	27,5	72,5	12,9
DD14	127	253,5	61,3	32,5	72,5	10,3
DD15	98	196,0	67,7	32,5	77,5	8,5
DD16	104	208,0	61,9	22,5	72,5	11,8

3.2. Análisis del Índice de Esfuerzo Geológico (GSI).

- **GSI (Geological Strength Index):** El GSI es un sistema desarrollado por Hoek (1994) para evaluar la resistencia del macizo rocoso. Se basa en la observación de dos parámetros: RMS (Rock Mass Strength), que define el grado de blocosidad de la roca, y JC (Joint Condition), que define la condición de las discontinuidades.

Mediante estos dos parámetros se definen rangos numéricos de calidad (Figura 3).

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY					
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80		N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		70	60		
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets			50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

Figura 3. Cuadro para estimación de GSI.

Los valores de GSI globales (Tabla 6) y desagregados (Tabla 7) por sondaje, muestran respectivamente, que el valor medio de GSI observado de 64,1 y que, en los sondajes mapeados a la fecha, los valores medios observados varían desde un mínimo de 52,3 a un máximo de 70,9.

Tabla 6. Datos GSI Globales

n	largo	media_gsi	min_gsi	max_gsi	sd_gsi
2.297	4.575,3	64,1	17,5	92,5	11,8

Con estos valores se puede considerar como al macizo rocoso de calidad moderada a buena.

Tabla 7. Datos GSI desagregados por sondaje

Sondaje	n	largo	media_gsi	min_gsi	max_gsi	sd_gsi
DD 1	257	512,3	64,8	27,5	92,5	12,8
DD 2	135	270,0	66,2	27,5	92,5	14,2
DD 3	150	298,7	66,8	32,5	82,5	8,2
DD 4	190	379,1	63,3	17,5	82,5	11,4
DD 5	190	377,1	67,3	32,5	82,5	10,0
DD 6	134	265,5	53,1	32,5	82,5	11,7
DD 7	162	321,7	65,5	37,5	77,5	8,7
DD 8	105	207,8	70,9	52,5	82,5	6,2
DD 9	195	388,6	67,2	27,5	82,5	11,0
DD10	168	334,5	66,6	32,5	82,5	12,1
DD11	96	191,5	62,4	22,5	72,5	11,1
DD12	154	307,0	57,5	22,5	72,5	11,8
DD13	32	64,0	52,3	27,5	72,5	12,9
DD14	127	253,5	61,3	32,5	72,5	10,3
DD15	98	196,0	67,7	32,5	77,5	8,5
DD16	104	208,0	61,9	22,5	72,5	11,8

En un histograma con la distribución de valores de GSI mapeados (Figura 4), se puede observar que la mayor población de datos está entre los GSI 65 y 75 y tiene una leve asimetría hacia la izquierda, indicando que la roca posee un bajo fracturamiento y su calidad es buena.

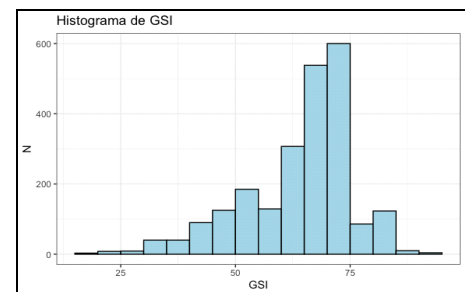


Figura 4. Histograma GSI

- **GSI-Análisis Blocosidad:** En términos de condición de blocosidad del GSI, los valores más abundantes registrados corresponden a intacto, seguido de fracturado en bloques, fuertemente fracturado, fracturado perturbado y perturbado. La Figura 5 muestra un gráfico de barras con los largos totales capturados en cada rango de blocosidad.

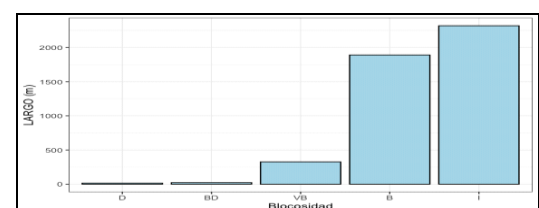


Figura 5. Distribución de Blocosidad

- **GSI-Análisis de Condición de Fracturas:** Los valores más abundantes del parámetro condición de fracturas del GSI, se encuentran en el rango bueno, regular, malo, muy bueno y muy malo

respectivamente. El gráfico de barras (Figura 6) contiene la distribución de largos mapeados en cada categoría de condición de fractura.

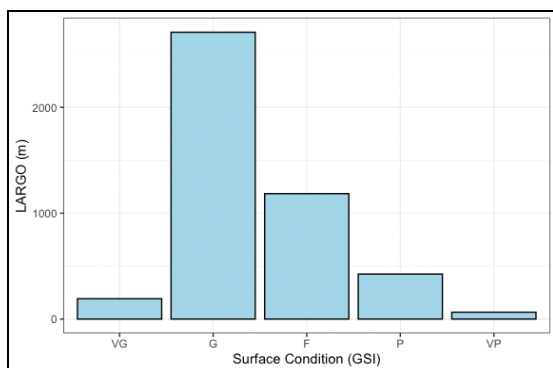


Figura 6. Condición de Fractura

- **FF y Condición de Fracturas:** Con los datos de FF desagregados por la condición de fractura extraída de la clasificación GSI (Tabla 8) se aprecia que mientras más mala es la condición de fractura del GSI, más alto es el valor medio de FF registrado.

Tabla 8. FF desagregado por condición de fractura GSI

J_Cond	n	largo	media	mediana	min	max	sd
VG	97	192,3	1,2	1,0	0,0	5,5	1,0
G	1.359	2.708,7	1,3	1,0	0,0	13,5	1,3
F	594	1.184,2	4,8	3,5	1,0	60,0	6,0
P	214	425,0	10,1	6,0	0,0	60,0	12,5
VP	33	65,1	16,6	14,5	6,5	42,5	9,2

- **FF y Sets de estructuras:** La Tabla 9 (Anexo) contiene un resumen del valor medio de FF desagregado por el número de sets de fracturas registrado, para la clasificación de GSI. Allí se aprecia que hay una relación concordante entre los sets registrados y el valor medio de FF.

3.3. Resistencia de la Compresión Simple (IRS),

- **IRS (Intact Rock Strength):** Dentro de los parámetros mapeados está la Resistencia de la Compresión Simple o IRS (por su denominación en inglés), que corresponde a una estimación de la resistencia de la roca intacta en megapascuales (MPa). La Figura 7 (Anexo), muestra un esquema de estimación de este parámetro en los sondeos.

En la distribución de rangos de IRS mapeados (Figura 8) se muestra un gráfico de barras con. Los rangos más abundantes mapeados corresponden a R4, seguidos de R3, R4.5, R2.5, R2, R1, R5 y R0 respectivamente.

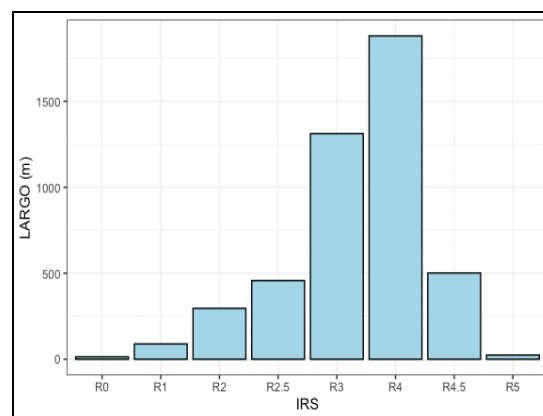


Figura 8: Gráfico de bloques de IRS en los sondeos

4. Revisión y Validación de Parámetros

A partir de la revisión de parámetros realizada, y después de regularizar el sondeo en tramos estándar cada 2 metros, debido a que la toma de muestra no puede superar ese metraje, así se puede subdividir el mapeo del sondeo e incorporar el tramo restante porque su largo es menor, se estableció una metodología de revisión de acuerdo a los requerimientos del cliente. A continuación, se detalla un punteo del proceso de revisión:

- Revisar la coherencia entre Largo Intervalo, Largo Recuperado, Largo Entero, Largo Triturado, Largo Molido y Total Recuperado.
- Revisar la coherencia entre Largo Entero y Largo RQD.
- Revisar RQD versus FF.
- Revisar la coherencia entre sistemas de fracturas mapeadas para el GSI y las fracturas contabilizadas en el tramo.
- Revisar la coherencia entre sistemas de fracturas mapeadas para el GSI y la blocosidad de este parámetro.
- Revisar la coherencia entre degradación del macizo rocoso e IRS.
- Revisar la coherencia entre espesor de rellenos de fracturas y el índice de alteración de las discontinuidades (parámetro Ja).
- Revisar la coherencia entre el parámetro alfa estructural de GSI y GSI numérico.
- Revisar coherencia entre pares RQD/FF mapeados (Gráfico de Hudson & Priest).

- **Validación de RQD y FF:** El Gráfico de Hudson & Priest (Figura 9) muestra para el global de datos acumulados durante la campaña. Se observa que los pares de RQD y FF mapeados se encuentran dentro de la banda recomendada.

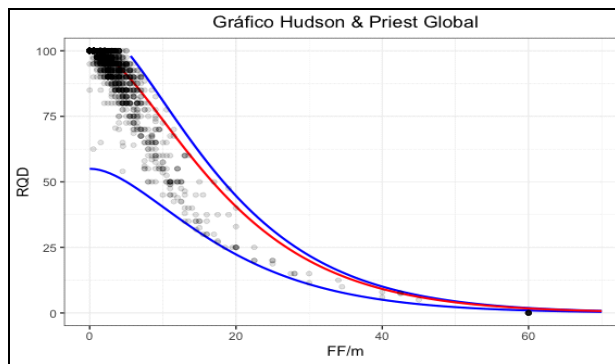


Figura 9. Gráfico de Hudson & Priest. Línea roja valores ideales de RQD vs. FF/m. Líneas azules: rango de tolerancia.

- **Validaciones Cruzadas:** En el contexto de revisión de los mapeos se realizan validaciones cruzadas entre distintos parámetros de mapeo, los cuales deberían ser coherentes entre sí.
- **Comparación Blocosidad y ALFA Estructural:** Existen dos pestañas de mapeo en la cartilla donde se registra la clasificación de GSI. Los parámetros de Blocosidad y ALFA Estructural son equivalentes por lo que los datos en la tabla de contingencia (Tabla 10) deberían registrarse únicamente en la diagonal de ésta.

Tabla 10. Blocosidad y ALFA Estructural.

Alfa Estructural	I	B	VB	BD	D
Intacta o Masiva	1.164	0	0	0	0
Blocosa	0	949	0	0	0
Muy Blocosa	0	0	164	0	0
Blocosa Veteada	0	0	0	12	0
Desintegrada	0	0	0	0	8

- **Comparación Condición de Fractura y ALFA Condición:** Similar al caso anterior, la Tabla 11 muestra la comparación entre la pestaña de condición de fractura de GSI y el ALFA condición, las cuales deberían ser idénticas, encontrándose los valores en la diagonal de la tabla.

Tabla 11. Comparación Condición de Fractura GSI y ALFA Condición.

Alfa Condición	VG	G	F	P	VP
Muy Buena	97	0	0	0	0
Buena	0	1.359	0	0	0
Regular	0	0	594	0	0
Mala	0	0	0	214	0
Muy Mala	0	0	0	0	33

- **Comparación GSI Numérico y Rango:** Continuando con lo expuesto anteriormente, los rangos numéricos de GSI de ambas tablas deberán ser concordantes, como se expone en la Tabla 12 (anexo).

- **Comparación GSI Clasificación y Rango:** En la Tabla 13 (anexo) se verifica que el rango numérico de GSI y la clasificación categórica sean concordantes y no existan valores escapados.

- **Comparación Set de Fracturas y Blocosidad:** La comparación entre el parámetro blocosidad del GSI y los sets de fracturas identificados se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Comparación Sets de fracturas y Blocosidad.

Sets	I	B	VB	BD	D
Sin fracturas (Masiva)	287	0	0	0	0
Pocas fracturas aleatorias (Sin formar set)	508	0	0	0	0
Un sistema de fracturas	159	0	0	0	0
Un sistema de fracturas más una aislada	210	0	0	0	0
Dos sistemas de fracturas	0	541	0	0	0
Dos sistemas de fracturas más una aislada	0	387	0	0	0
Tres sistemas de fracturas	0	21	82	3	0
Tres sistemas de fracturas más una aislada	0	0	74	7	3
Cuatro sistemas de fracturas, fisuración intensa tipo Cubo	0	0	8	0	1
Roca triturada, terregal	0	0	0	2	4

- **Comparación Condición de fracturas GSI y Degradación de Paredes:** En la contingencia entre el parámetro Degradación de Paredes de la pestaña "Diaclasas" y el GSI o condición de fractura (Tabla 15), se debe procurar que no existan pares extremos, por ej.: la presencia de VG y "Completamente degradada".

Tabla 15. Tabla de Contingencia Condición de Fractura GSI-Degradación de Paredes.

Degradación de Paredes	VP	P	F	G	VG
Completamente degradada	0	1	0	0	0
Altamente degradada	26	96	217	276	0
Moderadamente degradada	0	79	266	526	48
Ligeración degradada	0	0	23	101	32

- **Espesor de relleno-Degradación de Paredes Fracturadas 0°-30°:** Para comparar los parámetros de espesor de relleno y degradación de paredes para fracturas en el rango 0°-30°, se usa la Tabla 16. En ella se observa la ausencia de pares extremos inconsistentes en las "esquinas" de la tabla.

Tabla 16. Espesor de Relleno-Degradación Paredes Fracturas 0°-30°.

Degradación de Paredes	> 5 mm	5 a 2 mm	2 a 1 mm	1 a 0,1 mm
Completamente degradada	2	0	0	0
Altamente degradada	189	279	0	0
Moderadamente degradada	0	322	425	0
Ligeración degradada	0	0	143	55

- Espesor de relleno vs índice alteración 0°-30°

En la comparación de los parámetros de espesor de relleno e índice de alteración para fracturas en el rango 0°-30° (Tabla 17), se debe verificar la ausencia de rellenos inconsistentes con el espesor declarado, de acuerdo a la cartilla de mapeo geotécnico.

Tabla 17. Espesor de Relleno vs Índice Alteración Fracturas 0°-30°.

Espesor	C	D	E	F	G	H	K	L	N	O
> 5 mm	0	0	0	0	0	0	17	167	3	3
5 a 2 mm	0	0	1	1	77	523	0	0	0	0
2 a 1 mm	13	607	66	0	0	0	0	0	0	0
1 a 0,1 mm	7	92	2	0	0	0	0	0	0	0
< 0,1 mm	1	22	0	0	0	0	0	0	0	0

- Espesor de Relleno vs Degradación de Paredes alfa-30°-60°: La comparación de los parámetros de espesor de relleno y degradación de paredes para fracturas en el rango 30-60 se realiza en la Tabla 18

Tabla 18. Espesor de Relleno-Degradación de Paredes Fracturas 30°-60°

Degradación de Paredes	> 5 mm	5 a 2 mm	2 a 1 mm	1 a 0,1 mm
Completamente degradada	4	0	0	0
Altamente degradada	106	229	0	0
Moderadamente degradada	0	199	370	0
Ligeración degradada	0	0	93	58

- Espesor de Relleno vs Índice Alteración 30°-60°: La Tabla 19, se comparan los parámetros de espesor de relleno e índice de alteración para fracturas en el rango 30°-60°.

Tabla 19. Espesor de Relleno-Índice de Alteración Fracturas 30-60°.

Espesor	C	D	E	F	G	H	K	L
> 5 mm	0	0	0	0	0	0	6	103
5 a 2 mm	0	0	0	1	47	380	0	0
2 a 1 mm	4	488	77	0	0	0	0	0
1 a 0,1 mm	14	81	2	0	0	0	0	0
< 0,1 mm	1	7	0	0	0	0	0	0

- Espesor de Relleno vs Degradación de Paredes alfa 60°-90°: En la Tabla 20, se comparan los parámetros de espesor de relleno y degradación de paredes para fracturas en el rango 60°-90°

Tabla 20. Espesor de Relleno-Degradación de Paredes Fracturas 60°-90°.

Degradación de Paredes	> 5 mm	5 a 2 mm	2 a 1 mm	1 a 0,1 mm
Completamente degradada	2	0	0	0
Altamente degradada	49	37	0	0
Moderadamente degradada	0	155	241	0
Ligeración degradada	0	0	96	40

- Espesor de Relleno vs Índice de Alteración 60°-90°: En la Tabla 21, se comparan los parámetros de espesor de relleno e índice de alteración para fracturas en el rango 60-90°.

Tabla 21. Espesor de Relleno-Índice de Alteración Fracturas 60°-90°.

Espesor	C	D	E	F	G	H	K	L	N
> 5 mm	0	0	0	0	0	0	3	44	2
5 mm a 2 mm	0	0	0	1	71	120	0	0	0
2 mm a 1 mm	6	327	24	1	0	0	0	0	0
1 a 0,1 mm	8	87	1	0	0	0	0	0	0
< 0,1 mm	0	10	0	0	0	0	0	0	0

- Degradación del Macizo Rocoso vs IRS: El macizo con alta degradación debería corresponderse con valores bajos de IRS e inversamente, el macizo con baja degradación debería corresponderse con valores altos de IRS. En la Tabla 22 se muestra el cruce entre datos de degradación de macizo rocoso, de la pestaña diaclasas con los datos de IRS mapeados.

Tabla 22. Degradación Macizo Rocoso-IRS.

Degradación del Macizo Rocoso	R0	R1	R2	R2,5	R3	R4	R4,5	R5
Completamente degradada	7	3	0	0	0	0	0	0
Alta degradada	0	43	112	123	48	0	0	0
Moderadamente degradada	0	0	36	106	545	581	24	0
Ligeramente degradada	0	0	0	0	67	362	227	12
Roca fresca	0	0	0	0	0	0	1	0

- Degradación macizo rocoso vs Condición de fractura (GSI): La Tabla 23 muestra el cruce de datos de degradación del macizo rocoso de la pestaña Geotecnia con el parámetro de condición de fractura (GSI). La condición de fractura más

competente está asociada a valores más bajos de degradación.

Tabla 23. Degradación Macizo Rocoso-Condición de Fractura GSI

Degradación del Macizo Rocoso	VP	P	F	G	VG
Completamente degradada	0	10	0	0	0
Alta degradada	33	115	131	47	0
Moderadamente degradada	0	89	429	774	0
Ligeramente degradada	0	0	34	538	96
Roca fresca	0	0	0	0	1

- **Rugosidad Escala Intermedia-Condición de Fractura (GSI):** En esta etapa se revisa que haya coherencia entre la rugosidad y la condición de fractura establecida por el GSI.

Tabla 24. Rugosidad Escala Intermedia-Condición de Fractura GSI.

Rugosidad Escala Intermedia	VP	P	F	G	VG
Plana Pulida o Estriada	1	3	2	0	0
Plana Lisa	17	56	43	0	0
Plana Rugosa	3	36	110	254	28
Ondulada Lisa	4	22	72	11	0
Ondulada Rugosa	1	59	271	590	43
Escalonada Lisa	0	0	1	0	0
Escalonada Pulida o Estriada	0	0	2	0	0
Escalonada Rugosa	0	0	7	46	9

5. Conclusiones

El análisis gráfico de los parámetros de mapeo geotécnico permite, por una parte, identificar las tendencias y controles geológicos del macizo rocoso y, por otra, retroalimentar y mejorar en forma continua la toma de datos geotécnicos.

Con los datos geotécnicos analizados hasta el momento, en la presente campaña, se puede interpretar que el macizo rocoso es de calidad moderada a buena, con baja frecuencia de fracturas, rocoso blocoso con *join condition* buena a regular.

Con estos índices es posible realizar una buena planificación y caracterización del modelo geotécnico y su posterior uso en el diseño del rajo, logrando precisión en los ángulos de taludes y zonas de más difícil acceso.

Para este análisis es imperioso efectuar una capacitación que permita asegurar una buena toma de datos, con un control calidad en el sondaje, chequeando que el geólogo tome de manera correcta los datos, sin olvidar que antes de esto, se necesita un control continuo de la sonda, revisando

el buen manejo del sondaje durante todo el proceso de perforación, con la finalidad de tener el dato más preciso posible.

Todos estos pasos llevan a una buena toma de datos, los cuales seguidos a todo el proceso de QA/QC, permiten tener datos de calidad, lo que se verá reflejado en un modelo geotécnico con un buen respaldo de información, confiable y auditable.

6. Referencias

- Barton, N.R.; Lien, R. & Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for desing of tunnel support. *Rock Mech.* **Vol. 6** N° 4: 189-239.1974.
- Bieniawski, Z. T. 1989. "Engineering Rock Mass Classification: A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil, and Petroleum Engineering. Wiley: 272 pp. New York.
- Deere, D.U. & Deere, D. W. 1988. The Rock Quality Designation (RQD) Index Practice Rock Classification System for Engineering Purposes, ASTM STP 984. Ed. Kirkaldie, L. American Society for Testing and Materials: 91-101. Philadelphia.
- Hoek, E. 1994. Strength of rock and rock masses. *ISRM News Journal*, **Vol. 2** N° 2: 4-16.
- Laubscher D.H. 1990. "A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design". *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, **Vol. 90** N° 10: 279-293.
- Marinos, P. & Hoek, E. 2000. GSI-A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. *Proc. GeoEng2000 Conference*: 1.422-1.442. Melbourne.

ANEXO

Evaluación de campo									
Descripción Resistencia		UCS (MPa)	Is ₅₀ (MPa)	Martillo	Navaja punta raya	Navaja punta golpe	Navaja filo raya	Uña raya	Dedo presión
R6	Ext. resistente	> 250	> 10	Solo se astilla	No	No	No	No	No
R5	Muy resistente	250 - 100	4 - 10	Se quiebra con dificultad después de varios golpes	No	No	No	No	
R4	Resistente	100 - 50	2 - 4	Se quiebra después de varios golpes	Raya superficial	—	No	No	No
R3	Moderadamente resistente	50 - 25	1 - 2	Se quiebra con dificultad después de un golpe			Muy difícil	No	No
R2+	Menos resistente	25 - 10	—	Se quiebra después de un golpe	Raya	Pequeño punto	Difícil	No	No
R2-	Débil	10 - 5		Se fragmenta de un solo golpe		Punto grande	Produce polvo	Raya superficial	No
R1+	Muy débil superior	5 - 3			Raya profunda		Produce fácilmente polvo en gran cantidad	Rayas	Rompe localmente
R1-	Muy débil inferior	3 - 1	—	Se desmenuza	Se corta en trozos	Penetra	Se puede pelar	Penetra	Rompe las esquinas
R0	Extremadamente débil	1 - 2.5			Penetra	—	Corta	Se desmenuza	
				(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Método de ensayo de campo				Índice de reacción					
(1) Reacción al geólogo + golpe de martillo				Alta Media Baja					
(2) Reacción al rayado con la punta de la navaja									
(3) Reacción al golpe con la punta de la navaja									
(4) Reacción al rayado con la hoja de la navaja									
(5) Reacción al rayado con la uña									
(6) Reacción a la presión del dedo									

Figura 7: IRS

Tabla 9. FF Desagregado por sets de estructuras asociados a GSI.

Est Conj Fracturas eJN	n	largo	media	mediana	min	máx	sd
Sin fracturas (Masiva)	287	567,9	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
Pocas fracturas aleatorias (Sin generar set)	508	1.014,5	0,8	0,5	0,0	2,0	0,4
Un sistema de fracturas	159	318,0	1,3	1,0	0,5	3,0	0,5
Un sist de fracturas más una aislada	210	418,5	1,9	2,0	1,0	7,5	0,6
Dos sistema de fracturas	541	1.077,0	3,2	2,5	1,0	17,5	2,0
Dos sistemas de fracturas más una aislada	387	772,2	4,9	4,0	0,0	34,5	3,3
Tres sistemas de fracturas	106	211,1	8,1	6,0	1,5	60,0	7,1
Tres sistemas de fracturas más una aislada	84	166,1	16,0	9,8	3,5	60,0	15,5
Cuatro sistemas de fracturas, fisuración intensa tipo Cubo	9	18,0	26,8	17,5	14,5	60,0	16,5
Roca triturada, terregal	6	12,0	60,0	60,0	60,0	60,0	0,0

