



Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales

Departamento de Geología

**Reconstrucción estructural de una sección
geológica del cerro Tambolar en la
Precordillera Central de San Juan y su
vinculación con el modelo geotécnico de la
zona del Aliviadero del dique El Tambolar**

Autor: Olmos Oyola Federico Antonio

Director: Dr. Ariza Juan Pablo

Co – Director: Lic. Ceballos Juan Pablo

Año 2025

INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 Objetivos.....	2
I.2 Ubicación y Accesos	2
I.3 Geografía.....	3
I.4 Hidrología	4
I.5 Clima	4
I.6 Vegetación.....	4
I.7 Metodología	5
Tareas de gabinete:	5
Tareas de campo:	5
II. DIQUE EL TAMBOLAR	23
III. GEOLOGÍA.....	27
III.1 Geología General y Marco Tectónico.....	27
III.2 Geología Local.....	29
III.2.1. Estratigrafía.....	30
III.2.2. Estructura.....	37
III.3 Geología de detalle del Cerro Tambolar y zonas aledañas a la presa.....	36
IV. GEOTECNIA	83
Ventanas Geotécnicas.....	92
V. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	132
VI. CONCLUSIONES.....	135
BIBLIOGRAFÍA.....	138
ANEXO.....	146

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en el Dique El Tambolar, ubicado en el ámbito de la Precordillera Central sanjuanina, en la zona limítrofe de los departamentos de Zonda y Ullúm.

El estudio busca caracterizar desde el punto de vista geológico estructural y geotécnico el macizo rocoso en el cerro Tambolar, el cual, se encuentra conformado por rocas carbonáticas de la Formación San Juan, ubicado sobre la ladera sur del río San Juan, donde se emplazará el muro del dique y las diferentes obras de infraestructuras asociadas.

Para el cual, se realizó un mapa geológico de superficie e interpretación a partir de una sección estructural este – oeste, abarcando desde la localidad de Pachaco por el margen sur del río, hasta su margen este, cruzando el río San Juan, y un modelo geológico - geotécnico del cerro, contrastando los resultados de las calidades y de los datos geomecánicos del macizo. Estos fueron determinados a partir de los relevamientos realizado durante las diferentes etapas de excavación subterráneas en las diversas áreas, las cuales son el túnel de conducción, túnel de acceso a pozo de compuertas y las galerías de inyección con sus accesos y en las obras a cielo abierto que son el aliviadero, la rápida y los diferentes caminos de acceso trazados sobre el cerro.

Dichos relevamientos se efectuaron por medio de la clasificación de RMR de Bieniawski (1989), la RQD (Rock Quality Designation) y el índice de Q (Quality) de Barton.

A su vez, se realizó el estudio de estabilidad cinemática en los taludes con ventanas geotécnicas ubicadas en zonas determinadas, vinculando la clasificación RMR (Bieniawski 1973 -1989) y de SMR (Romana 1985) y el análisis a partir de estereogramas de falla planar, rotura por cuña y vuelco de estrato, donde se representaron las familias de discontinuidades en la zona del aliviadero y de la rápida y en función de ello, se recomendó para cada situación el sostenimiento más adecuado para la estabilidad de los taludes.

Partiendo de los análisis y de la interpretación de los datos obtenidos del cerro el Tambolar el cual está conformado por calizas de la Formación San Juan, clasificada a partir de Bieniawski como tipo 3, regular, se observan múltiples plegamientos delimitados por un sistema de fallas inversas, tal diseño estructural se correlaciona con el esquema estructural de la faja plegada y corrida de Precordillera Central.

I. INTRODUCCIÓN

El dique El Tambolar, una obra de ingeniería de gran importancia para el desarrollo de la provincia y del país, tiene distintas finalidades, entre las que destacan, su uso para almacenaje de agua y regadíos, el abastecimiento regular de agua, el control de avenidas y la generación de energía eléctrica (González de Vallejos, 2002), entre otros.

Será una presa del tipo CFRD (**Concrete Face Rockfill Dam**) el cual consistirá de un cuerpo conformado por rellenos seleccionados y compactados, protegidos por una pantalla impermeable de hormigón armado. En este caso tendrá una altura sobre el nivel del río de 83 metros, y una altura de fundación de presa de 113 metros, con una capacidad de almacenamiento de 605 millones de metros cúbicos.

El dique forma parte de un sistema múltiple de aprovechamiento del río San Juan, que permitirá incorporar 70 Megavatios (MW) al sistema eléctrico sanjuanino y nacional.

La seguridad de las presas y la geología vinculada a su emplazamiento constituye uno de los temas de investigación más importantes en mecánica de rocas e ingeniería geológica. Ya que muchos de los accidentes más graves han sido causados por el fallo de cimentaciones y ruptura de los muros o deslizamientos en las laderas circundantes a la presa, generando inundaciones aguas abajo. Entre estos accidentes destacan los ocurridos en las presas de Malpasset (Francia) en 1959, Vajont (Italia) en 1963 y Teton (EE.UU.) en 1975. Si bien los problemas fueron distintos en los tres casos, las roturas estuvieron relacionadas con el comportamiento geológico del terreno (González de Vallejos 2002).

El objetivo de este Trabajo Final de Licenciatura es el análisis e interpretación de las estructuras geológicas a escala macroscópica, y su vinculación con los parámetros geotécnicos que permiten evaluar la calidad geomecánica del macizo rocoso del cerro Tambolar, lugar donde se construirá el aliviadero. Este constituirá el órgano principal de evacuación de excedente de agua de la presa mediante un canal lateral ubicado sobre el margen derecho del río.

En este sector se encuentran desarrollados los túneles de desvío y descargador de fondo, los cuales son independientes y presentan una longitud de 455 metros. También se emplaza el túnel de aducción con una longitud de 2700 metros, cuya finalidad será conducir el agua hasta la casa de máquinas ubicada aguas abajo sobre el mismo margen del río.

I.1 Objetivos

Con motivo de dar cumplimiento al requisito necesario para la obtención del título de Licenciado en Ciencias Geológicas, que otorga la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales dependiente de la Universidad Nacional de San Juan, se han planteado los siguientes objetivos generales y específicos para este estudio.

El objetivo general de este trabajo es caracterizar desde el punto de vista geológico, estructural y geotécnico el macizo rocoso que conforma el cerro Tambolar, sobre la margen derecha del río San Juan, donde se emplazará el muro de la presa y obras de infraestructura asociadas.

Los objetivos específicos consisten en realizar un mapa geológico de superficie e interpretación de una sección geológica estructural E-O. Por otra parte, se pretende clasificar y determinar las características geomecánicas del macizo a partir de la construcción de un modelo geológico y geotécnico del área donde se emplazarán los túneles derivadores, zona de aliviadero y construcciones anexas del proyecto El Tambolar.

I.2 Ubicación y Accesos

La zona de interés se sitúa sobre el curso del río San Juan, en el límite interdepartamental de Zonda y Ullum, a 145 km por ruta desde la ciudad de San Juan hacia el departamento Calingasta. Desde un punto de vista geológico la zona se ubica en la Precordillera Central (Baldis y Chebli 1969).

El acceso a la zona se realiza desde la ciudad de San Juan a través de la Ruta Nacional N° 40 hacia el norte hasta la localidad de Talacasto. A continuación, se empalma con la Ruta Provincial N°436, por la cual se transita hacia el oeste unos 20 km, para acceder al empalme con la Ruta Nacional N° 149, la cual conecta con el departamento Calingasta. A unos 80 km desde dicho empalme se encuentra la localidad de Pachaco, en la quebrada del río San Juan, donde se encuentra el ingreso al proyecto El Tambolar (Figura 1.1).

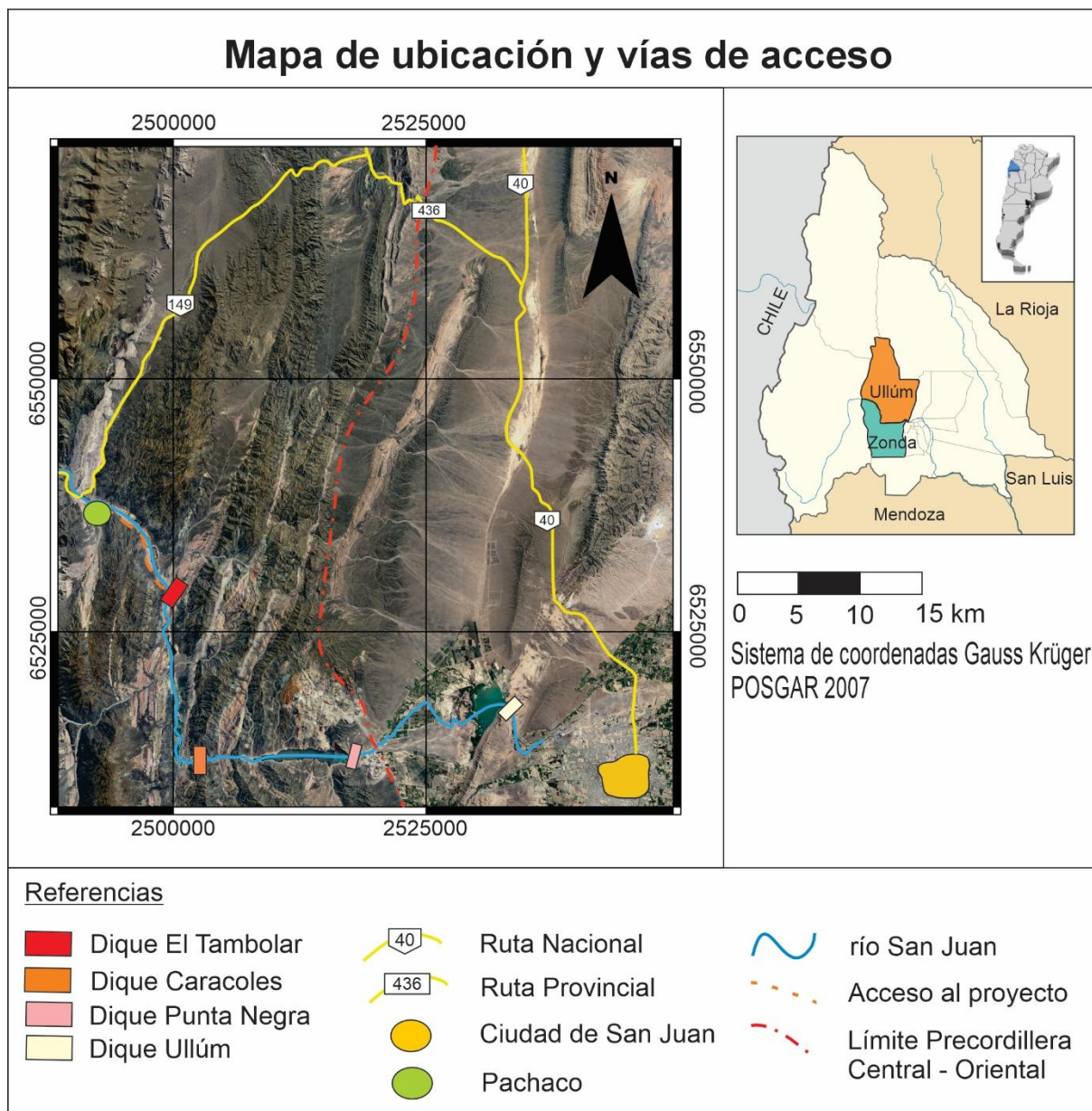


Figura 1.1: Mapa de ubicación y vías de acceso de la zona de estudio.

I.3 Geografía

La zona de estudio corresponde al ambiente de Precordillera caracterizada por cordones montañosos con orientación norte – sur. Entre los más importantes destacan la sierra de La Dehesa hacia el este, con una altura de 2822 m.s.n.m (todas las alturas están referidas a metros sobre el nivel mar), el cerro Tambolar cuya altura es de 2310 m y se corresponde al área de estudio, mientras que hacia el noroeste se ubica la sierra de La Cantera con una altitud de 2885 m.

I.4 Hidrología

En la zona de estudio la mayor influencia hídrica es ejercida por el río San Juan el cual es un curso de agua permanente, producto del deshielo de nieve en la alta Cordillera de los Andes, por sobre los 3000 m de altura.

El río San Juan se forma por la confluencia de dos ríos principales, el río Castaño que drena desde el norte y el río de Los Patos que aporta desde el sur, ambos en el departamento de Calingasta en la zona conocida como Las Juntas.

El río San Juan, tiene un caudal medio de 56 m³/s, su curso medio es de 500 km de longitud y la cuenca cubre 39.906 km².

I.5 Clima

El clima de la provincia de San Juan se clasifica como desértico (*BWh/BWk*), de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, con precipitaciones escasas, elevada aridez y una importante oscilación térmica tanto anual como diaria. Las temperaturas oscilan en torno a la media de 32 °C de enero, con máximas que superan los 39 °C y picos de 44 °C. Por otra parte, en el mes julio la media ronda los 8 °C con heladas, donde las temperaturas se ubican por debajo de 0 °C. Ningún mes tiene precipitaciones por encima de los 20 mm, siendo estas más probables en verano (entre diciembre y marzo).

En el departamento de Zonda, donde se emplaza la zona de estudio, las temperaturas oscilan entre los 10 °C anuales, con máximas de hasta 40 °C en verano y mínimas inferiores a 0 °C en invierno. Predominan vientos en dos direcciones; el del sector sur es frío, y el otro proveniente del oeste es cálido y seco, este último denominado como viento Zonda.

I.6 Vegetación

El clima dominante en la zona de estudio determina que el suelo esté pobremente desarrollado (entisoles, aridisoles, molisoles). Debido a estas condiciones el tipo de vegetación presente es el arbustal, resinoso, micrófilo perennifolio o jarillal, que compone una estepa más o menos abierta con una altura de uno a dos metros, con dominancia de jarillas (*Larrea divaricata*, *Larrea cuneifolia* y *Larrea nítida*) en diferentes combinaciones y otros arbustos como la mata sebo (*Monttea aphylla*) y la mata negra (*Bougainvillea spinosa*) (Daniele y Natenzon 1994).

I.7 Metodología

Tareas de gabinete:

- Recopilación y análisis de información previa del área de estudio.
- Interpretación geológica a partir de imágenes satelitales y de drone, para la obtención de un mapa base a escala 1:10.000, que luego fue completado con los relevamientos de datos estructurales y litológicos realizados en el terreno.
- Elección y ubicación de seis estaciones geomecánicas en superficie, teniendo en cuenta diferentes unidades litológicas y elementos estructurales (fallas principales y pliegues).
- Elaboración del mapa geológico con el ploteo de los datos levantados en el terreno y construcción de una sección estructural E-O transversal a las estructuras principales.
- Análisis de las principales características del macizo con respecto a las obras de infraestructura alojadas y previstas para el mismo.
- Procesamiento y análisis de los datos, considerando las condiciones del macizo, la orientación y distribución de las discontinuidades, estructuras de fallas con respecto al diseño de talud, mediante el software Dips.
- Elaboración de un modelo geológico con la representación de los datos superficiales y los subterráneos en la zona de estudio cerro Tambolar, obtenidos de los relevamientos de campo y a lo largo de las galerías de exploración/control geotécnico.
- Propuesta de medidas de mitigación para los sectores vulnerables (donde la roca se presente con características desfavorables, las cuales generen derrumbes o desplazamiento de bloques) donde se emplazarán las obras correspondientes.

Tareas de campo:

- Se realizó una caracterización geológica - estructural, a partir del levantamiento de datos de dirección de buzamiento y buzamiento (Dbz/Bz), con brújula tipo Brunton.
- Las zonas relevadas fueron geolocalizadas con puntos tomados con dispositivos tipo GPS, a los fines de la descripción y caracterización litológica para la confección de la sección geológica.
- Durante los avances en las galerías y túneles, el área de geología de la UTE Tambolar, de la cual formó parte el licenciando, realizó 475 relevamientos, cuyos datos fueron empleados en la elaboración del presente trabajo. La metodología utilizada para la caracterización geomecánica del macizo rocoso se ajustó a la propuesta por la Sociedad Internacional de Mecánica de Roca (ISRM 1981) por medio de la clasificación de RMR de Bieniawski, la RQD (*Rock Quality Designation*) (Anexo – Tabla I) y el índice de Q (*Quality*) de Barton (Anexo – Tablas II).
- Para la toma de datos se utilizó la planilla de RMR de Bieniawski modificada por la UTE Tambolar, en donde se establecen los parámetros de evaluación del macizo.

A continuación, se describen las características principales de las clasificaciones geomecánicas y parámetros empleados.

Las planillas utilizadas en este trabajo consisten en una clasificación del macizo a partir de las características geomecánicas. Esta clasificación fue diseñada por Bieniawski en 1973 y posteriormente actualizada en 1979 y 1989. Este sistema determina índices de calidad del macizo en función de una serie de parámetros a describir, tales como: resistencia de la roca intacta, grado de fracturación y diaclasado del macizo, presencia de agua y la orientación de las discontinuidades respecto al elemento de estudio: túnel, talud o cimentación.

El índice RMR puede tomar valores entre 0 y 100 puntos a partir de los cuales el macizo rocoso puede clasificarse en 5 clases, siendo la clase I correspondiente a macizos de muy buena calidad con RMR entre 81 y 100, mientras que la clase V corresponde a macizos de muy mala calidad con RMR entre 0 y 20 (Tabla 1.1).

Tabla de Clasificación R.M.R		
RMR	CLASE	CALIDAD
81-100	I	Muy Buena
61-80	II	Buena
41-60	III	Media
21-40	IV	Mala
0-20	V	Muy Mala

Tabla 1.1: Clasificación de la calidad del macizo a partir de la valoración de los puntos del R.M.R según Bieniawski. Tomado de Jofre (2021).

A continuación, se describen los diferentes parámetros relevados y analizados del macizo rocoso expuesto en el cerro Tambolar.

Dureza (Resistencia)

La dureza es una propiedad directamente relacionada con la resistencia de la matriz rocosa, que depende de la composición mineralógica y del grado alteración (González de Vallejo, 2002). En laboratorio se obtiene del ensayo de compresión simple o uniaxial, el cual se lleva a cabo en testigos de rocas, probetas (preparadas en laboratorios) o a partir del ensayo de carga puntual. En el terreno la resistencia de la matriz rocosa se obtuvo por medio de tablas a partir de la respuesta de esta a los golpes de martillo geológico. La puntuación asignada varía desde 0 (mínima resistencia) hasta 15 puntos (máxima resistencia) dependiendo de la resistencia de la roca (Tabla 1.2).

DUREZA	Comportamiento	Solo astillas con piqueta	Fracturas con muchos golpes de martillo	Más de un golpe para ser fracturada	Un golpe firme para ser fracturada	Hendidura con golpe de piqueta	Desgranable	Hendidura con la uña
		R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0
	Resistencia a la compresión	> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa
VALUACIÓN		15	12	7	4	2	1	0

Tabla 1.2: Clasificación en base a la resistencia a la compresión.

RQD (Rock Quality Designation) (Deer 1967)

Es el índice usado para medir el grado de fracturamiento de un macizo rocoso, el cual está definido por el número, espaciado y condiciones de las discontinuidades cualquier sea su origen y clase (González de Vallejo 2002).

Valora el grado de fracturación del macizo según el universalmente conocido RQD desde 3 puntos para un valor de RQD inferior al 25% hasta 20 puntos para un valor de RQD superior al 90% (Tabla 1.3).

El índice se estima a partir del análisis de testigos de roca, o bien, como fue realizado en el presente trabajo, mediante determinaciones en afloramientos sobre la base de correlaciones empíricas como la de Palmstrom, 1975 (ISRM 1981).

Donde:

RQD: $115 - 3,3 \times J_v$ para $J_v > 4,5$

RQD: 100 para $J_v \leq 4,5$

JV: Es el parámetro que representa el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen m³ del macizo rocoso.

$$J_v = \sum \frac{\text{Nº de discontinuidades}}{\text{longitud media (espaciado medio de cada familia de discontinuidades)}}$$

RQD	90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %
	Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala
VALUACIÓN	20	17	13	8	3

Tabla 1.3: Clasificación a partir del porcentaje de RQD y puntuación asignada según Bieniawski (1989).

Espaciamiento de las Discontinuidades

Este parámetro, se refiere al espaciamiento de las discontinuidades estructurales sistemáticas del macizo (planos de diaclasas, estratificación). Se define como la distancia media entre aquellos planos de discontinuidad que presentan las mismas características geomecánicas y que por lo tanto corresponden a una misma familia.

La resistencia del macizo rocoso disminuye al aumentar el número de discontinuidades y por lo tanto es directamente proporcional al espaciado de cada familia. Esto es, a mayor espaciado de discontinuidades, mayor resistencia tendrá el macizo y viceversa (Figura 1.2).

La puntuación de este parámetro alcanza valores de 20 puntos para discontinuidades (por ejemplo, diaclasas) con separación superior a los 2 m y un valor mínimo de 5 para discontinuidades con espaciamiento inferior a 0.06 m (Tabla 1.4).

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES	> 2,0 m	0,6 - 2,0 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m
	Muy espaciadas	Espaciadas	Moderadamente	Juntas	Muy juntas
VALUACIÓN	20	15	10	8	5

Tabla 1.4: Clasificación a partir de la separación entre familias de discontinuidades y puntuación asociada a Bieniawski (1989).

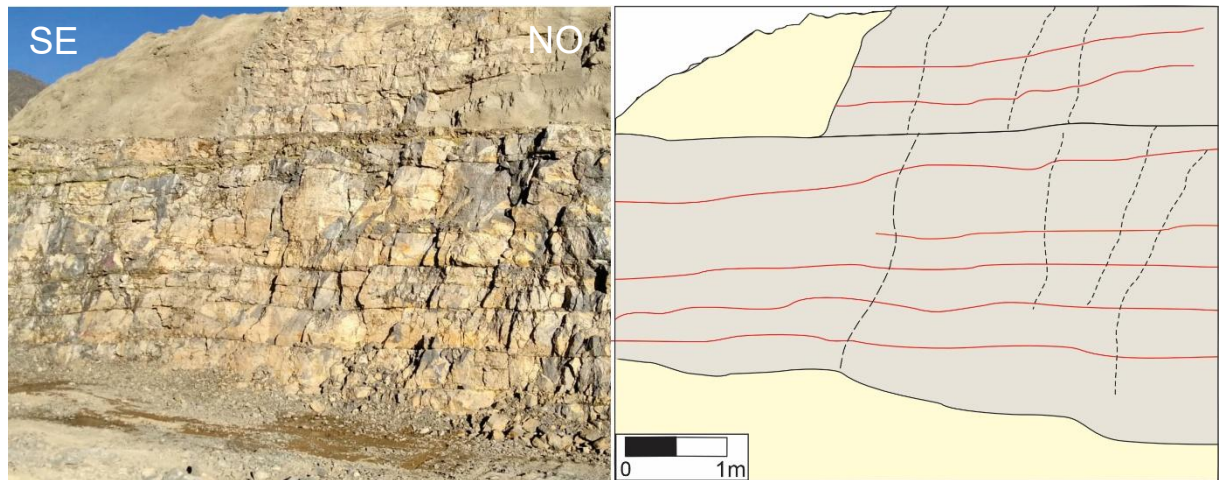


Figura 1.2: Imagen del talud del camino auxiliar al aliviadero, donde se indica con trazos rojo la separación de las discontinuidades horizontales (estratificación) y con líneas entrecortadas de color negro se indica las verticales (diaclasas), con color amarillo se indican las zonas tapadas.

Apertura de discontinuidades

Es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno, o este es blando y no favorece la estabilidad del macizo (Figura 1.3). La influencia en la resistencia de las discontinuidades es muy importante, al modificar las tensiones sobre las paredes. Los procesos de disolución o desplazamiento pueden dar lugar a aberturas importantes (Tabla 1.5).

APERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES	Cerrada	Muy juntas	Juntas	Abiertas	Amplia
	0.0mm	(0 - 0,1mm)	(0,1 - 1mm)	(1 - 5mm)	mayor a 5mm
VALUACIÓN	6	5	4	1	0

Tabla1.5: Clasificación en base a la separación entre los planos de discontinuidades y puntuación asociada a Bieniawski (1989).



Figura 1.3: En la imagen se indica planos de discontinuidad abiertas (indicadas con amarillo), observadas sobre el hastial derecho durante la excavación de la galería de acceso a pozo de compuertas.

Persistencia o Continuidad

La persistencia o continuidad de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento (González de Vallejos 2002).

La persistencia o continuidad puede ser cuantificada como muy alta (longitud mayor a 20 m) a muy baja (longitud menor a 1 m) (Tabla 1.6), observando la longitud de las trazas de las discontinuidades en la superficie expuestas (Figura 1.4 y Figura 1.5).

PERSISTENCIA O CONTINUIDAD		Muy alta	Alta	Mediana	Baja	Muy baja
		Mayor a (> 20m)	10- 20m	3 - 10m	1 - 3m	Menor a (< 1m)
VALUACIÓN	Túneles	0	1	2	4	6

Tabla 1.6: Clasificación a partir de las longitudes de las discontinuidades y su puntuación de acuerdo a Bieniawski (1989).

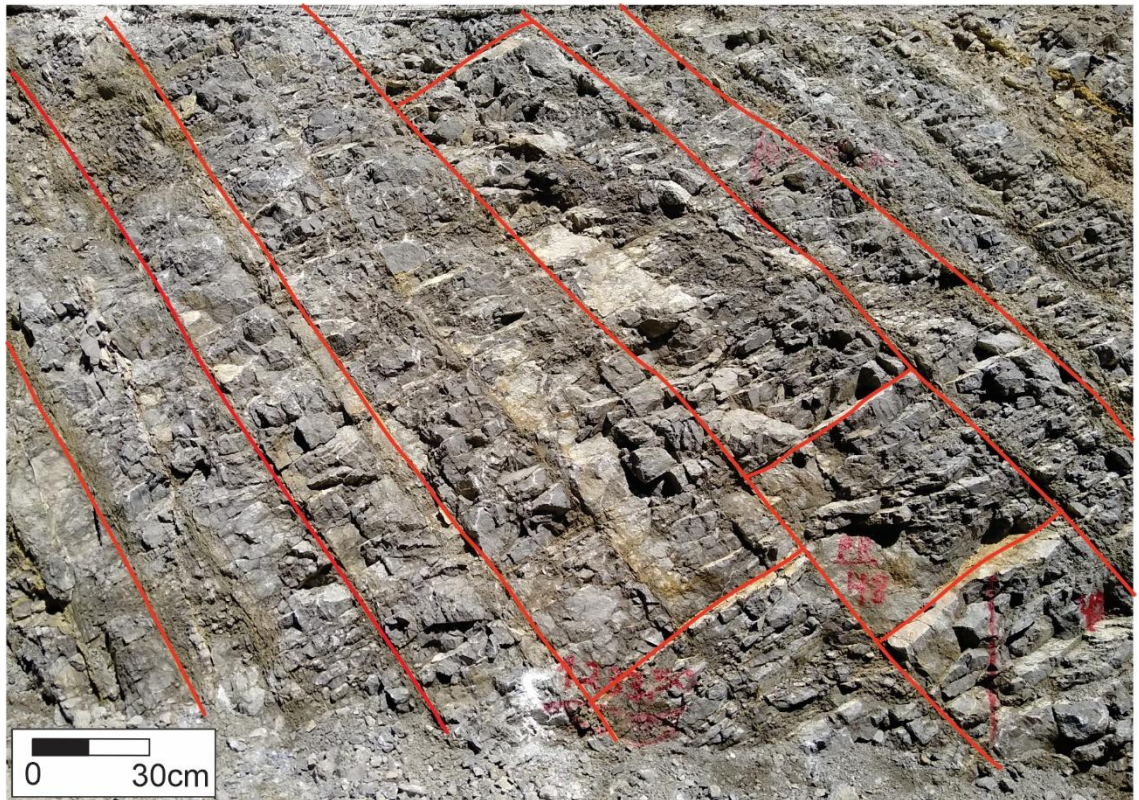


Figura1.4: Talud en la zona del Aliviadero en la cota 1233 m., donde se indican con rojo las líneas de persistencia de las discontinuidades principales.

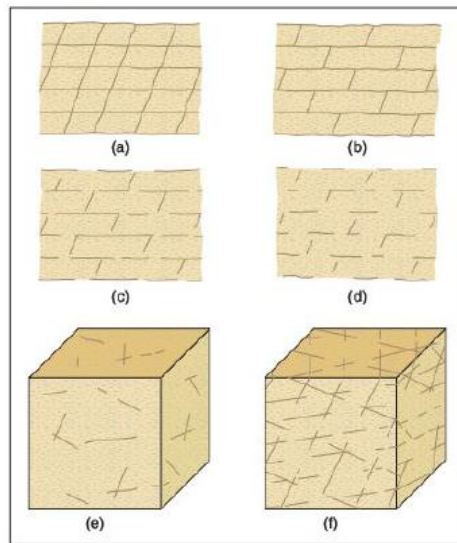


Figura 1.5: Diagramas mostrando los diferentes modelos de persistencia de varias familias de discontinuidades. Donde (a – b) son persistente, (c-d) subpersistente, (e-f) no persistentes. (Tomado de González de Vallejo 2002).

Rugosidad

Se define la rugosidad como las irregularidades de la superficie de la discontinuidad al tacto. Se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de la superficie de la discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades (Figura 1.6).

Cuanto menor sea la rugosidad, la roca será menos competente y cuanto mayor sea, la roca será más competente. Este parámetro puede oscilar entre 0 (rugosidad nula) y 6 (superficies muy rugosas) (Tabla 1.7).

RUGOSIDAD	Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable
	Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Suave	Espejo falla
VALUACIÓN	6	5	3	1	0

Tabla 1.7: Clasificación en base de las irregularidades en la superficie al tacto.

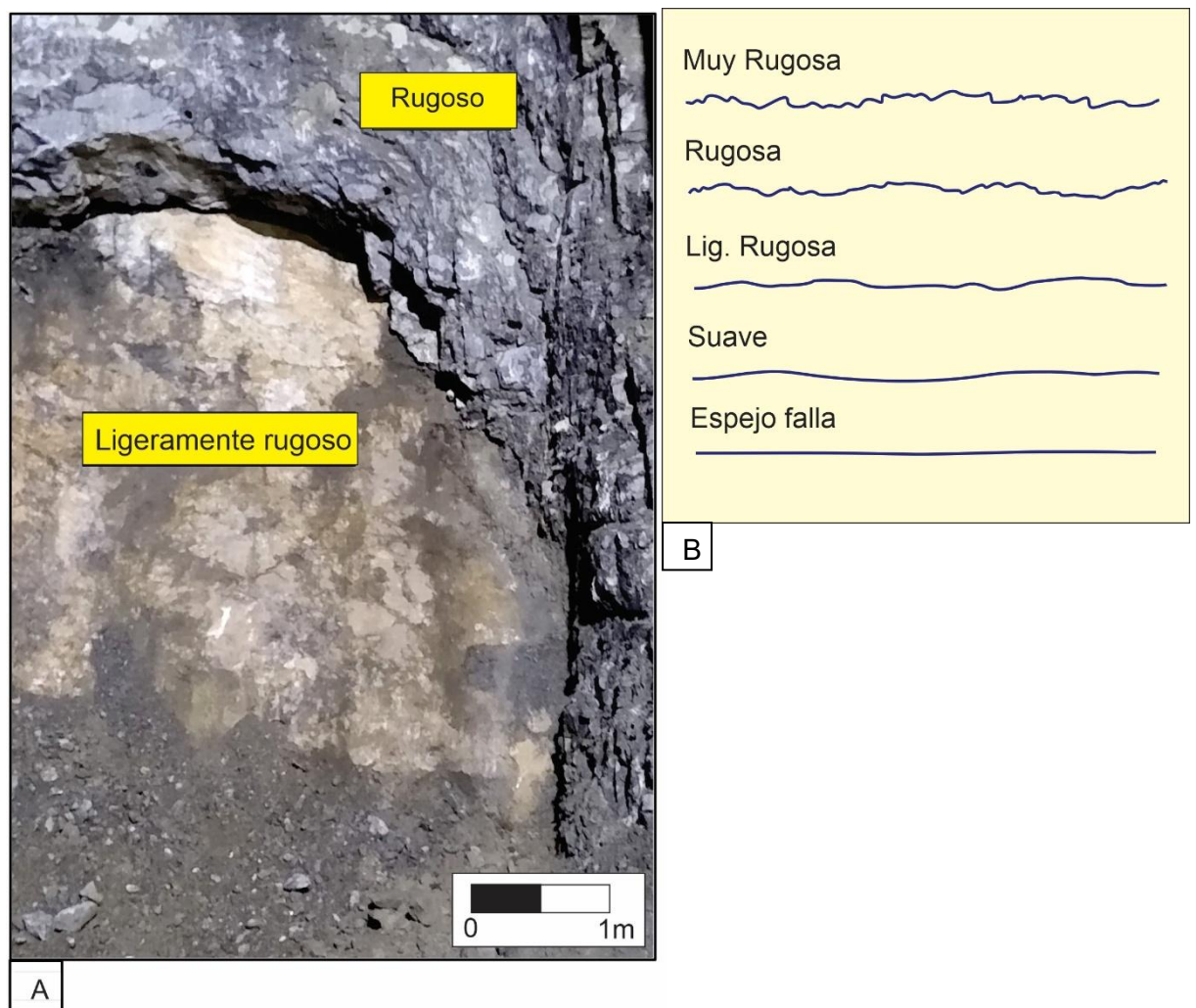


Figura 1.6: En (A) se observa el frente del túnel de excavación en el túnel de acceso a pozo de compuertas, en el frente de excavación, (B) Perfiles de rugosidad. La longitud de los perfiles está en el rango entre 1 y 10 metros (ISRM 1981) (Modificado de González de Vallejo 2002).

Relleno

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes (Figura 1.7). Existen gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables. Se tiene en cuenta si los materiales de relleno son blandos (Tabla 1.8) o están alterados dado que, estos podrían sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a corto plazo, bajo el supuesto de un cambio en el contenido de humedad o si son sometidos a algún movimiento a lo largo del plano de discontinuidad.

RELLENO	Muy Favorable	Duro menor a 5mm	Duro mayor a 5mm	Blando menor a 5mm	Muy desfavorable
	Sin relleno				Blando mayor a 5mm
VALUACIÓN	6	5	3	1	0

Tabla 1.8: Clasificación a partir de los rellenos entre las discontinuidades.

Alteraciones

Son aquellas modificaciones de las características del macizo, en su composición o en sus propiedades, se producen por: las aberturas de las discontinuidades naturales, la formación de nuevas discontinuidades por la ruptura de la roca y la abertura a lo largo de las imperfecciones en los granos o minerales que constituyen al macizo, siendo distinguible por la decoloración superficial de los afloramientos (Figura 1.7).

El grado de alteración puede ser clasificado en función a las observaciones del grado de desintegración o descomposición en los bloques de roca, así como la decoloración observada en las superficies de las discontinuidades.

ALTERACIÓN	Muy Favorable	Ligeramente alterada	Moderada alteración	Muy alterada	Muy desfavorable
	No alterada				Descompuesta
VALUACIÓN	6	5	3	1	0

Tabla 1.9: Clasificación teniendo en cuenta el nivel de alteración del macizo.



Figura 1.7: imagen del talud del plinto sobre la cota 1140m en el margen derecho, donde se observan estructuras de fallamiento inverso (líneas rojas) rellenas de arcillas, las cuales producen alteración rica en óxidos de manganeso y hierro.

Aguas Subterránea. Presencia de Agua – Condiciones Hidrogeológicas

Este índice, considera las filtraciones de agua en el macizo, el flujo de agua y la humedad presente en las discontinuidades. La puntuación alcanza un valor máximo de 15 para un macizo rocoso seco y un valor mínimo de 0 (Tabla 1.10), cuando el agua está fluyendo entre las juntas con un caudal superior a 125 l/min o la relación presión de agua/tensión principal mayor es superior a 0,5 (Figura 1.8).

AGUA SUBTERRANEA	Infiltración en 10 m de túnel (ls/min)		Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
	Relación	Presión del agua en la fisura	cero	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
		Esfuerzo mayor ó principal					
	Situación general		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando gota a gota	Descarga continua
VALUACIÓN			15	10	7	4	0

Tabla 1.10: Clasificación a partir de las filtraciones de agua.



Figura 1.8: Imagen de la excavación de la galería de acceso de bifurcador, donde se observa la filtración de aguas subterráneas en la zona del piso, la altura media del túnel es de 5.78 metros.

Orientación de las Discontinuidades

La orientación de las discontinuidades con respecto al eje de la obra y su dirección de excavación, es un factor de suma importancia para determinar el sostenimiento necesario para la estabilidad del macizo. En la (Tabla 1.11), se presentan los índices de corrección a tener en cuenta cuando la orientación de las discontinuidades sea favorable o desfavorable (Figura 1.9).

ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable
VALUACIÓN	Túneles	0	-2	-5	-10	-12

Tabla 1.11: Clasificación del macizo a partir de la orientación de las discontinuidades.

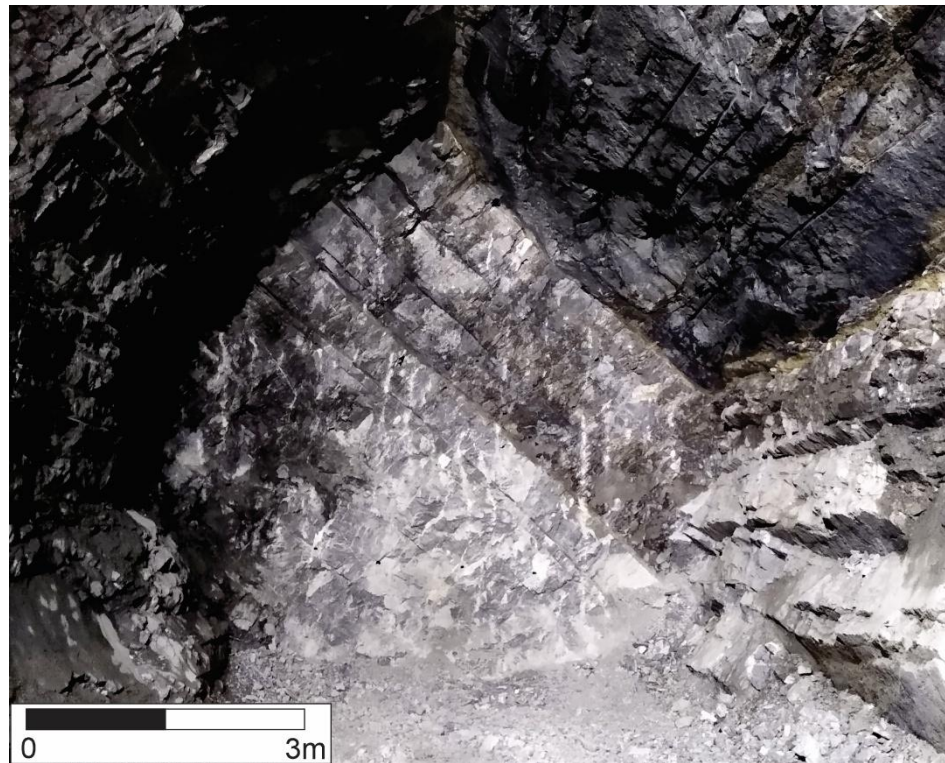


Figura 1.9: Frente de excavación túnel de conducción, en donde se observaron los planos de estratificación paralelos al avance con un buzamiento promedio de 56° en dirección al SE.

Otro método utilizado para clasificar el macizo rocoso, que permite determinar los posibles tipos de sostenimiento a emplear en las excavaciones de las galerías y túneles, es el índice de calidad de Barton, también conocido como Q (*Quality*) de Barton (1993) (Figura.1.10).

Este sistema ha sido propuesto por el Instituto Geotécnico de Noruega, el cual indica la calidad del macizo, basado en la observación de cientos de casos típicos de estabilidad de excavaciones subterráneas.

Para obtener el valor numérico de este se plantea la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} + \frac{J_r}{J_a} + \frac{J_w}{SRF} \quad [1]$$

El índice Q varía entre 0,001 y 1000 clasificándose el macizo rocoso como:

- 0,00 y 0,01: Roca excepcionalmente mala
- 0,01 y 0,1: Roca extremadamente mala
- 0,1 y 1: Roca muy mala
- 1 y 4: Roca mala
- 4 y 10: Roca media
- 10 y 40: Roca buena
- 40 y 100: Roca muy buena
- 100 y 400: Roca extremadamente buena
- 400 y 1.000: Roca excepcionalmente buena

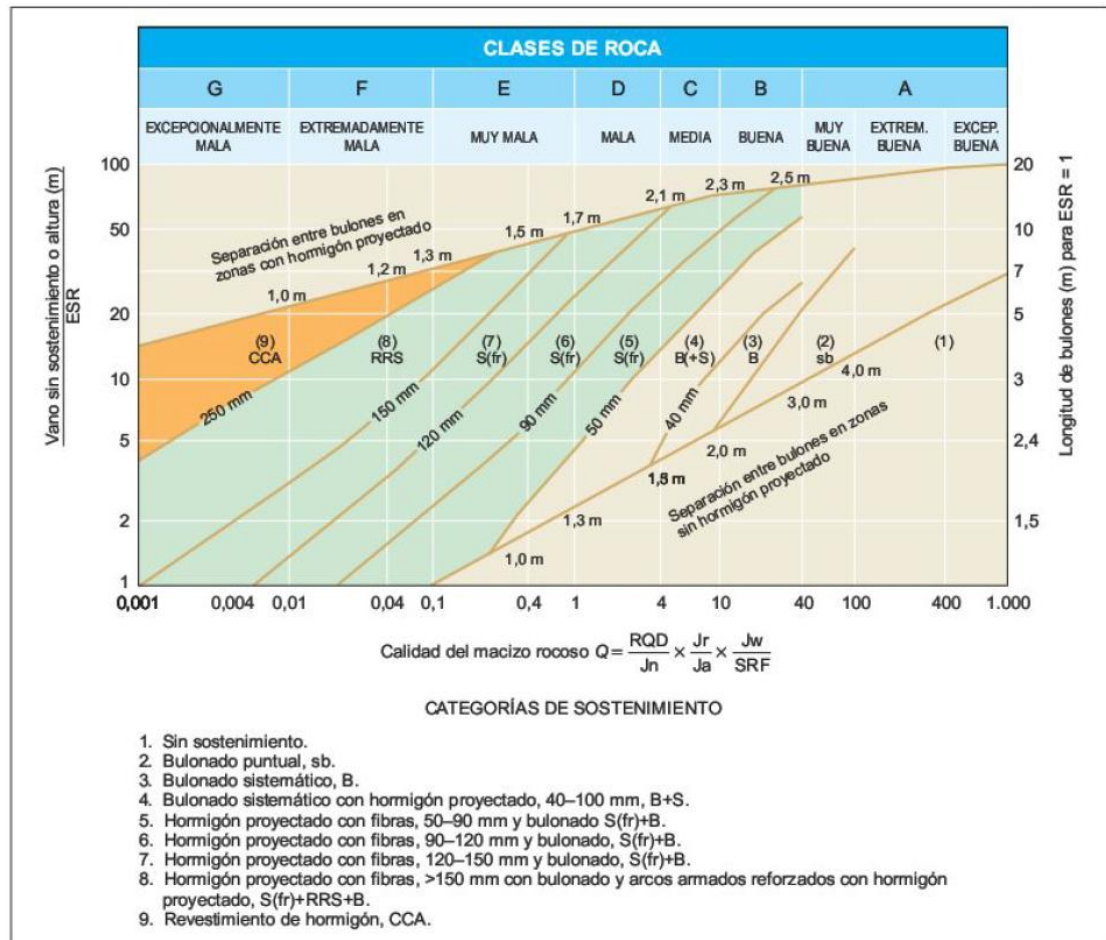


Figura 1.10: Sostenimiento a partir del índice Q (Barton 2000) (Fuente González de Vallejo 2002).

Donde:

RQD: representa una medida del fracturamiento de la roca propuesta por Deere *et al.* (1967). Se expresa en porcentaje (Tabla 1.12) y los valores inferiores al 25% indican un macizo muy fracturado y de muy mala calidad, mientras que, los valores de RQD superiores al 90% indican un macizo rocoso nada o muy poco fracturado y por lo tanto de excelente calidad.

INDICE DE CALIDAD DE ROCA	RQD	NOTAS
a) Muy Mala	0 - 25	1 - Cuando el valor RQD es menor a 10 (inclusive cero) se le otorga un valor nominal de 10. 2 - Intervalos de 5 son suficientemente precisos.
b) Mala	25 - 50	
c) Regular	50 - 75	
d) Buena	75 - 90	
e) Excelente	90 - 100	

Tabla 1.12: Clasificación a partir del RQD.

Jn: representa el índice numérico del sistema de fisuras o diaclasas.

De forma similar al RQD, el Jn indica el grado de fracturación del macizo rocoso. Los valores de 0,5 indican rocas masivas no diaclasadas, mientras que un valor de 20 corresponde a rocas trituradas con valores intermedios que describen la presencia de uno, dos, tres y cuatro sistemas de fracturas (Tabla 1.13).

SISTEMAS DE FISURAS	Jn	NOTAS
a) Masivo, sin o con pocas fisuras	0 a 25	1- Para cruces con túneles utilizar 3 x Jn. 2 - Para portales utilizar 2 x Jn.
b) Un sistema de fisuras	2	
c) Un sistema de fisuras + una aislada	3	
d) Dos sistemas de fisuras	4	
e) Dos sistemas de fisuras + una aislada	6	
f) Tres sistemas de fisuras	9	
g) Tres sistemas de fisuras + una aislada	12	
h) Cuatro o más sistemas de fisuras, fisuración intensa, etc	15	
i) Roca triturada, terrosa.	20	

Tabla 1.13: Clasificación a partir del número de discontinuidades observadas.

Jr: representa el índice numérico que expresa el grado de rugosidad de las fisuras (Tabla 1.14).

Este índice contempla nueve categorías desde (a) a la (i) diferenciadas en tres grupos: A- diaclasas donde las paredes hacia ambos lados de la fractura están en contacto; B- diaclasas cuyas caras están en contacto ante un desplazamiento inferior a 10 cm y C- diaclasas que no estarán en contacto ante desplazamientos cortantes.

RUGOSIDAD DE LAS FISURAS	Jr	NOTAS
A) Contacto de las paredes		1 - Añada 1 si el espaciamiento medio del sistema de juntas es mayor de 3 m. 2 - Jr = 0,5 se puede utilizar para fisuras de fricción planas y que tengan alineaciones con la condición de que éstas esten orientadas para resistencia mínima.
B) Contacto de las paredes antes de un cizalleo de 10 cm		
a) Fisuras sin continuidad	4	
b) Rugosas o irregulares, corrugadas	3	
c) Suaves, corrugación suave	2	
d) Reliz de falla, o superficie de fricción ondulación	1,5	
e) Rugosas o irregulares pero planas	1,5	
f) Lisas y planas	1	
g) Reliz de falla o superficie de fricción, plano	0,5	
C) Sin contacto de roca después de un cizalleo de 10 cm		
h) Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes	1	
i) Zona arenosa, de grava o roca triturada de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes	1	

Tabla 1.14: Clasificación en base a la rugosidad entre las paredes de las juntas.

Ja: representa el índice numérico que expresa el grado de alteración de las fisuras.

Se distinguen tres grupos dependiendo de si están o no en contacto los planos de discontinuidad (Tabla 1.15):

A) Contacto directo entre las caras de la junta.

B) Contacto en las paredes antes de un desplazamiento de cizalla de 10 cm.

C) Sin contacto de las paredes después del cizalleo.

Dentro de cada grupo hay varios campos en función del grado de alteración y la presencia de minerales arcillosos, cuyos valores extremos oscilan entre 0,75 para las discontinuidades cerradas, duras, sin reblandecimiento e impermeable, (Por ejemplo: rellenas de cuarzo) y un índice de 20 para las discontinuidades abiertas con rellenos arcillosos gruesos.

ALTERACION DE LAS JUNTAS	Ja	Φ_r (aprox.)	NOTAS
A) Contacto directo entre las caras de la junta			1 - Los valores de Φ_r (ángulo de fricción residual) se indican como fuía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de alteración, si es que están presentes.
a) Relleno soldado, duro, inablandable, impermeable	0,75		
b) Paredes inalteradas, sólo con manchas de superficie	1	25° - 35°	
c) Paredes ligeramente alteradas, con recubrimiento de minerales	2	25° - 30°	
d) Recubrimientos limosos o arenos arcillosos, pequeñas partículas de arcilla inablandable	3	20° - 25°	
e) Recubrimientos ablandables o con arcilla de baja fricción o sea	4	8° - 16°	
B) Contacto en las paredes antes de un cizalleo de 10 cm			
f) Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla, etc.	4	25° - 30°	
g) Rellenos de minerales arcillosos muy consolidados e inablandables (continuos < 5 mm de espesor)	6	16° - 24°	
h) Rellenos de minerales arcillosos de consolidación media o baja (continuos < 5 mm de espesor)	8	8° - 16°	
i) Rellenos de arcillas expansivas, o sea montmorillonita	8 - 12	6° - 12°	
C) Sin contacto de las paredes después del cizalleo			
j) Zonas o capas de roca y arcilla desintegrada	6		
k) o triturada (véase g, h e i para	8		
l) condiciones de arcilla)	8 - 12	6° - 24°	
m) Zonas o capas de arcilla limos o arenosa, pequeñas fracciones de arcilla (inablandable)	5		
n) Zonas o capas gruesas de arcilla (véase g, h e i para	10 - 13		
p) las condiciones de arcilla)	13 - 20	6° - 24°	

Tabla 1.15: Clasificación a partir del grado de alteración entre las juntas.

Jw: este índice representa la reducción de la resistencia del macizo debido a la presencia de agua en las fisuras.

Este coeficiente disminuye el índice Q en función de la entrada de agua a la excavación. Alcanza un valor máximo de 1,0 para excavaciones secas o pequeñas surgencias y un valor mínimo de 0,05 para fluencias excepcionalmente altas o de presión elevada de carácter persistente (>10 kg/cm²) (Tabla 1.16).

FACTOR DE REDUCCION POR AGUA EN LAS FISURAS	Jw	Presión (kg/cm ²)	NOTAS
a) Excavación seca o poca infiltración, o sea < 5 l/min localmente	1	< 1	1 - Los factores c a f son estimaciones aproximadas. Aumenta Jw si se instalan drenes. 2 - Los problemas especiales por la presencia de hielo no se toman en cuenta.
b) Infiltración o presión mediana con lavado ocasional de los rellenos	0,66	1 - 2,5	
c) Gran infiltración o presión alta en roca competente con juntas sin relleno	0,5	2,5 - 10	
d) Gran infiltración a presión alta, lavado importante de los rellenos	0,33	2,5 - 10	
e) Infiltración o presión excepcionalmente altas con las voladuras, disminuyendo con el tiempo	0,2 - 0,1	> 10	
f) Infiltración o presión excepcionalmente altas en todo momento	0,1 - 0,05	> 10	

Tabla 1.16: Clasificación a partir de la presencia de agua entre las juntas.

SRF: Este índice representa el factor de reducción por esfuerzos, *Stress Reduction Factor*. Es un factor que evalúa el estado tensional del macizo rocoso. El valor oscila entre 0,5 y 400 (Tabla 1.17).

Se distinguen 4 grupos para evaluar el coeficiente SRF:

- Zonas de debilidad que intersectan a la excavación y que pueden ser la causa de que el macizo se desestabilice cuando se construye el túnel.
- Rocas competentes, problemas de esfuerzos.
- Rocas compresivas, flujo plástico de roca incompetente bajo influencia de altas presiones litostáticas
- Rocas expansivas, acción química expansiva dependiendo de la presencia de agua.

FACTOR DE REDUCCION DE ESFUERZOS			SRF	NOTAS
A) Zonas de debilidad que intersectan la excavación y que pueden ser la causa de que el macizo se desestabilice cuando se construye el túnel				1 - Redúzcanse estos valores SRF de 25-50% si las zonas de fractura sólo interesan pero no cruzan la excavación. 2 - Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópico (si se mide): cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, redúzcase σ_c y σ_t a 0,8 cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, redúzcase σ_c y σ_t a 0,6. Donde σ_c es una fuerza compresiva no confinada, σ_t fuerza de tensión (carga de punta) y σ_1 y σ_3 son la fuerzas mayores y menores principales. 3 - Hay pocos casos reportados donde el techo abajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2,5 a 5 para estos casos (ver h).
a) Múltiples zonas de debilidad que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy suelta (cualquier profundidad)			10	
b) Zonas de debilidad aislada que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación < 50 m)			5	
c) Zonas de debilidad aislada que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación > 50 m)			2,5	
d) Múltiples zonas de fracturas en roca competente (sin arcilla), roca circundante suelta (cualquier profundidad)			7,5	
e) Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), profundidad de la excavación < 50 m			5	
f) Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), profundidad de la excavación > 50 m			2,5	
g) Fisuras abiertas sueltas, fisuración intensa (cualquier profundidad)			5	
B) Roca competente, problemas de esfuerzos				
	σ_c/σ	σ_t/σ_1		
h) Esfuerzo bajo, cerca de la superficie	> 200	> 13	2,5	
i) Esfuerzo mediano	200 - 10	13 - 0,6	1	
j) Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (generalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de las tablas)	10 - 5	0,66 - 0,33	0,5 - 2	
k) Desprendimiento moderado de la roca (roca masiva)	5 - 2,5	0,33 - 0,16	5 - 10	
l) Desprendimiento intenso de la roca	< 2,5	< 0,16	< 5	

Tabla 1.17: Descripción a partir de las zonas de debilidades del macizo.

- A partir de los análisis geotécnico y geológico realizados en la zona del aliviadero, se definieron los diferentes tipos de sostenimientos aprobados para la obra (Figura 1.11 y Figura 1.12), los cuales son:
 1. Hormigón proyectado con fibra metálica (acero), una técnica constructiva que se utiliza para cubrir y fortalecer el sostenimiento de paredes de túneles y taludes, ofreciendo una mayor resistencia a las variaciones térmicas, tenacidad e impermeabilidad.
 2. Hormigón proyectado sin fibras metálicas reforzado con mallas electrosoldada, en zonas específicas donde el macizo rocoso es de mala calidad.
 3. Anclajes con distribución en tresbolillos (forma de malla en triangular equiláteros para distribuir la carga de manera uniforme), para prevenir deslizamientos, el cual cambia la distancia de separación entre ellos, dependiendo de las cotas del talud.
 4. Drenes, es una técnica de estabilización de taludes que utiliza tuberías ranuradas insertadas sobre el macizo rocoso, para extraer agua y reducir la presión de los poros. Esto ayuda a mejorar la estabilidad del talud al disminuir la presión hidrostática y aumentar la resistencia de la roca.

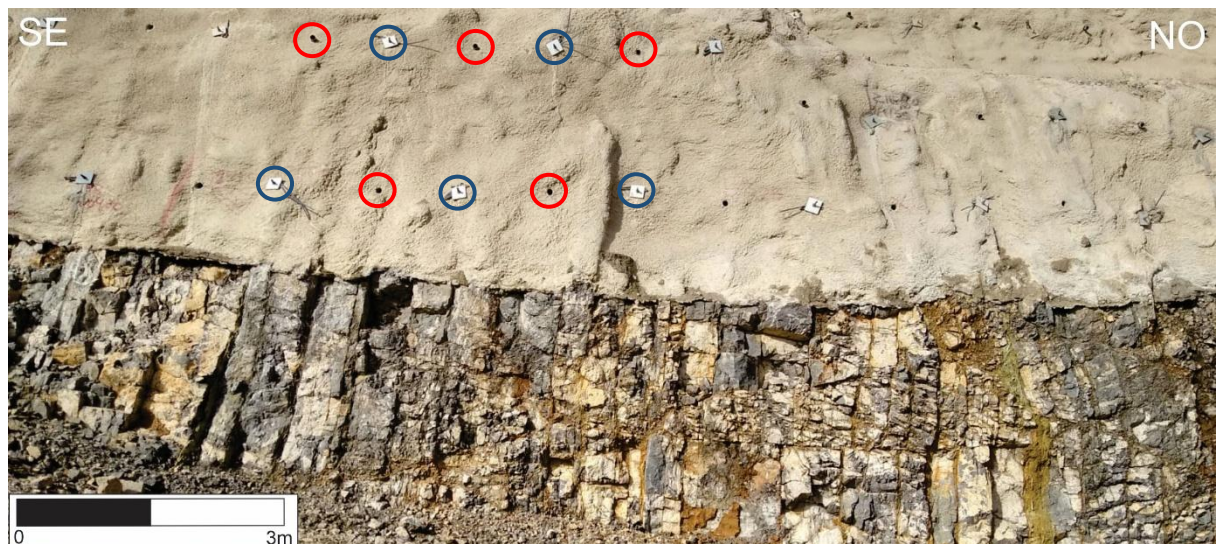


Figura 1.11: En la imagen se observa el talud en la zona del aliviadero, con hormigón proyectado con fibras y la distribución tresbolillos de los anclajes (círculo azul), la posición de los drenes (círculo rojo).

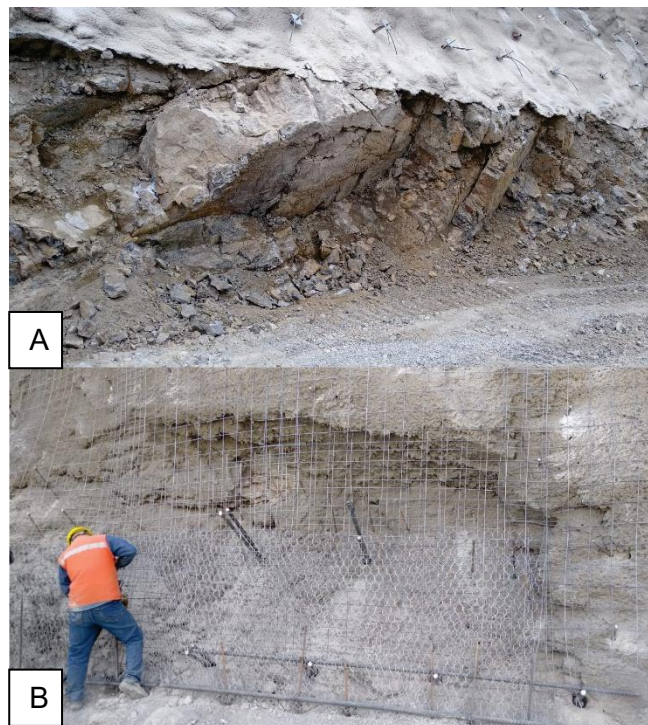


Figura 1.12: En (A), se observa que, debido a la disposición de los estratos y a la mala condición del macizo, este talud que se encuentra en el camino de acceso al aliviadero, tiene posibilidades de desprendimiento sobre la calzada. En (B), se observa que luego de un correcto saneo, se proyectó hormigón sin fibras y se coloca malla electrosoldada, fijándola a la pared a través de pernos.

II. DIQUE EL TAMBOLAR

El Dique El Tambolar formará parte de un sistema múltiple de aprovechamientos del río San Juan que permitirá incorporar 70 Megavatios (70 MW), al sistema eléctrico sanjuanino y nacional, como eslabón continuador del complejo Hidroenergético Los Caracoles, Punta Negra, Quebrada de Ullúm, y La Olla (Figura 2.1).

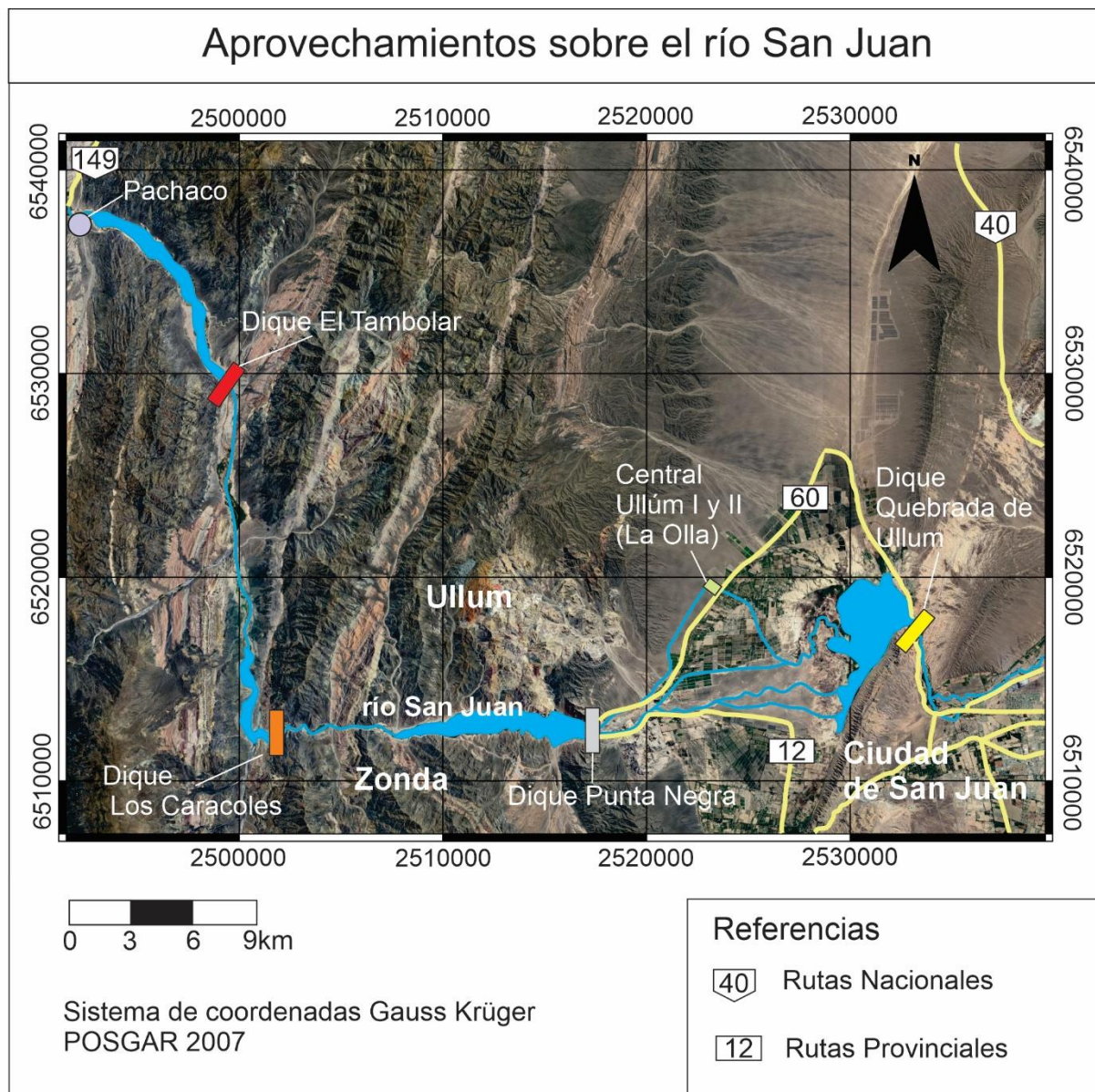


Figura 2.1: Ubicación del dique el Tambolar con respecto a los demás proyectos hidroeléctricos sobre el río San Juan.

El proyecto Tambolar aportará una producción de energía eléctrica limpia y renovable que ingresará al sistema interconectado provincial, permitiendo una mejor autonomía energética. Mejorará la regulación del río San Juan, disminuyendo los riesgos de sequías e inundaciones asociados a los cambios climáticos globales.

Permitirá ampliar la superficie bajo riego en los valles de Ullúm – Zonda y Tulum. Se ampliarán las superficies cultivada, además de optimizar la productividad de los terrenos en producción y su rendimiento, a través de su agua almacenada.

El proyecto consta de varias obras de ingeniería las cuales son:

Obras de contención

La obra es del tipo CFRD con cara de hormigón, cuyo diseño ha sido desarrollado tomando en cuenta la elevada sismicidad de la zona y las características de la cimentación. El cuerpo de la presa está constituido por rellenos naturales de arena y grava compactados protegidos por una pantalla impermeable de hormigón armado en la cara en contacto con el agua del embalse.

Tendrá las siguientes características:

Altura máxima de presa 83 metros.

Longitud de coronamiento: 450 metros.

Volumen de Relleno: 6.4 millones m³.

Volumen de Embalse: 605 Hm³.

Obras de desvío

Son aquellas obras que cumplirán la función de desviar el río San Juan mientras se construye el dique. Se realizará a partir de dos túneles independientes de sección portal 6,40 m x 6,80 m y 6,00 m x 6,00 m de diámetro con ingresos a distintas elevaciones. Una vez realizado el desvío del río, el túnel N°2 se adecuará para funcionar como descargador de fondo mediante la colocación de una bocatoma con entrada en la elevación 1148,00 m, en la zona de la colocación de las compuertas se recubrirá con acero y se reducirá su sección transversal para la colocación de dos compuertas de protección y dos compuertas radiales, en ambos casos con dimensiones de 1,80 m de ancho por 3,15 m de altura.

El descargador de fondo permite la descarga de los caudales requeridos por el riego, en caso de parada completa de la casa de máquinas, y de controlar eventuales depósitos de material sólido en la zona de obra de toma.

Las principales características de los túneles de desvío son las siguientes.

Longitud de los túneles de 455 m.

Caudal de Diseño: 670 m³/s (definido por un periodo de recurrencia de 25 años).

Caudal de Diseño del Descargador de fondo: 280 m³/s.

Obras de excedencias

Como órgano principal de evacuación de excedencias se ha proyectado un vertedero con canal lateral, ubicado en el morro de empotramiento de la presa en la margen derecha del embalse, inmediatamente aguas arriba de la presa. El vertedero está íntegramente apoyado en roca y está compuesto por la estructura de control cimacio con canal lateral, la rápida y la cubeta deflectora.

Las principales características son las siguientes:

Descarga libre mediante canal lateral en margen derecha del río.

Caudal de diseño: 3216 m³/s

Crecida máxima probable: 4600 m³/s

Elevación de la cresta: 1210,00 m

Longitud vertedero: 111,60 m

Estructura de descarga canal de ancho: 25 m

Estructura disipadora cubeta deflectora

Obras de conducción y generación

Las obras de conducción y generación se localizan en la margen derecha del río y están conformadas por las siguientes estructuras:

Obra de Toma y pozo de compuerta

La obra de toma capta el agua para conducirla por medio de la obra de aducción hacia la casa de máquinas. Dicha obra estará provista de rejillas para evitar la entrada de basura, cubriendo un área bruta de 194,04 m² y un área neta de 135,83 m².

En caso de emergencia, aguas abajo de la bocatoma se encuentra un pozo de compuertas donde operan dos compuertas planas con capacidad de cortar el flujo de agua.

Túnel de Conducción

La conducción consta de un túnel de sección circular de 5,50 m de diámetro y 2523,90 m de longitud con una pendiente de 0,008, excavado en roca, revestido con hormigón armado y de 0,50 m de espesor. El túnel de conducción termina en la reducción gradual blindada para cambio de sección y material (5,50 a 4,50 m) para la tubería a presión.

Chimenea de Equilibrio

La chimenea de equilibrio es una estructura complementaria que tiene como función absorber las sobrepresiones causadas por el golpe de ariete debido al repentino cierre de las compuertas de las turbinas. La misma consiste en un pozo cilíndrico de 15,00 m de diámetro, con un orificio (tubo elevador) que conecta al túnel de conducción con la base de la chimenea. Estará revestido de hormigón armado con un espesor de 0,50 m. ver figura chimenea de equilibrio.

Tubería a Presión

La tubería a presión conduce el agua desde la finalización del túnel de conducción en la zona de chimenea de equilibrio hasta la entrada de las turbinas. Esta tubería está conformada por un blindaje de acero que a su vez estará embebida de hormigón armado con 0,60 m de espesor y tiene 4,50 m de diámetro y 156,20 m de longitud.

Casa de Máquinas

La Casa de Máquinas está diseñada para albergar 2 turbinas tipo Francis de eje vertical con potencia nominal de 35 MW cada una, con sus generadores y todo el equipo auxiliar complementario para su funcionamiento. El salto neto de diseño es de 85 m y un caudal de diseño de 45,60 m³/s (Jofré 2021).

III. GEOLOGÍA

III.1 Geología General y Marco Tectónico

La zona de estudio se ubica en la provincia geológica de Precordillera. Esta unidad fue así denominada por Bodenbender (1902), quien realizó sus trabajos principalmente en las provincias de San Juan y Mendoza. En años posteriores, Stappenbeck (1910) y posteriormente Keidel (1921) realizaron los primeros estudios regionales, junto a un levantamiento regular de sus terrenos paleozoicos.

Geológicamente, la Precordillera se encuentra limitada al este y oeste por las provincias geológicas de Sierras Pampeanas y Cordillera Frontal, coincidiendo sus límites oriental y occidental con los valles longitudinales de los ríos Bermejo y Rodeo-Calingasta-Uspallata, respectivamente (Figura.3.1). El límite norte de la Precordillera se extiende hasta la latitud del cerro Bonete en la provincia de La Rioja, mientras que, hacia el sur, sus afloramientos se observan hasta la latitud del río Mendoza, en la provincia homónima (Furque y Cuerda 1979). Sobre la base de sus características estratigráficas y estructurales la provincia geológica de Precordillera ha sido subdividida, en tres unidades morfoestructurales (Figura 3.1.1): Precordillera Oriental (Ortiz y Zambrano 1981), Precordillera Central (Baldis y Chebli 1969) y Precordillera Occidental (Baldis *et al.* 1982). Recientemente, Cortés *et al.* (2005), segregan los afloramientos al sur del lineamiento Barreal-Las Peñas bajo la denominación de Precordillera Sur.

La estructura de la Precordillera es conocida desde los tiempos de Braccacini (1946 y 1950) y Heim (1952), se caracteriza por el desarrollo de un estilo de deformación típico de fajas plegadas y corridas (Baldis y Chebli 1969, Ramos 1999b) que acomoda un acortamiento de 136 km, lo cual representa el 57% del mismo (Cristallini y Ramos 2002). Un acortamiento de magnitud similar fue calculado previamente por von Gosen (1992) a través de una sección este-oeste de la Precordillera a la latitud del río San Juan.

En este sentido, una de las primeras síntesis sobre las características generales de esta provincia geológica, se reúnen en Baldis y Chebli (1969). Según estos autores la Precordillera presenta el desarrollo de fracturas de arrumbamiento predominantemente norte-sur (Figura 3.1.1), de gran extensión (entre 50 y 200 Km). La ubicación del nivel de despegue en las calizas de la Formación San Juan, estaría condicionado por las características mecánicas de las rocas carbonáticas, en conjunto con la pendiente regional del basamento hacia el oeste (Baldis y Chebli (1969).

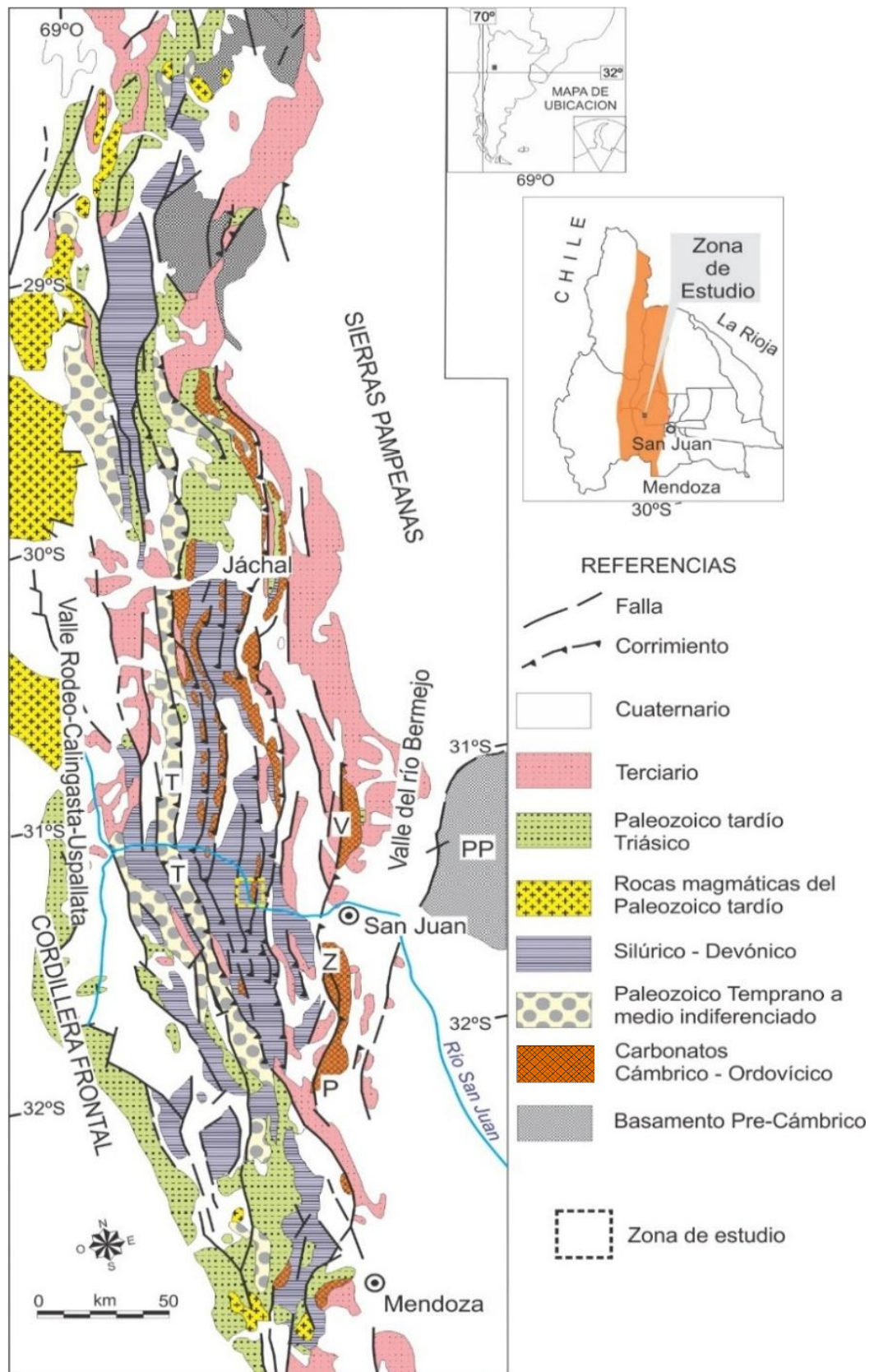


Figura 3.1: Ubicación de la provincia geológica Precordillera en el contexto regional (Modificado de Baldi *et al.* 1982, Baldi y Chebli 1969, Ortiz y Zambrano 1981). Estructura y distribución de las principales unidades estratigráficas de Precordillera. Sierras Tigre-Tontal (T), Villicum (V), Zonda (Z), Pedernal (P) y Pie de Palo (PP), Tomado de Ariza (2016).

Dentro de Precordillera, el área donde se emplaza la obra del Dique El Tambolar pertenece a Precordillera Central, la cual comparte el estilo estructural de las fajas plegadas y corridas, con la Precordillera Occidental (Figura 3.2).

En ambos casos la estructura está representada por volúmenes kilométricos de roca limitados en la parte inferior por fallas inversas de bajo ángulo, un rechazo de gran magnitud y cuya traza en superficie supera en la mayoría de los casos el centenar de kilómetros. Este concepto es lo que Boyer y Elliott (1982) denominan como “*láminas de corrimiento*”.

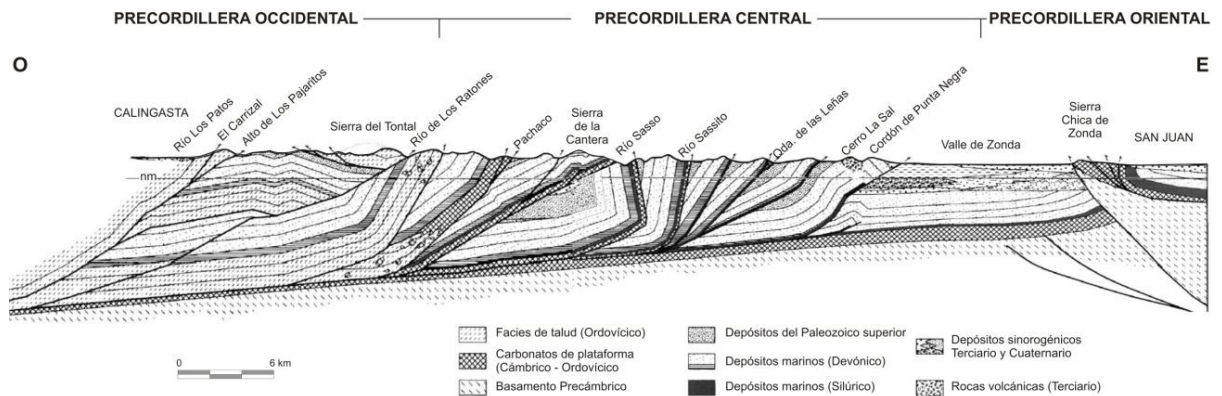


Figura 3.2: Sección estructural de la Precordillera al largo del río San Juan (modificado de Cristallini y Ramos 2000).

III.2 Geología Local

El área de estudio se caracteriza por depósitos de plataforma carbonática ordovícica inferior Formación San Juan (Beresi 1980, y Furque y Caballé 1988). En discordancia angular leve se apoyan depósitos pelíticos del Silúrico superior Formación Tambolar (Heim 1952). Sobre esta, los depósitos marinos turbidíticos corresponden a una cuenca de antepaís del Devónico medio Formación Punta Negra (Baldis 1973). Las rocas del Neógeno de la Formación Pachaco (Milana *et al.* 1993), afloran en la localidad homónima, y se disponen en discordancia angular sobre rocas del Paleozoico, también fueron involucradas en el plegamiento y cabalgamiento de la Precordillera (Baldis y Chebli 1969, Ortiz y Zambrano 1981) (Figura 3.3).

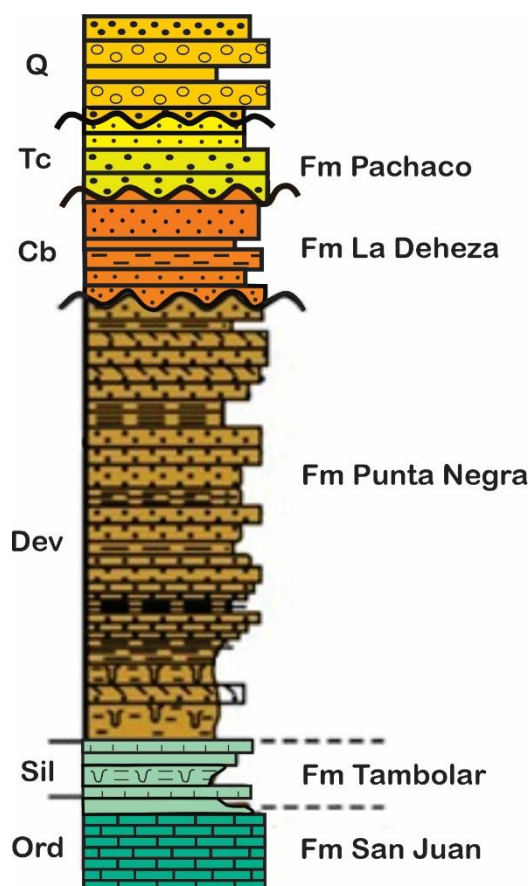


Figura 3.3: Esquema estratigráfico de Precordillera Central en el área de estudio. Se observa la relación de contacto entre las principales unidades litoestratigráficas que la integran (modificado de Peralta 2003).

III.2.1. Estratigrafía

Ordovícico

Formación San Juan

Esta unidad calcárea fue definida por (Kobayashi 1937), y luego redefinidas por Furque (1958). Los afloramientos en la zona de estudio, fueron reconocidos y descriptos por Beresi (1980) y Furque y Caballé (1988), su contenido paleontológico fue estudiado por Serpagli (1974), Beresi (1986) y Gnoli y Serpagli (1980, en Beresi 2007).

A partir de los datos del registro bioestratigráficos (Albanesi *et al.* 1998; Benedetto 1998; entre otros) y el contenido paleontológico, esta unidad es asignada al Tremadociano superior Llanvirniano inferior (Serpagli 1974; Keller *et al.* 1994; entre otros).

En Precordillera Central, las calizas de la Formación San Juan conforman escamas tectónicas elongadas, con dirección Norte – Sur que atraviesan la quebrada del Palque y el río San Juan. Esta unidad está conformada por calizas compactas, margas y dolomitas de color gris claros a oscuros, las cuales se encuentran bien estratificadas en general. Beresi y Bordonaro (1984) agruparon a las calizas de la Formación San Juan en tres miembros: el miembro inferior de

calizas macizas, miembro medio calizas lajosas y miembro superior de calizas y margas varicolores

Además, se presentan diaclasadas y fracturadas, se distinguen también esferulitas y oolitas radiales, además de pequeñas venillas de calcita (Bertoni y Gaido 2005).

Estas calizas se relacionan con un ambiente de plataforma marina abierta. El estudio de sus biofacies permite determinar que la sedimentación tuvo lugar en regiones de características tropicales a subtropicales con escasos e inexistentes aportes terrígenos y de elevadas temperaturas (Carrera 1997 y 2001)

La base de la unidad es de naturaleza tectónica, encontrándose en contacto por falla con depósitos paleozoicos de las Formaciones Punta Negra y La Deheza. Está en contacto por discordancia angular y erosiva con las pelitas Silúricas de la Formación Tambolar y por las sedimentitas Devónicas de la Formación Punta Negra (Grupo Gualilán).

Silúrico

Formación Tambolar

En la zona del Tambolar, aflorante sobre el río San Juan, constituye la localidad tipo de los depósitos silúricos expuestos en Precordillera Central, por lo cual Heim (1952), definió a esta unidad con dicho nombre. Sus características litoestratigráficas son similares a las de su equivalente lateral grupo Tucunuco.

Se presenta en delgadas fajas a lo largo de la sierra con orientación Norte – Sur, cerca del contacto por discordancia angular de bajo ángulo con la Formación San Juan se encuentra muy deformado con pequeños pliegues y fallas.

Peralta y Carter (1990) y León (2004), describieron con detalle a la unidad la cual consiste en pelitas verdes y en menor medida moradas, que se intercalan con vaques verdosas con niveles bioclásticos y abundantes trazas fósiles. Por encima predominan las areniscas cuarzosas finas a medianas con intercalaciones de pelitas verdes amarillentas. Estos bancos de psamitas son en general más espesos y extensos lateralmente, con base plana y techo ondulado.

El ambiente depositacional sedimentario es de tipo marino con base en las características estratigráficas, paleoicnológicas y estructuras sedimentarias León (2004), en términos basales se depositaron en un ambiente profundo que fueron somerizados en forma gradual. Dicha somerización se produjo desde el shoreface inferior-medio al shoreface superior en el área de Tambolar, en los afloramientos de la zona de Pachaco desde el offshore inferior al offshore superior, que indicaría de acuerdo a Peralta y León (1993), una posición de plataforma distal respecto a los afloramientos equivalentes de Tambolar.

Su edad es Silúrica, ya que en su localidad tipo la sección inferior porta palinomorfos que indican una edad Llandoveryana tardía a Wenlockiana temprana (Peralta *et al.* 2003), mientras que los niveles superiores pueden ser referidos al Llandoveryano tardío – Pridoliano (Benedetto y Franciosi 1998), sin embargo, el hallazgo y el estudio de conodontes sugiere una edad Pridoliana temprana para el nivel superior de la Formación Tambolar (Mestre 2009).

Devónico

Formación Punta Negra

Fue descripta por Baldi (1973), quien observó las variaciones de facies a lo largo de la Precordillera y por González Bonorino (1975 y 1976), a partir del levantamiento de varios perfiles a lo largo del río San Juan.

Las asociaciones palinológicas estudiadas por Rubinstein (1999) en la quebrada de Talacasto fueron asignadas al lapso Eifeliano a Givetiano (Devónico medio).

En la zona de estudio la unidad se encuentra por debajo de la discordancia que la separa del Carbonífero, por lo cual se la sitúa en un intervalo entre el Devónico inferior alto a superior bajo.

La litología está caracterizada por grauvacas de color verde, bien consolidada y maciza que alternan con lutitas gises oscuras y ocasionalmente paraconglomerados verde oliva con matriz arenosa maciza González Bonorino (1975).

Basilici *et al.* (2012), interpreta que el ambiente deposicional como una sucesión sedimentaria de prodelta dominada por tormentas en una plataforma interna, donde los sedimentos fueron depositados por flujos hiperpícnicos.

Carbonífero

Formación La Deheza

Estos afloramientos, fueron definidos por Furque (1973), los cuales se ubican al noreste del cerro el Tambolar en el margen izquierdo del río San Juan, formando una faja alargada que se extiende de Norte a Sur. Se dispone en discordancia angular con la Formación Punta Negra, se presenta en relación de falla con las calizas de la Formación San Juan y las epiclásticas devónicas de la Formación Punta Negra.

A partir de su litofacies, ubicación estratigráfica, así como relaciones dentro del marco geológico regional (Cuerda y Furque 1983; Ramos y Vujovich 2000) se le asigna al Carbonífero temprano alto (Mississippiano superior) a Carbonífero tardío (Pennsylvaniano). Está compuesta por una sucesión de psamitas y pelitas de coloraciones claras, con intercalaciones de pelitas carbonosas y carbón, así como lentes de conglomerados.

La secuencia es granodecreciente que comienza, con psefitas finas que gradan a psamitas y luego a pelitas carbonosas, a veces paleosuelos portadores de restos de *Paracalamites sp.* Por encima se disponen dos unidades rítmicas, separadas por contacto erosivo, integradas por areniscas subulíticas y areniscas gruesas cuarzosas, que pasan a areniscas finas micáceas y lutitas moradas.

El estudio efectuado por Cuerda y Furque (1983) determinó un ambiente lacustre para el intervalo inferior, con evidencia de procesos glaciares. Este medio evolucionó a un sistema fluvial meandroso, con facies de canal, barra en espolón, albardón y planicies de inundación con facies palustres, evidenciadas por la acumulación carbonosa y la presencia de tallos de *Paracalamites sp.*

Neógeno

Formación Pachaco

Es una secuencia neógena (Milana *et al.* 1993) que, debido a los numerosos clastos angulosos, sin evidencia de transporte, de la Formación Punta Negra, considera que el contacto basal es por una fuerte discordancia y no por una falla regional.

La unidad fue dividida en tres miembros (Sumay 1980, Masramón 1986, Cevallos y Milana, 1992).

Miembro inferior

Las asociaciones de facies son bastante similares evolutivamente, lo que nos indica que fueron formadas por el mismo sistema depositacional, pero en condiciones diferentes dentro del mismo. La interdigitación de cuerpos arenosos, aparentemente de canal, con depósitos finos laminados característico de sistemas fluviales (cf. Collinson 1986, Walker y Cant 1984). A su vez la presencia de capas gradadas en los intervalos finos es asociados a los aluvionamientos de planicie de inundación (Tunbridge 1984, Stell y Aasheim 1978).

Miembro medio

El ambiente depositacional es eólico (i.e. Sumay 1980, Strelkov y Alvarez 1984, Masramón 1986, Cevallos y Milana 1992), siendo los principales procesos de acumulación eólica dentro del ambiente de dunas, los flujos de grano (SF), lluvia de grano (GFA) y, en forma subordinada, modos tractivos asociados a migración de ondulitas de impacto (IG).

Miembro Superior

Tiene característica de depósitos fluviales evidenciados por facies portadoras de sedimentos de corriente unidireccionales y aquellos más finos características de planicie de inundación. Por otra parte, la composición interna de los cuerpos de canal, debido a diferentes episodios de rellenos de canales menores característico de sistemas fluviales entrelazados (cf. Miall 1985).

Este tipo de rellenos multi episódico también es característico de sistema fluviales efímeros (Tunbridge 1981, Lawrence y William 1987).

Cuaternario

Depósitos coluviales

Se trata de sedimentos asociados con abanicos aluviales, conos detríticos, bajadas y pequeños cursos fluviales que están integrados por gravas, arenas y limos (Anselmi *et al.* 2021).

Estos depósitos, ubicados en ambas márgenes del río San Juan, son producto de las alteraciones y del desprendimiento in situ, transportados por gravedad y por la acción del agua en forma de derrubio. En la Figura 3.4 el cono está formado por clastos sub angulosos de grauvacas de la Formación Punta Negra y matriz de fanglomerados, lo cuales se presentan con una fuerte pendiente al pie de los afloramientos, llegando en algunos sectores a cotas superiores a la coronación de la presa.



Figura 3.4: Se observan los abanicos coluviales sobre los afloramientos de la Formación Punta Negra desde la Ruta Provincial N°12.

Depósitos aluviales

Estos depósitos se hallan sobre el cauce actual de río San Juan, formados por conos aluviales, depósitos finos de lagos y planicies aluvial.

A partir de las excavaciones que se realizaron sobre el cauce actual del río San Juan se reconocieron diferentes tipos de depósitos, los cuales se describieron a partir del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS - USCS *Unified Soil Classification System*) (Figura 3.5).

Estos se clasifican como suelos de grano fino en la Figura 3.6, se observa el perfil de los diferentes depósitos del cauce actual del río los cuales se describieron y clasificaron por las excavaciones realizadas para los estudios de suelo para la fundación de la presa.

En la (Figura 3.6), se identificaron y se señalaron a partir de los prefijos en la imagen, se clasificaron arcillas pardas verdosas **C** (rojo), arcillas arenosas y limosas **CL** (marrón), con intercalaciones lenticulares de arena limosas **SM** (amarillo) y arenas arcillosas **SC** de origen fluvial (naranja).

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% → GW, GP, SW, SP. >12% → GM, GC, SM, SC. 5 al 12% → casos límite que requieren usar doble símbolo.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
		(apreciable cantidad de finos)	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.
	ARENAS	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3
		(pocos o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo
		(apreciable cantidad de finos)	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.
	Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Limos y arcillas:	ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
				CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
				OL		Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
				MH		Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
SUELOS DE GRANO FINO	Límite líquido menor de 50	Limos y arcillas:	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.		
			PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		



Figura 3.5: Tabla de clasificación de suelos de la SUCS. Tomada de mecánica de suelos abc Chile.

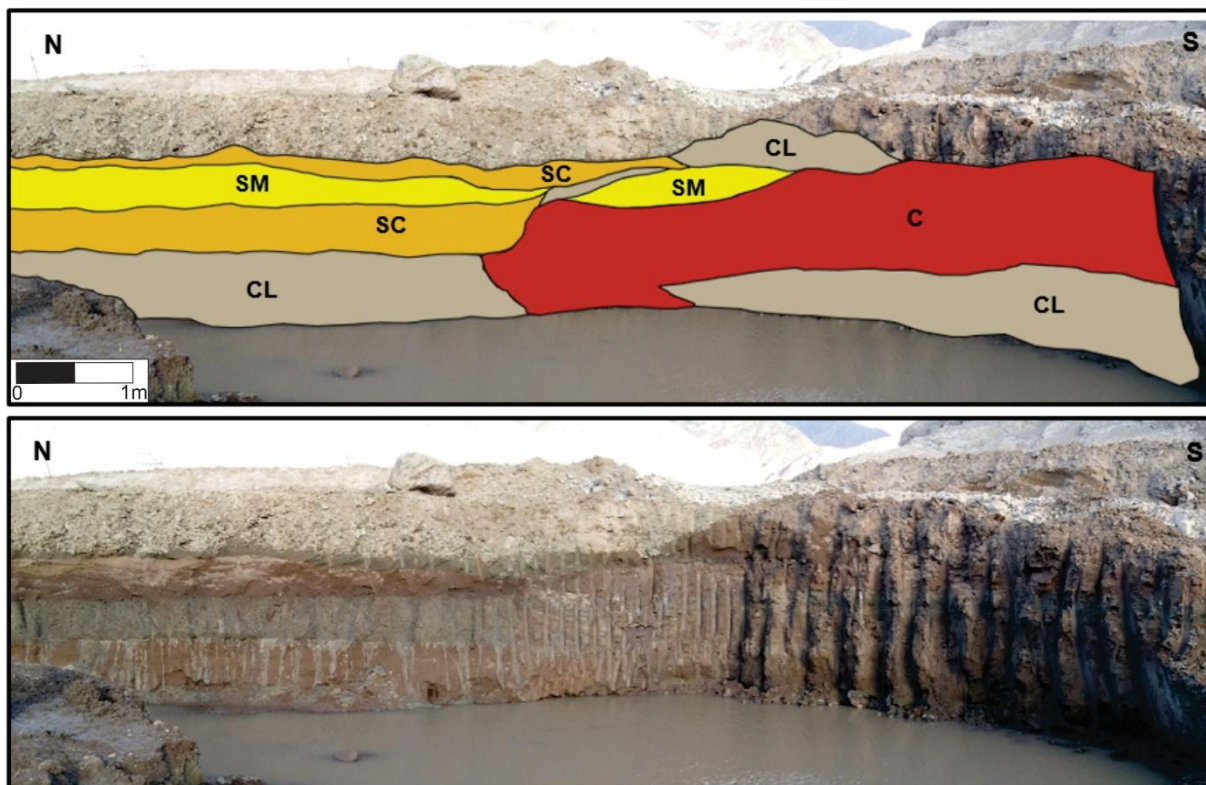


Figura 3.6: Excavación que muestra un corte transversal con una dirección N-S de los depósitos del actual río San Juan.

Depósitos de terraza aluvial

Estos depósitos fluviales se reconocen en ambas márgenes del río San Juan. Constituyen extensas fajas elongadas subparalelas al curso principal del río, en los laterales del valle. Están compuesto por arenas, gravas y limos arenosos, en parte arcillosos.

La edad de estos depósitos fue atribuida tentativamente por Yamin (2007) al Pleistoceno superior (Anselmi *et al.* 2021).

En la Figura 3.7, se observa un área donde se realizaron excavaciones, sobre la margen derecha, para construir taludes estables de material natural cercanos a las obras de desvío. Estos taludes se realizaron sobre terrazas en las cuales se observan depósitos correspondientes a diferentes episodios temporales, diferenciando bancos de arcillas limo-arenosas con intercalaciones de bancos de fanglomerados. También se aprecian lentes generados por material de derrubios de abanicos aluviales de niveles más elevados conformados de clastos subangulosos de vaques de la Formación Punta Negra con un matriz limo arcillosa.

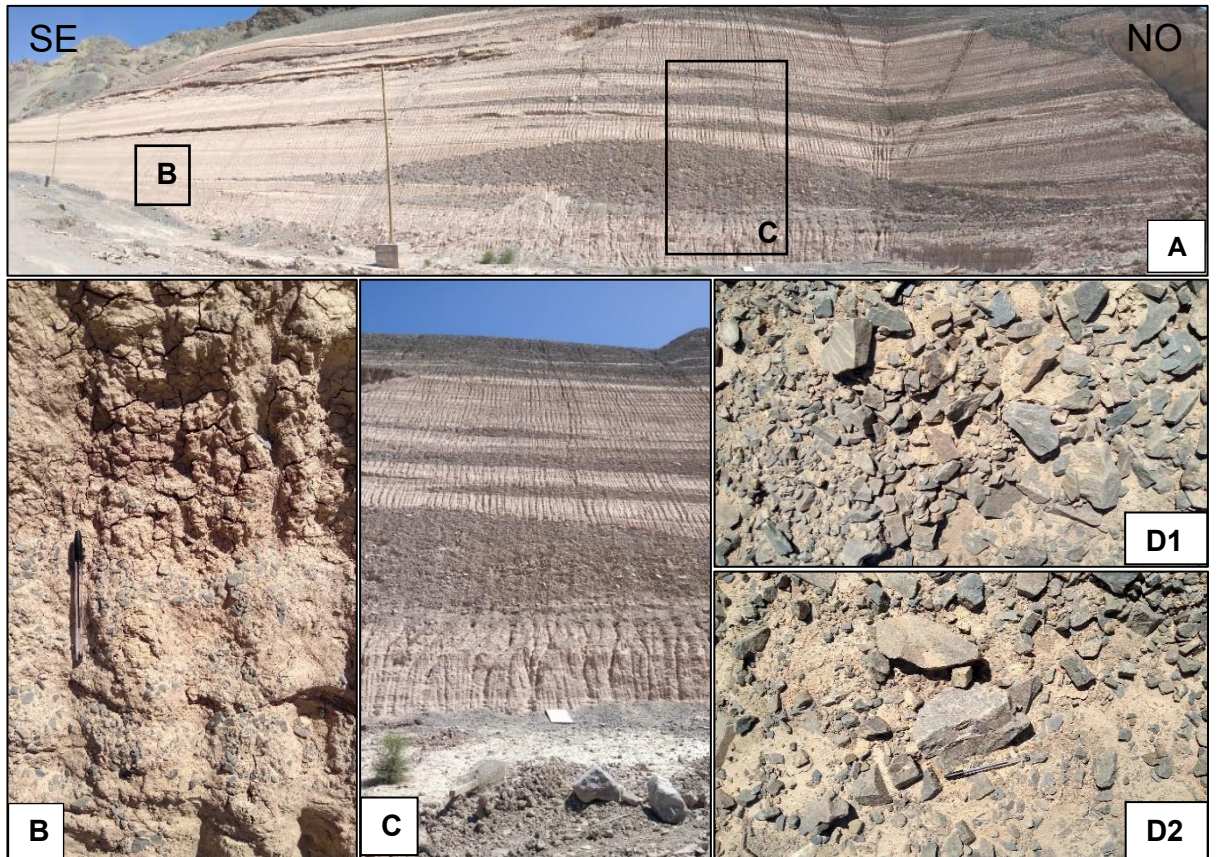


Figura 3.7: A) Afloramientos de terrazas aluviales, corte sobre el talud margen derecha con dirección NO-SE, B) facies fanglomerados y facies de arcillas limo-arenosas. C) Lentes formados por depósitos gravitacionales de clastos sub angulosos de gravas. D1 y D2) Clastos sub angulosos de vaques, en matriz arcillosa limo arenosa.

III.2.2. Estructura

Desde Pachaco hacia el Este, hasta la zona donde se va construir el dique, se desarrolla una sucesión de rocas del Paleozoico inferior y medio con inclinación predominantemente al oeste, entre las que destacan las Formaciones San Juan, Tambolar y Punta Negra. La estructura general que caracteriza a estas unidades, es la de una faja plegada y corrida de orientación norte – sur, con vergencia oriental.

Muchos de estos corrimientos se habrían originado durante el ciclo Gondwánico y fueron reactivados posteriormente durante el ciclo Andico (Álvarez - Marrón *et al.* 2006, Alonso *et al.* 2005 - 2008) (Figura 3.8).

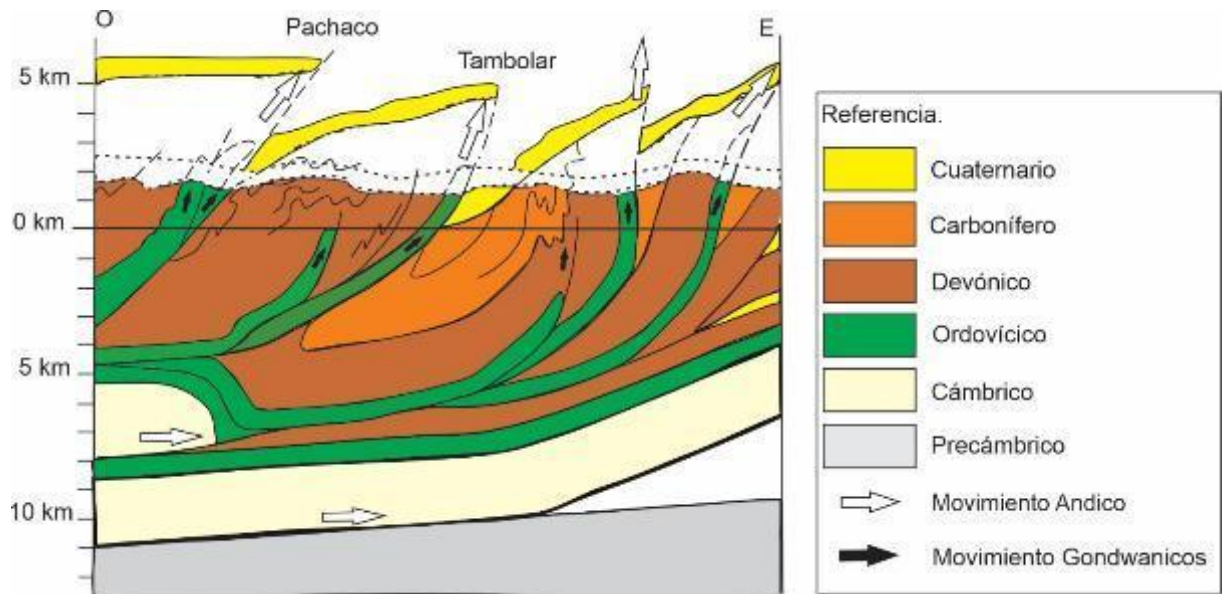
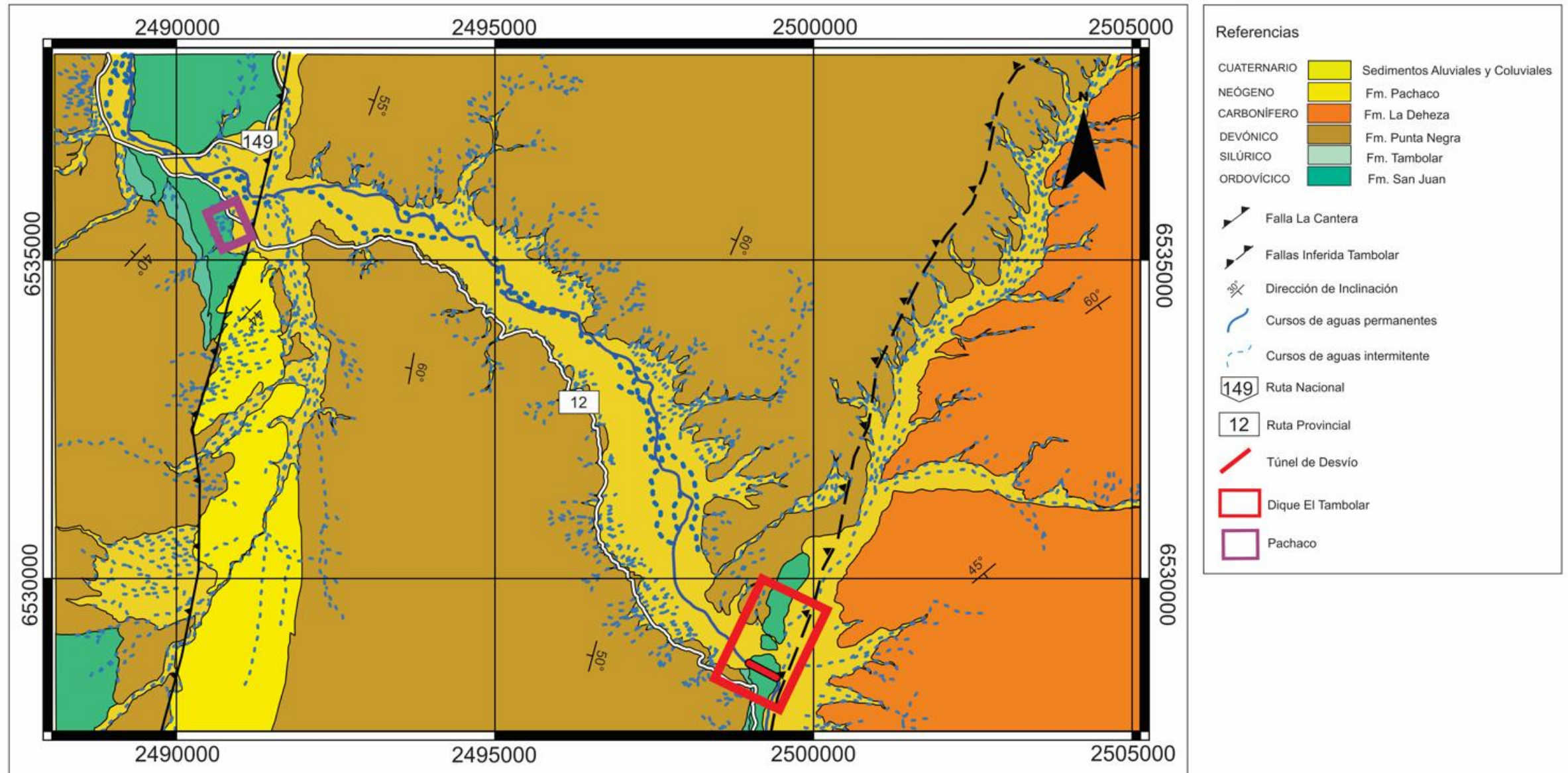


Figura 3.8: Perfil Geológico de Precordillera Central. Tomado y modificado de Alonso (2005).

En el Portezuelo del Tambolar, las sedimentitas silúricas de la Formación Tambolar, se disponen en suave discordancia angular sobre las calizas de la Formación San Juan (Braccacini 1949). El origen de esta discontinuidad ha sido atribuido tanto a deformaciones compresivas (Thomas y Astini 2007) como a basculamientos extensionales (Alonso *et al.* 2008).

Entre los corrimientos principales se destaca localmente la Falla Tambolar, una estructura de fallamiento inverso y orientación norte-sur que superpone a las calizas de la Formación San Juan sobre capas neógenas (Alonso *et al.* 2005). En la zona de Pachaco la Falla La Cantera que se la considera activa, con una orientación promedio de N20°E y buzamiento entre 10° y 30° al oeste, pone en contacto las rocas neógenas de la Formación Pachaco sobre los depósitos cuaternarios de los niveles aluvionales (Perucca *et al.* 2014a).

Mapa geológico local



0 700 1400m

Sistema de coordenadas Gauss Krüger
POSGAR 2007



Universidad Nacional de San Juan
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Año 2025



Olmos Oyola Federico Antonio

Trabajo Final de Licenciatura

Figura 3.9: Mapa geológico local

III.3 Geología de detalle del Cerro Tambolar y zonas aledañas a la presa

A lo largo de un perfil geológico con dirección NO - SE y longitud aproximada de 3190 metros (Figura 3.10), se describen las distintas formaciones geológicas expuestas y sus relaciones de contacto. La sección estudiada abarca un tramo de la Ruta Provincial N°12 y el área donde se emplaza el Dique El Tambolar (Figura 3.11 y Figura 3.12).



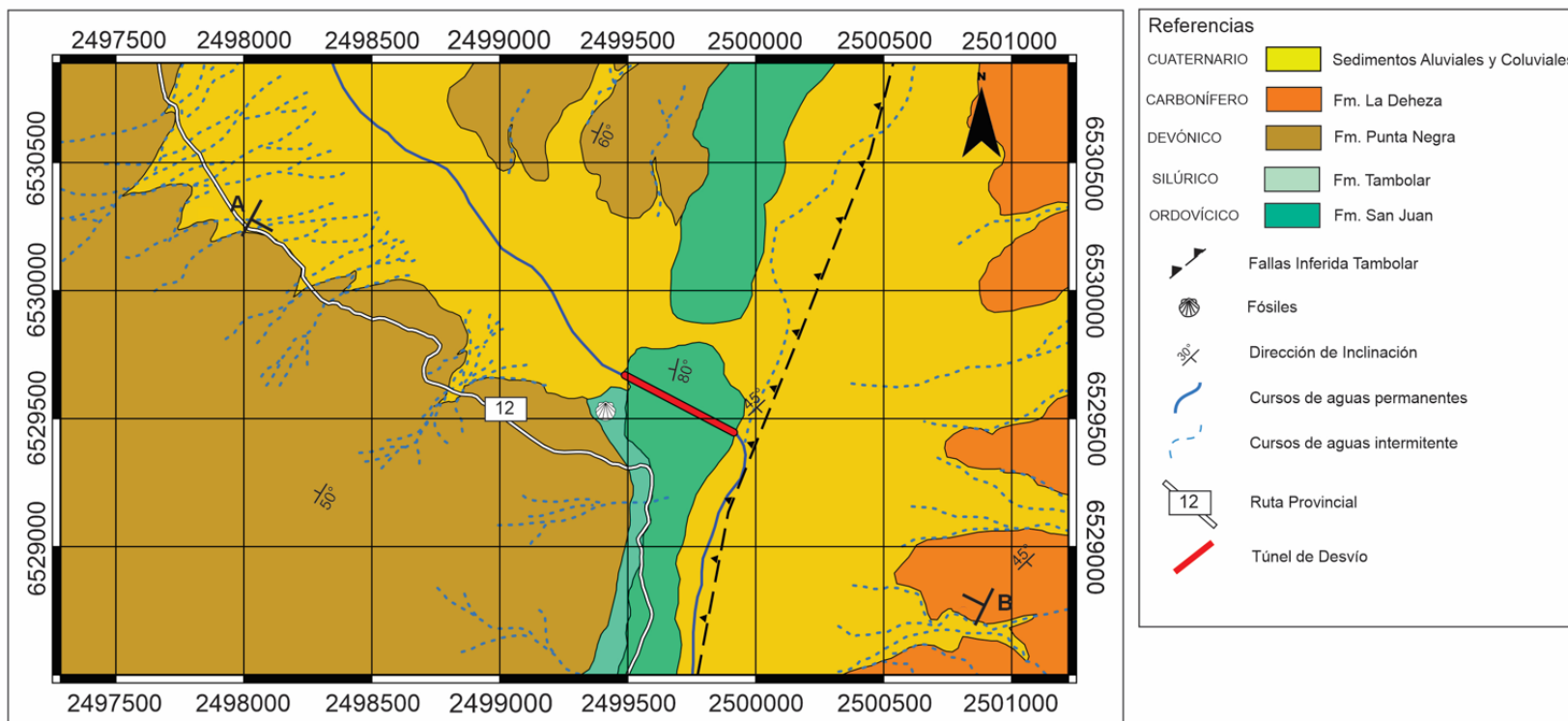
Figura 3.10: 1 - Mirador de la Virgen de Andacollo, 2 - Falla directa, 3 - Contacto entre la Formación Punta Negra y Formación Tambolar, 4 - Deformación en las areniscas, 5 - Contacto entre la Formación Tambolar y la Formación San Juan, 6 - Cerro Tambolar, 7 - Yacimiento F (áridos para el relleno de presa) y 8- Formación La Deheza.

La descripción del perfil se realizará de noroeste a sureste. Sobre el sector occidental se encuentran los afloramientos de vaques de la Formación Punta Negra del Devónico medio (Punto 1, Figura 3.10), la cual constituye los afloramientos de más amplia distribución en el área de estudio.

Las vaques de esta formación tienen una coloración gris verdosa en estratos con espesores variables de 0,2 a 1,00 m los cuales se orientan $287^{\circ}/60^{\circ}$. Estos planos de discontinuidad presentan alta persistencia y es frecuente la presencia de alteraciones de óxidos de hierro que varían de baja a media intensidad (Figura 3.13). Se observa, un sistema de fallas conjugadas con orientación F1 $163^{\circ}/63^{\circ}$ y F2 $111^{\circ}/53^{\circ}$, y una con posición subhorizontal ($190^{\circ}/05^{\circ}$).

Hacia el este (punto 2, Figura.3.10), el sistema de fallas conjugadas presenta una orientación $295^{\circ}/50^{\circ}$, con algunas variaciones en el buzamiento ($280^{\circ}/80^{\circ}$).

Mapa Geológico de detalle - Cerro Tambolar y zonas aledañas a la presa



0 250 500 750m

Sistema de referencia Gauss Krüger
POSGAR 2007



Universidad Nacional de San Juan
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Año 2025

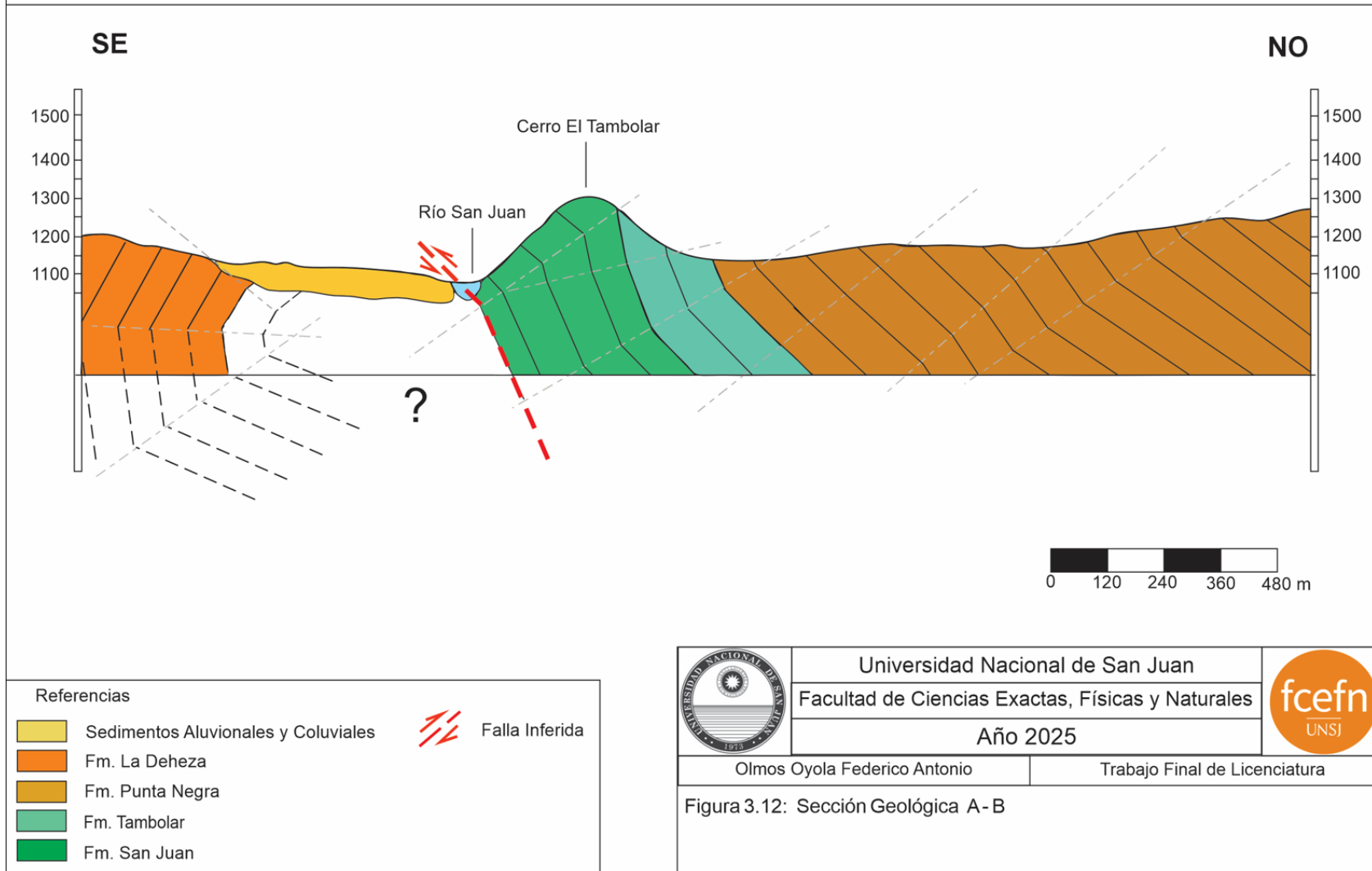


Olmos Oyola Federico Antonio

Trabajo Final de Licenciatura

Figura 3.11: Mapa geológico de detalle del cerro Tambolar y zonas aledañas a la presa

Sección Geológica - A-B



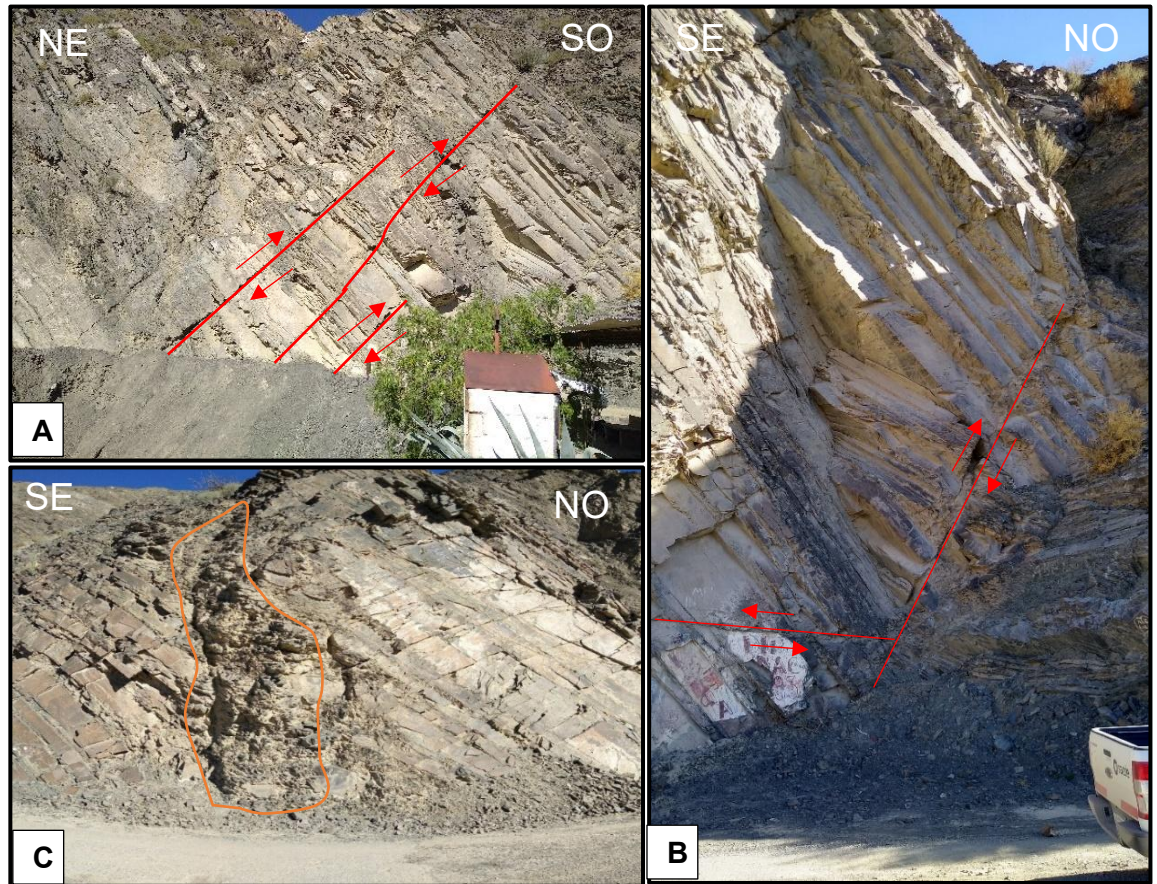


Figura 3.13: En A- Sistema de fallas conjugadas observadas sobre los afloramientos en la Formación Punta Negra, en el parador de la Virgen de Andacollo, sobre ruta Provincial N°12, B- Intersección de juegos de fallas en la misma área del parador y en C- Se observa una falla inversa con $285^{\circ}/80^{\circ}$ donde la roca se presenta fragmentada, los planos de estratificación tienen una orientación $295^{\circ}/50^{\circ}$, con un espesor variable de 0.10 m a 0.40 m.

El contacto concordante ($275^{\circ}/75^{\circ}$), entre la Formación Punta Negra con la Formación Tambolar (punto 3, Figura 3.10).

Estas sedimentos del Silúrico superior están conformados por lutitas, margas y areniscas de coloración moradas y verdes con laminación fina y un espesor estimado de 400 metros (Braccini 1950) (Figura 3.14).

Sobre esta unidad se hallaron bivalvos como *Clarkeia antisiensis*, *Leptaena argentina*, *Harringtonina acutiplicata* (Peralta 1990), también se encontraron icnofacies identificadas como *Cruziana*, los cuales en asociación confirman una edad silúrica para las sedimentitas de esta unidad (Aceñolaza y Peralta 1991) (Figura 3.15).

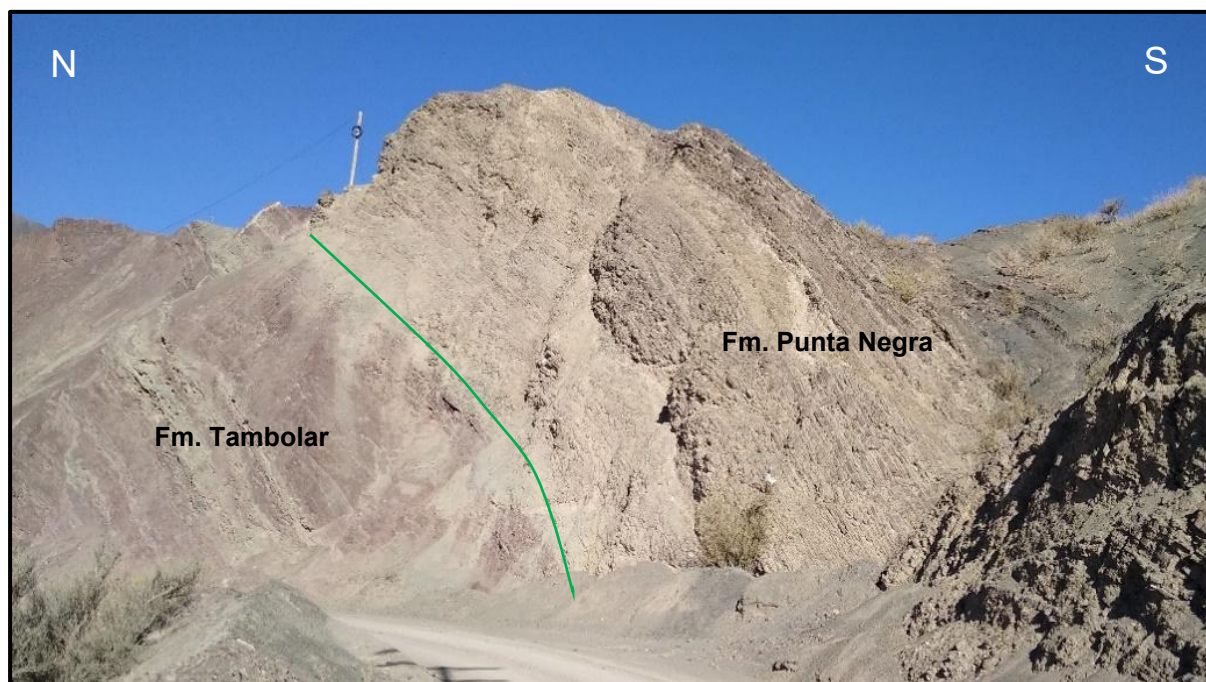


Figura 3.14: En la imagen se indica con trazo continuo de color verde el contacto concordante entre la Formación Tambolar y la Formación Punta Negra, ubicado sobre ruta Provincial N°12.



Figura 3.15: A) *Clarkeia antisiensis* valva dorsal, B) *Harringtonina acutiplicata* valva dorsal, C) *Leptaena argentina* valva dorsal y D) *Cruziana*.

Sobre la calzada de la ruta Provincial N°12, en las proximidades al contacto con la Formación San Juan del Ordovícico inferior, en la parte superior del cerro Tambolar (punto 4, Figura 3.10), se observa una deformación compresional evidenciada por pliegues menores y fallas locales que afecta a las lutitas de la Formación Tambolar (Figura 3.16).

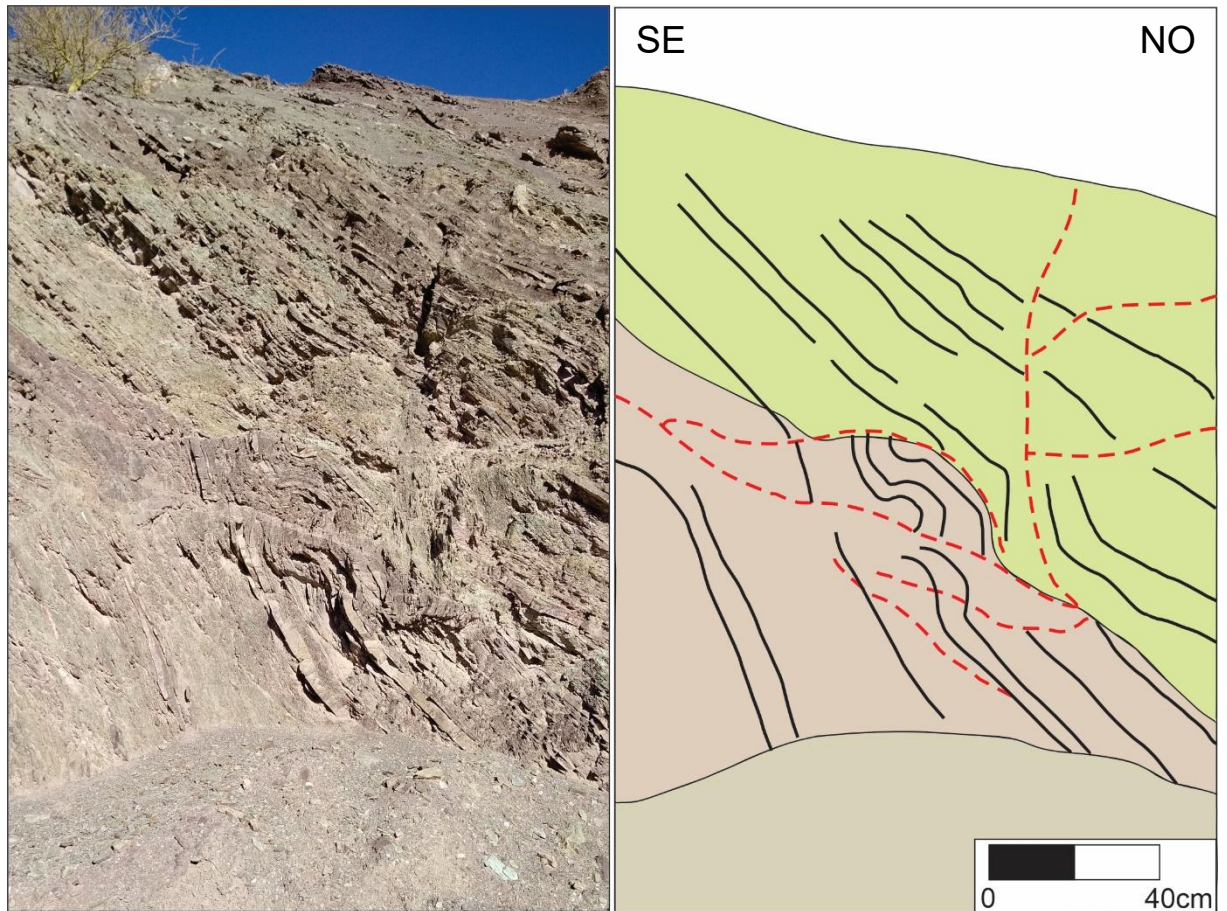


Figura 3.16: En la imagen se indica con trazos continuos de color negro los pliegues menores y con líneas discontinuas de color rojo el conjunto de fallas locales.

En el Cerro el Tambolar (punto 5, Figura 3.10), se observa el contacto que existe entre la Formación Tambolar del Silúrico superior con la Formación San Juan del Ordovícico inferior mediante una leve discordancia angular.

Dicho contacto se analizó en tres puntos indicados en la (Figura 3.17).



Figura 3.17: Vista del cerro Tambolar. Se indican las posiciones donde se realizaron los relevamientos del contacto entre las Formaciones San Juan (Ordovícico inferior) y Tambolar (Silúrico superior).

En la parte media del cerro Tambolar (punto 1, Figura 3.17), en el acceso al túnel de conducción, se observa el contacto entre los niveles calcáreos subverticales ($267^{\circ}/80^{\circ}$) de la Formación San Juan, las lutitas varicolores ($265^{\circ}/85^{\circ}$) de la Formación Tambolar (Figura 3.18 A).

En la parte superior (punto 2, Figura 3.17), se observa el contacto el contacto entre las unidades descriptas precedentemente ($270^{\circ}/70^{\circ}$), aunque con ligeros cambios en la dirección de buzamiento (Figura 3.18 B y C).

En la zona superior del cerro (punto 3, Figura 3.17), sobre la calzada de la ruta provincial N°12, los bancos de calizas y lutitas presentan un buzamiento de menor ángulo hacia el este, con una orientación $235^{\circ}/30^{\circ}$ y $263^{\circ}/40^{\circ}$, respectivamente (Figura 3.18 D y E).

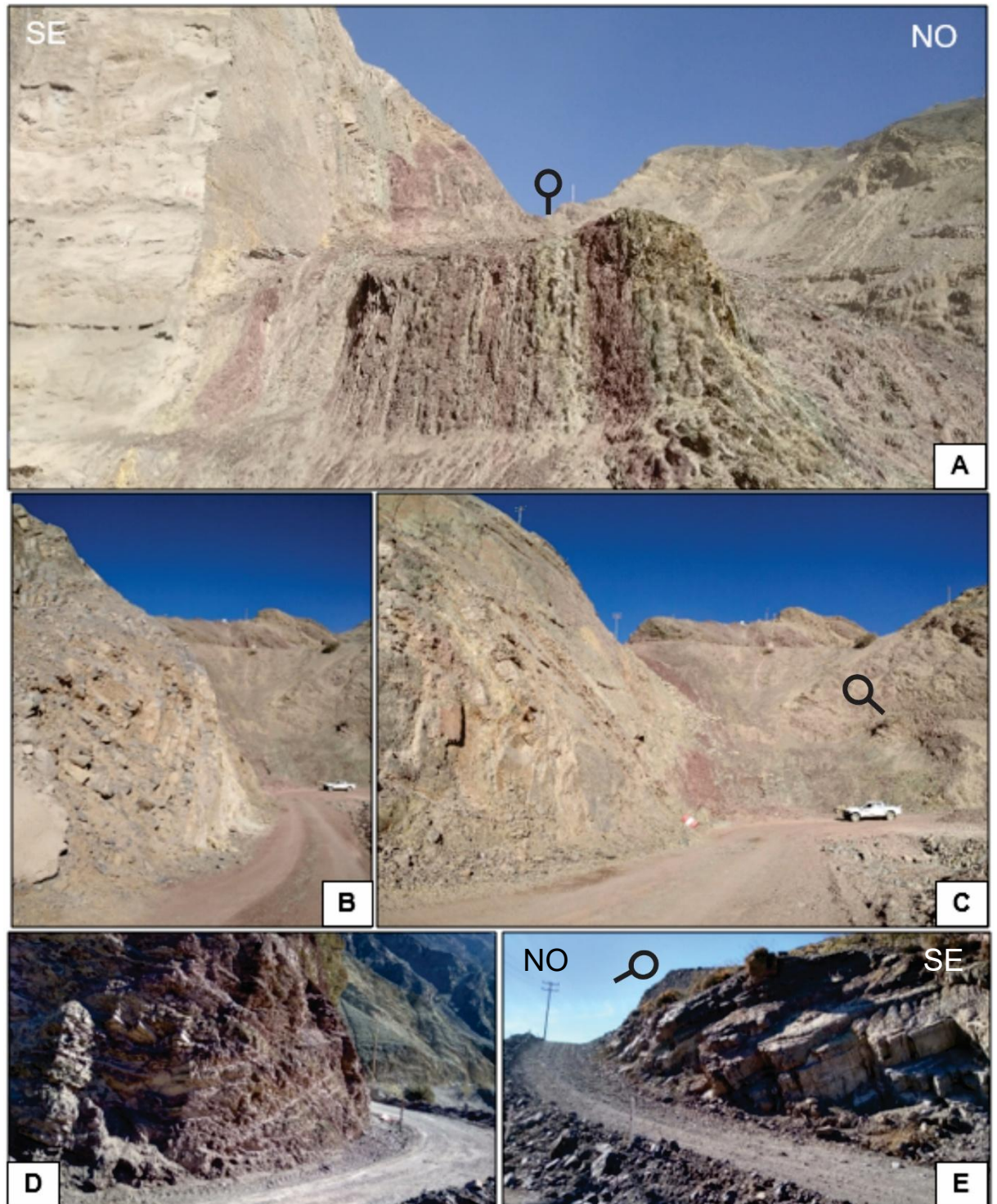


Figura 3.18: A – Se observa el contacto casi vertical entre las calizas y las lutitas, en B y C se observa un leve cambio en el buzamiento en las calizas mientras que las lutitas mantienen su buzamiento, en D y en E se observa que ambas formaciones presentan una mayor inclinación hacia el este.

Los afloramientos de la Formación San Juan del Ordovícico inferior, presentan su máxima expresión en el cerro El Tambolar.

La descripción litológica y de calidad del macizo de las calizas de la Formación San Juan, se realizó de forma simultánea con las distintas obras de ingeniería a lo largo de los diferentes niveles.

Se reconocen tres miembros dentro de la Formación San Juan: el miembro inferior de calizas macizas, miembro medio calizas lajosas y miembro superior de calizas y margas varicolores (Beresi y Bordonaro 1984).

En la base del cerro se reconocen diferentes estructuras de pliegues anticlinales y sinclinales ubicados en el miembro de calizas macizas, luego en la zona media del cerro se describe un sistema de pliegues y fallas menores agrupados, en el miembro de calizas lajosa y margas varicolores.

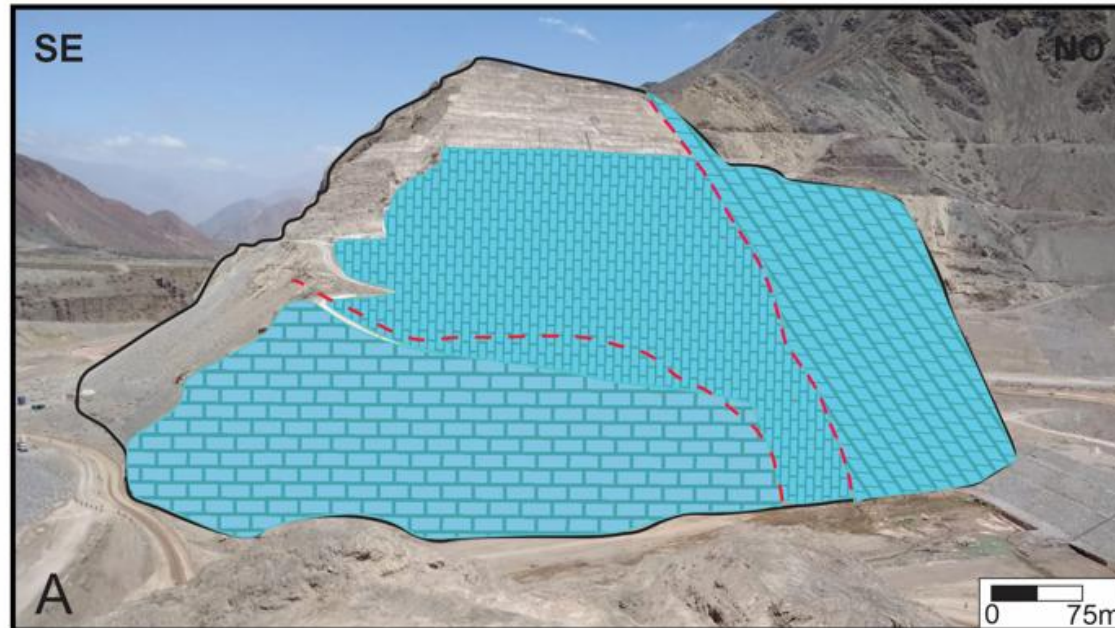
La descripción de los aspectos estructurales del macizo calcáreo se realizó en diferentes sectores de la obra:

- Zona de excavación del cauce
- Zona del camino de acceso
- Zona del aliviadero
- Subzona de aliviadero afectada por deslizamientos

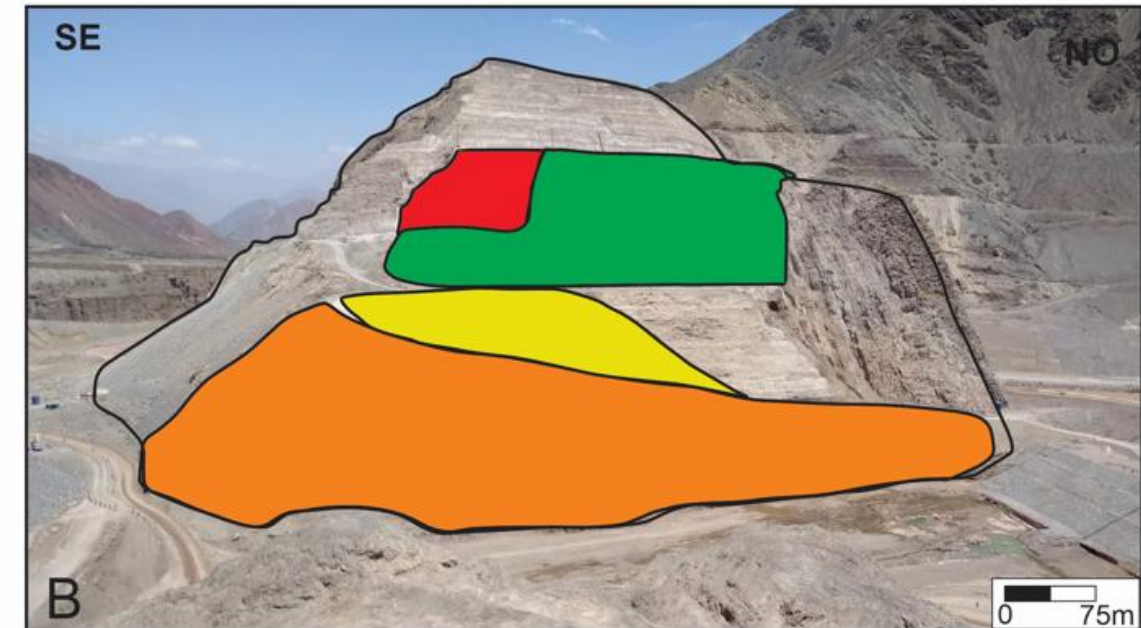
En la Figura 3.19, en A se indica los tres miembros de calizas analizados en el cerro Tambolar y con trazos discontinuos de color rojo las fallas inferidas, en B se ubican las áreas de construcción donde se realizó el análisis estructural y en C, con trazos continuos de color negro las estructuras geológicas descriptas, con color amarillo la disposición de las áreas de la obra y con trazos discontinuos de color rojo las fallas inferidas.

Vista Panorámica del Cerro Tambolar

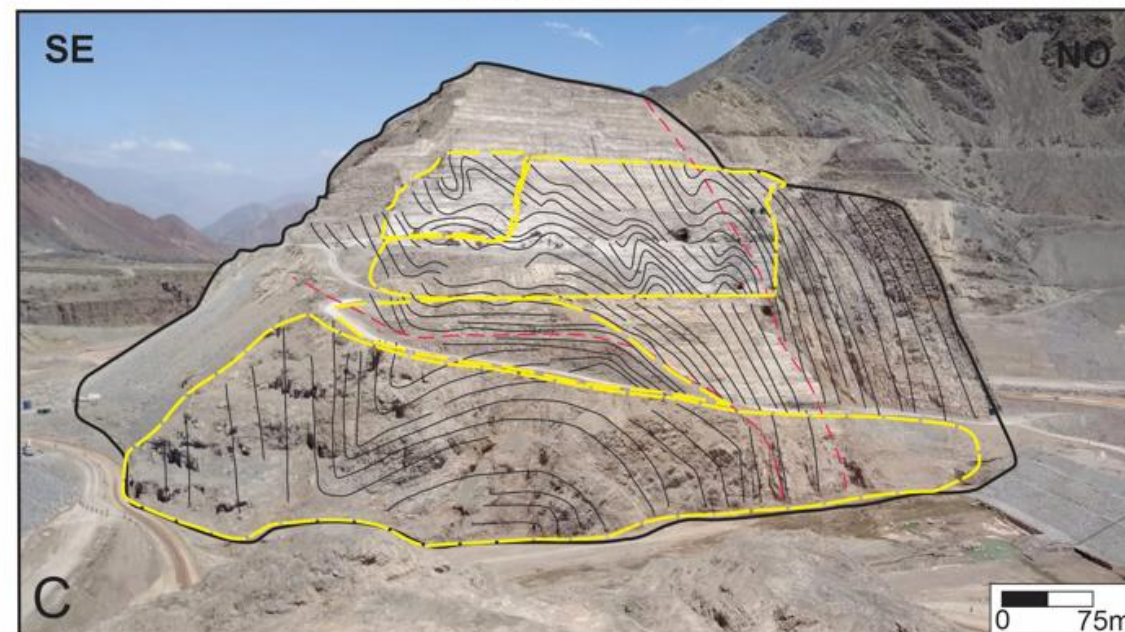
Unidades Estratigráficas



Áreas del Aliviadero



Estructuras



Referencias

Geológica

-  Calizas y Margas Varicolores
-  Calizas Lajas
-  Calizas Macizas
-  Fallas Inferidas

Áreas del Aliviadero

-  Excavación de Cauce
-  Camino de Acceso
-  Aliviadero
-  Aliviadero zona de Deslizamiento



Universidad Nacional de San Juan
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Año 2025



Olmos Oyola Federico Antonio

Trabajo Final de Licenciatura

Figura 3.19: Geología de la zona del Aliviadero

Zona de excavación del cauce

Sobre la base del cerro se observa en el macizo los planos de estratificación aproximadamente verticales con una orientación $270^{\circ}/87^{\circ}$, las calizas se encuentran compactas bien estratificadas, con una coloración grisácea con tonalidades amarillentas con una potencia variable entre los 0,4 a 0,5 m (Figura 3.20).



Figura 3.20: Afloramientos de la Formación San Juan. Estratos de forma vertical en la zona más próxima de la ataguía.

Continuando con la descripción en dirección aguas abajo con respecto al curso del río San Juan, se observa que los estratos se inclinan con una orientación hacia al Este con una variación en el ángulo de buzamiento entre los $270^{\circ}/63^{\circ}$ a los $265^{\circ}/37^{\circ}$, los estratos tienen un espesor que varía entre los 0,3 a los 0,5 m, de coloración grisácea amarillenta (Figura 3.21).



Figura 3.21: Con trazos continuos de color blanco se indica el cambio en el ángulo de buzamiento con orientación hacia el Este de los planos de estratificación.

Desde el último punto hacia el Este se observa que el buzamiento se posiciona en forma horizontal con una orientación que cambia de $57^{\circ}/37^{\circ}$ a $175^{\circ}/05^{\circ}$, formando el flanco de un pliegue anticlinal (Figura 3.22).

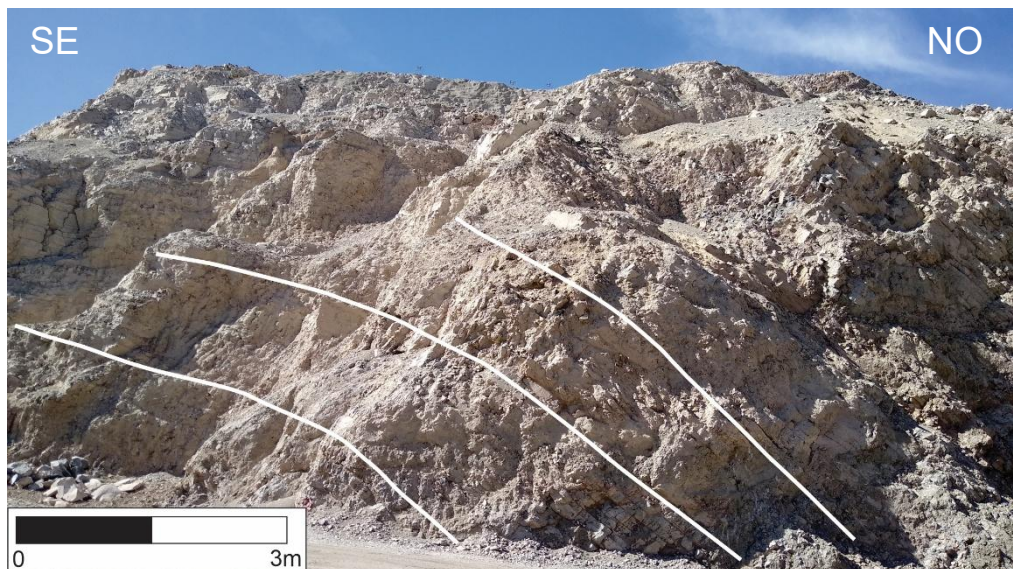


Figura 3.22: Se indica con trazo continuo de color blanco el cambio de buzamiento en los planos de estratificación.

Hacia el este del punto anterior, se observa en los planos presentan un cambio en la orientación del buzamiento hacia el oeste, formando así el flanco izquierdo del pliegue anticlinal $24^{\circ}/35^{\circ}$, con un espesor de los estratos de 0,2 a 0,3 m (Figura 3.23).



Figura 3.23: Se observa el cambio en la dirección del buzamiento formando el flanco izquierdo del anticlinal.

En dirección al este en el borde del cerro, se observa un pliegue sinclinal inclinado, donde el flanco izquierdo tiene una orientación $280^{\circ}/80^{\circ}$, el flanco derecho $90^{\circ}/65^{\circ}$, donde los estratos tienen un espesor que varía entre los 0,20 a 0,40 m, con una coloración grisácea amarillenta (Figura 3.24).



Figura 3.24: Se indica con trazo continuo de color blanco, la ubicación del pliegue sinclinal.

Zona del camino de acceso

Durante las excavaciones para realizar el aliviadero, se planificó un camino de acceso a la zona, el cual inicia desde la zona del eje de la ataguía. Sobre los taludes se observaron varias familias de discontinuidades. El macizo se encuentra bien estratificado con una coloración grisácea amarillenta y los estratos con menor espesor, en comparación con los que se encuentran en el sector del cauce.

Se observa un basculamiento donde se generaron cuñas por desplazamiento producto de un sistema de fallas locales de orientación F1 285°/85° y F2 280°/80°, que basculan los planos de estratificación que pasan de tener una orientación de 150°/10° a 280°/80° (Figura 3.25 A). En dirección al oeste desde el punto anterior, los estratos permanecen con una posición casi horizontal los cuales son cortados por una familia de fallas locales con orientación F1 112°/85° y F2 115°/60°, las cuales se adjudican al fracturamiento que se generan en las crestas de los pliegues anticlinales. Las fallas presentan un desplazamiento de 0,2 m generando cuñas (Figura 3.25 B).

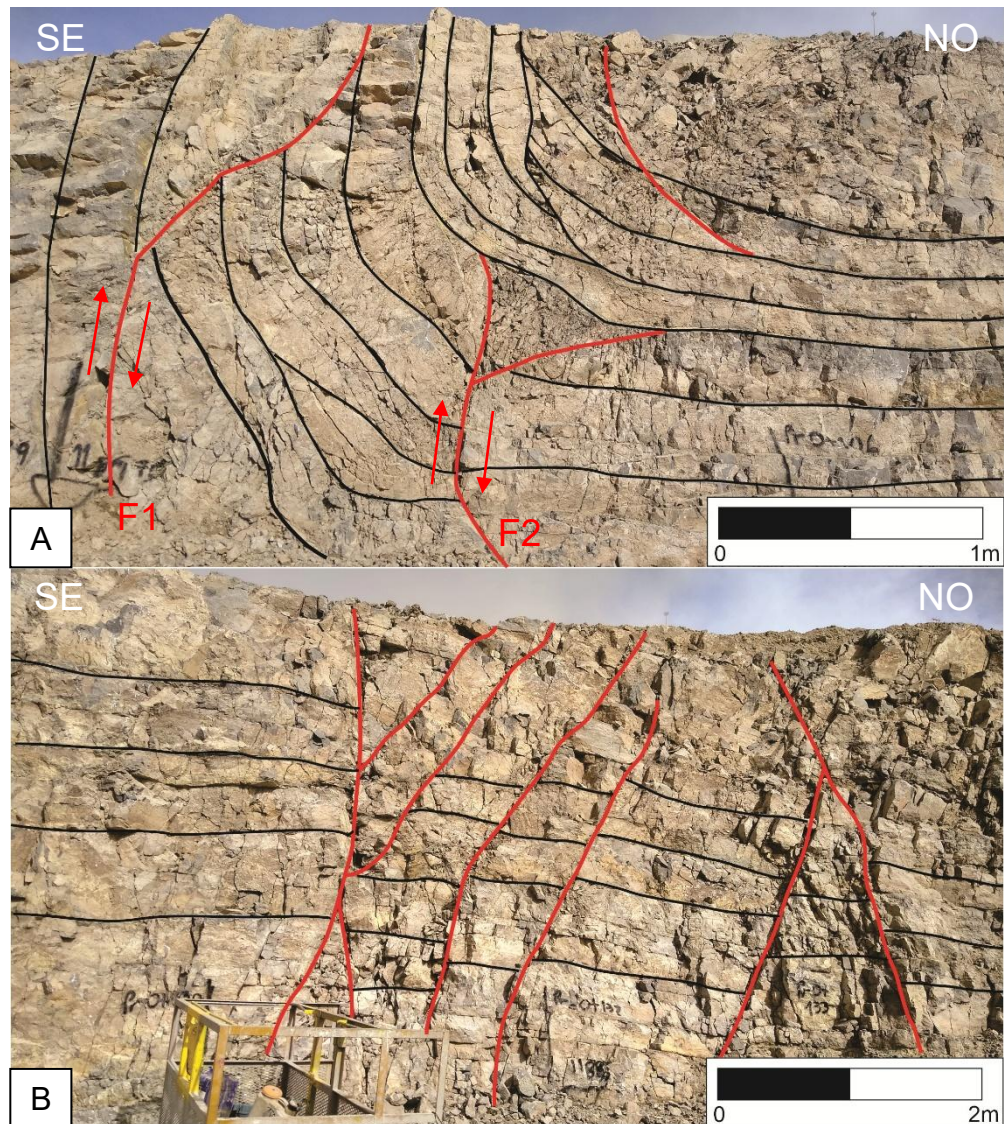


Figura 3.25: En (A), se indica con trazos continuos de color rojo las fallas que generan el basculamiento de los planos de estratificación (trazos de líneas continuas de color negro). En (B) se señala con trazos continuos de color rojo las familias de fallas locales.

Continuando en dirección hacia el oeste desde el punto anterior, los planos de estratificación son horizontales en $205^{\circ}/05^{\circ}$, y atravesados por dos fallas inversas locales con una orientación para F1 de $300^{\circ}/63^{\circ}$ y para F2 de $110^{\circ}/60^{\circ}$ (Figura 3.26 A).

Prosiguiendo en la misma dirección se observa que a partir de la F2, existe un cambio en el buzamiento hacia el este, con una orientación de $135^{\circ}/23^{\circ}$, luego la estratificación más adelante cambia a $278^{\circ}/47^{\circ}$ (Figura 3.26 B).

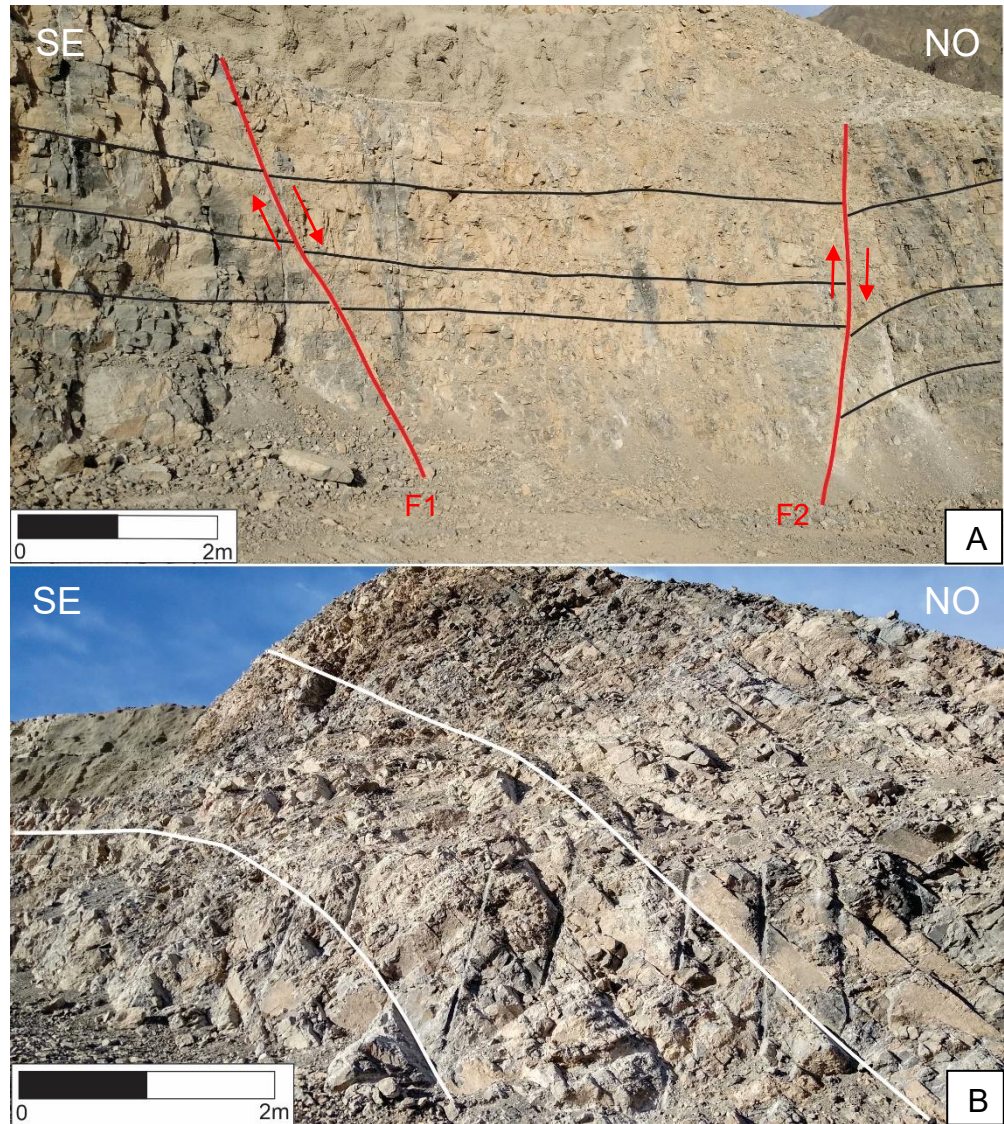


Figura 3.26: En (A), se indica con trazos continuo de color rojo las fallas inversas locales señaladas en el sector. En (B), se observa el cambio de la orientación del buzamiento hacia el este.

Desde el último punto de observación continuando en dirección al oeste, en el área donde el camino de acceso al aliviadero inicia, se observa una roca de mala calidad con alteraciones de óxidos de manganeso evidenciando una zona de falla del tipo inversa, se visualizó desde la cota de 1150 a la 1190 m, con una orientación ($286^{\circ}/76^{\circ}$) (Figura 3.27).



Figura 3.27: Se indica con trazo continuo de color rojo la posición de la falla sobre el talud.

Zona del Aliviadero

En la zona de aliviadero - canal de encauce, durante las etapas de las excavaciones y saneos se observó un afloramiento de calizas con planos de estratificación de coloración gris clara a oscuras, con un espesor entre 0,10 a 0,40 m, con intercalaciones de arcillas pardas amarillentas con espesores entre los 0,20 a 0,40 m, presentan pliegues y familias de fallas locales menores (Figura 3.28).

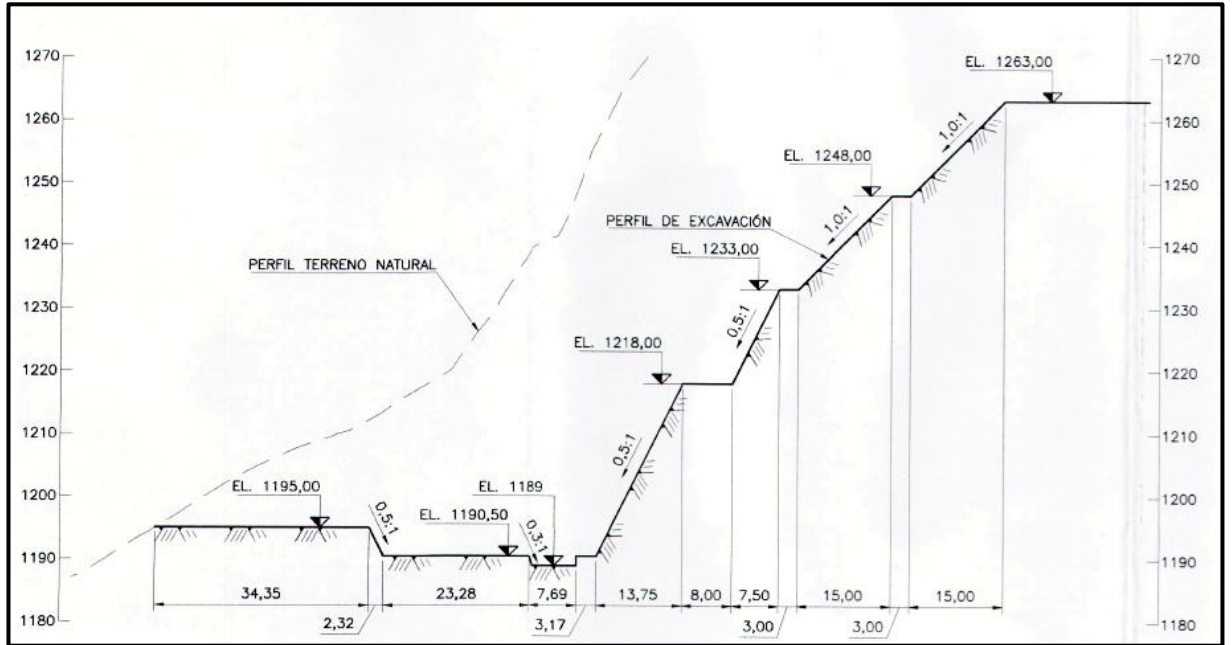


Figura 3.28: Perfil de corte de sección de aliviadero – canal de encauce (Plano de excavación de Aliviadero- el eje vertical corresponde a altura en metros)

Ya que el análisis y la descripción de las estructuras geológicas se efectuó durante la construcción, hay sectores que no se lograron relevar y por lo cual las interpretaciones se realizaron a partir de interpolación.

Sobre el talud que se encuentra entre las cotas 1220 m a la 1218 m, se observa un pliegue anticlinal, el cual es atravesado por una falla directa local ($90^\circ/75^\circ$). Los flancos del pliegue tienen una orientación, que varía entre los $293^\circ/33^\circ$ y los $304^\circ/31^\circ$ el flanco derecho y el flanco izquierdo varía entre los $49^\circ/34^\circ$ y $30^\circ/20^\circ$ (Figura 3.31).

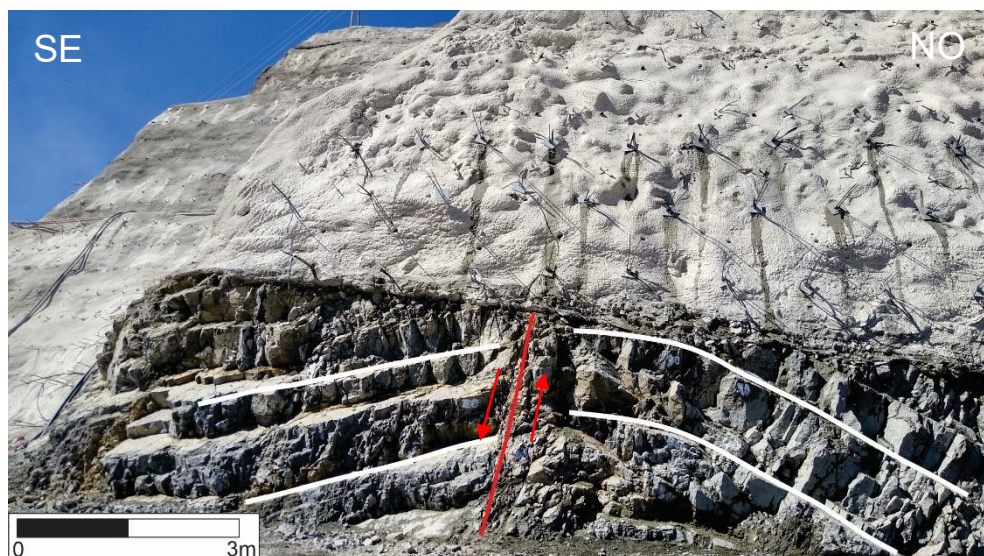


Figura 3.31: En la imagen se observan las charnelas del pliegue anticlinal.

Sobre el talud que se encuentra entre las cotas 1218 m y 1213 m, se observan diferentes estructuras geológicas, algunas de las cuales, por su disposición con respecto a la orientación de los taludes, generan sobreexcavaciones y cambios en la calidad, variando entre roca tipo III (Regular) a tipo IV (Mala) según la clasificación de Bieniawski.

Se observa un pliegue sinclinal inclinado, el cual genera desprendimientos de bloques en la zona debido a la posición con respecto al talud, donde el flanco izquierdo tiene una orientación $30^\circ/42^\circ$ y el flanco derecho es de $65^\circ/62^\circ$ (Figura 3.32).



Figura 3.32: Se indica con líneas blancas la posición del pliegue con respecto a la excavación del talud.

En dirección hacia el oeste a partir del último punto, se observan los estratos en posición ($308^\circ/43^\circ$), con un espesor que varía entre los 0,20 m a 0,40 m, con alteraciones de óxidos de hierro de coloración amarillenta, en niveles de un espesor menor de 0,10 m. También se observa en la zona una falla con una orientación de $295^\circ/49^\circ$, evidenciada por roca triturada, un pliegue sinclinal inclinado donde el flanco izquierdo tiene una orientación $285^\circ/43^\circ$, y el flanco derecho de $293^\circ/37^\circ$ (Figura 3.33).



Figura 3.33: En la imagen se indica con trazos continuos de color blanco la posición del pliegue sinclinal inclinado y la zona de falla se indica con líneas de trazos discontinuos de color rojo.

Continuando sobre el mismo talud en la zona de remate, al noreste del último punto, se observa entre los planos de discontinuidades, un cuerpo de arcilla bentonítica, interpretado como una falla interestratal con una orientación de $270^{\circ}/45^{\circ}$, la cual origina en los planos aledaños una alteración de óxidos de hierro y manganeso generando que la clasificación del macizo en el sector sea de IV (Mala) según Bieniawski (Figura 3.34).

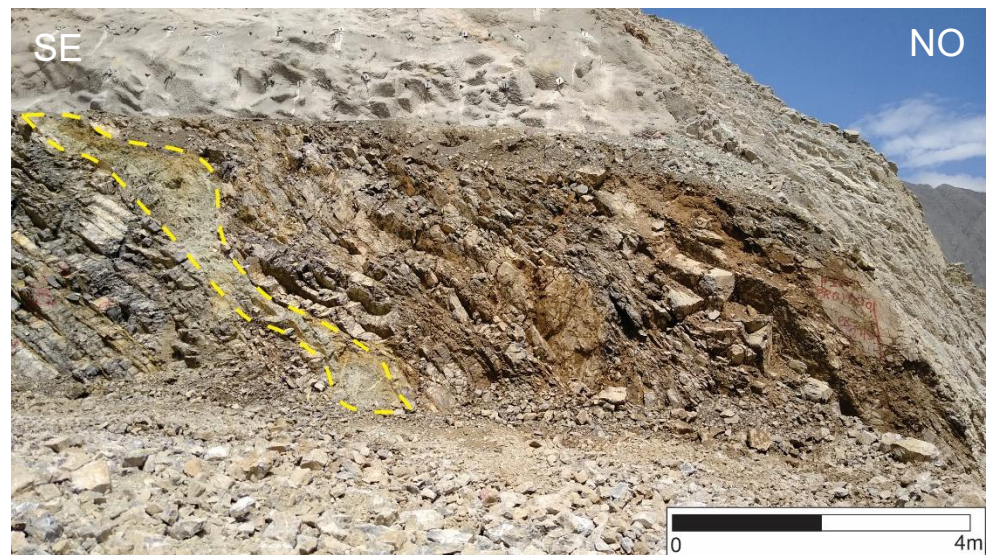


Figura 3.34: Se indica con trazo discontinuo de color amarillo el cuerpo de arcilla bentonítica.

En el talud que se encuentra entre las cotas 1213 m y 1208.5 m, el macizo se clasifica según Bieniawski como tipo III Regular. En este, se observa un sistema de fallas locales, que generan una deformación en los estratos, de orientación F1 $303^{\circ}/82^{\circ}$, la F2 $272^{\circ}/87^{\circ}$ y la F3 $110^{\circ}/65^{\circ}$, los planos de estratificación de $23^{\circ}/30^{\circ}$ con alteraciones de óxidos de hierro e intercalaciones de arcillas (Figura 3.35).

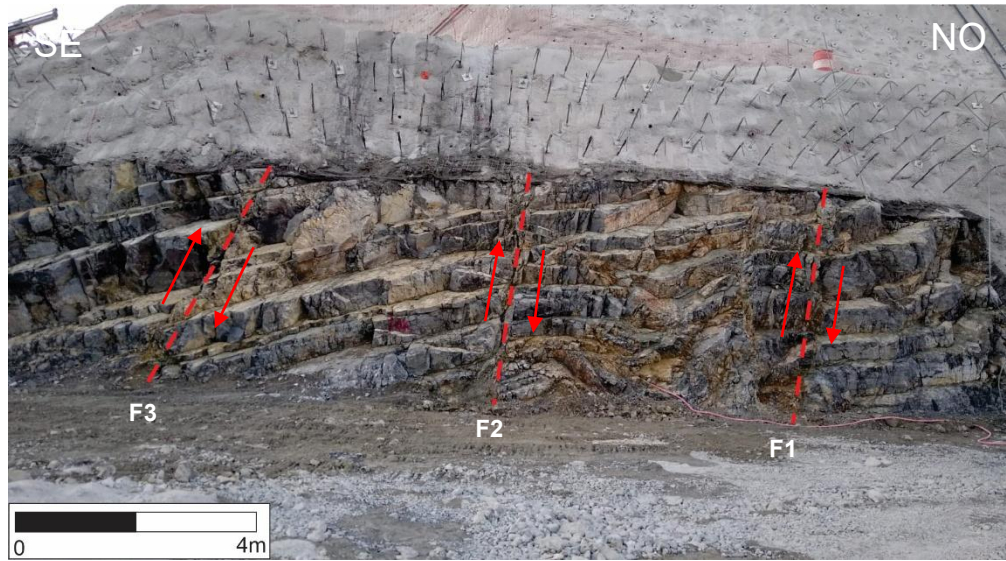


Figura 3.35: Se indican las fallas con líneas rojas punteadas.

Sobre el mismo talud en dirección hacia el este desde el último punto, se observa un pliegue sinclinal inclinado, el cual tiene el flanco izquierdo con una orientación $290^{\circ}/77^{\circ}$ y el flanco derecho $295^{\circ}/55^{\circ}$. Los planos de estratificación presentan un elevado nivel de alteración, con una roca fragmentada, alteraciones de óxidos de hierros y manganeso (Figura 3.36).



Figura 3.36: Con líneas de color blancas se indica el plegamiento sinclinal inclinado, y se observa la roca fragmentada por el nivel de alteración.

Sobre el talud entre las cotas 1208 m y 1203 m, la roca se clasificó según Bieniawski como tipo III (Regular) a tipo IV (Mala), esta última zona puntual donde aparecen fallas.

Se observa un cambio en el buzamiento en los planos por un basculamiento, el cual está definido por la orientación de $40^{\circ}/37^{\circ}$ en los planos que están al NO a vertical $290^{\circ}/87^{\circ}$ en el SE (Figura 3.37).

Se observa una zona de fallas donde se identifican una F1 $270^{\circ}/27^{\circ}$ y F2 $270^{\circ}/85^{\circ}$, generando fracturamiento en la roca con intercalaciones de arcillas y óxidos de hierro.

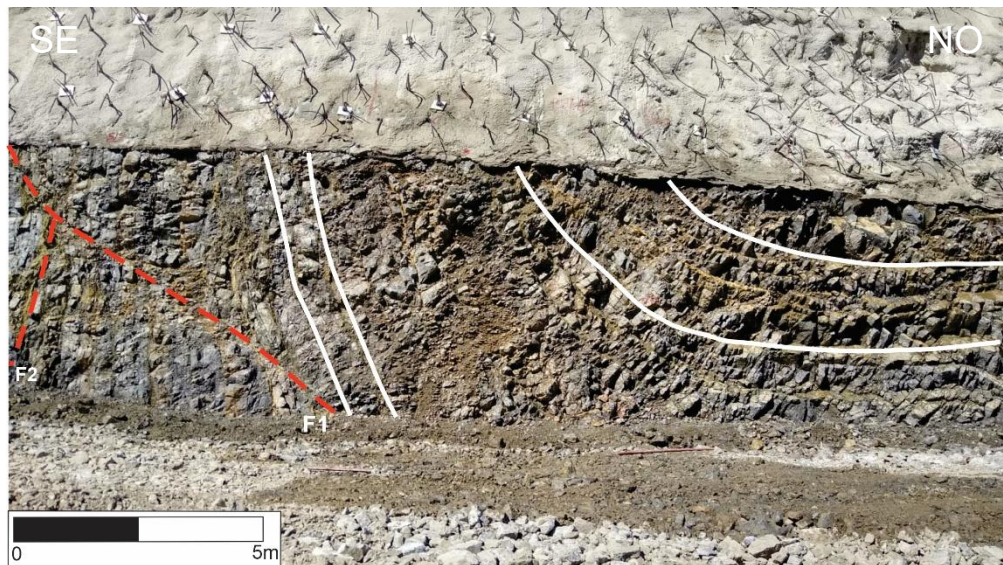


Figura 3.37: En la imagen se indica con trazos continuos de color blanco el basculamiento en los planos de estratificación y con trazos entrecortados de color rojo se indica la posición de las fallas, donde la roca se encuentra alterada con óxidos y con arcillas.

En dirección hacia el sureste desde el punto anterior, la roca se clasificó según Bieniawski como tipo III (Regular).

En la zona se observa un pliegue anticlinal donde los planos tienen una orientación en el flanco derecho es $297^{\circ}/37^{\circ}$ y el flanco izquierdo es $65^{\circ}/50^{\circ}$, en dirección al sureste del pliegue se identificaron dos fallas locales de orientación F1 $97^{\circ}/80^{\circ}$ y la F2 $110^{\circ}/80^{\circ}$. Estas provocan una zona donde el macizo se encuentra fracturado con presencia de alteraciones de óxidos ($67^{\circ}/23^{\circ}$) (Figura 3.38).



Figura 3.38: Se indica con trazos continuos de color amarillo el pliegue anticlinal, con trazos continuos de color rojo las dos fallas.

En el talud que se encuentra entre las cotas 1207 m y 1204 m, se identificaron diferentes estructuras geológicas, las cuales presentan alteraciones de óxidos de hierro y manganeso, entre los planos de estratificación existen intercalaciones de arcillas pardo verdosas y venillas de calcita. Debido a esto, el macizo rocoso, se clasificó según Bieniawski como tipo III (Regular) y en zonas puntuales, donde se observan estructuras que debido a su disposición con respecto al talud disminuyen la calidad del macizo, la roca se clasificó como tipo IV (Mala). En la zona de remate al noroeste del talud, se observa una estratificación uniforme ($310^{\circ}/50^{\circ}$), con intercalaciones de arcillas, de espesores variables de 0.30 m a 0.10 m. La roca se clasificó como tipo III (Regular) (Figura 3.39).

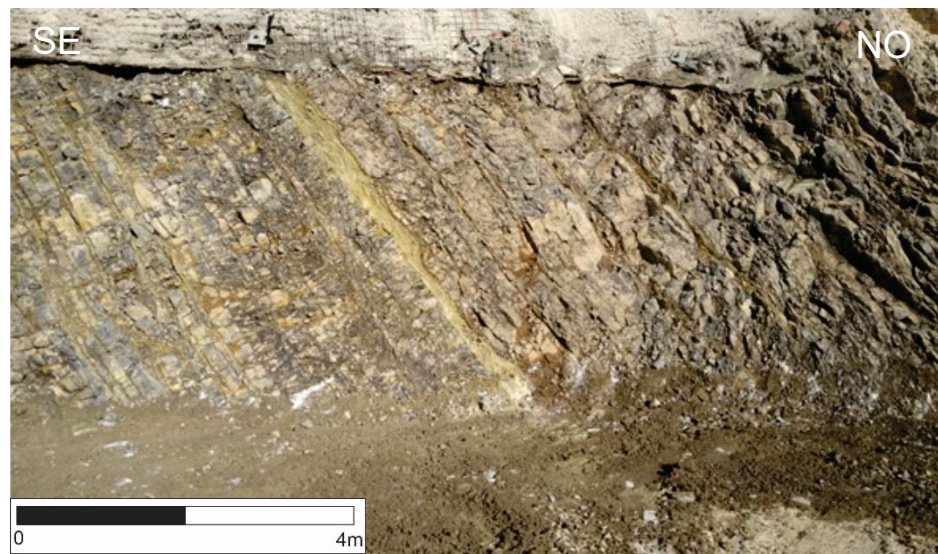


Figura 3.39: En la imagen se observa la intercalación de bancos de arcillas entre los niveles de estratificación.

En dirección hacia el sureste desde el punto anterior, se observa que los planos mantienen la orientación $232^{\circ}/37^{\circ}$, presentando alteración de óxidos de hierro.

Se observa un pliegue anticlinal inclinado, el cual, por su disposición con respecto al plano del talud, genera una sobre excavación, el flanco derecho tiene una orientación de $312^{\circ}/45^{\circ}$ y el flanco izquierdo de $68^{\circ}/80^{\circ}$. La roca se clasificó como tipo III (Regular) (Figura 3.40).

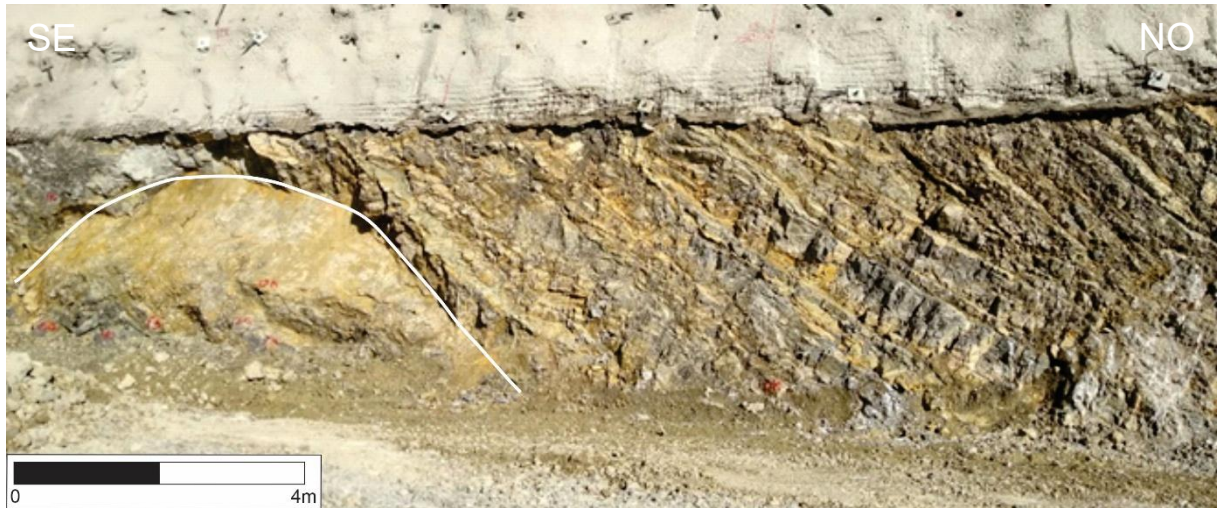


Figura 3.40: En la imagen se indica con trazo continuo de color blanco el pliegue anticlinal donde se observa la zona de desprendimiento.

Continuando en dirección al sureste sobre el mismo talud, se observa un pliegue sinclinal inclinado, asimétrico, con el flanco derecho con una orientación de $47^{\circ}/25^{\circ}$ y el flanco izquierdo de $285^{\circ}/60^{\circ}$, el cual, genera que la roca se encuentre descomprimida. Sobre el flanco izquierdo se observa una falla inversa con desplazamiento de estratificación $270^{\circ}/40^{\circ}$. La roca se clasificó como tipo IV (Mala) (Figura 3.41).



Figura 3.41: En la imagen se indica con trazos continuos de color blanco los de pliegues anticlinal y sinclinal.

Desde el último punto de observación en dirección sureste se observan los estratos uniformes con una orientación $272^{\circ}/60^{\circ}$, los cuales presentan intercalaciones de arcilla pardo verdosa con un espesor de 0,30 m aproximadamente, también venillas de calcita recristalizada y óxidos de hierro. La roca se clasificó como tipo III (Regular) (Figura 3.42).

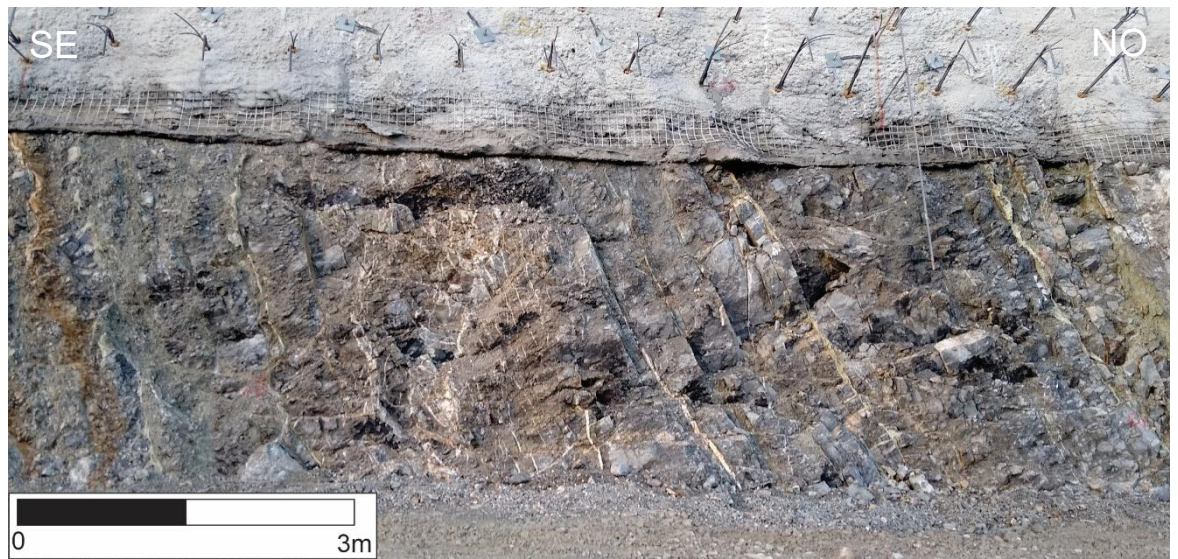


Figura 3.42: En la imagen se observan los planos de estratificación y la zona con venillas de calcita.

Continuando sobre el mismo talud en dirección sureste desde el último punto, se observa un sistema de pliegues anticlinales inclinados, con sus flancos izquierdo con una orientación de $115^{\circ}/83^{\circ}$ y sus flancos derecho $270^{\circ}/65^{\circ}$ y sinclinales inclinados con sus flancos derecho $110^{\circ}/87^{\circ}$ y sus flancos izquierdo es $277^{\circ}/55^{\circ}$, donde la roca se encuentra con alteraciones de óxidos de hierro y manganeso. La roca, que este sector se encuentra descomprimida, se clasificó como tipo III (Regular) (Figura 3.43).



Figura 3.43: En la imagen se indican con trazos continuos de color blanco los pliegues anticlinales y sinclinales inclinados.

En el talud que se encuentra entre las cotas 1204 m y 1199 m, el macizo se clasificó según Bieniawski como tipo III (Regular). Se observa un basculamiento en los planos de estratificación, formando un pliegue sinclinal con una orientación, en el flanco izquierdo de $280^{\circ}/70^{\circ}$ y en el flanco derecho de $24^{\circ}/30^{\circ}$ (Figura 3.44).



Figura 3.44: Se indica con trazos continuos de color blanco, los planos del pliegue sinclinal.

Sobre el talud entre las cotas 1198 m y 1202 m, se observan unos pliegues asimétricos los cuales son, un anticlinal inclinado con una orientación del flanco derecho $290^{\circ}/40^{\circ}$ y el flanco izquierdo a $70^{\circ}/72^{\circ}$, continuando un pliegue sinclinal con el flanco derecho con $63^{\circ}/64^{\circ}$ y el flanco izquierdo $319^{\circ}/35^{\circ}$, también se observa una falla con una orientación de $80^{\circ}/82^{\circ}$ sobre el flanco derecho del pliegue anticlinal, se caracterizó el macizo como de tipo III (Regular) (Figura 3.45).



Figura 3.45: Se señala con trazos continuos de color blanco los dos pliegues asimétricos que se identificaron y con trazos de color rojo se indica la falla que corta el flanco derecho del pliegue anticlinal.

En la zona de remate del Aliviadero, en el talud que se encuentra entre las cotas 1202 m y 1198 m, se observa una roca fragmentada debido a las malas condiciones, que incluyen alteraciones e intercalaciones de arcillas bentoníticas de color verdoso con un espesor que varía entre los 0,10 m a 0,40 m con una orientación de $300^{\circ}/65^{\circ}$ (Figura 3.46).



Figura 3.46: En la imagen se observa la zona del remate del talud, donde se observa la intercalación planar de arcillas bentoníticas.

En el talud que se encuentra entre las cotas 1194 m y 1191 m, se observa una falla inversa con una orientación de $210^{\circ}/77^{\circ}$. Los estratos de $285^{\circ}/70^{\circ}$, presentan alteraciones de óxidos de hierro, e intercalaciones de arcillas pardo amarillentas y venillas de calcita. Se clasificó la roca según Bieniawski como tipo III (Regular) (Figura 3.47).

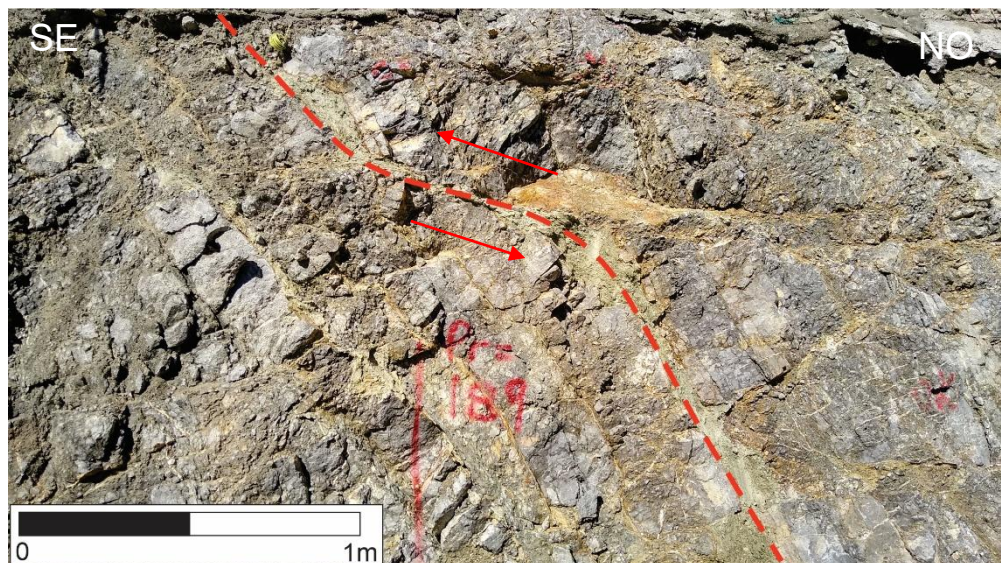


Figura 3.47: Se indica la falla con trazos discontinuos donde se muestra el desplazamiento de los planos de estratificación.

Desde el punto anterior en dirección hacia el noroeste, se observa que los planos $127^{\circ}/60^{\circ}$, son atravesados por una familia de fallas subparalelas de orientación F1 $310^{\circ}/65^{\circ}$ y la F2 $325^{\circ}/47^{\circ}$, las cuales generan descompresión sobre el macizo y alteraciones de óxidos de hierro (Figura 3.48).



Figura 3.48: En la imagen se indica con trazos discontinuos de color rojo las dos fallas sobre el talud, con trazos continuos de color blanco se indica el desplazamiento en los planos de estratificación.

Subzona de aliviadero afectada por deslizamientos

Sobre la zona del Aliviadero se produjo un deslizamiento, el cual abarcó desde la cota 1248 m a cotas inferiores. Este proceso estuvo relacionado a la orientación desfavorables de las estructuras de plegamiento respecto de los taludes y a la calidad del macizo rocoso.

Como medida de mitigación se realizó un nuevo diseño de taludes en base a estudios geológicos y geofísicos del macizo.

En el talud que se encuentra entre las cotas 1263 m a la 1258 m, se observa una roca descomprimida que presenta alteraciones de óxidos de hierro y manganeso, el sistema de diaclasas se encuentra conformado por D-1 $30^{\circ}/85^{\circ}$, D-2 $97^{\circ}/57^{\circ}$ y D-3 $128^{\circ}/46^{\circ}$ las cuales se encuentran abiertas sin relleno, y de forma transversal con respecto a los planos de estratificación E1 $305^{\circ}/32^{\circ}$ y E2 $293^{\circ}/37^{\circ}$, dicha disposición genera un alto nivel de fracturamiento sobre el macizo, la roca se clasifica según Bieniawski como tipo IV (Mala) (Figura 3.49).

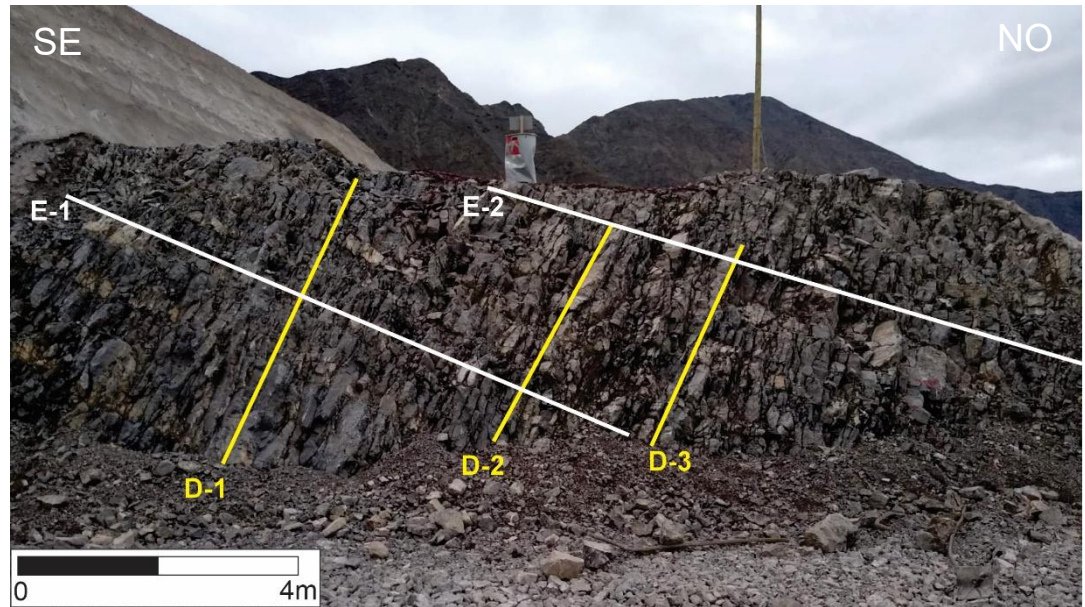


Figura 3.49: En la imagen se indican con trazos continuos de color blanco los planos de estratificación y con color amarillo los planos de diaclasa abiertos.

El talud entre las cotas 1258 m y 1254 m presenta similares características que el talud anterior, una roca descomprimida con alteraciones de óxidos de hierro, un sistema de diaclasa con planos abiertos, D1 $195^{\circ}/67^{\circ}$, D2 $215^{\circ}/80^{\circ}$ y D3 $120^{\circ}/50^{\circ}$, las cuales están transversales a los planos de estratificación E1 $285^{\circ}/33^{\circ}$, E2 $290^{\circ}/30^{\circ}$ y E3 $300^{\circ}/32^{\circ}$, algunos de estos presentan intercalación de arcillas bentónicas pardas verdosas (Figura 3.50 A). El macizo se clasificó según Bieniawski como roca tipo IV (Mala).

Desde el punto anterior en dirección hacia el sureste (Figura 3.50 B), se observan dos fallas locales las cuales tienen orientaciones F1 $145^{\circ}/60^{\circ}$ y F2 $133^{\circ}/75^{\circ}$, debido a su disposición con respecto a la estratificación en ambos bloques, fueron considerados normales las cuales provocaron un desplazamiento.

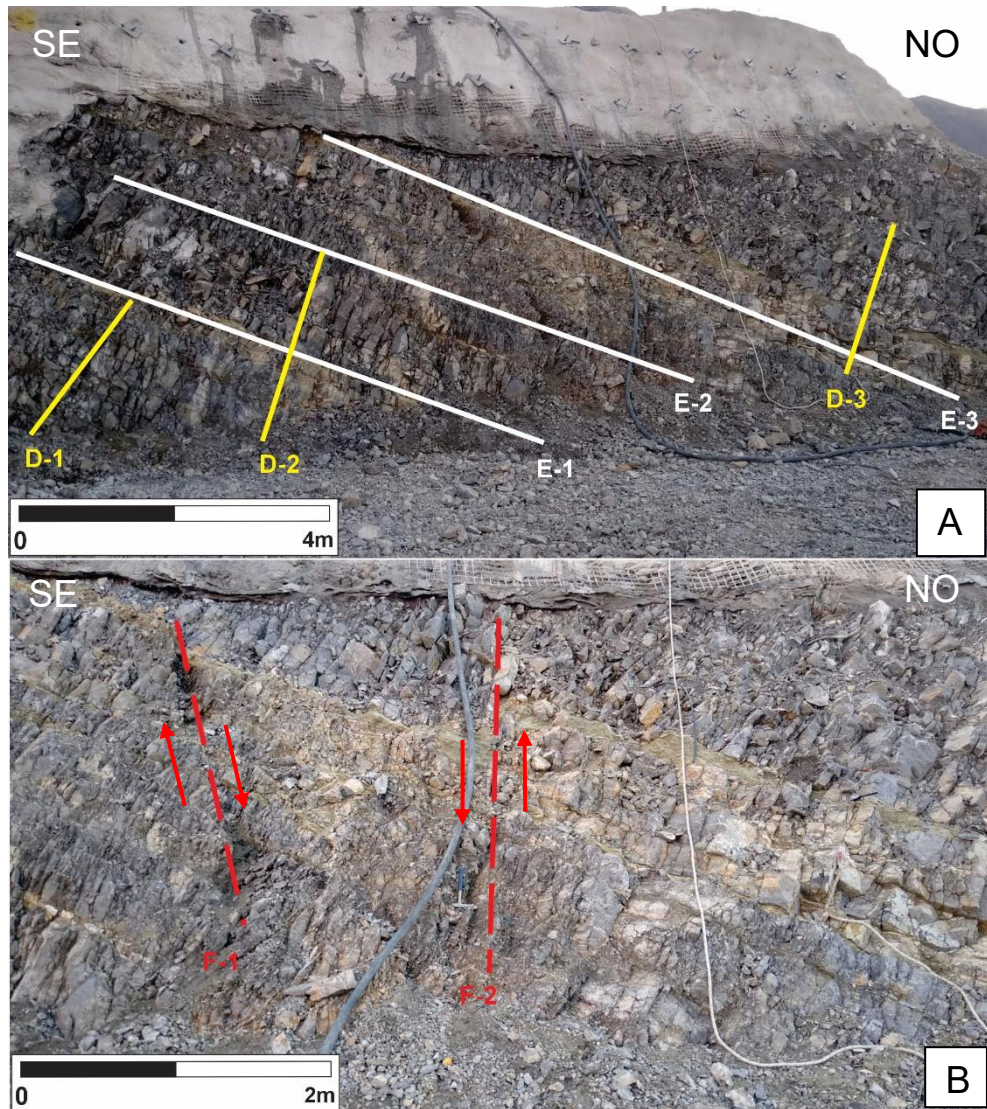


Figura 3.50: En (A), se indica con trazos continuos de color blanco los planos de estratificación y con color amarillo los planos de diaclasas. En (B) se indica con trazos discontinuos de color rojo la disposición de las fallas locales identificadas sobre el talud.

Sobre el talud que se encuentra entre las cotas 1261 m y 1254 m, aflora un pliegue anticlinal inclinado donde el flanco izquierdo tiene una orientación de $30^{\circ}/40^{\circ}$ y en el flanco derecho en $335^{\circ}/46^{\circ}$. La roca se clasificó según Bieniawski como tipo III (Regular). Los planos de estratificación presentan óxidos de hierro y una roca fracturada (Figura 3.51 A).

En dirección hacia el noroeste la roca se encuentra descomprimida y fragmentada, con la estratificación en $288^{\circ}/33^{\circ}$, de espesor variable de 0,2 m a 0,4 m. Se observan alteraciones de óxidos de manganeso y entre los planos intercalaciones de arcillas pardo verdosas con un espesor de 0,3 m (Figura 3.51 B).



Figura 3.51: En (A) se indica con trazos continuos de color blanco la disposición del pliegue anticlinal inclinado. En (B) con trazos continuos de color blanco se indican la disposición de los planos de estratificación, y se observan las intercalaciones de arcillas pardo verdosas.

En el talud ubicado entre las cotas 1255 m y 1248 m, continúa aflorando el pliegue anticlinal inclinado observado sobre el talud superior, con un eje en dirección noreste, donde el flanco izquierdo tiene una orientación de $55^{\circ}/75^{\circ}$ y el flanco derecho de $50^{\circ}/53^{\circ}$.

A su vez se observan dos fallas locales ubicadas sobre el flanco derecho del pliegue, de orientación F1 $105^{\circ}/72^{\circ}$ y la F2 $291^{\circ}/70^{\circ}$, generando una estructura de cuña en los estratos de $55^{\circ}/75^{\circ}$, los cuales tienen espesores que varían entre 0,2 m a 0,4 m. La roca presenta alteraciones de óxidos de hierro y manganeso, en líneas generales se clasifica según Bieniawski como roca tipo III (Regular) (Figura 3.52 A).

En dirección hacia el noreste se observa una roca fragmentada. La estratificación presenta intercalaciones de arcillas, las que tienen una orientación $307^{\circ}/38^{\circ}$ y alteraciones de óxidos de hierro. Se clasifica según Bieniawski como roca tipo IV (Mala) en este sector (Figura 3.52 B).

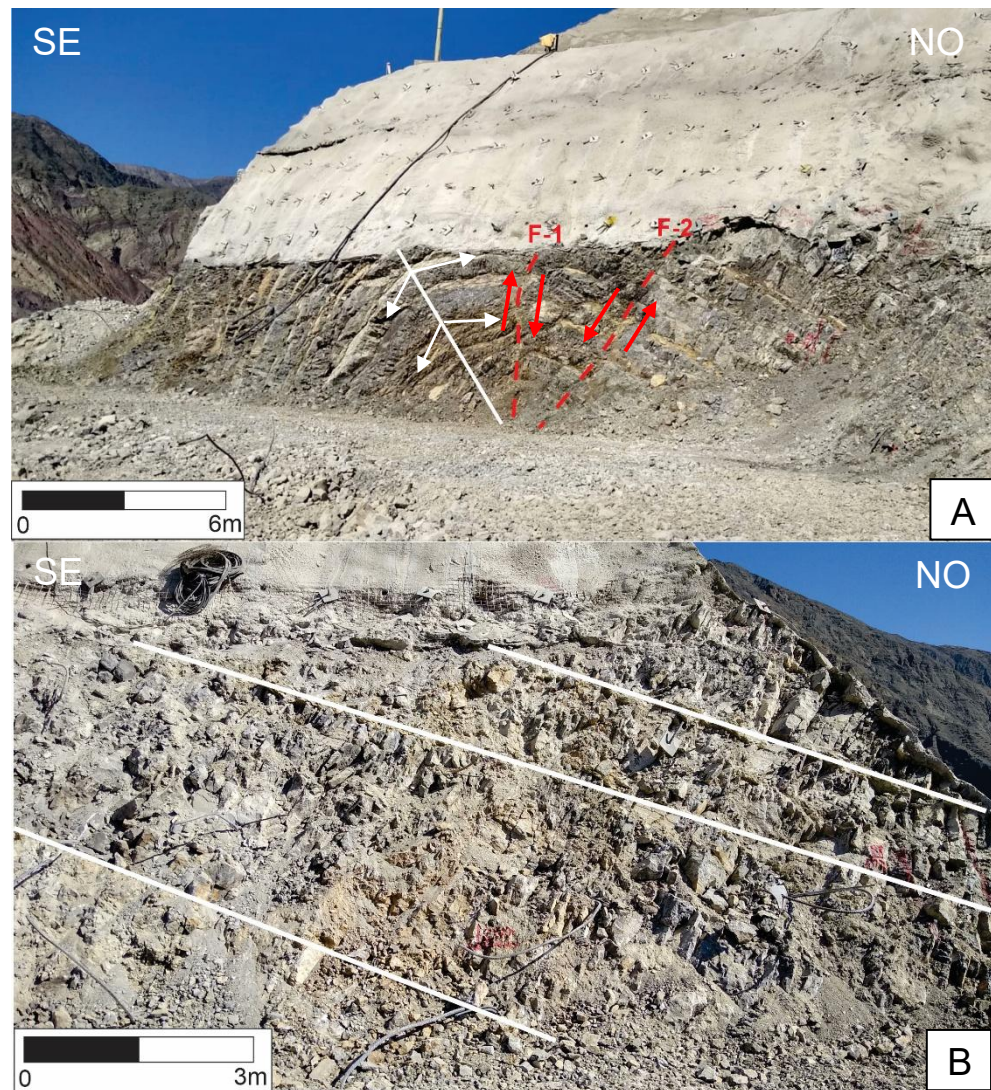


Figura 3.52: En (A), se indica con trazos continuos de color blanco la posición del pliegue anticlinal inclinado y con trazos discontinuos de color rojo las fallas locales que generan una cuña. En (B), se indica con trazos continuos de color blanco los planos de estratificación se aprecia la fragmentación del macizo con las alteraciones de óxidos de hierro y manganeso.

En el talud que se encuentra entre las cotas 1248 m y 1242 m, se continúa observando el pliegue anticlinal con el flanco izquierdo con una orientación de $343^{\circ}/45^{\circ}$, el flanco derecho con $63^{\circ}/50^{\circ}$. En la Figura 3.53 A, la zona de remate en dirección hacia el sureste, se comienza observar un pliegue sinclinal inclinado, evidenciado por un cambio en la orientación, de los planos de estratificación $320^{\circ}/43^{\circ}$, los cuales tienen intercalaciones de arcillas pardo verdosas de un espesor de 0,30 m. Se clasificó a partir Bieniawski como roca tipo IV (Mala).

Hacia el noreste desde el punto anterior (Figura 3.53 B), la roca se encuentra fragmentada, la estratificación $63^{\circ}/50^{\circ}$, con intercalaciones de arcillas. También existen alteraciones de óxido de hierro. Los planos de diaclasa se orientan $132^{\circ}/65^{\circ}$ de forma transversal a los planos de estratificación. En líneas generales es clasificada según Bieniawski como roca tipo IV (Mala).



Figura 3.53: En (A) se observan los flancos verticales del pliegue sinclinal al SE en la zona de remate del talud. En (B), se observan los planos de estratificación con alteraciones de óxidos de hierro.

Sobre el talud entre las cotas 1233 m y 1227 m, el macizo se clasificó como tipo III (Regular), el cual presenta planos de estratificación $310^{\circ}/53^{\circ}$ con un fino nivel con débil alteración de óxidos de hierro. Los planos de diaclasa tienen una orientación de $143^{\circ}/33^{\circ}$ (Figura 3.54 A). En dirección hacia el sureste desde el último punto, el macizo se clasificó como tipo IV (Mala), debido a la disposición de los planos de estratificación, con respecto a la posición del talud (Figura 3.54 B).

Los planos de estratificación, con $35^{\circ}/42^{\circ}$, los cuales se encuentran atravesados por dos fallas locales con orientación F1 $282^{\circ}/75^{\circ}$ y F2 $133^{\circ}/60^{\circ}$. Presentan alteraciones de óxidos de hierro e intercalaciones de arcillas, dichas condiciones generaron un deslizamiento en el sector.

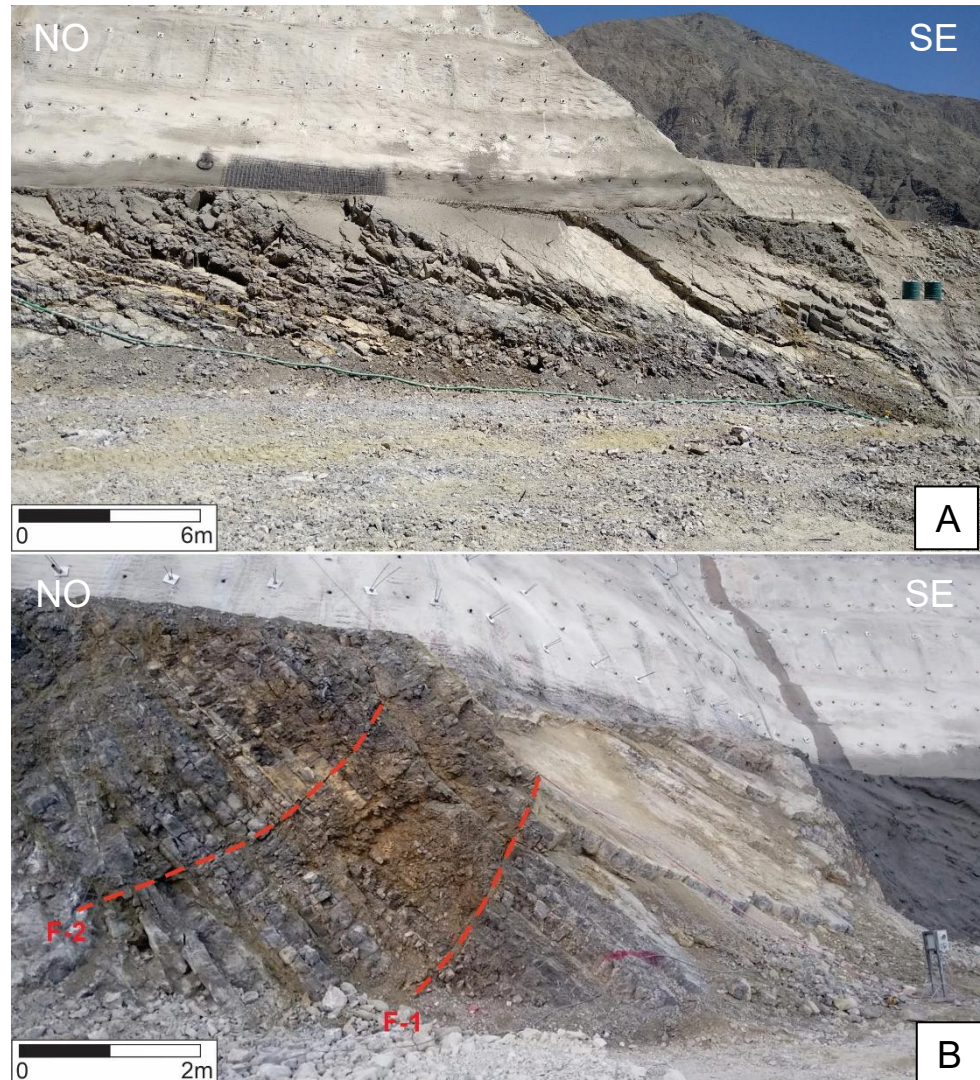


Figura 3.54: En (A) se observa la disposición de los planos de estratificación, en (B) con trazos discontinuos de color rojo se indican las dos fallas locales, que atraviesan los planos de estratificación de forma transversal provocando un deslizamiento.

Sobre el talud, entre las cotas 1227 m y 1222 m se observa un pliegue sinclinal inclinado, con planos de estratificación con una orientación en el flanco izquierdo de $65^{\circ}/43^{\circ}$ y el flanco derecho $293^{\circ}/33^{\circ}$, los cuales presentan intercalaciones de arcillas y óxidos de hierro. Estos se encuentran cortados por una falla local que atraviesa de forma transversal con una orientación $135^{\circ}/66^{\circ}$, la cual genera desprendimiento debido a la posición con respecto a la geometría del talud (Figura 3.55).



Figura 3.55: Se indica con trazos continuos de color blanco los planos de estratificación, con trazos discontinuos de color rojo la falla local que atraviesa de forma transversal a los planos de estratificación.

En el talud entre las cotas 1223 m y 1218 m, se clasificó la roca a partir de Bieniawski como tipo III (Regular), debido a que el talud se encuentra sobre un pliegue anticlinal volcado. La estratificación presenta un nivel de intercalación de arcilla con un espesor de 0.20 m, El flanco derecho tiene una orientación de $43^{\circ}/31^{\circ}$ y el flanco izquierdo $30^{\circ}/28^{\circ}$ (Figura 3.56).



Figura 3.56: En la imagen se indica con trazos continuos de color blanco la posición del pliegue anticlinal inclinado.

En el talud que se encuentra entre las cotas 1218 m y 1216 m, se observa un basculamiento en los planos de estratificación, producto de una falla local con orientación $133^{\circ}/48^{\circ}$ formando un pliegue sinclinal inclinado. En este, los planos de estratificación tienen una orientación $284^{\circ}/59^{\circ}$ en el flanco izquierdo y en el flanco derecho $76^{\circ}/28^{\circ}$ (Figura 3.57).

Luego en dirección hacia el noreste se observa una segunda falla F2 $195^{\circ}/45^{\circ}$, la cual genera pequeñas deformaciones, donde el plano de estratificación que se mantiene con $52^{\circ}/33^{\circ}$.



Figura 3.57: Se indican con trazos continuos de color blanco los planos de estratificación y con trazos discontinuos de color rojo las dos fallas locales.

Continuando hacia el suroeste del perfil, en el punto 7 (Figura 3.10), ubicado en el margen izquierdo (oriental) del río San Juan, se describen depósitos de sedimentos de planicie aluvial. Conformados por arenas y gravas gruesas a finas de clastos subredondeados, de volcanitas y plutonitas ácidas provenientes de Cordillera Frontal, también se, encuentran sedimentitas paleozoicas de Precordillera, con clastos subangulosos debido a que en general tienen menos transporte (Yamin 2007) (Figura 3.58).



Figura 3.58: En la Imagen se indica con líneas naranjas continuas la zona donde se realizó el estudio de los depósitos aluviales.

Sobre estos depósitos se realizaron estudios de suelos con el fin de determinar las características geotécnicas y sedimentarias de los materiales para el relleno de presa, en el sector denominado yacimiento F, a partir de calicatas (Figura 3.59).

El yacimiento, se encuentra sobre un abanico aluvial entre la facies media a las facies distales, con dirección predominante SE-NO, que limita con el cauce del río San Juan.

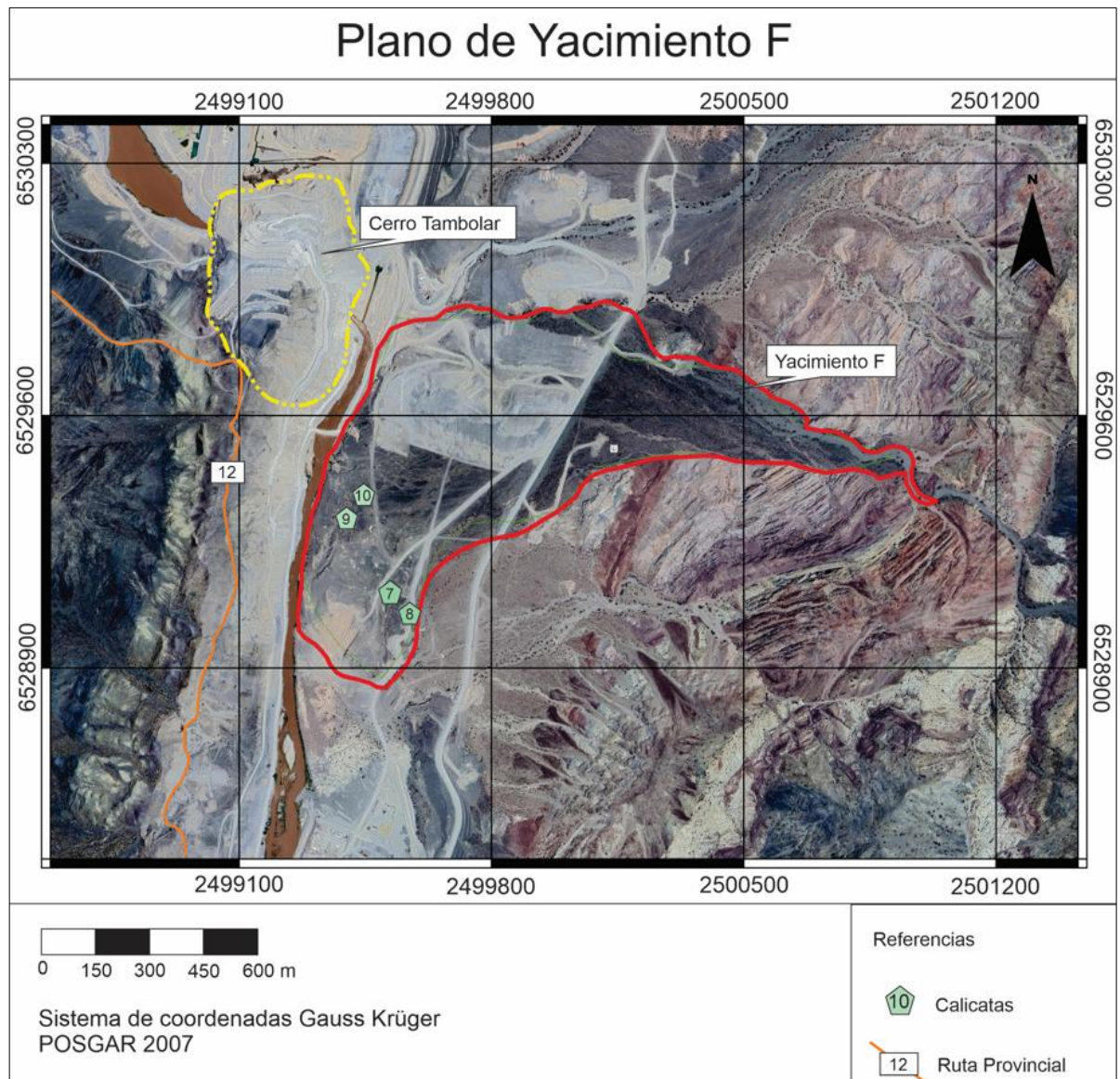


Figura 3.59: Imagen de Google Earth donde se indica con color rojo el abanico aluvial donde se realizaron las calicatas y la ubicación de las calicatas con su nominación correspondiente con señales de color verde, con trazos discontinuos de color amarillo se indica la ubicación del proyecto.

La calicata 07, realizada en seco, tiene una profundidad de 6,5 m, un ancho 5,8 m y un largo 6,10 m (Figura 3.60). Se distinguen tres capas:

Capa 1

En la parte superior, con un espesor aproximadamente de 0,90 m, se observa una capa de gravas finas, y por debajo de esta se presenta un nivel limo arenoso, intercalado con paquetes de arcillas de 20 cm de espesor aproximadamente.

Capa 2

Con un espesor aproximado de 1,35 m se encuentra una grava media con clastos sub redondeados, con un tamaño que varía entre los 3 cm y los 47 cm aproximadamente, con matriz franco limo arenosa, y coloración pardo grisácea.

Capa 3

Con 4,25 m de espesor, corresponde a una grava gruesa con un porcentaje mayor de clastos sub redondeados a angulosos, con tamaños variables desde 17 cm a mayores de 57 cm, con una matriz limosa arenosa con una coloración parda rojiza, y algunos bloques sub redondeados a sub angulosos que varían entre los 42 cm y 112 cm aproximadamente.

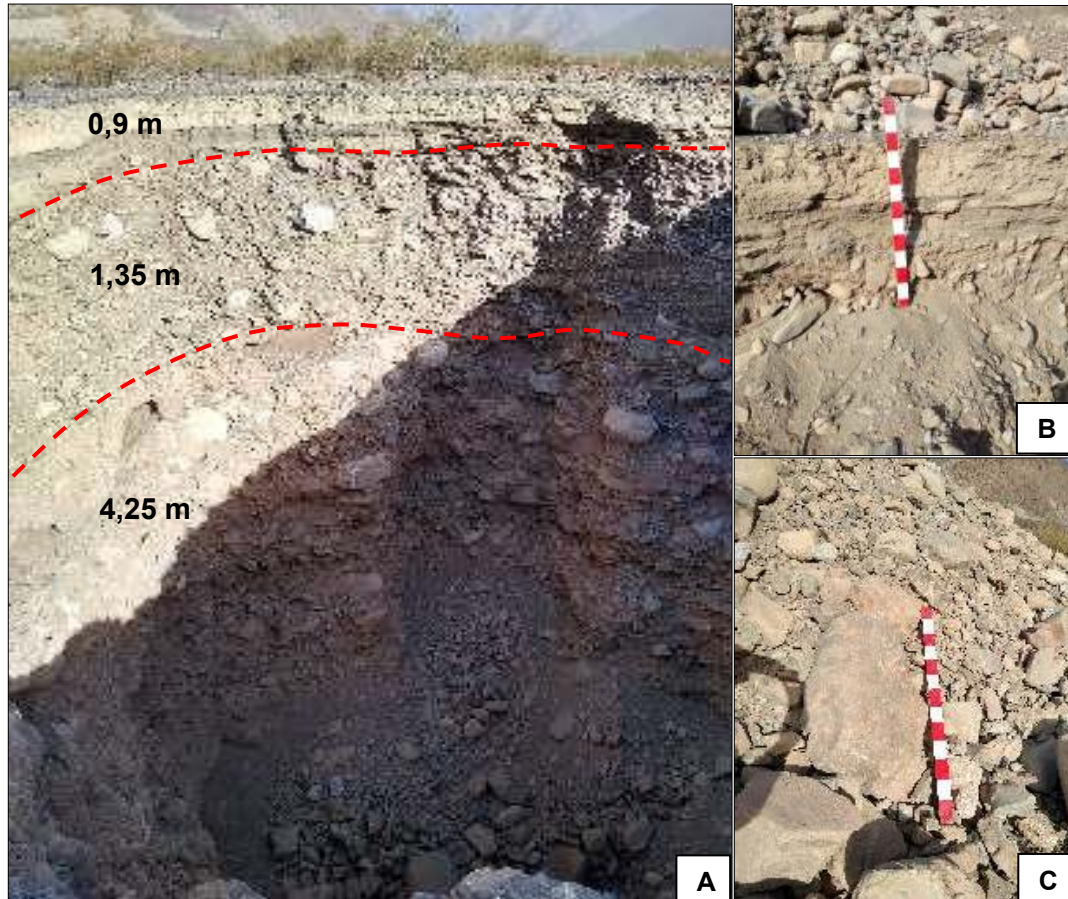


Figura 3.60: En la imagen (A) se observa el perfil de la calicata 07 diferentes capas con sus respectivos espesores, en (B) se indica con la mira el espesor de la capa superior con materiales finos y en (C) se observa material extraído de la calicata donde se puede diferenciar el tamaño y la forma de los bloques extraídos.

En la calicata 08, posee una profundidad de 5,2 m de profundidad, 4,7 m de ancho y 5.1 m de largo se identifican dos capas de (Figura 3.61).

Capa 1

Con un espesor de 3,2 m, se observan gravas medias a gruesas con clastos sub redondeados a sub angulares de 20 cm a 50 cm aproximadamente, con una matriz de arenas media a gruesa y limo.

Capa 2

En la parte inferior, con un espesor de 2 m, se observa una grava media con mayor porcentaje de matriz de arena media a gruesa, con clastos sub angulosos a angulosos.

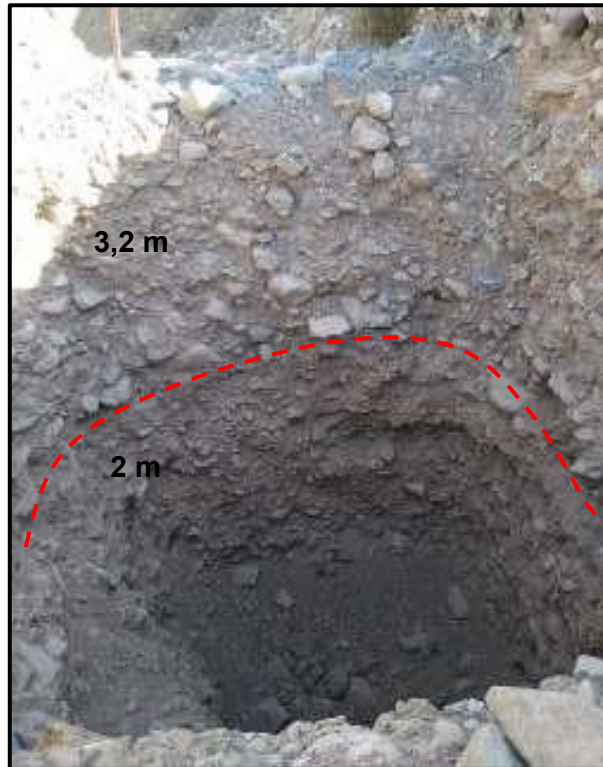


Figura 3.61: En la imagen se indica con trazos discontinuos de color rojo el límite entre las dos capas, también se indica el espesor correspondiente.

En la calicata 9, con una profundidad de 5,2 m, ancho de 6 m y largo de 5,3 m, se identifican dos capas (Figura 3.62).

Capa 1

Con 0,63 m de espesor se observa una grava fina con matriz limo arenosa y clastos sub angulosos con un tamaño variable entre los 2 cm y los 34 cm aproximadamente. En este se percibe la disposición de fábrica horizontal bien marcada.

Capa 2

Son gravas polimícticas con clastos sub angulosos, los cuales varían entre los 7 cm a los 35 cm, y bloques sub redondeados mayores a los 50 cm, en una matriz limo-arenosa de coloración pardo clara.

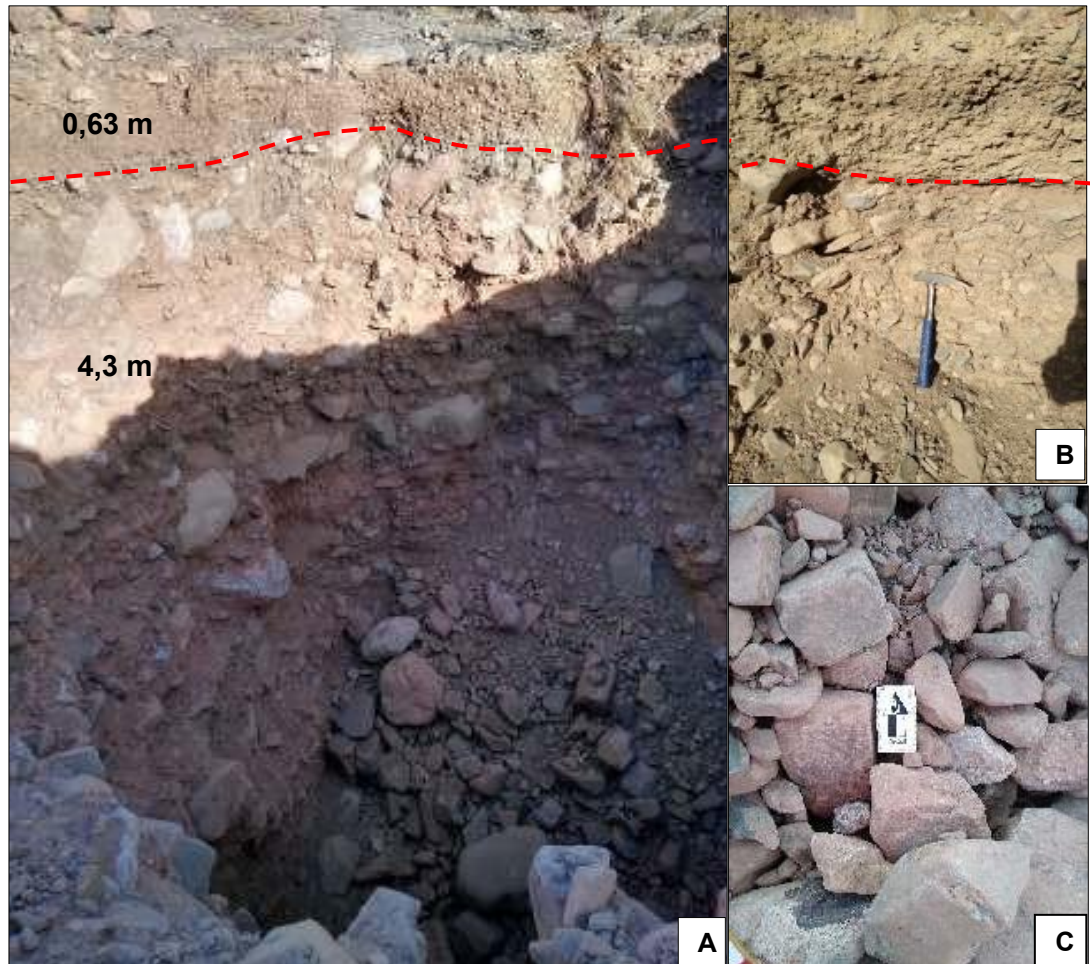


Figura 3.62: En la imagen (A) se observa la calicata, donde se indica con un trazo discontinuo de color rojo el límite entre las dos capas y sus respectivos espesores. En la (B) se observa con más detalle la diferencia entre las capas, el límite se indica con trazo discontinuo de color rojo y en la (C) se observa el material extraído de la calicata 9 donde se observa los clastos y los bochones subredondeados y subangulosos.

En la calicata 10, de 5.2 m de profundidad, 6,4 m de ancho y 6,2 m de largo, se identificaron cuatro capas (Figura 3.63).

Capa 1

Con un espesor de 0,9 m, se observa una capa franco limo arenoso de coloración verdosa con algunos clastos sub angulosos que varían entre 2 cm a 13 cm.

Capa 2

Con un espesor de 0,6 m se observa un material franco limo arenoso, con intercalaciones de arcillas de coloración parda rojiza.

Capa 3

La capa tiene 2 m de gravas polimíctica, con matriz arenosa grisácea con clastos sub redondeados a sub angulosos con tamaños, variables entre 5 cm a 30 cm aproximadamente, estos presentan fábrica matriz soportada y poca selección granulométrica.

Capa 4

En la parte inferior, con 1,7 m de espesor se observa una grava polimíctica media a gruesa con clastos sub angulosos a sub redondeados que varían de 10 a 40 cm con un aumento en la proporción de matriz limo-arenosa de coloración parduzca.

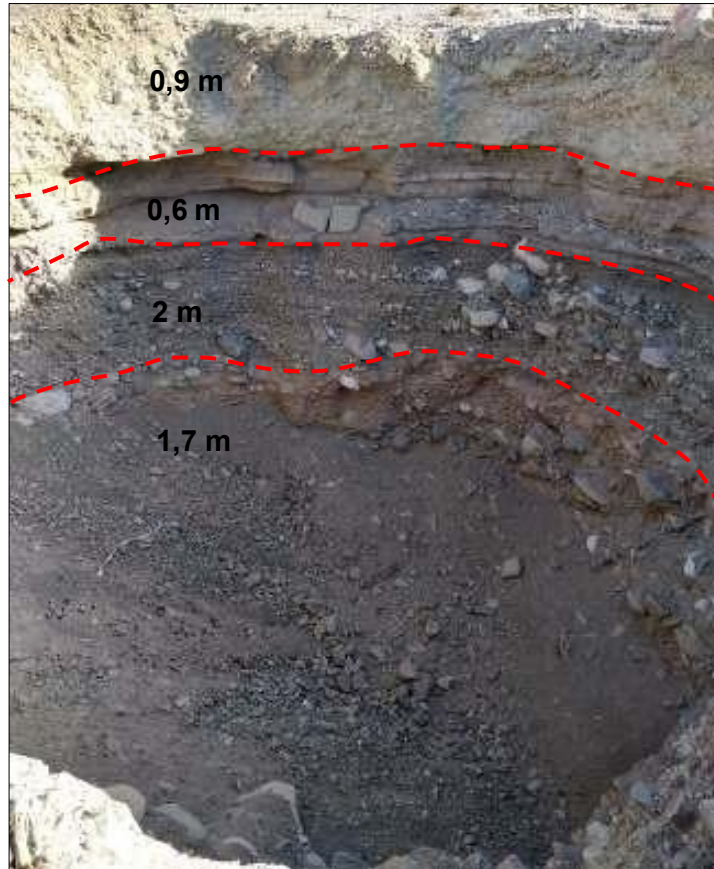


Figura 3.63: En la imagen se indican con trazos discontinuos de color rojo los límites entre las diferentes capas y sus espesores.

Sobre estos depósitos sedimentarios se interpola la falla Tambolar, mencionada en el informe del Análisis Neotectónico en el área del proyecto Tambolar (Perucca 2014b).

Esta falla, fue identificada mientras se realizaban los sondeos en la campaña de exploración en la zona de casa de máquinas, por la contratista Fundaciones Especiales. Durante el desarrollo de los sondeos P3-23, P4-23 y P4(B)-23, a la profundidad de los 41 a 45 metros, se observa el contacto geológico por una falla del tipo inversa, debido a que superpone las calizas de la Formación San Juan, por encima de las areniscas de la Formación Punta Negra. El material de relleno de la falla está conformado por arcillas de tonalidad gris verdosa de un metro de espesor, este material es generado por los movimientos de cizalla, que afectan a las vaques y lutitas (Figura 3.64).



En la Figura 3.64: Se observa a los 45 metros el contacto entre las calizas y vaques con lutitas, en sondeo P4-23. Se muestra el contacto de arcillas verdes oscuras a la profundidad entre los 45 a los 46.20 (zona de cizalla) (Imagen obtenida del informe de la UTE Tambolar).

Continuando en dirección suroeste con el punto 8 (Figura 3.10), se encuentran los afloramientos de areniscas de la Formación La Deheza, de edad Carbonífero medio-superior, las cuales presentan un cambio en la orientación hacia el oeste, en la (Figura 3.65), se observa que los planos de estratificación inclinan hacia el este con una orientación de $297^{\circ}/75^{\circ}$.

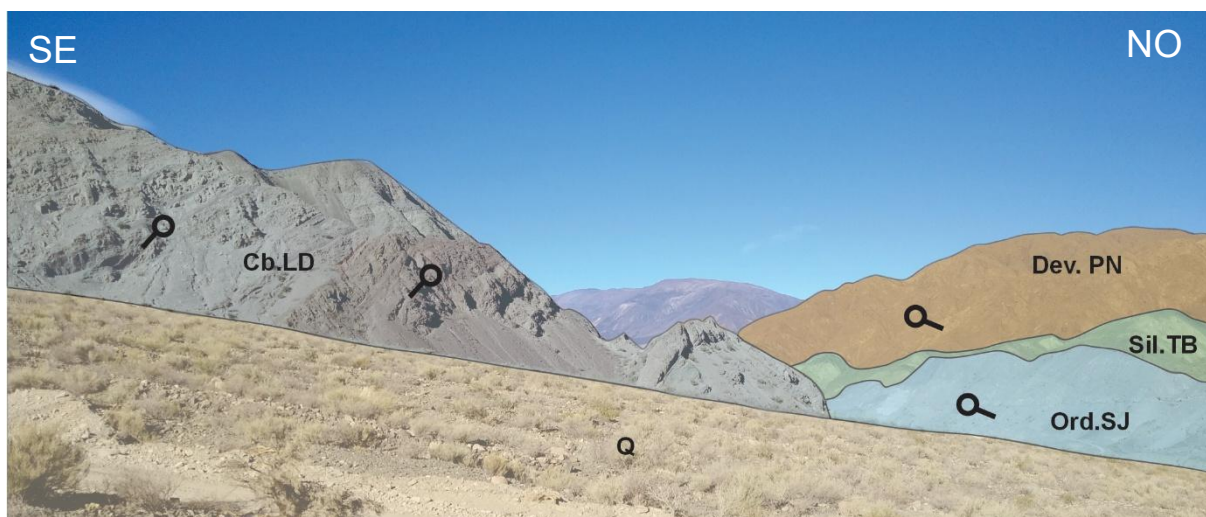


Figura 3.65: En la imagen se indica el cambio en la orientación en los planos de estratificación y la disposición de las diferentes formaciones geológicas del sector. Referencias: OSJ Ordovícico Formación San Juan, ST Silúrico Formación Tambolar, DPN Devónico Formación Punta Negra, CLD Carbonífero Formación La Deheza y Q Depósitos Cuaternario.

En la (Figura 3.66 A), se observan las areniscas gruesas de la Formación La Deheza, con una orientación hacia el este $100^{\circ}/67^{\circ}$, las cuales presentan bancos de coloración verde grisáceo a pardo claro.

Desde el último punto de observación hacia el sureste, se observa que los planos de estratificación de coloración parado, comienzan a verticalizar con una orientación de $310^{\circ}/73^{\circ}$ (Figura 3.66 B).

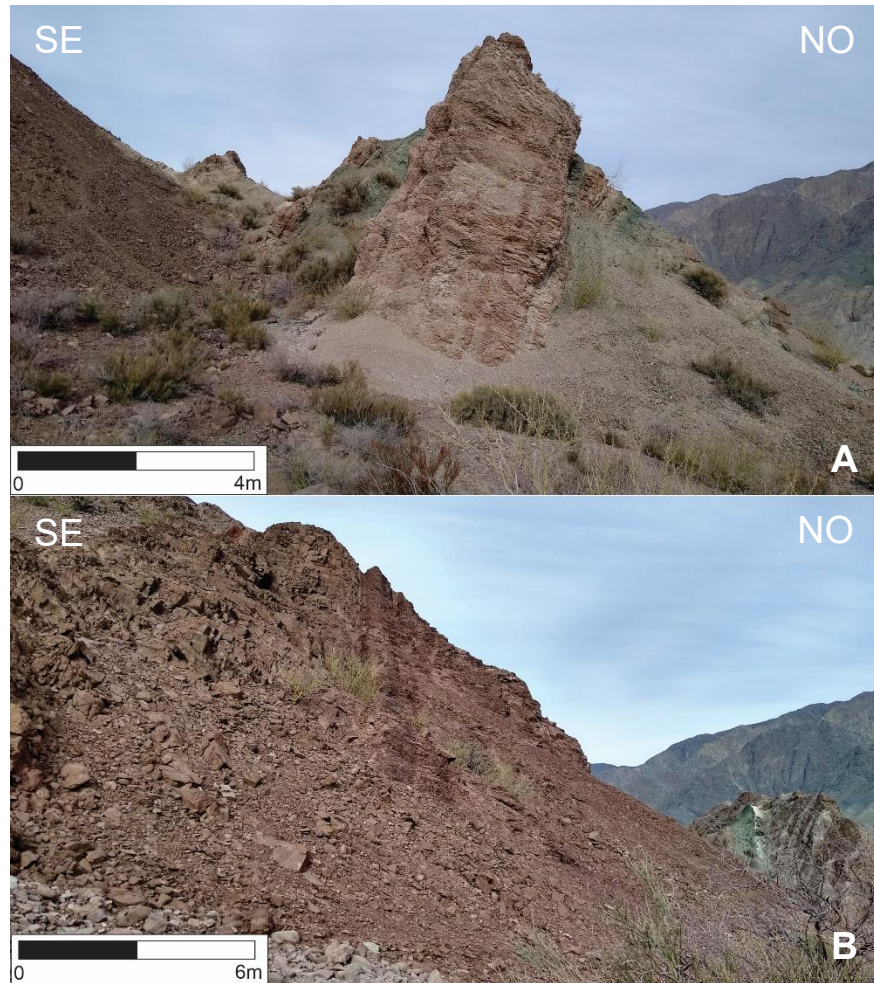


Figura 3.66: En (A) se observa la variación de coloración en los bancos. En (B) se observan los bancos casi verticales de las areniscas.

Considerando las relaciones estratigráficas descritas anteriormente, se proyecta sobre la sección estructural, la relación entre la Formación La Deheza y la Formación San Juan (Figura 3.12), a partir del corrimiento El Tambolar. Esto concuerda con lo mencionado por Alonso (2005), donde el contacto entre estas unidades es a partir del corrimiento, que a través de los movimientos Gondwánicos y luego de los Ándicos superponen a las rocas ordovícicas inferior sobre los afloramientos carboníferos.

IV. GEOTECNIA

Los estudios geomecánicos se realizaron en el cerro Tambolar, el cual está conformado por una secuencia de calizas de la Formación San Juan, donde se reconocieron diferentes estructuras de pliegues anticlinales y sinclinales que afectan al miembro de calizas macizas. En la zona media del cerro se reconoció un sistema de pliegues y fallas menores con rellenos de arcillas bentoníticas pardo verdosas, mientras que en determinados sectores donde afloran los miembros de calizas lajosa y margas varicolores se observaron óxidos de hierro y manganeso.

Dichos estudios se llevaron a cabo en simultaneo con las etapas de excavación a cielo abierto, construcción de los taludes que conforman el aliviadero, y durante la ejecución de excavaciones subterráneas de los diferentes túneles y en galerías.

En las labores subterráneas, en cada avance realizado, se hizo la clasificación del macizo considerando los parámetros del RMR de Bieniawski (1973) (Anexo – Tablas III).

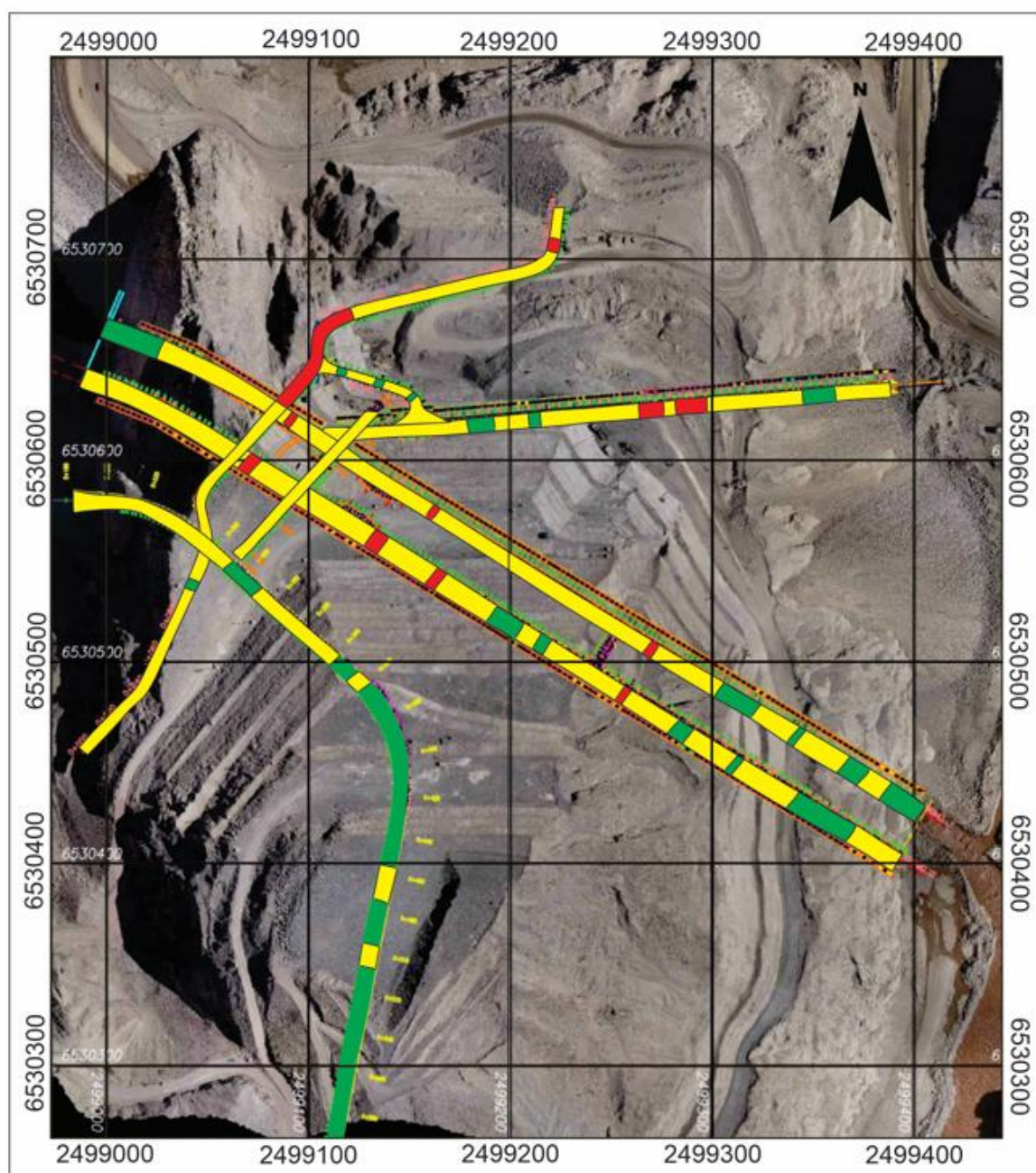
Los datos pertenecen al túnel de conducción, en el tramo que se encuentra entre las progresivas 345 m a la 580 m, túnel de acceso a obra de toma, túnel de acceso al pozo de compuertas, galerías de inyección GD2, túnel de acceso a GD2, túnel de acceso a galería de inyección y los túneles de desvío 1 y 2 (Figura 4.1).

A partir de estas clasificaciones se generó un plano, donde se indica a través de colores las calidades de la roca, las cuales son: Buena (color verde), Regular (color amarillo) y Mala (color rojo).

Los datos de clasificación de RMR que corresponde a los Túneles de desvío 1 y 2 y el túnel de Acceso a Galería de Inyección GD2, se realizó a través de los datos ploteados en los planos, donde en cada avance se indicó la calidad del macizo (Figura 4.2).

Los relevamientos que se realizaron en las excavaciones de cielo abierto, fueron a partir de ventanas geotécnicas en zonas puntuales del macizo teniendo en cuenta el análisis de estabilidad de SMR (Romana 1985), durante la etapa de excavación de los taludes en la zona del aliviadero (Figura 4.3).

Plano de clasificación R.M.R



0 30 60 90m

Sistema de coordenadas Gauss Krüger
POSGAR 2007

Figura 4.2: En la imagen se indica las distintas calidades de rocas definidas a partir del RMR de Bieniawski (1989) con diferentes colores: Tipo 2 - Buena (verde), Tipo 3 - Regular (amarillo) y Tipo 4 - Mala (rojo).

Plano de ubicación de las ventanas geotécnicas

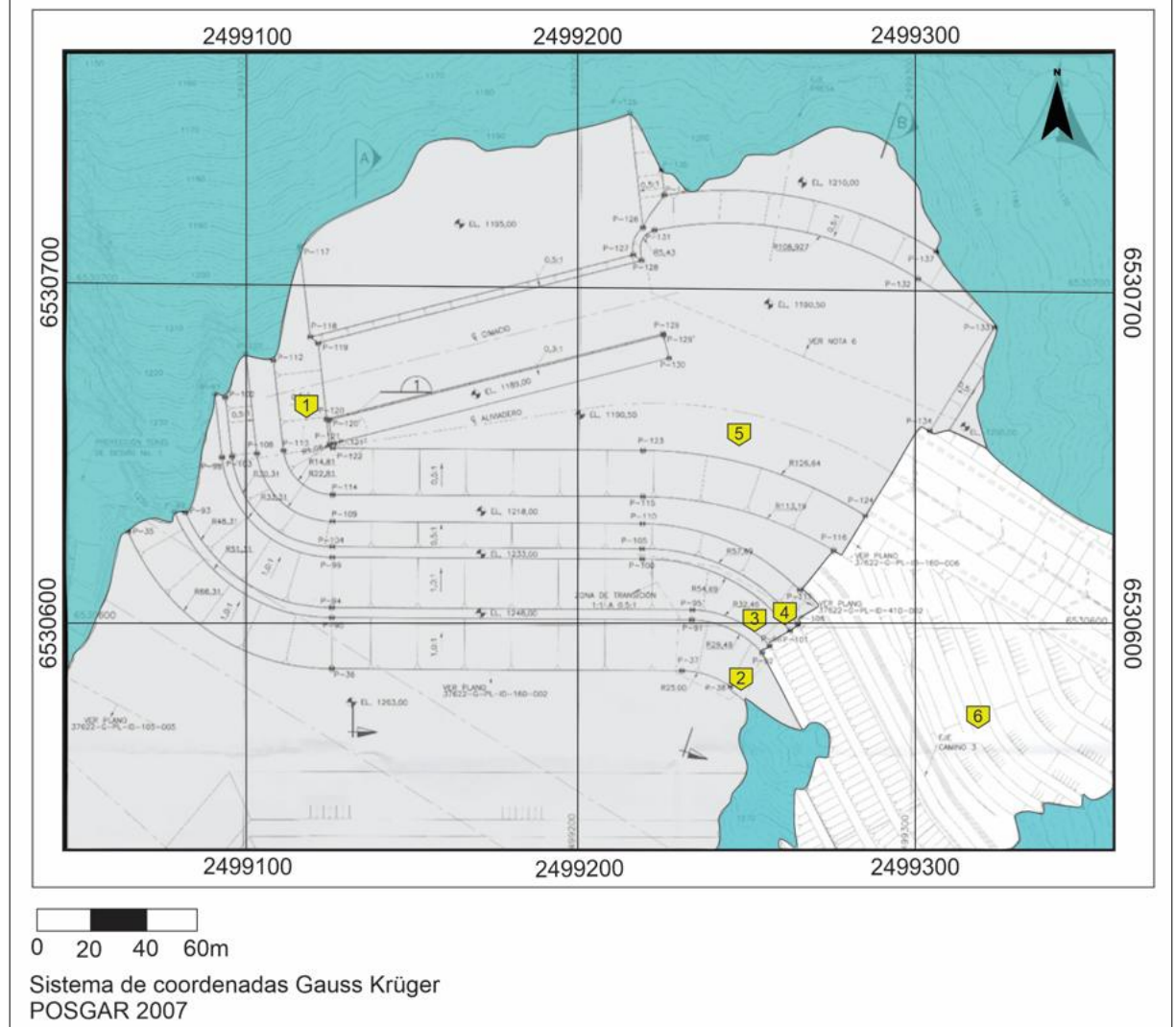


Figura 4.3: Se indica en el plano con color gris el diseño en planta del Aliviadero y con color blanco el diseño de planta de la Rápida, en los cuales se indica la ubicación de las ventanas geotécnicas. Fuente planos de diseño de construcción de Aliviadero Excavación-Planta y Secciones. Obra El Tambolar.

Mediante el software Dips 7.0, se obtienen las proyecciones estereográficas de cada uno de los planos, como así también el análisis de cada uno de los polos en particular. Mediante este análisis se determina la probabilidad de que alguno de los sistemas de rotura (plana, cuñas y vuelco) suceda.

Las discontinuidades son representadas en estereogramas, lo que nos permiten determinar la estabilidad del macizo rocoso, asumiendo como hipótesis principal que los modos de rotura se generan a través de las discontinuidades preexistentes (Hawley *et al.* 1985).

En cada ventana se indica la orientación de las familias de discontinuidades, a partir de (Dbz/Bz) y se representan en un estereograma para su análisis.

A dicho análisis se vinculan las clasificaciones RMR (Bieniawski 1973) y SMR (Romana 1985) para establecer los parámetros para la estabilidad del talud.

Para el análisis de las discontinuidades en los estereogramas se tiene en cuenta el tipo de mecanismo de ruptura, el cual se analiza a partir de:

Falla Plana

Se llama falla planar o plana a la que produce el deslizamiento a través de una única superficie plana preexistente que puede ser la estratificación, junta tectónica, una falla, etc.

La condición es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud en la misma dirección, cumpliendo la condición que la discontinuidad debe estar descalzada por el talud, su buzamiento debe ser mayor al ángulo de rozamiento interno (Herrera 2000) (Figura 4.4).

Este tipo de rotura no es frecuente, ya que debe cumplir las condiciones siguientes:

- Los rumbos o trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de 20° .
- El plano de deslizamiento debe interceptar a la cara del talud, es decir, la inclinación del plano de la discontinuidad (α) debe ser menor que la inclinación de la cara del talud (ψ).
- La inclinación del plano de la discontinuidad debe ser mayor que el ángulo de fricción (ϕ) de ese plano.

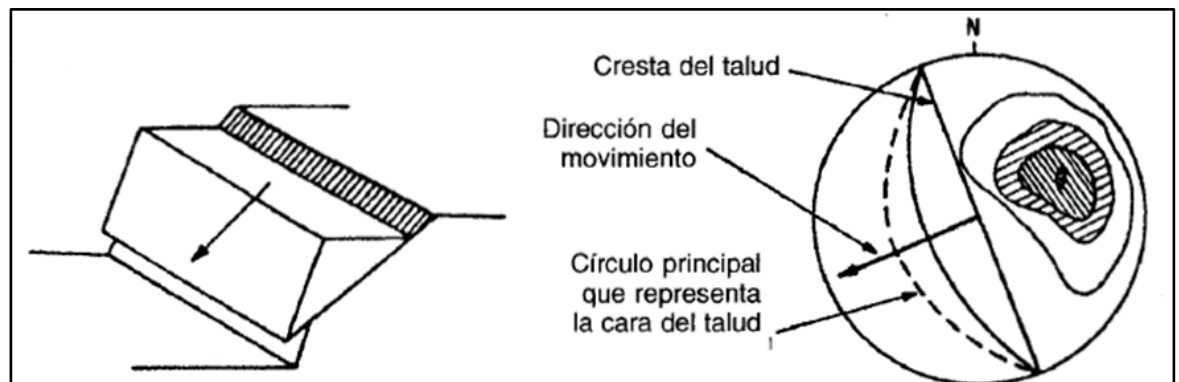


Figura 4.4: Tipo de rotura por falla planar. A la derecha la representación estereográfica de los planos, y curvas de concentración de polos (Tomado de Vargas Cuervo 2000).

Rotura por cuñas

Se llama falla por cuña, cuando se produce a partir del desplazamiento de un bloque con dicha forma, constituido por dos discontinuidades oblicua a la superficie del talud, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido desfavorable (Herrera 2000).

Para que se produzca este tipo de rotura se debe cumplir que $\psi > \alpha > \phi$, siendo α en este caso el buzamiento de la línea de intersección (Figura.4.5).

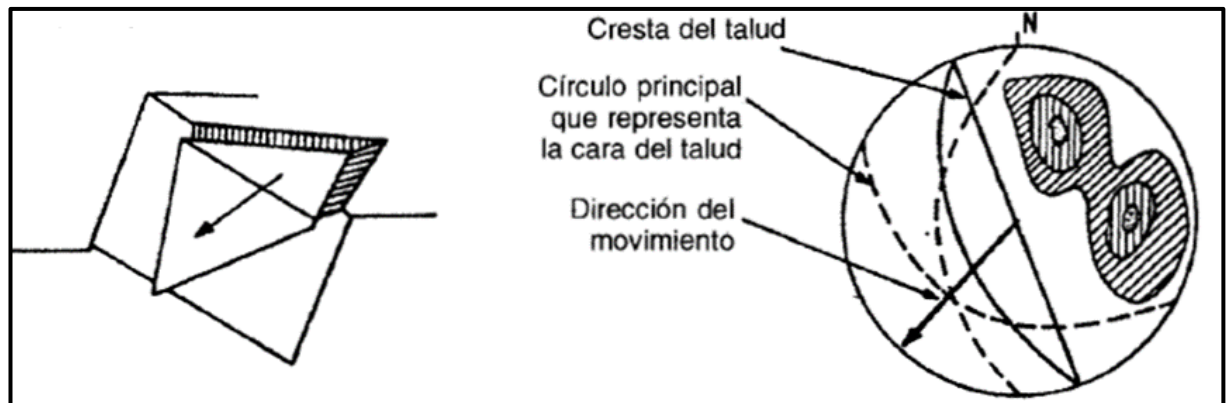


Figura 4.5: Tipo de rotura por falla por cuñas A la derecha la representación estereográfica de los planos, y curvas de concentración de polos (Tomado de Vargas Cuervo 2000).

La dirección del desplazamiento es la de la intersección de las dos familias de discontinuidades y ha de tener menos inclinación que el talud.

Vuelco de estratos

Se producen en taludes donde los estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo. En general, los estratos aparecen fracturados en bloques a favor de sistemas de discontinuidades perpendiculares entre sí.

Este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de los bloques, y la estabilidad de los mismos no está únicamente condicionada por su resistencia al deslizamiento (González de Vallejo *et al.* 2002).

Solo se puede producir vuelco en planos cuyo rumbo difiere menos de 30° del rumbo del talud (Figura 4.6).

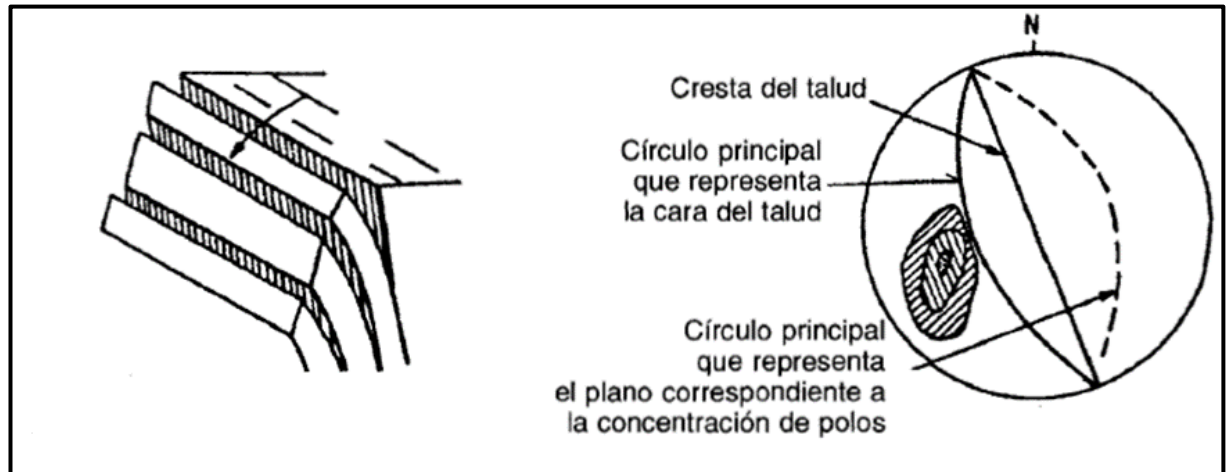


Figura 4.6: Tipo de rotura por falla por vuelco. A la derecha la representación estereográfica de los planos, y curvas de concentración de polos (Tomado de Vargas Cuervo 2000)

Clasificación geomecánica SMR para taludes

La clasificación geomecánica SMR ("*Slope Mass Rating*") fue desarrollado por Romana *et. al.* (2001), para evaluar la estabilidad de los taludes rocosos. Su índice se obtiene corrigiendo RMR básico de Bieniawski (1989), a través de una serie de factores dependientes de la geometría del talud y de las discontinuidades, añadiendo otro factor dependiente del método de excavación mediante la expresión:

$$\text{SMR: RMR}_{\text{básico}} + (F1 * F2 * F3) + F4 \quad [1]$$

Donde:

- F1, depende del paralelismo entre la dirección de buzamiento de las discontinuidades (α_j) y del talud (α_s). Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor a 30° y la probabilidad de falla es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F1: [1 - \text{sen}(\alpha_j - \alpha_s)]^2 \quad [2]$$

Siendo α_j y α_s los valores del buzamiento de la discontinuidad (α_j) y del talud (α_s).

- F2, se refiere al buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia al esfuerzo cortante. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente, pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F2: \operatorname{tg}^2 (\beta_j)$$

[3]

Donde β_j es el buzamiento de la junta. F2 vale 1,00 para las fallas por vuelco.

- F3 (tabla 4.1), refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976 que son siempre negativos (desde 0 hasta -60 puntos) y expresan que las discontinuidades afloran en la superficie del talud (Romana, 1993).
- F4, el factor de ajuste es a partir del método de excavación empleado (tabla 4.2). Este factor considera que los taludes naturales son más estables debido al equilibrio alcanzado a lo largo del tiempo. Se establece empíricamente a partir de:
 - ✓ Los taludes naturales son más estables, a causa de los procesos previos de erosión sufridos por el talud, y de los mecanismos internos de protección que muchos de ellos poseen (vegetación, desecación superficial, drenaje torrencial, etc.). F4 = +15.
 - ✓ El precorte aumenta la estabilidad de los taludes en media clase. F4 = +10.
 - ✓ Las técnicas de voladura suave (recorte), bien ejecutadas, también aumentan la estabilidad de los taludes. F4 = +8.
 - ✓ Las voladuras normales, con métodos razonables, no modifican la estabilidad. F4 = 0.
 - ✓ Las defectuosas, muy frecuentes, pueden dañar seriamente a la estabilidad. F4 = -8.
 - ✓ La excavación mecánica de los taludes por ripado sólo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o la roca blanda. Con frecuencia se combina con pre voladuras poco cuidadas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado Por ello el método ni mejoran ni empeora la estabilidad. F4 = -8.

CASO		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
P T	$\alpha_j - \alpha_s$ $\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ$	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1,00
P	β_j	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1,00
T	F2	1	1	1	1	1
P T	$\beta_j - \beta_s$ $\beta_j + \beta_s$	$> 10^\circ$ $< 110^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$ $110^\circ - 120^\circ$	0° $> 120^\circ$	$0^\circ (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

Tabla 4.1. Parámetros de corrección F1, F2, F3 y F4 de la clasificación SMR (modificado de Romana 1985).

P: Falla Plana, T: Vuelco, α_s : Dirección de buzamiento del talud, α_j : Dirección de buzamiento de las discontinuidades, β_s : Buzamiento del talud, β_j : Buzamiento de las discontinuidades.

MÉTODO	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA MECANIZADA	VOLADURA DEFICIENTE
F4	+15	+10	+8	0	-8

Tabla 4.2. Factor de ajuste según el método de excavación (Romana 1985).

CLASE N°	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
DESCRIPCIÓN	MUY MALA	MALA	NORMAL	BUENA	MUY BUENA
ESTABILIDAD	TOTALMENTE INESTABLE	INESTABLE	PARCIALMENTE ESTABLE	ESTABLE	TOTALMENTE ESTABLE
FALLAS	GRANDES ROTURAS POR PLANOS CONTINUOS O POR MASA	JUNTAS O GRANDES CUÑAS	ALGUNAS DISCONTINUIDADES O MUCHAS CUÑAS	ALGUNOS BLOQUES	NINGUNA
TRATAMIENTOS	REEXCAVACIÓN	CORRECCIÓN	SISTEMÁTICO	OCASIONAL	NINGUNO

Tabla 4.3. Clases de estabilidad según el SMR (Modificada de Romana 1985).

Ventanas Geotécnicas

Debido a que la clasificación SMR no considera las roturas en cuñas, en caso de que estas fueran identificadas en el talud, se realizó el mismo análisis que si fuera una falla plana, con la variante que se utilizó el valor del ángulo de inclinación de la intersección de las discontinuidades que forman la cuña.

A partir del informe inédito Geología y Geotecnia, Excavaciones Expuestas P.H. El Tambolar (UTE-Tambolar 2023), para el análisis de estas ventanas se toman los datos mencionados de 20° para los límites laterales y 35° en el ángulo de fricción interna en la zona de aliviadero.

Ventana 01

Se ubica en la zona de Aliviadero sobre el talud que se encuentra entre las cotas 1207 m y 1204 m.

El macizo está conformado por calizas, las cuales presentan alteraciones de óxidos de hierro y manganeso. Entre los planos de estratificación se observan niveles de arcillas pardo verdosas (Figura 4.7).

Sobre el talud se realizó el análisis del macizo a partir de los parámetros del RMR Bieniawski clasificándolo como Tipo III (Regular), con una valoración de 54 (Figura 4.8).

Sobre el área se relevaron 13 datos correspondientes a 5 familias de discontinuidades: de estratificación (E) con una orientación promedio E1 309°/57° y E2 290°/65°, diaclasas (J) con J1 223°/70°, la J2 120°/35° y la J3 34°/55° (Figura 4.9).



Figura 4.7: En la imagen se observa el macizo donde se realizó la ventana geotécnica 01, con líneas de trazos continuos de color blanco, se indican los bancos de arcillas que intercalan entre las calizas.

PARAMETROS			ESCALA DE VALORES							
DUREZA	Comportamiento		Solo astillas con piqueta	Fracturas co muchos golpes de martillo	Más de un golpe para ser Fracturada	Un golpe firme para ser fracturada	Hendidura con golpe de piqueta	Desgranable	Hendidura con la uña	
			R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	
	Resistencia a la compresion		> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa	
VALUACION			15	12	7	4	2	1	0	12
RQD			90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %			
			Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala			
VALUACION			20	17	13	8	3			13
ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES			> 2,0 m	0,6 - 2,0 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m			
			Muy espaciadas	Espaciadas	Moderadamente	Juntas	Muy juntas			
VALUACION			20	15	10	8	5			8
APERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES			Cerrada	Muy juntas	Juntas	Abiertas	Amplia			
			0.0mm	(0 - 0,1mm)	(0,1 - 1mm)	(1 - 5mm)	mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	4	1	0			0
RUGOSIDAD			Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable			
			Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Suave	Espejo falla			
VALUACION			6	5	3	1	0			3
AGUA SUBTERRANEA	Infiltración en 10 m de túnel (ls/min)		Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125			
	Relación	Presión del agua en la fisura	cero	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5			
		Esfuerzo mayor ó principal								
	Situación general		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando gota a gota	Descarga continua			
VALUACION			15	10	7	4	0			15
RELLENO			Muy Favorable	Duro menor a 5mm	Duro mayor a 5mm	Blando menor a 5mm	Muy desfavorable			
			Sin relleno				Blando mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	3	1	0			0
ALTERACION			Muy Favorable	Ligeramente alterada	Moderada alteracion	Muy alterada	Muy desfavorable			
			No alterada				Descompuesta			
VALUACION			6	5	3	1	0			3
CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS										
VALUACIÓN			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			54
CLASE N°			1	2	3	4	5			3
DESCRIPCIÓN			MUY BUENA	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA			REGULAR

Fig 4.8: Planilla de clasificación del RMR de Bieniawski de la ventana geotécnica 01, donde se indica la clasificación de la roca de Regular tipo 3, con una valoración de 54.

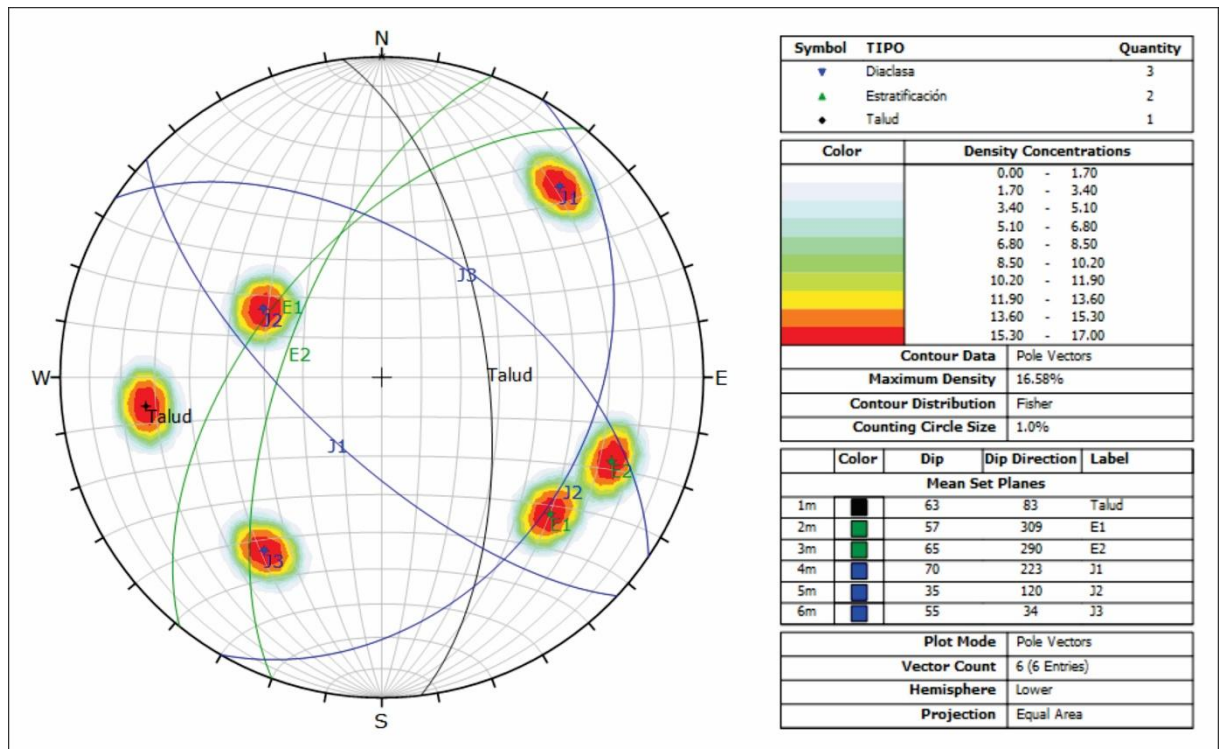


Figura 4.9: Se indica con trazos continuos la proyección de los planos de las familias de discontinuidades, con color verde los planos de estratificación, con color azul las familias de diaclasas y con color negro la orientación del Talud en el sector que es $83^{\circ}/63^{\circ}$.

Análisis Cinemático

Se analiza la totalidad de los datos relevados sobre el talud, el cual tiene una orientación de $83^{\circ}/63^{\circ}$. Se considera que el ángulo de fricción para las calizas es 35° y los límites laterales de 20° .

Falla Planar

En el estereograma no se observan discontinuidades en la zona crítica. La familia de discontinuidad J2 con una orientación $120^{\circ}/35^{\circ}$, se ubica en la zona que indica que aflora y que puede generar bloques sobre el talud, este cumple con la condición de que su buzamiento es menor al del talud, por lo cual tiene probabilidad de generar desplazamientos. También se observa que la discontinuidad J3 con una orientación de $34^{\circ}/55^{\circ}$, se encuentra próximo al sector que indica que aflora sobre el talud, pero tiene pocas probabilidades de generar desplazamiento por falla, de igual manera se lo considera para los análisis de estabilidad por su ubicación (Figura 4.10).

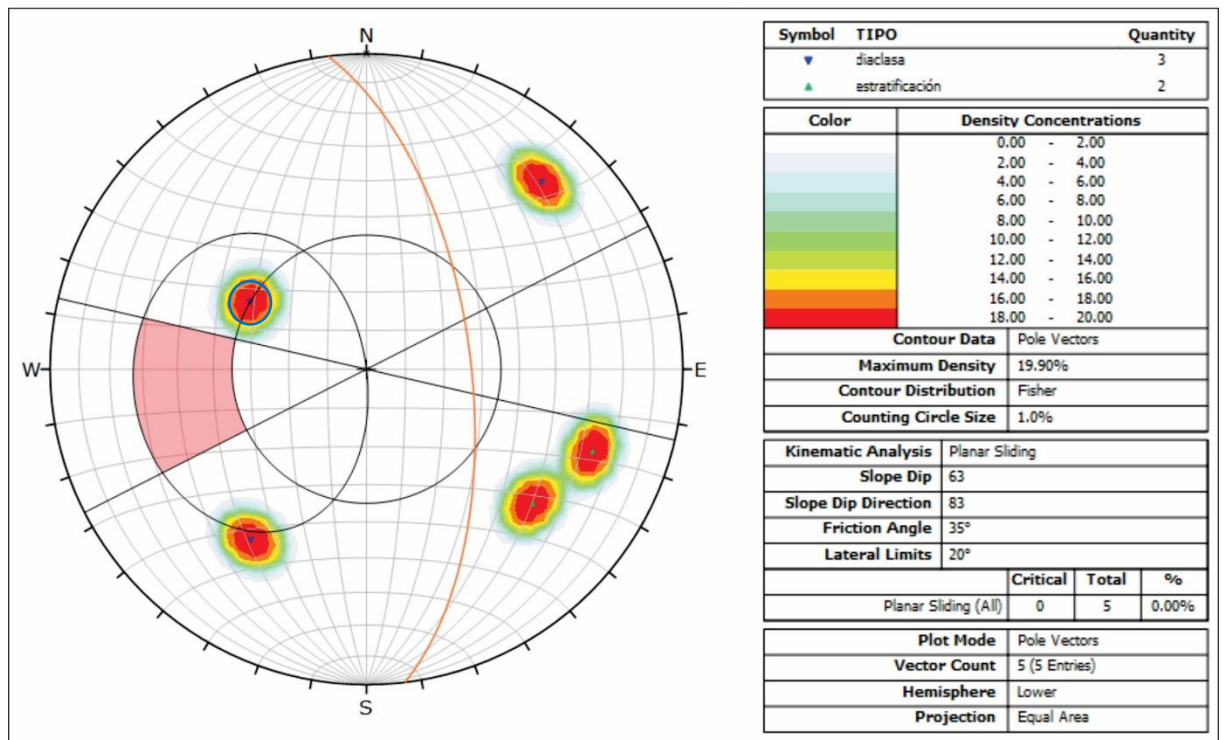


Figura 4.10: En el estereograma se observan las zonas donde se encuentran las diferentes familias de discontinuidades. Con trazo continuo de color naranja se indica la orientación del talud, con círculo de trazo continuo de color azul se indica la ubicación de la familia J2 120°/35°, que presenta probabilidad de generar o no desplazamiento.

Fallas por Cuña

En el análisis cinemático de fallas por cuñas se observa una línea formada por la intersección de los planos de las discontinuidades J1 y J2, el cual tiene una orientación de 326°/57°, este se ubica en la zona amarilla de la rotura planar, teniendo esta menor probabilidad de rotura que la zona coloreada en rojo (Figura 4.11).

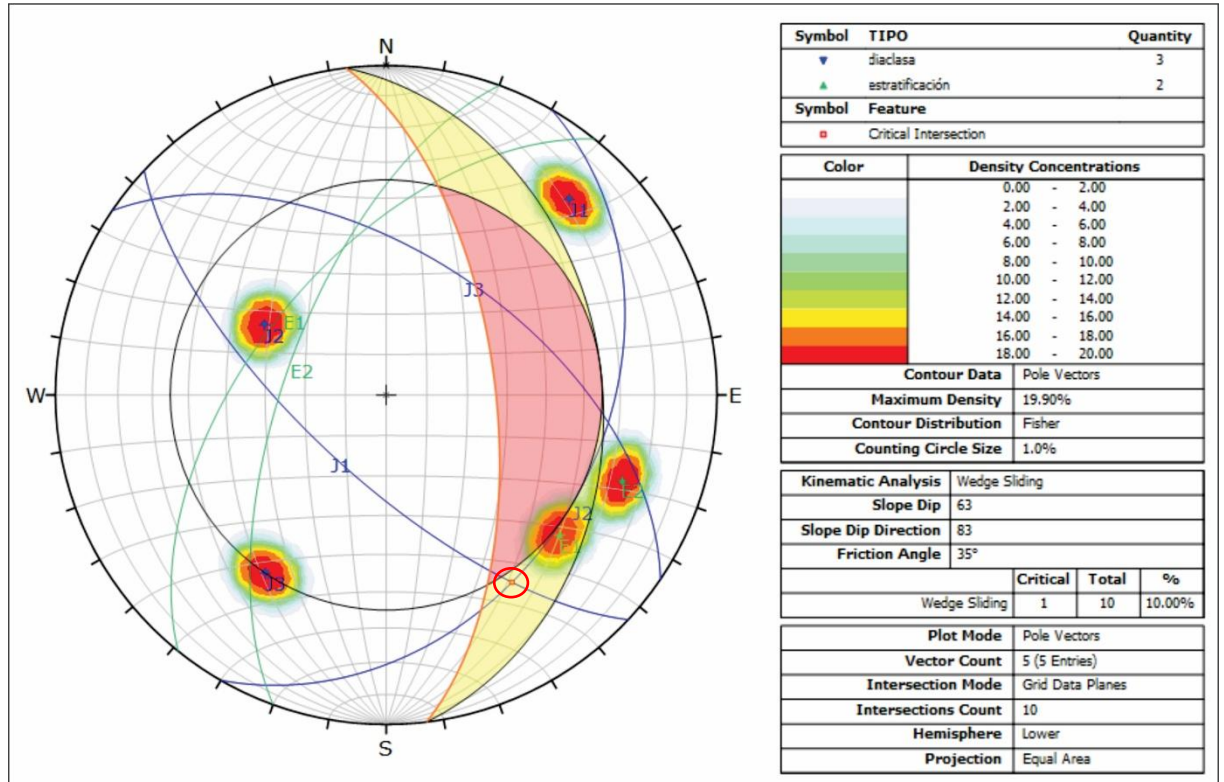


Figura 4.11: En el estereograma se indica con trazos continuos de color naranja la orientación del talud, y con color verde los planos de discontinuidades del tipo estratificación y con color azul los de tipo diaclasa. El círculo rojo indica la línea de intersección de los planos de discontinuidades J1 y J2.

Fallas por vuelco

En el estereograma se observa que los polos de las familias de discontinuidades no caen en la zona crítica, por lo cual se considera que no presentan inestabilidad para este tipo de falla (Figura 4.12).

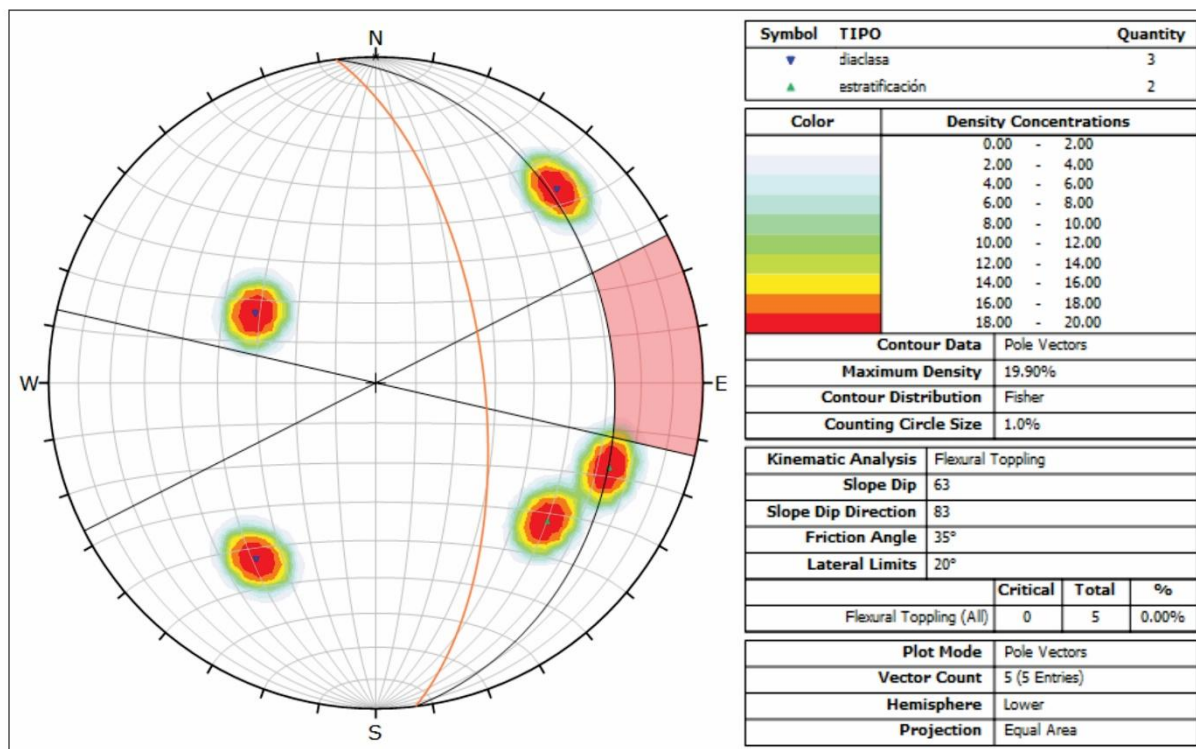


Figura 4.12: Estereograma de análisis por vuelo.

Continuando con el análisis de la ventana 01, a partir de la ecuación [1], se obtuvo el valor de SMR, teniendo en cuenta que la familia más desfavorable es la J2 120°/35°, y se realizó el factor de ajuste a partir de falla plana SMR= 55, teniendo en cuenta la tabla 3, se clasifica como tipo III (Figura 4.13).

CLASE N°	III
SMR	41-60
DESCRIPCIÓN	NORMAL
ESTABILIDAD	PARCIALMENTE ESTABLE
FALLAS	ALGUNAS DISCONTINUIDADES O MUCHAS CUÑAS
TRATAMIENTOS	SISTEMÁTICO

Figura 4.13: Síntesis de la Tabla 3 donde se presenta los datos de la clasificación Clase III.

Ventana 02

Se encuentra en el talud entre las cotas 1261 m y 1254 m. Se observa la estructura de un pliegue anticlinal volcado en dirección sureste, y el macizo rocoso fragmentado, con alteración de óxido de hierro pardo amarillento, y manganeso color negro, entre las fracturas. (Figura 4.14).

El macizo se clasificó según Bieniawski como una roca Tipo III (Regular), con una valoración de 43 (Figura 4.15).

Sobre el sector se relevaron 9 datos de discontinuidades los cuales se agruparon en 5 familias las cuales son dos familias de estratificación (E) E1 29°/68° y E2 309°/23° y tres diaclasas (J) que son la J1 77°/55°, la J2 157°/63° y la J3 206°/63°, y en el sector la orientación del Talud es 07°/63° (Figura 4.16).



Figura 4.14: En la imagen se observa la estructura de plegamiento anticlinal volcado y la roca fragmentada y teñidas por los óxidos.

PARAMETROS			ESCALA DE VALORES							
DUREZA	Comportamiento		Solo astillas con piqueta	Fracturas co muchos golpes de martillo	Más de un golpe para ser Fracturada	Un golpe firme para ser fracturada	Hendidura con golpe de piqueta	Desgranable	Hendidura con la uña	
			R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	
	Resistencia a la compresion		> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa	
VALUACION			15	12	7	4	2	1	0	7
RQD			90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %			
			Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala			
VALUACION			20	17	13	8	3			7
ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES			> 2,0 m	0,6 - 2,0 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m			
			Muy espaciadas	Espaciadas	Moderadamente	Juntas	Muy juntas			
VALUACION			20	15	10	8	5			8
APERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES			Cerrada	Muy juntas	Juntas	Abiertas	Amplia			
			0.0mm	(0 - 0,1mm)	(0,1 - 1mm)	(1 - 5mm)	mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	4	1	0			1
RUGOSIDAD			Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable			
			Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Suave	Espejo falla			
VALUACION			6	5	3	1	0			3
AGUA SUBTERRANEA	Infiltración en 10 m de túnel (ls/min)		Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125			
	Relación	Presión del agua en la fisura	cero	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5			
		Esfuerzo mayor ó principal								
	Situación general		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando gota a gota	Descarga continúa			
VALUACION			15	10	7	4	0			15
RELLENO			Muy Favorable	Duro menor a 5mm	Duro mayor a 5mm	Blando menor a 5mm	Muy desfavorable			
			Sin relleno				Blando mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
ALTERACION			Muy Favorable	Ligeramente alterada	Moderada alteracion	Muy alterada	Muy desfavorable			
			No alterada				Descompuesta			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS										
VALUACIÓN			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			43
CLASE N°			1	2	3	4	5			3
DESCRIPCIÓN			MUY BUENA	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA			REGULAR

Figura 4.15: Planilla de clasificación del RMR de Bieniawski de la ventana geotécnica 02, donde se indica la clasificación de la roca de Regular tipo 3, con una valoración de 43.

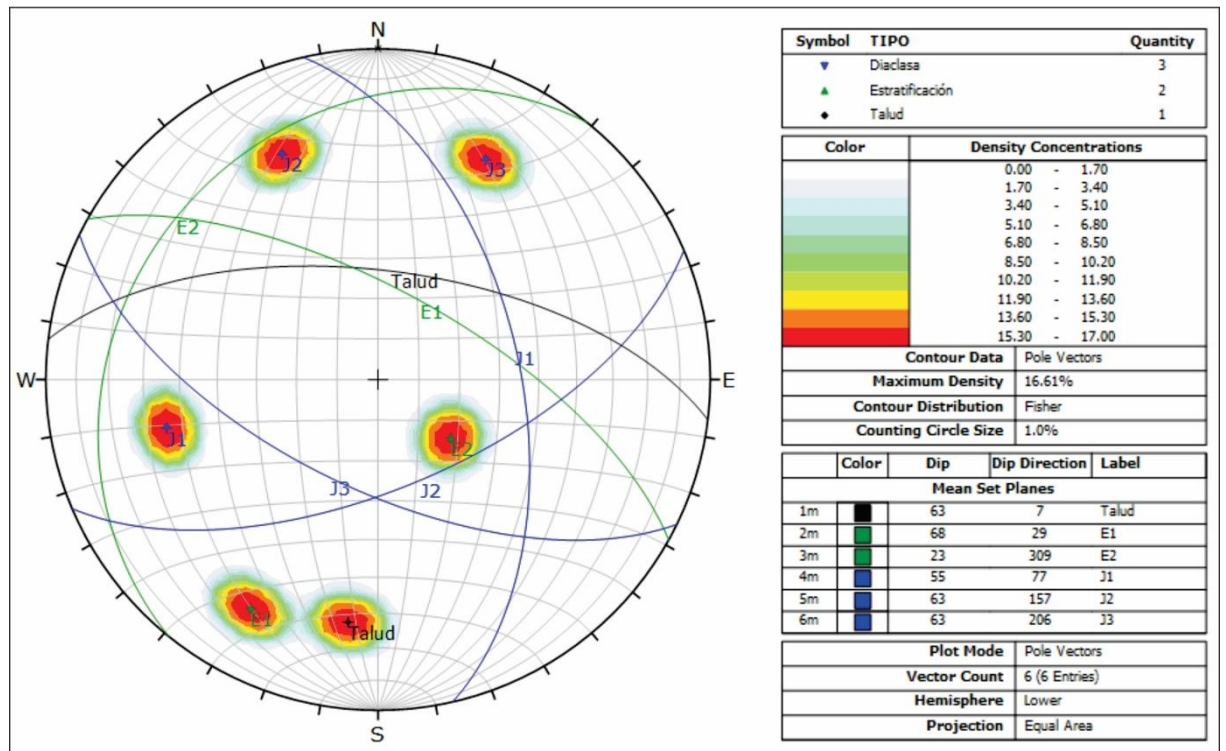


Figura 4.16: Estereograma general de la Ventana 02, se observan las familias de discontinuidades con trazos continuo de color verde los planos de estratificación, con color azul los planos de diaclasa, con color negro el plano del Talud.

Análisis Cinemático

Se analiza la totalidad de los datos relevados sobre el talud de orientación ($007^{\circ}/63^{\circ}$). Se considera que el ángulo de fricción para las calizas es de 35° y los límites laterales de 20° .

Falla Planar

Se observa sobre el estereograma que no se ubican polos sobre la zona crítica, el polo E2 con una orientación $309^{\circ}/23^{\circ}$, se ubica en la zona que genera bloques y que aflora sobre el talud, el cual cumple con la condición de que el buzamiento es menor al buzamiento del talud, pero es menor al ángulo de fricción interna por lo cual puede o no generar desplazamiento por falla (Figura 4.17).

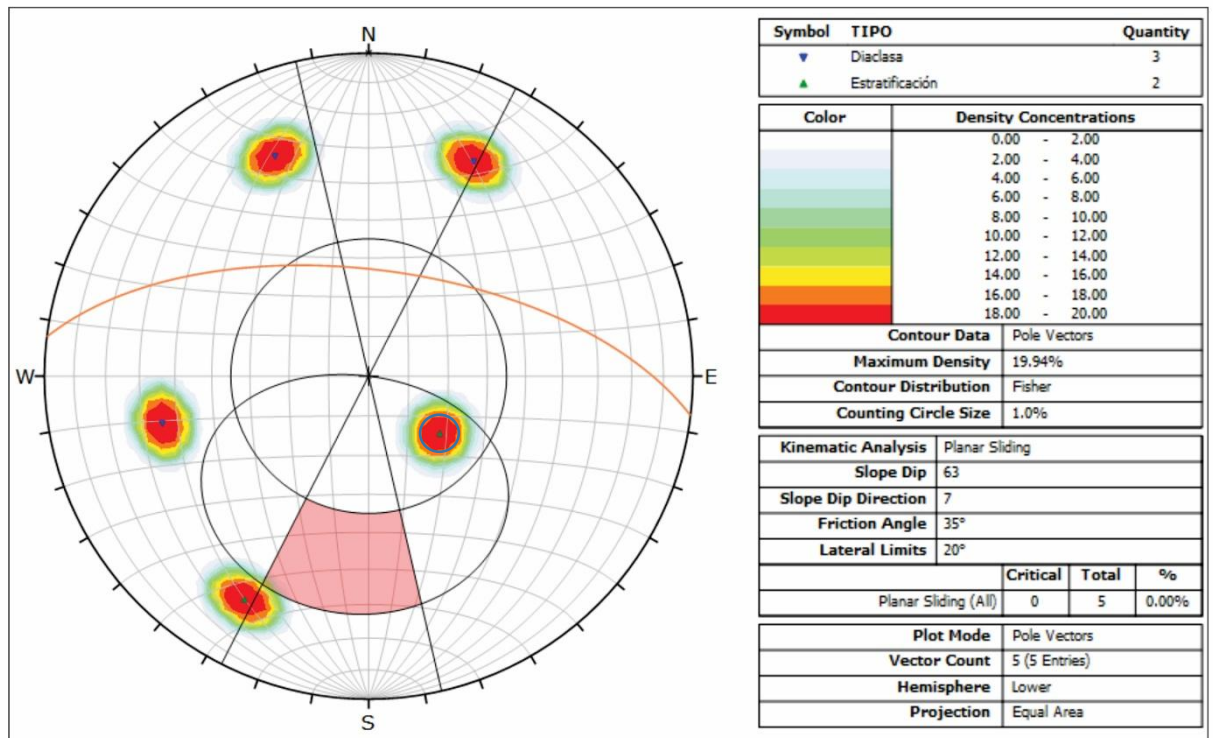


Figura 4.17: Se indica con un círculo de trazo continuo de color azul la ubicación de E2, con un trazo continuo de color naranja se indica la orientación del plano del talud.

Falla por Cuñas

En el análisis de falla de cuña se observa que no hay polos de planos de discontinuidades en la zona crítica, si se considera la estructura de plegamiento por la inestabilidad que puede generar por su orientación con respecto a la del talud (Figura 4.18).

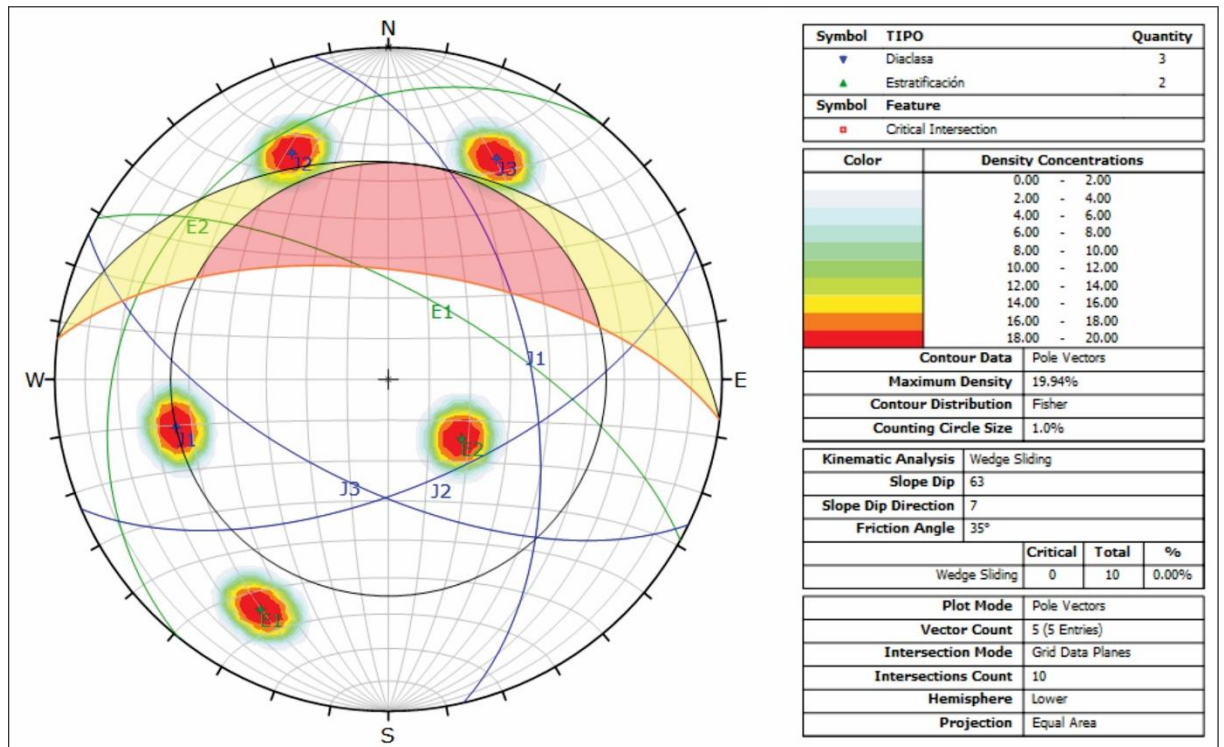


Figura.4.18: Estereograma de análisis de fallas por cuñas.

Falla por Vuelco

En el análisis para determinar si existe la posibilidad de falla por vuelco, no se observa en el estereograma polos que se ubiquen en la zona crítica. Si el polo J3, con una orientación $206^{\circ}/63^{\circ}$, se ubica cerca de la zona crítica indicando que dicha discontinuidad está aflorando, y puede o no generar inestabilidad sobre el talud (Figura 4.19).

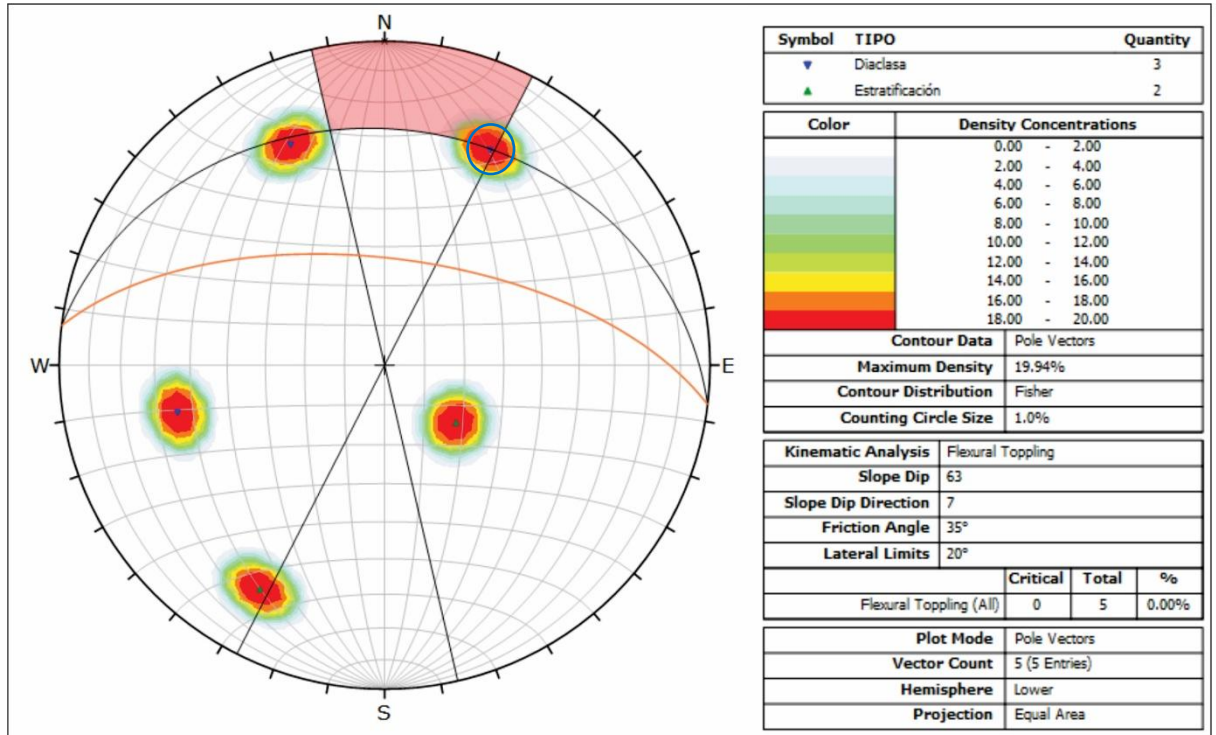


Figura.4.19: En el estereograma se indica con círculo de trazo continuo, de color azul, la ubicación de J3 que se encuentran aflorando con probabilidad de generar o no desplazamiento.

Continuando con el análisis de la ventana 02, a partir de la ecuación [1] se obtuvo el valor de SMR, teniendo en cuenta que la familia más desfavorable es la E2 309°/23°, y se realizó el factor de ajuste a partir de falla plana SMR= 47, teniendo en cuenta la tabla 3, se clasifica como clase III (Figura 4.20).

CLASE N°	III
SMR	41-60
DESCRIPCIÓN	NORMAL
ESTABILIDAD	PARCIALMENTE ESTABLE
FALLAS	ALGUNAS DISCONTINUIDADES O MUCHAS CUÑAS
TRATAMIENTOS	SISTEMÁTICO

Figura 4.20: Síntesis de la Tabla 3 en que se presentan los datos de la Clase III.

Ventana 03

Se ubica sobre el talud que se encuentra entre las cotas 1248 m y 1242 m, en el cual se observa en la zona de remate un pliegue sinclinal volcado (Figura 4.21).

El macizo de caliza se presenta fracturado con intercalaciones de arcillas de una potencia de 0.30 m aproximadamente del tipo interestratal y alteración de óxidos de hierro y manganeso. El macizo se clasifica según Bieniawski como roca Tipo IV (Mala), con una valoración de 38 (Figura 4.22).

Sobre el talud se relevaron 16 datos, los que se agruparon en 5 familias de discontinuidades, las cuales son dos familias de estratificación E1 326°/37°, E2 35°/42° y tres familias de diaclasas J1 142°/64°, J2 57°/55° y J3 330°/80°. El talud en esta ventana tiene una orientación 07°/63° (Figura 4.23).

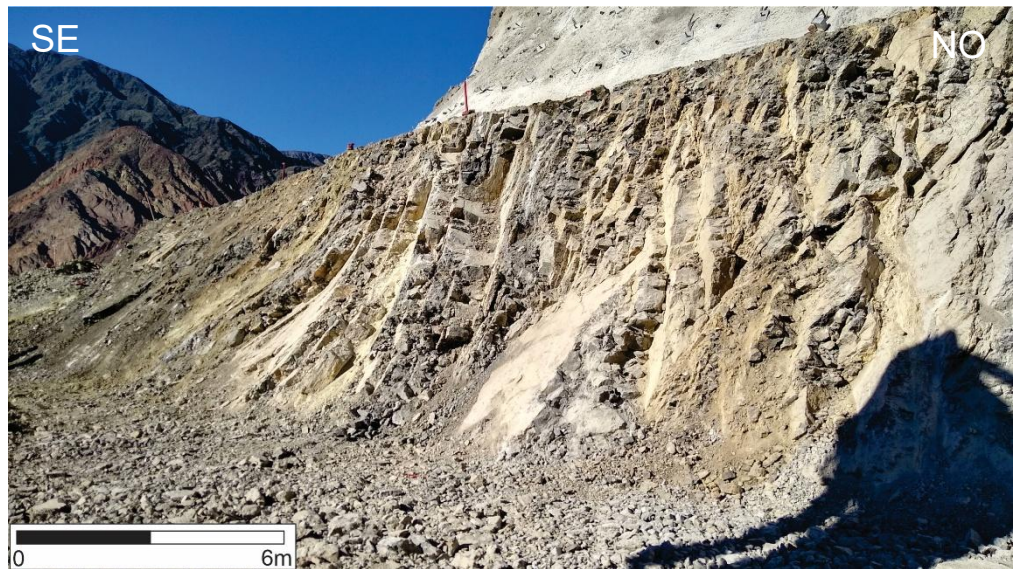


Figura 4.21: En el talud se observa flanco vertical del pliegue sinclinal.

PARAMETROS			ESCALA DE VALORES							
DUREZA	Comportamiento		Solo astillas con piqueta	Fracturas co muchos golpes de martillo	Más de un golpe para ser Fracturada	Un golpe firme para ser fracturada	Hendidura con golpe de piqueta	Desgranable	Hendidura con la uña	
			R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	
	Resistencia a la compresion		> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa	
VALUACION			15	12	7	4	2	1	0	4
RQD			90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %			
			Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala			
VALUACION			20	17	13	8	3			8
ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES			> 2,0 m	0,6 - 2,0 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m			
			Muy espaciadas	Espaciadas	Moderadamente	Juntas	Muy juntas			
VALUACION			20	15	10	8	5			8
APERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES			Cerrada	Muy juntas	Juntas	Abiertas	Amplia			
			0.0mm	(0 - 0,1mm)	(0,1 - 1mm)	(1 - 5mm)	mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	4	1	0			0
RUGOSIDAD			Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable			
			Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Suave	Espejo falla			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
AGUA SUBTERRANEA	Infiltración en 10 m de túnel (ls/min)		Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125			
	Relación	Presión del agua en la fisura	cero	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5			
		Esfuerzo mayor ó principal								
	Situación general		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando gota a gota	Descarga continua			
VALUACION			15	10	7	4	0			15
RELLENO			Muy Favorable	Duro menor a 5mm	Duro mayor a 5mm	Blando menor a 5mm	Muy desfavorable			
			Sin relleno				Blando mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
ALTERACION			Muy Favorable	Ligeramente alterada	Moderada alteracion	Muy alterada	Muy desfavorable			
			No alterada				Descompuesta			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS										
VALUACIÓN			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			38
CLASE N°			1	2	3	4	5			4
DESCRIPCIÓN			MUY BUENA	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA			MALA

Figura.4.22: Planilla de clasificación del RMR de Bieniawski de la ventana geotécnica 03, donde se indica la clasificación de la roca de Regular tipo 4, con una valoración de 38.

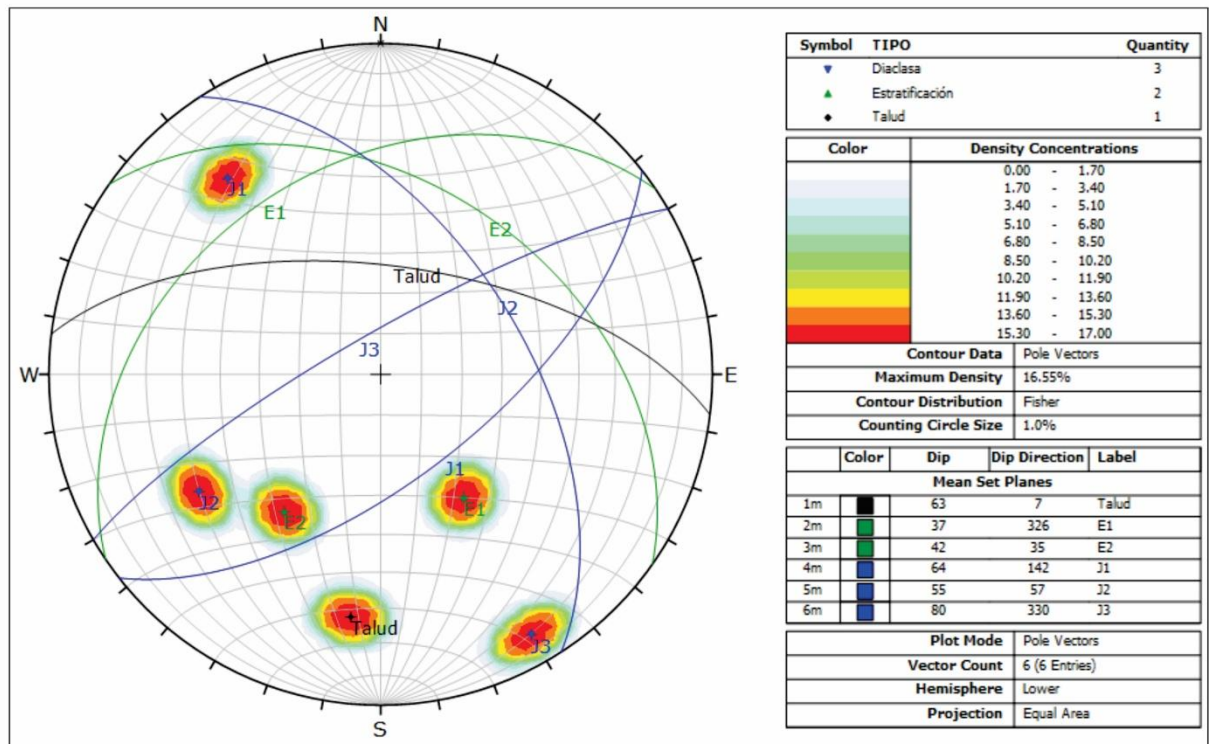


Figura 4.23: Estereograma de la Ventana 03, se indica con trazos continuos de color verde las familias de discontinuidades del tipo de estratificación, de color azul las del tipo de diaclasa, y de color negro el plano del talud.

Análisis Cinemático

Se analiza la totalidad de los datos relevados sobre el talud de orientación de $07^\circ/63^\circ$, y se considera que el ángulo de fricción para las calizas es de 35° y los límites laterales de 20° .

Falla Planar

En el estereograma se observa que en la zona crítica no cae ningún polo de discontinuidades. Los polos de estratificación E1 $326^\circ/37^\circ$ y E2 $35^\circ/42^\circ$, se encuentran en la zona que indica que estos afloran sobre el talud, con probabilidad de inestabilidad ya que cumple con la condición de que el ángulo de buzamiento es menor a este, y a su vez es mayor al ángulo de fricción, pero con una mínima diferencia. También se observa que el polo de J2 $57^\circ/55^\circ$, se encuentra en zona cercana al mismo sector, por lo cual puede o no generar desplazamiento, porque cumple con las condiciones, pero la diferencia del buzamiento entre la discontinuidad y el talud es mínima (Figura 4.24).

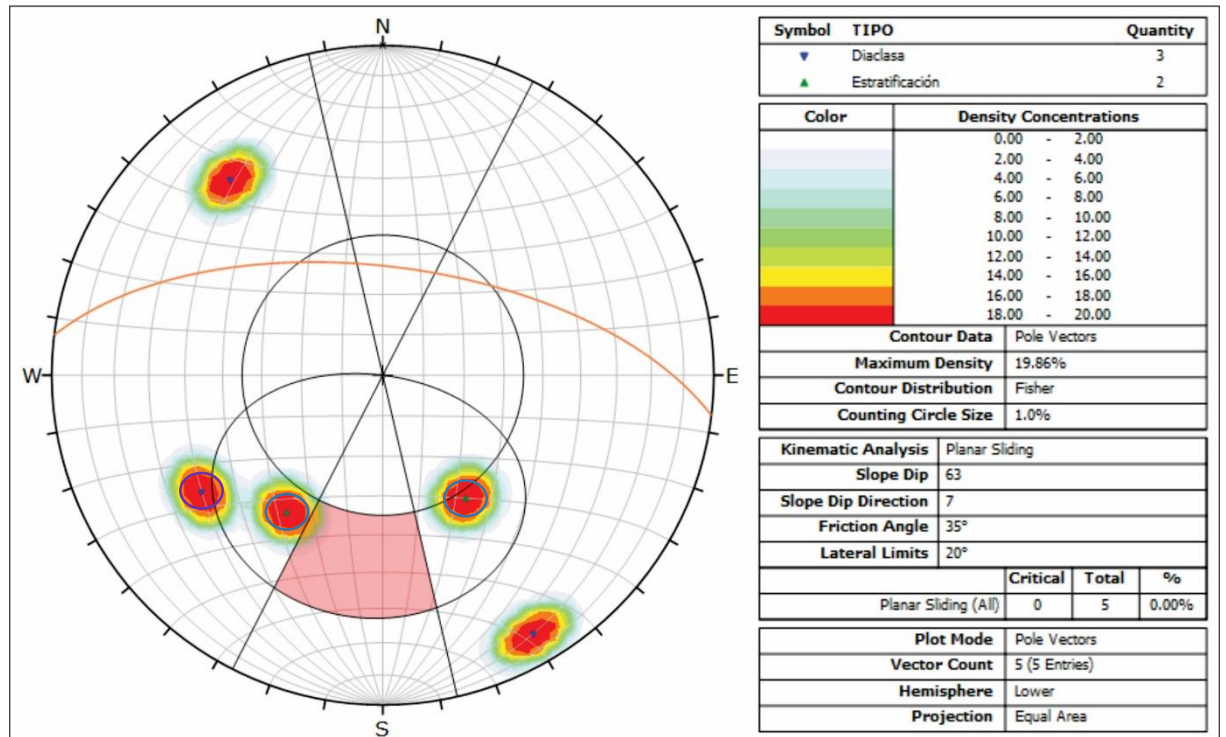


Figura 4.24: Se indica con círculos continuos de color azul las discontinuidades E1 y E2 de las familias de estratificación, con círculo de color lila la J2 de la familia de diaclasas y con línea trazo continuo de color naranja se indica la orientación del talud.

Falla por Cuña

A partir del análisis en el estereograma se observa que hay varios polos de intersección de planos que se ubican en la zona crítica, los cuales cumplen con las condiciones de que el ángulo de inclinación de la línea de intersección de los planos es menor al del talud, este es mayor al ángulo de fricción, por ello se considera que el talud es inestable con probabilidad de que se genere el desplazamiento por cuñas (Figura 4.25).

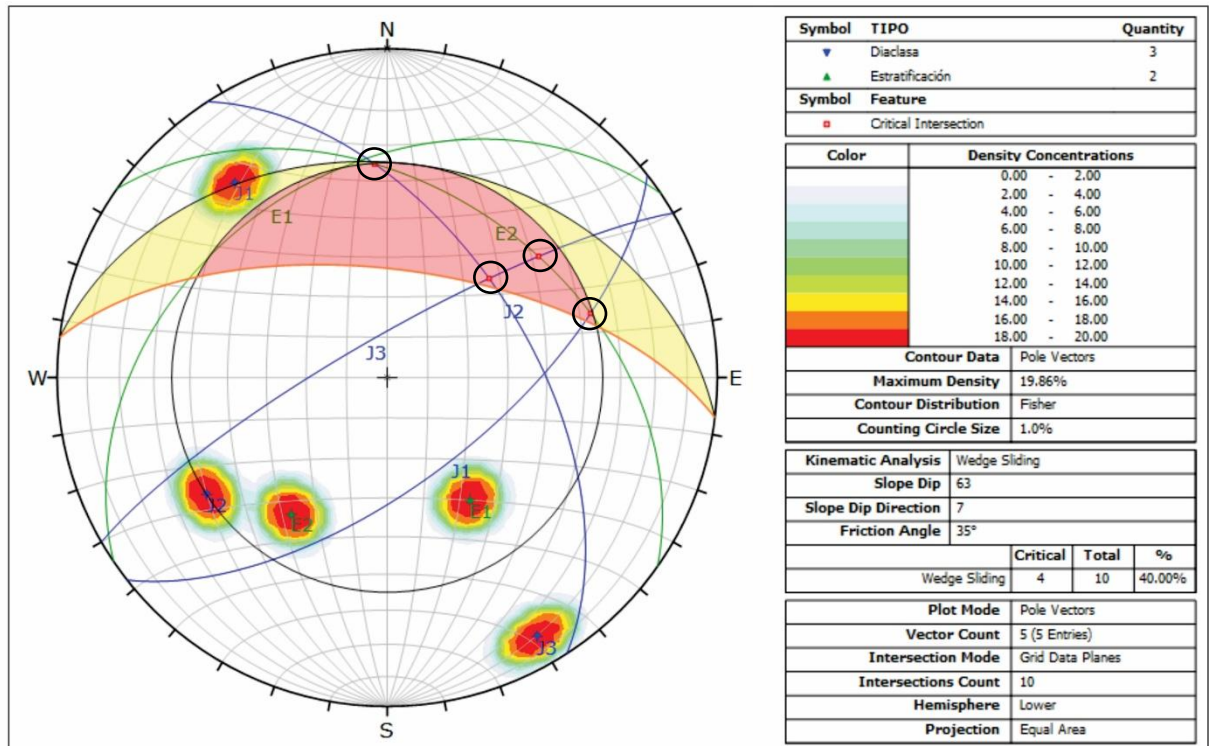


Figura 4.25: En la imagen se indica, con círculos negros las intersecciones de los planos de discontinuidades dentro de la zona crítica.

Falla por Vuelco

A partir del análisis realizado en las familias de discontinuidades, se observa en el estereograma, que no hay polos que caigan en la zona crítica. Por lo cual, se concluye que existen pocas posibilidades de que exista rotura por vuelco (Figura 4.26).

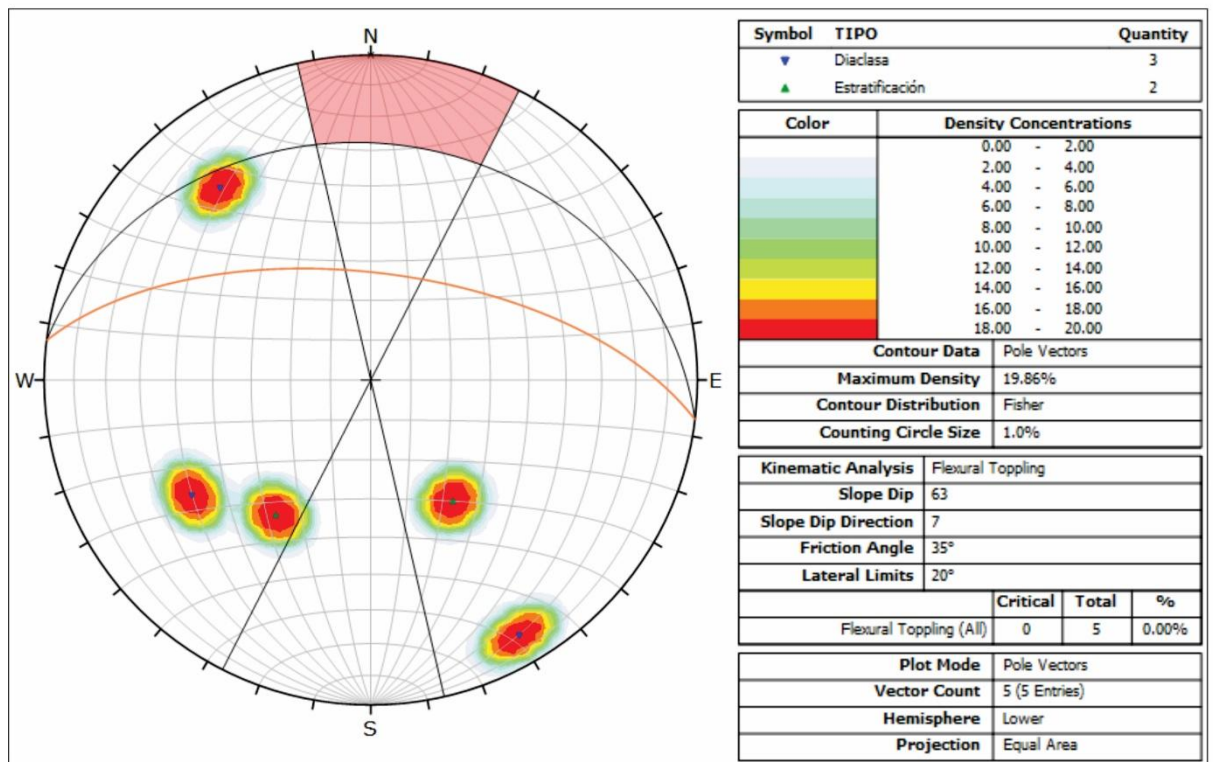


Figura 4.26: En la imagen se observa el análisis de fallamiento por vuelco, con los polos cayendo por fuera de la zona crítica.

Continuando con el análisis de la ventana 03, a partir de la ecuación [1], se obtuvo el valor de SMR, teniendo en cuenta que la familia más desfavorable es la E1 326°/37°, y se realizó el factor de ajuste a partir de falla plana obteniendo SMR= 38, teniendo en cuenta la tabla 3, se clasifica como tipo IV (Figura 4.27).

CLASE N°	IV
SMR	21-40
DESCRIPCIÓN	MALA
ESTABILIDAD	INESTABLE
FALLAS	JUNTAS O GRANDES CUÑAS
TRATAMIENTOS	CORRECCIÓN

Figura 4.27: Síntesis de la Tabla 3 donde se presentan los datos de la clasificación tipo IV.

Ventana 04

Se realizó el análisis de la ventana 04 en el talud entre las cotas 1239 m y 1233 m.

A lo largo de este se observó la caliza fragmentada, con intercalaciones de arcillas pardo verdosas y óxidos de hierro, producto de los esfuerzos tectónicos y posteriormente a la acción del agua sobre las fracturas (Figura 4.28).

El macizo se clasificó según Bieniawski como Tipo IV (Mala), con una valoración de 38 (Figura 4.29).

Sobre el talud se relevaron 15 datos de discontinuidades que se agruparon en 5 familias, las cuales son de estratificación E1 327°/41° y E2 52°/58°, y de diaclasas J1 189°/71°, J2 113°/40° y la J3 12°/35°. Además, se relevaron dos fallas, la F1 295°/62° y la F2 335°/40° (Figura 4.30).



Figura 4.28: Imagen de la ventana 04 en el talud de cota 1239-1233.

PARAMETROS			ESCALA DE VALORES							
DUREZA	Comportamiento		Solo astillas con piqueta	Fracturas co muchos golpes de martillo	Más de un golpe para ser Fracturada	Un golpe firme para ser fracturada	Hendidura con golpe de piqueta	Desgranable	Hendidura con la uña	
			R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	
	Resistencia a la compresion		> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa	
VALUACION			15	12	7	4	2	1	0	4
RQD			90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %			
			Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala			
VALUACION			20	17	13	8	3			8
ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES			> 2,0 m	0,6 - 2,0 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m			
			Muy espaciadas	Espaciadas	Moderadamente	Juntas	Muy juntas			
VALUACION			20	15	10	8	5			8
APERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES			Cerrada	Muy juntas	Juntas	Abiertas	Amplia			
			0.0mm	(0 - 0,1mm)	(0,1 - 1mm)	(1 - 5mm)	mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	4	1	0			0
RUGOSIDAD			Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable			
			Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Suave	Espejo falla			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
AGUA SUBTERRANEA	Infiltración en 10 m de túnel (ls/min)		Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125			
	Relación	Presión del agua en la fisura	cero	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5			
		Esfuerzo mayor ó principal								
	Situación general		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando gota a gota	Descarga continua			
VALUACION			15	10	7	4	0			15
RELLENO			Muy Favorable	Duro menor a 5mm	Duro mayor a 5mm	Blando menor a 5mm	Muy desfavorable			
			Sin relleno				Blando mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
ALTERACION			Muy Favorable	Ligeramente alterada	Moderada alteracion	Muy alterada	Muy desfavorable			
			No alterada				Descompuesta			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS										
VALUACIÓN			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			38
CLASE N°			1	2	3	4	5			4
DESCRIPCIÓN			MUY BUENA	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA			MALA

Figura.4.29: Planilla de clasificación del RMR de Bieniawski de la ventana geotécnica 04, donde se indica la clasificación de la roca de Regular tipo 4, con una valoración de 38.

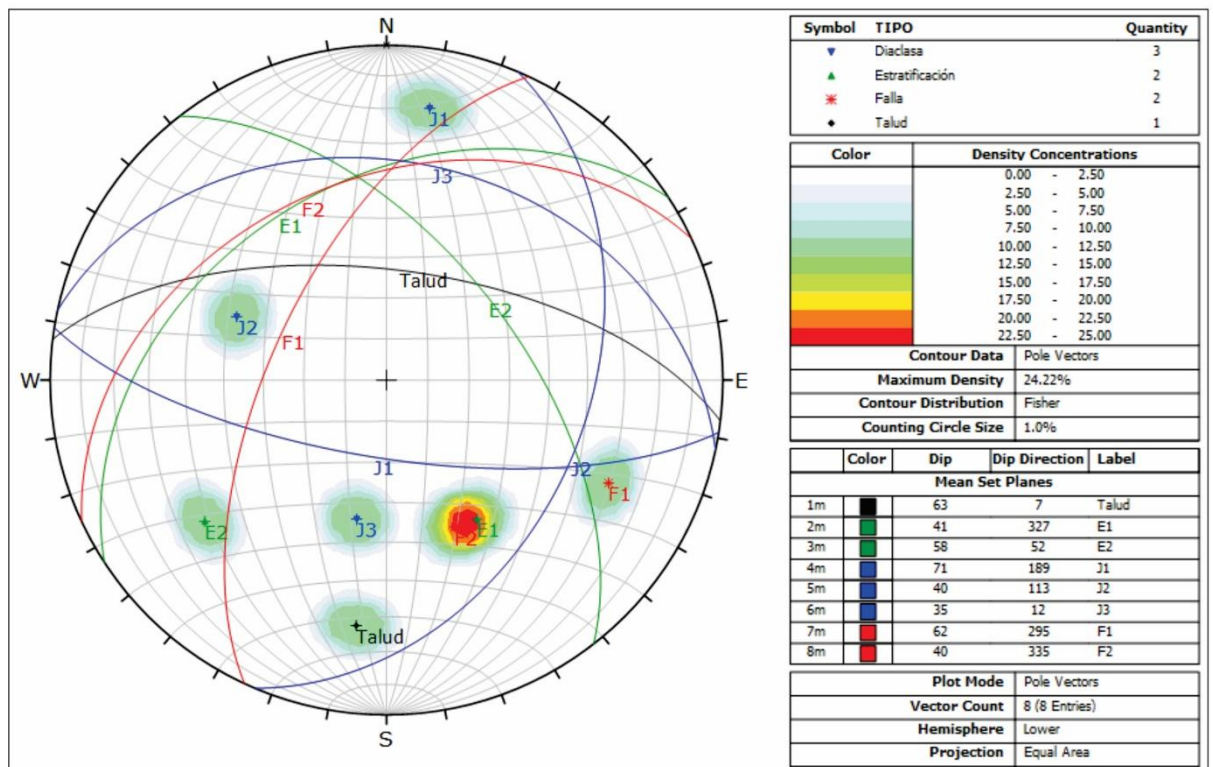


Figura 4.30: Estereograma de la Ventana 04, en el cual se indican los planos de las familias de discontinuidades, con trazos continuos de color verde los de estratificación, las diaclasas con color azul, las fallas con color rojo y el talud con color negro.

Análisis Cinemático

Se analiza la totalidad de los relevamientos de las familias de las discontinuidades sobre el talud de orientación $07^\circ/63^\circ$, considerando que el ángulo de fricción para las calizas es de 35° y los límites laterales para el talud son de 20° .

Falla Planar

En el análisis en este estereograma, se observa que el polo de discontinuidad del tipo diaclasa J3 $12^\circ/35^\circ$ se ubica en la zona crítica, por lo cual tiene elevada probabilidad de generar desplazamiento por falla planar, por cumplir con las condiciones de presentar el ángulo de inclinación que es menor al del talud y el ángulo de fricción igual al del buzamiento de J3. También se observa que las discontinuidades E2 $52^\circ/58^\circ$ y la falla F2 $335^\circ/40^\circ$, se ubican en la zona donde se indica que afloran sobre el talud, pueden generar desplazamiento, ya que cumplen con la condición de que el ángulo de inclinación de ambas discontinuidades es menor al del talud.

Debido a esta situación se deben realizar estudios más detallados considerando las propiedades geomecánicas, presencia de agua etc., para estabilizar el talud (Figura 4.31).

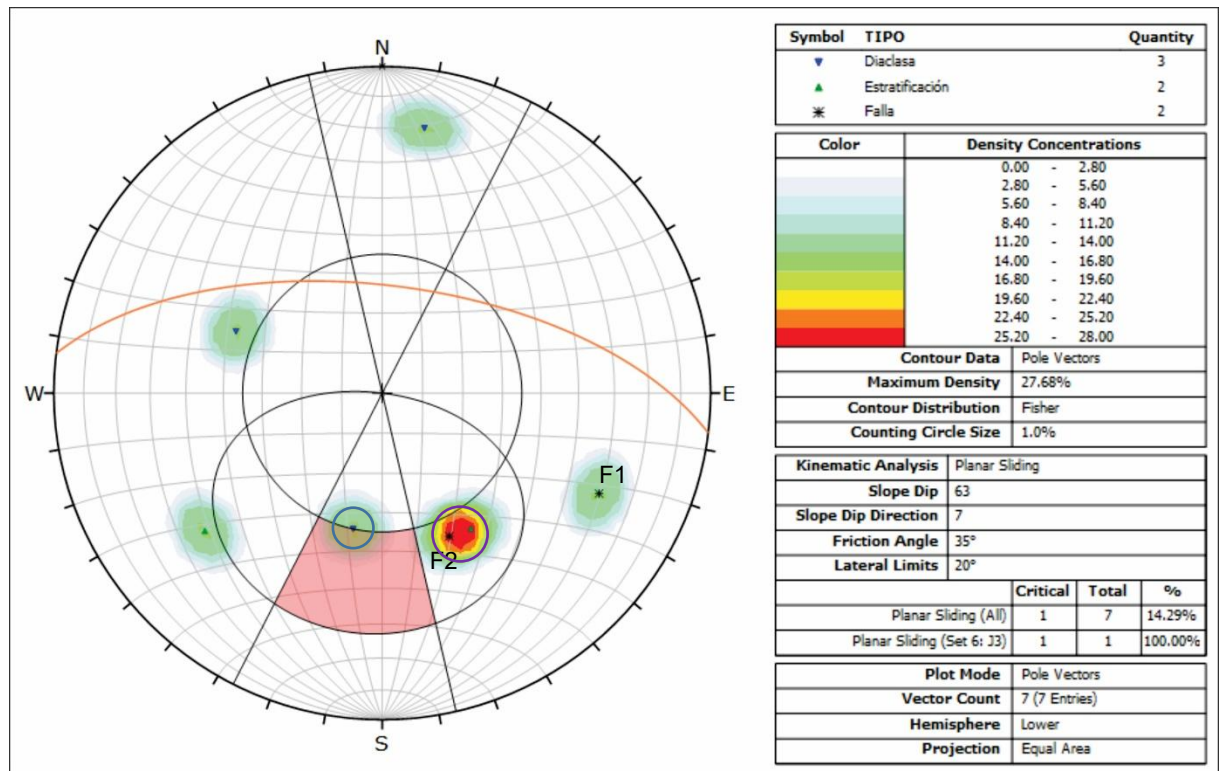


Figura 4.31: En el estereograma se indica con círculos de color azul la ubicación de J3 y con círculo de color morado la ubicación de E2 y la falla F2.

Falla por Cuñas

En el análisis para fallas por cuñas, se observa en el estereograma en la zona crítica, seis puntos de intersección de planos de discontinuidades generados por ambos planos de fallas con los de las demás discontinuidades. Estos cumplen con las condiciones para generar desplazamientos, los cuales son que el ángulo de buzamiento de los polos de intersección de planos es menor al del talud y es mayor al ángulo de fricción.

También se observa la intersección de los planos de estratificación, el cual está ubicado en la zona donde se indica que esta línea se encuentra aflorando sobre el talud, pero puede o no generar desplazamiento por cuñas debido a que tiene una orientación $238^{\circ}/63^{\circ}$, donde se ve que el ángulo de inclinación de la intersección es igual a la del talud (Figura 4.32).

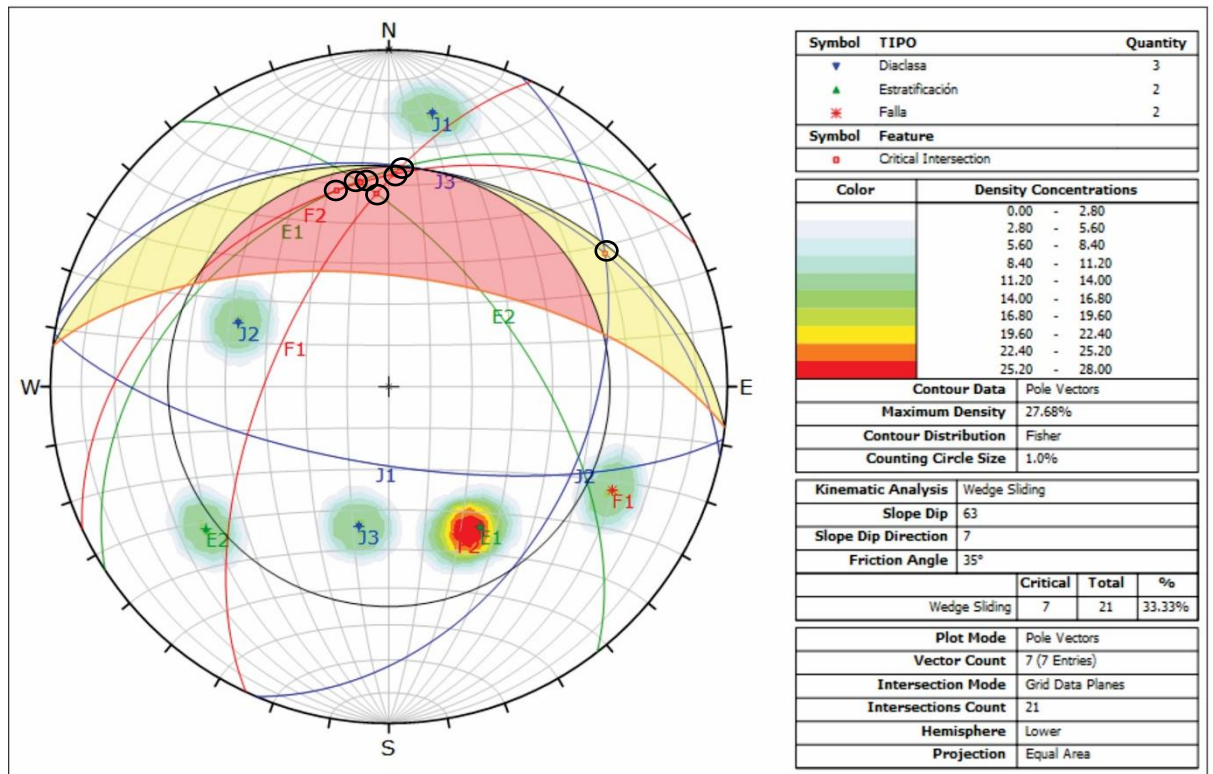


Figura 4.32: En la imagen se indica con círculos negros las líneas de intersección en la zona crítica, con círculos morados, la que se encuentra en la zona que aflora sobre el talud.

Falla por Vuelco

En el análisis por vuelco de bloques por flexión, se observa en el estereograma en la zona crítica, el polo de J1 $189^{\circ}/71^{\circ}$, el cual cumple con la condición para que se genere vuelco de bloques. Dicha condición es que el buzamiento del talud sea mayor que la suma del ángulo de fricción más el buzamiento de la discontinuidad con la vertical, por el cual se debería analizar para determinar las características geomecánicas del macizo (Figura 4.33).

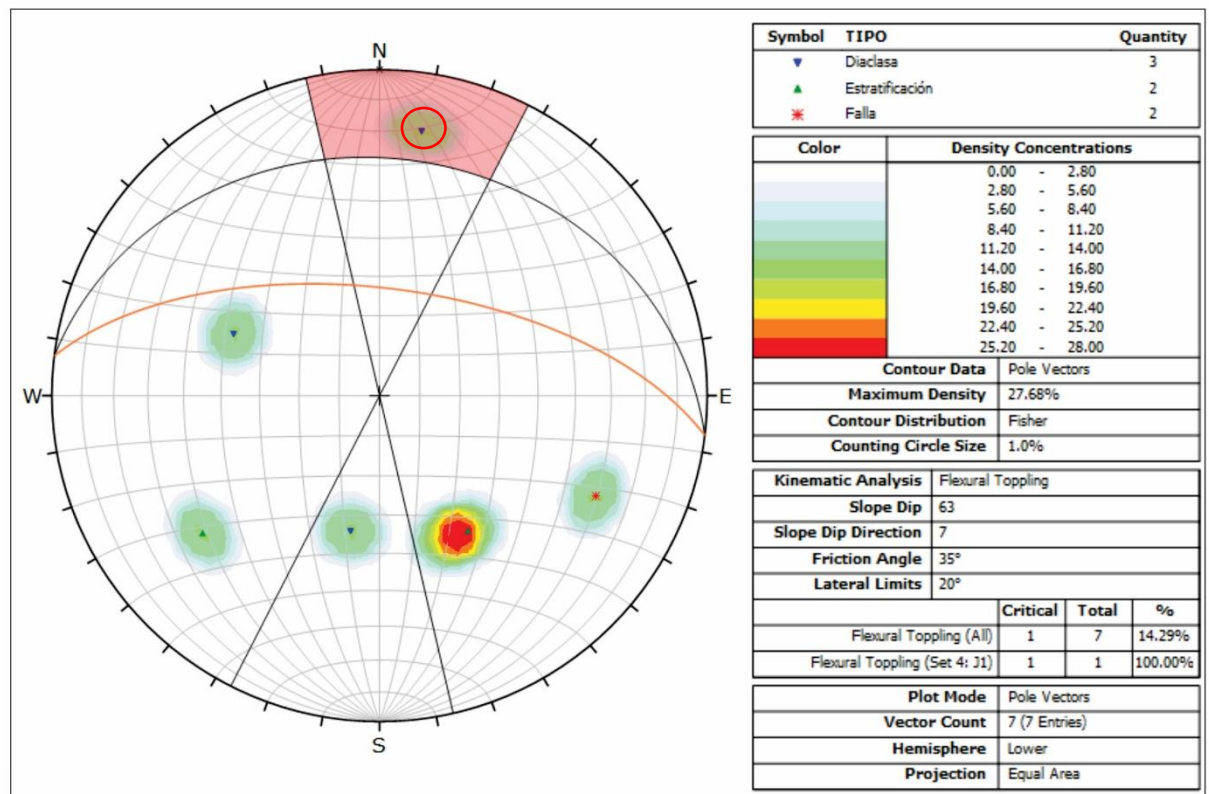


Figura 4.33: Se indica con círculo de trazo continuo de color rojo, sobre los polos de discontinuidades del tipo de diaclasa.

Continuando con el análisis de la ventana 04, a partir de la ecuación [1], se obtuvo el valor de SMR, teniendo en cuenta que la familia más desfavorable para el análisis de falla planar es J3 12°/35°, el ajuste arroja un valor de SMR= 10, teniendo en cuenta la tabla 3, se clasifica como tipo V, también se realizó el ajuste para falla por vuelco de bloque, considerando a la discontinuidad J1 189°/71° como la más desfavorable, el ajuste de SMR =21, por lo cual teniendo en cuenta a la tabla 3, se clasifica como tipo IV (Figura 4.34).

CLASE N°	V	CLASE N°	IV
SMR	0-20	SMR	21-40
DESCRIPCIÓN	MUY MALA	DESCRIPCIÓN	MALA
ESTABILIDAD	TOTALMENTE INESTABLE	ESTABILIDAD	INESTABLE
FALLAS	GRANDES ROTURAS POR PLANOS CONTINUOS O POR MASA	FALLAS	JUNTAS O GRANDES CUÑAS
TRATAMIENTOS	REEXCAVACIÓN	TRATAMIENTOS	CORRECCIÓN

Figura 4.34: Síntesis de la Tabla 3 donde se presentan los datos para el análisis de falla planar de la clasificación tipo V Muy Mala (a la izquierda) y vuelco IV Mala (a la derecha) para falla por vuelco.

Ventana 05

Se realizó el relevamiento en el talud que se encuentra entre las cotas 1204 m y 1199 m. Se observa una caliza bien consolidada y con intercalaciones de arcillas 0.05 m a 0.10 m de espesor. La estructura más relevante es un pliegue sinclinal asimétrico con orientación noroeste (Figura 4.35).

El macizo se clasificó según Bieniawski como Tipo III (Regular), con una valoración de 53 (Figura 4.36).

Sobre el macizo se relevaron 10 datos estructurales los cuales corresponden a 5 familias de discontinuidades, entre ellas 2 familias del tipo de estratificación E1 $282^{\circ}/75^{\circ}$ y E2 $187^{\circ}/25^{\circ}$, 3 familias del tipo de diaclasas J1 $65^{\circ}/41^{\circ}$, J2 $327^{\circ}/82^{\circ}$ y J3 $85^{\circ}/68^{\circ}$ (Figura 4.37).



Figura 4.35: En la imagen se observa la estructura del pliegue sinclinal asimétrico.

PARAMETROS			ESCALA DE VALORES							
DUREZA	Comportamiento		Solo astillas con piqueta	Fracturas co muchos golpes de martillo	Más de un golpe para ser Fracturada	Un golpe firme para ser fracturada	Hendidura con golpe de piqueta	Desgranable	Hendidura con la uña	
			R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	
	Resistencia a la compresion		> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa	
VALUACION			15	12	7	4	2	1	0	7
RQD			90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %			
			Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala			
VALUACION			20	17	13	8	3			8
ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES			> 2,0 m	0,6 - 2,0 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m			
			Muy espaciadas	Espaciadas	Moderadamente	Juntas	Muy juntas			
VALUACION			20	15	10	8	5			13
APERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES			Cerrada	Muy juntas	Juntas	Abiertas	Amplia			
			0.0mm	(0 - 0,1mm)	(0,1 - 1mm)	(1 - 5mm)	mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	4	1	0			1
RUGOSIDAD			Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable			
			Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Suave	Espejo falla			
VALUACION			6	5	3	1	0			3
AGUA SUBTERRANEA	Infiltración en 10 m de túnel (ls/min)		Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125			
	Relación	Presión del agua en la fisura	cero	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5			
		Esfuerzo mayor ó principal								
		Situación general		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando gota a gota	Descarga continua		
VALUACION			15	10	7	4	0			15
RELLENO			Muy Favorable	Duro menor a 5mm	Duro mayor a 5mm	Blando menor a 5mm	Muy desfavorable			
			Sin relleno				Blando mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	3	1	0			3
ALTERACION			Muy Favorable	Ligeramente alterada	Moderada alteracion	Muy alterada	Muy desfavorable			
			No alterada				Descompuesta			
VALUACION			6	5	3	1	0			3
CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS										
VALUACIÓN			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			53
CLASE N°			1	2	3	4	5			3
DESCRIPCIÓN			MUY BUENA	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA			REGULAR

Figura.4.36: Planilla de clasificación del RMR de Bieniawski de la ventana geotécnica 05, donde se indica la clasificación de la roca de Regular tipo 4, con una valoración de 53.

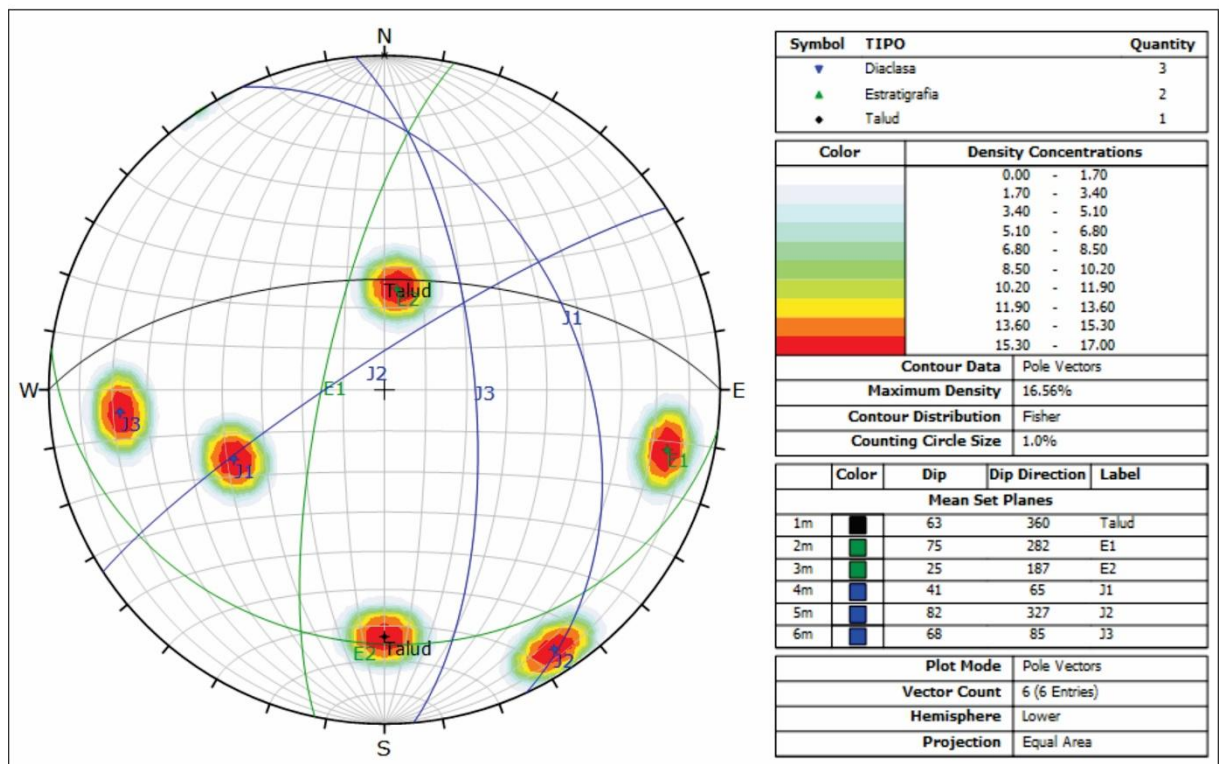


Figura 4.37: En la imagen se observa el estereograma de la Ventana 05, en la cual se indica con trazo continuo los planos de las familias de discontinuidades, con color verde las del tipo de estratificación, en azul las de diaclasa y en negro el plano del talud.

Análisis Cinemático

Se analiza la totalidad de los datos relevados de las familias de las discontinuidades sobre el talud, el cual posee una orientación de $360^{\circ}/63^{\circ}$. Se considera que el ángulo de fricción para las calizas es de 35° y los límites laterales para el talud es de 20° .

Falla Planar

En el análisis para falla planar, se observa en el estereograma que no hay polos que se ubiquen en la zona crítica, por lo cual se define que en este talud la probabilidad de que se genere desplazamiento por falla es mínima (Figura 4.38).

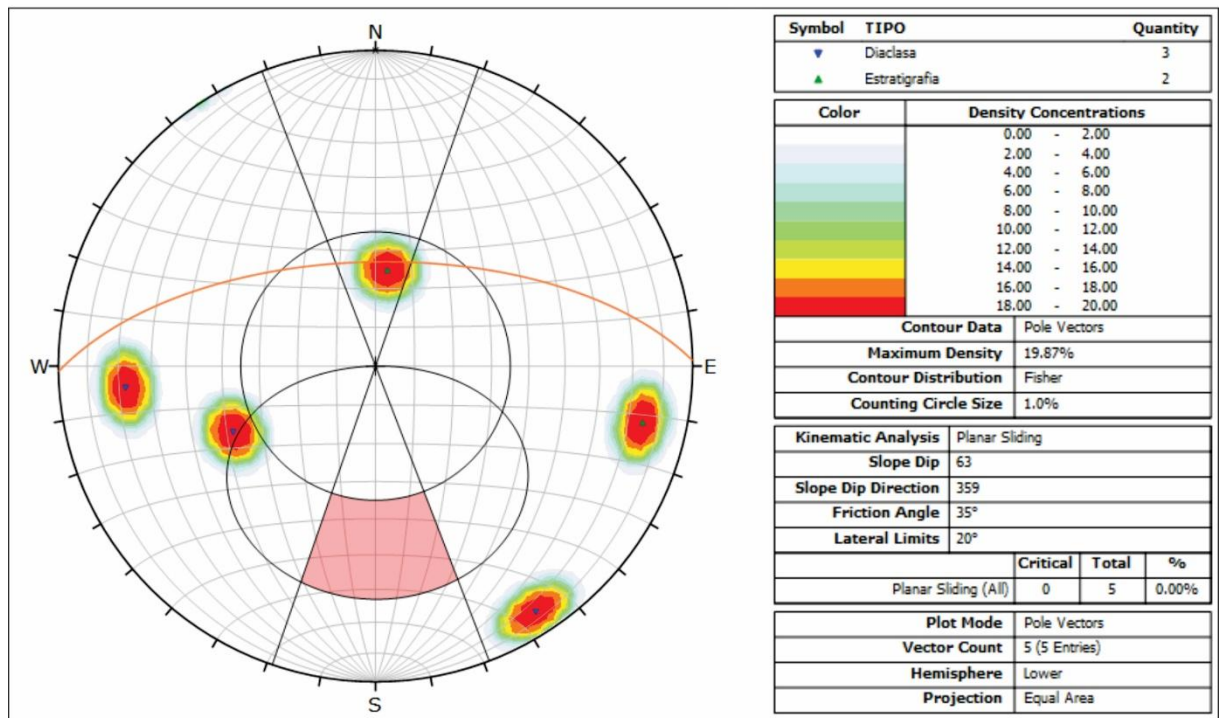


Figura 4.38: Estereograma de análisis de falla plana.

Falla en Cuñas

En el estereograma del análisis por falla en cuñas, se observa que hay un polo que se ubica en la zona crítica el cual está formado por el cruce de los planos de discontinuidad J1 y J2 con una orientación 230°/50°, el cual cumple con las condiciones de que la inclinación de esa línea es menor al buzamiento del talud, y es mayor al ángulo de fricción interna (Figura 4.39).

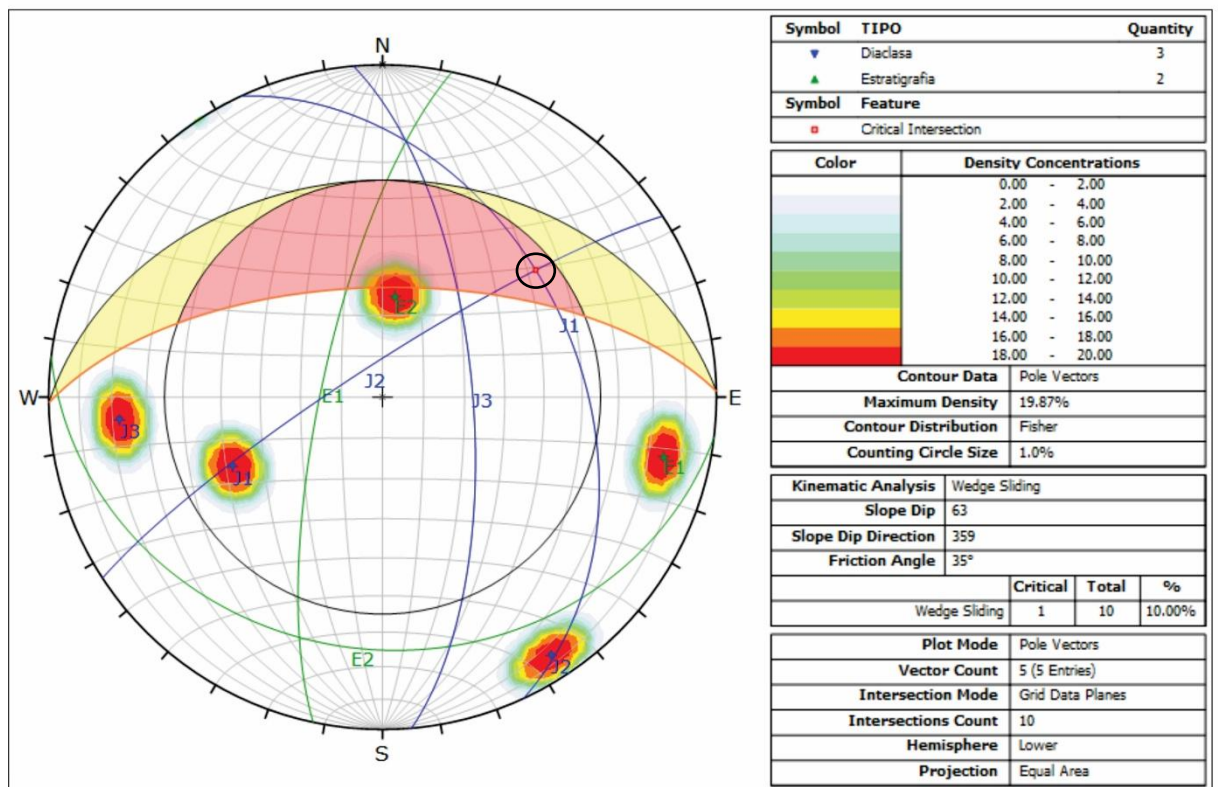


Figura 4.39: En la imagen se indica con círculo de trazo continuo de color negro la línea de intersección de los planos de discontinuidades.

Falla por Vuelco

En el análisis por vuelco de bloques por flexión, se observa que no se ubican polos de discontinuidades en la zona crítica, por lo cual se descarta de que ocurra un desplazamiento de este tipo sobre el talud (Figura 4.40).

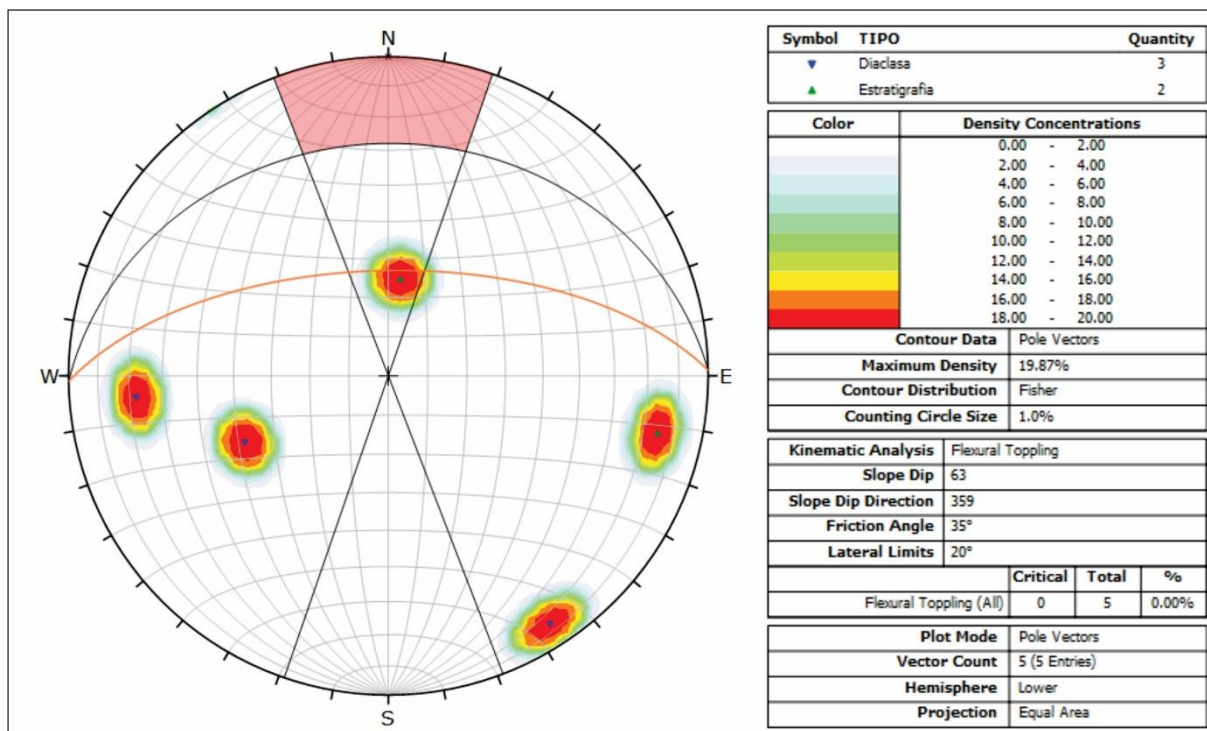


Figura 4.40: Estereograma del análisis de falla por vuelco.

Continuando con el análisis de la ventana 05, a partir de la ecuación [1], se obtuvo el valor de SMR, teniendo en cuenta la intersección de los planos de discontinuidad el cual tiene una orientación 230°/50°, y se realizó el factor de ajuste a partir de falla plana SMR= 52, teniendo en cuenta la tabla 3, se clasifica como tipo III (Figura 4.41).

CLASE N°	III
SMR	41-60
DESCRIPCIÓN	NORMAL
ESTABILIDAD	PARCIALMENTE ESTABLE
FALLAS	ALGUNAS DISCONTINUIDADES O MUCHAS CUÑAS
TRATAMIENTOS	SISTEMÁTICO

Figura 4.41: Síntesis de la Tabla 3 donde se presenta los datos de la clasificación tipo III.

Ventana 06

Se realizó el relevamiento en la zona de Aliviadero-Rápida, entre las cotas variables 1200 m a 1195 m. Sobre el talud, se observa que las calizas se encuentran muy fragmentadas en bloques descomprimidos, con alteraciones de óxidos de hierro (Figura.4.42).

El macizo se clasificó según Bieniawski como roca tipo IV (Mala), con una valoración de 37. (Figura 4.43).

Sobre el talud, se relevaron 16 datos de discontinuidades los cuales corresponden a 7 familias, dos del tipo de estratificación E1 $104^{\circ}/69^{\circ}$ y el E2 $285^{\circ}/64^{\circ}$, tres del tipo de diaclasa que son J1 $14^{\circ}/63^{\circ}$, J2 $42^{\circ}/58^{\circ}$ y la J3 $90^{\circ}/28^{\circ}$ y dos del tipo de fallas la F1 $48^{\circ}/30^{\circ}$ y la F2 $07^{\circ}/63^{\circ}$ (Figura 4.44).



Figura 4.42: Imagen del talud entre las cotas 1200m a 1210m donde se relevó la ventana 06.

PARAMETROS			ESCALA DE VALORES							
DUREZA	Comportamiento		Solo astillas con piqueta	Fracturas co muchos golpes de martillo	Más de un golpe para ser Fracturada	Un golpe firme para ser fracturada	Hendidura con golpe de piqueta	Desgranable	Hendidura con la uña	
			R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	
	Resistencia a la compresion		> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa	
VALUACION			15	12	7	4	2	1	0	7
RQD			90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %			
			Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala			
VALUACION			20	17	13	8	3			3
ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES			> 2,0 m	0,6 - 2,0 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m			
			Muy espaciadas	Espaciadas	Moderadamente	Juntas	Muy juntas			
VALUACION			20	15	10	8	5			8
APERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES			Cerrada	Muy juntas	Juntas	Abiertas	Amplia			
			0.0mm	(0 - 0,1mm)	(0,1 - 1mm)	(1 - 5mm)	mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	4	1	0			1
RUGOSIDAD			Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable			
			Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Suave	Espejo falla			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
AGUA SUBTERRANEA	Infiltración en 10 m de túnel (ls/min)		Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125			
	Relación	Presión del agua en la fisura	cero	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5			
		Esfuerzo mayor ó principal								
	Situación general		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando gota a gota	Descarga continua			
VALUACION			15	10	7	4	0			15
RELLENO			Muy Favorable	Duro menor a 5mm	Duro mayor a 5mm	Blando menor a 5mm	Muy desfavorable			
			Sin relleno				Blando mayor a 5mm			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
ALTERACION			Muy Favorable	Ligeramente alterada	Moderada alteracion	Muy alterada	Muy desfavorable			
			No alterada				Descompuesta			
VALUACION			6	5	3	1	0			1
CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS										
VALUACIÓN			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			37
CLASE N°			1	2	3	4	5			4
DESCRIPCIÓN			MUY BUENA	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA			MALA

Figura.4.43: Planilla de clasificación del RMR de Bieniawski de la ventana geotécnica 06, donde se indica la clasificación de la roca de Regular tipo 4, con una valoración de 37.

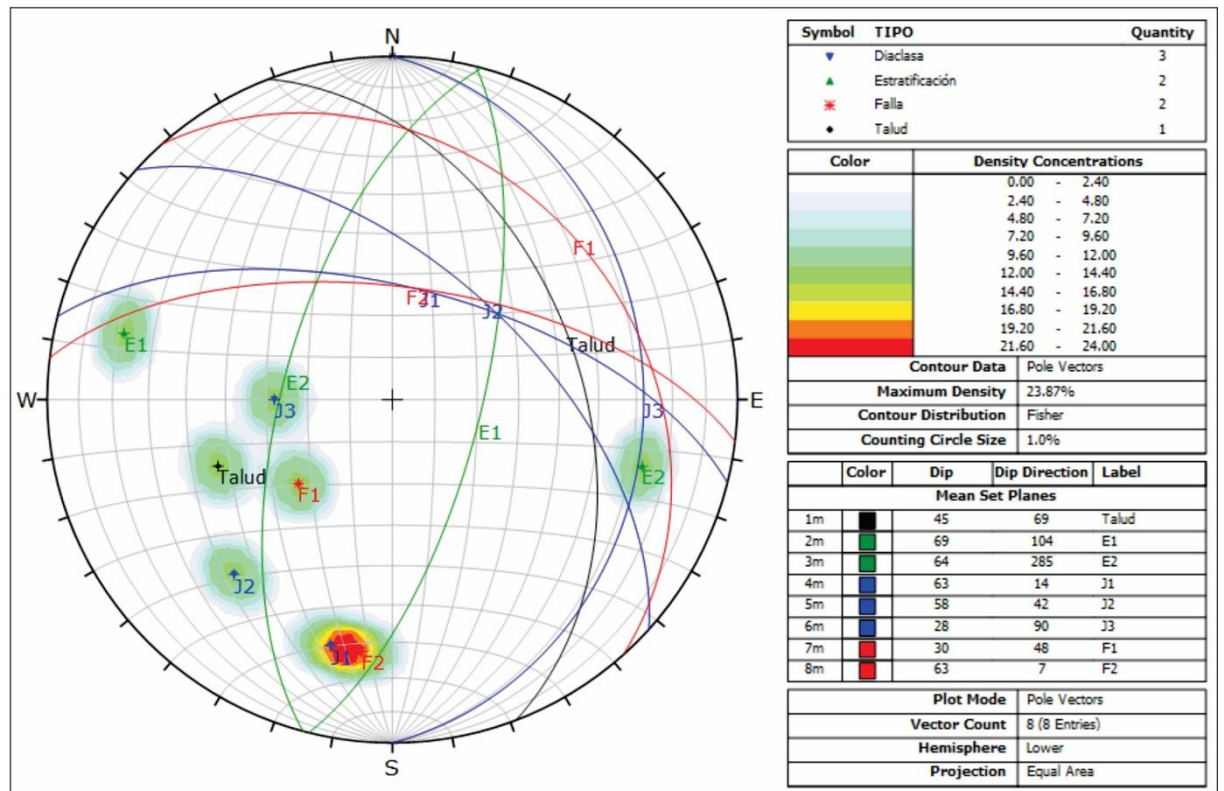


Figura 4.44: En la imagen se observan las familias de discontinuidades analizadas en la ventana 06. Se indica con trazos continuos de color verde los planos de estratificación, con color azul los planos de diaclasa, con color rojo los planos de las fallas y con color negro el plano del talud correspondiente a la zona (69°/45°).

Análisis Cinemático

Se analiza la totalidad de los datos relevados de las familias de las discontinuidades sobre el talud, el cual posee una orientación de 69°/45°. Se considera que el ángulo de fricción para las calizas es de 35° y los límites laterales para el talud es de 20°.

Falla Plana

En el análisis de falla planar, se observa en el estereograma, que no cae ningún polo de discontinuidad sobre la zona crítica.

Si se observa, que hay dos polos que se encuentran en la zona donde indica que se generan bloques sobre el talud. Los polos de las discontinuidades J3 90°/28° y la falla F1 48°/30°, cumplen con la condición que sus buzamientos son menores al del talud, pero no cumple con la relación con el ángulo de fricción interna, ya que en ambos casos es mayor que el buzamiento de las discontinuidades, por lo cual tiene probabilidad de generar desplazamiento por falla plana (Figura 4.45).

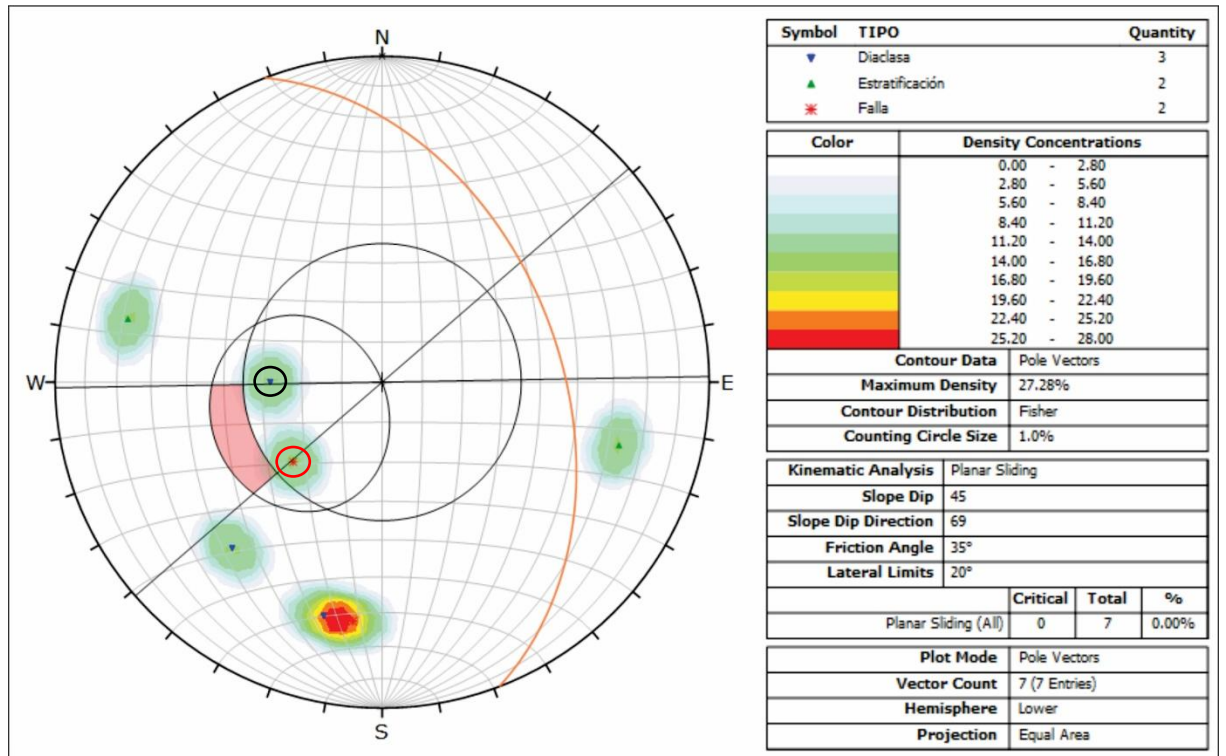


Figura 4.45: Se indica con círculos de trazo continuo de color negro el polo de diaclasa, con color rojo el polo de la falla.

Falla por Cuñas

En el estereograma del análisis por falla en cuñas, se observa que en la zona crítica no se ubica ningún polo de intersección de discontinuidades, por lo cual las probabilidades que se genere un desplazamiento de este tipo es mínimo (Figura 4.46).

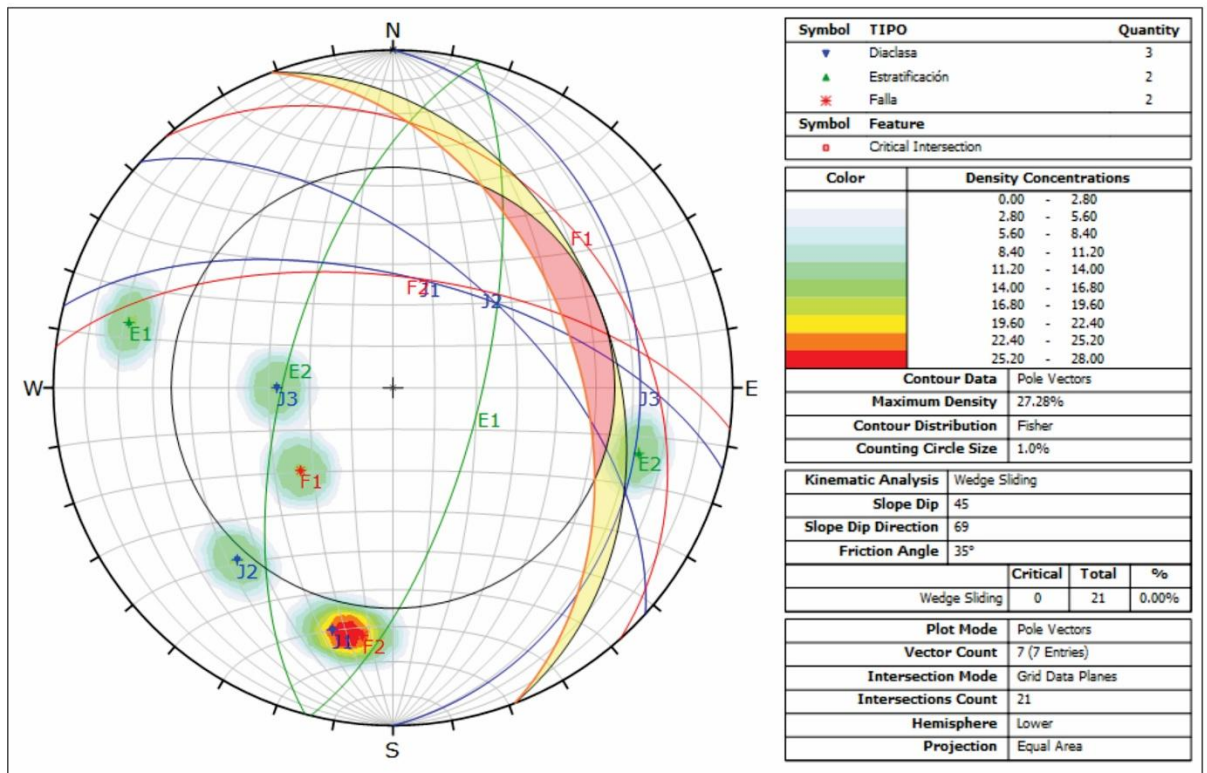


Figura 4.46: Estereograma con el análisis de intersección de planos para fallas por cuñas.

Fallas por Vuelco

En el análisis por vuelco se observa que no caen polos de discontinuidades en la zona crítica, por lo cual se descarta de que ocurra una falla de este tipo en la zona (Figura 4.47).

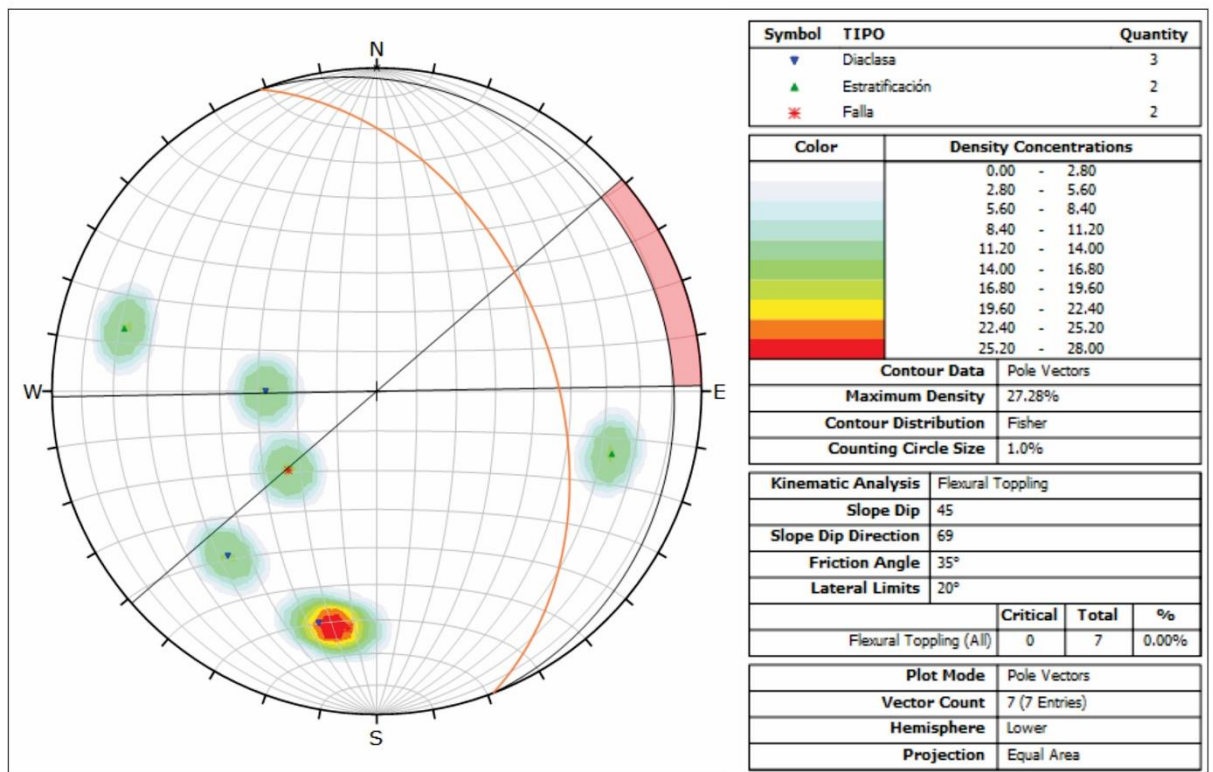


Figura 4.47: Estereograma del análisis de falla por vuelco.

Continuando con el análisis de la ventana 06, a partir de la ecuación [1], se obtuvo el valor de SMR, teniendo en cuenta los polos más desfavorables los cuales tienen una orientación J3 90°/28° y la falla F1 48°/30°. Se realizó el factor de ajuste a partir de falla plana para J3 queda un valor SMR= 35, y para la F1 el SMR = 21, teniendo en cuenta la tabla 3, se clasifica ambas como tipo IV (Figura. 4.48).

CLASE N°	IV
SMR	21-40
DESCRIPCIÓN	MALA
ESTABILIDAD	INESTABLE
FALLAS	JUNTAS O GRANDES CUÑAS
TRATAMIENTOS	CORRECCIÓN

Figura 4.48: Síntesis de la Tabla 3 donde se presenta los datos de la clasificación tipo IV para las discontinuidades J3 y F1.

A continuación, en la (tabla 4.4) se indican los valores angulares de los factores de ajuste dependientes de la relación geométrica existente entre las discontinuidades y el talud para cada ventana geotécnica, y en (tabla 4.5), se demuestra el tipo de rotura definido para cada una de ellas.

Ventanas Geotécnicas								
Parámetros	V-01	V-02	V-03	V-04	V-04	V-05	V-06	V-06
α_j	120°	309°	326°	12°	189°	230°	90°	48°
α_s	83°	07°	07°	07°	07°	0°	69°	69°
$\alpha_j - \alpha_s$	37°	302°	319°	05°		230°	30°	-21°
$\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ$					02°			
β_j	35°	23°	37°	35°	71°	26°	28°	30°
β_s	63°	63°	63°	63°	63°	63°	45°	45°
$\beta_j - \beta_s$	-23°	-40°	-26°	-28°		-37°	-17°	-15°
$\beta_j + \beta_s$					134°			

Tabla 4.4. Parámetros para el cálculo de SMR de cada ventana geotécnica (V-01 a V-06).

Ventanas Geotécnicas								
Parámetros	V-01	V-02	V-03	V-04	V-04	V-05	V-06	V-06
RMR	54	43	38	38	38	53	37	37
Tipo de rotura	planar	planar	planar	planar	vuelco	planar	planar	planar
	37	302	319	5	2	230	30	-21
F1	0,15	0,15	0,15	0,85	1	0,15	0,4	1
	35	23	37	35	71	26	28	30
F2	0,7	0,4	0,85	0,7	1	0,4	0,4	0,4
	-23	-40	-26	-28	134	-37	-17	-15
F3	-60	-60	-60	-60	-25	-60	-60	-60
	voladura suave (recorte)	voladura suave (recorte)	voladura suave (recorte)	voladura suave (recorte)	voladura suave (recorte)	voladura suave (recorte)	voladura suave (recorte)	voladura suave (recorte)
F4	8	8	8	8	8	8	8	8
SMR	55	47	38	10	21	52	35	21
CLASE	III	III	IV	V	IV	III	IV	IV
DESCRIPCIÓN	Regular	Regular	Mala	Muy Mala	Mala	Normal	Mala	Mala
ESTABILIDAD	Parcialmente Estable	Parcialmente Estable	Inestable	Totalmente Inestable	Inestable	Parcialmente Estable	Inestable	Inestable
TRATAMIENTO	Sistemático	Sistemático	Corrección	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Corrección	Corrección

Tabla 4.5. Se presentan los valores obtenidos a partir del análisis de la relación de las discontinuidades con el talud. Existen dos V-04, ya que en la ventana 04 se realizó el análisis para falla planar y vuelco, existen dos V-06 por que se analizaron como discontinuidades más desfavorable una familia de diaclasa y una falla.

Las figuras 4.49 a 4.51 muestran la relación entre las ventanas geomecánicas analizadas y la calidad del macizo determinadas a lo largo de túneles y galerías.

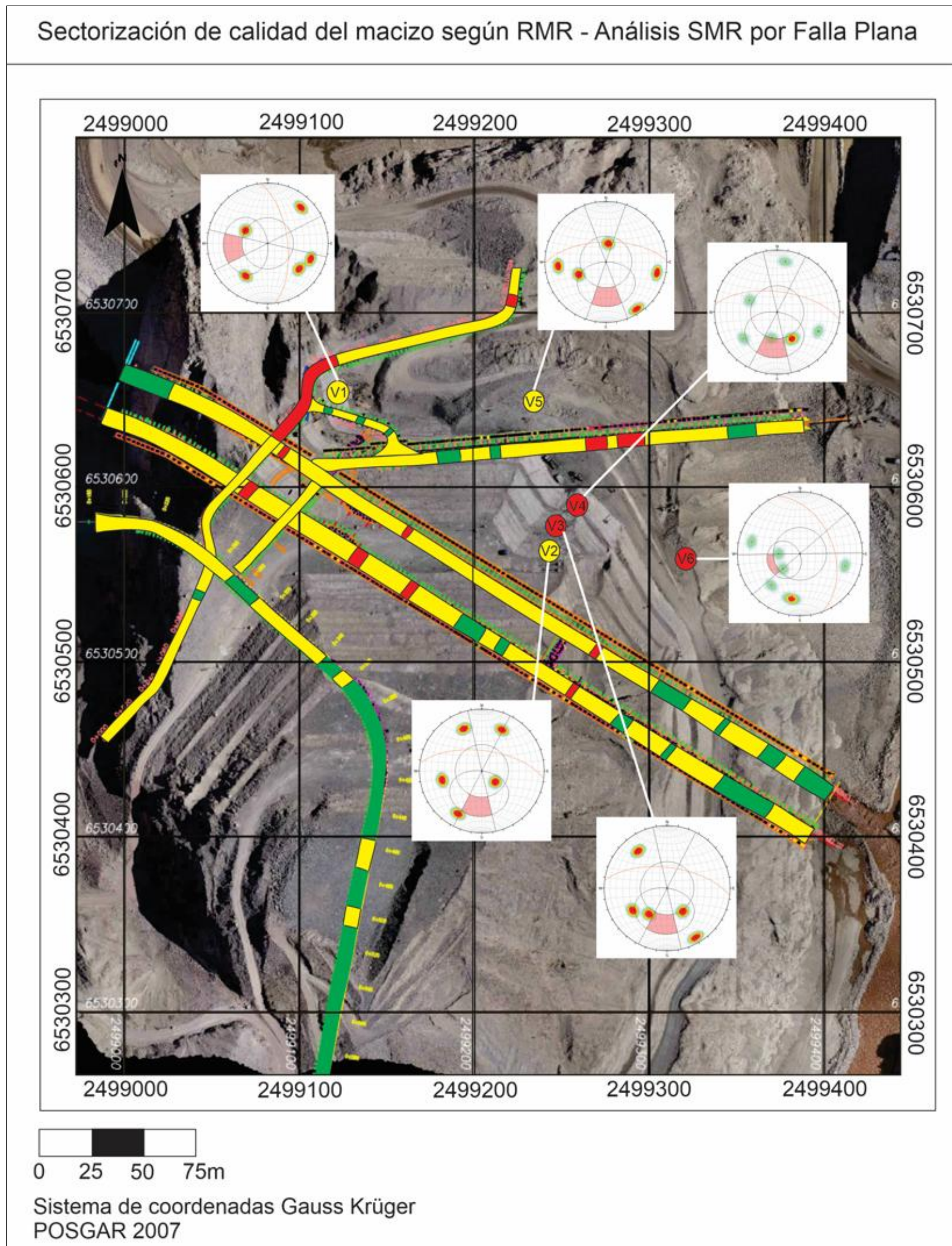


Figura 4.49: En la imagen se representa las calidades del macizo y los estereogramas de falla plana.

Sectorización de calidad del macizo según RMR - Análisis SMR por Cuña

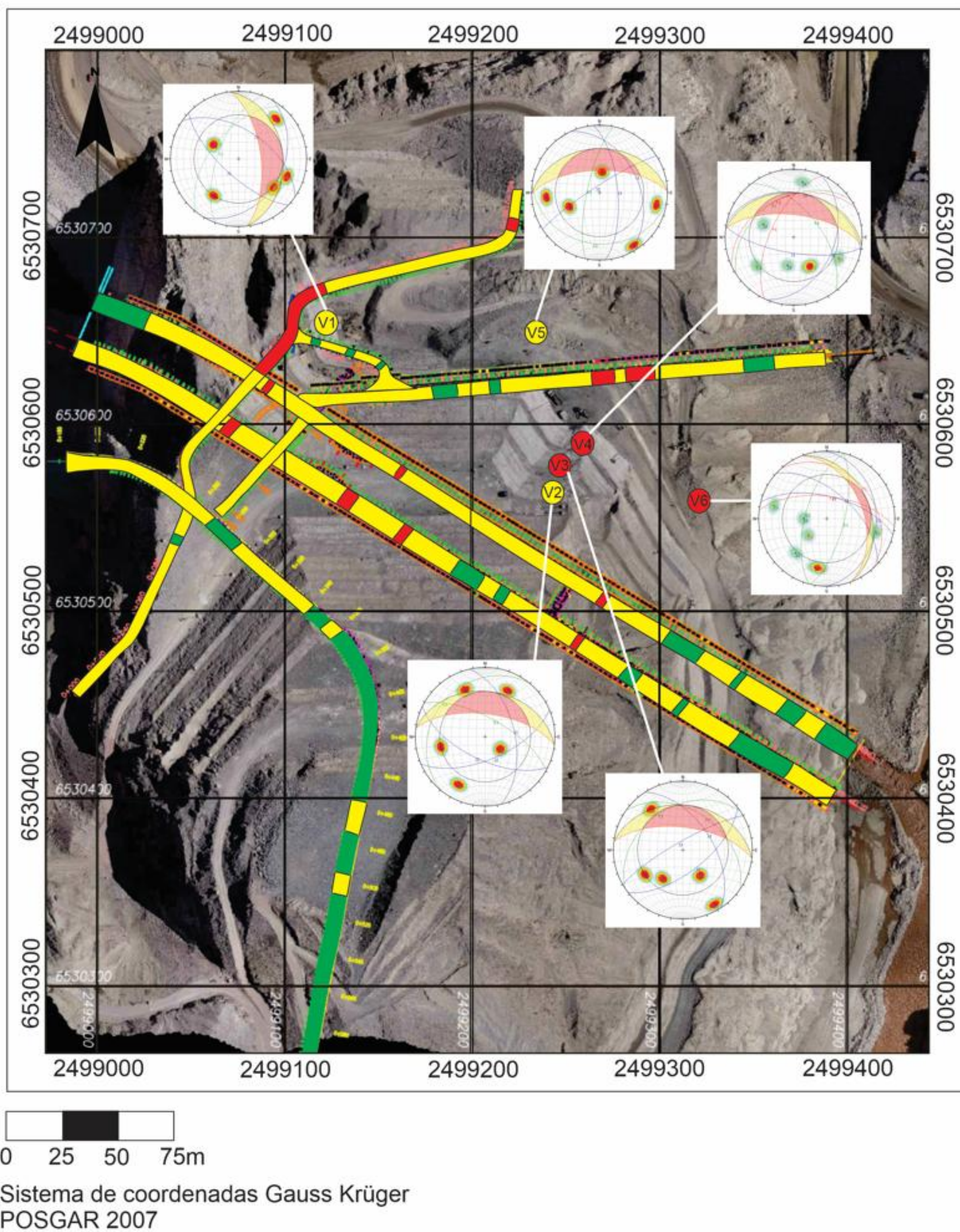


Figura 4.50: En la imagen se representa las calidades del macizo y los estereogramas de falla por cuñas.

Sectorización de calidad del macizo según RMR - Análisis SMR por Vuelco

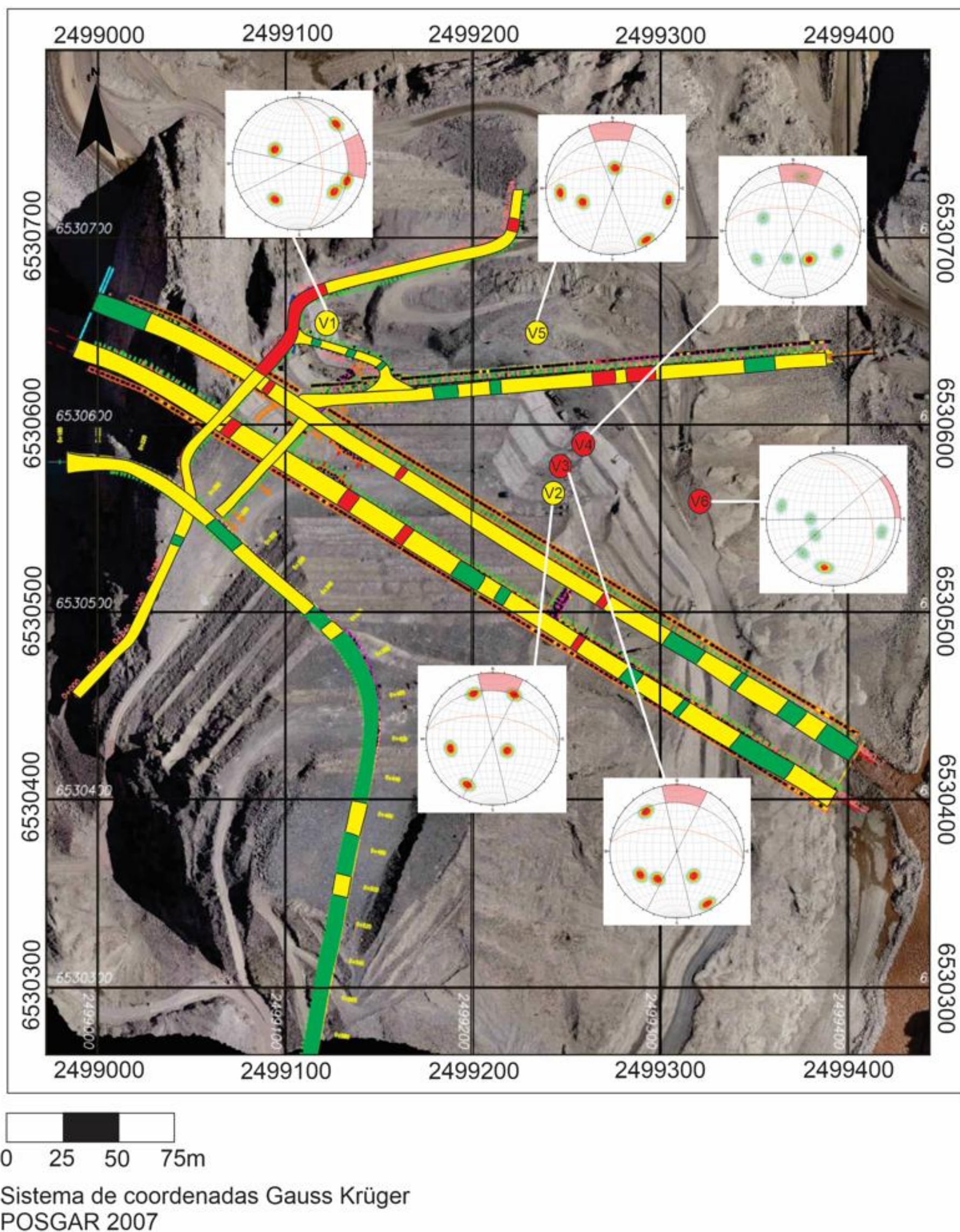


Figura 4.51: En la imagen se representa las calidades del macizo y los estereogramas de falla por vuelco.

V. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se analizan e interpretan los resultados del estudio estructural y geotécnico realizado en este trabajo.

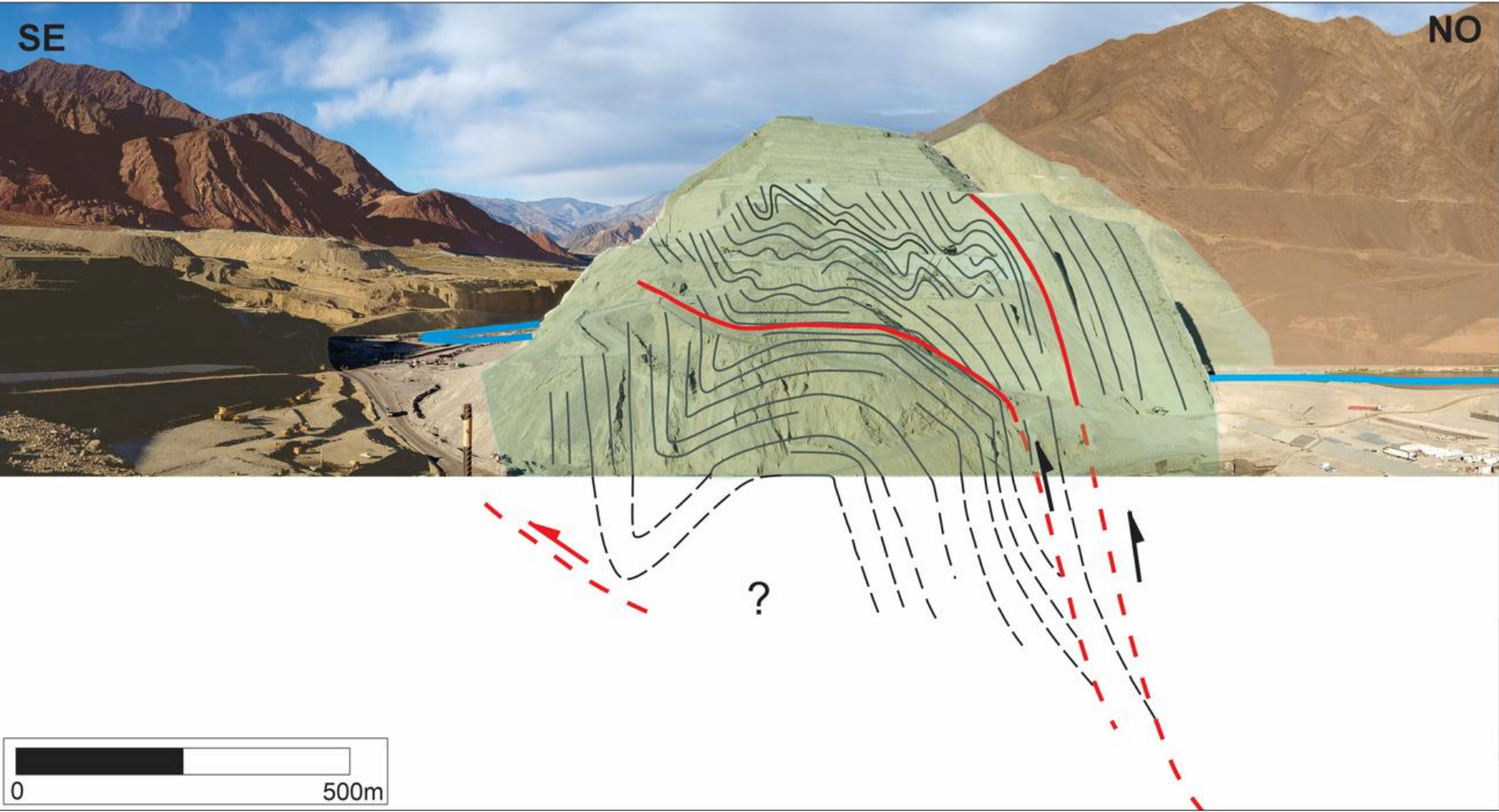
La trama estratigráfica y estructural reconocida en el cerro Tambolar se caracteriza por la superposición tectónica mediante fallamiento inverso y plegamiento asociado de los miembros calizas macizas, calizas lajosas y calizas y margas varicolores de la Formación San Juan. Se interpreta tal relación geométrica como el resultado de una estructura de apilamiento antiformal. Las diferencias en la intensidad de plegamiento y fracturación de los distintos miembros calcáreos, sería el resultado del control que ejerció la litología sobre la deformación. En tal sentido, las calizas masivas presentan pliegues anticlinales y sinclinales de gran longitud de onda, mientras que las calizas lajosas presentan plegamiento de mayor intensidad junto al desarrollo de múltiples sistemas de fallas locales. La relación estratigráfica mediante discordancia de baja angularidad entre la Formación San Juan y la Formación Tambolar, permiten vincular tal estructuración a una misma fase de deformación que habría afectado ambas unidades. La relación de discordancia fuertemente angular que existe entre los depósitos neógenos y las capas carboníferas de la Formación La Dehesa (Alonso *et al.* 2005), permite vincular la deformación de todas las unidades preterciarias del área de estudio con el desarrollo de la orogenia Gondwánica que tuvo lugar hacia fines del Paleozoico.

Por otra parte, el desarrollo de la faja plegada y corrida andina (representada por los corrimientos de La Cantera, El Tambolar, entre otros) vincula tectónicamente unidades paleozoicas y cenozoicas. En este contexto, el corrimiento El Tambolar, sobre el flanco oriental del cerro homónimo, habría reactivado las estructuras de plegamiento y fallamiento Gondwánicas reconocidas en este trabajo (Figura 5.1).

Las estructuras reconocidas tanto en superficie como en subsuelo ejercen un control de primer orden en las características geotécnicas del macizo rocoso. De esta forma, se pudo establecer una fuerte correlación entre la calidad del macizo y las estructuras tectónicas reconocidas.

El tramo de mala calidad que se registró en la galería de inyección GD2, coincide con la falla inversa observada en extremo oeste del macizo, la cual superpone el miembro de calizas y margas varicolores sobre los otros dos miembros. Por otra parte, los tramos de mala calidad, observados en las galerías de desvío 1 y 2, coinciden con la falla inversa que se encuentra al este y que superpone los bancos del miembro calizas lajosas con las capas del miembro calizas macizas. El plegamiento reconocido entre ambas fallas inversas, ha condicionado una calificación geotécnica regular a mala, para el macizo.

Modelo estructural interpretativo del cerro Tambolar



- Referencias
- Sedimentos Aluvionales y Coluviales
 - Formación La Deheza
 - Formación Punta Negra
 - Formación Tambolar
 - Formación San Juan
 - Movimientos Andinos
 - Movimientos Gondwanicos
 - Falla
 - Falla inferida o cubierta
 - río San Juan



Universidad Nacional de San Juan
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Año 2025



Olmos Oyola Federico Antonio Trabajo Final de Licenciatura

Figura. 5.1: Modelo estructural interpretativo del cerro Tambolar

La Tabla 5.1 sintetiza las características determinadas para el macizo rocoso en cada ventana geotécnica y la propuesta específica de sostenimiento para cada caso, realizada en este trabajo.

Ventanas Geotécnicas	RMR	SMR	Calidad	Orientación del talud	Tipo de sostenimiento
1	54	55	regular	83°/63°	Hormigón proyectado con fibra de 8 cm de espesor. Los anclajes de sostenimientos deben tener 10° de inclinación con respecto a la normal, con una distribución en tresbolillos 1,5 m x 1,5 m, con una longitud de 6 m
2	43	47	regular	07°/63°	Hormigón proyectado con fibra de 8 cm de espesor. Los anclajes de sostenimientos deben tener 10° de inclinación con respecto a la normal, con una distribución en tresbolillos 1,6 m x 1,6 m, con una longitud de 12 m
3	38	38	mala	07°/63°	Hormigón proyectado con fibra de 8 cm de espesor. Los anclajes de sostenimientos deben tener 10° de inclinación con respecto a la normal, con una distribución en tresbolillos 2,2 m x 2,2 m, con una longitud de 6m
4	38	10	mala	07°/63°	Hormigón proyectado con fibra de 8 cm de espesor. Los anclajes de sostenimientos deben tener 10° de inclinación con respecto a la normal, con una distribución en tresbolillos 2,2 m x 2,2 m, con una longitud de 6m
		21			
5	53	52	regular	360°/63°	Hormigón proyectado con fibra de 8 cm de espesor. Los anclajes de sostenimientos deben tener 10° de inclinación con respecto a la normal, con una distribución en tresbolillos 1,5 m x 1,5 m, con una longitud de 9 m
6	37	35	mala	69°/45°	Hormigón proyectado con fibra de 8 cm de espesor. Los anclajes de sostenimientos deben tener 10° de inclinación con respecto a la normal, con una distribución en tresbolillos 2,2 m x 2,2 m, con una longitud de 6 m
		21			

Tabla 5.1: Se indica los resultados de las ventanas geotécnicas, con la descripción del sostenimiento correspondiente.

VI. CONCLUSIONES

En este estudio se caracterizó, desde el punto de vista geológico - estructural y geotécnico, el macizo rocoso expuesto en el cerro Tambolar, en la Precordillera Central de San Juan, en el contexto de la obra del Dique el Tambolar.

A continuación, se puntualizan las principales conclusiones del trabajo:

- a) El cerro El Tambolar está conformado por una secuencia calcárea ordovícica de la Formación San Juan. Estas se encuentran afectadas por un intenso plegamiento y delimitadas por un sistema de fallas inversas, las cuales fueron reconocidas en los relevamientos realizados durante las diferentes labores a cielo abierto en las zonas de aliviadero, excavación de cauce, caminos de accesos y subzona de aliviadero afectada por el deslizamiento y correlacionadas con las excavaciones subterráneas del túnel de conducción, túnel de acceso a pozo de compuertas, galerías de inyección y túneles de desvíos. Tal diseño estructural es correlacionable con el esquema estructural de faja plegada y corrida de Precordillera Central. La edad de la estructuración es probablemente andina. Sin embargo, no se descarta que parte del plegamiento y fallamiento que afecta a las unidades paleozoicas de la zona de estudio se haya generado durante la orogenia San Rafael, del ciclo tectónico Gondwánico, como fue propuesto por Alonso *et.al.* (2005).
- b) Desde el punto de vista geotécnico, la calificación del macizo rocoso oscila entre Regular y Mala. A partir del análisis de la distribución espacial de estructuras de plegamiento y fallamiento, en relación con las características geotécnicas del macizo, se desprende la existencia de una fuerte correspondencia entre aquellas zonas fuertemente estructuradas y los valores de calificación más bajos del macizo rocoso.
- c) En relación a la zona donde se proyecta el Aliviadero, está ubicado sobre rocas carbonáticas del miembro calizas lajosas de la Formación San Juan, en el cual se encuentra la mayor concentración de estructuras de pliegues y fallas locales. Sin embargo, a pesar de la fuerte estructuración, la clasificación geotécnica del macizo en este sector es de tipo III (Regular).

d) Se presentan los resultados obtenidos de la evaluación del macizo rocoso en cada ventana geotécnica, y las recomendaciones de sostenimiento en cada caso:

- Ventana 01 (SMR III – Regular – 55)

Se recomienda que, debido a la disposición de la estratificación, los anclajes se coloquen de forma transversal al plano de talud.

- Ventana 02. (SMR III – Regular – 47)

Se recomienda, reforzar el talud con malla electrosoldada y con hormigón proyectado. La orientación de los anclajes será transversal al talud.

- Ventana 03. (SMR IV – Mala – 38)

Debido a que en el estereograma varios planos de intersección se ubican en la zona crítica, indicando que existen probabilidades de desplazamiento por fracturas en cuñas, considerando al talud inestable, se sugiere cambiar la distribución a 1,5 m x 1,5 m, y la orientación de los anclajes considerando la disposición de las discontinuidades se coloquen en forma transversal al talud, con unos 15° de rotación, hacia el NO y reforzar el talud con mallas electrosoldada y hormigón proyectado o aumentar el espesor de este último con fibra, de 8 cm a 12 cm.

- Ventana 04. (SMR V - muy mala (falla plana) - 10 / IV – mala (Vuelco de bloques) – 21)

Debido a las malas condiciones de la roca, talud totalmente inestable, se sugiere cambiar la distribución de anclajes a 1,5 m x 1,5 m, con una longitud de 24 m con una orientación de 15° a 20° con 20° de rotación hacia el NO y aumentar el hormigón proyectado con fibra de 8 cm a 16 cm de espesor o colocar malla electrosoldada intercalada con hormigón proyectado sin fibras metálicas.

- Ventana 05. (SMR III – regular – 52)

Se recomienda proseguir con el tratamiento sistemático definido por planos.

- Ventana 06. (SMR IV – mala (falla plana) – 35 / IV – mala (falla plana para F1) – 21)

Debido a la disposición de las discontinuidades, al talud se lo considera inestable, por lo cual se sugiere cambiar la distribución a 1,5 m x 1,5 m y la longitud a 12 m.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza, F.G. y Peralta, S. 1991. Trazas fósiles de la Formación Tambolar, Silúrico de la Precordillera Central Sanjuanina, Argentina. *Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos*, 12 (1): 125-127. Santa Cruz.
- Albanesi, G. 1998. Taxonomía de conodontes de las secuencias ordovícicas del Cerro Potrerillo, Precordillera Central de San Juan, República Argentina. *Academia Nacional de Ciencias, Actas* 12: 99-253. Córdoba.
- Alonso J.L, Rodríguez L.R, García. J, Heredia. N, Arias. P., Gallastegui J. 2005. *Gondwanic and Andean Structure in the Argentine Central Precordillera. The Rio San Juan Section Revisited. 6th International Symposium on Andean Geodynamics* Barcelona, España – Extended Abstracts (pp 36-39).
- Alonso, J.L., Gallastegui, J., García-Sansegundo, J., Faria, P., Rodríguez Fernández L.R. y Ramos, V.A. 2008. Extensional tectonics and gravitational collapse in an Ordovician passive margin: The Western Argentine Precordillera. *Gondwana Research* 13: 204-215.
- Alvarez-Marrón, J., Rodríguez-Fernández, L.R., Heredia, N., Busquets, P., Colombo, F. y Brown, D. 2006. Neogene structures overprinting Palaeozoic thrust systems in the Andean Precordillera at 30° S latitude. *Journal Geological Society of London*, 163: 949-964.
- Anselmi, G., Cegarra, M., Gaido, M.F., Yamin, M., Pereyra, F., Herrman, C. 2021. Hoja Geológica 3169-27, Barreal. Provincia de San Juan. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 444, 104pp. Buenos Aires. Argentina, Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Vol. 1. Argentine Precordillera. *Gondwana Research*, 13: 204-215.
- Ariza, J., 2016. Estudios geológicos y geofísicos en la faja ofiolítica de la Precordillera Occidental entre Calingasta y Barreal, San Juan. Evolución geotectónica. Tesis Doctoral, FCEFyN, Universidad Nacional de San Juan. Argentina.
- Baldis, B. y Chebli, G. 1969. Estructura profunda del área central de la Precordillera sanjuanina. *IV Jornadas Geológicas Argentinas, Actas*, I:47-66. Buenos Aires.
- Baldis, B., Beresi M., Bordonaro, O. y Vaca A. 1982. Síntesis evolutiva de la Precordillera Argentina. *V Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina. Actas* IV:399-445.

Baldis, B.A. 1973. Variaciones de facies en la Formación Punta Negra (Devónico) de la Precordillera Sanjuanina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 28(2): 147-155. Buenos Aires.

Barton, N. Grimstad, E. 1993. *Updating the Q-Sytem for NMT. Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support. Fagernes, Norway. Ed. Kompen, Opsahi and Berg. Norwegian Concrete Association. Oslo.*

Barton, N.; Grimstad, E. 2000. (C.L. Jimeno et al.) El sistema Q en el método Noruega de excavación de túneles. *Ingeo Tuneles*, Madrid.

Basilici, G., Vieira De Luca, P. y Poiré, D. 2012. *Hummocky cross-stratification-like structures and combined-flow ripples in the Punta Negra Formation (Lower-Middle Devonian, Argentine Precordillera): A turbiditic deep-water or storm-dominated prodelta inner-shelf system? Sedimentary Geology* 267-268:73-92.

Benedetto, J.L. y Franciosi, M. 1998. Braquiópodos Silúricos de las Formaciones Tambolar y Rinconada en la Precordillera de San Juan, Argentina. *Asociación Paleontológica Argentina, Ameghiniana* 35(2): 115-132. Buenos Aires.

Beresi M.S., Bordonaro O., 1984. La Formación San Juan en la Quebrada de las Lajas, Sierra Chica de Zonda, Provincia de San Juan. *Noveno Congreso Geológico Argentino, S.C. Bariloche, 1984. Actas* 1: 95-107.

Beresi, M.S. 1980. El Paleozoico inferior en el tramo medio del río San Juan (Pachaco), provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 35(1): 18-25. Buenos Aires.

Beresi, M.S. 1986. Biofacies con Nuia (microorganismo algal) en la Precordillera de San Juan. *Primeras Jornadas sobre Geología de Precordillera, Asociación Geológica Argentina, Serie A, Monografías y Reuniones* 2: 103-107. Buenos Aires.

Beresi, M.S. 2007. *Fossil sponges of Argentina: a review*. En: Custódio, M.R., G. Lôbo-Hajdu, E. Hajdu y G. Muricy (editors). *Porifera Research: Biodiversity, Innovation and Sustainability*, 11-21. Museu Nacional Rio de Janeiro.

Bertoni, M.E. y Gaido, M. 2005. Análisis petrográfico de las formaciones paleozoicas de la sierra del Tontal, Precordillera Occidental Sanjuanina. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Inédito*: 18 pp. Córdoba.

Bieniawski, Z.T. 1979. "The Geomechanics Classification in rock engineering applications". En Proc. 4th Int. Cong. On Rock Mech. ISRM Montreux. Balkema. Cap. 5, pp 55-95.

Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley. New York.

Bieniawski, Z.T. 1973. "Clasificación ingenieril de macizos rocosos diaclasados". En Trans. Instituto Sudafricano de Ingeniería Civil, vol. 15, pp. 355-344.

Bodenbender, G. 1902. Contribución al conocimiento de la Precordillera y de las Sierras Centrales de la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 18: 203-264.

Boyer, S. y Elliott, D. 1982. *Thrust Systems*. The American Association of Petroleum Geologist *Bulletin*. 66 (9): 1196-1230.

Bracaccini, O. 1946. Contribución al conocimiento geológico de la Precordillera sanjuanino-mendocina. Boletín de Informaciones Petroleras. 23(258): 81-105; (260): 259-274; (261): 361-384; (262): 455- 473; (263): 22-35; (264): 103-125 y (265): 171-192.

Bracaccini, O. 1949. El perfil de Tambolar (provincia de San Juan). Revista De La Asociación Geológica Argentina, 4 (3), 165-179

Bracaccini, O. 1950. Investigaciones tectónicas en la Precordillera sanjuanina. Boletín de Informaciones Petroleras, Reimpresión. 301: 1-36.

Carrera, M.G. 1997. Evolución y recambio de la fauna de poríferos y Briozoos en el Ordovícico de la Precordillera Argentina. Asociación Paleontológica Argentina, Ameghiniana 34(3): 295-308. Buenos Aires.

Carrera, M.G. 2001. Análisis de la distribución y composición de las biofacies de la Formación San Juan (Ordovícico temprano), Precordillera Argentina. Asociación Paleontológica Argentina, Ameghiniana 38(2): 169-184. Buenos Aires.

Cevallos, M., y Milana, J. 1992. Sedimentología de un desierto eólico terciario (San Juan, Argentina). I Reunión Argentina de Sedimentología, Actas III: pp.121-128. LA Plata, Argentina.

Collinson, J. 1986. *Aluvial Sediments*. En Reading, H.G.(Ed.), *Sedimentary environments and facies* (2nd.ed). Blackwell Scientific Publications, Oxford: 20-63. U.K.

Cortés, J.M., Yamín, M., Pasini, M. 2005. La Precordillera Sur, provincia de San Juan y Mendoza. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1:395 – 402.

Cristallini, E. y Ramos, V. 2002. *Thick-skinned and thin-skinned thrusting in the La Ramada fold and thrust belt: crustal evolution of the High Andes of San Juan, Argentina (32°SL)*. *Tectonophysics* (317): 205–235.

Cuerda, A. y Furque, G. 1983. Depósitos carbónicos de la Precordillera de San Juan. Parte II - Quebrada La Deheza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 38(3-4): 381-391. Buenos Aires.

Daniele, C y Natenzon, C. 1994. Las Regiones Naturales de la Argentina: Caracterización y Diagnóstico. En el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la Argentina. Diagnóstico de su Patrimonio y su Desarrollo Institucional. Daniele, C, Burkart, R, Del Valle Ruiz, L, Natenzon, C y Ardura, F. Buenos Aires. Argentina.

Deere, D.U. and Miller, D.W. 1967. *The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice, Classification Systems for Engineering Purposes*. ASTM STP, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 91-101.

Furque, G. 1958. El Ordovícico de la Precordillera riojana. *Revista Museo de La Plata*, 4: 343-369. La Plata.

Furque, G. 1973. Descripción geológica de la Hoja 20c-Ullum, provincia de San Juan. Carta Geológico-Económica de la República Argentina (escala 1:200.000). Servicio Geológico Nacional. Inédito. Buenos Aires.

Furque, G. y Caballé, M. 1988. Descripción geológica de la Sierra de la Invernada, San Juan. Subsecretaría de Minería de la Nación. Inédito: 76 pp. Buenos Aires.

Furque, G. y Cuerda, A. 1979. Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza. En: Turner, J.C.M. (editor). 2° Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, Volumen 1: 455-522. Córdoba.

González Bonorino, G. 1975. Sedimentología de la Formación Punta Negra y algunas consideraciones sobre la geología regional de la Precordillera de San Juan y Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 30(3): 223-246. Buenos Aires.

González Bonorino, G. 1976. Acerca de la existencia de la Protoprecordillera de Cuyo. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 101-107. Bahía Blanca.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C., 2002. Ingeniería Geológica, Pearson Educación, Madrid. Cap. 3 Mecánicas de Rocas, Cap. 9 Taludes, Cap. 10. Túneles.

Hawley P.M, Martin, D.C. y Acott. C.P. 1985. *Failure mechanics and design considerations for footwall slopes*. 87th Ann. Gen. Meet. Can. Inst. of Min. & Metall. Vancouver. 29 pp.

Heim, A. 1952. Estudios tectónicos en la Precordillera de San Juan, los ríos San Juan, Jáchal y Huaco. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 7(1): 11-70. Buenos Aires.

Herrera Rodríguez F., Análisis de estabilidad de taludes, Geotecnia 2000.

Informe inédito Geológico – Geotécnico, 2004. Campaña Adicional Exploratoria en Casa de Máquinas. Fundaciones Especiales. Aprovechamiento Hidroenergético El Tambolar.

Informes Mensuales y Diarios, 2022 -2024. Planos Obras de excedencias. Aliviadero-Tratamientos, Secciones y Detalle. Aliviadero (rápida) Tratamiento – Vista y Secciones, Proyecto Aprovechamiento Hidroenergético Multipropósito El Tambolar.

informe inédito Geología y Geotécnica, Excavaciones Expuestas P.H. El Tambolar (UTE-Tambolar, 2023)

ISRM, 1981. *Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring*. In: E.T. Brown, Ed. *Suggested methods*. Pergamon Press J.Hudson (ed.) Comprehensive Rock Engineering. Pergamon. Vol. 3. pp 575-600.

Jofré P., 2021. Caracterización Geotécnica del Macizo Rocoso de Casa de Máquinas en el Proyecto Hidroeléctrico Multipropósito el Tambolar, Provincia de San Juan. Tesis de Licenciatura, FCEFyN, Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

Keidel, J. 1921. Observaciones geológicas en la Precordillera de San Juan-Mendoza. Ministerio de Agricultura de La Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minería, Anales 15(2): 1-103.

Keller, M., F. Cañas, O. Lehnert y N. Vaccari 1994. *The Upper Cambrian and Lower Ordovician of the Precordillera (Western Argentina): Some stratigraphic reconsideration*. Newsletters on Stratigraphy, 31: 115-132. Stuttgart.

Kobayashi, T. 1937. *The Cambro-Ordovician shelly faunas of South America*. Journal of Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, II (4): 369-522. Tokyo.

Lawrence, D. y Williams, B. 1987. *Evolution of drainage systems in response to acadian deformation: the Devonian Battery Point Formation, Eastern Canada*. En: Ethridge, F.G.; R.M. Flores y M.D. Harvey (Eds) *Recent developments in fluvial sedimentology*. Society of Economic Paleontologist y Mineralogist, Special Publication 39: 287-300.

León, L. 2004. Estratigrafía, Icnología y Ambiente Depositacional de la Formación Tambolar, Silúrico, Precordillera Central de San Juan, Argentina. Tesis doctoral de la Universidad Nacional de San Juan. Inédito. San Juan.

Masramon, E., 1986. Geología de las sedimentitas Meso-cenozoicas del área del Palque de Pachaco, Dto. Zonda, Pcia. De San Juan. Tesis de Licenciatura, FCEFyN, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.

Mestre, A. 2009. Primeros conodontes de la Formación Tambolar (Facies Pachaco), Silúrico de la Precordillera Argentina, y sus implicancias bioestratigráficas. Asociación Paleontológica Argentina, Ameghiniana 46(3): 469-479. Buenos Aires.

Miall, A.D., 1985. *Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. Earth Sciences Reviews*, 22:261-308.

Milana J. P., Cevallos M. F., Zavattieri A. M., Prampano M., Papu H. O. 1993. La secuencia Terciaria de Pachaco: Sedimentología, Edad, Correlaciones y Significado Paleogeográfico. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas TºI: (pp 226-234).

Ortiz, A. y Zambrano, J. 1981. La provincia geológica Precordillera Oriental. 8º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 59-74. San Luis.

Peralta, S. y Carter, CH. 1990. Facies de plataforma e icnofacies de la Formación Tambolar (Silúrico) en su localidad tipo, Precordillera Central Sanjuanina, Argentina. 3º Reunión Argentina de Paleontología, Actas: 339-344. San Juan.

Peralta, S. y León, L. 1993. Estratigrafía, Sedimentología y correlación de los depósitos silúricos de Pachaco, Precordillera Central Sanjuanina. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 142-147. Buenos Aires.

Peralta, S., Pöthe de Baldis, E., León, L. y Pereyra, M. 2003. *Silurian of the San Juan Precordillera, western Argentina: stratigraphic framework. En: Ortega, G. y G.F. Aceñolaza (editors). 7th International Graptolite Conference and 2003 Field Meeting of the Subcommittee on Silurian Stratigraphy. INSUGEO, Serie Correlación Geológica 18: 6pp. San Miguel de Tucumán.*

Perucca L. Vargas N., 2014b. Neotectónica de la Provincia de San Juan, centro – oeste de Argentina. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen 66, núm. 2, p.291-304.

Perucca L., Onorato M.R., Millán J., Bustos A., Vargas N., 2014a. Variación del estilo de deformación a lo largo del Sistema de Falla La Cantera, Precordillera Central, San Juan, Argentina. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 27(2).

Ramos, V. 1999a. Rasgos estructurales del Territorio Argentino. 1 Evolución tectónica de la Argentina. En: Caminos, R. (editor). *Geología Argentina*. Instituto de Geología y recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales N° 29: 715-759. Buenos Aires.

Ramos, V. 1999b. Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino. *Geología Argentina*. Anales 29 (3): 41-96. Buenos Aires.

Ramos, V. y Vujovich G. 2000. Geología. En: Hoja Geológica 3169-IV San Juan, provincia de San Juan. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250000. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín N° 243: 82 pp. Buenos Aires.

Rojas, S., 2009. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Vías – Geotecnia. <https://es.slideshare.net/slideshow/clase1-rocas-discontinuidades/57391840>.

Romana, M. 1985. “Nuevas calificaciones de ajuste para la aplicación de la clasificación Bieniawski a taludes”. En *Int. Symp. sobre el papel de la mecánica de rocas ISRM*. Zacatecas. pp 49-53.

Romana, M. 1993. “*A geomechanical classification for slopes: Slope Mass Rating*”. En J. HUDSON (ed.) *Comprehensive Rock Engineering*. Pergamon. Vol. 3. pp 575-600.

Romana, M., Serón Gañez, J., Montalar Y., 2001. La Clasificación Geomecánica SMR: Aplicación, Experiencias y Validación. V Simposio Nacional sobre taludes y Laderas Inestables – Madrid.

Rubinstein, C. 1999. Primer registro palinológico de la Formación Punta Negra (Devónico Medio-Superior), de la Precordillera de San Juan, Argentina. *Asociación Paleontológica Argentina*, 10° Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología, Publicación Especial 6: 13-18. Buenos Aires.

Sánchez, C. (08 de febrero del 2019). *Normas APA - 7ma (séptima) edición*. Normas APA (7ma edición).

Serpagli, E. 1974. Lower Ordovician Conodonts from Precordillera Argentina (*Province of San Juan*). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*- Vol.13, 1 y 2. Módena. Italia.

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS. ABC *Geotechnical Consulting*.
<https://www.mecanicasuelosabcchile.com/clasificacion-sucs/>.

Stappenbeck, R. 1910. La Precordillera de San Juan y Mendoza. Ministerio de Agricultura de la Nación, sección Geología, Anales 4(4): 1-187.

Steel, R. y Aasheim S. 1978. *Alluvial sand deposition in a rapidly subsiding basin (Devonian, Norway)*. En: Miall, A.D. (Ed) *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists. Memoir 5: 385-412. Calgary, Canada.

Strelkov, E. y Alvarez L. 1984. Análisis estratigráfico y evolutivo de la cuenca triásica mendocina-sanjuanina. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche, 3:115-130.

Sumay, C. 1980. Geología de las sedimentitas asignadas al Mesozoico de la Quebrada de EL Palque de Pachaco, Pcia. De San Juan. Tesis de Licenciatura, FCEFyN, Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

Thomas, W. y Astini, R. 2007. Vestiges of an Ordovician west-vergent thin-skinned Ocoyic thrust belt in the Argentine Precordillera, southern Central Andes. *Journal of Structural Geology* 29: 1369-1385.

Tunbridge, I., 1981. Sandy high-energy flood sedimentation – Some criteria for recognition with an example from Devonian of SW England. *Sedimentary Geology*, 28:79-85.

von Gosen, W. 1992. Structural evolution of the Argentine Precordillera: *Journal of Structural Geology*, 14 (6): 643–667.

Walker, R. y Cant, D. 1984. *Sandy fluvial systems*. En: Walker R.G. (Ed) *Facies Models*. (2nd.ed), *Geoscience Canadá*:71-90.

Yamin, M. 2007. Neotectónica del bloque Barreal, margen noroccidental de la Precordillera sur. Tesis doctoral de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Inédita: 281 pp. Buenos Aires.

ANEXO

Planilla de ejemplo de RMR de Bieniawski utilizada en obra. (Tabla I)

CLASIFICACION DE LOS PARAMETROS Y SU EVALUACION:									
		ESCALA DE VALORES							
<u>DUREZA</u>	Comportamiento	Solo astillas con piqueta	Fracturas co muchos golpes de martillo	mas de un golpe para ser Fracturada	Un golpe firme para ser fracturada	Hendidura con golpe de piqueta	Desgranable	Hendidura con la uña	
		R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	
	Resistencia a la compresion	> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa	
VALUACION		15	12	7	4	2	1	0	12
<u>RQD</u>		90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %			
		Exelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala calidad			
VALUACION		20	17	13	8	3			13
<u>ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES</u>		> 2,0 m	0,6 - 2,0 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m			
		Muy espaciadas	Espaciadas	Moderadamente	Juntas	Muy juntas			
VALUACION		20	15	10	8	5			10
<u>APERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES</u>		Cerrada	Muy juntas	Juntas	Abiertas	Amplia			
		0.0mm	(0 - 0,1mm)	(0,1 - 1mm)	(1 - 5mm)	mayor a 5mm			
VALUACION		6	5	4	1	0			1
<u>PERSISTENCIA O CONTINUIDAD</u>		Muy alta	Alta	Mediana	Baja	Muy baja			
		Mayor a (> 20m)	10- 20m	3 - 10m	1 - 3m	Menor a (< 1m)			
VALUACION	Túneles	0	1	2	4	6			0
<u>RUGOSIDAD</u>		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable			
		Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Suave	Espejo falla			
VALUACION		6	5	3	1	0			1
<u>AGUA SUBTERRANEA</u>	Infiltración en 10 m de túnel (ls/min)	Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125			
	Relación $\frac{\text{Presión del agua en la fisura}}{\text{Esfuerzo mayor ó principal}}$	cero	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5			
	Situación general	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando gota a gota	Descarga continua			
VALUACION		15	10	7	4	0			15
<u>RELLENO</u>		Muy Favorable	Duro menor a 5mm	Duro mayor a 5mm	Blando menor a 5mm	Muy desfavorable			
		Sin relleno				Blando mayor a 5mm			
VALUACION		6	5	3	1	0			5
<u>ALTERACION</u>		Muy Favorable	Ligeramente alterada	Moderada alteracion	Muy alterada	Muy desfavorable			
		No alterada				Descompuesta			
VALUACION		6	5	3	1	0			5
<u>AJUSTE EN LA EVALUACION POR LA ORIENTACION DE LAS FISURAS:</u>									
<u>ORIENTACION E INCLINACION DE LAS DISCONTINUIDADES</u>		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable			
VALUACION	TUNELES	0	-2	-5	-10	-12			-5
<u>CLASIFICACION DE LAS ROCAS SEGUN EL TOTAL DE LA VALUACION:</u>									
VALUACION		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			
CLASE N°		1	2	3	4	5			
DESCRIPCION		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA			

Planilla Q de Barton de ejemplo utilizada en obra. (Tabla II)

1 _ INDICE DE CALIDAD DE ROCA		RQD	NOTAS			
a) Muy Mala		0 - 25	1- Cuando el valor RQD es menor a 10 (inclusive cero) se le otorga un valor nominal de 10. 2 - Intervalos de 5 son suficientemente precisos.			
b) Mala		25 - 50				
c) Regular		50 - 75				
d) Buena		75 - 90				
e) Excelente		90 - 100				
2 _ SISTEMAS DE FISURAS		Jn	NOTAS			
a) Masivo, sin o con pocas fisuras		0 a 25	1- Para cruces con túneles utilizar 3 x Jn. 2 - Para portales utilizar 2 x Jn.			
b) Un sistema de fisuras		2				
c) Un sistema de fisuras + una aislada		3				
d) Dos sistemas de fisuras		4				
e) Dos sistemas de fisuras + una aislada		6				
f) Tres sistemas de fisuras		9				
g) Tres sistemas de fisuras + una aislada		12				
h) Cuatro o más sistemas de fisuras, fisuración intensa, etc		15				
i) Roca triturada, terrosa.		20				
3 _ RUGOSIDAD DE LAS FISURAS		Jr	NOTAS			
A) Contacto de las paredes			1 - Añada 1 si el espaciamiento medio del sistema de juntas es mayor de 3 m. 2 - Jr = 0,5 si se puede utilizar para fisuras de fricción planas y que tengan alineaciones con la condición de que éstas estén orientadas para resistencia mínima.			
B) Contacto de las paredes antes de un cizalleo de 10 cm						
a) Fisuras sin continuidad		4				
b) Rugosas o irregulares, corrugadas		3				
c) Suaves, corrugación suave		2				
d) Reliz de falla, o superficie de fricción ondulación		1,5				
e) Rugosas o irregulares pero planas		1,5				
f) Lisas y planas		1				
g) Reliz de falla o superficie de fricción, plano		0,5				
C) Sin contacto de roca después de un cizalleo de 10 cm						
h) Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes		1				
i) Zona arenosa, de grava o roca triturada de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes		1				
4 _ ALTERACION DE LAS JUNTAS		Ja			Φr (aprox.)	NOTAS
A) Contacto directo entre las caras de la junta						1 - Los valores de Φr (ángulo de fricción residual) se indican como fricción aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de alteración, si es que están presentes.
a) Relleno soldado, duro, inablandable, impermeable		0,75				
b) Paredes inalteradas, sólo con manchas de superficie		1	25° - 35°			
c) Paredes ligeramente alteradas, con recubrimiento de minerales inablandables, partículas arenosas, roca triturada sin arcilla		2	25° - 30°			
d) Recubrimientos limosos o areno arcillosos, pequeñas partículas de arcilla inablandable		3	20° - 25°			
e) Recubrimientos blandables o con arcilla de baja fricción o sea kaolinita o mica. También clorita, talco, yeso y grafito, etc. Y pequeñas cantidades de arcillas expansivas (recubrimientos sin continuidad de 1-2 mm de espesor o menos)		4	8° - 16°			
B) Contacto en las paredes antes de un cizalleo de 10 cm						
f) Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla, etc.		4	25° - 30°			
g) Rellenos de minerales arcillosos muy consolidados e inablandables (continuos < 5 mm de espesor)		6	16° - 24°			
h) Rellenos de minerales arcillosos de consolidación media o baja (continuos < 5 mm de espesor)		8	8° - 16°			
i) Rellenos de arcillas expansivas, o sea montmorillonita (continuos < 5 mm de espesor). El valor Ja depende del porcentaje de partículas expansivas y del acceso al agua		8 - 12	6° - 12°			
C) Sin contacto de las paredes después del cizalleo						
j) Zonas o capas de roca y arcilla desintegrada		6				
k) o triturada (véase g, h e i para		8				
l) condiciones de arcilla)		8 - 12	6° - 24°			
m) Zonas o capas de arcilla limos o arenosa, pequeñas fracciones de arcilla (inablandable)		5				
n) Zonas o capas gruesas de arcilla (véase g, h e i para		10 - 13				
p) las condiciones de arcilla)		13 - 20	6° - 24°			
5 _ FACTOR DE REDUCCION POR AGUA EN LAS FISURAS		Jw	Presión (k)	NOTAS		
a) Excavación seca o poca infiltración, o sea < 5 l/min localmente		1	< 1	1 - Los factores de fricción son estimaciones aproximadas. Aumenta Jw si se instalan drenes. 2 - Los problemas especiales por la presencia de hielo no se		
b) Infiltración o presión mediana con lavado ocasional de los rellenos		0,66	1 - 2,5			
c) Gran infiltración o presión alta en roca competente con juntas sin relleno		0,5	2,5 - 10			
d) Gran infiltración a presión alta, lavado importante de los rellenos		0,33	2,5 - 10			
e) Infiltración o presión excepcionalmente altas con las voladuras, disminuyendo con el tiempo		0,2 - 0,1	> 10			
f) Infiltración o presión excepcionalmente altas en todo momento		0,1 - 0,05	> 10			
6 _ FACTOR DE REDUCCION DE ESFUERZOS		SRF	NOTAS			
A) Zonas de debilidad que intersectan la excavación y que pueden ser la causa de que el macizo se desestabilice cuando se construye el túnel			1 - Redúzcanse estos valores SRF de 25-50% si las zonas de fractura sólo interesan pero no cruzan la excavación. 2 - Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópico (si se mide): cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, redúzcase σ_3 y σ_1 a 0,8 cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, redúzcase σ_3 y σ_1 a 0,6. Donde σ_3 es una fuerza compresiva no confinada, σ_1 fuerza de tensión (carga de punta) y σ_1/σ_3 son la fuerzas mayores y menores principales. 3 - Hay pocos casos reportados donde el techo abajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2,5 a 5 para estos casos (ver h).			
a) Múltiples zonas de debilidad que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy suelta (cualquier profundidad)		10				
b) Zonas de debilidad aislada que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación < 50 m)		5				
c) Zonas de debilidad aislada que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación > 50 m)		2,5				
d) Múltiples zonas de fracturas en roca competente (sin arcilla), roca circundante suelta (cualquier profundidad)		7,5				
e) Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), profundidad de la excavación < 50 m		5				
f) Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), profundidad de la excavación > 50 m		2,5				
g) Fisuras abiertas sueltas, fisuración intensa(cualquier profundidad)		5				
B) Roca competente, problemas de esfuerzos						
h) Esfuerzo bajo, cerca de	σ/σ_3 > 200	σ_1/σ_3 > 13			2,5	
i) Esfuerzo mediano	200 - 10	13 - 0,6			1	
j) Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (generalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de las tablas)	10 - 5	0,66 - 0,33			0,5 - 2	
k) Desprendimiento moderado de la roca (roca masiva)	5 - 2,5	0,33 - 0,16			5 - 10	
l) Desprendimiento intenso de la roca (roca masiva)	< 2,5	< 0,16			10 - 20	
C) Roca compresiva, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de presiones altas de la roca						
m) Presiones compresivas moderadas			5 - 10			
n) Presiones compresivas altas			10 - 20			
D) Roca expansiva, acción química expansiva dependiendo de la presencia de agua						
o) Presiones expansivas moderadas			5 - 10			
p) Presiones expansivas altas			10 - 20			

VALOR
70
2
1,5
3
1
2,5

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

$$Q = \frac{7}{7}$$

Roca de calidad = Regular

Tablas reducidas de Clasificación de Bieniawski por sectores. (Tablas III)

CLASIFICACION RMR SEGÚN BIENIAWSKI 1989.		DUREZA	RQD x m2	DISCONT.	APERTURA	PERSISTENCIA	RUGOSIDAD	AGUA	RELLENO	ALTERACION	ORIENT. DISCONT.	VALUACION	CLASE	DESCRIPCION
Tunel de Conducción (Derecha)	Progr. 582,21 m	12	13	15	5	0	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 578,86 m	12	13	15	5	0	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 575,44 m	12	13	15	5	0	5	15	6	5	-12	64	2	buena
	Progr. 572,25 m	12	13	15	5	0	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 569,33 m	12	17	10	5	0	5	15	3	5	-12	62	2	buena
	Progr. 566,08 m	12	17	15	5	0	5	15	5	6	-12	64	2	buena
	Progr. 563,15 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 560,03 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 556,57 m	12	17	10	5	0	5	15	5	6	-12	63	2	buena
	Progr. 553,27 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 549,88 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 547,43 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 544,76 m	12	17	10	5	1	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 542,02 m	12	17	10	5	1	5	15	5	3	-12	61	2	buena
	Progr. 539,20 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 536,42 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 533,92 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 530,76 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 527,79 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 525,23 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 522,30 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 519,40 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 516,37 m	12	17	10	5	1	5	15	5	3	-12	61	2	buena
	Progr. 513,66 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 510,54 m	12	17	10	4	2	5	15	5	3	-12	61	2	buena
	Progr. 507,49 m	10	13	10	4	0	5	15	5	5	-12	59	3	regular
	Progr. 504,80 m	12	17	10	4	2	5	15	3	3	-12	59	3	regular
	Progr. 501,80 m	12	13	10	5	1	5	15	6	5	-12	60	3	regular
	Progr. 499,22 m	12	17	10	4	0	5	15	5	5	-12	61	2	buena
	Progr. 496,88 m	12	17	10	4	0	5	15	5	5	-12	61	2	buena
	Progr. 494,98 m	12	17	10	4	0	5	15	5	5	-12	61	2	buena
	Progr. 491,86 m	12	17	10	4	0	5	15	5	5	-12	61	2	buena
	Progr. 488,91 m	12	17	10	4	0	5	15	5	5	-12	61	2	buena
	Progr. 486,37 m	12	17	10	4	0	5	15	5	5	-12	61	2	buena
	Progr. 483,55 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 480,54 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 477,40 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 475,06 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 471,55 m	12	13	10	4	0	5	15	3	3	-5	60	3	regular
	Progr. 468,79 m	12	13	10	4	1	3	15	3	3	-5	59	3	regular
	Progr. 466,91 m	12	13	10	4	0	5	15	3	3	-5	60	3	regular
	Progr. 463,66 m	12	13	10	4	0	5	15	3	3	-5	60	3	regular
	Progr. 460,96 m	12	13	10	4	0	3	15	3	3	-5	58	3	regular
	Progr. 458,14 m	12	13	10	4	0	5	15	3	3	-5	60	3	regular
	Progr. 455,34 m	12	17	10	4	0	5	15	5	5	-12	61	2	buena
	Progr. 453,11 m	12	17	10	6	1	5	15	6	6	-12	66	2	buena
	Progr. 451,34 m	12	17	10	4	0	5	15	6	3	-12	60	3	regular
	Progr. 448,9 m	12	17	10	6	0	5	15	5	3	-12	61	2	buena
	Progr. 446,1 m	12	17	10	6	0	5	15	5	5	-12	63	2	buena

CLASIFICACION RMR SEGÚN BIENIAWSKI 1989.		DUREZA	RQD x m2	DISCONT.	APERTURA	PERSISTENCIA	RUGOSIDAD	AGUA	RELLENO	ALTERACION	ORIENT. DISCO	VALUACION	CLASE	DESCRIPCION
Tunel de Conducción (Derecha)	Progr. 443,57 m	12	13	15	4	1	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 440,28 m	12	13	15	4	1	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 437,55 m	12	17	10	4	0	5	15	5	5	-12	61	2	buena
	Progr. 434,50 m	12	17	10	4	0	5	15	6	5	-12	62	2	buena
	Progr. 431,65 m	12	17	10	6	0	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 427,23 m	12	17	10	6	0	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 424,63 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 422,53 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 420,09 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 417,68 m	12	17	10	5	1	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 414,95 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 412,30 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 409,36 m	12	17	10	5	1	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 406,98 m	12	17	10	5	0	6	15	6	5	-12	64	2	buena
	Progr. 404,66 m	12	17	10	6	0	5	15	5	6	-12	64	2	buena
	Progr. 402,37 m	12	17	10	6	0	5	15	5	6	-12	64	2	buena
	Progr. 399,98 m	12	17	10	6	0	5	15	5	6	-12	64	2	buena
	Progr. 397,81 m	12	17	10	5	0	5	15	6	6	-12	64	2	buena
	Progr. 395,22 m	12	17	10	5	0	5	15	6	6	-12	64	2	buena
	Progr. 392,65 m	12	17	10	5	0	5	15	6	6	-12	64	2	buena
	Progr. 389,89 m	12	17	10	6	0	6	15	6	6	-12	66	2	buena
	Progr. 387,56 m	12	17	10	6	0	6	15	5	5	-12	64	2	buena
	Progr. 385,00 m	12	17	10	6	0	6	15	5	5	-12	64	2	buena
	Progr. 382,41 m	12	17	10	6	0	6	15	5	5	-12	64	2	buena
	Progr. 379,91 m	12	17	10	6	0	6	15	5	5	-12	64	2	buena
	Progr. 377,55 m	12	17	10	6	0	6	15	5	5	-12	64	2	buena
	Progr. 375,04 m	12	17	10	6	0	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 372,62 m	12	17	10	6	0	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 370,03 m	12	17	10	6	0	5	15	6	6	-12	65	2	buena
	Progr. 367,79 m	12	17	10	6	0	5	15	5	5	-12	63	2	buena
	Progr. 365,42 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 362,93 m	12	17	10	5	0	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 361,01 m	12	13	10	5	0	5	15	5	5	-12	58	3	regular
	Progr. 358,52 m	12	13	10	6	0	5	15	5	5	-12	59	3	regular
	Progr. 356,30 m	12	17	10	4	0	5	15	5	5	-12	61	2	buena
	Progr. 353,60 m	12	17	10	4	1	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 350,87 m	12	17	10	4	1	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 347,80 m	12	17	10	4	1	5	15	5	5	-12	62	2	buena
	Progr. 345,00 m	12	17	10	5	0	6	15	5	5	-12	63	2	buena

CLASIFICACION RMR SEGÚN BIENIAWSKI 1989.		DUREZA	RQD x m2	DISCONT.	APERTURA	PERSISTENCIA	RUGOSIDAD	AGUA	RELLENO	ALTERACION	ORIENT. DISCONT	VALUACION	CLASE	DESCRIPCION
Túnel - Obra de Toma	Progr. 17,90 m	12	13	10	1	0	3	15	5	3	-5	57	3	regular
	Progr. 20,89 m	12	13	10	1	0	3	15	5	3	-5	57	3	regular
	Progr. 22,61 m	12	13	10	0	0	3	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 24,40 m	12	13	10	0	0	3	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 26,32 m	12	13	10	0	0	3	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 27,96 m	12	13	10	0	0	3	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 30,28 m	12	13	10	1	0	5	15	5	5	-5	61	2	buena
	Túnel de Conducción													
	Progr. 207,95 m	12	13	10	1	1	5	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 209,61 m	12	13	10	1	1	5	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 211,08 m	12	13	10	1	1	5	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 213,78 m	12	13	10	1	1	5	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 216,23 m	12	13	10	1	1	5	15	5	5	-2	65	2	buena
	Progr. 219,05 m	12	13	10	1	1	5	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 221,78 m	12	17	8	1	2	5	15	3	5	-5	63	2	buena
	Progr. 224,21 m	12	17	8	0	1	5	15	3	5	-5	61	2	buena
	Progr. 226,90 m	12	17	8	0	1	5	15	3	5	-5	61	2	buena
	Progr. 229,49 m	12	17	8	0	1	5	15	3	5	-5	61	2	buena
	Progr. 231,74 m	12	17	8	0	1	5	15	3	5	-5	61	2	buena
	Progr. 234,82 m	12	17	8	0	1	5	15	3	5	-5	61	2	buena
	Progr. 237,79 m	12	17	8	0	1	5	15	3	5	-5	61	2	buena
	Progr. 240,79 m	12	17	8	0	1	5	15	3	5	-5	61	2	buena
	Progr. 243,93 m	12	17	8	1	1	5	15	5	5	-5	64	2	buena
	Progr. 246,48 m	12	17	8	0	1	5	15	3	5	-5	61	2	buena
	Progr. 248,95 m	12	17	8	1	1	5	15	5	5	-5	64	2	buena
	Progr. 251,87 m	12	17	8	1	1	5	15	5	5	-5	64	2	buena
	Progr. 254,55 m	12	17	8	1	1	5	15	5	5	-5	64	2	buena
	Progr. 257,76 m	12	17	8	1	1	5	15	5	5	-5	64	2	buena
	Progr. 260,24 m	12	17	8	1	1	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 262,64 m	12	17	8	1	1	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 265,15 m	12	17	8	1	1	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 268,50 m	12	17	8	1	0	3	15	5	5	-5	61	2	buena
	Progr. 271,45 m	12	17	8	1	0	3	15	5	5	-5	61	2	buena
	Progr. 273,66 m	12	17	10	0	0	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 276,56 m	12	17	10	0	0	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 279,00 m	12	17	10	0	0	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 281,75 m	12	17	10	0	0	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 284,24 m	12	17	10	0	0	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 286,45 m	12	17	10	0	0	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 288,52 m	12	17	10	0	0	3	15	5	5	-5	62	2	buena
	Progr. 293,89 m	12	17	10	0	0	3	15	3	3	-5	58	3	regular
	Progr. 296,26 m	7	13	10	1	1	5	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 298,24 m	7	13	5	4	2	5	15	5	5	-5	56	3	regular
	Progr. 301,15 m	7	13	5	5	2	5	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 302,80m	7	13	5	4	4	5	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 304,88 m	7	13	10	1	2	5	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 308,30 m	7	13	5	5	2	5	15	5	3	-5	55	3	regular
	Progr. 310,83 m	7	13	8	4	0	5	15	5	3	-5	55	3	regular
	Progr. 313,42 m	7	13	10	4	0	3	15	3	3	-5	53	3	regular
	Progr. 315,90 m	7	13	10	4	0	3	15	3	3	-5	53	3	regular
	Progr. 320,63 m	7	13	10	4	0	5	15	1	5	-5	55	3	regular
	Progr. 322,08 m	7	13	10	5	0	5	15	1	5	-5	56	3	regular
	Progr. 324,57 m	7	13	10	5	0	5	15	1	5	-5	56	3	regular
	Progr. 326,75 m	7	13	10	5	0	5	15	0	5	-5	55	3	regular
	Progr. 329,52 m	7	13	10	4	0	5	15	0	5	-5	54	3	regular
	Progr. 332,00 m	7	13	10	4	0	5	15	0	5	-5	54	3	regular
	Progr. 334,56 m	7	13	10	4	0	5	15	0	5	-5	54	3	regular
	Progr. 337,24 m	7	13	10	4	0	5	15	1	5	-5	55	3	regular
	Progr. 339,66 m	7	13	10	4	0	5	15	1	5	-5	55	3	regular

CLASIFICACION RMR SEGÚN BIENIAWSKI 1989.		DUREZA	RQD x m2	DISCONT.	APERTURA	PERSISTENCIA	RUGOSIDAD	AGUA	RELLENO	ALTERACION	ORIENT. DISCONT	VALUACION	CLASE	DESCRIPCION
Tunel Pozo Compuertas	Progr. 10,67 m	12	13	10	1	2	3	15	3	3	-12	50	3	regular
	Progr. 12,33 m	12	13	10	1	2	3	15	3	1	-12	48	3	regular
	Progr. 13,80 m	12	13	10	1	2	3	15	3	1	-12	48	3	regular
	Progr. 15,45 m	12	13	10	0	1	5	15	3	1	-12	48	3	regular
	Progr. 16,81 m	12	13	10	0	1	5	15	1	1	-5	53	3	regular
	Progr. 18,23 m	12	13	10	0	1	5	15	1	3	-5	55	3	regular
	Progr. 19,95 m	12	13	8	0	1	5	15	1	3	-5	53	3	regular
	Progr. 21,33 m	12	13	8	0	0	5	15	1	3	-5	52	3	regular
	Progr. 23,92 m	7	13	8	0	0	5	15	3	3	-5	49	3	regular
	Progr. 26,06 m	12	13	8	1	0	5	15	3	3	-12	48	3	regular
	Progr. 27,48 m	12	13	8	1	0	5	15	3	3	-12	48	3	regular
	Progr. 29,28 m	12	13	8	1	0	5	15	3	3	-12	48	3	regular
	Progr. 30,87 m	12	13	8	0	0	5	15	3	3	-12	47	3	regular
	Progr. 32,68 m	12	13	8	1	1	5	15	3	3	-12	49	3	regular
	Progr. 34,79 m	12	13	8	1	1	5	15	3	3	-10	51	3	regular
	Progr. 36,86 m	15	13	8	0	1	5	15	3	3	-10	53	3	regular
	Progr. 39,00 m	15	13	8	1	1	5	15	3	3	-10	54	3	regular
	Progr. 40,05 m	15	13	10	0	1	5	15	3	3	-10	55	3	regular
	Progr. 42,50 m	15	13	10	1	1	5	15	3	3	-10	56	3	regular
	Progr. 44,72 m	15	13	10	1	1	5	15	3	3	-10	56	3	regular
	Progr. 47,57 m	12	13	10	4	1	3	15	3	3	-10	54	3	regular
	Progr. 49,83 m	12	13	10	4	1	3	15	3	3	-10	54	3	regular
	Progr. 52,64 m	12	13	10	5	2	3	15	3	3	-10	56	3	regular
	Progr. 56,37 m	12	13	10	5	0	5	15	5	3	-10	58	3	regular
	Progr. 58,67 m	12	13	10	1	0	5	15	5	3	-10	54	3	regular
	Progr. 60,26 m	12	13	10	1	0	5	15	5	3	-10	54	3	regular
	Progr. 62,54 m	12	13	10	0	0	5	15	5	3	-10	53	3	regular
	Progr. 64,27 m	12	13	10	0	0	5	15	5	5	-10	55	3	regular
	Progr. 66,34 m	12	13	10	0	0	5	15	5	5	-10	55	3	regular
	Progr. 69,32 m	12	13	10	1	1	5	15	5	5	-10	57	3	regular
	Progr. 71,07 m	12	13	10	1	0	1	15	3	3	0	58	3	regular
	Progr. 73,57 m	12	13	10	1	0	1	15	3	3	0	58	3	regular
	Progr. 75,77 m	12	13	10	0	0	1	15	3	3	0	57	3	regular
	Progr. 78,23 m	12	13	10	5	0	0	15	3	3	-5	56	3	regular
	Progr. 80,39 m	12	13	10	5	0	1	15	3	3	-5	57	3	regular
	Progr. 83,46 m	12	13	10	5	0	0	15	3	3	-5	56	3	regular
	Progr. 85,11 m	12	13	10	5	0	0	15	3	3	-5	56	3	regular
	Progr. 89,14 m	12	13	10	5	1	1	15	3	3	-5	58	3	regular
	Progr. 91,64 m	12	13	10	5	1	1	15	3	3	-5	58	3	regular
	Progr. 93,72 m	12	13	10	5	0	1	15	3	3	-5	57	3	regular
	Progr. 95,81 m	12	13	10	5	1	1	15	3	3	-5	58	3	regular
	Progr. 97,89 m	12	13	10	5	1	1	15	3	3	-5	58	3	regular
	Progr. 100,71 m	12	13	10	5	1	1	15	3	3	-5	58	3	regular
	Progr. 102,33 m	12	13	10	5	1	1	15	3	3	-5	58	3	regular
	Progr. 105,01 m	12	13	10	5	1	1	15	3	3	-5	58	3	regular
	Progr. 106,70 m	12	13	10	5	0	1	15	3	3	-5	57	3	regular
	Progr. 108,78 m	12	13	10	5	0	1	15	3	3	-5	57	3	regular
	Progr. 111,27 m	12	13	10	5	0	0	15	3	3	-5	56	3	regular
	Progr. 113,41 m	12	13	10	5	0	0	15	3	5	-5	58	3	regular
	Progr. 4,26 m	12	13	10	5	0	0	15	3	5	-5	58	3	regular

CLASIFICACION RMR SEGÚN BIENIAWSKI 1989.		DUREZA	RQD x m2	DISCONT.	APERTURA	PERSISTENCIA	RUGOSIDAD	AGUA	RELLENO	ALTERACION	ORIENT. DISCONT	VALUACION	CLASE	DESCRIPCION
Galería de Inyección GD-2 IZQ.	Progr. 228,7 m	7	7	8	1	0	4	15	2	2	-12	34	4	mala
	Progr. 226,80 m	3	7	9	2	1	5	15	2	2	-10	36	4	mala
	Progr. 224,56 m	4	7	7	1	2	5	15	3	1	-12	33	4	mala
	Progr. 222,6 m	6	8	9	1	0	4	15	1	3	-12	35	4	mala
	Progr. 220,8 m	4	6	5	0	4	3	15	4	3	-12	32	4	mala
	Progr. 219,08 m	2	5	7	0	3	5	15	3	3	-12	31	4	mala
	Progr. 216,13 m	7	8	8	1	1	3	15	3	1	-12	35	4	mala
	Progr. 214,11 m	4	6	7	3	1	5	15	3	2	-12	34	4	mala
	Progr. 211,49 m	5	7	8	5	2	5	15	3	1	-12	39	4	mala
	Progr. 209,04 m	2	8	8	1	1	3	15	2	1	-10	31	4	mala
	Progr. 207,55 m	4	8	8	0	1	5	15	0	3	-10	34	4	mala
	Progr. 205,4 m	4	7	8	1	4	5	15	1	1	-10	36	4	mala
	Progr. 203,11 m	9	9	9	1	4	5	15	1	3	-2	54	3	regular
	Progr. 200,80 m	8	11	8	1	4	4	15	0	1	-5	47	3	regular
	Progr. 198,10 m	10	9	8	1	1	3	15	0	3	0	50	3	regular
	Progr. 195,71 m	7	13	8	1	1	3	15	3	3	-5	49	3	regular
	Progr. 193,29 m	12	13	10	1	0	3	15	3	5	-5	57	3	regular
	Progr. 190,56 m	12	13	10	1	0	3	15	3	5	-5	57	3	regular
	Progr. 188,72 m	12	13	10	1	0	3	15	3	3	-5	55	3	regular
	Progr. 186,24 m	12	13	10	1	0	3	15	3	3	-5	55	3	regular
	Progr. 183,82 m	12	13	10	1	0	3	15	5	3	-5	57	3	regular
	Progr. 181,15 m	12	13	8	0	1	3	15	3	3	-5	53	3	regular
	Progr. 178,62 m	12	13	8	0	1	3	15	3	5	-5	55	3	regular
	Progr. 176,28 m	12	13	8	0	1	5	15	3	5	-5	57	3	regular
	Progr. 174,19 m	12	13	8	0	1	5	15	3	5	-5	57	3	regular
	Progr. 171,90 m	12	13	8	0	1	5	15	3	5	-5	57	3	regular
	Progr. 169,70 m	12	13	8	0	2	5	15	5	5	-5	60	3	regular
	Progr. 167,46 m	12	13	8	0	1	5	15	5	5	-5	59	3	regular
	Progr. 165,13 m	12	13	8	0	1	5	15	3	5	-5	57	3	regular
	Progr. 160,74 m	12	13	8	0	0	5	15	3	5	-5	56	3	regular
	Progr. 158,58 m	12	13	8	0	1	5	15	3	3	-5	55	3	regular
	Progr. 156,16 m	12	13	8	0	1	5	15	3	3	-5	55	3	regular
	Progr. 153,23 m	12	13	8	0	2	5	15	3	3	-5	56	3	regular
	Progr. 150,90 m	12	13	8	1	2	1	15	3	3	-5	53	3	regular
	Progr. 148,33 m	12	13	10	0	2	1	15	3	3	-5	54	3	regular
	Progr. 146,46 m	12	13	10	0	2	1	15	3	3	-5	54	3	regular
	Progr. 143,94 m	12	13	10	0	1	3	15	3	3	-5	55	3	regular
	Progr. 140,60 m	12	13	10	0	0	5	15	3	3	-5	56	3	regular
	Progr. 138,07 m	12	13	10	0	0	3	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 136,04 m	12	13	8	0	1	3	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 134,51 m	12	13	8	0	1	3	15	5	6	-5	58	3	regular
	Progr. 131,25 m	12	13	8	0	0	3	15	5	6	-5	57	3	regular
	Progr. 129,20 m	12	13	8	0	0	3	15	5	6	-5	57	3	regular
	Progr. 126,70 m	12	13	10	0	1	3	15	5	5	-5	59	3	regular
	Progr. 124,55 m	12	13	10	0	1	3	15	5	5	-5	59	3	regular
	Progr. 122,59 m	12	13	10	0	0	5	15	5	5	-5	60	3	regular
	Progr. 120,17 m	12	13	10	0	0	0	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 117,79 m	12	13	10	1	0	5	15	5	5	-5	61	2	buena
	Progr. 115,79 m	12	13	8	0	1	3	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 114,01 m	12	13	8	0	1	3	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 111,42 m	12	13	8	0	1	3	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 109,29 m	12	13	8	1	1	3	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 106,99 m	12	13	8	1	1	3	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 104,65 m	12	13	8	1	1	3	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 102,16 m	12	13	8	1	1	3	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 99,69 m	12	13	8	0	1	3	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 96,98 m	12	13	8	0	0	3	15	5	5	-5	56	3	regular
	Progr. 94,74 m	12	13	8	0	0	3	15	6	3	-5	55	3	regular
	Progr. 93,33 m	12	13	8	0	0	3	15	6	3	-5	55	3	regular
	Progr. 91,31 m	12	13	8	0	0	3	15	5	5	-5	56	3	regular
	Progr. 89,16 m	12	13	8	1	0	3	15	5	3	-5	55	3	regular
	Progr. 87,57 m	12	13	8	0	0	3	15	5	3	-5	54	3	regular
	Progr. 85,46 m	12	13	8	0	0	3	15	5	3	-5	54	3	regular
	Progr. 83,30 m	12	13	8	0	0	3	15	5	3	-5	54	3	regular
	Progr. 80,73 m	12	13	8	0	0	3	15	5	3	-5	54	3	regular
	Progr. 78,58 m	12	13	8	0	0	3	15	5	3	-5	54	3	regular
	Progr. 76,74 m	12	13	8	0	0	2	15	5	3	-5	53	3	regular
	Progr. 75,87 m	12	13	8	0	0	2	15	3	3	-5	51	3	regular
	Progr. 73,82 m	7	13	8	0	0	3	15	1	1	-5	43	3	regular
	Progr. 72,05 m	7	13	8	0	0	3	15	1	1	-5	43	3	regular

CLASIFICACION RMR SEGÚN BIENIAWSKI 1989.		DUREZA	RQD x m2	DISCONT.	APERTURA	PERSISTENCIA	RUGOSIDAD	AGUA	RELLENO	ALTERACION	ORIENT. DISCONT	VALUACION	CLASE	DESCRIPCION
Galería de Inyección GD-2 IZQ.	Progr. 69,52 m	7	13	8	0	0	3	15	1	1	-5	43	3	regular
	Progr. 67,75 m	7	13	8	1	0	3	15	1	1	-5	44	3	regular
	Progr. 65,56 m	7	13	8	0	0	3	15	1	3	-5	45	3	regular
	Progr. 63,64 m	7	13	8	0	1	3	15	1	3	-5	46	3	regular
	Progr. 61,69 m	7	13	8	0	1	3	15	1	3	-5	46	3	regular
	Progr. 59,65 m	7	13	8	0	1	3	15	3	3	-5	48	3	regular
	Progr. 57,54 m	7	13	8	0	1	3	15	3	5	-5	50	3	regular
	Progr. 55,26 m	7	13	8	0	1	3	15	3	5	-5	50	3	regular
	Progr. 53,04 m	7	13	8	1	1	3	15	3	5	-5	51	3	regular
	Progr. 50,82 m	7	13	8	0	0	3	15	3	5	-5	49	3	regular
	Progr. 49,12 m	7	13	8	0	0	3	15	3	5	-5	49	3	regular
	Progr. 46,44 m	7	13	8	0	0	3	15	3	3	-5	47	3	regular
	Progr. 44,15 m	7	13	8	0	0	3	15	3	3	-5	47	3	regular
	Progr. 41,95 m	7	13	10	1	1	3	15	3	3	-5	51	3	regular
	Progr. 39,13 m	7	13	10	1	1	3	15	3	3	-10	46	3	regular
	Progr. 37,27 m	7	13	10	1	2	3	15	3	3	-10	47	3	regular
	Progr. 35,24 m	7	13	10	0	2	3	15	5	3	-10	48	3	regular
	Progr. 33,09 m	12	13	10	0	2	3	15	5	3	-12	51	3	regular
	Progr. 30,64 m	7	13	10	1	4	3	15	5	5	-10	53	3	regular
	Progr. 28,66 m	7	13	10	0	1	3	15	5	5	-5	54	3	regular
	Progr. 26,23 m	7	13	10	0	2	5	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 24,38 m	7	13	10	0	0	5	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 22,37 m	7	13	10	0	0	5	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 20,77 m	7	13	10	0	0	5	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 18,83 m	12	13	10	0	0	3	15	3	5	-5	56	3	regular
	Progr. 16,89 m	12	13	10	0	0	3	15	3	5	-5	56	3	regular
	Progr. 14,96 m	12	13	10	1	0	1	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 13,01 m	12	13	10	0	0	0	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 11,06 m	12	13	10	0	0	0	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 9,35 m	12	13	10	0	0	0	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 7,16 m	12	13	8	1	0	0	15	5	5	-5	54	3	regular
	Progr. 4,98 m	12	13	8	1	1	0	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 2,75 m	12	13	8	1	2	0	15	5	5	-5	56	3	regular
	Progr. 0,45 m	7	13	8	1	2	1	15	3	3	-5	48	3	regular
	Progr. 3,11 m	7	13	8	1	2	1	15	3	3	-10	43	3	regular
	Progr. 5,39 m	7	13	8	4	0	1	15	3	3	-10	44	3	regular
	Progr. 7,55 m	7	13	8	4	0	1	15	3	5	-12	44	3	regular
	Progr. 10,40 m	7	13	8	4	0	1	15	3	5	-12	44	3	regular
	Progr. 13,39 m	7	13	8	1	2	1	15	3	5	-12	43	3	regular
	Progr. 15,98 m	7	13	8	1	2	1	15	3	5	-12	43	3	regular

CLASIFICACION RMR SEGÚN BIENIAWSKI 1989.		DUREZA	RQD x m2	DISCONT.	APERTURA	PERSISTENCIA	RUGOSIDAD	AGUA	RELLENO	ALTERACION	ORIENT. DISCONT	VALUACION	CLASE	DESCRIPCION
Galería de Inyección GD-2 DER.	Progr. 236,2 m	7	9	8	2	2	5	15	3	2	-10	43	3	regular
	Progr. 238,23 m	7	7	6	0	2	5	15	3	3	-10	38	4	mala
	Progr. 239,9 m	3	14	10	0	0	5	15	3	3	-10	43	3	regular
	Progr. 242,90 m	7	10	8	1	1	3	15	3	1	-12	37	4	mala
	Progr. 244,94 m	4	7	8	4	4	1	15	0	1	-12	32	4	mala
	Progr. 247,06 m	6	7	7	0	4	4	15	4	3	-12	38	4	mala
	Progr. 249,11 m	6	12	10	0	1	5	15	0	2	-12	39	4	mala
	Progr. 250,90 m	4	8	9	0	2	4	15	0	3	-12	33	4	mala
	Progr. 252,4 m	4	9	9	0	4	5	15	0	3	-12	37	4	mala
	Progr. 254,52 m	5	8	7	0	2	4	15	0	2	-12	31	4	mala
	Progr. 256,62 m	4	8	8	0	4	3	15	0	1	-12	31	4	mala
	Progr. 259,75 m	4	8	8	1	1	5	15	3	3	-12	36	4	mala
	Progr. 261,68 m	4	7	8	0	2	5	15	1	1	-12	31	4	mala
	Progr. 263,28 m	7	9	8	1	4	5	15	0	1	-5	45	3	regular
	Progr. 266,10 m	7	8	8	1	0	4	15	1	3	-5	42	3	regular
	Progr. 268,70 m	7	8	8	1	1	3	15	1	3	-5	42	3	regular
	Progr. 273,79 m	12	13	10	0	0	3	15	3	5	-5	56	3	regular
	Progr. 275,76 m	7	13	10	0	1	3	15	3	3	-5	50	3	regular
	Progr. 277,76 m	7	13	10	0	1	3	15	3	3	-5	50	3	regular
	Progr. 280,07 m	7	13	10	0	1	3	15	5	3	-5	52	3	regular
	Progr. 282,82 m	7	13	10	0	0	3	15	5	3	-5	51	3	regular
	Progr. 285,45 m	7	13	10	0	0	5	15	5	3	-5	53	3	regular
	Progr. 288,30 m	7	13	10	1	0	5	15	3	3	-5	52	3	regular
	Progr. 290,94 m	7	13	10	1	0	5	15	3	3	-5	52	3	regular
	Progr. 292,98 m	7	13	10	0	0	5	15	3	3	-5	51	3	regular
	Progr. 295,68 m	7	13	10	0	1	5	15	3	3	-5	52	3	regular
	Progr. 297,91 m	7	13	10	0	1	5	15	5	3	-5	54	3	regular
	Progr. 300,15 m	7	13	10	0	0	5	15	5	3	-5	53	3	regular
	Progr. 302,20 m	7	13	10	0	0	5	15	5	3	-5	53	3	regular
	Progr. 304,75 m	7	13	10	0	0	5	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 307,37 m	7	13	10	0	0	5	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 309,80 m	7	13	8	0	0	5	15	3	5	-5	51	3	regular
	Progr. 312,23m	7	13	8	0	0	5	15	3	3	-5	49	3	regular
	Progr. 314,49 m	7	13	8	0	0	5	15	3	3	-5	49	3	regular
	Progr. 317,11 m	7	13	10	0	0	3	15	3	5	-5	51	3	regular
	Progr. 319,25 m	7	13	10	0	2	5	15	3	5	-5	55	3	regular
	Progr. 321,88 m	7	13	10	0	2	5	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 324,53 m	7	13	10	1	2	5	15	5	5	-5	58	3	regular
	Progr. 327,16 m	7	13	10	0	2	5	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 329,83 m	7	13	8	1	1	5	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 331,95 m	7	13	8	1	1	5	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 334,02 m	7	13	8	1	2	6	15	5	5	-5	57	3	regular
	Progr. 336,17 m	7	13	8	1	0	6	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 338,59 m	7	13	8	0	1	5	15	5	5	-5	54	3	regular

CLASIFICACION RMR SEGÚN BIENIAWSKI 1989.		DUREZA	RQD x m2	DISCONT.	APERTURA	PERSISTENCIA	RUGOSIDAD	AGUA	RELLENO	ALTERACION	ORIENT. DISCONT	VALUACION	CLASE	DESCRIPCION
Galería de Inyección GD-2 DER.	Progr. 340,86 m	7	13	8	0	0	5	15	5	5	-5	53	3	regular
	Progr. 342,96 m	7	13	8	0	0	5	15	5	5	-5	53	3	regular
	Progr. 345,12 m	7	13	8	0	1	5	15	5	5	-5	54	3	regular
	Progr. 349,48 m	7	13	10	1	2	3	15	5	3	-5	54	3	regular
	Progr. 351,81 m	7	13	10	1	1	3	15	5	5	-5	55	3	regular
	Progr. 354,36 m	7	13	10	1	1	3	15	5	3	-5	53	3	regular
	Progr. 356,82 m	7	13	10	1	1	3	15	5	3	-5	53	3	regular
	Progr. 359,34 m	7	13	10	0	1	3	15	5	3	-5	52	3	regular
	Progr. 361,78 m	7	13	10	0	0	3	15	5	3	-5	51	3	regular
	Progr. 363,98 m	7	13	10	0	1	5	15	5	3	-5	54	3	regular
	Progr. 366,13 m	7	13	10	1	0	3	15	5	5	-5	54	3	regular
	Progr. 367,98 m	7	13	10	1	1	3	15	5	3	-5	53	3	regular
	Progr. 369,62 m	7	13	10	0	1	3	15	3	3	-5	50	3	regular
	Progr. 371,71 m	7	13	10	0	1	3	15	3	3	-5	50	3	regular
	Progr. 373,86 m	7	13	10	1	1	0	15	3	3	-5	48	3	regular
	Progr. 275,76 m	7	13	8	0	1	3	15	3	3	-5	48	3	regular
	Progr. 377,83 m	7	13	8	0	1	3	15	3	3	-5	48	3	regular
	Progr. 380,20 m	7	13	8	0	0	3	15	3	3	-5	47	3	regular
	Progr. 382,5 m	7	8	8	0	1	3	15	3	0	-5	40	4	mala
	Progr. 385,70 m	7	8	8	1	2	3	15	3	3	-5	45	3	regular
	Progr. 387,05 m	7	8	8	1	1	3	15	3	1	-5	42	3	regular
	Progr. 388,98 m	7	8	8	1	2	3	15	3	1	-5	43	3	regular
	Progr. 391,00 m	7	8	8	1	2	3	15	3	1	-5	43	3	regular
	Progr. 392,33 m	7	8	8	1	2	3	15	3	1	-5	43	3	regular
	Progr. 395,04 m	7	8	8	1	2	3	15	3	1	-5	43	3	regular

CLASIFICACION RMR SEGÚN BIENIAWSKI 1989.		DUREZA	RQD x m2	DISCONT.	APERTURA	PERSISTENCIA	RUGOSIDAD	AGUA	RELLENO	ALTERACION	ORIENT. DISCONT	VALUACION	CLASE	DESCRIPCION
TUNEL ACCESO GALERIA DE INYECCION GD2	Progr. 9,04 m	10	10	10	4	6	5	15	5	5	-12	58	3	regular
	Progr. 11,30 m	10	10	9	6	6	5	15	4	5	-12	58	3	regular
	Progr. 13,02 m	10	10	10	5	5	5	15	5	5	-9	61	2	buena
	Progr. 15,40 m	9	9	9	4	5	4	15	3	3	-2	59	3	regular
	Progr. 18,40 m	8	9	8	3	5	4	15	4	3	-2	57	3	regular
	Progr. 20,21 m	9	8	9	4	4	4	15	3	4	-2	58	3	regular
	Progr. 22,15 m	8	8	7	4	4	4	15	4	3	-2	55	3	regular
	Progr. 24,40 m	9	8	8	4	4	4	15	4	4	-2	58	3	regular
	Progr. 27,20 m	10	10	8	4	6	5	15	5	5	-5	63	2	buena
	Progr. 30,00 m	10	9	9	4	4	4	15	5	5	0	65	2	buena
	Progr. 33,70 m	10	10	9	4	4	3	15	0	3	0	58	3	regular
	Progr. 37,00 m	11	10	12	4	4	3	15	4	4	0	67	3	regular
	Progr. 39,00 m	11	10	10	4	4	3	15	4	4	0	65	3	regular
	Progr. 41,50 m	11	11	10	5	2	4	15	4	4	0	62	3	regular
	Progr. 44,30 m	10	10	10	4	4	3	15	0	3	0	59	3	regular
	Progr. 47,60 m	11	10	11	4	3	3	15	4	5	0	66	2	buena
	Progr. 50,70 m	11	11	11	4	4	3	15	3	3	0	65	2	buena
	Progr. 54,10 m	10	10	8	4	2	4	15	2	4	0	59	3	regular
	Progr. 57,35 m	9	9	8	4	2	4	15	1	2	0	54	3	regular
	Progr. 61,15 m	8	8	9	3	2	4	15	4	2	0	55	3	regular
	Progr. 64,70 m	8	8	8	4	2	5	15	3	2	0	55	3	regular
	Progr. 66,96 m	8	8	9	3	2	5	15	2	2	0	54	3	regular