

**Uso de la clasificación
geomecánica utilizando el
método RMR para la
estimación preliminar de
los requerimientos de
sostenimiento de los taludes en el
cerro La Potra del Proyecto
Hidroeléctrico Bajo Frio,
República de Panamá.**



Abstract

In this project we applied geomechanics classification detail Rock Mass Rating (RMR) to estimate preliminary injunction sustaining the rock slopes of Cerro La Potra. Furthermore, it provides for a viable solution stability through shotcrete. The project aims is to determine the quality of the rock mass and strength parameters estimated for the support of the slopes of Cerro La Potra.

Within the methodology is first necessary to consider all variables RMR method, which are essentially the compressive strength of the rock, the index RQD (Rock Quality Designation), spacing of discontinuities, discontinuities status the presence of water in the rock mass and finally the orientation of the discontinuities. All these parameters are determined in situ research.

Generally the RMR geomechanics classification reported two conditions predominated medium quality and quality. The latter was presented at the bottom of the hill, which is normal since weathering is greater in the upper slopes.

The fiber-reinforced shotcrete with a thickness of 5 cm is the optimal solution for rock slopes of Cerro La Potra margin right from the point of view of RMR geomechanics classification

Resumen

En el presente proyecto se aplicó detalladamente la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) para la estimación del requerimiento preliminar de sostenimiento de los taludes de roca del cerro La Potra. Además, se estipula la una solución viable de estabilidad por medio del concreto lanzado. El objetivo del proyecto es determinar la calidad del macizo rocoso y estimar los parámetros de resistencia para el sostenimiento de los taludes del cerro La Potra.

Dentro de la metodología es necesario primeramente tomar en consideración todos las variables del método RMR , las cuales son esencialmente la resistencia a compresión simple de la roca, el índice RQD (Rock Quality Designation) , el espaciamiento de las discontinuidades, el estado de las discontinuidades, la presencia de agua en el macizo rocoso y por último la orientación de las discontinuidades. Todos estos parámetros se determinan de la investigación in situ.

De manera general la clasificación geomecánica RMR reportó dos condiciones donde predomino la calidad media y la calidad buena. Esta última se presentó en la parte inferior del cerro, lo cual es normal dado que la meteorización es mayor en los taludes superiores.

El concreto proyectado reforzado con fibras de un espesor 5 cm es la solución más optima para los taludes de roca del cerro La Potra margen derecha desde el punto de vista de la clasificación geomecánica RMR

Palabras claves: Clasificación geomecánica, RMR, concreto lanzado.

Uso de la clasificación geomecánica utilizando el método RMR para la estimación preliminar de los requerimientos de sostenimiento de los taludes en el cerro La Potra del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio, República de Panamá.

Cerdas Olaya Jonathan Mauricio
200856531

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Mayo 2013

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	5	Talud 2: Cerro La Potra.....	30
Resumen ejecutivo	6	Clasificación geomecánica RMR del	
Marco teórico	9	Talud 2: Cerro La Potra.	34
Clasificaciones geomecánicas.....	9	Talud 3: Cerro La Potra.....	35
Clasificación RMR	9	Clasificación geomecánica RMR del	
Caracterización de la matriz rocosa.....	11	Talud 3: Cerro La Potra.	45
Identificación.....	11	Talud 4: Cerro La Potra.....	46
Meteorización	12	Clasificación geomecánica RMR del	
Resistencia	13	Talud 4: Cerro La Potra.	49
Descripción de las discontinuidades.....	13	Talud 5: Cerro La Potra.....	49
Espaciado	14	Clasificación geomecánica RMR del	
Orientación.....	15	Talud 5: Cerro La Potra.	53
Rugosidad.....	16	Talud 6: Cerro La Potra.....	54
Abertura.....	18	Clasificación geomecánica RMR del	
Relleno.....	19	Talud 6: Cerro La Potra.	57
Continuidad.....	19	Talud 7: Cerro La Potra.....	57
Resistencia de las paredes de la		Clasificación geomecánica RMR del	
discontinuidad.....	20	Talud 7: Cerro La Potra.	62
Filtraciones.....	20	Talud 8: Cerro La Potra.....	62
Parámetros del macizo rocoso	21	Clasificación geomecánica RMR del	
Tamaño de bloque y grado de		Talud 8: Cerro La Potra.	76
fracturación	21	Talud 9: Cerro La Potra.....	77
Número y orientación de familias de		Clasificación geomecánica RMR del	
discontinuidades	23	Talud 9: Cerro La Potra.	79
Grado de meteorización.....	24	Clasificación geomecánica RMR de los	
Geología general	26	taludes del cerro La Potra margen derecha	
Introducción	27	79
Metodología	28	Concreto Lanzado.....	79
Resultados	29	Costo del concreto lanzado.....	81
Talud 1: Cerro La Potra	29	Análisis de Resultados	83
		Conclusiones	85
		Recomendaciones.....	86
		Apéndice.....	87
		Anexos.....	94
		Referencia.....	107

Prefacio

agradezco al Ingeniero Winnie Quiros, la Ingeniera Francia Vega y al técnico José Zamora por ser el soporte y guía del desarrollo del presente proyecto. Por último y no menos importante, dar mi agradecimiento al profesor Ingeniero Oldemar Ramírez , por dar su mayor esfuerzo para asesorar y transmitir sus conocimientos para el adecuado desarrollo del presente proyecto de graduación.

Los macizos rocosos como elementos naturales, son en sí, de mucha complejidad y variabilidad, en las cuales la necesidad de identificar o clasificar estos afloramientos radica en el tipo de obra de ingeniería a realizar. De ahí nace la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR), la cual es un mecanismo para indicar el grado de calidad del macizo rocoso de manera de inclusive establecer primeramente el tipo de excavación a efectuar así como la manera de garantizar dicha la estabilidad.

En el caso particular de los taludes del cerro La Potra margen derecha, estos se ubican lateralmente de la presa, lo cual a pesar que la presa está diseñada por gravedad , no es permitido en ninguna situación la inestabilidad de los taludes dado que generaría una condición adversa inclusive comprometiendo el estado de la presa y la casa de maquinas. Por esta razón, es necesario tener claro el estado o calidad del macizo rocoso y determinar si la solución definitiva es la adecuada para la estabilización y protección de los taludes.

El principal objetivo del presente proyecto es estimar preliminarmente la calidad del macizo rocoso y de los parámetros de resistencia para el sostenimiento de los taludes del cerro La Potra, los cuales se ubican en el margen derecha del P.H. Bajo Frio, Republica de Panamá, en la cual se aplicará el método de clasificación geomecánica RMR. Además se plantearan observaciones al posible tipo de soporte.

Finalmente, agradecer en primera estancia a Dios por apoyarme y bendecirme cada día de mi vida. Luego, agradecer a mi familia por apoyarme y alentarme en este gran reto llamado ingeniería en construcción. También

Resumen ejecutivo

Las clasificaciones geomecánicas tiene la gran finalidad de identificar la calidad de un determinado macizo rocoso conforme lo establece una serie parámetros los cuales proporcionan en síntesis una puntuación. En el caso de la clasificación RMR se concluye un índice característico de la roca, que permite obtener un valor aproximado de la cohesión y ángulo de rozamiento del afloramiento rocoso. Es una herramienta muy útil en el diseño y construcción de obras ya sea túneles, taludes o excavaciones, pero no se debe abusar con su utilización puesto que los macizos rocosos se deben analizar con mucha mayor profundidad especialmente en obras de gran magnitud. Durante la obra, la clasificación geomecánica facilita analizar la calidad del terreno conforme se efectúa la excavación y así tomar acciones en el sostenimiento en caso de ser necesario.

El tema de la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) es un tema de interés para la Escuela de Ingeniería en Construcción como para la empresa constructora FCC Construcción de Centroamérica, pues se desarrolló un tema que utiliza los conocimientos adquiridos del área de la mecánica de suelos y de la geología aplicada, cursos elementales del plan de estudios de la carrera de ingeniería en construcción. Por otro lado, para la empresa constructora se beneficia por la solución propuesta para la estimación del sostenimiento de los taludes del cerro La Potra margen derecha.

El objetivo general fue estimar la calidad del macizo rocoso con base en los parámetros de resistencia para el sostenimiento de los taludes del cerro La Potra del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio.

La descripción del macizo rocoso del cerro La Potra margen derecha en el Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio, consistió en la determinación de las características y propiedades en el campo de los taludes rocosos.

Para ello fue necesario identificar cada uno de los pasos del método de clasificación geomecánica RMR de forma que se obtuvo la estimación preliminar de los parámetros mecánicos del macizo rocoso. Cabe señalar que para la investigación in situ se utilizaron los siguientes equipos:

- Cinta métrica.
- Cámara.
- Piqueta o martillo de geólogo.
- Esclerómetro o martillo Schmidt para roca.
- Penetrómetro de suelo.
- Brújula.
- Estacas.
- Pintura en spray para identificar la estacas.

Una vez definido los equipos y materiales, se inició la indagación de los aspectos que requiere evaluar la clasificación geomecánica RMR. En términos generales los parámetros evaluados fueron la resistencia a compresión simple de la roca, el índice RQD (Rock Quality Designation) , el espaciamiento de las discontinuidades, el estado de las discontinuidades, la presencia de agua en el macizo rocoso y por último la orientación de las discontinuidades.

Cabe señalar que cada aspecto del RMR implicó a su vez mayor detalle tal como se describen en el apartado de marco teórico. Cada talud del cerro La Potra se identificó por medio de un número el cual en su totalidad correspondieron a nueve taludes. Cada talud a su vez se analizó por familias de discontinuidades por separado. Posteriormente, se realizó el promedio ponderado catalogando la puntuación final y la calidad de cada talud.

Inicialmente, los taludes del 2 al 5 y el talud 8 del cerro La Potra se compone de básicamente de roca tipo arenisca moderadamente meteorizada, donde como se

mencionó en el apartado de resultados se posee tres familias de discontinuidades de las cuales, una es favorable (familia principal) y dos son catalogadas de carácter medio debido a que en sí, no son desfavorables aunque influyen de manera más perjudicial por su buzamiento y dirección de buzamiento que la condición tipo favorable. Estos taludes obtuvieron un RMR de tres lo que indica que es un talud de calidad media. Dentro de sus características están que la cohesión es del rango de 2 a 3 kg/cm², con un ángulo de rozamiento de 25° a 35°.

Por otro lado, los taludes 5 y 6 obtuvieron una clasificación RMR de dos, lo que equivale a una categoría de buena. Esto implica que la roca de dicho taludes presentan una cohesión de 3 a 4 kg/cm², con un ángulo de rozamiento de 35° a 45°. Cabe señalar que el talud 6, está compuesto de una roca tipo arenisca en condición sana además los taludes 6 y 9 están formados por roca principalmente de tipo basalto, catalogada como roca sana.

En síntesis, la calidad de cada uno de los taludes se detalla en el cuadro 72, donde se presentó dos categorías media y buena.

Cuadro 72. Clasificación geomecánica RMR de los taludes de roca del cerro La Potra margen derecha.

Talud	Roca	RMR	Calidad
2	Arenisca	III	Media
3	Arenisca	III	Media
4	Arenisca	III	Media
5	Arenisca	II	Buena
6	Arenisca	II	Buena
7	Basalto	III	Media
8	Arenisca	III	Media
9	Basalto/Arenisca	II	Buena

Dada la condición de calidad del macizo rocoso, se procedió al planteamiento de la medida de estabilización requerida en los taludes del cerro La Potra, donde en este caso se utilizó el concreto lanzado reforzado con fibras.

Cuadro 73. Dosificación del concreto lanzado

Componentes de la mezcla de concreto	Peso en (kg/m ³)
Cemento Tipo HE	295
Agua	174
3/8"	824
Arena	1094
Polyheed 7530	4,50
Sika Fiber 65/35	40

Nota: En la sección de apéndice se agrega con mayor detalle el diseño del concreto proyectado.

El diseño del concreto proyectado presentó inconvenientes principalmente en la trabajabilidad debido al exceso de material pasante del tamiz N° 200. Sin embargo, la dosificación propuesta (cuadro 73) cumplió no solo en cuanto revenimiento reportando un valor de 20 cm en la planta de concreto, sino que además logró cumplir la especificación técnica acerca de la resistencia a compresión simple como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 75. Resistencias a compresión a 7 días de núcleos de concreto lanzado con fibra.

Número de muestra	Resistencia a compresión a los 7 días (kg/cm ²)
N-5	189,15
N-6	187,07
N-7	193,37
N-8	184,84
Promedio	188,61

Luego, el concreto lanzado en cuanto costo directo total reportó una suma de \$ 428,08 por metro cubico tal y como se aprecia en el cuadro 76. Este monto es viable pues la cantidad de cemento requerida fue mucho menor logrando una optimización del costo de manera que entró dentro del presupuesto estimado para el concreto proyectado.

Cuadro 76. Costo directo del concreto proyectado por metro cubico.

Material	Monto (\$)
Agregados triturados	26,17
Cemento	123,11
Fibra metálica	125,30
Aditivo Polyheed 7530	10,00
Producción del concreto	15,54
Maquinaria	7,96
Subcontrato	120,00
Costo directo total	428,08

El costo directo total del concreto lanzado entra dentro del presupuesto pues el dueño del proyecto hidroeléctrico (Fountain Intertrade Corp) paga por separado del cemento, donde para este tipo de concreto se estimó con el precio con 350 kg de cemento por metro cubico, lo cual se optimizó el costo de 55 kg de cemento por cada metro cubico

Por último, una vez elaborado la estimación preliminar de la calidad del macizo rocoso y de establecer se medida de estabilización se concluyó principalmente los siguientes aspectos:

- La calidad del macizo rocoso del cerro La potra determinada por medio de la clasificación geomecánica RMR indica que los taludes son autosoportantes.
- La excavación mecanizada fue apropiada debido a la condición de la perpendicularidad entre la discontinuidades y la excavación.
- La clasificación geomecánica no define la totalidad de la caracterización global del macizo rocoso..
- La trabajabilidad del concreto lanzado depende de manera sensible del cumplimiento de la granulometría del agregado fino según lo indica ASTM C33.
- La inclinación 1V:1H es apropiada para la estabilización de los taludes, de acuerdo a lo indicado al estudio efectuado.
- La dirección preferencial de los taludes del cerro La Potra presentan

dos tendencias predominantes la primera de un buzamiento promedio de 25°, dirección de buzamiento de 66° y la otra de un buzamiento de 72°, dirección de buzamiento de 176°.

Marco teórico

Clasificaciones geomecánicas

Los macizos rocosos, debido a su complejidad y variabilidad que presentan fue necesario para el ser humano simplificar de alguna manera las características y propiedades de estos. Con este propósito surgieron las clasificaciones geomecánicas, que se derivan para categorizar los macizos rocosos por medio de la observación directa en campo, así como por ensayos sencillos e índices de calidad que se relacionan con los parámetros geomecánicos para su aplicación ya sea en túneles, taludes o excavaciones en rocas. Dentro de las clasificaciones geomecánicas de mayor uso se encuentra la RMR, la cual se describe a continuación.

Clasificación RMR

Según el libro Ingeniería geológica (González de Vallejo, 2004), la clasificación RMR se define de la siguiente manera:

"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 y de excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, rock mass rating, que varía de 0 a 100". (Referencia 1)

Es de gran importancia para la aplicación de la clasificación geomecánica dividir el macizo rocoso en zonas donde el comportamiento es uniforme de manera que las áreas a analizar dependerá de esta condición. Otro aspecto de utilidad es tener definido un formato de toma de datos de manera que simplifique la observación directa y los ensayos en campo, además de recolectar toda la información necesaria para la clasificación geomecánica. En la sección de apéndice se agregan los formatos utilizados para la recopilación de datos en los taludes de roca del cerro La Potra.

En la sección de anexos se detalla en el cuadro 1, los aspectos que considera el método de clasificación geomecánica RMR donde en síntesis, toma en cuenta cinco aspectos (Resistencia de la matriz rocosa, RQD, estado de las discontinuidades y el agua freática) además se efectúa la corrección por orientación de discontinuidades de acuerdo lo indicado en el cuadro 2 de anexos. Una vez finalizado la valoración de los parámetros del cuadro 1 de anexos, se obtiene un valor numérico con el que se clasifica finalmente el macizo rocoso.

Cabe señalar que de la figura 1 a la figura 33 son imágenes tomadas del libro Ingeniería geológica de Luis González de Vallejo de manera que sea una mejor forma la explicación de cada uno de los temas relacionados a la clasificación geomecánica RMR.

En las figuras 1 a la 6 se presentan ejemplos de macizos rocosos correspondientes a las diferentes clases según el índice RMR.

En el Cuadro 4 de anexos se incluyen también las características del macizo con respecto al tiempo de mantenimiento y longitud de túnel sin entibar, así como la influencia de la orientación de las discontinuidades con respecto al talud.

La clasificación geomecánica tiene como gran ventaja proporcionar una respuesta de la estimación inicial del macizo rocoso a un bajo costo. Sin embargo es importante aclarar que macizos rocosos de alta meteorización o condiciones muy desfavorables no son aptas para una adecuada estimación por parte de la clasificación geomecánica, debido a que sobrevaloran las propiedades mecánicas y resistentes del macizo rocoso.



Figura 1. Macizos de clase I (RMR= 81-100), Dolomías Crétácicas de muy buena calidad. (Ferrer,2004)

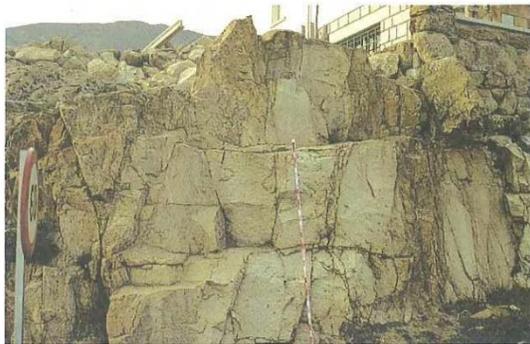


Figura 2. Macizos de clase II (RMR= 61-80), Granito de buena calidad. (Ferrer,2004)

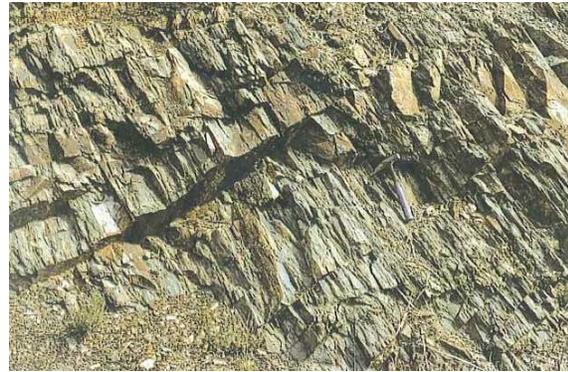


Figura 3. Macizos de clase III (RMR= 40-60), Pizarras ordovícicas de media calidad. (Ferrer,2004)



Figura 4. Macizos de clase III (RMR= 40-60), Cuarcitas ordovícicas de media calidad. (Ferrer,2004)



Figura 5. Macizos de clase IV (RMR= 21-40), Cuarcitas ordovícicas de mala calidad. (Ferrer,2004)



Figura 6. Macizos de clase V (RMR= ≤ 20), Pizarras paleozoicas de muy mala calidad. (Ferrer,2004)

Caracterización de la matriz rocosa

Los aspectos a evaluar en campo son los siguientes:

- Resistencia a compresión simple.
- Identificación.
- Meteorización o alteración.

En la figura 7, se ilustra el equipo necesario para la valoración en campo de la clasificación geomecánica RMR.

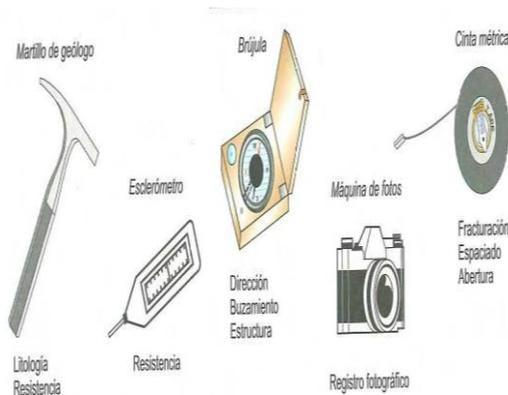


Figura 7. Equipo necesario para la clasificación geomecánica RMR. (Ferrer,2004)

Identificación

La identificación en campo es el primer paso para clasificar o categorizar una roca. Se toma como base destacar ciertas propiedades que posee toda roca, las cuales son:

- Forma y tamaño de los granos.
- Color y transparencia.
- Composición mineralógica.
- Dureza.

Es una buena práctica limpiar la roca retirando la capa superficial. Una vez efectuado la limpieza se procede a la determinación de composición mineralógica, este paso es de mayor complejidad, pero es factible el uso de una lupa para facilitar de alguna manera este aspecto. La identificación detallada de los minerales requiere un estudio petrográfico mediante lámina delgada, esto en caso de ser necesario.

La identificación de la roca se completa definiendo el tamaño de grano y el color. Con respecto al tamaño de grano se toma como parámetro el cuadro 1 el cual muestra los intervalos de tamaño reconocidos internacionalmente. La edición del grano se efectúa ya sea de una regla o con un comparador de tamaño.

Cuadro 1. Clasificación del tamaño de grano de las rocas

Descripción	Tamaño del grano	Equivalencia con los tipos de suelo
Grano grueso	> 2 mm	Gravas
Grano medio	0,06-2 mm	Arenas
Grano fino	< 0,06 mm	Limos y arcillas

(ISRM, 1981)

El color de una roca es otro mecanismo para identificar una roca. El color depende de los minerales que la conforman. Algunos minerales tienen un color distintivo, pero frecuentemente contienen sustancias o impurezas que lo modifican. Existen cartas que establecen una guía de manera que sea más objetiva la identificación.

La variación de color de una roca implica que esta ha sufrido algún grado de meteorización. Cuando la roca no ha sufrido procesos de modificación y presenta su color original y característico, se establece como una roca sana. La transición en la coloración puede afectar a todos los minerales constituyentes o solo a algunos, aspecto que debe mencionarse en la identificación.

La dureza es otra propiedad directamente relacionada con la resistencia que posee la

roca. Es común utilizar la escala de Mohs, la cual va de un valor mínimo de 1 (talco) y un valor máximo de 10 (diamante)

Meteorización

El grado de meteorización de la roca es una observación de gran relevancia pues definen de forma drástica sus propiedades mecánicas. Cuanto mayor sea el proceso de meteorización mayor será la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al mismo tiempo que se disminuye su resistencia.

La identificación del grado de meteorización puede basarse de acuerdo lo que estipula la sociedad internacional de mecánica de rocas (Cuadro 2). Cabe señalar que un factor que afecte considerablemente la meteorización son las condiciones climáticas pues los cambios de temperatura, lluvias entre otros aumentan el grado de meteorización. En las figuras 8 a la 10 se ilustran distintas condiciones de meteorización.



Figura 8. Roca ligeramente decolorada, con cambios en el color original de la matriz rocosa. (Ferrer,2004)



Figura 9. Roca descompuesta, con minerales descompuestos y pérdida de textura original. (Ferrer,2004)

Cuadro 2. Descripción del grado de meteorización

Término	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos minerales se debe mencionar.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fabrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos.

(ISRM, 1981)

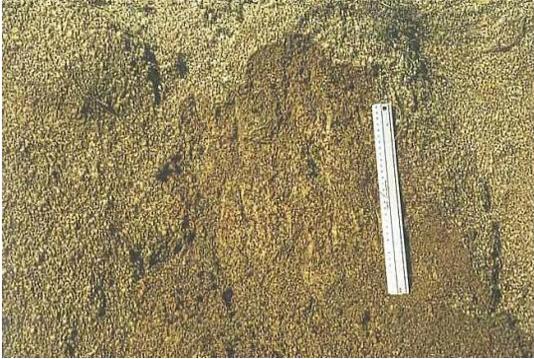


Figura 10. Roca desintegrada, alterada al estado de suelo manteniendo fábrica original. (Ferrer,2004)

Resistencia

La resistencia de la matriz rocosa puede ser determinada de diversas maneras, dentro de las cuales, destaco las siguientes:

- El ensayo de carga puntual (Point Load Test)
- Martillo Schmidt o esclerómetro.

El ensayo de carga puntual PLT proporciona una correlación con la resistencia a compresión simple por medio del índice I_s . Por otro lado, el esclerómetro mide la resistencia a rebote de una superficie rocosa la cual se correlaciona en la resistencia a compresión simple. Es de gran importancia tomar suficientes medidas esto con el fin de obtener un valor de mayor precisión.

El cuadro 3 indica dependiendo la resistencia a compresión simple la descripción o la categoría de la roca según la ISRM.

Cuadro 3. Clasificación en base a la resistencia de la roca.

Resistencia a compresión simple (MPa)	Descripción
1-5	Muy blanda
5-25	Blanda
25-50	Moderadamente dura
50-100	Dura
100-250	Muy dura
> 250	Extremadamente dura

(ISRM, 1981)

Descripción de las discontinuidades

Las discontinuidades es otro aspecto que afecta o condicionan de una forma concluyente las propiedades, características de los macizos rocosos, y especialmente al comportamiento resistente deformacional e hidráulico.

La descripción de las discontinuidades toma en cuenta los siguientes parámetros que se deberán recopilar en campo:

- Espaciado
- Orientación.
- Rugosidad.
- Abertura.
- Relleno.
- Continuidad o persistencia.
- Resistencia de las paredes.
- Filtraciones.



Figura 11. Representación esquemática de las propiedades geomecánicas de las discontinuidades. (Ferrer,2004)

Algunos de estos aspectos, como la resistencia de las paredes, relleno, rugosidad, y abertura, establecen el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades.

Espaciado

El tamaño de los bloques de la matriz rocosa es condicionado por el espaciado entre los planos de discontinuidad y, por tanto, detalla la función que ésta tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso, y su relevancia con respecto a la influencia de las discontinuidades.

El espaciado implica la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida siempre en la dirección perpendicular a dichos planos. Se determina por medio de una cinta métrica, de una longitud de al menos de tres metros.

En ocasiones, las condiciones de las superficies expuestas de los afloramientos rocosos no admiten efectuar las mediciones del espaciado en la dirección perpendicular a las superficies, y lo que se miden son espaciados aparentes, por lo que es necesario emplear las correcciones necesarias con el fin de obtener el espaciado real. La Figura 12 ilustra una cara de un afloramiento en la que únicamente se pueden medir los espaciados aparentes de tres familias de discontinuidades. Debido a dicha situación se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$e = d \cdot \sin \alpha$$

Donde:

e = el espaciado real.

d = la distancia media medida con la cinta

α = el ángulo entre la línea de medición y la dirección de la familia.

El espaciado se puede describir de acuerdo a los términos del Cuadro 4. En la Figuras 13 a 15 se ilustran ejemplos de discontinuidades con diferentes espaciados.

Cuadro 4. Descripción del espaciado

Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	< 20 mm
Muy junto	20-60 mm
Junto	60-200 mm
Moderadamente junto	200-600 mm
Separado	600-2000 mm
Muy separado	2000-6000 mm
Extremadamente separado	> 6000 mm

(ISRM, 1981)

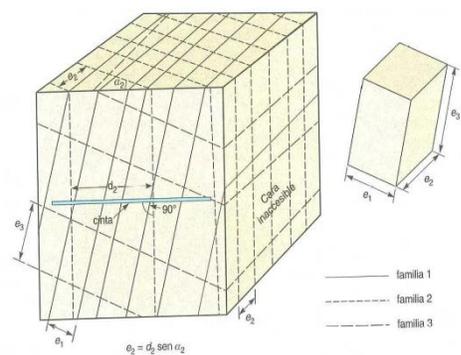


Figura 12. Medida del espaciado en una cara expuesta del afloramiento (ISRM).

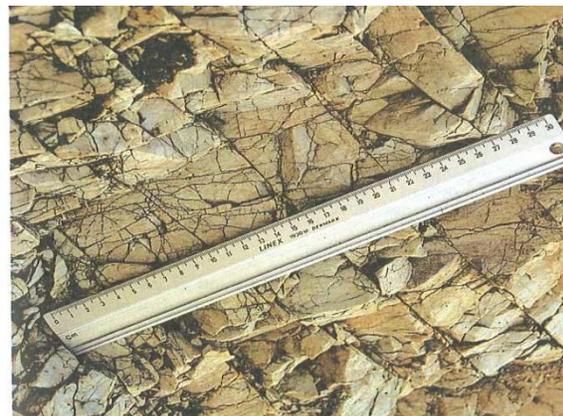


Figura 13. Espaciado muy junto (5 cm) en la familia principal de discontinuidad con dirección perpendicular a la regla. (Ferrer, 2004)

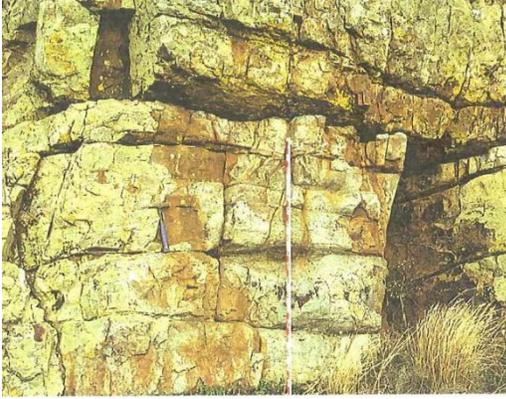


Figura 14. Ejemplo de macizo cuarcítico de buena calidad con discontinuidades horizontales y verticales con espaciados del orden de 0,5 a 1 metro. (Ferrer,2004)

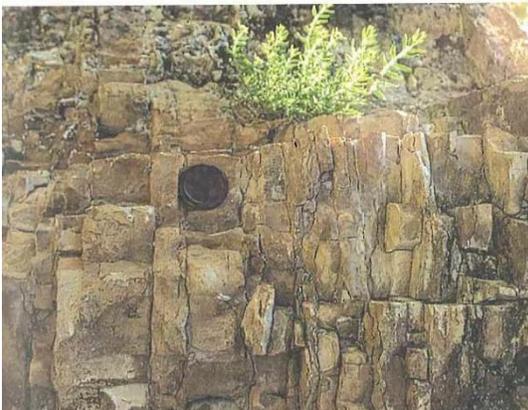


Figura 15. Ejemplo de macizo calizo con dos familias principales de discontinuidad una vertical con continuidad media y otra horizontal con continuidad muy baja. (Ferrer,2004)

Orientación

La orientación de las discontinuidades sistemáticas se presentan en familias características más o menos homogéneas. El espaciado y la orientación relativa de las distintas familias de un macizo rocoso establecen la forma de los bloques que conforman el macizo. Las inestabilidades y roturas de las estructuras u obras de ingeniería depende en gran medida de la orientación que posean las discontinuidades. En la Figura 16 se aprecia ejemplos de la influencia de la orientación de los planos de debilidad en obras como túneles, taludes y presas.

La brújula con clinómetro o el diaclasímetro son las herramientas que proporciona la dirección de buzamiento (dirección de la

línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y el buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea) donde la orientación de una discontinuidad queda definida tanto por su buzamiento y su dirección de buzamiento.

El buzamiento se mide mediante el clinómetro, con valores entre 0' (capa horizontal) y 90" (capa vertical). Por otro lado, la dirección de buzamiento se determina siguiendo la dirección de las agujas de la brújula desde el norte, y puede ser de un valor de 0° a 360°. Los valores de dirección de buzamiento y buzamiento se suelen anotar en este orden en los formatos, indicando el tipo de discontinuidad al que conciernen los valores.

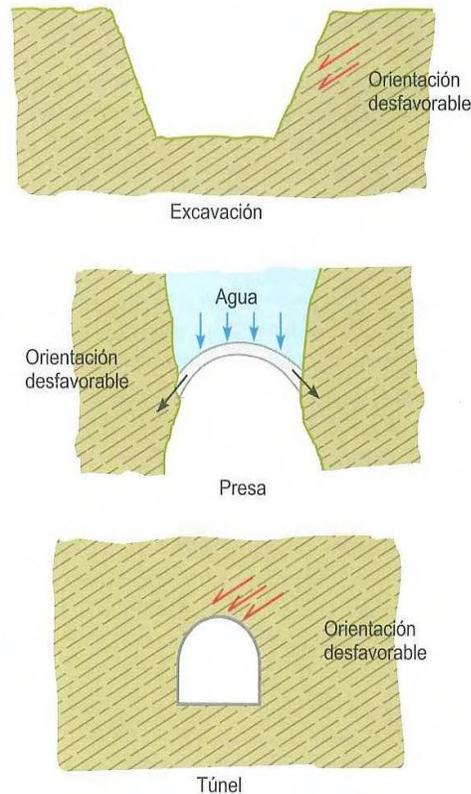


Figura 16. Influencia de la orientación de las discontinuidades con respecto a las obras de ingeniería. (Ferrer,2004)

Otra manera de establecer la orientación de un plano de discontinuidad es a través de su rumbo o dirección (ángulo que forma una línea horizontal trazada sobre el plano de discontinuidad con el norte magnético, midiendo hacia el este) y su buzamiento, debiendo señalar primeramente el sentido del buzamiento (norte, sur, este, oeste). El rumbo y el buzamiento son perpendiculares (Figura 17).

Es recomendable efectuar la mayor cantidad de mediciones de forma tal que se posea un número suficiente de orientaciones de discontinuidades para definir adecuadamente cada familia. El número de medidas dependerá de la aleatoriedad de las orientaciones, de los planos de la dimensión de la zona estudiada, y del detalle del análisis. Si las orientaciones son constantes es factible disminuir el número de medidas.

La orientación de las distintas familias de discontinuidades pueden representarse gráficamente de la siguiente manera:

- Diagramas de rosetas, que permiten representar un gran número de medidas de orientación de forma cuantitativa.
- Proyección estereográfica, representando los polos o planos con valores medios de las diversas familias.
- Símbolos en mapas geológicos, que indican los valores medios de dirección y la dirección y valor del buzamiento para los diferentes tipos de discontinuidades
- Bloques diagrama, permitiendo una visión general de las familias y sus orientaciones respectivas.

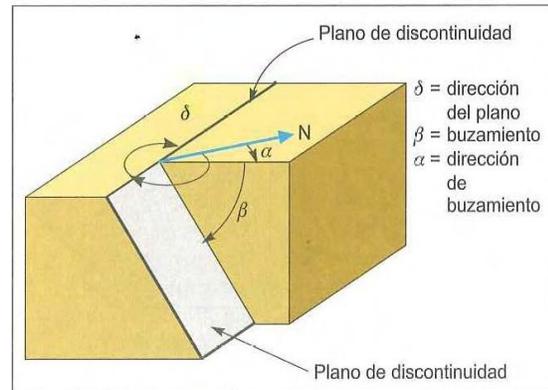


Figura 17. Medida de la orientación de discontinuidades. (Ferrer,2004)

Rugosidad

El objetivo principal de la rugosidad es la evaluación de la resistencia al corte de los planos, τ , que para discontinuidades sin cohesión es factible determinarla a partir de datos de campo y de expresiones empíricas. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que disminuye con el crecimiento de la abertura y, generalmente, con el espesor de relleno.

El significado de rugosidad se utiliza en gran medida para referirse tanto a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos definidas en ocasiones como de 1° y 2° orden respectivamente como a la ondulación de las superficies de discontinuidad. La descripción de la rugosidad requiere, pues, dos escalas de observación:

- Escala milimétrica y centimétrica para la rugosidad o irregularidad: superficies pulidas, lisas o rugosas.
- Escala decimétrica y métrica para la ondulación de las superficies: superficies planas, onduladas o escalonadas.

La rugosidad se puede determinar en campo con diversos métodos ya sea cualitativamente o cuantitativamente, dependiendo del grado de exactitud requerida, de la accesibilidad al afloramiento o de la escala de medida. El método más sencillo y rápido aunque cualitativo es la comparación visual de la discontinuidad con

los perfiles estándar de rugosidad de la Figura 18. Las figuras 19 y 20 ilustran distintos casos de rugosidad

Existen otros métodos más precisos que proporcionan medidas cuantitativas de la rugosidad y la ondulación como lo son el método de los discos y la realización de perfiles lineales, los cuales no se detallarán. (Ferrer, M. Ingeniería Geológica,2004)

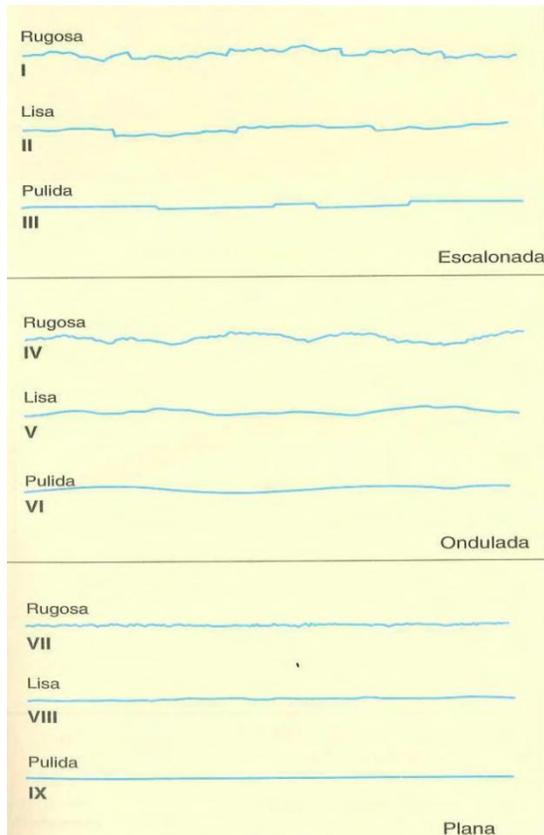


Figura 18. Perfiles de rugosidad, la longitud de los perfiles están entre el rango de 1 a 10 metros. (Ferrer,2004)



Figura 19. Discontinuidad ondulada lisa con alta continuidad en un macizo volcánico. (Ferrer,2004)



Figura 20. Discontinuidad plana rugosa en cuarcitas. (Ferrer,2004)

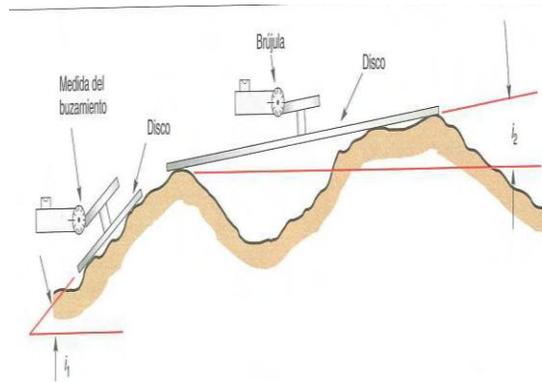


Figura 21. Métodos de los discos para medida de la rugosidad en discontinuidad. (Ferrer,2004)

De igual forma se recomienda realizar un gran número de medidas de manera de establecer valores de los ángulos de rugosidad y de ondulación más precisos. Además las medidas deben ser realizadas sobre perfiles representativos de la

rugosidad de los planos. Si se conoce o presume la dirección de deslizamiento potencial a favor de una discontinuidad, deberá ser determinada a lo largo de ésta la rugosidad. Si no se conoce dicha dirección de 05} C+ |deslizamiento, se deberán analizar para varias posibles direcciones de deslizamiento en el plano de discontinuidad para así lograr el valor de la rugosidad.

Abertura

Se define la abertura como la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno entre estas.(Figura 22, 23 y 24). Este factor generalmente suele ser muy variable en diferentes sectores de un mismo macizo rocoso. En la superficie, la abertura puede ser ancha y esta se disminuye con la profundidad, logrando inclusive a cerrarse.

La influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es significativa incluso en discontinuidades muy cerradas, al alterar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes. Los desplazamientos en la discontinuidad provocan aberturas de relevancia en el macizo rocoso.

La descripción se realiza según la terminología del Cuadro 5 según la ISRM, donde las medidas deben realizarse para cada familia de discontinuidades, utilizando únicamente los valores medios más representativos de cada familia. Además la medición de las aberturas se efectúa directamente con una regla graduada en milímetros. En algunas ocasiones la separación es muy pequeña por lo que se podrá emplear un caliper o vernier que se introduce en la abertura. Debe indicarse si la abertura de una discontinuidad muestra desviaciones, realizándose medidas a lo largo de al menos de 3 m.

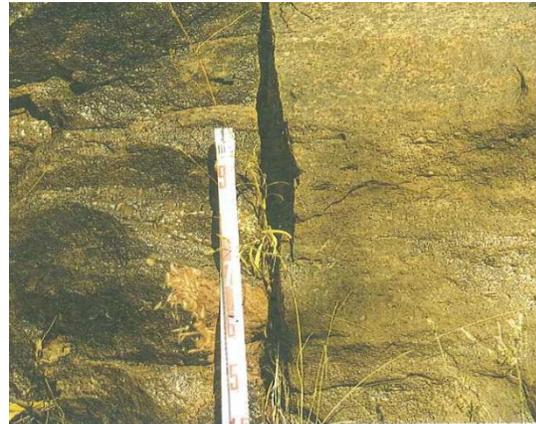


Figura 22. Discontinuidad de abertura muy ancha, sin relleno en arenisca. (Ferrer,2004)



Figura 23. Discontinuidad plana rugosa, con abertura ancha y relleno arcilloso seco. (Ferrer,2004)



Figura 24. Discontinuidad ondulada rugosa, con abertura muy ancha y relleno arcilloso. (Ferrer,2004)

Cuadro 5. Descripción de la abertura

Abertura	Descripción
< 0,1 mm	Muy cerrada
0,1-0,25 mm	Cerrada
0,25-0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5-2,5 mm	Abierta
2,5-10 mm	Moderadamente ancha
> 10 mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
> 1 m	Cavernosa

(ISRM, 1981)

Relleno

El relleno es el material que en ocasiones aparece entre las aberturas de las discontinuidades. Estas pueden ser de un material de naturaleza diferente a la roca de las paredes. Existe gran diversidad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy distintas. La presencia de relleno gobierna el estado de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los factores referentes a sus propiedades y estado. Debe considerarse que si se trata de materiales blandos o alterados, éstos pueden sufrir desviaciones de importancia en sus propiedades resistentes a corto plazo, por efecto del cambios en la humedad o si posee lugar a un movimiento a lo largo de las juntas.

Para la descripción y valoración de los rellenos es necesario tomar en consideración los siguientes aspectos:

- El espesor del relleno se mide directamente con una regla graduada preferiblemente en mm.
- Debe indicarse la condición de humedad, y estimarse cualitativamente la permeabilidad del material de relleno.
- El esclerómetro o martillo Schmidt son herramientas para obtener el valor de la resistencia.

- La descripción del relleno deberá ser inicialmente con la identificación del material, descripción mineralógica y tamaño de grano. Por otro lado, si el relleno procede de la desintegración y alteración del material de las paredes de la discontinuidad, se tendrá que evaluar su grado de meteorización, que normalmente será descompuesto o desintegrado (Cuadro 2).
- En la medida de lo posible, se notificará si ha existido desplazamiento por corte a favor del relleno, por lo que sus propiedades y estructura mineralógica tendrán cambios con respecto al estado inicial.

Continuidad

La continuidad se define según, el libro de ingeniería geológica de Mercedes Ferrer, de la siguiente manera:

"La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es la extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente." (Ferrer,2004)

La continuidad se determina por medio de una cinta métrica. Se deberán medir las longitudes a lo largo de la dirección y del buzamiento cuando el afloramiento permite la observación tridimensional de los planos de discontinuidad. Es importante señalar las familias más continuas, pues por lo general serán éstas las que condicionen primordialmente los planos de rotura del macizo rocoso. Otro aspecto que se deberá de anotar en la descripción es cuando las discontinuidades pueden o no terminar contra otra discontinuidad. La continuidad se describe según el Cuadro 6, según lo determina la ISRM.

Por lo general, es de gran atención las discontinuidades singulares, como por ejemplo las fallas y los diques, pues

generalmente son muy continuas, y provocan los mayores planos de debilidad en el macizo rocoso. En la figura 25 se ilustran diagramas mostrando distintos modelos de continuidad o persistencia de varias familias de discontinuidad.

Cuadro 6. Descripción de la continuidad

Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	< 1 m
Baja continuidad	1-3 m
Continuidad media	3-10 m
Alta continuidad	10-20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

(ISRM, 1981)

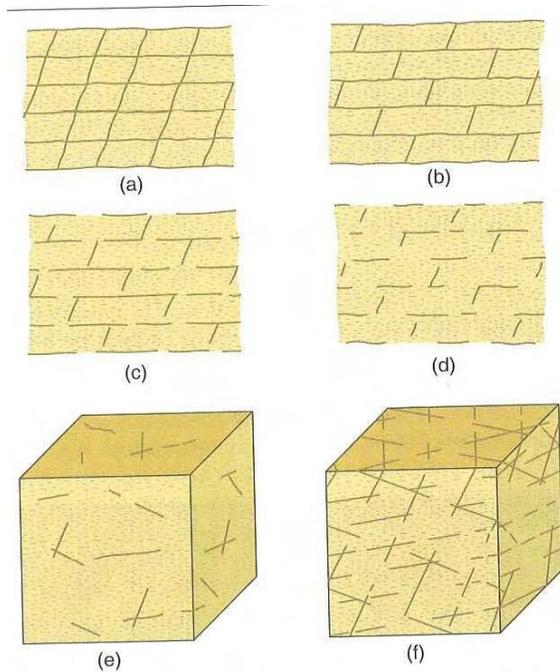


Figura 25. Diagramas mostrando distintos modelos de continuidad o persistencia de varias familias de discontinuidad. (Ferrer,2004)

Resistencia de las paredes de la discontinuidad

La resistencia de la pared de una discontinuidad interviene en su resistencia al corte y en su deformabilidad. Depende del grado de alteración, tipo de matriz rocosa, y de la existencia o no de relleno. Cuando la discontinuidad es sana y limpia, la resistencia sería igual a la de la matriz

rocosa, pero habitualmente es menor pues las paredes son expuestas a mayor meteorización; los procesos de alteración afectan en mayor grado a los planos de discontinuidad que a la matriz rocosa (Figura 26). Es por esta razón, la necesidad de detallar el grado de meteorización (Según el cuadro 2) junto a la medida de la resistencia de las paredes de la discontinuidad.



Figura 26. Alteración por oxidación en las superficies de discontinuidad de un macizo rocoso de cuarcitas mientras que la matriz rocosa permanece fresca. (Ferrer,2004)

La resistencia puede determinarse en campo por medio del martillo Schmidt, utilizándolo directamente sobre la discontinuidad. Se recomienda efectuar las mediciones de resistencias sobre paredes representativas, de manera de poseer un valor más preciso de la resistencia.

Filtraciones

En el cuadro 7 y 8 se detallan las filtraciones de agua en discontinuidades con relleno o sin relleno. Generalmente el agua en el interior de un macizo rocoso proviene del flujo que transita por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), aunque algunas rocas permeables poseen filtraciones a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) llegando a ser importantes. Los cuadros 7 y 8 se basan según lo que indica la ISRM.



Figura 27. Circulación de agua a favor de discontinuidades en un macizo rocoso muy meteorizado de areniscas. (Ferrer,2004)

Cuadro 7. Descripción de las filtraciones en discontinuidades sin relleno.

Clase	Discontinuidades sin relleno
I	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca y no parece posible que circule agua
II	Junta seca sin evidencia de flujo de agua
III	Junta seca pero con evidencia de haber circulado agua
IV	Junta húmeda pero sin agua libre
V	Junta con filtraciones, ocasionalmente goteo pero sin flujo continuo
VI	Junta con flujo continuo de agua (estimar el caudal en L/min y la presión)

(ISRM, 1981)

Cuadro 8. Descripción de las filtraciones en discontinuidades con relleno.

Clase	Discontinuidades con relleno
I	Relleno muy consolidado y seco. No es posible el flujo de agua.
II	Relleno húmedo pero sin agua libre.
III	Relleno mojado con goteo ocasional.
IV	Relleno que muestra señales de lavado, flujo de agua continuo (estimar el caudal en L/min)
V	Relleno localmente lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal y presión)
VI	Rellenos completamente lavados, presiones de agua elevadas.

(ISRM,1981)

Parámetros del macizo rocoso

Para la caracterización global del macizo rocoso a partir de datos tomados en campo, además de la descripción de su la matriz rocosa, las discontinuidades y sus componentes, se deben considerar otros factores de igual importancia del conjunto, como lo son:

- Tamaño de bloque e intensidad de fracturación.
- Número y orientación de las familias de discontinuidades.
- Grado de meteorización.

Tamaño de bloque y grado de fracturación

Este factor condiciona de forma concluyente su comportamiento y sus propiedades resistentes y deformacionales. La forma y la dimensión de los bloques están establecidas por el número de familias de discontinuidades, su continuidad, su espaciado y su orientación. A continuación se presenta distintas formas en la cual se puede realizar la descripción del tamaño de bloque:

- Mediante el parámetro J_v , que define la totalidad de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (

1 m³) del macizo rocoso. Esta manera de describir el tamaño de bloque es compleja pues existe en algunas ocasiones dificultad de observar tridimensionalmente un afloramiento. No obstante, el valor de J_v , se suele estipular contando las discontinuidades de cada familia que interceptan una longitud determinada, tomando en cuenta en medir perpendicularmente a la dirección de cada una de las familias o efectuando la corrección necesaria con respecto a la dirección aparente de la medida: De manera más sencilla, el parámetro J_v se representa con la siguiente ecuación:

$$J_v = \sum \frac{n^\circ \text{ de discontinuidades}}{\text{longitud de medida}}$$

En el caso particular de un macizo con dos familias de discontinuidades (J_1 y J_2): J_v sería de la siguiente manera:

$$J_v = \left(\frac{n^\circ \cdot J_1}{L_1} \right) + \left(\frac{n^\circ \cdot J_2}{L_2} \right)$$

La longitud a medir dependerá del espaciado de cada familia, donde generalmente está entre 5 y 10 metros, o por el criterio del investigador. Otro mecanismo de mayor sencillez, aunque de menor exactitud, para la estimación del valor de J_v , es por medio de contar la totalidad de discontinuidades que interceptan una longitud L en cualquier dirección de interés (Se recomienda tomar una longitud que corte al mayor número de planos posibles). Esta manera de proceder se le denomina como la frecuencia de discontinuidades (λ) y se representa con la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{L (m)}$$

o

$$\lambda = \frac{1}{\text{espaciado medio de discontinuidades (m)}}$$

En el cuadro 9 (Según lo estipulado por la ISRM) se establece el tamaño del bloque dependiendo del valor de J_v ; donde los

valores mayores de 60 responde a un macizo rocoso muy fracturado.

Algunos ejemplos de la descripción del tamaño de los bloques se ilustran en las Figuras 28 y 29. Además se detalla el grado de fracturación en los macizos rocosos de acuerdo al número de familias de discontinuidades.

Cuadro 9. Descripción del tamaño de bloque en función del número de discontinuidades.

Descripción	J_v (discontinuidades/m ³)
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1-3
Bloques de tamaño medio	3-10
Bloques pequeños	10-30
Bloques muy pequeños	> 30

(ISRM, 1981)

- Por medio del índice de tamaño de bloque I_b , que significa las dimensiones medias de los bloques tipo medidos en el macizo rocoso. Un ejemplo del índice de tamaño de bloque sería el caso de una roca sedimentaria con planos de estratificación y con dos familias de discontinuidades perpendiculares entre sí, el índice I_b , vendría definido por:

$$I_b = \frac{(e_1 + e_2 + e_3)}{3}$$

Donde las variables e_1 , e_2 , y e_3 representan los valores medios del espaciado de las tres familias de discontinuidades.

El grado de fracturación se indica generalmente por medio del índice RQD (rock quality designation). Cabe destacar que la fracturación del macizo rocoso está

definida por las condiciones, el número, u el espaciado de las discontinuidades, independientemente cual sea su origen y clase.

El índice RQD (rock quality designation) es de gran utilidad, sin embargo, posee la gran limitante de no considerar aspectos como los rellenos, la separación, orientación y demás condiciones de las discontinuidades, por lo que es necesario complementar las características de la fracturación de los macizos rocosos por medio de descripciones en campo o por medio de testigos de los sondeos o perforaciones.



Figura 28. Macizo rocoso volcánico masivo con bloques muy grandes. (Ferrer,2004)



Figura 29. Macizo dolomítico triturado, con bloques muy pequeños. (Ferrer,2004)

El índice RQD puede determinarse en los macizos rocosos por medio de correlaciones empíricas como lo es la de Palmstrom, 1975

(en ISRM, 1981) la cual se detalla a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v \text{ para } J_v > 4,5$$

$$RQD = 100 \text{ para } J_v \leq 4,5$$

Donde:

$$J_v = \sum \frac{n^\circ \text{ de discontinuidades}}{\text{longitud de medida}}$$

Número y orientación de familias de discontinuidades

El número de familias de discontinuidades condiciona el comportamiento mecánico del macizo rocoso, su parámetro de rotura e incluso de su modelo de deformación. Tan influyente es este aspecto que la estabilidad del terreno dependerá, en algunas ocasiones, de la orientación de la distintas familias con respecto a la obra.

La orientación de cada familia de discontinuidad es una propiedad inherente al macizo rocoso y se deberá de estipular por medio de reconocimiento en campo donde es de gran relevancia contemplar todas las familias presentes y evaluar el grado de importancia relativa al macizo rocoso en análisis.

El tamaño y el grado de fracturación de los bloques del macizo rocoso viene definidos por el número de familias presentes en el afloramiento además del espaciado existentes entre cada familia.

Generalmente se cataloga a las familias mediante números correlativos para las familias de mayor a menor importancia. Por ejemplo, la familia principal (con menor espaciado, mayor continuidad, mayor abertura, entre otros) sería la familia número uno.

Existe distintas maneras de obtener la orientación media de una familia ya sea por medio de la construcción de diagramas rosetas o por la proyección estereográfica con los datos de las orientaciones medidas para cada discontinuidad efectuada en campo. Otra forma es a través de programas

informáticos para efectuar estos trabajos de una forma eficiente.

El cuadro 10 establecido por la ISRM muestra como clasificar un macizo rocoso dependiendo del número de familias que este posea. Por ejemplo, un macizo rocoso compuesto por tres familias principales de discontinuidades ortogonales entre sí es común en afloramientos rocoso del tipo sedimentario, siendo una de las familias la estratificación. En el cuadro 10 se divide en nueve categorías donde entre mayor es el número de familias mayor numero de tipo que se tendrá en el macizo rocoso.

La figura 30 ilustra gráficamente mediante bloques diagramas la ubicación de cada una de las familias. Esta manera simplifica la visualización del tamaño, orientación entre otros, permitiendo tener un registro de mayor detalle de cada una de la familias que existe en el macizo rocoso

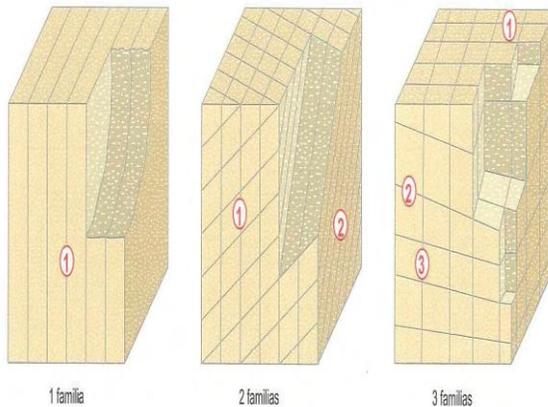


Figura 30. Representación del número de familias mediante bloques diagramas. (Ferrer,2004)

Cuadro 10. Clasificación de macizos rocosos por el número de familias.

Tipo de macizo rocoso	Número de familias
I	Masivo, discontinuidades ocasionales.
II	Una familia de discontinuidades.
III	Una familia de discontinuidades más otras ocasionales.
IV	Dos familias de discontinuidades.
V	Dos familias de discontinuidades más otras ocasionales.
VI	Tres familias de discontinuidades.
VII	Tres familias de discontinuidades más otras ocasionales
VIII	Cuatro o más familias de discontinuidades.
IX	Brechificado.

(ISRM, 1981)

Grado de meteorización

La observación directa del macizo rocoso es la mejor manera de estimar el grado de meteorización. Se recomienda fragmentar algún trozo de roca para facilitar la observación. El cuadro 11 elaborado por la ISRM, permite poseer una guía del grado de meteorización del macizo rocoso, donde cuanto mayor es la meteorización mayor será su número de evaluación dentro de un rango de I a VI siendo este último suelo.

En las Figuras 31 a la 33, se ilustran distintos macizos rocosos afectados la meteorización.



Figura 31. Meteorización de macizo rocoso grado II gneis glandular con matriz rocosa y superficies de discontinuidad ligeramente decolorada. (Ferrer,2004)



Figura 32. Meteorización de macizo rocoso grado III macizo calizo y cuarcítico moderadamente meteorizado con alteración en las superficies de discontinuidad. (Ferrer,2004)

Cuadro 11. Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso.

Grado de meteorización	Tipo	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización.
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material.

(ISRM, 1981)

Geología general

El Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio está situado en la provincia de Chiriquí, cercana a la frontera de Costa Rica, entre los municipios de Breñón y Santa Cruz, en el distrito Renacimiento, y el municipio de Gómez, en el distrito de Bugaba, en la República de Panamá.

En el área del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio, se encuentra geología del periodo terciario, clasificado como se muestra a continuación:

- Grupo Gatún: Formación Gatún-uscori. Dentro de este grupo se encuentra lutitas, limotitas, areniscas, conglomerado y piroclásticos.
- Grupo Tonosi: Formación Tonosi. Dentro de este grupo se encuentra: lutitas y areniscas.

Luego, en el área del cerro La Potra donde se ubican los taludes que fueron objeto del presente trabajo, se destaca principalmente la siguiente geología:

- Material aluvial: Conjunto de gravas y cantos con matriz arenosa-limosa. Posee una variabilidad de tamaños desde cantos de espesor de 30 cm hasta de 1 cm, con clastos bien redondeados.
- Suelo residual o saprolito: Material que es el producto final de la meteorización in situ de los macizos rocosos. Generalmente, conserva la estructura rocosa, aunque la composición de la matriz se haya alterado y tenga menos resistencia que la roca sana. Según el grado de meteorización que se presente en el saprolito, pueden conservar los

bloques de matriz rocosa o presentar un comportamiento de suelos.

- Arenisca: Roca sedimentaria de granos angulares o redondeados, cementados por minerales de arcilla, carbonáticos o de hierro. Básicamente predomina en gran parte del cerro La Potra, pasando por distintos grados de meteorización desde saprolito hasta roca sana.
- Basalto: Roca ígnea volcánica de color gris oscuro. Posee bajo contenido de sílice. Se presenta de manera más notoria en la sección inferior del cerro La Potra, a partir de la elevación 233 msnm hacia al pie del cerro .



Figura 33. Taludes del cerro La Potra, margen derecha del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio.

Se recomienda observar en la sección de **anexos**, el mapa geológico regional de la provincia de Chiriquí, República de Panamá. Además, la ubicación de las estructuras principales del P.H Bajo Frio, así como la sección geológica -geotécnica de la presa y parte del cerro La Potra.

Introducción

En el presente informe se describió las condiciones de los taludes rocosos del Cerro la Potra, con base en la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) y se analizó las condiciones de la estabilidad de los taludes de roca del cerro La Potra, margen derecha del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio, de manera de establecer preliminarmente la necesidad de sostenimiento requerida para dichos taludes.

La obra está situada en la provincia de Chiriquí, cercana a la frontera con Costa Rica, entre los municipios de Breñón y Santa Cruz, en el distrito Renacimiento, y el municipio de Gómez, en el distrito de Bugaba, en Panamá.

El proyecto hidroeléctrico consiste en la construcción de una presa de gravedad, de 56 m de alto y 405 m de longitud, medidos sobre la coronación. Está formada por bloques construidos de concreto convencional y de concreto compactado con rodillo (margen derecha), escollera (cauce central) y materiales arcillosos (margen izquierda).

La empresa FCC Centroamérica (Fomento de Construcciones y Contratas Centroamérica, S.A) es la encargada de la construcción de la totalidad del proyecto hidroeléctrico y sus obras complementarias, al concluir dicha obra se tendrá una capacidad instalada de 58 MW.

Las clasificaciones geomecánicas tiene la finalidad de identificar la calidad de un determinado macizo rocoso con base en la clasificación geomecánica RMR. Esta clasificación geomecánica concluye con índice característico de la roca, que permite obtener un valor aproximado de la cohesión y ángulo de rozamiento del afloramiento

rocoso. Es una herramienta muy útil en el diseño y construcción de obras ya sea túneles, taludes o excavaciones, pero no se debe abusar con su utilización puesto que los macizos rocosos se deben analizar con mucha mayor profundidad especialmente en obras de gran magnitud. Durante la obra, la clasificación geomecánica facilita analizar la calidad del terreno conforme se efectúa la excavación y tomar acciones en el sostenimiento en caso de ser necesario.

En el cerro La Potra se ubican los taludes que serán objeto del presente trabajo al cual se le aplicarán la clasificación geomecánica utilizando el método RMR como se mencionó anteriormente.

El objetivo general es estimar la calidad del macizo rocoso y de los parámetros de resistencia para el sostenimiento de los taludes del cerro La Potra del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio.

Por otro lado, se fijaron los siguientes objetivos específicos que de alguna manera responden a la necesidad del objetivo general y alcance del proyecto, que son los siguientes:

- Clasificar el macizo rocoso “in situ” de los taludes del cerro La Potra (Margen derecha del P.H. Bajo Frio).
- Definir la necesidad de sostenimiento basados en la clasificación geomecánica.
- Establecer criterios preliminares de los tipos de sostenimiento que se podrían emplear en el macizo rocoso del cerro La Potra.

Cabe señalar que el alcance del proyecto radica en la verificación de la calidad del macizo rocoso pues este estudio además del análisis completo geotécnico fue elaborado por la diseñadora Tractebel Engineering GDZ Suez, donde en el caso de la constructora le corresponde diseñar el concreto lanzado para su posterior uso.

Metodología

De acuerdo al tema “Aplicación del método RMR para la estimación preliminar del sostenimiento de los taludes en el cerro La Potra del P.H. Bajo Frio, República de Panamá” y considerando los objetivos planteados se establece de manera general tres etapas.

Inicialmente se procede a la etapa de investigación y programación del proyecto, donde se recurrirá a fuentes como libros, consultorías, internet, entre otros. Esta etapa consiste en conocer diversos aspectos que se requiere para dar la solución óptima al proyecto. Dentro de esta fase se pretende conocer; por medio de la indagación, la cantidad de pruebas, equipos, materiales, tiempo para iniciar la clasificación geomecánica RMR en los taludes que se encuentra en el margen derecha del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio, a la finalidad de estimar la calidad del macizo rocoso y de los parámetros de resistencia.

La apropiada investigación incluye además las condiciones de trabajo que existen en la construcción de las diversas estructuras o movimientos de tierra, pues se debe verificar los momentos adecuados para no obstruir o atrasar actividades además de la seguridad propia debió al constante traslado de articulados, retroexcavadoras entre otras maquinarias de gran tamaño.

Con respecto a las pruebas necesarias se cuenta con el apoyo de los equipos que se encuentra en el laboratorio de suelos y concreto, por lo que además de la investigación de los requerimientos de la clasificación geomecánica se debe conocer la aplicación de cada uno de dichos equipos para la obtención apropiada de los datos, esto para así garantizar una adecuada solución a los objetivos propuestos.

Luego, la segunda etapa se basará; tomando en cuenta los aspectos importantes de la investigación, en la toma de datos in situ de aproximadamente nueve taludes del cerro La Potra margen derecha del río Chiriquí Viejo, los cuales en su mayoría son conformado por rocas, sin embargo existe parte de los taludes en suelo.

Esta fase es de gran importancia dependerá de muchos aspectos como las condiciones meteorológicas dado que se presenta de forma regular precipitaciones en las tardes (Región de clima tropical lluvioso) además de la disponibilidad de los equipos para la ejecución de las pruebas entre otros. Cabe señalar que se realizará la toma de datos topográficos de la ubicación de los taludes donde se contará con la ayuda del departamento de topografía de FCC Centroamérica.

Finalmente, una vez realizado las etapas tanto de investigación como la de toma de datos in situ se procederá a la etapa del procesamiento de los datos para así proponer una opción viable para el sostenimiento de los taludes del cerro La Potra. También, en esta fase se comenzará a elaborar el informe final donde se presentará todos los aspectos relevantes vividos en el desarrollo del proyecto además, se formulará las respectivas conclusiones y recomendaciones.

Talud 2: Cerro La Potra.

El talud 2 del cerro La Potra se ubica en una elevación de 272 msnm, el cual se dividió en dos secciones debido a la longitud que posee y la variación de los parámetros de clasificación geomecánica RMR. A continuación, se detalla las dos secciones del talud 2:

Talud 2: Cerro La Potra, primera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la primera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-026,68
 Offset: 32,07 m
 Elevación: 272,04 msnm
 Coordenadas: N 950266,240
 E 303216,610
 Estación: 0+031,02
 Offset: 27,05 m
 Elevación: 272,07 msnm
 Coordenadas: N 950287,070
 E 303270,650

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 22°, con una dirección de buzamiento de un azimut de 61°. Material aluvial sobre roca de arenisca meteorizada. El relleno de las aberturas (3 mm de espesor) es duro de calcita, conformado con óxidos de hierro nuevos y viejos. Posee una rugosidad ondulada rugosa, además el relleno está muy meteorizado, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 62 cm. La continuidad es moderada (3-10 m), además las aberturas presentan en espesor de 10 a 100 mm por lo que se clasifican como muy ancha.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,9%.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

Asimismo se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 21 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca blanda.

Cuadro 12. Clasificación geomecánica RMR Talud 2, primera parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	21,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,62	15
Longitud de la discontinuidad (m)	4,00	2
Abertura (mm)	25,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor 5 mm	2
Alteración	Muy alterado	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-5
Puntuación total		55
RMR		III



Figura 36. Medición de la separación en junta favorable S del talud 2, primera parte.

J₁: Junta media con un buzamiento de 85°, con una dirección de buzamiento de un azimut de 20°. Material conformado con óxidos de hierro viejos, fracturado, con separación promedio entre juntas de 57 cm, sin relleno con una abertura muy abierta de 10 a 100 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una

rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizado, sin filtraciones de agua.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,9%.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

Asimismo la resistencia uniaxial a compresión es de 24 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca blanda.

Cuadro 13. Clasificación geomecánica RMR Talud 2, primera parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	24,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,57	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0.85	6
Abertura (mm)	12,70	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterado	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		38
RMR		IV



Figura 37. Medición del buzamiento en junta media J1 del talud 2, primera parte.

J₂: Junta media con un buzamiento de 65°, con una dirección de buzamiento de un azimut de 160°. Material conformado con óxidos de hierro viejos, fracturado, con separación promedio entre juntas de 43 cm, sin relleno con una abertura moderadamente abierta de 2,5 a 10 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizado, con filtraciones de agua (Junta en estado húmedo).

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,9%.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

Asimismo la resistencia uniaxial a compresión es de 24 MPa, por lo que se considera como una roca blanda.



Figura 38. Junta media J2 del talud 2, primera parte.

Cuadro 14. Clasificación geomecánica RMR Talud 2, primera parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	24,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,43	10
Longitud de la discontinuidad (m)	1,00	4
Abertura (mm)	8,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterado	1
Agua freática	Húmedo	7
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		28
RMR		IV

Talud 2: Cerro La Potra, segunda parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la segunda parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+031,02
 Offset: 27,05 m
 Elevación: 272,07 msnm
 Coordenadas: N 950287,070
 E 303270,650

Estación: 0+035,98
 Offset: -31,59 m
 Elevación: 271,81 msnm
 Coordenadas: N 950344,790
 E 303259,160

Descripción de las discontinuidades:

Suelo: Material aluvial sobre suelo residual con matriz limo arcillosa, con roca meteorizada, se observa nodulos de resistencia de exfoliación a "cebolla". Posee

una resistencia del suelo por compresión de 3,03 kg/cm² de acuerdo a la prueba del penetrómetro de suelo ST-308.



Figura 39. Talud 2 del cerro La Potra conformado por suelo limo arcillosa.

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 15°, con una dirección de buzamiento de un azimut de 20°. Material aluvial sobre roca arenisca meteorizada. El relleno de las aberturas es nulo y la abertura es muy ancha pues está en un rango de 10 a 100 mm. Posee una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 29 cm. La continuidad es muy alta (10-20 m), además, las aberturas presentan un espesor promedio de 10 mm, por lo que se clasifican como ancha.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,9%.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

La resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión fue de 21 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca blanda.



Figura 40. Junta favorable de estratificación del talud 2, segunda parte.

Cuadro 15. Clasificación geomecánica RMR Talud 2, segunda parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	24,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,29	10
Longitud de la discontinuidad (m)	11,00	1
Abertura (mm)	10,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Moderadamente alterado	3
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		55
RMR		III

J₁: Junta media con un buzamiento de 75°, con una dirección de buzamiento de un azimut de 266°. Material conformado con óxidos de hierro viejos, fracturado, con

separación promedio entre juntas de 41 cm, sin relleno con una abertura moderadamente abierta de 1 a 5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizado, sin filtraciones de agua.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,9%.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

Asimismo la resistencia uniaxial a compresión es de 24 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca blanda.

Cuadro 16. Clasificación geomecánica RMR Talud 2, segunda parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	24,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,41	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,77	6
Abertura (mm)	4,00	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Moderadamente alterado	3
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		41
RMR		III



Figura 41. Medida del buzamiento de J_1 del talud 2, segunda parte.

J_2 : Junta media con un buzamiento de 15° , con una dirección de buzamiento de azimut de 28° . Material conformado con óxidos de hierro viejos, fracturado, con separación promedio entre juntas de 15 cm, con relleno con una abertura moderadamente abierta de 1 a 5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizado, sin filtraciones de agua (Junta en estado seco).

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,9 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

Por otro lado, la resistencia uniaxial a compresión es de 24 MPa, por lo que se considera como una roca blanda.



Figura 42. Junta media J_2 del talud 2, segunda parte.

Cuadro 17. Clasificación geomecánica RMR Talud 2, segunda parte, discontinuidad " J_2 ".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	24,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,15	8
Longitud de la discontinuidad (m)	0,80	6
Abertura (mm)	3,00	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5 mm	2
Alteración	Moderadamente alterado	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		33
RMR		IV

Clasificación geomecánica RMR del Talud 2: Cerro La Potra.

De acuerdo a lo indicado anteriormente en los cuadros 12 al 17, se muestra la puntuación general del talud 2.

Cuadro 18. Clasificación geomecánica RMR promedio del Talud 2.

Discontinuidad	Puntuación
Talud 2-1 "S"	55,00
Talud 2-1 " J_1 "	38,00
Talud 2-1 " J_2 "	28,00
Talud 2-2 "S"	55,00
Talud 2-2 " J_1 "	41,00
Talud 2-2 " J_2 "	33,00
Promedio Ponderado	47,00
RMR	III

Por lo tanto, el talud 2 posee una clasificación geomecánica RMR de III, lo cual implica una calidad media, es decir, una cohesión de 2 a 3 kg/cm² y un ángulo de rozamiento de 25° a 35°.

Por otro lado, la dirección preferencial del talud 2 se divide en cuatro siendo la más predominante de un buzamiento promedio de 22° y una dirección de buzamiento de 61°, tal como se aprecia en la figura 43.

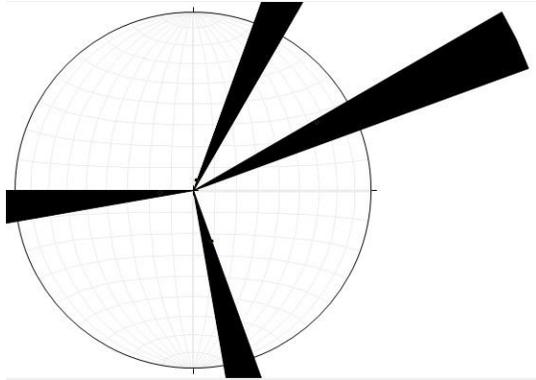


Figura 43 Diagrama de rosetas del talud 2.

Talud 3: Cerro La Potra.

El talud 3 del cerro La Potra se ubica en una elevación de 262 msnm, el cual se dividió en cuatro secciones debido a la longitud que posee y la variación de los parámetros de clasificación geomecánica RMR. A continuación, se detalla las cuatro secciones del talud 3:

Talud 3: Cerro La Potra, primera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la primera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-025,55
 Offset: 44,18 m
 Elevación: 262,07 msnm
 Coordenadas: N 950254,920
 E 303221,050
 Estación: 0-014,26
 Offset: 41,86 m
 Elevación: 262,01 msnm
 Coordenadas: N 950260,280
 E 303231,260

Descripción de las discontinuidades:

Suelo residual: Roca muy meteorizada ya convertido en suelo residual, se observó nodulos de resistencia de exfoliación a “cebolla”. Posee una resistencia del suelo por compresión de 183,55 kg/cm².



Figura 44 Talud 3 del cerro La Potra conformado por suelo residual.

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 10°, con una dirección de buzamiento de un azimut de 15°. Roca arenisca con meteorización superficial. El relleno de las aberturas es nulo. Posee una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado de 46 cm. La continuidad es muy alta (10-20 m), además las aberturas presentan en espesor de 2,5 a 10 mm por lo que se clasifican como moderadamente abierta.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,9 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

Cabe señalar que existen dos resistencias uniaxiales de la matriz rocosa a compresión de 3750 MPa y de 18 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece que en esta parte del talud existe tanto una roca muy dura como una roca blanda, aunque predomina la roca dura.



Figura 45. Junta favorable de estratificación del talud 3, primera parte.

Cuadro 19. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, primera parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	375,00	15
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,46	10
Longitud de la discontinuidad (m)	10,50	1
Abertura (mm)	6,30	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		70
RMR		II

J₁: Junta media con un buzamiento de 55°, con una dirección de buzamiento de azimut de 170°. Material conformado con óxidos de hierro viejos, fracturado, con separación promedio entre juntas de 36 cm, sin relleno con una abertura moderadamente abierta de 1 a 5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como algo meteorizado, sin filtraciones de agua.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,9%.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

Cuadro 20. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, primera parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	375,00	15
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,36	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,65	6
Abertura (mm)	4,00	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		56
RMR		III

Asimismo existe dos resistencias uniaxiales a compresión las cuales son de 375 MPa y 18 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece que en esta parte del talud existe tanto una roca muy dura como una roca blanda, aunque predomina la roca dura.



Figura 46 Junta media J₁ del talud 3, primera parte.

J₂: Junta media con un buzamiento de 84°, con una dirección de buzamiento de azimut de 210°. Material conformado con óxidos viejos, fracturado, con separación promedio entre juntas de 17 cm, sin relleno con una abertura moderadamente abierta de 1 a 5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizado, con filtraciones de agua (Junta con agua goteando).

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,9 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

Existen dos resistencias uniaxiales a compresión las cuales son de 3750 MPa y 18 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece que en esta parte del talud existe tanto una roca muy dura como una roca blanda, aunque predomina la roca dura.



Figura 47. Condición de J₂ del talud 3, primera parte.

Cuadro 21. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, primera parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	375,00	15
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,17	8
Longitud de la discontinuidad (m)	0,57	6
Abertura (mm)	4,00	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Goteando agua	4
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		43
RMR		III

Talud 3: Cerro La Potra, segunda parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la segunda parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-014,26
 Offset: 41,86 m
 Elevación: 262,01 msnm
 Coordenadas: N 950260,280
 E 303231,260

Estación: 0+041,96
 Offset: 33,80 m
 Elevación: 261,95 msnm
 Coordenadas: N 950283,620
 E 303283,030

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 10°, con una dirección de buzamiento de azimut de 15°. Roca arenisca moderadamente meteorizada. El relleno de las aberturas es nulo. Posee una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 46 cm. La continuidad es moderada (3-10 m), además las aberturas presentan en espesor de 10 a 100 mm por lo que se clasifican como muy ancha.

El J_v obtenido fue de 8, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 88,6 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 8) = 88,6 \%$$

Asimismo se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 24 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca blanda.

Cuadro 22. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, segunda parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	24,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	88,60	17
Separación entre diaclasas (m)	0,46	10
Longitud de la discontinuidad (m)	5,00	2
Abertura (mm)	11,50	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Moderadamente alterada	3
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		53
RMR		III



Figura 48. Junta favorable de estratificación del talud 3, segunda parte.

J₁: Junta media con un buzamiento de 55°, con una dirección de buzamiento de azimut de 170°. Roca arenisca moderadamente meteorizada, con separación promedio entre juntas de 35 cm, sin relleno, con una abertura muy ancha de 10 a 100 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m), además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como moderadamente meteorizado, sin filtraciones de agua.

El índice de Rock Quality Deignation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,9 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 24 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca blanda.

Cuadro 23. Clasificación geomecánica RMR Talud 3,segunda parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	24,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,35	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,45	6
Abertura (mm)	13,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Moderadamente alterada	3
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		40
RMR		IV



Figura 49. Junta media J₁ del talud 3, segunda parte.

J₂: Junta media con un buzamiento de 84°, con una dirección de buzamiento de azimut de 210°. Roca arenisca moderadamente meteorizada con separación promedio entre juntas de 17 cm, sin relleno, con una abertura muy ancha de 10 a 100 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m), además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como moderadamente meteorizado, sin filtraciones de agua (Junta en estado seco).

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Deignation (RQD) es de 91,90 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90 \%$$

Además, la resistencia uniaxial a compresión es de 24 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca blanda.

Cuadro 24. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, segunda parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	24,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,17	8
Longitud de la discontinuidad (m)	0,76	6
Abertura (mm)	12,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Moderadamente alterada	3
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		38
RMR		IV



Figura 50. Condición de J₂ del talud 3, segunda parte.

Talud 3: Cerro La Potra, tercera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la tercera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+041,96
 Offset: 33,80 m
 Elevación: 261,95 msnm
 Coordenadas: N 950283,620
 E 303283,030

Estación: 0+047,02
 Offset: -22,58 m
 Elevación: 262,06 msnm
 Coordenadas: N 950339,190
 E 303272,260

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 10°, con una dirección de buzamiento de azimut de 15°. Roca arenisca moderadamente meteorizada. El relleno de las aberturas es nulo. Posee una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 44 cm. La continuidad es moderada (3-10 m), además, las aberturas presentan en espesor de 10 a 100 mm por lo que se clasifican como muy ancha.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,9 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,9 \%$$

Asimismo se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 150 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca dura.

Cuadro 25. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, tercera parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	150,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,44	10
Longitud de la discontinuidad (m)	4,50	2
Abertura (mm)	15,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Moderadamente alterada	3
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		66
RMR		II



Figura 51. Junta favorable de estratificación del talud 3, tercera parte.

J₁: Junta media con un buzamiento de 55°, con una dirección de buzamiento de azimut de 170°. Roca arenisca superficialmente meteorizada, con separación promedio entre juntas de 32 cm, sin relleno, con una abertura muy ancha de 10 a 100 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m), además, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como algo meteorizado, sin filtraciones de agua.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,90 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90 \%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 150 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.



Figura 52. Junta media J_1 del talud 3, tercera parte.

Cuadro 26. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, tercera parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	150,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,32	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,48	6
Abertura (mm)	12,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	3
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		50
RMR		III

J₂: Junta media con un buzamiento de 84°, con una dirección de buzamiento de azimut de 210°. Roca arenisca superficialmente meteorizada con separación promedio entre juntas de 14 cm, sin relleno, con una abertura ancha aproximadamente de 10 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m), además, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como algo meteorizado, sin filtraciones de agua (Junta en estado seco).

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,9 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90 \%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 150 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.

Cuadro 27. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, tercera parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	150,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,14	8
Longitud de la discontinuidad (m)	0,40	6
Abertura (mm)	10,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		50
RMR		III



Figura 53. Condición de J₂ del talud 3, tercera parte

. Talud 3: Cerro La Potra, cuarta parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la cuarta parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+047,02
 Offset: -22,58 m
 Elevación: 262,06 msnm
 Coordenadas: N 950339,190
 E 303272,260

Estación: 0+050,73
 Offset: -27,91 m
 Elevación: 262,16 msnm
 Coordenadas: N 950345,330
 E 303274,350

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 10°, con una dirección de buzamiento de azimut de 15°. Roca arenisca muy meteorizada. El relleno de las aberturas es nulo. Posee una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 50 cm. La continuidad es moderada (3-10 m), además, las aberturas presentan en espesor promedio de 8 mm por lo que se clasifican como muy ancha.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,90 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90 \%$$

Asimismo se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 18 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca blanda.

Cuadro 28. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, cuarta parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	18,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,50	10
Longitud de la discontinuidad (m)	3,20	2
Abertura (mm)	8,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Moderadamente alterada	3
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		56
RMR		III



Figura 54. Junta favorable de estratificación del talud 3, cuarta parte.

J₁: Junta media con un buzamiento de 55°, con una dirección de buzamiento de azimut de 170°. Roca arenisca muy alterada, con separación promedio entre juntas de 30 cm y con una abertura muy ancha pues tiene un espesor de 10 a 100 mm, sin relleno.

La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizado, sin filtraciones de agua.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,90 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90\%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 18 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca blanda.



Figura 55. Medición de la resistencia uniaxial a compresión de J₁ del talud 3.

Cuadro 29. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, cuarta parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	18,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,30	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,42	6
Abertura (mm)	50,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		38
RMR		IV

J₂: Junta media con un buzamiento de 84°, con una dirección de buzamiento de azimut de 210°. Roca arenisca muy alterada, con separación promedio entre juntas de 20 cm y con una abertura muy ancha pues tiene un espesor de 10 a 100 mm, sin relleno.

La continuidad es muy baja (menor a 1m) además, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizado, sin filtraciones de agua (Junta en estado seco).

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,90 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90 \%$$

Asimismo, la resistencia uniaxial a compresión es de 18 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca blanda.

Cuadro 30. Clasificación geomecánica RMR Talud 3, cuarta parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	18,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,20	8
Longitud de la discontinuidad (m)	0,65	6
Abertura (mm)	20,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Moderadamente alterada	3
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		38
RMR		IV



Figura 56. Condición de J₂ del talud 3, cuarta parte.

Clasificación geomecánica RMR del Talud 3: Cerro La Potra.

De acuerdo a lo indicado anteriormente en los cuadros 19 al 30, se muestra la puntuación general del talud 3.

Cuadro 31. Clasificación geomecánica RMR promedio del Talud 3.

Discontinuidad	Puntuación
Talud 3-1 "S"	70,00
Talud 3-1 "J ₁ "	56,00
Talud 3-1 "J ₂ "	43,00
Talud 3-2 "S"	53,00
Talud 3-2 "J ₁ "	40,00
Talud 3-2 "J ₂ "	38,00
Talud 3-3 "S"	66,00
Talud 3-3 "J ₁ "	50,00
Talud 3-3 "J ₂ "	50,00
Talud 3-4 "S"	56,00
Talud 3-4 "J ₁ "	38,00
Talud 3-4 "J ₂ "	38,00
Promedio Ponderado	54,40
RMR	III

Por lo tanto, el talud 3 posee una clasificación geomecánica RMR de III, lo cual implica una calidad media, es decir, una cohesión de 2 a 3 kg/cm² y un ángulo de rozamiento de 25° a 35°.

Por otro lado, la dirección preferencial del talud 3 se divide en tres siendo la más predominante de un buzamiento promedio

de 10° y una dirección de buzamiento de 15°, tal como se aprecia en la figura 57.

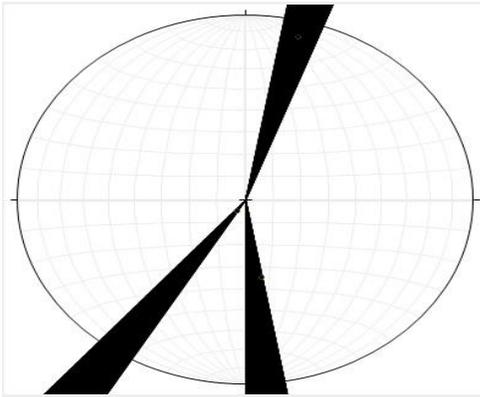


Figura 57. Diagrama de rosetas del talud 3.

Talud 4: Cerro La Potra.

El talud 4 del cerro La Potra se ubica en una elevación de 252 msnm, el cual se dividió en tres secciones debido a la longitud que posee y la variación de los parámetros de clasificación geomecánica RMR. A continuación, se detalla las tres secciones del talud 4:

Talud 4: Cerro La Potra, primera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de primera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-023,02
 Offset: 59,55 m
 Elevación: 252,02 msnm
 Coordenadas: N 950240,85
 E 303227,74

Estación: 0-013,82
 Offset: 55,33 m
 Elevación: 252,05 msnm
 Coordenadas: N 950247,46
 E 303235,42

Descripción del talud:

Suelo: La totalidad del talud es suelo residual de matriz arcilla limosa con fragmento de roca muy meteorizada. No existe presencia de agua superficial ni de vegetación. Posee una resistencia del suelo por compresión de 2,73 kg/cm² de acuerdo a la prueba del penetrómetro de suelo ST-308.



Figura 58. Talud 4 del cerro La Potra conformado por suelo residual de matriz arcilla limosa.

Talud 4: Cerro La Potra, segunda parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la segunda parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-013,82
 Offset: 55,33 m
 Elevación: 252,05 msnm
 Coordenadas: N 950247,46
 E 303235,42

Estación: 0+057,83
 Offset: -14,49 m
 Elevación: 251,99 msnm
 Coordenadas: N 950334,410
 E 303284,890

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 30°, con una dirección de buzamiento de azimut de 20°. Roca arenisca algo meteorizada. El relleno de las aberturas es de óxidos de calcio de aproximadamente de 1 mm de espesor. Posee una rugosidad ondulada rugosa, con filtración de agua (goteos) y con un espaciado promedio de 61 cm. La continuidad es moderada (3-10 m) además, las aberturas presentan en espesor de 0,1 a 0,25 mm por lo que se clasifican como cerrada.

El J_v obtenido fue de 2, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el

índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 100 %.

$$RQD = 100 \%$$

Asimismo, se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 170 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca dura.

Cuadro 32. Clasificación geomecánica RMR Talud 4, segunda parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	170,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	100,00	20
Separación entre diaclasas (m)	0,61	15
Longitud de la discontinuidad (m)	3,60	2
Abertura (mm)	0,20	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5 mm	2
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Goteo de agua	4
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		61
RMR		II



Figura 59. Junta favorable de estratificación del talud 4, segunda parte.

J₁: Junta media con un buzamiento de 87°, con una dirección de buzamiento de azimut de 180°. Roca arenisca ligeramente alterada, con separación promedio entre juntas de 50 cm, con relleno de óxidos de calcio de 1 mm de espesor aproximadamente, además con una abertura parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como algo meteorizado, sin filtraciones de agua.

El RQD obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 100 %, asimismo la resistencia uniaxial a compresión es de 170 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.



Figura 60. Plano de J₁ del talud 4, segunda parte.

Cuadro 33. Clasificación geomecánica RMR Talud 4, segunda parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	170,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	100,00	20
Separación entre diaclasas (m)	0,50	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,35	6
Abertura (mm)	0,30	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5 mm	2
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		51
RMR		III

J₂: Junta media con un buzamiento de 85°, con una dirección de buzamiento de azimut de 195°. Roca arenisca alterada superficialmente con separación promedio entre juntas de 17 cm, con relleno de óxidos de calcio (1 mm de espesor aproximadamente) con una abertura parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como algo meteorizado, sin filtraciones de agua.

El RQD obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 100 %, asimismo la resistencia uniaxial a compresión es de 170 MPa (Resistencia de

la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.



Figura 61. Condición de J₂ del talud 4, segunda parte.

Cuadro 34. Clasificación geomecánica RMR Talud 4, segunda parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	170,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	100,00	20
Separación entre diaclasas (m)	0,17	8
Longitud de la discontinuidad (m)	0,30	6
Abertura (mm)	0,30	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5 mm	2
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		49
RMR		III

Talud 4: Cerro La Potra, tercera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la tercera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+057,83
Offset: -14,49 m
Elevación: 251,99 msnm
Coordenadas: N 950334,410
E 303284,890

Estación: 0+064,69
Offset: -21,77 m
Elevación: 252,00 msnm
Coordenadas: N 950343,30
E 303289,46

Descripción del talud:

Suelo: La totalidad del talud es suelo residual de matriz arcilla limosa con fragmento de roca muy meteorizada excepto a cierto áreas que presenta roca parcialmente meteorizada. No existe presencia de agua superficial ni de vegetación. Posee una resistencia del suelo por compresión de $7,15 \text{ kg/cm}^2$ de acuerdo a la prueba del penetrómetro de suelo ST-308.



Figura 62. Talud 4 parte norte del cerro La Potra conformado por suelo residual de matriz arcilla limosa.

Clasificación geomecánica RMR del Talud 4: Cerro La Potra.

De acuerdo a lo indicado anteriormente en los cuadros 32 al 34, se muestra la puntuación general del talud 4.

Cuadro 35. Clasificación geomecánica RMR promedio del Talud 4.

Discontinuidad	Puntuación
Talud 4-2 "S"	61,00
Talud 4-2 "J ₁ "	51,00
Talud 4-2 "J ₂ "	49,00
Promedio Ponderado	56,80
RMR	III

Por lo tanto, el talud 4 posee una clasificación geomecánica RMR de III, lo cual implica una calidad media, es decir, una cohesión de 2 a 3 kg/cm^2 y un ángulo de rozamiento de 25° a 35° .

Por otro lado, la dirección preferencial del talud 4 se divide en dos siendo la más predominante de un buzamiento promedio de 85° y una dirección de buzamiento de 195° , tal como se aprecia en la figura 63.

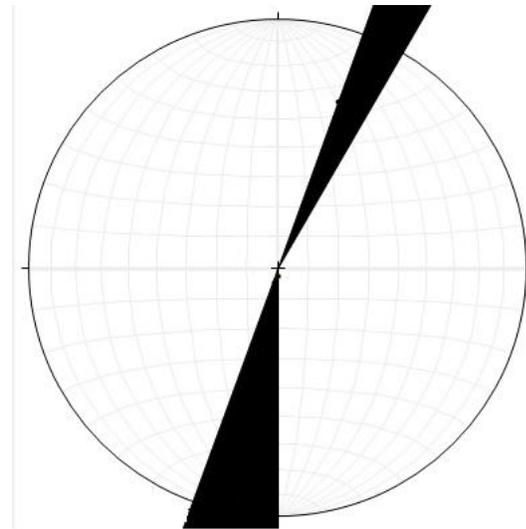


Figura 63. Diagrama de rosetas del talud 4.

Talud 5: Cerro La Potra.

El talud 5 del cerro La Potra se ubica en una elevación de 242 msnm, el cual se dividió en cuatro secciones debido a la longitud que posee y la variación de los parámetros de

clasificación geomecánica RMR. A continuación, se detalla las cuatro secciones del talud 5:

Talud 5: Cerro La Potra, primera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la primera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-050,86
Offset: 82,90 m
Elevación: 237,23 msnm
Coordenadas: N 950210,70
E 303207,47
Estación: 0-004,94
Offset: 62,42 m
Elevación: 242,09 msnm
Coordenadas: N 950243,110
E 303245,910

Descripción del talud:

Suelo: El tramo del talud entre las dos estaciones, presenta dos comportamientos. El primero es un suelo de matriz limo arcillosa de color chocolate claro, con fragmentos de roca meteorizada. El otro caso, 35 m hacia el norte partiendo de la estación 0-050,86 es un suelo limo arcillosa de color chocolate amarillento de baja densidad y baja plasticidad. En ambos casos no existe presencia de agua superficial ni de vegetación. Posee una resistencia del suelo por compresión de 2,82 kg/cm² de acuerdo a la prueba del penetrómetro de suelo ST-308.



Figura 64. Medida de la resistencia en suelo del Talud 5 primera parte.

Talud 5: Cerro La Potra, segunda y tercera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la segunda y tercera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-004,94
Offset: 62,42 m
Elevación: 242,09 msnm
Coordenadas: N 950243,110
E 303245,910
Estación: 0+055,91
Offset: -18,13 m
Elevación: 242,13 msnm
Coordenadas: N 950234,41
E 303277,25

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 15°, con una dirección de buzamiento de azimut de 36°. Roca arenisca algo meteorizada. El relleno de las aberturas es nulo. Posee una rugosidad ondulada rugosa, con filtración de agua (goteos) y con un espaciado promedio de 53 cm. La continuidad es moderada (3-10 m) además, las aberturas presentan en espesor de 10 a 100 mm por lo que se clasifican como muy ancha.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,90 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90 \%$$

Asimismo, se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 150 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca dura.

Cuadro 36. Clasificación geomecánica RMR Talud 5, segunda y tercera parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	150,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,53	10
Longitud de la discontinuidad (m)	4,00	2
Abertura (mm)	20,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		68
RMR		II



Figura 65. Junta favorable de estratificación del talud 5, segunda parte.

J₁: Junta media con un buzamiento de 77°, con una dirección de buzamiento de azimut de 170°. Roca arenisca algo alterada, con separación promedio entre juntas de 73 cm, sin relleno en las aberturas, además con una abertura muy ancha de 10 a 100 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como algo meteorizado, con filtraciones de agua (goteos).

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,90 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90\%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 150 MPa, por lo que se considera como una roca dura.



Figura 66. Plano de J₁ del talud 5, segunda parte.

Cuadro 37. Clasificación geomecánica RMR Talud 5,segunda y tercera parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	150,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,73	15
Longitud de la discontinuidad (m)	0,25	6
Abertura (mm)	80,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		57
RMR		III

J₂: Junta media con un buzamiento de 73°, con una dirección de buzamiento de azimut de 195°. Roca arenisca alterada superficialmente con separación promedio entre juntas de 37 cm, sin relleno en las aberturas, además con una abertura muy ancha de 10 a 100 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como algo meteorizado, con filtraciones de agua (Junta con goteos de agua).

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,90 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90 \%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 150 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.

Cuadro 38. Clasificación geomecánica RMR Talud 5,segunda y tercera parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	150,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,37	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,30	6
Abertura (mm)	75,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		52
RMR		III



Figura 67. Condición de J₂ del talud 5, segunda parte.

Talud 5: Cerro La Potra, cuarta parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la cuarta parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+055,91
 Offset: -18,13 m
 Elevación: 242,13 msnm
 Coordenadas: N 950234,41
 E 303277,25

Estación: hacia el norte.
 Offset: -
 Elevación: -
 Coordenadas: -

Descripción del talud:

Suelo :La totalidad del talud es suelo residual de baja densidad y baja plasticidad. Posee una matriz limo arcillosa de color chocolate claro, con fragmento de roca meteorizada. No existe presencia de agua superficial ni de vegetación. Posee una resistencia del suelo por compresión de 2,89 kg/cm² de acuerdo a la prueba del penetrómetro de suelo ST-308.



Figura 68. Medida de la resistencia en suelo del Talud 5 cuarta parte.

Clasificación geomecánica RMR del Talud 5: Cerro La Potra.

De acuerdo a lo indicado anteriormente en los cuadros 36 al 38, se muestra la puntuación general del talud 5.

Cuadro 39. Clasificación geomecánica RMR promedio del Talud 5.

Discontinuidad	Puntuación
Talud 5-2 "S"	68,00
Talud 5-2 "J ₁ "	57,00
Talud 5-2 "J ₂ "	52,00
Talud 5-3 "S"	68,00
Talud 5-3 "J ₁ "	57,00
Talud 5-3 "J ₂ "	52,00
Promedio	62,90
RMR	II

Por lo tanto, el talud 5 posee una clasificación geomecánica RMR de II, lo cual implica una calidad buena, es decir, una cohesión de 3 a 4 kg/cm² y un ángulo de rozamiento de 35° a 45°.

Por otro lado, la dirección preferencial del talud 5 se divide en tres siendo la más predominante de un buzamiento promedio de 15° y una dirección de buzamiento de 36°, tal como se aprecia en la figura 69.

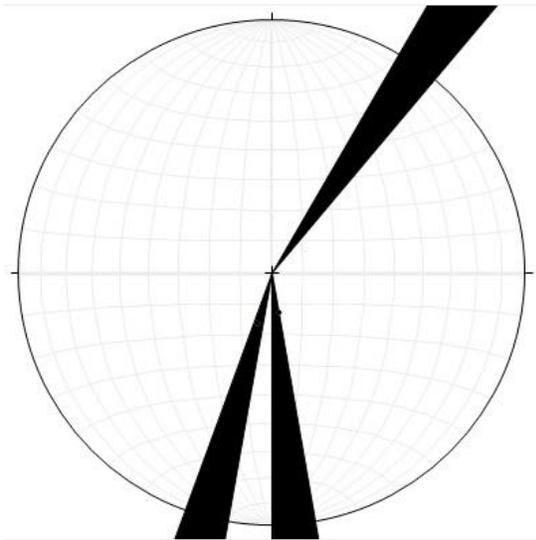


Figura 69. Diagrama de rosetas del talud 5.

Talud 6: Cerro La Potra.

El talud 6 del cerro La Potra se ubica en una elevación de 233 msnm, el cual se dividió en dos secciones debido a la longitud que posee y la variación de los parámetros de clasificación geomecánica RMR. A continuación, se detalla las dos secciones del talud 6:

Talud 6: Cerro La Potra, primera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la primera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: hacia el sur.
 Offset: -
 Elevación: -
 Coordenadas: -

Estación: 0+003,76
 Offset: 83,04 m
 Elevación: 233,23 msnm
 Coordenadas: N 950225,720
 E 303259,990

Descripción del talud:

Suelo: La totalidad del talud suelo residual de matriz limo arcillosa color chocolate amarillento de baja densidad, húmedo y media plasticidad. No existe presencia de vegetación. Posee una resistencia del suelo

por compresión de 2,89 kg/cm² de acuerdo a la prueba del penetrómetro de suelo ST-308.



Figura 70. Medida de la resistencia en suelo del Talud 6 primera parte.

Talud 6: Cerro La Potra, segunda parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la segunda parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+003,76
 Offset: 83,04 m
 Elevación: 233,23 msnm
 Coordenadas: N 950225,720
 E 303259,990

Estación: 0+039,03
 Offset: 78,50 m
 Elevación: 232,66 msnm
 Coordenadas: N 950239,850
 E 303292,620

Cabe señalar que la segunda parte del talud 6 presenta basalto de color gris algo meteorizado con aproximadamente 10 m de altura a partir de la elevación de la estación 0+003,76, posteriormente sobre el basalto se encuentra arenisca color gris oscuro, meteorizado superficialmente.

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 59°, con una dirección de buzamiento de azimut de 36°. Roca tipo basalto algo meteorizada. El relleno de las aberturas es de calcita, la cual presenta un espesor de 1 a 100 mm. Posee una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 90 cm.

La continuidad es baja (1-3 m) además, las aberturas presentan en espesor de 10 a 100 mm por lo que se clasifican como muy ancha.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,90 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90\%$$

Asimismo, se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 225 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca dura.



Figura 71. Junta favorable de estratificación del talud 6, segunda parte.

Cuadro 40. Clasificación geomecánica RMR Talud 6, segunda parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	225,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,90	15
Longitud de la discontinuidad (m)	2,00	4
Abertura (mm)	20,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando mayor 5 mm	0
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		69
RMR		II

J₁: Junta media con un buzamiento de 26°, con una dirección de buzamiento de azimut de 155°. Roca tipo basalto alterada superficialmente, con separación promedio entre juntas de 126 cm. Además posee una abertura muy ancha de 10 a 100 mm, sin relleno. La continuidad es baja (1m a 3 m) asimismo, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como algo meteorizado, sin filtraciones de agua. El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,90 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90 \%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 225 MPa, por lo que se considera como una roca dura.

Cuadro 41. Clasificación geomecánica RMR Talud 6, segunda parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	225,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	1,26	15
Longitud de la discontinuidad (m)	2,80	4
Abertura (mm)	100,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		55
RMR		III



Figura 72. Plano de J₁ del talud 6, segunda parte.

J₂: Junta media con un buzamiento de 59°, con una dirección de buzamiento de azimut de 200°. Roca tipo basalto alterada superficialmente con separación promedio entre juntas de 58 cm. Posee relleno en las aberturas de calcita, la cual presenta un espesor de 1 a 100 mm, además con una abertura muy ancha de 10 a 100 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) asimismo las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como algo meteorizado, sin filtraciones de agua.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,90 %. La resistencia uniaxial a compresión es de 225 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.

Cuadro 42. Clasificación geomecánica RMR Talud 6, segunda parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	225,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,58	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,55	6
Abertura (mm)	60,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5 mm	2
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		48
RMR		III

Clasificación geomecánica RMR del Talud 6: Cerro La Potra.

De acuerdo a lo indicado anteriormente en los cuadros 40 al 42, se muestra la puntuación general del talud 6.

Cuadro 43. Clasificación geomecánica RMR promedio del Talud 6.

Discontinuidad	Puntuación
Talud 6-2 "S"	69,00
Talud 6-2 "J ₁ "	55,00
Talud 6-2 "J ₂ "	48,00
Promedio Ponderado	62,00
RMR	II

Por lo tanto, el talud 6 posee una clasificación geomecánica RMR de II, lo cual implica una calidad buena, es decir, una cohesión de 3 a 4 kg/cm² y un ángulo de rozamiento de 35° a 45°.

Por otro lado, la dirección preferencial del talud 6 se divide en tres siendo la más predominante de un buzamiento promedio de 59° y una dirección de buzamiento de 36°, tal como se aprecia en la figura 73.

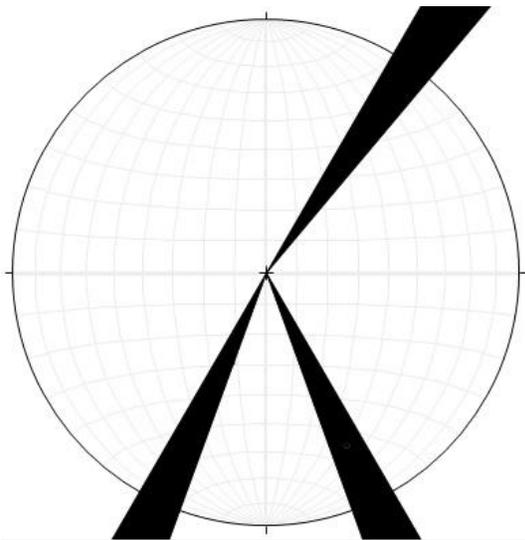


Figura 73. Diagrama de rosetas del talud 6.

Talud 7: Cerro La Potra.

El talud 7 del cerro La Potra se ubica en una elevación de 222 msnm, el cual se dividió en cinco secciones debido a la longitud que posee y la variación de los parámetros de

clasificación geomecánica RMR. A continuación, se detalla las cinco secciones del talud 7:

Talud 7: Cerro La Potra, primera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la primera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-114,42

Offset: 157,17 m

Elevación: 222,22 msnm

Coordenadas: N 950121,72

E 303167,00

Estación: 0-016,40

Offset: 119,65 m

Elevación: 222,38 msnm

Coordenadas: N 950184,95

E 303250,77

Descripción del talud:

Suelo: La totalidad del talud suelo residual de matriz limo arcillosa color chocolate amarilloso de baja densidad, muy húmedo y media plasticidad. No existe presencia de vegetación. Posee una resistencia del suelo por compresión de 5,41 kg/cm² de acuerdo a la prueba del penetrómetro de suelo ST-308.



Figura 74. Talud 7 primera parte, conformado por suelo de matriz limo arcillosa.

Talud 7: Cerro La Potra, segunda parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la segunda parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-016,40

Offset: 119,65 m

Elevación: 222,38 msnm

Coordenadas: N 950184,95
E 303250,77

Estación: 0+006,55
Offset: 99,94 m
Elevación: 222,60 msnm
Coordenadas: N 950210,25
E 303267,35

Descripción del talud:

Suelo: La totalidad del talud suelo aluvial conformado por gravas redondas de tamaño aproximadamente 30 cm, además de gravillas de 10 mm de tamaño y algunos bolos pero de manera ocasional. No existe presencia de vegetación, ni de agua superficial. Debido a ser un suelo aluvial no es razonable aplicar una resistencia del suelo por compresión pues serían inconsistentes los datos obtenidos.



Figura 75. Talud 7 segunda parte, conformado por suelo aluvial.

Talud 7: Cerro La Potra, tercera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la tercera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+006,55
Offset: 99,94 m
Elevación: 222,60 msnm
Coordenadas: N 950210,25
E 303267,35

Estación: 0+014,89
Offset: 94,87 m
Elevación: 222,66 msnm

Coordenadas: N 950217,440
E 303273,960

Descripción del talud:

Suelo: La totalidad del talud suelo residual de matriz limo arenosa además de material aluvial conformado por gravas redondas de tamaño aproximadamente 30 cm y de gravillas de 10 mm de tamaño. No existe presencia de vegetación ni de agua superficial. Debido a que gran parte del talud es un suelo aluvial no es razonable aplicar una resistencia del suelo por compresión pues serían inconsistentes los datos obtenidos.



Figura 76. Talud 7 tercera parte, conformado por suelo residual de matriz limo arenosa más material aluvial.

Talud 7: Cerro La Potra, cuarta parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la cuarta parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+014,89
Offset: 94,87 m
Elevación: 222,66 msnm
Coordenadas: N 950217,440
E 303273,960

Estación: 0+028,56
Offset: 92,24 m
Elevación: 222,49 msnm
Coordenadas: N 950223,750
E 303286,360

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 30°, con una dirección de buzamiento de hacia el noreste. Roca basalto muy meteorizada. El relleno de las aberturas es de calcita de aproximadamente de 3 mm de espesor. Posee una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 60 cm. La continuidad es muy baja (menor a 1 m) además, las aberturas presentan en espesor de 2,5 a 10 mm por lo que se clasifican como moderadamente abierta.

El J_v obtenido fue de 8, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 88,60 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 8) = 88,60 \%$$

Asimismo, se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 22 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca blanda.



Figura 77. Junta favorable de estratificación del talud 7, cuarta parte.

Cuadro 44. Clasificación geomecánica RMR Talud 7, cuarta parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	22,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	88,60	17
Separación entre diaclasas (m)	0,60	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,90	6
Abertura (mm)	5,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor 5 mm	4
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		57
RMR		III

J₁: Junta media con un buzamiento de 84°, con una dirección de buzamiento de oeste a este. Roca basalto muy alterada, con separación promedio entre juntas de 64 cm, con relleno de calcita de 3 mm de espesor aproximadamente, además con una abertura moderadamente abierta de 2,5 a 10 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizado, sin filtraciones de agua.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 88,60 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 8) = 88,60\%$$

Asimismo, la resistencia uniaxial a compresión es de 22 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca blanda.



Figura 78. Plano de J_1 del talud 7, cuarta parte.

Cuadro 45. Clasificación geomecánica RMR Talud 7, cuarta parte, discontinuidad " J_1 ".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	22,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	88,60	17
Separación entre diaclasas (m)	0,64	15
Longitud de la discontinuidad (m)	0.30	6
Abertura (mm)	7,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5 mm	4
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		42
RMR		III

Talud 7: Cerro La Potra, quinta parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la quinta parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+028,56

Offset: 92,24 m

Elevación: 222,49 msnm

Coordenadas: N 950223,750

E 303286,360

Estación: -

Offset: -

Elevación: -

Coordenadas: -

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 21° , con una dirección de buzamiento de hacia el noreste. Roca basalto sana. El relleno de las aberturas es de calcita de espesor menor a 1mm. Posee una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 203 cm. La continuidad es baja (1 a 3 m) además, las aberturas presentan en espesor de 0,1 a 0,25 mm por lo que se clasifican como cerrada.

El RQD obtenido a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 100 % (J_v menor que 4), asimismo se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 240 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca dura.



Figura 79. Medida de la separación de J_1 talud 7, quinta parte, se aprecia además la junta favorable de estratificación en la parte superior de la imagen.

Cuadro 46. Clasificación geomecánica RMR Talud 7, quinta parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	240,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	100,00	20
Separación entre diaclasas (m)	2,03	20
Longitud de la discontinuidad (m)	2,50	4
Abertura (mm)	0,20	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor 5 mm	4
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		81
RMR		I

Cuadro 47. Clasificación geomecánica RMR Talud 7, quinta parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	240,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	100,00	20
Separación entre diaclasas (m)	0,54	10
Longitud de la discontinuidad (m)	1,80	4
Abertura (mm)	0,20	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5 mm	4
Alteración	Ligeramente alterada	5
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		51
RMR		III

J₁: Junta media con un buzamiento de 61°, con una dirección de buzamiento de oeste a este. Roca basalto sana, con separación promedio entre juntas de 54 cm, con relleno de calcita de espesor menor a 1mm, además con una abertura cerrada de 0,1 a 0,25 mm. La continuidad es baja (1 a 3 m) asimismo las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como sano, sin filtraciones de agua.

El RQD obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 100 % (J_v menor que 4). La resistencia uniaxial a compresión es de 240 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.



Figura 80. Plano de J₁ del talud 7, quinta parte.

Clasificación geomecánica RMR del Talud 7: Cerro La Potra.

De acuerdo a lo indicado anteriormente en los cuadros 44 al 47, se muestra la puntuación general del talud 7.

Cuadro 48. Clasificación geomecánica RMR promedio del Talud 7.

Discontinuidad	Puntuación
Talud 7-4 "S"	57,00
Talud 7-4 "J ₁ "	42,00
Talud 7-5 "S"	81,00
Talud 7-5 "J ₁ "	51,00
Promedio Ponderado	60,00
RMR	III

Por lo tanto, el talud 7 posee una clasificación geomecánica RMR de III, lo cual implica una calidad media, es decir, una cohesión de 2 a 3 kg/cm² y un ángulo de rozamiento de 25° a 35°.

Por otro lado, la dirección preferencial del talud 7 se divide en dos siendo la más predominante de un buzamiento promedio de 21° y una dirección de buzamiento de 70°, tal como se aprecia en la figura 81.

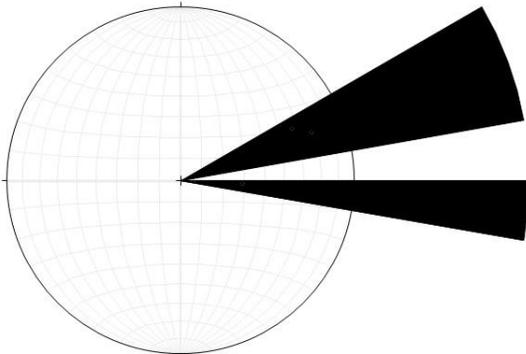


Figura 81. Diagrama de rosetas del talud 7.

Talud 8: Cerro La Potra.

El talud 8 del cerro La Potra se ubica en una elevación de 210 msnm, el cual se dividió en seis secciones debido a la longitud que posee y la variación de los parámetros de clasificación geomecánica RMR. A continuación, se detalla las seis secciones del talud 8:

Talud 8: Cerro La Potra, primera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la primera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-117,43

Offset: 176,96 m

Elevación: 207,66 msnm

Coordenadas: N 950101,870

E 303169,600

Estación: 0-102,97

Offset: 173,18 m

Elevación: 207,92 msnm

Coordenadas: N 950109,510

E 303182,440

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 45°, con una dirección de buzamiento de este a oeste. Roca arenisca muy meteorizada. No posee relleno y presenta una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 87 cm. La continuidad es moderada (3 a 10 m) además, las aberturas presentan en espesor de 0,1 a 0,25 mm por lo que se clasifican como cerrada.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 85,30 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

Asimismo, se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 29 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca consistente.



Figura 82. Junta de estratificación S, talud 8 primera parte.

Cuadro 49. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, primera parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	29,00	4
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,87	15
Longitud de la discontinuidad (m)	3,15	2
Abertura (mm)	0,20	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		61
RMR		II

J₁: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento de norte a sur. Roca arenisca muy alterada, con separación promedio entre juntas de 57 cm,

además, con una abertura parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm, sin relleno. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizada, sin filtraciones de agua.

El J_v obtenido fue de 9, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 85,30 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 29 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca consistente.

Cuadro 50. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, primera parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	29,00	4
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,57	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,70	6
Abertura (mm)	0,40	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		40
RMR		IV



Figura 83. Plano de J₁ del talud 8, primera parte.

J₂: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento hacia el norte. Roca arenisca muy alterada, con separación promedio entre juntas de 37 cm, además, con una abertura parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm, sin relleno. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizada, sin filtraciones de agua.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 85,30 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 29 MPa por lo que se considera como una roca consistente.



Figura 84. Plano de J₂ del talud 8, primera parte.

Cuadro 51. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, primera parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	29,00	4
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,37	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,50	6
Abertura (mm)	0,50	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		40
RMR		IV

Talud 8: Cerro La Potra, segunda parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la segunda parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-102,97
 Offset: 173,18 m
 Elevación: 207,92 msnm
 Coordenadas: N 950109,510
 E 303182,440

Estación: 0-048,65
 Offset: 151,02 m
 Elevación: 211,14 msnm
 Coordenadas: N 950145,860
 E 303228,490

Cabe señalar que la segunda parte del talud 8 presenta roca arenisca muy meteorizada con las mismas familias y características de la primera parte con la diferencia de que se encuentra material aluvial aproximadamente a una altura de 10 m a partir del pie del talud, el cual está compuesto por gravilla de tamaño de 10 mm aproximadamente, gravas de tamaño de 30 cm y bolos de tamaños mayores a 30 cm.

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 45°, con una dirección de buzamiento de este a oeste. Roca arenisca muy meteorizada. No posee relleno y presenta una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 87 cm. La continuidad es moderada (3 a 10 m) además, las aberturas presentan en espesor de 0,1 a 0,25 mm por lo que se clasifican como cerrada.

El J_v obtenido fue de 9, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 85,30 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

La resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 29 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca consistente.



Figura 85. Junta de estratificación S, talud 8 segunda parte.

Cuadro 52. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, segunda parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	29,00	4
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,87	15
Longitud de la discontinuidad (m)	3,20	2
Abertura (mm)	0,25	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		61
RMR		II

J₁: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento de norte a sur. Roca arenisca muy alterada, con separación promedio entre juntas de 55 cm, sin relleno, además con una abertura parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizada, sin filtraciones de agua.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 85,30 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

Asimismo, la resistencia uniaxial a compresión es de 29 MPa , por lo que se considera como una roca consistente.



Figura 86. Bloque que muestra las tres familias talud 8, segunda parte.

Cuadro 53. Clasificación geomecánica RMR Talud 8,segunda parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	29,00	4
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,55	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,62	6
Abertura (mm)	0,40	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		40
RMR		IV

J₂: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento hacia el

norte. Roca arenisca muy alterada, con separación promedio entre juntas de 37 cm, sin relleno, además con una abertura parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizada, sin filtraciones de agua.

El J_v obtenido fue de 9, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom , el índice de Rock Quality Deignation (RQD) es de 85,30 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

Asimismo, la resistencia uniaxial a compresión es de 29 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca consistente.

Cuadro 54. Clasificación geomecánica RMR Talud 8,segunda parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	29,00	4
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,37	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,45	6
Abertura (mm)	0,50	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		40
RMR		IV

Talud 8: Cerro La Potra, tercera parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la tercera parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-048,65
 Offset: 151,02 m
 Elevación: 211,14 msnm
 Coordenadas: N 950145,860
 E 303228,490
 Estación: 0-021,87
 Offset: 138,97 m
 Elevación: 212,14 msnm
 Coordenadas: N 950164,870
 E 303250,880

Cabe señalar que la tercera parte del talud 8 presenta arenisca moderadamente meteorizada de color gris claro, además el material aluvial se encuentra a una altura de aproximadamente de 2 m a partir del pie del talud, el cual está compuesto por gravilla de tamaño de 10 mm aproximadamente, gravas de tamaño de 30 cm y bolos de tamaños mayores a 30 cm.

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 45°, con una dirección de buzamiento de este a oeste. Roca arenisca moderadamente meteorizada. No posee relleno y presenta una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua y con un espaciado promedio de 90 cm. La continuidad es moderada (3 a 10 m) además, las aberturas presentan en espesor de 0,1 a 0,25 mm por lo que se clasifican como cerrada.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 85,30 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

La resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 175 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca dura.



Figura 87. Junta de estratificación S, talud 8 tercera parte.

Cuadro 55. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, tercera parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	175,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,90	15
Longitud de la discontinuidad (m)	3,15	2
Abertura (mm)	0,20	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		69
RMR		II

J₁: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento de norte a sur. Roca arenisca moderadamente alterada, con separación promedio entre juntas de 57 cm, sin relleno, además con una abertura

parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como moderadamente meteorizada, sin filtraciones de agua.

El J_v obtenido fue de 9, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 85,30 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 175 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.

Cuadro 56. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, tercera parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	175,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,57	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,70	6
Abertura (mm)	0,40	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		48
RMR		III



Figura 88. Familia J₁ talud 8 tercera parte.

J₂: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento hacia el norte. Roca arenisca moderadamente alterada, con separación promedio entre juntas de 37 cm, sin relleno, además con una abertura parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como moderadamente meteorizada, sin filtraciones de agua.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 85,30 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

Asimismo, la resistencia uniaxial a compresión es de 175 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.



Figura 89. Plano de J₂ del talud 8, tercera parte.

Cuadro 57. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, tercera parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	175,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,37	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,50	6
Abertura (mm)	0,50	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		48
RMR		III

Talud 8: Cerro La Potra, cuarta parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la cuarta parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0-021,87
 Offset: 138,97 m
 Elevación: 212,14 msnm
 Coordenadas: N 950164,870
 E 303250,880

Estación: -
 Offset: -
 Elevación: -
 Coordenadas: -

Cabe señalar que la cuarta parte del talud 8 presenta arenisca muy meteorizada donde posee una altura de 1 m y el material aluvial presenta una altura de aproximadamente 10 m, el cual está compuesto por gravilla de tamaño de 10 mm aproximadamente, gravas de tamaño de 30 cm y bolos de tamaños

mayores a 30 cm. Otro aspecto importante es que sobre el talud fluye agua proveniente la parte más alta del material aluvial.

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 45°, con una dirección de buzamiento de este a oeste. Roca arenisca muy meteorizada. No posee relleno y presenta una rugosidad ondulada rugosa, con filtración de agua (condición húmeda) y con un espaciado promedio de 85 cm. La continuidad es moderada (3 a 10 m) además, las aberturas presentan en espesor de 0,1 a 0,25 mm por lo que se clasifican como cerrada.

El J_v obtenido fue de 9, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 85,30 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

Asimismo, se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 19 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca blanda.



Figura 90. Junta de estratificación S, talud 8 cuarta parte.

Cuadro 58. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, cuarta parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	19,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,85	15
Longitud de la discontinuidad (m)	3,10	2
Abertura (mm)	0,20	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Húmedo	7
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		51
RMR		III

J₁: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento de norte a sur. Roca arenisca muy alterada, con separación promedio entre juntas de 57 cm, además con una abertura parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm, sin relleno. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizada, con filtraciones de agua (condición goteos de agua). El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 85,30 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 19 MPa, por lo que se considera como una roca blanda.



Figura 91. Plano de J₁ del talud 8, cuarta parte.

Cuadro 59. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, cuarta parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	19,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,57	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,70	6
Abertura (mm)	0,40	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Goteo de agua	4
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		27
RMR		IV

J₂: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento hacia el norte. Roca arenisca muy alterada, con separación promedio entre juntas de 37 cm, además con una abertura parcialmente abierta de 0,25 a 0,5 mm, sin relleno. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizada, con filtraciones de agua (condición goteos de agua).

El J_v obtenido fue de 9, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 85,30 %. La resistencia uniaxial a compresión es de 19 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca blanda.

Cuadro 60. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, cuarta parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	19,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,37	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,50	6
Abertura (mm)	0,50	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Goteo de agua	4
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		27
RMR		IV



Figura 92. Plano de J₂ del talud 8, primera parte.

Talud 8: Cerro La Potra, quinta parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la quinta parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación:-

Offset: -

Elevación: -

Coordenadas: -

Estación: 0+034,23

Offset: 100,02 m

Elevación: 214,24 msnm

Coordenadas: N 950217,850

E 303293,970

Cabe señalar que la quinta parte del talud 8 presenta basalto muy meteorizado donde sobre este se encuentra material aluvial a una altura de aproximadamente 1 m a partir del pie del talud en la estación - hasta la estación 0+034,23 donde llega completamente al pie del talud. El material aluvial está compuesto por gravilla de tamaño de 10 mm aproximadamente, gravas de tamaño de 30 cm y bolos de tamaños mayores a 30 cm.

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 45°, con una dirección de buzamiento de este a oeste. Roca basáltica muy meteorizada. Posee relleno de calcita de 5 a 10 mm de espesor, además presenta una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua. El espaciado promedio de 41 cm. La continuidad es muy baja (menor a

1 m) además, las aberturas presentan en espesor de 2,5 a 10 mm por lo que se clasifican como moderadamente abierta.

El índice de Rock Quality Deignation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 85,30 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

Asimismo, se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 20 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca blanda.

Cuadro 61. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, quinta parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	20,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,41	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0.55	6
Abertura (mm)	8,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando mayor a 5 mm	0
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		49
RMR		III



Figura 93. Junta de estratificación S, talud 8 quinta parte.

J₁: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento de norte a sur. Roca basáltica muy alterada, con separación promedio entre juntas de 42 cm y con relleno de calcita de 5 a 10 mm de espesor, además con una abertura moderadamente abierta de 2,5 a 10 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) además, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizada, sin filtraciones de agua. El J_v obtenido fue de 9, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Deignation (RQD) es de 85,30 %.

La resistencia uniaxial a compresión es de 20 MPa, por lo que se considera como una roca blanda.



Figura 94. Plano de J₁ del talud 8, quinta parte.

Cuadro 62. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, quinta parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	20,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,42	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,70	6
Abertura (mm)	9,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando mayor a 5mm	0
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		29
RMR		IV

J₂: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento hacia el norte. Roca basáltica muy alterada, con separación promedio entre juntas de 47 cm y con relleno de calcita de 5 a 10 mm de espesor, además con una abertura moderadamente abierta de 2,5 a 10 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) asimismo, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizada, sin filtraciones de agua.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 85,30 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 20 MPa , por lo que se considera como una roca blanda.



Figura 95. Medición de la resistencia uniaxial a compresión del talud 8, quinta parte.

Cuadro 63. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, quinta parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	20,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,47	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,50	6
Abertura (mm)	9,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando mayor a 5 mm	0
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		29
RMR		IV

Talud 8: Cerro La Potra, sexta parte.

Se efectuó la evaluación in situ de la sexta parte del talud entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

Estación: 0+034,23
Offset: 100,02 m
Elevación: 214,24 msnm
Coordenadas: N 950217,850
E 303293,970

Estación: 0+049,24
Offset: 88,60 m
Elevación: 218,98 msnm
Coordenadas: N 950232,980
E 303305,230

Cabe señalar que la sexta parte del talud 8 posee las mismas familias y características de la quinta parte con la diferencia de que sobre él no hay material aluvial.

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 45°, con una dirección de buzamiento de este a oeste. Roca basáltica muy meteorizada. Posee relleno de calcita de 5 a 10 mm de espesor, además presenta una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua. El espaciado promedio de 41 cm. La continuidad es muy baja (menor a 1 m). Las aberturas presentan en espesor de 2,5 a 10 mm por lo que se clasifican como moderadamente abierta.

El J_v obtenido fue de 9, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 85,30 %.

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

Asimismo, se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 20 MPa, por lo que se establece como una roca blanda.



Figura 96. Junta de estratificación S, talud 8 quinta parte.

Cuadro 64. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, sexta parte, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	20,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,41	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,50	6
Abertura (mm)	8,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando mayor a 5 mm	0
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		49
RMR		III

J₁: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento de norte a sur. Roca basáltica muy alterada, con separación promedio entre juntas de 42 cm y con relleno de calcita de 5 a 10 mm de espesor, además con una abertura moderadamente abierta de 2,5 a 10 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) asimismo, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de

meteorización clasificado como muy meteorizada, sin filtraciones de agua. El índice de Rock Quality Deignation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 85,30 %, tal como se presenta a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 20 MPa , por lo que se considera como una roca blanda.

Cuadro 65. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, sexta parte, discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	20,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,42	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,35	6
Abertura (mm)	6,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando mayor a 5mm	0
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		29
RMR		IV



Figura 97. Plano de J₁ y J₂ del talud 8, sexta parte.

J₂: Junta media con un buzamiento de 40°, con una dirección de buzamiento hacia el norte. Roca basáltica muy alterada, con separación promedio entre juntas de 47 cm y con relleno de calcita de 5 a 10 mm de espesor, además con una abertura moderadamente abierta de 2,5 a 10 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1m) asimismo, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, con grado de meteorización clasificado como muy meteorizada, sin filtraciones de agua.

El J_v obtenido fue de 9, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom , el índice de Rock Quality Deignation (RQD) es de 85,30 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 9) = 85,30\%$$

La resistencia uniaxial a compresión es de 20 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca blanda.

Cuadro 66. Clasificación geomecánica RMR Talud 8, sexta parte, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	20,00	2
Rock Quality Designation (RQD)	85,30	17
Separación entre diaclasas (m)	0,47	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,30	6
Abertura (mm)	6,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando mayor a 5mm	0
Alteración	Muy alterada	1
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		29
RMR		IV

Clasificación geomecánica RMR del Talud 8: Cerro La Potra.

De acuerdo a lo indicado anteriormente en los cuadros 49 al 66, se muestra la puntuación general del talud 8.

Por lo tanto, el talud 8 posee una clasificación geomecánica RMR de III; tal como se aprecia en el cuadro 67, lo cual implica una calidad media, es decir, una cohesión de 2 a 3 kg/cm² y un ángulo de rozamiento de 25° a 35°.

Cuadro 67. Clasificación geomecánica RMR promedio del Talud 8.

Discontinuidad	Puntuación
Talud 8-1 "S"	61,00
Talud 8-1 "J ₁ "	40,00
Talud 8-1 "J ₂ "	40,00
Talud 8-2 "S"	61,00
Talud 8-2 "J ₁ "	40,00
Talud 8-2 "J ₂ "	40,00
Talud 8-3 "S"	69,00
Talud 8-3 "J ₁ "	48,00
Talud 8-3 "J ₂ "	48,00
Talud 8-4 "S"	51,00
Talud 8-4 "J ₁ "	27,00
Talud 8-4 "J ₂ "	27,00
Talud 8-5 "S"	49,00
Talud 8-5 "J ₁ "	29,00
Talud 8-5 "J ₂ "	29,00
Talud 8-6 "S"	49,00
Talud 8-6 "J ₁ "	29,00
Talud 8-6 "J ₂ "	29,00
Promedio Ponderado	48,20
RMR	III

Por otro lado, la dirección preferencial del talud 8 se divide en dos siendo la más predominante de un buzamiento promedio de 40° y una dirección de buzamiento de 180°, tal como se aprecia en la figura 98.

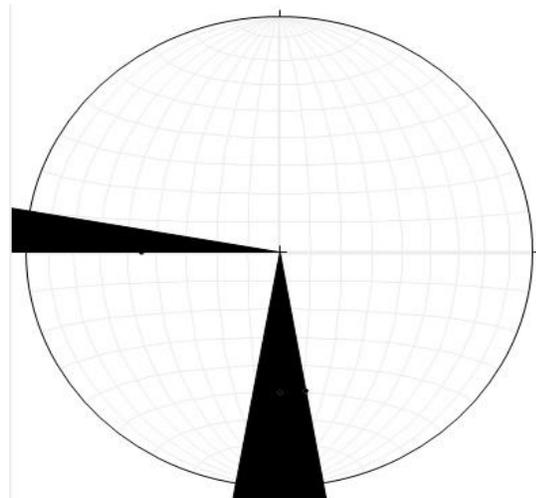


Figura 98. Diagrama de rosetas del talud 8.

Talud 9: Cerro La Potra.

El talud 8 del cerro La Potra se ubica en una elevación de 220 msnm, el cual se detalla a continuación:

Talud 9: Cerro La Potra.

Se efectuó la evaluación in situ entre dos puntos, los cuales están respecto al eje de presa.

1. Estación: 0+049,24
Offset: 88,60 m
Elevación: 218,98 msnm
Coordenadas: N 950232,980
E 303305,230

2. Estación: 0+093,95
Offset: 20,35 m
Elevación: 224,43 msnm
Coordenadas: N 950310,96
E 303329,26

Cabe señalar que el talud 9 se compone dos secciones, la primera de roca arenisca sana. Esta parte del talud inicia en la estación 0+049,24 donde se tomó puntos topográficos para separar la arenisca del basalto, los cuales son los siguientes:

3. Estación: 0+064,99
Offset: 59,54 m
Elevación: 238,96 msnm
Coordenadas: N 950265,27
E 303312,30

4. Estación: 0+093,86
Offset: 19,03
Elevación: 235,10 msnm
Coordenadas: N 950312,20
E 303328,80

La segunda sección del talud compuesta de roca tipo basalto inicia con elevaciones inferiores al punto 3 y 4 hasta una elevación de 1 y 2. Cabe destacar que el análisis del talud 9 es a la sección del basalto y no a la arenisca debido a la altura que posee el talud.

Descripción de las discontinuidades:

S: Junta favorable de estratificación con un buzamiento de 25°, con una dirección de

buzamiento de 66°. Roca basáltica sana. Posee relleno de calcita de 1 mm de espesor, además presenta una rugosidad ondulada rugosa, sin filtración de agua. El espaciado promedio de 250 cm. La continuidad es moderada (3-10 m). Las aberturas presentan en espesor de aproximadamente 10 mm por lo que se clasifican como ancha.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,90 %.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 115 - (3,3 * 7) = 91,90\%$$

Asimismo, se cuenta con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa a compresión de 250 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se establece como una roca dura.

Cuadro 68. Clasificación geomecánica RMR Talud 9, discontinuidad "S".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	250,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	2,50	20
Longitud de la discontinuidad (m)	3,10	2
Abertura (mm)	10,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5 mm	2
Alteración	Sana	6
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Favorables	-5
Puntuación total		75
RMR		II

J₁: Junta media con un buzamiento de 72°, con una dirección de buzamiento de 176°. Roca basáltica sana, con separación promedio entre juntas de un rango de 60 a 200 cm y con relleno de calcita de 1 mm de espesor, además con una abertura ancha de aproximadamente 10 mm. La continuidad es baja (1 -3 m) asimismo, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, no posee grado de meteorización por lo que es una roca sana, sin filtraciones de agua.

El índice de Rock Quality Designation (RQD) obtenida a través de la correlación empírica de Palmstrom es de 91,30 %. La resistencia uniaxial a compresión es de 250 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.

Cuadro 69. Clasificación geomecánica RMR Talud 9 discontinuidad "J₁".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	250,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	1,30	15
Longitud de la discontinuidad (m)	2,00	4
Abertura (mm)	10,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5mm	2
Alteración	Sana	6
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		52
RMR		III

J₂: Junta media con un buzamiento de 76°, con una dirección de buzamiento de 98°. Roca basáltica sana, con separación promedio entre juntas de un rango de 20 a 60 cm y con relleno de calcita de 1 mm de espesor, además con una abertura moderadamente abierta de un rango de 2,5 a 10 mm. La continuidad es muy baja (menor a 1 m) asimismo, las juntas poseen una rugosidad ondulada rugosa, no posee grado de meteorización por lo que es una roca sana, sin filtraciones de agua.

El J_v obtenido fue de 7, por lo que aplicando la correlación empírica de Palmstrom, el índice de Rock Quality Designation (RQD) es de 91,90 %. La resistencia uniaxial a compresión es de 250 MPa (Resistencia de la roca obtenida del esclerómetro), por lo que se considera como una roca dura.

Cuadro 70. Clasificación geomecánica RMR Talud 9, discontinuidad "J₂".

Clasificación geomecánica RMR	Valor	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	250,00	12
Rock Quality Designation (RQD)	91,90	20
Separación entre diaclasas (m)	0,40	10
Longitud de la discontinuidad (m)	0,50	6
Abertura (mm)	6,00	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando menor a 5mm	2
Alteración	Sana	6
Agua freática	Seco	15
Corrección por la orientación de las discontinuidades	Medias	-25
Puntuación total		49
RMR		III



Figura 99. Talud 9 del cerro La Potra, donde se aprecia los tres tipos de discontinuidades.

Clasificación geomecánica RMR del Talud 9: Cerro La Potra.

De acuerdo a lo indicado anteriormente en los cuadros 68 al 70, se muestra la puntuación general del talud 9.

Cuadro 71. Clasificación geomecánica RMR promedio del Talud 9.

Discontinuidad	Puntuación
Talud 9 "S"	75,00
Talud 9 "J ₁ "	52,00
Talud 9 "J ₂ "	49,00
Promedio Ponderado	65,20
RMR	II

Por lo tanto, el talud 9 posee una clasificación geomecánica RMR de II, lo cual implica una calidad media, es decir, una cohesión de 3 a 4 kg/cm² y un ángulo de rozamiento de 35° a 45°.

Por otro lado, la dirección preferencial del talud 9 se divide en tres siendo la más predominante de un buzamiento promedio de 25° y una dirección de buzamiento de 66°, tal como se aprecia en la figura 100.

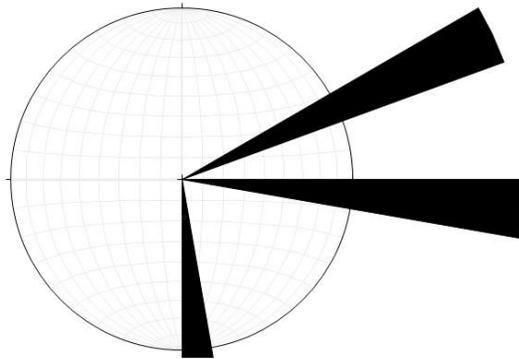


Figura 100. Diagrama de rosetas del talud 9.

Clasificación geomecánica RMR de los taludes del cerro La Potra margen derecha

Una vez terminada la totalidad de los taludes del cerro La Potra margen derecha con su respectiva clasificación geomecánica RMR se obtiene el siguiente cuadro, el cual reporta la condición de la calidad de los taludes de roca.

Cuadro 72. Clasificación geomecánica RMR de los taludes de roca del cerro La Potra margen derecha.

Talud	Roca	RMR	Calidad
2	Arenisca	III	Media
3	Arenisca	III	Media
4	Arenisca	III	Media
5	Arenisca	II	Buena
6	Arenisca	II	Buena
7	Basalto	III	Media
8	Arenisca	III	Media
9	Basalto/Arenisca	II	Buena

Concreto Lanzado

Debido la condición establecida a la clasificación geomecánica RMR de los taludes de roca del cerro La Potra se establece una de las soluciones para su estabilización y protección el cual es concreto lanzado.

De acuerdo a las especificaciones técnicas del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio se

define el concreto lanzado de la siguiente manera:

"El concreto lanzado es una mezcla de cemento, agregados pétreos, agua, aditivos y fibras en algunas ocasiones, que mediante la fuerza controlada de aire a presión a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea y resistente, para proteger superficies de roca o suelo contra la erosión, proveer soporte temporal o definitivo de una excavación y proteger zonas con alta fracturación o meteorización"

Esta manera de estabilidad y protección de los taludes de roca del cerro La Potra es la opción más viable, tomando en cuenta ya todas las variables y aspectos geotécnicos que posee dichos taludes. Por lo tanto, se procedió al diseño del concreto lanzado considerando un tamaño máximo nominal de 10 mm (3/8"). El agregado fino como el grueso se aplicaron en la dosificación del concreto proyectado cumpliendo con la norma ASTM C33 (Exceptuando en el agregado fino para el tamiz N° 100 y N° 200). En el apéndice se agregan las granulometrías de ambos agregados.

Cabe señalar que la dosificación del concreto lanzado responde a la necesidad de cumplir con una resistencia a compresión de 175 kg/cm² a los 7 días de núcleos de concreto tomados en el sitio del lanzado del concreto. Por esta razón se toma en cuenta la necesidad de utilizar fibra metálica (En anexos se agrega la ficha técnica), donde lo permitido por metro cubico es de 35 a 50 kg.

Luego en cuanto al revenimiento es importante mencionar que este sea un asentamiento de 20 cm en la Planta de Concreto, por ello se dosificará el concreto lanzado con un aditivo superplastificante, el cual beneficiará la trabajabilidad del concreto fresco. Además la fibra metálica se dosificará en sitio de manera que no se afecte el revenimiento de mayor forma.

Por lo tanto, el diseño del concreto lanzado se efectuó inicialmente a nivel de laboratorio para posteriormente aplicarse en sitio. La

dosificación del concreto proyectado se describe en el siguiente cuadro:

Cuadro 73. Dosificación del concreto lanzado

Componentes de la mezcla de concreto	Peso en (kg/m ³)
Cemento Tipo HE	295
Agua	174
3/8"	824
Arena	1094
Polyheed 7530	4,50
Sika Fiber 65/35	40

Nota: En la sección de apéndice se agrega con mayor detalle el diseño del concreto proyectado.

Una vez definido el diseño del concreto se procede a la verificación del requisito de la resistencia a compresión de los núcleos de concreto, las cuales deberán ser mayores que 175 kg/cm². En este caso se tomaron cuatro artesas (dos artesas de concreto lanzado sin fibras y dos artesas de concreto lanzado con fibras).



Figura 101. Extractor de núcleos marca HILTI DD 200, sobre una artesa de concreto lanzado con fibra.

Los resultados de los núcleos de concreto se detallan en el cuadro 74 y 75 donde se muestran las resistencias a compresión obtenidas de manera que el concreto lanzado utilizando fibra es el único que cumple con la especificación técnica .

Cuadro 74. Resistencias a compresión a 7 días de núcleos de concreto lanzado sin fibra.

Número de muestra	Resistencia a compresión a los 7 días (kg/cm ²)
N-1	158,19
N-2	157,45
N-3	165,55
N-4	154,60
Promedio	158,95

Cuadro 75. Resistencias a compresión a 7 días de núcleos de concreto lanzado con fibra.

Número de muestra	Resistencia a compresión a los 7 días (kg/cm ²)
N-5	189,15
N-6	187,07
N-7	193,37
N-8	184,84
Promedio	188,61

Es importante mencionar que para la ruptura de los núcleos de concreto se utilizó una maquina de compresión marca Forney Automatic F-502 como se aprecia en la figura 102. Además se respetó lo que estipula la norma ASTM C 42 para efectuar el factor de corrección debido a la altura y el diámetro de cada núcleo de concreto.



Figura 102. Maquina de compresión marca Forney Automatic F-502.

Finalmente, en referencia al diseño del concreto proyectado este se elaboró tomando en cuenta una series de ensayos primeramente en laboratorio. Normalmente se acostumbra tener de parámetro lo establecido en el "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete 211.1-91" (ACI 211)sin embargo, las cantidades de cemento son muy conservadoras. Es por esto la necesidad de optimizar el diseño de manera que no solo sea factible en términos de costo, sino también cumpla con las especificaciones técnicas, además de que posea suficiente trabajabilidad esto con el fin de facilitar su utilización en campo.

En el caso particular del Proyecto hidroeléctrico Bajo Frio, tanto en el concreto lanzado como en los concretos convencionales se presentó mayor dificultad debido a la cantidad de material pasante del tamiz N° 200 de un valor promedio de 20 %. Esta condición provoca una series de ventajas y desventajas las cuales se discutirán en la sección de análisis de resultados.

Costo del concreto lanzado.

Para complementar la solución de la estabilización de los taludes del cerro La Potra se adjunta el costo de del concreto proyectado de manera de poseer en términos económicos lo que implica esta manera de sostenimiento del talud.

En el cuadro 76 se detalla el costo que se obtiene por cada uno de los materiales de acuerdo a la cotización de los proveedores del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio. Además se detalla el costo del la colocación del concreto lanzado el cual es por medio de un subcontrato, donde la empresa encargada es Terratest (Empresa especializada en tratamientos de estabilización de taludes, túneles, entre otros)

Cuadro 76. Costo directo del concreto proyectado por metro cubico.

Material	Monto (\$)
Agregados triturados	26,17
Cemento	123,11
Fibra metálica	125,30
Aditivo Polyheed 7530	10,00
Producción del concreto	15,54
Maquinaria	7,96
Subcontrato	120,00
Costo directo total	428,08

Es importante mencionar que el monto de los materiales incluye ya el porcentaje de desperdicio, el cual para la fibra metálica y los agregados se tomó un desperdicio de 5 % y para los demás componentes se determinó un 2 % de desperdicio exceptuando al subcontrato.

El costo directo total del concreto lanzado entra dentro del presupuesto pues el dueño del proyecto hidroeléctrico (Fountain Intertrade Corp) paga por separado del cemento, donde para este tipo de concreto se estimó con el precio con 350 kg de cemento por metro cubico, lo cual se optimizó el costo de 55 kg de cemento por cada metro cubico.

Análisis de Resultados

De acuerdo a los objetivos planteados al inicio del informe, además, tomando en cuenta los resultados obtenidos, se presentará el análisis de cada uno de los procesos de importancia de la clasificación geomecánica utilizando el método RMR en los taludes de cerro La Potra margen derecha. Cabe destacar que la clasificación geomecánica RMR efectuada en el macizo rocoso es una verificación de la calidad que los taludes posee.

La clasificación geomecánica RMR es una forma de conocer sobre el macizo rocoso. Entre mayor es la puntuación, mejor su calidad en términos de cohesión y ángulo de rozamiento. Los resultados de la clasificación geomecánica RMR en los taludes de roca se dividen en dos: calidad media y calidad buena.

Los taludes del 2 al 4 y el talud 7 al 8 del cerro La Potra se compone de arenisca moderadamente meteorizada, la cual posee tres familias de discontinuidades de las cuales, una es favorable (familia principal) y dos son catalogadas de carácter medio debido a que en sí, no son desfavorables aunque influyen de manera más perjudicial por su buzamiento y dirección de buzamiento que la condición tipo favorable. Estos taludes obtuvieron un RMR de tres lo que indica que es un talud de calidad media. Dentro de sus características están que la cohesión es del rango de 2 a 3 kg/cm², con un ángulo de rozamiento de 25° a 35°.

Por otro lado, los taludes 5, 6 y 9 obtuvieron una clasificación RMR de dos, lo que equivale a una categoría de buena. Esto implica que la roca de dicho taludes

presentan una cohesión de 3 a 4 kg/cm², con un ángulo de rozamiento de 35° a 45°. Cabe señalar que los taludes 5 y 6, está compuesto de una roca tipo arenisca en condición sana además el talud 9 están formado por roca principalmente de tipo basalto, en condición de roca sana.

Es importante mencionar que la inclinación de los taludes es básicamente de 1:1 (H:V) inclusive el talud 9 es totalmente vertical como se aprecia en la figura 99. La gran calidad del macizo rocoso se demuestra con la inclinación que poseen actualmente los taludes del cerro La Potra. Es evidente que entre menor sea la inclinación, mayor será la facilidad de efectuar la excavación y conformación de los taludes. Sin embargo esto lo establece únicamente el estudio geológico, geomecánico y geotécnico.

Por lo tanto, las ventajas de la clasificación geomecánica RMR radican en la sencillez para la obtención de los parámetros resistentes del criterio Mourh-Columb o incluso para determinar el módulo de elasticidad longitudinal por medio de su correlación empírica. Es importante mencionar que esta clasificación geomecánica es aplicable a los taludes del cerro La Potra pues no existe macizos rocosos blandos, tectonizados y alterados que sobrevaloren las propiedades mecánicas y resistentes.

Sin embargo, la caracterización global del macizo rocoso no es únicamente determinar la clasificación geomecánica. Es necesario complementar dicha caracterización por medio de un estudio del comportamiento mecánico del afloramiento rocoso. Generalmente esto implica indagar en el comportamiento hidrogeológico así como el estado tensional y de deformabilidad que se presenta en la zona, en este caso del cerro La Potra.

A pesar de no contar con un comportamiento hidrogeológico o del estado tensional y de deformabilidad, la clasificación geomecánica RMR indicó los posibles tratamientos o soluciones viables para la estabilidad de los taludes. Esto se confirma de acuerdo a lo indicado por empresa diseñadora Tractebel

Engineering GDZ Suez, pues la estabilización de dichos taludes serán por medio del concreto lanzado ya que es la solución que requiere los taludes de roca, del cerro La Potra. Como referencia se tiene que cuando el RMR se encuentra con una puntuación menor a 70 pero mayor que 45 necesita protección superficial, como redes sobre la superficie o concreto lanzado de acuerdo a la teoría descrita en la referencia del autora Mercedes Ferrer.

El concreto lanzado es una técnica de estabilización muy utilizada siempre y cuando la calidad de la roca y su estabilización no requiera de medidas de sostenimiento de mayor grado de detalle. En el caso particular de los taludes del cerro La Potra, el diseño del concreto proyectado aun definidos sus componentes de la mezcla, presentó gran dificultad en cuanto la trabajabilidad debido al elevado porcentaje de material pasante del tamiz N° 200.

El agregado fino para concreto lanzado del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio es proveniente de la trituración de material de río, específicamente de basalto, el cual pasa por un proceso de transformación de roca hasta convertirse en arena manufacturada. Sin embargo, el inconveniente se presenta pues debido a que las canteras de agregados son del tipo impactores se genera polvo de roca, el cual a pesar de que es un material inorgánico perjudica de manera drástica la trabajabilidad del concreto en su estado fresco.

Por razones constructivas, el concreto proyectado (en este caso aplicado por la vía húmeda) necesita de un revenimiento del rango de 18 a 20 cm en la planta de concreto. Esto sumado a la necesidad del control de humedad del agregado en campo ha repercutido en la trabajabilidad del concreto.

No obstante, el material pasante del tamiz N° 200 presente en la arena genera una leve ventaja pues en cuanto resistencia a compresión simple se presentan resistencias con un 25 a 35 % mayor de las establecidas en ACI 211, con contenidos de cemento

menores. Por lo tanto, el diseño del concreto proyectado detallado en el apartado de resultados responde tanto por las especificaciones técnicas como por la trabajabilidad requerida y con un costo bajo pues se presenta una cantidad de cemento menor de los valores normalmente utilizados para este tipo de concreto.

La norma nacional INTECO 06-01-02-09 en su anexo 2 estipula los aspectos de los agregados finos producto de la fragmentación de roca o por impacto. Inclusive se establece un rango de porcentaje pasando mucho mayor en el tamiz N°200 de un valor máximo de 5 % de acuerdo a la norma ASTM C33 hasta un valor máximo de 18 % en la malla de 75 µm (No. 200).

Este comportamiento que propone la normativa nacional responde a que existe un porcentaje de material que pasa el tamiz N° 400 (37 µm). Todo el material que pasa dicha malla actúa como un cementante que evidentemente se refleja en las resistencias a compresión simple. Por lo tanto, a pesar de la necesidad de eliminar el exceso de material pasante de la malla de 75 µm es factible analizar el porcentaje óptimo que beneficiaría al concreto en términos generales.

Por último, se debe indicar que es importante el manejo del agua superficial y subterránea con el uso de cunetas, drenajes superficiales o profundos y bajantes de concreto convencional pues así se garantiza una mayor durabilidad del concreto lanzado y de la estabilidad del talud. De hecho existe filtraciones de agua en los taludes 4 y 5 por lo que se debe enfatizar el manera importante acerca del manejo de agua.

Conclusiones

Una vez efectuado el análisis de resultados se presenta las siguientes conclusiones:

1. La calidad del macizo rocoso del cerro La potra determinada por medio de la clasificación geomecánica RMR indica que los taludes son autosoportantes.
2. La excavación mecanizada fue apropiada debido a la condición de la perpendicularidad entre la discontinuidades y la excavación.
3. La clasificación geomecánica no define la totalidad de la caracterización global del macizo rocoso.
4. La orientación y dirección del buzamiento es el aspecto que perjudica con mayor ímpetu la clasificación geomecánica RMR.
5. La inclinación 1V:1H es apropiada para la estabilización de los taludes, de acuerdo a lo indicado al estudio efectuado.
6. La dirección preferencial de los taludes del cerro La Potra presentan dos tendencias predominantes la primera de un buzamiento promedio de 25°, dirección de buzamiento de 66° y la otra de un buzamiento de 72°, dirección de buzamiento de 176°.
7. El concreto proyectado reforzado con fibras de un espesor 5 cm es la solución viable para los taludes de roca del cerro La Potra margen derecha desde el punto de vista de la clasificación geomecánica RMR .
8. La trabajabilidad del concreto lanzado depende de manera sensible del cumplimiento de la granulometría del agregado fino según lo indica ASTM C33.
9. El concreto lanzado cumple con el presupuesto estimado optimizando el costo de 55 kg de cemento por metro cubico.

Recomendaciones

Después de realizado el estudio se concluye las siguientes recomendaciones:

1. Profundizar la caracterización global del macizo rocoso por medio del estudio hidrogeológico, estudio del estado tensional y el comportamiento de la deformabilidad y resistencia del afloramiento rocoso.
2. Efectuar ensayos acerca del porcentaje óptimo de pasante del tamiz N° 200 (75 μm) de manera que este sea recomendable para el concreto lanzado.
3. Realizar perforaciones en sitio para una mejor determinación del índice RQD (rock quality designation).
4. Verificar la calidad del concreto lanzado por medio de extracción de núcleos para garantizar el comportamiento esperado en cuanto a la resistencia a compresión.
5. Agregar la fibra metálica en sitio para lograr la mejor trabajabilidad del concreto lanzado.

Apéndice

En la siguiente sección se agregan los principales documentos que detalla con mayor precisión el desarrollo de la clasificación geomecánica RMR. Los cuales son los siguientes:

1. Formatos utilizados para la toma de datos.
2. Plano topográfico de los taludes del cerro La Potra para la clasificación geomecánica RMR.
3. Cuadro de la clasificación geomecánica RMR por familia de discontinuidad de cada talud del cerro La Potra.
4. Dosificación del concreto proyectado con las propiedades de los agregado y su respectiva corrección por humedad.
5. Los resultados de los núcleos de concreto.

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MARTILLO SCHMIDT)

Fecha de ensayo _____

No. Prueba: _____

Ubicación: _____

Elevación: _____

Coordenada Este: _____

Coordenada Norte: _____

Material: _____

Lectura	Esfuerzo(kg/cm ²)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
PROMEDIO	

Fotos de ensayo

Observaciones: _____

Realizado por: _____

Verificado por: _____

CLASIFICACION GEOMECANICA UTILIZANDO EL METODO RMR EN EL CERRO LA POTRA DEL P.H BAJO FRIO REPUBLICA DE PANAMA.

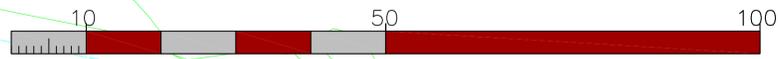
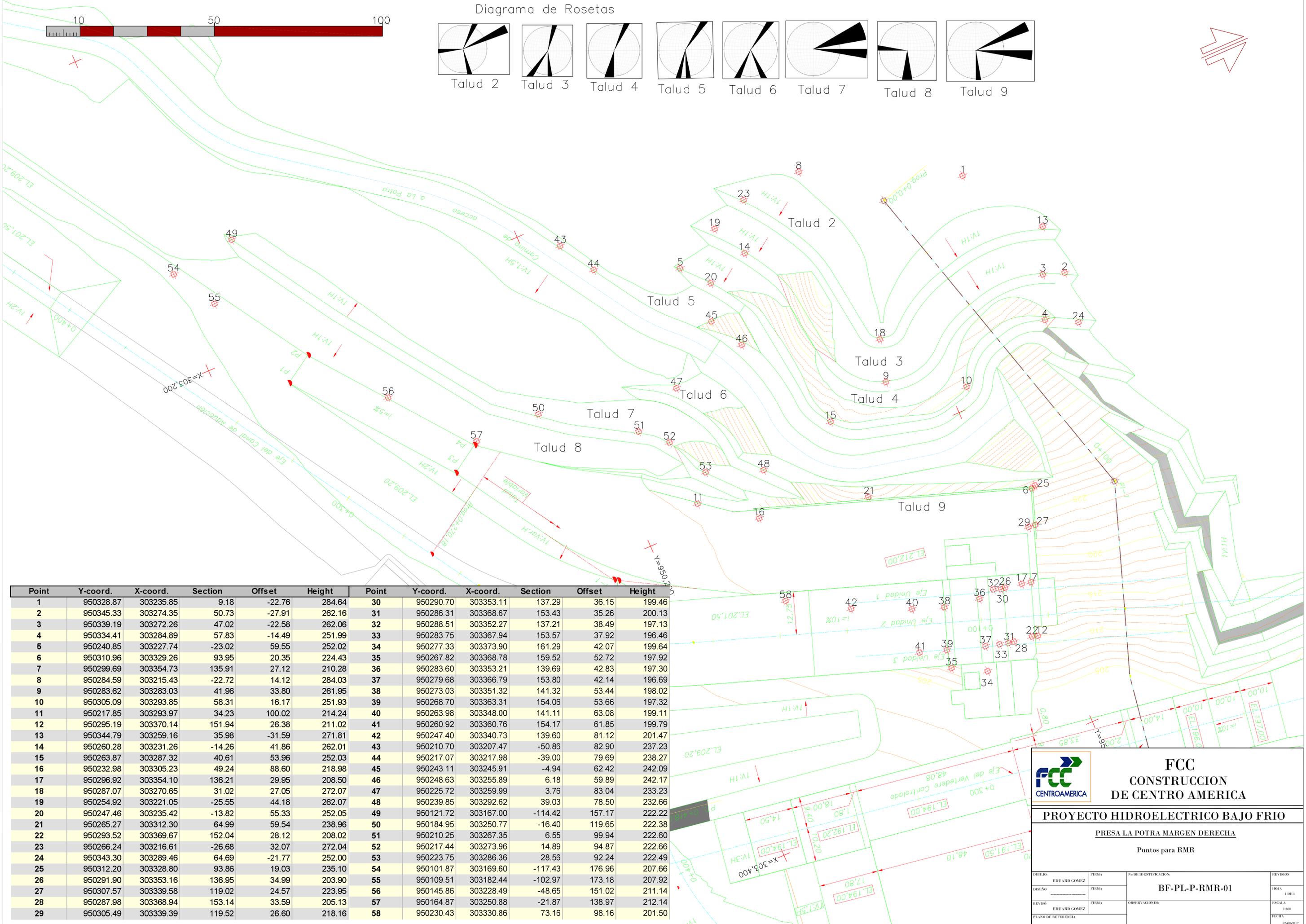
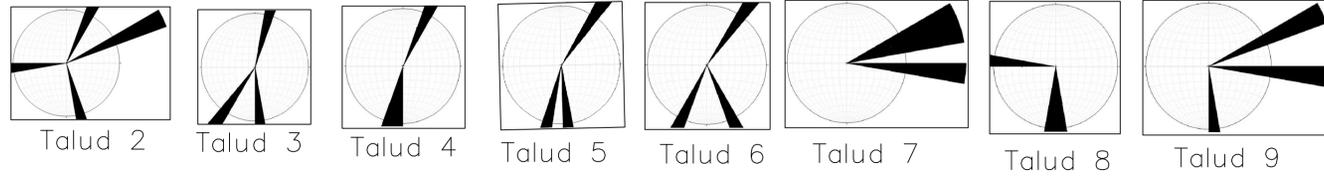


Diagrama de Rosetas



Point	Y-coord.	X-coord.	Section	Offset	Height	Point	Y-coord.	X-coord.	Section	Offset	Height
1	950328.87	303235.85	9.18	-22.76	284.64	30	950290.70	303353.11	137.29	36.15	199.46
2	950345.33	303274.35	50.73	-27.91	262.16	31	950286.31	303368.67	153.43	35.26	200.13
3	950339.19	303272.26	47.02	-22.58	262.06	32	950288.51	303352.27	137.21	38.49	197.13
4	950334.41	303284.89	57.83	-14.49	251.99	33	950283.75	303367.94	153.57	37.92	196.46
5	950240.85	303227.74	-23.02	59.55	252.02	34	950277.33	303373.90	161.29	42.07	199.64
6	950310.96	303329.26	93.95	20.35	224.43	35	950267.82	303368.78	159.52	52.72	197.92
7	950299.69	303354.73	135.91	27.12	210.28	36	950283.60	303353.21	139.69	42.83	197.30
8	950284.59	303215.43	-22.72	14.12	284.03	37	950279.68	303366.79	153.80	42.14	196.69
9	950283.62	303283.03	41.96	33.80	261.95	38	950273.03	303351.32	141.32	53.44	198.02
10	950305.09	303293.85	58.31	16.17	251.93	39	950268.70	303363.31	154.06	53.66	197.32
11	950217.85	303293.97	34.23	100.02	214.24	40	950263.98	303348.00	141.11	63.08	199.11
12	950295.19	303370.14	151.94	26.38	211.02	41	950260.92	303360.76	154.17	61.85	199.79
13	950344.79	303259.16	35.98	-31.59	271.81	42	950247.40	303340.73	139.60	81.12	201.47
14	950260.28	303231.26	-14.26	41.86	262.01	43	950210.70	303207.47	-50.86	82.90	237.23
15	950263.87	303287.32	40.61	53.96	252.03	44	950217.07	303217.98	-39.00	79.69	238.27
16	950232.98	303305.23	49.24	88.60	218.98	45	950243.11	303245.91	-4.94	62.42	242.09
17	950296.92	303354.10	136.21	29.95	208.50	46	950248.63	303255.89	6.18	59.89	242.17
18	950287.07	303270.65	31.02	27.05	272.07	47	950225.72	303259.99	3.76	83.04	233.23
19	950254.92	303221.05	-25.55	44.18	262.07	48	950239.85	303292.62	39.03	78.50	232.66
20	950247.46	303235.42	-13.82	55.33	252.05	49	950121.72	303167.00	-114.42	157.17	222.22
21	950265.27	303312.30	64.99	59.54	238.96	50	950184.95	303250.77	-16.40	119.65	222.38
22	950293.52	303369.67	152.04	28.12	208.02	51	950210.25	303267.35	6.55	99.94	222.60
23	950266.24	303216.61	-26.68	32.07	272.04	52	950217.44	303273.96	14.89	94.87	222.66
24	950343.30	303289.46	64.69	-21.77	252.00	53	950223.75	303286.36	28.56	92.24	222.49
25	950312.20	303328.80	93.86	19.03	235.10	54	950101.87	303169.60	-117.43	176.96	207.66
26	950291.90	303353.16	136.95	34.99	203.90	55	950109.51	303182.44	-102.97	173.18	207.92
27	950307.57	303339.58	119.02	24.57	223.95	56	950145.86	303228.49	-48.65	151.02	211.14
28	950287.98	303368.94	153.14	33.59	205.13	57	950164.87	303250.88	-21.87	138.97	212.14
29	950305.49	303339.39	119.52	26.60	218.16	58	950230.43	303330.86	73.16	98.16	201.50



FCC
CONSTRUCCION
DE CENTRO AMERICA

PROYECTO HIDROELECTRICO BAJO FRIO

PRESA LA POTRA MARGEN DERECHA

Puntos para RMR

DISEÑO	EDUARD GOMEZ	FIRMA	[Firma]
REVISIÓN	EDUARD GOMEZ	FIRMA	[Firma]
PLANO DE REFERENCIA	OBSERVACIONES:		

BF-PL-P-RMR-01

HOJA 1 DE 1

ESCALA 1:600

FECHA 02-08-2012

Cuadro 1. Clasificación geomecánica RMR en el cerro La Potra

Talud	Estación 1	Offset 1	Elevación 1	Coordenadas 1	Estación 2	Offset 2	Elevación 2	Coordenadas 2	Familia	RMR	Clase de RMR	Tiempo de mantenimiento y longitud	Calidad	Cohesión	Ángulo de rozamiento
2	00-026,68	32,07 m	272,04 m	N 950266,240	00+031,02	27,05 m	272,07 m	N 950287,070	S _a	55	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303216,610				E 303270,650							
2	00-026,68	32,07 m	272,04 m	N 950266,240	00+031,02	27,05 m	272,07 m	N 950287,070	J _{1a}	38	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
				E 303216,610				E 303270,650							
2	00-026,68	32,07 m	272,04 m	N 950266,240	00+031,02	27,05 m	272,07 m	N 950287,070	J _{2a}	28	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
				E 303216,610				E 303270,650							
2	00+031,02	27,05 m	272,07 m	N 950287,070	00+035,98	-31,59 m	271,81 m	N 950344,790	S _b	55	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303270,650				E 303259,160							
2	00+031,02	27,05 m	272,07 m	N 950287,070	00+035,98	-31,59 m	271,81 m	N 950344,790	J _{1b}	41	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303270,650				E 303259,160							
2	00+031,02	27,05 m	272,07 m	N 950287,070	00+035,98	-31,59 m	271,81 m	N 950344,790	J _{2b}	33	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
				E 303270,650				E 303259,160							
3	00-025,55	44,18 m	262,07 m	N 950254,920	00-014,26	41,86 m	262,01 m	N 950260,280	S _a	70	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
				E 303221,050				E 303231,260							
3	00-025,55	44,18 m	262,07 m	N 950254,920	00-014,26	41,86 m	262,01 m	N 950260,280	J _{1a}	56	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303221,050				E 303231,260							
3	00-025,55	44,18 m	262,07 m	N 950254,920	00-014,26	41,86 m	262,01 m	N 950260,280	J _{2a}	43	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303221,050				E 303231,260							
3	00-014,26	41,86 m	262,01 m	N 950260,280	00+041,96	33,80 m	261,95 m	N 950283,620	S _b	53	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303231,260				E 303283,030							
3	00-014,26	41,86 m	262,01 m	N 950260,280	00+041,96	33,80 m	261,95 m	N 950283,620	J _{1b}	40	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
				E 303231,260				E 303283,030							
3	00-014,26	41,86 m	262,01 m	N 950260,280	00+041,96	33,80 m	261,95 m	N 950283,620	J _{2b}	38	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
				E 303231,260				E 303283,030							
3	00+041,96	33,80 m	261,95 m	N 950283,620	00+047,02	-22,58 m	262,06 m	N 950339,190	S _c	66	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
				E 303283,030				E 303272,260							
3	00+041,96	33,80 m	261,95 m	N 950283,620	00+047,02	-22,58 m	262,06 m	N 950339,190	J _{1c}	50	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303283,030				E 303272,260							
3	00+041,96	33,80 m	261,95 m	N 950283,620	00+047,02	-22,58 m	262,06 m	N 950339,190	J _{2c}	50	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303283,030				E 303272,260							
3	00+047,02	-22,58 m	262,06 m	N 950339,190	00+050,73	-27,91 m	262,16 m	N 950345,330	S _d	56	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303272,260				E 303274,350							
3	00+047,02	-22,58 m	262,06 m	N 950339,190	00+050,73	-27,91 m	262,16 m	N 950345,330	J _{1d}	38	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
				E 303272,260				E 303274,350							
3	00+047,02	-22,58 m	262,06 m	N 950339,190	00+050,73	-27,91 m	262,16 m	N 950345,330	J _{2d}	38	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
				E 303272,260				E 303274,350							
4	00-013,82	55,33 m	252,05 m	N 950247,460	00+057,83	-14,49 m	251,99 m	N 950334,410	S _a	61	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
				E 303235,420				E 303284,890							
4	00-013,82	55,33 m	252,05 m	N 950247,460	00+057,83	-14,49 m	251,99 m	N 950334,410	J _{1a}	51	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303235,420				E 303284,890							
4	00-013,82	55,33 m	252,05 m	N 950247,460	00+057,83	-14,49 m	251,99 m	N 950334,410	J _{2a}	49	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
				E 303235,420				E 303284,890							

Cuadro 1. Clasificación geomecánica RMR en el cerro La Potra

Talud	Estación 1	Offset 1	Elevación 1	Coordenadas 1	Estación 2	Offset 2	Elevación 2	Coordenadas 2	Familia	RMR	Clase de RMR	Tiempo de mantenimiento y longitud	Calidad	Cohesión	Ángulo de rozamiento
5	00-004,94	62,42 m	242,09 m	N 950243,110 E 303245,910	00+055,91	-18,13 m	242,17 m	N 950234,410 E 303277,250	S _a	68	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
5	00-004,94	62,42 m	242,09 m	N 950243,110 E 303245,910	00+055,91	-18,13 m	242,17 m	N 950234,410 E 303277,250	J _{1a}	57	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
5	00-004,94	62,42 m	242,09 m	N 950243,110 E 303245,910	00+055,91	-18,13 m	242,17 m	N 950234,410 E 303277,250	J _{2a}	52	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
5	00-004,94	62,42 m	242,09 m	N 950243,110 E 303245,910	00+055,91	-18,13 m	242,17 m	N 950234,410 E 303277,250	S _b	68	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
5	00-004,94	62,42 m	242,09 m	N 950243,110 E 303245,910	00+055,91	-18,13 m	242,17 m	N 950234,410 E 303277,250	J _{1b}	57	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
5	00-004,94	62,42 m	242,09 m	N 950243,110 E 303245,910	00+055,91	-18,13 m	242,17 m	N 950234,410 E 303277,250	J _{2b}	52	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
6	00+003,76	83,04 m	233,23 m	N 950225,720 E 303259,990	00+039,03	78,50 m	232,66 m	N 950239,850 E 303292,620	S _a	69	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
6	00+003,76	83,04 m	233,23 m	N 950225,720 E 303259,990	00+039,03	78,50 m	232,66 m	N 950239,850 E 303292,620	J _{1a}	55	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
6	00+003,76	83,04 m	233,23 m	N 950225,720 E 303259,990	00+039,03	78,50 m	232,66 m	N 950239,850 E 303292,620	J _{2a}	48	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
7	00+014,89	94,87 m	222,66 m	N 950217,440 E 303273,960	00+028,56	92,24 m	222,49 m	N 950223,750 E 303286,360	S _a	57	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
7	00+014,89	94,87 m	222,66 m	N 950217,440 E 303273,960	00+028,56	92,24 m	222,49 m	N 950223,750 E 303286,360	J _{1a}	42	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
7	00+028,56	92,24 m	222,49 m	N 950223,750 E 303286,360	-	-	-	-	S _b	81	I	10 años con 15 m de vano	Muy buena	> 4 kg/cm ²	> 45°
7	00+028,56	92,24 m	222,49 m	N 950223,750 E 303286,360	-	-	-	-	J _{1b}	51	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
8	00-117,43	176,96 m	207,66 m	N 950101,870 E 303169,600	00-102,97	173,18 m	207,92 m	N 950109,510 E 303182,440	S _a	61	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
8	00-117,43	176,96 m	207,66 m	N 950101,870 E 303169,600	00-102,97	173,18 m	207,92 m	N 950109,510 E 303182,440	J _{1a}	40	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
8	00-117,43	176,96 m	207,66 m	N 950101,870 E 303169,600	00-102,97	173,18 m	207,92 m	N 950109,510 E 303182,440	J _{2a}	40	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
8	00-102,97	173,18 m	207,92 m	N 950109,510 E 303182,440	00-048,65	151,02 m	211,14 m	N 950145,860 E 303228,490	S _b	61	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
8	00-102,97	173,18 m	207,92 m	N 950109,510 E 303182,440	00-048,65	151,02 m	211,14 m	N 950145,860 E 303228,490	J _{1b}	40	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
8	00-102,97	173,18 m	207,92 m	N 950109,510 E 303182,440	00-048,65	151,02 m	211,14 m	N 950145,860 E 303228,490	J _{2b}	40	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
8	00-048,65	151,02 m	211,14 m	N 950145,860 E 303228,490	00-021,87	138,97 m	212,14 m	N 950164,870 E 303250,880	S _c	69	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
8	00-048,65	151,02 m	211,14 m	N 950145,860 E 303228,490	00-021,87	138,97 m	212,14 m	N 950164,870 E 303250,880	J _{1c}	48	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
8	00-048,65	151,02 m	211,14 m	N 950145,860 E 303228,490	00-021,87	138,97 m	212,14 m	N 950164,870 E 303250,880	J _{2c}	48	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
8	00-021,87	138,97 m	212,14 m	N 950164,870 E 303250,880	-	-	-	-	S _d	51	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
8	00-021,87	138,97 m	212,14 m	N 950164,870 E 303250,880	-	-	-	-	J _{1d}	27	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
8	00-021,87	138,97 m	212,14 m	N 950164,870 E 303250,880	-	-	-	-	J _{2d}	27	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°

Cuadro 1. Clasificación geomecánica RMR en el cerro La Potra

Talud	Estación 1	Offset 1	Elevación 1	Coordenadas 1	Estación 2	Offset 2	Elevación 2	Coordenadas 2	Familia	RMR	Clase de RMR	Tiempo de mantenimiento y longitud	Calidad	Cohesión	Ángulo de rozamiento
8	-	-	-	-	00+034,23	100,02 m	214,24 m	N 950217,850 E 303293,970	S _e	49	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
8	-	-	-	-	00+034,23	100,02 m	214,24 m	N 950217,850 E 303293,970	J _{1e}	29	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
8	-	-	-	-	00+034,23	100,02 m	214,24 m	N 950217,850 E 303293,970	J _{2e}	29	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
8	00+034,23	100,02 m	214,24 m	N 950217,850 E 303293,970	00+049,24	88,60 m	218,98 m	N 950232,980 E 303305,230	S _f	49	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
8	00+034,23	100,02 m	214,24 m	N 950217,850 E 303293,970	00+049,24	88,60 m	218,98 m	N 950232,980 E 303305,230	J _{1f}	29	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
8	00+034,23	100,02 m	214,24 m	N 950217,850 E 303293,970	00+049,24	88,60 m	218,98 m	N 950232,980 E 303305,230	J _{2f}	29	IV	10 horas con 2,5 m de vano	Mala	1-2 kg/cm ²	15°-25°
9	00+049,24	88,60 m	218,98 m	N 950232,980 E 303305,230	00+093,95	20,35 m	224,43 m	N 950310,960 E 303329,260	S _a	75	II	6 meses con 8 m de vano	Buena	3-4 kg/cm ²	35°-45°
9	00+049,24	88,60 m	218,98 m	N 950232,980 E 303305,230	00+093,95	20,35 m	224,43 m	N 950310,960 E 303329,260	J _{1a}	52	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°
9	00+049,24	88,60 m	218,98 m	N 950232,980 E 303305,230	00+093,95	20,35 m	224,43 m	N 950310,960 E 303329,260	J _{2a}	49	III	1 semana con 5 m de vano	Media	2-3 kg/cm ²	25°-35°

Dosificación del concreto proyectado con las propiedades de los agregado y su respectiva corrección por humedad.

FECHA 19/10/2012

Cantidad de mezcla de concreto requerida (litros): 40

Componentes de la mezcla	Peso (kg/m ³)	Gravedad específica sss	Volumen (m ³)	Absorción (%)	Humedad (%)	Corrección del agua (%)	Peso de agua corregida (kg)	Peso corregido de los componentes de la mezcla de concreto (kg/m ³)	Peso de los componentes de la mezcla de concreto requerido (kg/m ³)	Componentes de la mezcla
3/8"	824,00	2,65	0,3109	2,82	3,50	0,68	5,60	829,60	33,18	3/8"
Arena triturada	1094,00	2,68	0,4082	4,30	7,00	2,70	29,54	1123,54	44,94	Arena triturada
Cemento HE	295,00	3,08	0,0958					295,00	11,80	Cemento HE
Agua	174,05	1,00	0,1741					138,91	5,56	Agua
Polyheed 7530	4,50	1,09	0,0041					4,50	153,40 cc	Polyheed 7530
Aire	3		0,0030						3,00 %	Aire
Total	2387,05		0,9979				35,14	2387,05		

Revenimiento	19,00 cm
Temperatura del concreto	27,30 °C
Temperatura ambiente	29,00 °C

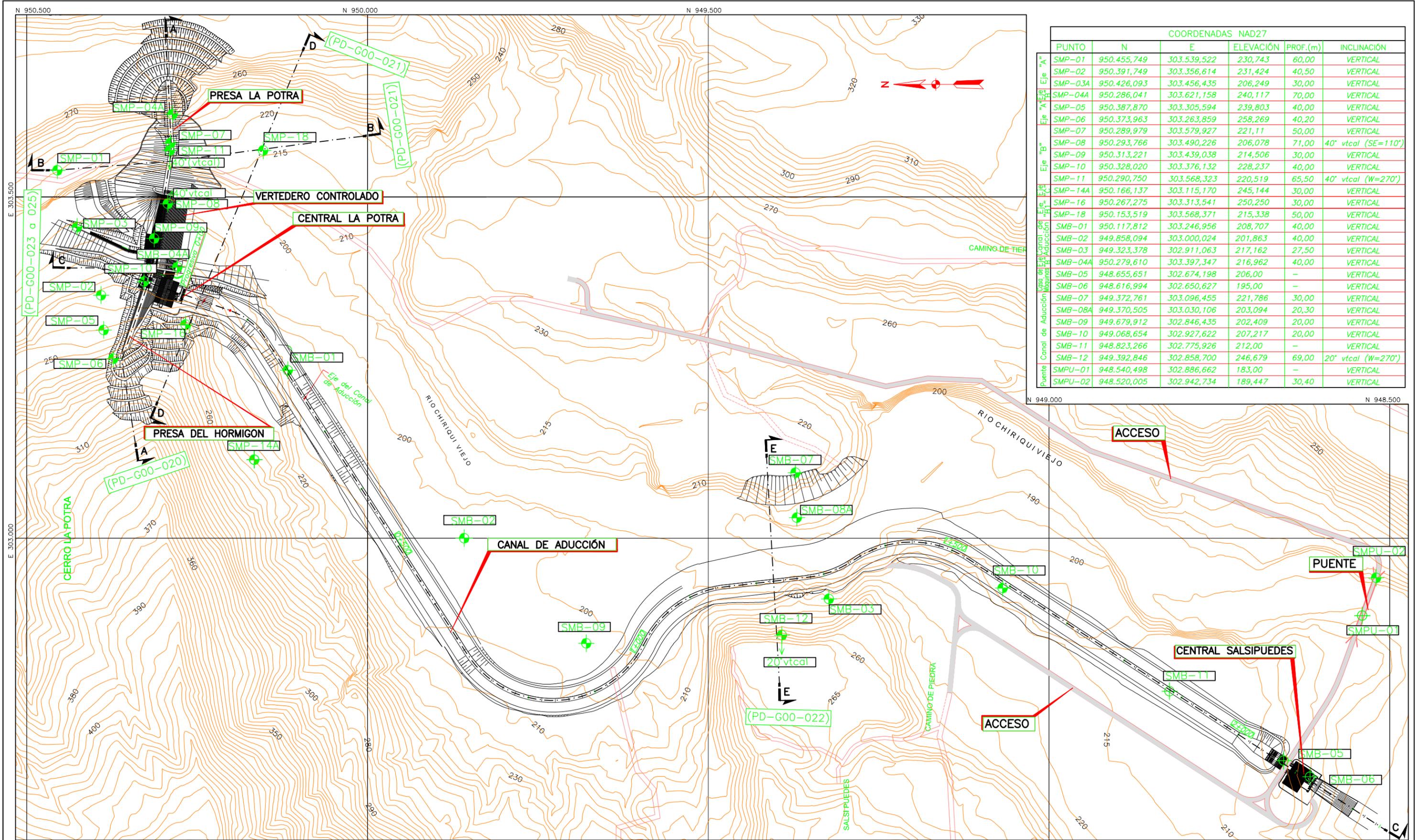
Agua corregida (kg/m ³)	138,91
Relación Agua/Cemento	0,59
Cantidad de Polyheed 7530 (cc/kg de cemento)	14,00 cc
Sika Fiber 65/35 (kg/m ³)	40,00
Porcentaje de agregado grueso	43,0 %
Porcentaje de agregado fino	57,0 %

PRUEBA DE EXTRACCION DE NUCLEOS DE CONCRETO					PROPIEDADES GEOMETRICAS								Factor de corrección			Observaciones	
					Diametro (mm)				Altura (mm)								
No.	N° Muestra	Fecha de extracción	Fecha de rotura	Edad (día)	Arriba	Centro	Abajo	Promedio	H1	H2	H3	Promedio	Relacion H/D	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)	ASTM C39-86	
1	N-1	26/10/2012	02/11/2012	7	104,35	104,44	104,32	104,37	152,58	152,51	151,42	152,17	1,46	158,19	15,513	0,955	SIN FIBRA
2	N-2	26/10/2012	02/11/2012	7	104,41	104,71	104,59	104,57	134,07	133,27	134,01	133,78	1,28	157,45	15,441	0,933	SIN FIBRA
3	N-3	26/10/2012	02/11/2012	7	104,05	103,94	103,91	103,97	158,80	158,96	159,24	159,00	1,53	165,55	16,235	0,962	SIN FIBRA
4	N-4	26/10/2012	02/11/2012	7	104,51	104,56	104,49	104,52	145,05	145,38	145,16	145,20	1,39	154,60	15,161	0,947	SIN FIBRA
5	N-5	26/10/2012	02/11/2012	7	104,37	104,39	104,76	104,51	147,66	147,69	147,51	147,62	1,41	189,15	18,549	0,949	CON FIBRA
6	N-6	26/10/2012	02/11/2012	7	104,42	104,41	104,36	104,40	135,80	135,83	135,01	135,55	1,30	187,07	18,345	0,936	CON FIBRA
7	N-7	26/10/2012	02/11/2012	7	104,47	104,56	104,82	104,62	136,31	136,43	136,37	136,37	1,30	193,37	18,963	0,936	CON FIBRA
8	N-8	26/10/2012	02/11/2012	7	104,38	104,51	104,40	104,43	136,55	137,27	136,28	136,70	1,31	184,84	18,127	0,955	CON FIBRA

Anexos

En la siguiente sección se agregan los principales documentos que complementan el desarrollo del tema de la clasificación geomecánica RMR. Los cuales son los siguientes:

1. Estructuras principales del Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frio.
2. Mapa geológico regional de la provincia de Chiriquí, República de Panamá.
3. Sección geológico -geotécnica presa y CH La Potra.
4. Cuadros de la metodología de la clasificación geomecánica RMR.
5. Granulometría de los agregados del concreto lanzado.
6. Ficha técnica de la fibra metálica Sika Fiber 65/35.
7. Ficha técnica del aditivo Polyheed 7530.



COORDENADAS NAD27						
PUNTO	N	E	ELEVACIÓN	PROF.(m)	INCLINACIÓN	
SMP-01	950.455,749	303.539,522	230,743	60,00	VERTICAL	
SMP-02	950.391,749	303.356,614	231,424	40,50	VERTICAL	
SMP-03A	950.426,093	303.456,435	206,249	30,00	VERTICAL	
SMP-04A	950.286,041	303.621,158	240,117	70,00	VERTICAL	
SMP-05	950.387,870	303.305,594	239,803	40,00	VERTICAL	
SMP-06	950.373,963	303.263,859	258,269	40,20	VERTICAL	
SMP-07	950.289,979	303.579,927	221,11	50,00	VERTICAL	
SMP-08	950.293,766	303.490,226	206,078	71,00	40° vtcal (SE=110°)	
SMP-09	950.313,221	303.439,038	214,506	30,00	VERTICAL	
SMP-10	950.328,020	303.376,132	228,237	40,00	VERTICAL	
SMP-11	950.290,750	303.568,323	220,519	65,50	40° vtcal (W=270°)	
SMP-14A	950.166,137	303.115,170	245,144	30,00	VERTICAL	
SMP-16	950.267,275	303.313,541	250,250	30,00	VERTICAL	
SMP-18	950.153,519	303.568,371	215,338	50,00	VERTICAL	
SMB-01	950.117,812	303.246,956	208,707	40,00	VERTICAL	
SMB-02	949.858,094	303.000,024	201,863	40,00	VERTICAL	
SMB-03	949.323,378	302.911,063	217,162	27,50	VERTICAL	
SMB-04A	950.279,610	303.397,347	216,962	40,00	VERTICAL	
SMB-05	948.655,651	302.674,198	206,00	-	VERTICAL	
SMB-06	948.616,994	302.650,627	195,00	-	VERTICAL	
SMB-07	949.372,761	303.096,455	221,786	30,00	VERTICAL	
SMB-08A	949.370,505	303.030,106	203,094	20,30	VERTICAL	
SMB-09	949.679,912	302.846,435	202,409	20,00	VERTICAL	
SMB-10	949.068,654	302.927,622	207,217	20,00	VERTICAL	
SMB-11	948.823,266	302.775,926	212,00	-	VERTICAL	
SMB-12	949.392,846	302.858,700	246,679	69,00	20° vtcal (W=270°)	
SMPU-01	948.540,498	302.886,662	183,00	-	VERTICAL	
SMPU-02	948.520,005	302.942,734	189,447	30,40	VERTICAL	

c									
b									
a	REVISIÓN GENERAL	ELAB.	VERIF.	VISTO	GERENCIA	FECHA DE EMISION	RESP.	FECHA	ACEPTACION
REV.									
	ALTERACION								

NOTAS:

- 1- Todas las dimensiones están en metros y las elevaciones en metros sobre el nivel del mar, excepto donde se indique.
- 2- Las Coordenadas están en el datum NAD27.
- 3- Los pozos SMP-12,13,15,17 y 19 fueron cancelados.

LEYENDA:

- Sondeos ejecutados
- Sondeos pendientes

0 25 50 75 100 125 250m
ESCALA - EXCEPTO DONDE SE INDIQUE

TRACTEBEL Engineering
GDF SVEZ

Proy. FNMB
Dibuj. ALE
Conf. FNMB

RAVD
GERENTE/COORD. DEL AREA

CAPF
DIRECTOR TECNICO

Aprob. CAPF

Fecha NOV/2009

PROYECTO HIDROELÉCTRICO BAJO FRÍO

ESTRUCTURAS PRINCIPALES
UBICACIÓN DE SONDEOS
PLANTA

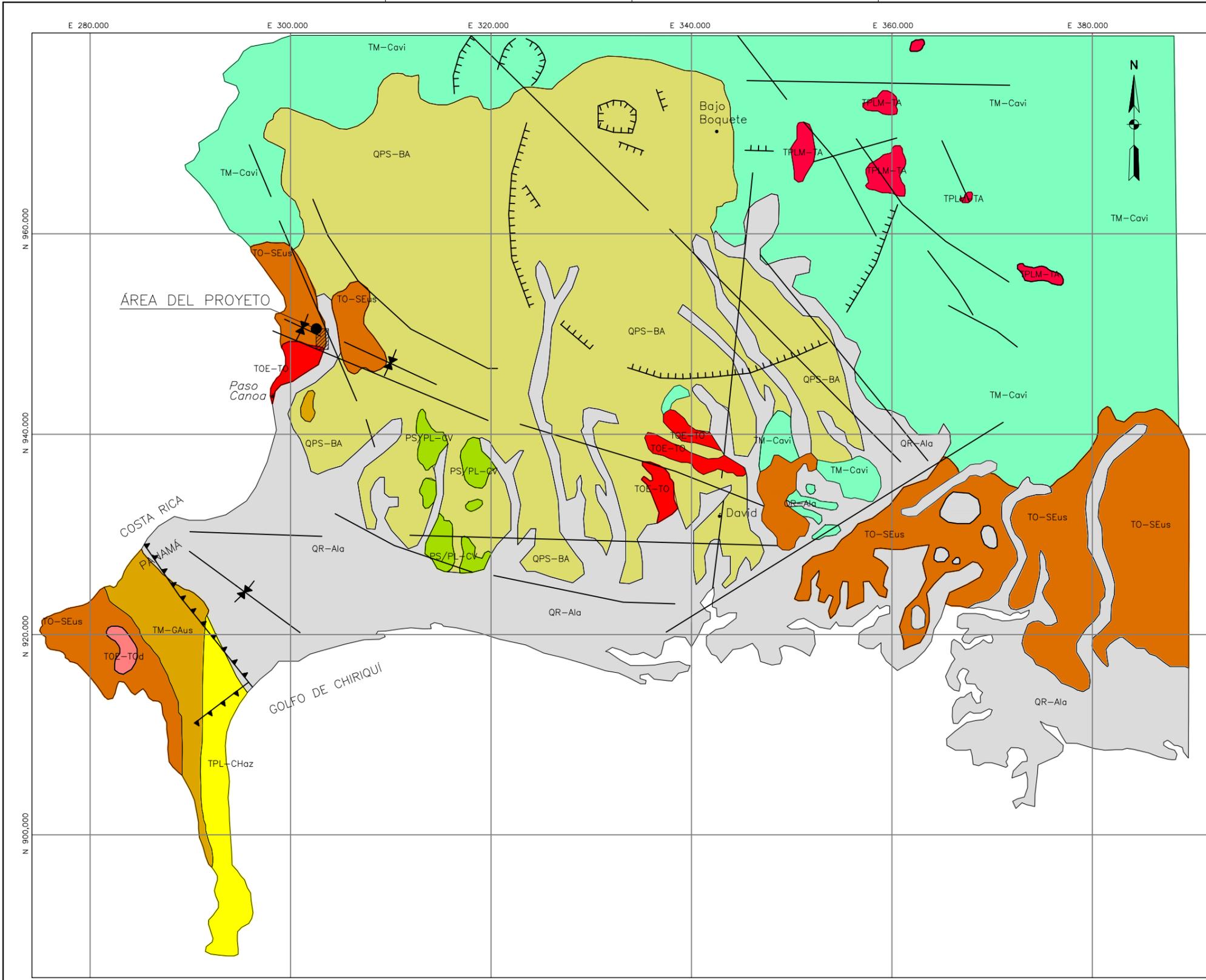
FOUNTAIN INTERTRADE CORP

N° 6540B

PB-G00-019

Rev. 0

HUJA ARCH.



LEYENDA:

- | | |
|-------------|--|
| Cuaternario | <p>QR-Ala Grupo Aguadulce – Formación Las Lajas (Aluviones, sedim. consolidada, areniscas, corales, conglome., lutitas carb., dep. tipo delta).</p> <p>QPS-BA Grupo Barú – Formación Barú (Basaltos/andesita, cenizas, tobas aglomerados y lavas).</p> <p>PS/PL-CV Grupo Barú – Formación Cerro Viejo (Basaltos/andesita, amigdaloides vídriosos. Basaltos Post-ignimbríticos).</p> <p>TPL-CHaz Grupo Chagres – Formación Charco Azul (Arcillas, areniscas, limolitas).</p> |
| Terciario | <p>TM-Cavi Grupo Cañazas – Formación Virigua (Andesitas, basaltos, brechas, tobas, bloques, sub-intrusivos, diques swarns, sedimentos volcánicos).</p> <p>TM-GAus Grupo Gatún – Formación Gatún/Uscari (Lutitas, limolitas, areniscas, conglomerados, piroclásticos).</p> <p>TO-SEus Grupo Senosri/Uscari – Formación Senosri/Uscari (Lutitas, conglomerados, calizas tobáceas y arcillas).</p> <p>TOE-TO Grupo Tonosí – Formación Tonosí (Lutitas, areniscas).</p> <p>TOE-TOd Grupo Tonosí – Formación David (Areniscas, lutitas, calizas, lavas y tobas andesíticas intercaladas).</p> <p>TPLM-TA Grupo Tabasará – Formación Tabasará (Granodiorita y monzonitas).</p> |
- Falla inversa (empuje)
 Falla normal
 Estructura volcánica
 Sinclinal

REFERENCIA DEL MAPA:
 Referencia: Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" (IGNTG), octubre, 1991.



c								
b								
a								
REV.	ELAB.	VERIF.	VISTO	GERENCIA	FECHA DE EMISION	RESP.	FECHA	ACEPTACION
	ALTERACION							

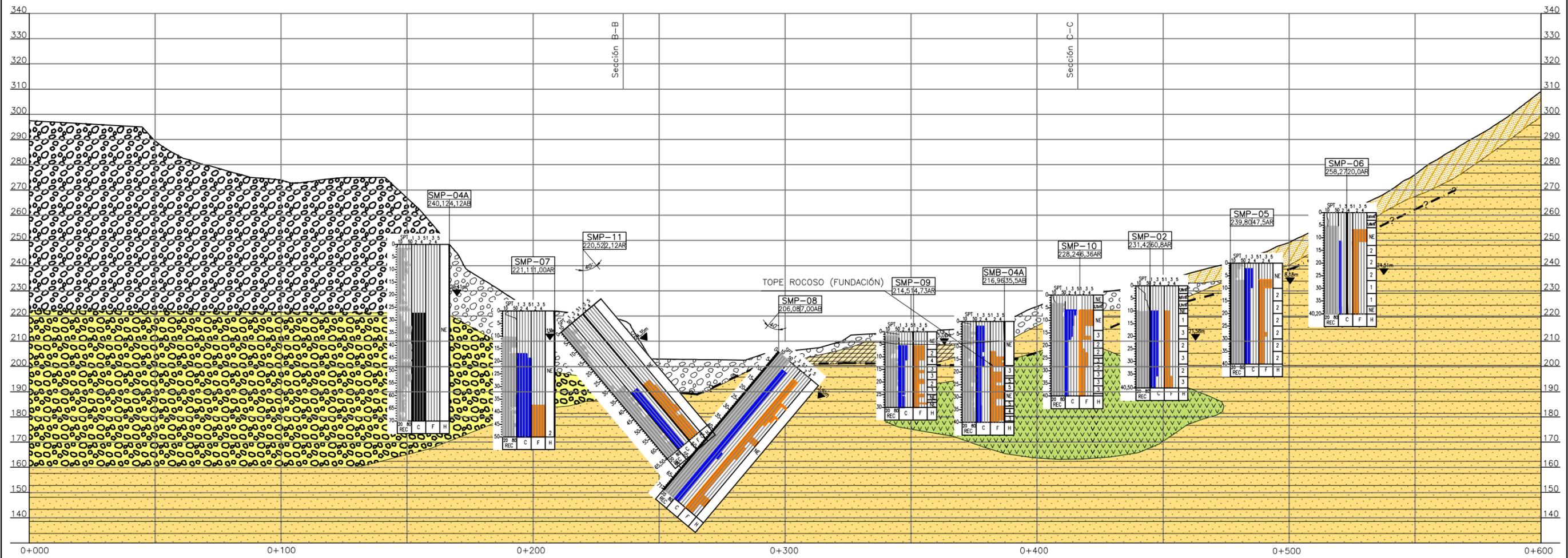


Proy. FNMB	Dibuj. ALE	Conf. FNMB
RAVD GERENTE/COORD. DEL AREA		
CAFF DIRECTOR TECNICO		
Aprob. CAFF		
Fecha NOV/2009		

PROYECTO HIDROELÉCTRICO BAJO FRÍO

GENERAL
 MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

FOUNTAIN INTERTRADE CORP	
N° 6540B	PB-G00-015
Rev. 0	
HOUA	ARCH.



SECCI6N A-A (PB-G00-019)

- LEYENDA:
- Aluvi6n
 - Arenisca
 - Lahar
 - Lutita
 - Basalto
 - Microconglomerado (extremadamente meteorizado)
 - Tope Rocosu (Fundaci6n)
 - Duda Geol6gica



c							
b							
a							
REV.	ELAB.	VERIF.	VISTO	GERENCIA	FECHA DE EMISION	RESP.	FECHA ACEPTACION

NOTA:
 1- Todas las dimensiones est6n en metros y las elevaciones en metros sobre el nivel del mar, excepto donde se indique.

PLANOS DE REFERENCIA:
 6540B-PB-G00-019 - Estructuras Principales - Ubicaci6n de Sondeos - Planta.



Proy. FNMB	Dibuj. ALE	Conf. FNMB
RAVD GERENTE/COORD. DEL AREA		
CAFF DIRECTOR TECNICO		
Aprob. CAFF		
Fecha NOV/2009		

PROYECTO HIDROEL6CTRICO BAJO FRIO

GENERAL
 SECCI6N GEOL6GICO-GEOTECNICA
 PRESA Y CH LA POTRA
 LONGITUDINAL (A-A)

FOUNTAIN INTERTRADE CORP	
N° 6540B	PB-G00-020
Rev. 0	
HOJA	ARCH.

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Parámetros de clasificación

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0,01	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Corrección por la orientación de las discontinuidades

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Clasificación

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

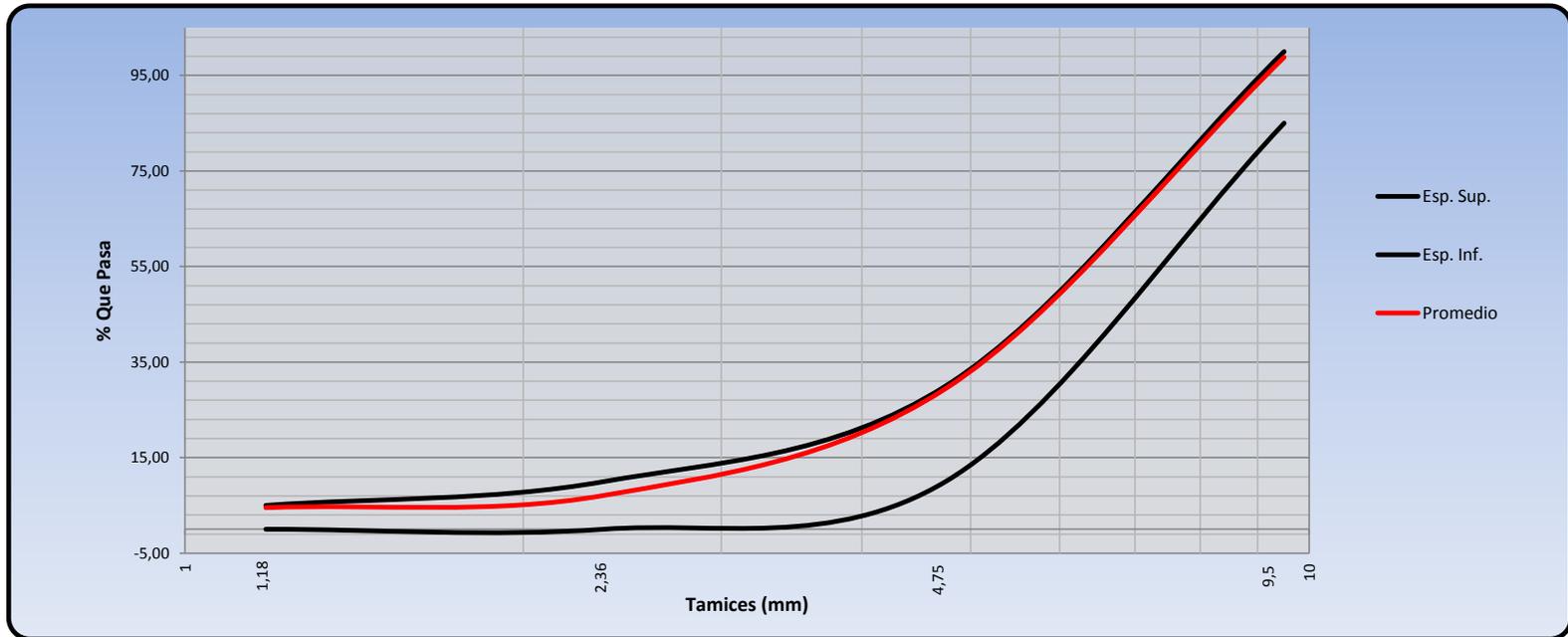
Características geotécnicas

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kg/cm ²	3-4 Kg/cm ²	2-3 Kg/cm ²	1-2 Kg/cm ²	< 1 Kg/cm ²
Ángulo de rozamiento	> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

INFORME SEMANAL DE GRANULOMETRIAS DE AGREGADO 3/8" C.C.

Tamiz	Aberturas (mm)	Promedio	Especificacion	Especificacion
		% Pasa	Inferior	Superior
3/8"	9,5	98,80	85,00	100,00
4	4,75	29,49	10,00	30,00
8	2,36	7,13	0,00	10,00
16	1,18	4,56	0,00	5,00

CURVA GRANULOMETRICA - PROMEDIO DE LA SEMANA DEL 1 @ 5 DE OCTUBRE 2012

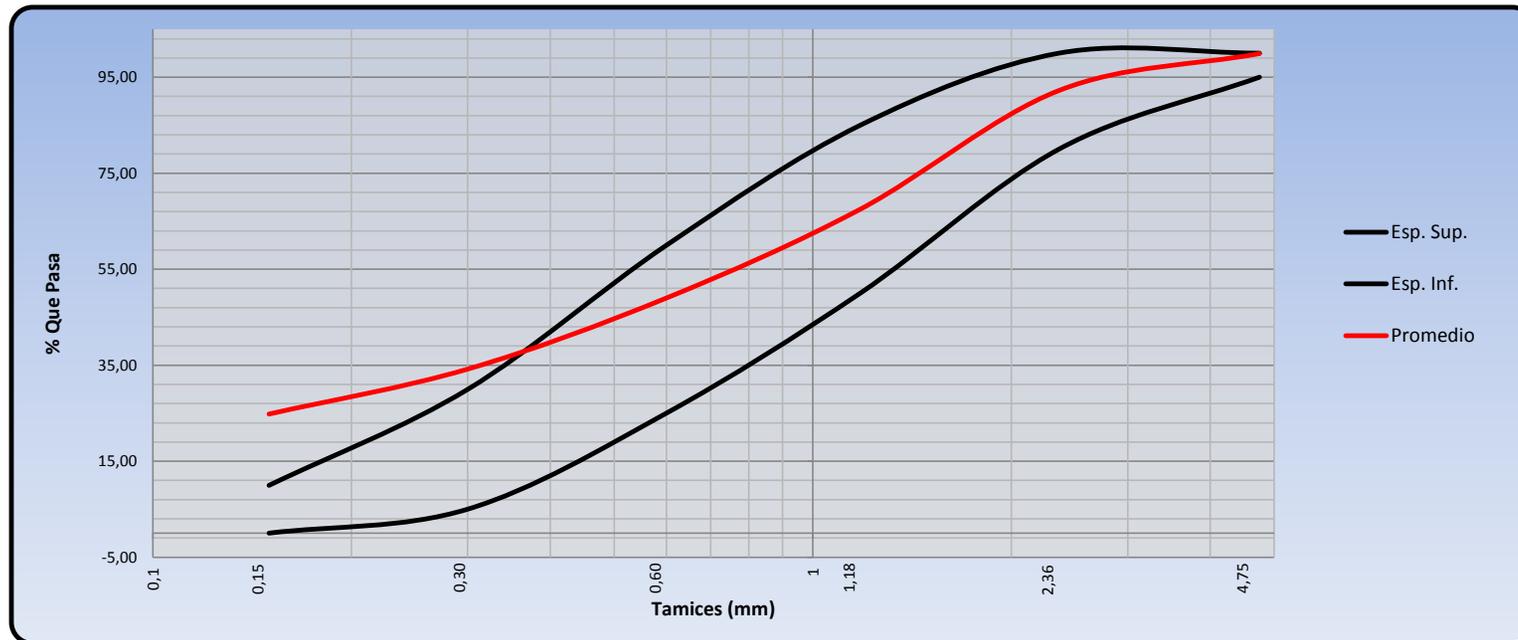


Observaciones: El agregado de 3/8" cumple con la especificación de la norma ASTM C33.

INFORME SEMANAL DE GRANULOMETRIAS DE AGREGADO - ARENA MANUFACTURADA

Tamiz	Aberturas (mm)	Promedio	Especificacion Inferior	Especificacion Superior
		% Pasa		
4	4,75	99,94	95,00	100,00
8	2,36	92,25	80,00	100,00
16	1,18	67,52	50,00	85,00
30	0,60	49,03	25,00	60,00
50	0,30	34,23	5,00	30,00
100	0,15	24,86	0,00	10,00
Modulo de Finura		2,3		

CURVA GRANULOMETRICA - PROMEDIO DE LA SEMANA 1 @ 5 DE OCTUBRE DE 2012



Observaciones: El agregado fino cumple con la especificación de la norma ASTM C33 excepto en los tamices N°100 y N° 50. El pasante del tamiz N°200 reportó un valor promedio de 19,63 %

SikaFiber® CHO 65/35 NB

Fibra de acero para el refuerzo del hormigón normal y hormigón proyectado

Descripción	SikaFiber CHO 65/35 NB son fibras de acero trefilado de alta calidad para reforzamiento del hormigón tradicional y hormigón proyectado (shotcrete) especialmente encoladas (pegadas) para facilitar la homogenización en el hormigón, evitando la aglomeración de las fibras individuales. SikaFiber CHO 65/35 NB son fibras de acero de alta relación longitud/diámetro (l/d) lo que permite un alto rendimiento con menor cantidad de fibra.
Usos	<ul style="list-style-type: none">■ SikaFiber CHO 65/35 NB, otorga una alta capacidad de soporte al hormigón en un amplio rango de aplicaciones y especialmente hormigón proyectado (shotcrete) reduciendo tiempo y costos asociados al tradicional reforzamiento con mallas de acero; dándole ductilidad y aumentando la tenacidad del hormigón.■ En hormigones pre-fabricados reforzados; en losas de pisos industriales (tráfico alto, medio y ligero) en losas y cimientos de hormigón para reemplazar el refuerzo secundario (malla de temperatura), en puertos, aeropuertos, fundaciones para equipos con vibración, reservorios, tanques etc.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">■ Incrementa la resistencia del hormigón al impacto, fatiga y a la fisuración.■ Incrementa la ductilidad y absorción de energía (resistencia a la tensión)■ Reducción de la fisuración por retracción.■ No afecta los tiempos de fagado■ Su condición de encolada (pegada) asegura una distribución uniforme en el hormigón y shotcrete via húmeda.■ Relación longitud / diámetro igual a 65 para un máximo rendimiento.■ Extremos conformados para obtener máximo anclaje mecánico en el hormigón.
Datos Básicos Normas	SikaFiber CHO 65/35 NB cumple con las normas ASTM A820 "Steel Fibers for Reinforced Concrete "Tipo I y DIN 17140-D9 para acero de bajo contenido de carbono.
Presentación	Fundas hidrosolubles de papel x 20 kg.
Almacenamiento	Los sacos de SikaFiber CHO 65/35 NB pueden almacenarse por tiempo indefinido protegidos de la humedad.
Datos técnicos	<ul style="list-style-type: none">• Longitud 35 mm. con extremos conformados• Diámetro de la fibra 0.54 mm• Relación longitud/diámetro 65• Resistencia a tracción 1200 Mpa min.• Elongación de rotura 4% max.



Consumo	<p>Normalmente entre 20 y 50 kg de SikaFiber CHO 65/35 NB por m³ de hormigón.</p> <p>Se recomienda realizar ensayos previos para determinar la cantidad exacta de fibra de acero a utilizar de acuerdo a los índices de tenacidad o energía absorbida especificada del hormigón.</p>
Modo de empleo	<p>SikaFiber CHO 65/35NB se puede agregar en la tolva de pesado de la dosificadora de hormigón, en la correa de alimentación, en camión mixer y mezcladora de hormigón como a continuación se indica en cada caso:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ En la tolva de pesado de la dosificadora, abra las fundas y vacíe las fibras directamente entre los áridos; no agregue las fundas sin abrir porque pueden bloquear las compuertas de descarga. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso. ■ En la correa de alimentación, si hay acceso, las fibras pueden adicionarse durante o después de agregar los áridos. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso. ■ En el camión mixer, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras mientras el mixer de hormigón está rotando a alta velocidad (12 rpm o más). Vaciar un máximo de 60 kg, de fibras por minuto. Una vez terminado el vaciado de las fibras, mezclar 5 minutos adicionales y chequear visualmente su distribución, mezclar 30 segundos adicionales si la distribución no es uniforme. ■ En la mezcladora de hormigón, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras y mezclar por 30 segundos por cada pie cúbico a menos que se observe una distribución homogénea en menor tiempo.
Observaciones técnicas	<p>No agregue SikaFiber CHO 65/35 NB al mezclador antes de los áridos. La fundas con papel hidrosolubles pueden agregarse directamente al hormigón.</p>
Precauciones	<p>Evite el contacto directo con los ojos y la piel. Protéjase utilizando guantes y anteojos de seguridad.</p> <p>La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado en Internet ingresando en: www.sika.com.ec.</p>
Códigos R/S	

La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika, respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de ésta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.



Sika Ecuatoriana S.A.
www.sika.com.ec
 Guayaquil.- km. 3 1/2 vía Durán - Tambo PBX 2812700 Fax 2801229
 Quito.- Panamericana Norte km. 71/2 Telefax 2800419 - 2800420
 Cuenca.- Av. de las Américas y 1° de Mayo Telefax 2856754



Descripción

POLYHEED 7530 es un aditivo líquido, listo para usarse, reductor de agua de alto rango que permite obtener concretos de altos revenimientos y con largos periodos de trabajabilidad. POLYHEED 7530 cumple con las especificaciones ASTM C-494 Tipo B, D y G. para aditivos reductores de agua de Alto Rango y Retardantes..

Usos Recomendados

- Concretos donde se requiera una alta plasticidad y alto desarrollo de resistencias a edades tempranas.
- Concretos para estructuras sometidas a ambientes agresivos o expuestas a ataque de cloruros y/o sulfatos.
- Concretos densos, de baja permeabilidad y altamente durables.
- Concretos para estructuras altamente reforzadas.
- Losas y pilotes de cimentación
- Estructuras marinas, muelles, malecones y plataformas.

POLYHEED® 7530

Aditivo reductor de agua de alto rango y retardant

Características

- Concretos con baja relación A/C y altos revenimientos.
- Concretos durables y resistentes a la penetración de cloruros y ataque por sulfatos

Beneficios

- Concretos con mayor resistencia a los ciclos de congelamiento y deshielo.
- Concretos de alto revenimiento (10" –12"), cohesivos y no segregables obtenidos a partir de concretos de 1" –2" de revenimiento.
- Concretos con mínima exudación de agua, menor retracción y menor deformación.

Indicación de Uso

Dosificación

POLYHEED 7530 se aplica en un rango de 4 a 12 ml por kg de material cementante (6 a 18 oz. fl por 100 lb de material cementante).

POLYHEED 7530 debe dosificarse junto con el agua de mezclado. El efecto plastificante o la reducción de agua es mayor si se adiciona el aditivo al concreto después de que se ha adicionado entre el 50 y 70 % del agua de mezclado. Para usar otras dosificaciones que estén fuera del rango recomendado consulte a su representante local de BASF Construction Chemicals.

Recomendaciones

Compatibilidad

POLYHEED 7530 puede utilizarse en combinación con cualquier otro aditivo de BASF Construction Chemicals. Cuando se usa con otros aditivos, cada uno deberá vaciarse a la mezcla en forma separada. POLYHEED 7530 puede utilizarse con aditivos inclusores de aire siempre que satisfagan las especificaciones ASTM, AASHTO y CRD.

Corrosividad

POLYHEED 7530 no iniciará o promoverá la corrosión del acero de refuerzo en el concreto, concreto pretensado, postensado. No se utilizó cloruro de calcio ni ningún ingrediente a base de cloruros en la elaboración del POLYHEED 7530.

Temperatura

Si el POLYHEED 7530 se congela, se recomienda elevar la temperatura a 2°C (35°F) o más y agitarlo hasta que esté completamente reconstituido. No se debe usar aire a presión para agitarlo.

Datos Técnicos

Estado fisico:	Líquido
Color:	Café Oscuro
Densidad 25°C (77°F):	1,085 ± 0,015 g/ml
pH:	9 ± 1

Producto: POLYHEED® 7530

Empaque

POLYHEED® 7530 se suministra en tambores de 208 litros, en totes de 1040 L (275 gal) o a granel.

Almacenamiento

POLYHEED 7530 debe almacenarse a temperaturas superiores a 0°C (32°F) en sus tambores originales sellados. POLYHEED 7530 tiene una vida útil de 18 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, esta puede ser mayor.

Seguridad

POLYHEED 7530 No contiene sustancias peligrosas que deban indicarse en la etiqueta. Se usa con seguridad siguiendo las precauciones estándares para la industria de la construcción como, guantes, lentes de seguridad, etc.

NOTIFICACIÓN DE GARANTÍA LIMITADA. Todo esfuerzo razonable es hecho para aplicar los rigurosos estándares de BASF tanto en la fabricación de nuestros productos como en la información que expedimos en relación a estos productos y su uso. Nosotros garantizamos que nuestros productos son de buena calidad y sustituiremos, o, a nuestra discreción, reembolsaremos al precio de compra de cualquier producto que se pruebe está defectuoso. El obtener resultados satisfactorios depende no solamente del uso de productos de calidad, sino también de muchos factores que están fuera de nuestro control. Por lo tanto, excepto en los casos de tales sustituciones o reembolsos, BASF NO GARANTIZA, EXPLÍCITA O IMPLÍCITAMENTE, INCLUYENDO GARANTÍAS DE DESEMPEÑO PARA UN PROPÓSITO PARTICULAR O COMERCIALIBILIDAD, CON RELACIÓN A SUS PRODUCTOS, y BASF no estará sujeto a responsabilidad alguna en relación a los mismos. Cualquier reclamo relacionado a defectos en productos debe ser recibido por escrito dentro de un (1) año de la fecha de despacho. No se considerará ningún reclamo sin tal notificación escrita o con fecha posterior al intervalo de tiempo especificado. El usuario deberá determinar que los productos para el uso previsto sean idóneos y asumir todo el riesgo y la responsabilidad en conexión a ello. Cualquier autorización de cambio en las recomendaciones escritas acerca del uso de nuestros productos debe llevar la firma del Gerente Técnico de BASF. La información y todo asesoramiento técnico adicional están basados en el conocimiento y experiencia actual de BASF. Sin embargo, BASF no asume ninguna responsabilidad por proporcionar dicha información y asesoramiento, incluyendo la extensión a la cual dicha información y asesoramiento pueda relacionarse a los derechos de propiedad intelectual de terceros, especialmente derechos de patente. En particular BASF niega todas LAS CONDICIONES Y GARANTÍAS, SEAN EXPRESAS O IMPLÍCITAS, INCLUYENDO LAS GARANTÍAS IMPLÍCITAS POR DESEMPEÑOS PARA UN PROPÓSITO O COMERCIALIBILIDAD ESPECÍFICOS. BASF NO ESTARÁ SUJETO A RESPONSABILIDAD POR DAÑOS INCIDENTALES, INDIRECTOS O CONSECUENCIALES (INCLUYENDO PÉRDIDA DE GANANCIA) DE CUALQUIER TIPO. BASF se reserva el derecho de hacer cualquier cambio debido a progreso tecnológico o desarrollos futuros. Es de responsabilidad y obligación del cliente el inspeccionar y probar con cuidado cualquier bien que reciba. El desempeño del producto(s) descritos aquí, deben ser verificados por medio de ensayos, que debe ser llevado a cabo solamente por expertos calificados. Es de exclusiva responsabilidad del cliente el llevar a cabo y tramitar dicho ensayo. La referencia a marcas o nombres comerciales usados por otras compañías no es recomendación ni publicidad para ningún producto y no implica que uno similar no pueda ser usado.

PARA USO PROFESIONAL ÚNICAMENTE. NO ESTÁ DISPONIBLE PARA LA VENTA AL PÚBLICO GENERAL.

BASF Corporation
Construction Chemicals
23700 Chagrin Blvd
Cleveland, OH, USA, 44122
1-216-839-7550

México 55-5899-3984 www.basf-cc.com.mx	Guadalajara 33-3811-7335	Monterrey 81-8335-4425	Mérida 999-925-6127	Tijuana 664-686-6655
Costa Rica 506-2440-9110 www.centroamerica.basf-cc.com	Panamá 507-300-1360	Puerto Rico 1-787-258-2737 www.caribbean.basf-cc.com	Rep. Dominicana 809-334-1026 www.basf-cc.com.do	

Referencias

- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003a. C33 Standard Specification for Concrete Aggregates (CD-ROM). In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM C33 Reproved 2001). 1 CD-ROM
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003a. C42 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete (CD-ROM). In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM C42 Reproved 2001). 1 CD-ROM
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003a. C136 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (CD-ROM). In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM C136 Reproved 2001). 1 CD-ROM
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003a. C127 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate (CD-ROM). In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM C127 Reproved 2001). 1 CD-ROM
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003a. C128 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate (CD-ROM). In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM C128 Reproved 2001). 1 CD-ROM
- ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211. 1.9.1.)". ACI Manual of Concrete Practice, Part 1. American Concrete Institute. Farmington Hills. Detroit, Michigan. USA, 1991.
- Braja M. Das.(2001).Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.Editorial Thomson Learning.
- Ferrer, M. Ingeniería Geológica. (2004).Editorial Prentice Hall.España.
- FOUNTAIN INTERTRADE CORP. 2012a. 2555D-ES-G14-011-R0.1 Especificaciones técnicas para elaboración, colocación y aceptación del hormigón proyectado (CD-ROM). Panamá.
- INTECO (instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). 2009a. INTE 06-01-02-09 Agregados para Concreto — Requisitos (CD-ROM). Costa Rica
- ISRM (1981).Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed E.T. Brown. Pergamon Press.