

**Recuperación de Pilares en Mina Andaychagua y
su extensión hacia las Unidades Subterráneas de Volcan**
(Operaciones Mineras y Gestión de Activos - Geotecnia / Geomecánica)

Wilmer Carhuaricra Cordova ¹

¹ Autor: Volcan Compañía Minera S.A.A, Av. Manuel Olguín 373, Lima, Perú (wcarhuaricra@volcan.com.pe y 938149469)

RESUMEN

La unidad minera Andaychagua viene explotando estructuras y cuerpos mineralizados, como la veta Andaychagua y los cuerpos Salvadora y Prosperidad Techo, aplicando los métodos de corte y relleno ascendente (OCF) con relleno detrítico y Sub Level Stopping con relleno cementado (SARC).

El **cuerpo Salvadora** fue explotado entre los niveles 1350 al 1425 con el método SARC. Separados en dos bloques, **el superior** (sobre Nv 1400) con bancos de 10m de altura y relleno cementado de 12 MPa y **el inferior** con bancos de 14m y relleno de 2 MPa, quedando un puente 8 m de altura en mineral, que cubrió 55,356 ton @ 13.7% Zn, 3.5% Pb y 3.0 Oz/ton.

Con el objetivo de maximizar la recuperación de los recursos, se desarrolló un proyecto que permitió la recuperación del puente de 8 m de altura, mediante el método SLS - con perforación radial en positivo y posterior relleno cementado. El proyecto consideró un análisis geomecánico de detalle, sustentado en un modelo con alta suficiencia de información (>85% según guía geomecánica de Volcan) y análisis de estabilidad mediante métodos empíricos, cinemáticos y numéricos. **Así, se logró definir que el proyecto era estable, con una probabilidad de falla (PF) < 5% y factores de seguridad > 1.3.**

Dada la complejidad geomecánica del proyecto, se implementó un sistema de monitoreo compuesto por extensómetros, celdas de carga, cables de corte (TDR) y geófonos sísmicos.

La secuencia de explotación fue en retirada, saliendo de las zonas de mayor complejidad geomecánica (zonas de contacto) y el relleno de los espacios vacíos generados. Asimismo, se reforzó el sostenimiento primario de los accesos y cámaras operativas con Cable Bolting.

El proyecto se ejecutó con **cero incidentes**, estabilidad dentro de los rangos aceptables, logrando un margen económico de USD 6,000,000.00.

Con la **experiencia adquirida** en la unidad Andaychagua se vienen desarrollando **otros proyectos de recuperación** en la misma unidad, así como también en las unidades de San Cristóbal, Ticlio y Animón, con el objetivo de maximizar la recuperación de los recursos.

A partir de los resultados logrados se puede concluir, es factible el desarrollo de proyectos de recuperación en sectores con complejidad geomecánica.

Para ello, es fundamental desarrollar la ingeniería en sus distintos niveles, realizar una evaluación geomecánica respaldada por información suficiente y de calidad, así como la implementación de sistemas de monitoreo y de una disciplina operativa.

1. Introducción

La unidad Andaychagua ha explotado históricamente la veta del mismo nombre. En su parte superior, esta veta presenta longitudes de hasta 1 Km, potencias de 10 a 15 m, buzamiento de 80 a 85°.

Su explotación ha sido mediante el método Corte y Relleno Descendente (UCF) con losas estructurales de una resistencia de 16 MPa, desde los niveles 540 hasta el 1400.

En el nivel 1000 paralelo y contiguo a la veta Andaychagua, quedó una estructura de 1 a 1.5 m de potencia, longitud de 45 m y una altura reconocida de 12 m, involucrando un volumen de 9,018 TM, con una ley de 12.7 oz/ton Ag.

Para la recuperación este recurso, se ha ejecutado la ingeniería, análisis geomecánico y controles operativos, logrando una recuperación del 77% del recurso.

En la profundización de la mina, entre los niveles 1375 al 1450 se ha realizado la explotación del **cuerpo Salvadora**, que tiene un ancho promedio de 50 m, longitud de 70 m y una altura de 40 m.

Este cuerpo fue explotado en dos tramos mediante el método Sublevel Stoping (SLS) con relleno cementado, dejando un puente de 8 m de altura entre los dos tramos. El relleno de la parte superior tiene una resistencia de 11 MPa, la parte inferior se rellenó con resistencias de 4 y 2 MPa.

Para la recuperación de dicho puente se desarrolló un proyecto de ingeniería y los análisis geomecánicos de detalle, con los que se establecieron controles operativos y geomecánicos que **permitirán recuperar 31,432 TM @ 13.7% Zn. A la fecha se tiene un avance del 60% del proyecto con una adherencia del 98%.**

El desarrollo de ambos proyectos permitió flexibilizar el plan minero y generar un **margen económico de USD 6,000,000**, en proyectos con cero incidentes y una adherencia de 98%.

Con la experiencia adquirida en la recuperación de los pilares en la unidad de Andaychagua, se viene desarrollando las ingenierías que permitan la recuperación de pilares en las distintas unidades subterráneas de Volcan.

La cartera de proyectos presenta un tonelaje minable de 287,000 TM, que pueden generar un margen económico para la compañía de alrededor de USD 10 millones. La tabla 1 especifica el estado de cada uno de los proyectos:

Tabla 1.
Cartera de proyectos para recuperación

Unidad	Cuerpo/ estructura	Labor	Tonelaje (ton)	Leyes			VPT (USD/ton)	Margen Económico (USD) ⁽¹⁾	Estatus
				Zn %	Pb %	Ag gr/ton			
Andaychagua	Prosperidad Techo	TJ - 1100-62-61	9,276	18.0	0.2	1.2	340	2,690,040	Ingeniería de detalle
	Salvadora	TJ - 1100-CO 39	7,000	12.1	5.8	4.2	346	2,072,000	Ingeniería conceptual
San Cristobal	Veta 658	TJ_SP5 Nv 1320	7,481	11.3	1.6	4.7	265	1,982,081	Ingeniería conceptual
Animon	Split	SN 500-4000-1	1,683	9.7	1.1	0.1	271	363,732	Ingeniería de detalle
Ticlio	Ramal Piso	SARC	261,658	6.7	0.5	1.3	193	3,561,080	Ingeniería conceptual
Total			287,098	1.0	0.6	1.4		10,668,933	

Fuente: Volcan

2. Objetivos

Objetivo general

Presentar el desarrollo de los proyectos de recuperación de pilares realizados en la Unidad Minera de Andaychagua, destacando los controles de ingeniería, geomecánica y operaciones que se implementaron.

Objetivos específicos:

- ✓ Mejorar la recuperación de los recursos minerales en un 5%.
- ✓ Recuperar zonas de alta ley, que han quedado como puentes y pilares.
- ✓ Optimizar los planes mineros de corto y mediano plazo, aportando mineral desde los pilares (285 KTon).
- ✓ Incrementar el margen económico de la compañía en (+10M USD).

3. Recuperación de pilares Mina Andaychagua

En mina Andaychagua, en la veta homónima, durante 2023 y 2024 se ha desarrollado el proyecto de recuperación de una estructura paralela a la veta, con altos contenidos de planta @12.7 oz/ton en la parte alta de la mina - Nv 1000.

Así mismo se viene ejecutando el proyecto de recuperación de parte del puente que quedó luego de la explotación del cuerpo Salvadora en profundización de la mina – Nv 1450.

3.1. Recuperación de estructura paralela a veta andaychagua

Como parte de la búsqueda de mejorar el plan minero de corto plazo, se ha evaluado la factibilidad geomecánica de recuperar un mineral de alta ley de plata (12.7 oz/ton) emplazado en la pared Este de la veta Andaychagua superior (nivel 1000, cota 4036).

Esta veta-mineral se ubica colindante con la veta Andaychagua, explotada por método Under Cut and Fill (UCF) en años anteriores. En la **Figura 1** se muestra el Nv 1000 y las condiciones geológicas del sector. En la **Figura 2** se indica una sección representativa, en el que se muestra los sectores explotados mediante UCF y estructura paralela.

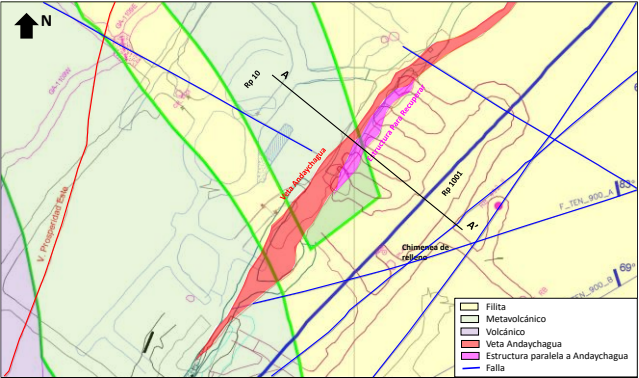


Figura 1.
Condición Geológica – Nv 1000

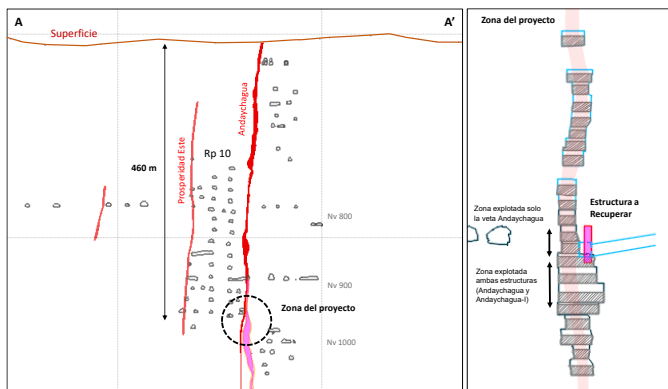


Figura 2.
Sección A-A' – condición geométrica del sector del proyecto

Método y secuencia de explotación

Considerando las características geológicas, geomecánicas, geométricas y operacionales se ha definido realizar la explotación del mineral remanente mediante el método *Sublevel Stopping*, con perforación radial en positivo y posterior relleno cementado.

Para la explotación se dividió el sector en cinco cámaras, cada una con accesos independientes, desde los que se realizó las perforaciones, en forma positiva, tanto de la chimenea corte como los taladros de producción, realizándose la voladura en una sola etapa (chimenea de corte + producción).

En la **figura 3** se indica el diseño de las cámaras con un volumen y leyes diluidas de 9,018ton @5.1% Zn, 1.4% Pb, 12.7 oz/ton Ag.

Como secuencia se consideró iniciar la explotación por la cámara N° 69 siguiendo con la N° 73 y cerrando con las cámaras intermedias, buscando:

- ✓ Dinamizar la operación, iniciando por accesos con menor desarrollo, mientras se continua con la construcción de los siguientes accesos.
- ✓ Cerrar espacios abiertos, dejados por la explotación UCF, con relleno cementado desde los extremos, logrando así que cámaras intermedias se desarrollen con mínimos espacios abiertos.

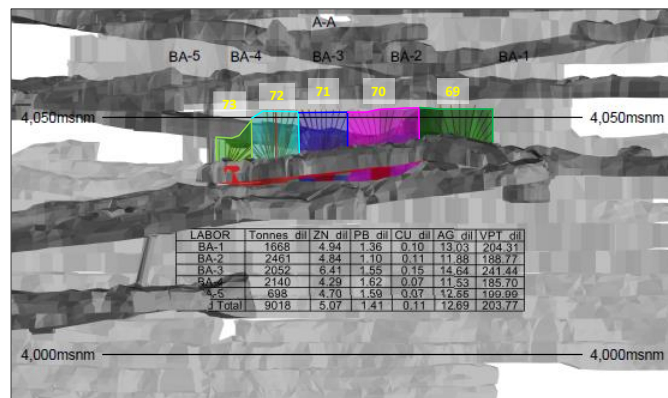


Figura 3
Diseño y secuencia de explotación

Análisis geomecánico

Para evaluar la factibilidad geomecánica del proyecto, se realizó el análisis geomecánico aplicando metodologías empíricas y cinemáticas. El análisis se enfocó en la protección de infraestructuras principales como el Bp900, Rp10, chimeneas de relleno cementado y chimeneas de ventilación emplazadas en el entorno.

Modelo de Calidad de macizo rocoso

La estructura mineral remanente se encuentra emplazada dentro de **roca metavolcánica**, que corresponde a un macizo de buena a regular calidad. Con un RMR promedio de 58, RQD entre 75% a 100%. Encontramos **filita** como roca encajonante del metavolcánico, de calidad regular a mala, con RMR promedio de 45, RQD de 25% a 50%.

La estructura mineral se caracteriza un macizo de regular calidad, RMR promedio de 47 y RQD de 52% a 98%. En la **figura 4** se muestra una sección con las características geomecánicas del macizo rocoso y en la tabla 2 se resumen las propiedades geomecánicas.

Tabla 2.

Indicadores de calidad de macizo rocoso Nv 1000

Litología	IRS	RQD (%)	RMR		
			Min	Media	Máx
Metavolcánico	R4	75 a 100	52	58	63
Filita	R1 - R2	25 a 50	30	45	55
Filita alterada argilica	R1 - R2	0 a 25	22	28	33
Estructura mineral	R2 - R4	70 a 100	47	52	58

Fuente: Andaychagua

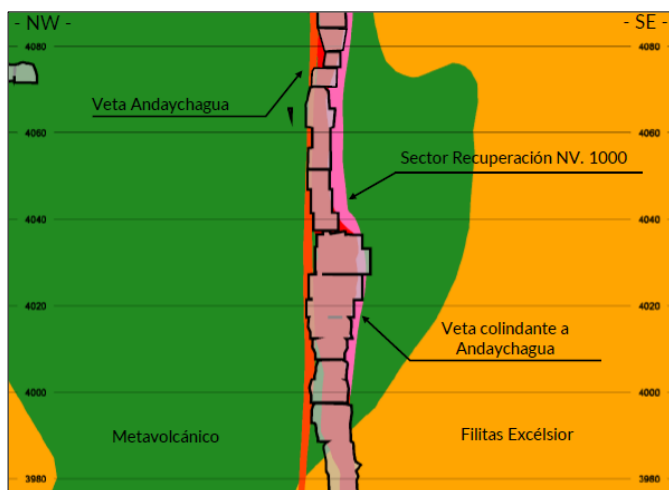


Figura 4
Características del macizo rocoso

Modelo estructural

La falla Andaychagua es una de las **estructuras mayores**, que se caracteriza por ser de rumbo dextral, mineralizada. Se extiende a lo largo de 5 km, con potencia que varía entre 1.7 - 2 m en el sector del proyecto, y orientación promedio N40°E/72-90°NW.

Por otro lado, se observan fallas tensionales, que se ramifican desde la estructura principal, con una orientación media de N40°/75-85°SE y potencia estimada de 2 a 3.5 m en el sector del proyecto.

Set	Dip (°)		DipDir (°)	
	M (°)	σ (°)	M (°)	σ (°)
S1	65	11	142	10
S2	69	7	115	8
S3	40	13	268	14
S4	86	6	247	9
S4	86	6	68	9

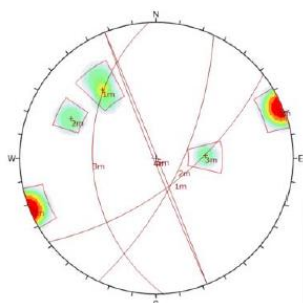


Figura 5.
Proyección estereográfica de discontinuidades intermedias

Como discontinuidades intermedias se identificaron 4 patrones y/o familias que se muestran en la proyección estereográfica (figura 5), los sistemas 1 y 2 sub paralelos a la falla mineralizada, y los sistemas 4 y 5 perpendiculares a esta.

Set	Dip (°)		DipDir (°)	
	M (°)	σ (°)	M (°)	σ (°)
S1	77	10	139	11
S2	80	9	312	11
S3	75	11	89	11
S4	76	10	269	11
S5	76	11	290	9
S6	75	12	114	11

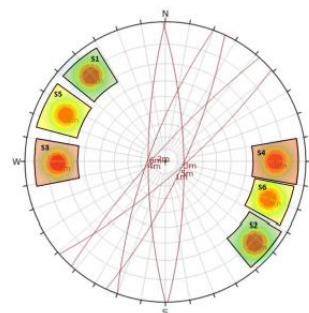


Figura 6
Proyección estereográfica de discontinuidades menores

Como **discontinuidades menores** se observan 6 sistemas principales de discontinuidades menores, como se ilustra en la red estereográfica de la **figura 6**.

Análisis geomecánico mediante metodologías gráficas

Para el análisis se utilizó la gráfica de estabilidad de Mathews, ampliamente usada en el diseño de tajos, que permite determinar los parámetros de diseño en explotaciones de cuerpos tabulares.

La versión más reciente de este método, actualizada por C. Mawdesley y R. Trueman (2000), está basada en el análisis de más de 400 casos históricos, y permite estimar la probabilidad de falla para un determinado diseño del tajo.

El método consiste en la determinación del Número de estabilidad (N'), que representa la calidad del macizo rocoso y la condición geotécnica del lugar a explotar. Este parámetro se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$N' = Q' \times A \times B \times C$$

Donde:

Q': Índice Q de Barton con $(Jw/SRF) = 1$

A: Factor de condición de esfuerzos

B: Factor de orientación de esfuerzos

C: Factor de componente gravitacional

Para la estimación de los rangos de radio hidráulico se consideró lo siguiente:

Cámaras 69, 70 y 71 en Metavolcánico y Filita.

Cámaras 72 y 73 sólo en Metavolcánico.

En la **tabla 3** se muestran los rangos de radios hidráulicos admisibles para cámara, considerando una probabilidad de falla máxima del 5%, mientras que en la **figura 7** se presenta la gráfica de Mathews.

Tabla 3.

Rangos de radio hidráulico con un criterio de falla del 5%

Cámaras	Litología	Q'		N'		RH (m)	
		Rango evaluado		Rango evaluado		Rango	
69, 70 y 71	Metavolcánico y Filita	2.2	7.2	1.8	5.8	3.0	5.5
72 y 73	Metavolcánico	5.1	12.2	6.6	15.7	6.1	9.5

Fuente: Andaychagua

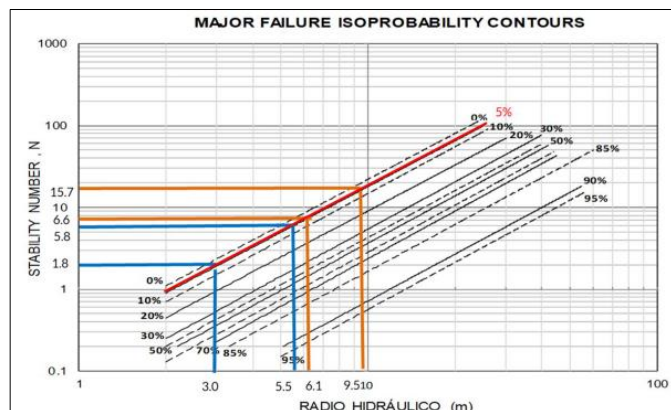


Figura 7.

Análisis de probabilidad de falla. Gráfica de Mathews

Análisis geométrico estructural

En el análisis realizado no se observan macrobloques que puedan ser activados a escala de mina, al realizar la explotación de la estructura contigua y paralela a veta Andaychagua.

En la **figura 8** se presenta la identificación de los potenciales sectores que podrían activarse. En este caso, por conciliación volumétrica, no llegarían a afectar a ninguna infraestructura principal contigua al sector.

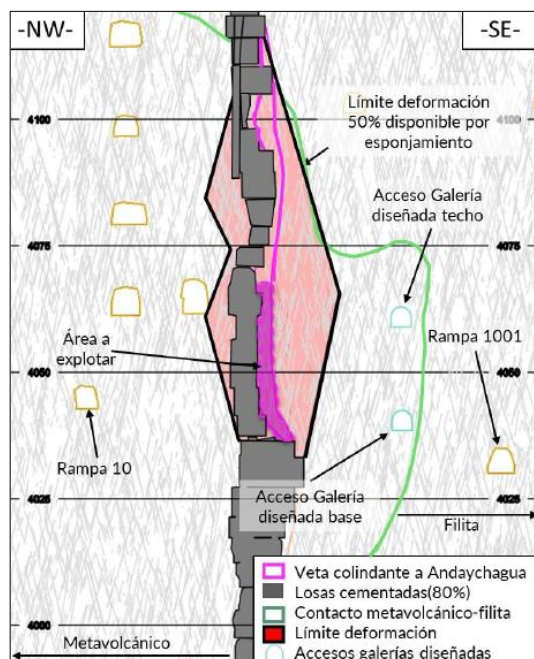


Figura 8

Identificación de potencial bloques Monitoreo geomecánico

Para poder contar con alertas tempranas ante la ocurrencia de una potencial inestabilidad, se realizó el monitoreo mediante **Reflectómetro en el Dominio del Tiempo (TDR)**. En las **figuras 9 y 10** se muestra el esquema de instalación en la cámara 69 y el registro de los datos, donde se puede observar que no se tiene cambios en la impedancia lo cual indica que no existen movimientos relevantes.

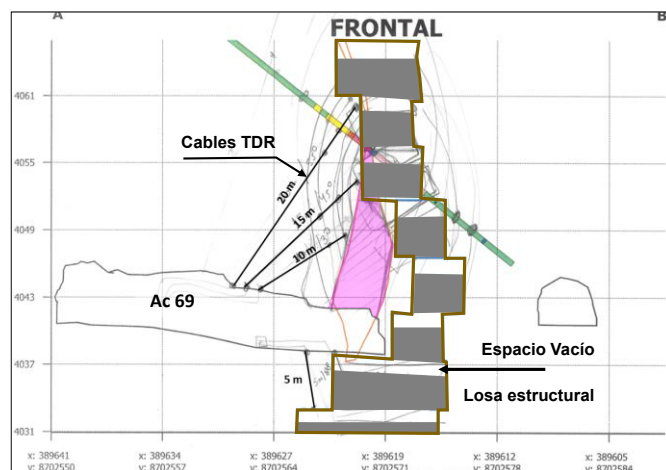


Figura 9

Esquema de monitoreo mediante cables TDR

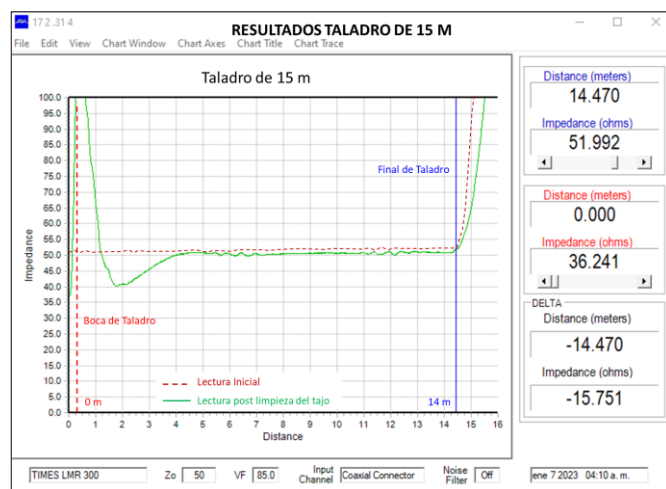


Figura 10.

Registros de datos de monitoreo mediante cables TDR

Recuperación del puente salvadora

El **cuerpo Salvadora** se encuentra en el extremo Sur de la veta Andaychagua, entre los niveles 1450 y 1375, explotado mediante *Sublevel Stopping*, con relleno cementado (SARC).

La explotación fue realizada en dos tramos: El primero desde el Nv 1400 hasta el 1375 y el segundo desde el Nv 1450 hasta el 1400, quedando **un puente de 8m entre ambos tramos**. Este puente contiene 55,356 ton @ 13.7% de Zn, planteado un

proyecto de recuperación. En la **figura 11** se indica su ubicación.

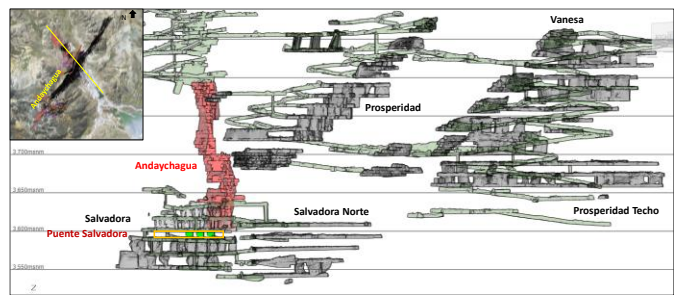


Figura 10.
Ubicación del puente Salvadora

Método de explotación

Se revisaron distintas alternativas de explotación, definiendo mantener el método *Sublevel Stopping* (SLS) con pilares, variando la perforación a radial en positivo, extracción en retirada y relleno cementado. Con este concepto se generó el diseño de un total de 7 cámaras, separadas por pilares (**figuras 12 y 13**).

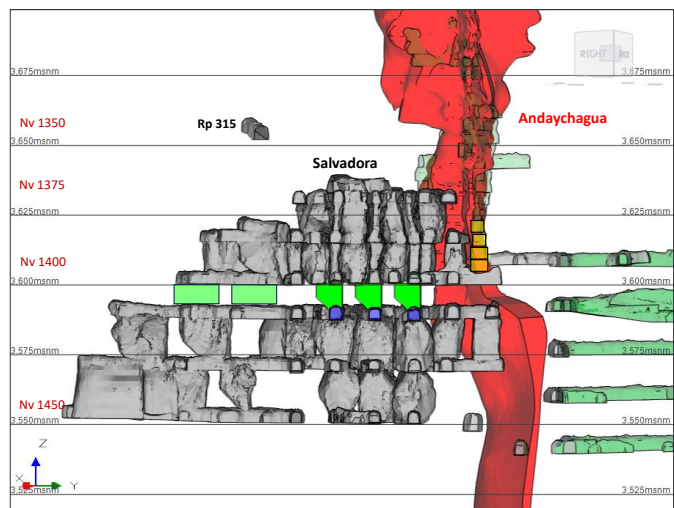


Figura 11.
Diseño de explotación puente Salvadora (sección)

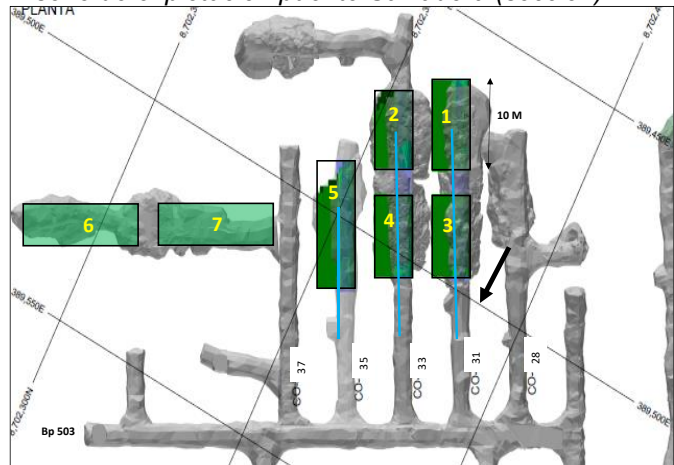


Figura 12.
Diseño y secuencia de explotación puente Salvadora (planta)

Características del macizo rocoso

El **cuerpo Salvadora** muestra mineralización masiva-diseminada, con una orientación preferencial NW-SE, emplazado principalmente en **rocas meta-volcánicas**, que forman cuerpos satélites en torno al metavolcánico principal, presentando una morfología tipo cuerpos masivos, con una orientación NW-SE y una alteración predominantemente propilítica.

La caja de las rocas metavolcánicas corresponde a **filitas** del grupo excelsior, que presentan una foliación general NW-SE, paralela al eje del plegamiento. En torno a los contactos con el metavolcánico la foliación se presenta de manera irregular, producto de la deformación asociada al emplazamiento de los cuerpos ígneos (subvolcánicos) y condiciones de alteración argílica débil que debilitan la resistencia del macizo rocoso. En las figuras 14 y 15 se muestra la distribución de los distintos tipos de rocas en el que se encuentra el proyecto y en la tabla 4 se resumen sus propiedades geomecánicas.

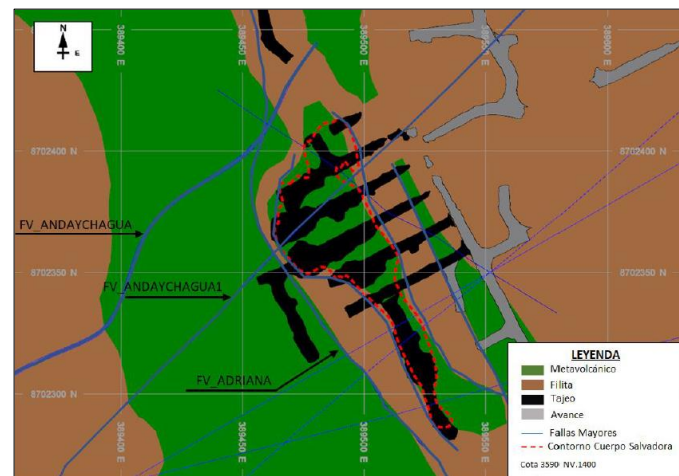


Figura 13.
Características geomecánicas del sector del proyecto (planta)

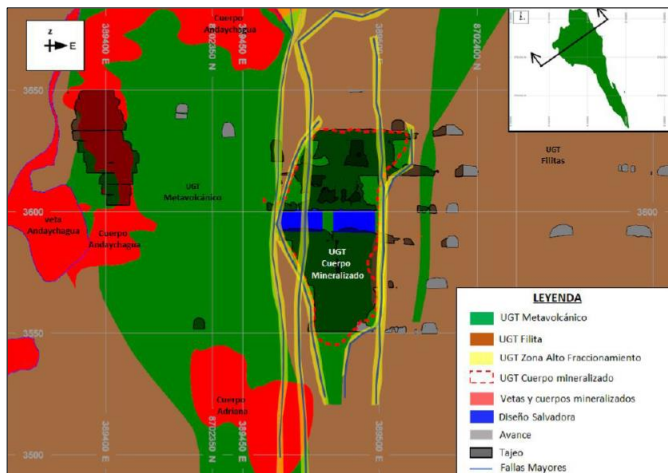


Figura 14.
Características geomecánicas del sector del proyecto (sección)

Tabla 4. Propiedades geomecánicas cuerpo Salvadora

Litología	σ_{ci} (Mpa)	mi	RQD (%)	RMR		
				Min	Media	Máx
Metavolcánico	62	17	80 a 100	49	57	65
Filita	50	11	20 a 55	25	33	41
Cuerpo mineralizado masivo	60	13	90 a 100	54	57	59
Metavolcánico mineralizado	65	15	85 a 100	53	58	62
Zona de alto fracturamiento	25	10	0 a 20	15	21	25

Fuente: Andaychagua

Análisis de estabilidad

Se realizó el análisis de estabilidad, mediante metodologías empíricas y numéricas. Los resultados obtenidos se resumen en la **tabla 5** y en la **figura 16** se indica del análisis de estabilidad mediante modelamiento numérico Flac 3D.

Tabla 5.

Resumen de resultados de análisis de estabilidad

Actividad	Evaluación Geomecánica Método Empíricos / Analíticos / Cinemático	Evaluación Geomecánica Modelamiento Numérico 3D
Definición de parámetros de diseño	- Estimación de dimensiones del tajo: Ancho: 9 m Alto: 8 m Longitud: 20 m. - Estimación de dimensiones de pilares: Ancho: 5 m. - Probabilidad de Falla del techo en relleno cementado, PF: 2% - Factor de Seguridad de pilares, FS: 1.7	- Arco máximo de deformación en techo de relleno cementado: 1.5 m, con desplazamiento máx. 1 m. - Estabilidad de los pilares FS: 1.1
Secuencia de explotación	Secuencia en retirada, alejándose de zonas de contacto y veta Andaychagua, tajos E1 al E5	Simulación del comportamiento del macizo rocoso, al generar la explotación, se mantiene una regularidad en el comportamiento del macizo al realizar la explotación de los distintos bloques, no generando mayor perturbación. Se incluye etapas E6 y E7 (explotación del sector Sur).
Análisis de estabilidad a escala global	- Definición de mecanismos de inestabilidad (conceptos) - Fallamiento de pilares - Colapso del techo en relleno cementado - Fallamiento del relleno cementado (superior) - Colapso de galerías.	- Fs Pilares: 1.1 (estable) - Máximos desplazamientos: 1 m (local) - Se mantiene los desplazamientos máx. en la parte superior: 0.15 m (mantiene rango de desplazamiento antes / durante y al final de la explotación). - Concentración de esfuerzos en las paredes de las galerías: 5 Mpa, resistencia del macizo, 15 a 12 Mpa
Estrategia de Monitoreo	- Definición de equipos de monitoreo - Ubicación de equipos de monitoreo - Definición de Tarp base	- Ajustes en la ubicación de equipos de monitoreo. - Calibración de Tarps con resultados del modelo numérico.

Fuente: Andaychagua

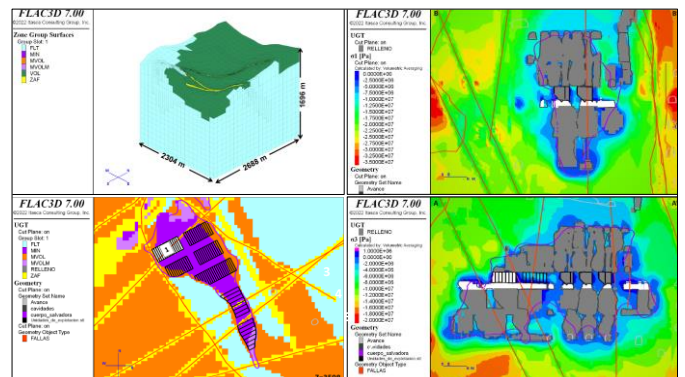


Figura 15.

Resultados de análisis de estabilidad mediante modelamiento numérico (Flac 3D)

Los resultados del análisis de estabilidad indican que:

- ✓ No hay evidencias de colapso a mayor escala; los pilares entre los tajos presentan FS > 1.1.
- ✓ No se observan zonas desconfinados (bajos esfuerzos o tracción), que puedan gatillar un potencial caving en la parte alta de Salvadora ($s_3 > 0$).
- ✓ Para las dimensiones definidas de los tajos (RH máx), los techos en relleno cementado no presentan zonas de alta deformación (profundidad de arco de deformación = <1.5m).

Monitoreo geomecánico

Buscando alertar de forma anticipada del potencial inicio de un movimiento de bloques y/o deformación del macizo rocoso, se instrumentó el sector del proyecto con cables de **reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)**, **extensometría** en accesos principales como el BP 505 y Rp 315, instalación de **celdas de carga** en los pilares, cables TDR en las cámaras operativas (acceso a la explotación).

Estos equipos de monitoreo permitirán alertar de forma anticipada un potencial inicio de movimiento de bloques y/o deformación del macizo rocoso.

Adicionalmente, se reforzó el sistema de monitoreo micro sísmico de la mina de manera de focalizar potenciales eventos en el cuerpo Salvadora.

Para el control de riesgo y la activación del protocolo de comunicaciones, en Volcan se tiene establecido una seria de TARP (Trigger Action Response Plan), en la Tabla 6 se indica el TARP para el sistema de monitoreo con cables TDR.

Tabla 6.
TARP para el control de riesgo, Trigger Action Response Plan

TRIGGER	Normal	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
• Sistema de monitoreo con cable de reflectometría	• No se registra la activación	• Se activa a 1m del fondo del taladro.	• Se activa a 2m del fondo del taladro.	• Se activa a 3m del fondo del taladro.
Personal de Mina	• Continuar con las actividades operativas	• Paralizar actividades en el nivel superior y solo se paralizará en el nivel inferior en caso de tener trabajos debajo de la zona a monitorear • Comunicar a Central y al área de Geomecánica vía radial	• Paraliza actividades y bloques el nivel superior • Comunicar a Central y al área de Geomecánica vía radial	• Paraliza actividades y bloques nivel superior e inferior • Comunicar a Central y al área de Geomecánica vía radial
Acciones del Ingeniero Geomecánico / Técnico Geomecánico	• Continuar con los trabajos y monitoreo	• Verificación del sistema de monitoreo. • Verificación en la zona del taladro, aseguramiento en el piso alrededor del taladro. • Verificar caída de material por el piso inferior • En caso de no presentar indicios de sobre excavación se autoriza el reinicio de actividades	• Verificación del sistema de monitoreo. • Verificación en la zona del taladro, aseguramiento en el piso alrededor del taladro. • Verificar caída de material por el piso inferior • Seguimiento al monitoreo por un lapso de 4 horas, en caso de no presentar cambios se reinicia las actividades.	• Verificación del sistema de monitoreo. • Se determina el espesor del puente mediante taladros de reconocimiento. • En caso de identificar potencial comunicación por puente corto (menor a 4 m) se recomienda la eliminación de puente con perforación y soldadura para luego rellenarlo • Continuar con el proyecto y actividades debido a que se eliminó la condición.
Superintendente de Geomecánica		• Reporte al Superintendente de Mina del hallazgo y recomendaciones.	• Reporte al Superintendente de Mina y Gerencia de Operaciones. • Elaborar el plan de trabajo con las recomendaciones operativas.	• Reporte al Superintendente de Mina y Gerencia de Operaciones. • Elaborar el plan de trabajo con las recomendaciones operativas.

En la **figura 17** se muestra a modo de ejemplo los resultados de un punto de monitoreo con cables TDR. Los resultados indican que no se tiene evidencias de cambios en comportamiento del macizo rocoso.

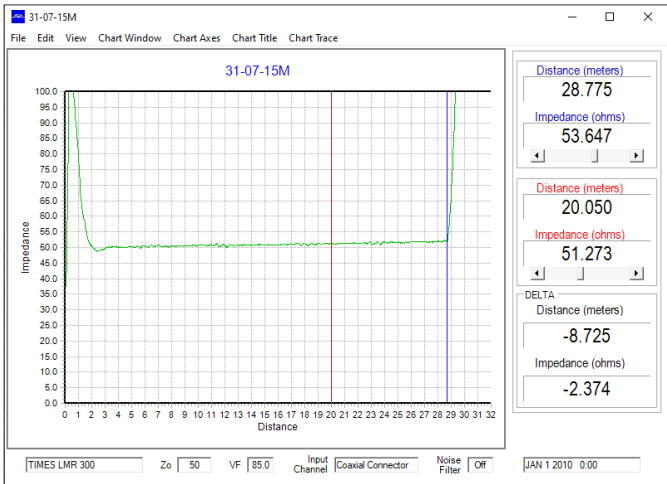


Figura 16.
Registro de monitoreo mediante cables TDR – cuerpo Salvadora

4. Presentación y discusión de resultados

Los proyectos se ejecutaron con cero incidentes, y estabilidad dentro de los rangos evaluados.

La recuperación en Veta Andaychagua se realizó con cero incidentes y una adherencia del 78%. En la figura 18 se muestra evidencias fotográficas.



Figura 17.
Resultados explotación veta paralela a Andaychagua

A la fecha se tiene un avance del 60% del proyecto de recuperación del puente Salvadora, con cero incidentes, y adherencia del 98%. En la **figura 19** se muestra evidencias fotográficas del desarrollo del proyecto.



Figura 18.
Resultados explotación puente Salvadora

5. Conclusiones

A partir del trabajo realizado se puede concluir que es factible el desarrollo de proyectos de recuperación con complejidad geomecánica, desarrollando todas las etapas de ingeniería, análisis geomecánicos de detalle, implementación de controles geomecánicos y operativos.

Implementado todos los controles establecidos en los proyectos, se ejecutaron dos proyectos de recuperación en Mina Andaychagua con cero incidentes, estabilidad dentro de los rangos aceptables, adherencia de 77% para Andaychagua y 98% para Salvadora, logrando un margen económico de USD 6,000,000.00.

Con la experiencia adquirida, es factible llevar adelante proyectos de recuperación en las distintas unidades de Volcan, siendo fundamental:

- ✓ Desarrollar la ingeniería en sus distintos niveles, desde la de conceptualización hasta la de detalle.
- ✓ Realizar una evaluación geomecánica de detalle, con revisiones de terceros.
- ✓ Implementación de controles geomecánicos: monitoreo, sostenimiento, inspecciones, relleno de espacios abiertos.
- ✓ Disciplina operativa, cumpliendo lo establecido en los proyectos.

6. Anexos

Se anexa los análisis geomecánicos realizado para la recuperación del puente del Tj 61 en la unidad de Andaychagua y también la evaluación para la recuperación del puente en la veta Split 225, TJ 500, Nv. 4000 de la unidad de Animón.

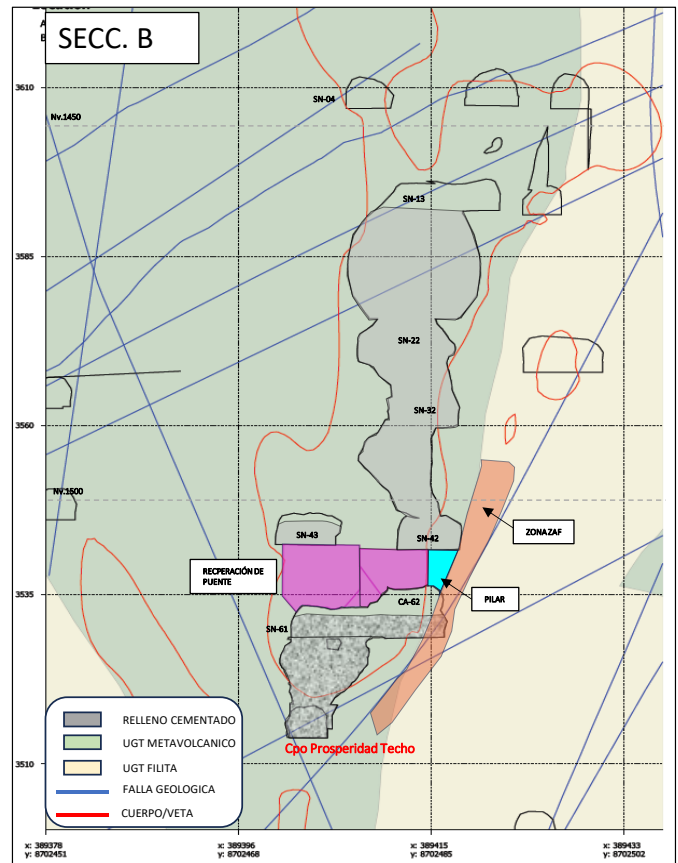


Figura 19
Modelo Geomecánico – Recuperación de puente Tj 61 Andaychagua

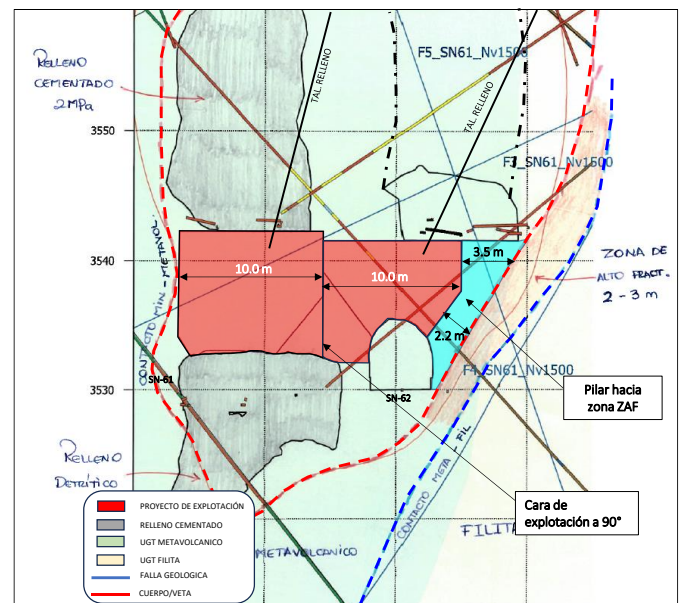


Figura 20
Dimensionamiento – Recuperación de puente Tj 61 Andaychagua

ITEM	CONDICION	RIESGO	CONTROL	ESQUEMA
1	Presencia de bloques y cuñas formados por fracturamiento y contacto con cuerpo mineralizado.	Desprendimiento de cuñas durante perforación y/o carguo.	Refuerzo con cable bolting de 5 metros en ambos subniveles antes de iniciar el minado.	
2	Tajos por encima de SN-61 y SN-62 con relleno cementado de 3MPa	Desprendimiento de relleno cementado. Desprendimiento de bloques durante el minado.	Minado con LMA de 9.23 metros: SN-61: 3 paneles para minado. SN-62: 2 paneles para minado. Instalación de Smart Cable o Cable TDR como control de deformaciones.	
3	Voladizos formado entre paneles de minado.	Desprendimiento de voladizos por geometrías desfavorables	La geometría de la explotación se deberá ejecutar llegando a geometrías rectas entre los SN-61 y SN-62.	
4	Cavidad vacía por minado SLS.	Desprendimiento de relleno y roca por cavidad vacía.	Al finalizar el minado de cada uno de los paneles planificados se deberá realizar el relleno cementado respectivo, para ello se debe ejecutar taladros DDH direccionados a cada panel planeado.	

Figura 21
Análisis de Riesgo y controles – Recuperación de puente Tj 61 Andaychagua

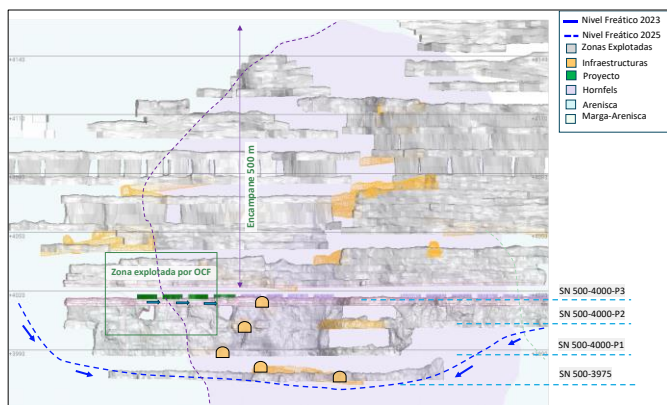


Figura 22
Modelo geomecánico – recuperación de puente veta Split principal Animon

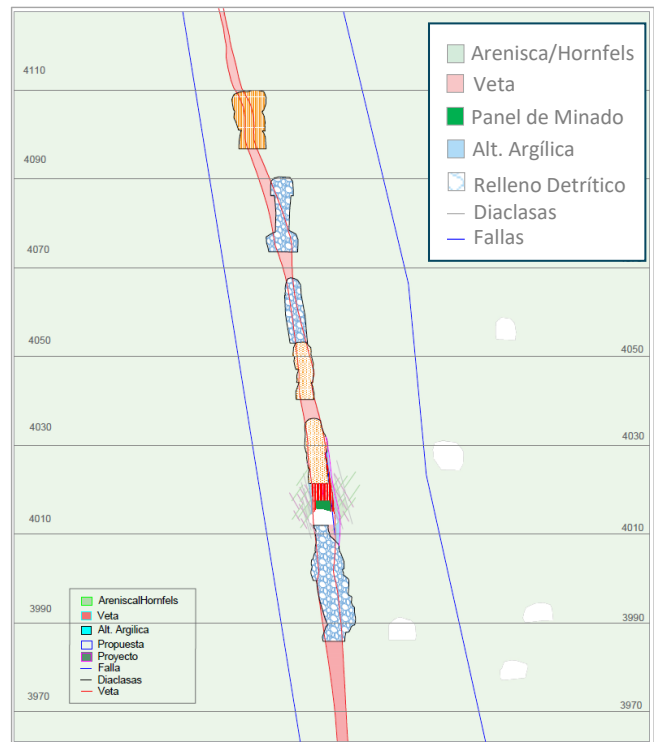


Figura 23
Modelo geomecánico – recuperación de puente veta Split principal Animon

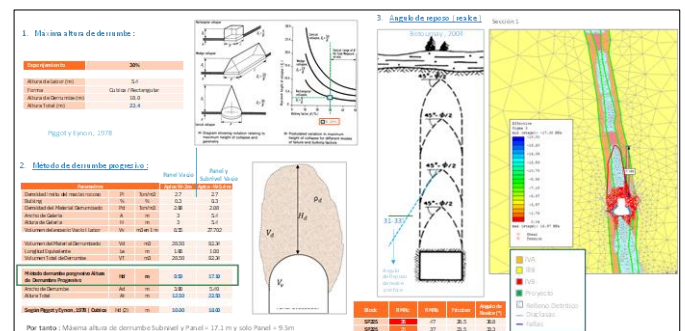


Figura 24
Análisis geomecánico – recuperación de puente veta Split principal Animon

7. Referencias bibliográficas

Superintendente de Ingeniería & Planeamiento Unidad Andaychagua, Informe N°12-2019, Informe de explotación de la veta Andaychagua -1 en el nivel 1000, 2019.

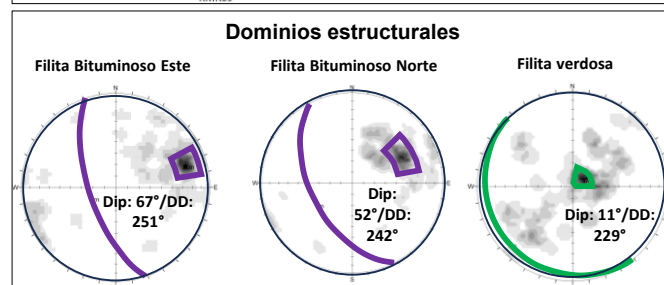
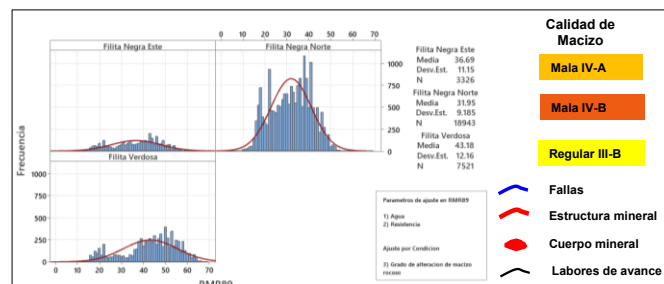
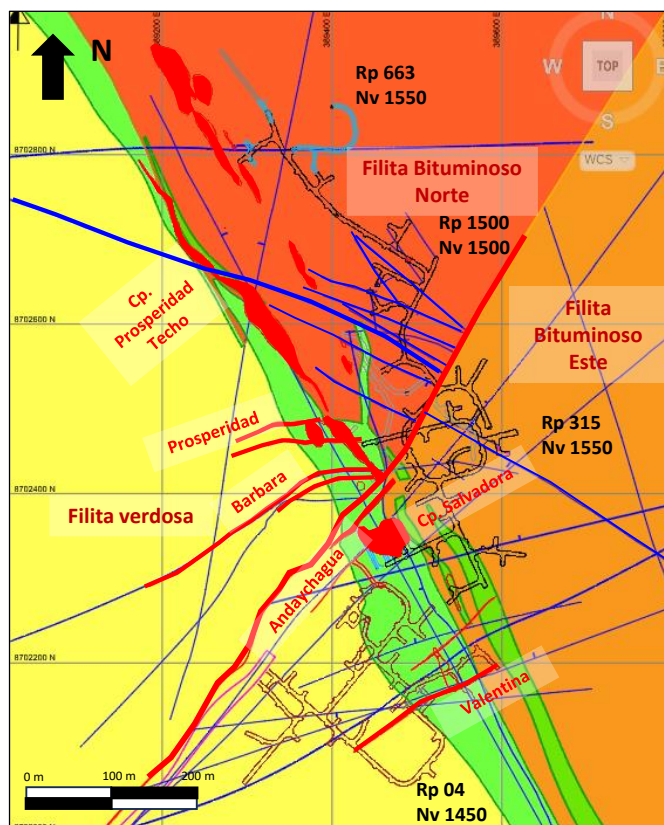
E-Mining Technology S.A., Informe Técnico, Ingeniería Geotécnica Conceptual Proyecto Placa Salvadora, 2023.

Compañía Minera Volcan, E-Mining Technology S.A., Nota Técnica, Estudio Geomecánico Nv. 1000 Veta Andaychagua Mina Andaychagua, 2023.

8. Ilustraciones / Imágenes / Tablas

Metodología de evaluación de suficiencia de información

Ítem	Requerimiento de información	CUERPO SALVADORA	
1 Modelo Geológico		100%	
	Litología	3D Global	100%
	Alteración (tipo e intensidad)	2D	100%
	Construcción de secciones y plantas	Por Block	100%
2 Modelo Estructural		35%	
	Estructuras mayores (a escala distrital / regional)		
	Caracterización de fallas (mapeo)	1 estación LD; C; U	100%
	Ensayos de material de relleno de falla	1 por tipo de estructura	10%
	Estructuras intermedias (a escala de mina)		
	Caracterización de fallas intermedias (Mineralizada / Mapeo)	LD; C; U Falla Mineralizada: - Mala calidad de macizo: 12 m - Regular calidad de macizo: 16 m - Buena Calidad: 20 m	
	Caracterización de fallas intermedias (mapeo)	1 estación LD; C; U	20%
	Ensayos de material de relleno de falla / corte directo	1 por tipo de estructura	15%
	Dominios de estructurales menores (local)		
	Caracterización de estructuras menores (mapeo)	- Mala calidad de macizo: 12 m - Regular calidad de macizo: 16 m - Buena Calidad: 20 m	10%
	Ensayos de corte directo	3 por dominio	10%
	Construcción de secciones y planos	Por Block	80%
3 Modelo de Calidad de Macizo rocoso		76%	
	Ensayos de roca intacta (radio de influencia)		
	3 ensayos PLT (bloques para ensayos)	Cada 50 m de radio	50%
	3 ensayos UCS	150 m	100%
	4 ensayos Tx	150 m	100%
	3 ensayos corte indirecto o brasileño	150 m	100%
	5 ensayos con propiedades físicas	150 m	90%
	Clasificación del macizo rocoso		
	Logueo de sondajes	Espaciamiento entre sondaje logueados; máximo distribución equidistante a 100 m.	80%
	3 ensayos PLT (sondajes)	Según estándar de logueo	80%
	Mapeo de galerías	- Mala calidad de macizo: 12 m - Regular calidad de macizo: 16 m - Buena Calidad: 20 m	10%
4 Modelo Hidrogeológico		72%	
	Nivel freático	Estado actual	50%
	Dirección y flujo del agua	No indica	60%
	Medición de permeabilidad	Estimado de forma indirecta (RQD)	100%
	Caudal de agua	Estimaciones conceptuales	100%
	Presión de poro	No indica	60%
	Caracterización química del agua	PH, temperatura	60%
5 Modelo de Esfuerzos		100%	
		Estimaciones indirectas usando carga litostática y criterio de anisotropía estructural conforme orientación de fallas principales.	100%
6 Modelo de cavidades		100%	
	Modelo 3D de cavidades	90% de labores levantadas topográficamente	100%
	Gestión de vacíos	90% de labores rellenas	100%
		Estimadas empíricamente a partir de materiales que presentan similares características geología, geotécnica y particularmente distribución granulométrica.	100%
Modelo Geotécnico		80%	



Modelo geomecánico Andaychagua

9. Videos

No considera.

Wilmer Manuel Carhuaricra Cordova

Ingeniero de Minas, especialista en geomecánica y geotécnica.

16 años de experiencia en Geomecánica. Líder de los equipos de geomecánica en las Unidades de Tilio, Andaychagua y ahora como parte del Corporativo de Geomecánica Volcan. Con visión, de que la geomecánica sea un pilar para la seguridad y optimizaciones de la industria minera.