

**Frank Tapia Echegaray, Superintendente de Operaciones Mina Carguío**  
**Aldo José Miguel Gutiérrez Carrillo, Supervisor Senior Operaciones Mina**

Sociedad Minera Cerro Verde, Av. Alfonso Ugarte 304, Arequipa, Perú (smcv@fmi.com)

**RESUMEN**

El presente tiene el objetivo de mostrar las principales actividades que se realizan en la estabilización de taludes a doble banco en Sociedad Minera Cerro Verde SAA (Cerro Verde), con el fin de asegurar condiciones seguras y favorables en las operaciones mineras y trabajos en interacción con los taludes de mina. En Cerro Verde, “Somos líderes de Producción Segura de cobre, haciendo de cada día nuestro mejor día”.

En Cerro Verde se viene aplicando la técnica de minado a doble banco (Taludes de diseño de 30 m. de altura), donde se inicia con el minado a diseño de 15 m. de altura utilizando palas eléctricas y al final el remate a la pared de diseño se utiliza esta técnica (minado doble banco). Durante esta operación se presenta diversas condiciones como la calidad de la roca, la geometría del talud, la presencia de agua, entre otros, afectan la estabilidad del talud generándose dos principales problemas; 1) La apertura de bloques con potencial de caída y 2) La activación de estructuras como cuñas y fallas geológicas ubicados fuera del alcance del equipo de

minado, que comprometen la seguridad de los trabajos del ciclo de minado y posteriores actividades. Para eliminar estas condiciones y estabilizar los taludes en Cerro Verde se ha implementado el área de “Estabilidad de Taludes”, que cuenta con equipos como excavadoras con brazos de largo alcance “long reach”, excavadoras de brazo estándar, martillos rompe bancos y tractores de orugas con mando a control remoto, mientras desarrollamos técnicas de operación para poder llevar a cabo la estabilización de los taludes y con ello contribuir a lograr la Excelencia en nuestras operaciones.

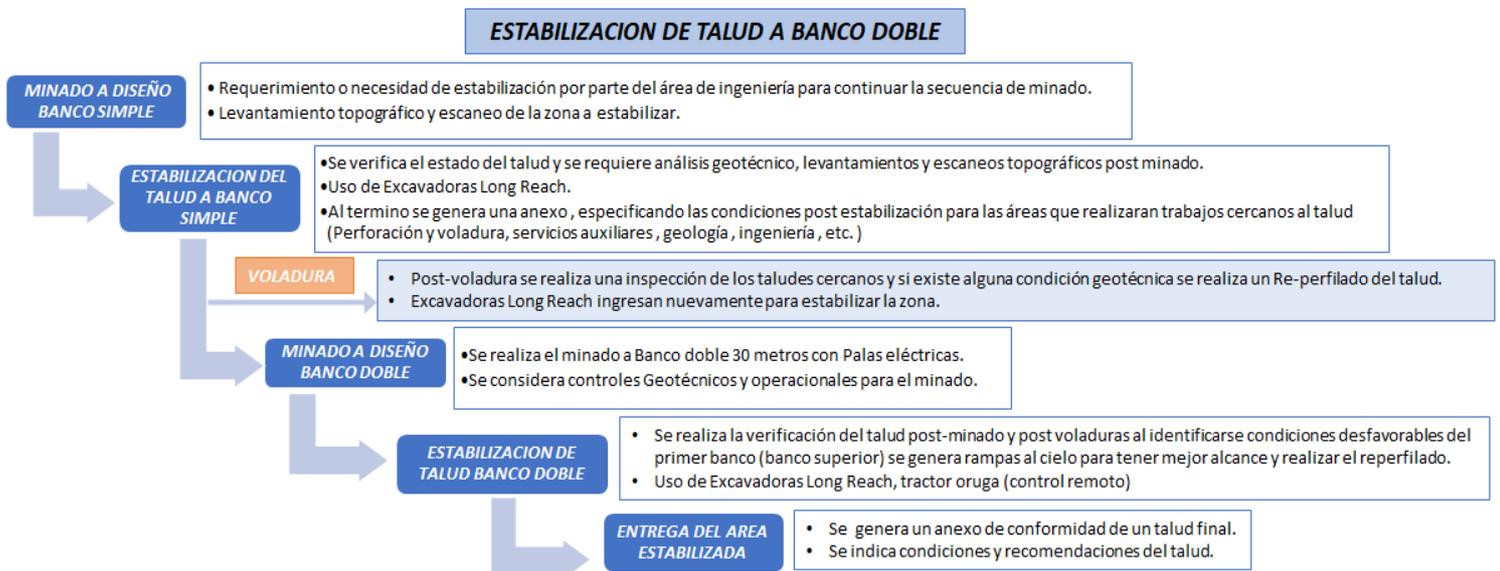
Para tener éxito en estos trabajos de estabilización se desarrolló procedimientos técnicos operativos, procedimientos escritos de trabajo seguro y el monitoreo geotécnico en el tiempo, que son la columna vertebral de los trabajos de estabilización.

**1. Introducción**

La estabilización de los taludes del tajo se ejecuta posterior a los trabajos de minado con pala eléctrica, luego de la información geotécnica a la condición del

Figura 1

Estabilización de un Talud a Doble Banco



Nota. Flujograma de actividades de acuerdo con la actividad realizada. Elaboración Propia.

talud y el área de ingeniería que nos brinda información según escaneos tanto en talud banco simple y banco doble.

El trabajo de estabilización de taludes inicia con la planificación entre las áreas de Ingeniería, Geotecnia, Operaciones Mina y Estabilidad de Taludes, donde se define la secuencia de trabajos y las prioridades del plan de minado. El resultado de esta planificación es un plan maestro de prioridades que se actualiza de forma diaria. Finalizado el trabajo de estabilización se libera la zona y se entrega al área de Operaciones Mina mediante el formato Anexo 01 de Estabilidad de Taludes, documento que sirve para mantener la trazabilidad de los sectores liberados y estabilizados. En la Figura 1 se muestra la secuencia de inicio de la estabilización de un talud a banco doble.

## 2. Estabilidad de taludes

### 2.1. Minado a diseño banco simple

Se considera el minado a banco simple de 15 metros de altura el talud, el cual es minado con un equipo de

carguío (Pala eléctrica P&H 2800 y P&H 4100) luego del proceso de voladura. los principales controles es cuidar los parámetros de diseño del talud ángulo cara de banco (BFA), ángulo inter-rampa (IRA), ancho banqueteta (CBW), se debe respetar los límites de minado para evitar sobreminados de la pared y así también evitar más condiciones desfavorables para el equipo de estabilización del talud.

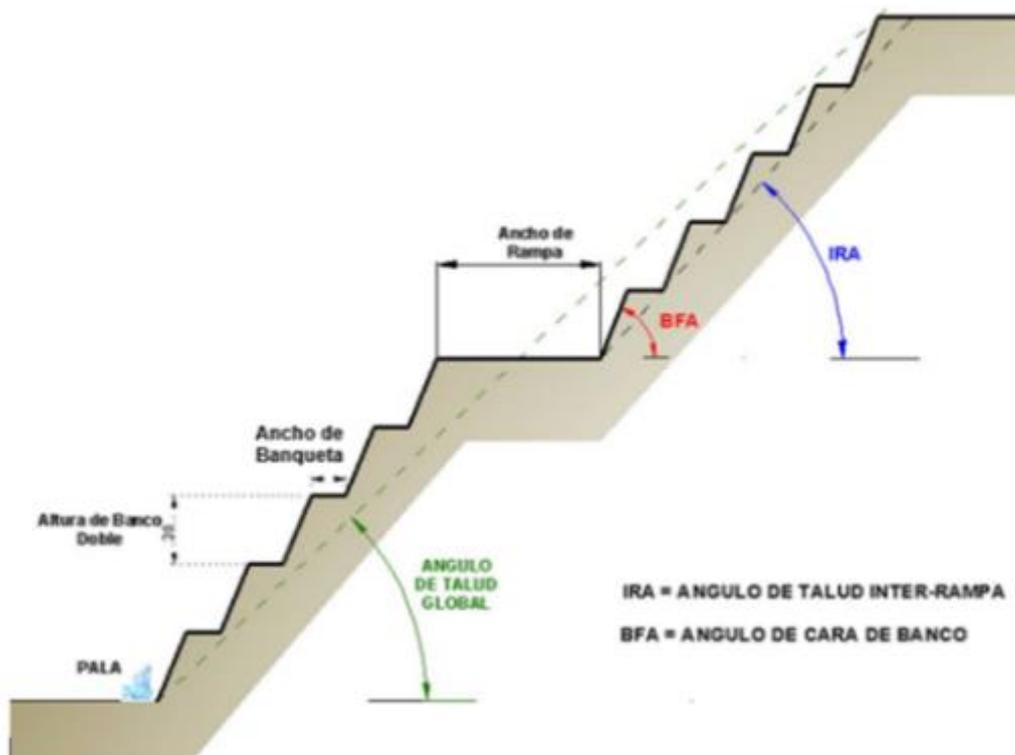
Tal como se observa en la Figura 2, podemos encontrar el ángulo de talud inter-rampa y el ángulo de cara de banco.

Cuando se encuentre banderines en el frente de minado colocados por el área de planeamiento corto plazo, considerar lo siguiente:

- Los banderines de color azul (diseño final talud) deben de caer por el minado del equipo de carguío dejando estable el talud.
- Los banderines de color azul con blanco (límite temporal sirve para controlar y cuidar la pared), por ningún motivo deberán caer por el minado del equipo de carguío.

Figura 2

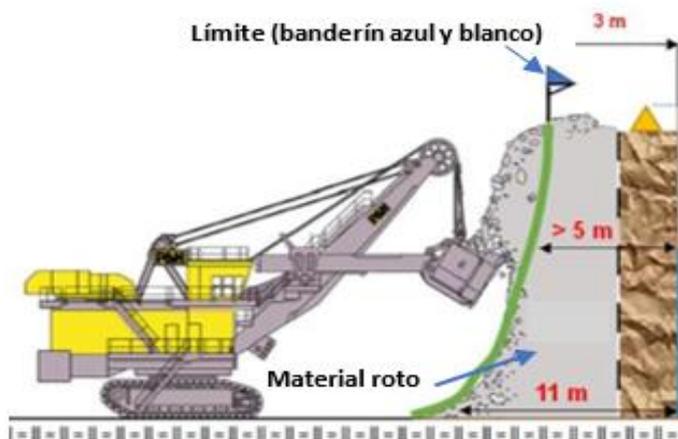
Ángulo de Talud Inter-Rampa y de Cara de Banco



Nota. Descripción gráfica de los ángulos inter-rampa y de cara de banco. Elaboración Propia.

Figura 3

Minado a Banco Simple



Nota. Trabajo de minado de un banco simple sobre un límite temporal. Adaptado de SCpr0300 Carguío de Material V20 (p.17), por Sociedad Minera Cerro Verde, 2021.

### 2.2. Estabilización del talud a banco simple, 15 metros

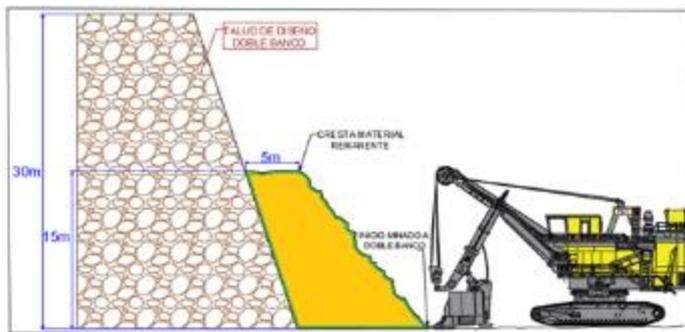
Una vez completado el minado de un banco simple a diseño con el perfilado de talud con pala, el área de planeamiento mina hace solicitud de estabilización de un talud de acuerdo con su secuencia de minado. El equipo de estabilización de taludes junto con el área de Geotecnia, identifican estructuras que podrían representar un riesgo para los trabajos futuros cercanos al talud, áreas de perforación, vía de acarreo y minado de palas a banco doble. Se da énfasis en el cuidado de la banquetta, la cual servirá de retención ante posibles caídas de rocas de taludes superiores. Si se identifica alguna estructura desfavorable se coordina y se evalúa con el área de Geotecnia para eliminar la condición y de tener una posible pérdida del ancho de la banquetta, donde luego del término de la estabilización se genera un anexo indicando las condiciones y recomendaciones del estado del talud, asegurando y garantizando la estabilización del talud, para dar ingreso o las demás áreas operativas como son perforación, voladura, planeamiento mina, acarreo, geología, etc. que vayan a realizar trabajos cercanos al talud.

### 2.3. Minado a diseño doble banco, 30 metros

En Cerro Verde se considera el Minado a Doble Banco, cuando la distancia horizontal entre la cresta del material remanente del frente de carguío hacia el talud de diseño (doble banco) sea igual o menor a 5 metros.

Figura 4

Minado a Doble Banco



Nota. Trabajo de minado a doble banco en Sociedad Minera Cerro Verde. Tomado de SCpr0305 Perfilado y Estabilización de Taludes V13 (p.24), por Sociedad Minera Cerro Verde, 2021.

El equipo de carguío (Pala eléctrica) realiza el perfilado de talud considerando controles geotécnico y operativos, como **control geotécnico** la zona de trabajo debe estar monitoreada constantemente por un radar, si falla la comunicación del radar, Geotecnia informará al Supervisor de Operaciones Mina que no se iniciará el minado a doble banco y se harán las coordinaciones de controles adicionales a tomar en equipo, como **control operativo** del equipo de carguío realizara el minado en la dirección siempre de izquierda a derecha dejando el talud limpio (diseño). Durante el minado a doble banco, se debe girar y cargar solo por el lado derecho de la pala en coordinación constante con G7 (geotecnia). El operador de la Pala no debe girar y cargar por el lado izquierdo para no exponerse (la cabina) a la línea de fuego ni exponer al operador de camión ante un posible derrumbe.

Figura 5

Giro de Pala en Minado a Doble Banco



Nota. Trabajo de minado en banco doble en Sociedad Minera Cerro Verde. Tomado de SCpr0305 Perfilado y Estabilización de Taludes V13 (p.26), por Sociedad Minera Cerro Verde, 2021.

## 2.4. Estabilización del talud a banco doble

Posterior al minado de la pala eléctrica, el área de ingeniería solicita la necesidad y requerimiento de estabilización de talud a doble banco y el área de estabilización de taludes evalúa el talud doble banco, para realizar la estabilización del segundo banco. Si no se identifican condiciones desfavorables en el primer banco (banco superior), se eliminan rocas sueltas o estructuras de poca dimensión y si se identifican estructuras desfavorables con potencial de caída hacia el banco superior (primer banco), se construyen rampas al cielo con material de relleno para que excavadoras logren mayor alcance. Para eliminar las estructuras desfavorables se realiza la verificación e inspección del área minada a diseño del área de geotecnia, cuando se encuentre zonas desfavorables para estabilización, al término de la estabilización se genera un anexo de conformidad del talud indicando las condiciones y recomendaciones del talud final de diseño.

## 3. Objetivos

Dar a conocer los principales trabajos que se vienen realizando en Cerro Verde para asegurar condiciones

seguras y favorables en nuestras operaciones y trabajos en interacción con los taludes de mina. Además de establecer el proceso estratégico de los trabajos de perfilado y estabilización de taludes resaltando el rol que desempeña el área de geotecnia mina.

## 4. Secuencia de estabilización de talud

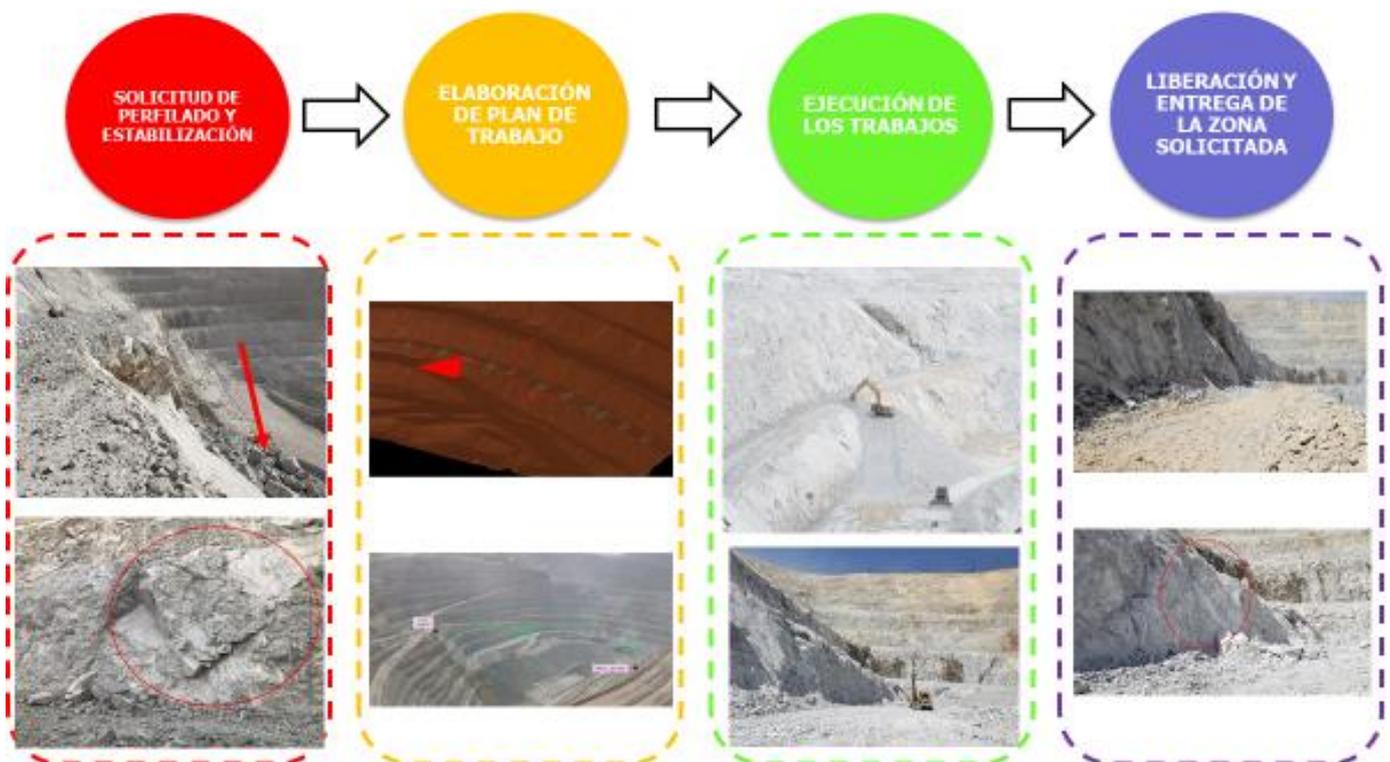
Tal como se observa en la figura 6, podemos encontrar la secuencia de estabilización de talud.

### 4.1. Solicitud de perfilado y estabilización

Para iniciar el proceso de estabilización de un talud, primero se coordina con el área Planeamiento Mina y Geotecnia, para verificar los frentes que se hayan culminado con el minado tanto como son los bancos simples y bancos dobles, generados por los equipos de carguío (Palas, Cargador Frontal). Planeamiento mina nos indica de acuerdo con su plan de prioridades la fase y tajo a realizar la estabilización de talud. En Cerro Verde contamos con tres tajos como son: Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro, siendo el propósito de la estabilización de taludes el brindar seguridad para el tránsito y realizar trabajos próximos a los taludes. Geotecnia verificará las condiciones estructurales del

Figura 6

Secuencia de Estabilización de Talud



Nota. Tren de actividades perfilado y estabilización de taludes. Elaboración propia.

talud, brindando el soporte y los controles necesarios para poder ingresar a estabilizar un talud y el monitoreo de toda la mina.

#### 4.1.1. Geotecnia Mina

El área de geotecnia brinda soporte en el control de estabilidad de taludes.

**4.1.1.1 Gestión de seguridad y salud ocupacional.** El soporte geotécnico y el control ante inestabilidades están asociadas a procedimientos de seguridad basados en actividades donde se siguen y cumplen normas, procedimientos, estándares los cuales garantizan un correcto soporte oportuno y anticipado ante condiciones geotécnicas asociados al plan de estabilizar los taludes operativos a doble banco. En ese sentido, las inspecciones geotécnicas a los taludes y la operación de la instrumentación geotécnica que ayuda a conocer el movimiento y/o desplazamiento en los taludes están contemplados en los procedimientos escritos de trabajo seguro (PETS). La operación de la Mina Cerro Verde y la Gestión de Riesgos Geotécnicos utiliza los lineamientos regulatorios relevantes emitidos por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) de acuerdo con el "Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (DS 024-2016 EM y su modificatoria del DS-023-2017-EM)". Esta regulación es manejada por el departamento de seguridad de la mina a cielo abierto de Cerro Verde para adecuarse a las condiciones de la empresa sin cambiar el mensaje y el significado.

**4.1.1.2 Gestión de riesgos geotécnicos.** El equipo de geotecnia tiene la responsabilidad de dar el soporte geomecánico; en los tajos que comprenden la mina, las áreas de depósito de desmonte (DDMs) y el pad ROM. Para dar el soporte geomecánico diario en turnos 24x7, se cuenta con recursos propios asignados por la gerencia de mina en temas de instrumentación geotécnica de última tecnología para medir y controlar desplazamientos en los taludes, a fin de que los ingenieros puedan realizar inspecciones visuales, revisar y optimizar diseños en base a la validación de las tendencias de monitoreo en los taludes a banco simple, banco doble y talud global.

De acuerdo con el soporte geotécnico 24x7 con el supervisor de gestión de Riesgos de campo, se realiza una inspección visual de todos los taludes a diseño posterior al minado con palas, el objetivo es identificar bloques sueltos-agrietados, como sectores del talud influenciados a los planos de discontinuidades los cuales estarán asociados a rupturas tipo planar y/o cuña que son accionados por los procesos del propio minado o el impacto generado por las vibraciones asociadas a las voladuras en fases de minado.

Los sectores de los taludes donde se identifican condiciones geotécnicas a nivel de banco, banco doble y exista potencial de desprendimiento de rocas son marcados y controlados con muro físico y así mismo, son identificados con conos verdes para programar su plan de estabilización con el grupo de Estabilización de Taludes (ET) que consiste en reducir o eliminar las condiciones presente en la cara del talud a doble banco bajo una evaluación en conjunto con las áreas involucradas que son operaciones mina, Planeamiento corto plazo, estabilización de taludes y geotécnica.

- **Geotécnico Mina (G7):** Identifica y evalúa el riesgo geotécnico, como las inestabilidades a escala de banco, banco doble, la pendiente inter-rampa y global, los asentamientos, las grietas y las deformaciones en las PAD-ROMs y los botaderos de desmonte.

Mantiene comunicación con el Supervisor de Operaciones de Minas sobre riesgos y zonas potenciales para brindar las recomendaciones y activar los planes de acción.

- **Geotécnico Dispatch (G7 Sala Control Dispatch):** Responsable del Monitoreo global y permanente de los taludes (Mina, Pad ROMs y Botaderos), revisa e identifica de zonas anómalas de deformación, a través de la interpretación de gráficos con tendencia a colapsar a través de la información proporcionada por la instrumentación Geotécnica como son; radares de estabilidad de taludes, monitoreo con prismas, GPS estáticos y demás equipos complementarios para la validación de las deformaciones en los taludes.

Coordina permanentemente con el G7 campo. El riesgo de caída de rocas no es parte del apoyo geotécnico a escala de banco.

**4.1.1.3 Escaneo de estructuras – Escáner Maptrek XR3.** El área de geotecnia Mina cuenta en la actualidad con 2 escáner de alta resolución (XR3) con los cuales se brindan diferentes soportes dentro y fuera del área. Este equipo de largo alcance de hasta 2.5km, de -40 a 60º grados en la vertical y 360º en horizontal nos permite un rápido levantamiento en nube de puntos de la cara de y banqueta de los taludes mina.

Para el soporte a los trabajos de estabilización de taludes a doble banco, se realizan escaneos de alta resolución (x8), este equipo y proceso entrega la condición física de los taludes en una densidad de nube de puntos de hasta 20cms entre punto y punto, lo cual es precisa para obtener los planos de discontinuidades relacionado a las estructuras desfavorables. Posteriormente, mediante la aplicación específica se

extraen y se interpretan la información para determinar los posibles mecanismos de ruptura (cuña/planar) y demás geometrías como son las proyecciones de los planos hacia niveles superiores e inferiores que guardan relación con la persistencia o extensión de los planos, cuya intersección con la cara del talud y la banquetta, nos va a permitir dimensionar el tamaño de los bloques para el plan de estabilización.

**4.1.1.4 Monitoreo con radares de estabilidad de taludes.** Los equipos de Geotecnia y estabilización de taludes realizan en conjunto la evaluación del talud en campo identificando las condiciones estructurales y características del macizo rocoso de la zona donde se realizarán los trabajos.

Dentro de la mina Cerro Verde se tiene monitoreo 24/7, con 06 radares IBIS y 03 radares GroundProbe para las necesidades de monitoreo estratégico y focalizado/táctico para los planes de estabilización a bando doble. Estos se encuentran ubicados estratégicamente en los taludes, orientados con buenas líneas de vista hacia los taludes frontales. De tal manera que, con el número de radares distribuidos en los tajos Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro se tenga cubierto y monitoreando todos los taludes expuestos a talud global y soporte focalizado para los trabajos de estabilización a bando doble.

**Figura 7**

*Radar IBIS ArcSar*



*Nota.* Equipo de monitoreo geotécnico para el soporte a las operaciones mineras. Elaboración propia.

**Figura 8**

*Radar IBIS - FM*



*Nota.* Equipo de monitoreo geotécnico para el soporte a las operaciones mineras. Elaboración propia.

En los planes de los trabajos de estabilización a bando doble se complementa con radar focalizado de la marca GroundProbe en base a su tecnología de precisión para medir desplazamientos finos desde una ubicación más cercana hacia el talud ya que este modelo de radar es muy versátil y robusto en sus características de desarrollo. Este sistema de monitoreo emite alarmas establecidas en caso las tendencias de deformación sobrepasan los umbrales establecidos para el sector donde se están desarrollando los trabajos de estabilización a bando doble y complementariamente desde distintos ángulos del tajo tenemos cubriendo los taludes con los radares IBIS de forma estratégica en base a sus características de monitoreo de largo alcance y ciclos de escaneos cortos dentro de los 3 minutos como mínimo.

- La resolución o tamaño de píxel que representa un área dentro de la cara del talud varía según el modelo de radar y van desde los 3x3m como medida fija en los radares estratégicos IBIS a una distancia promedio de 2kms.
- De tamaño de píxel hasta de 10x10m en los radares GroundProbe cuya distancia optima de monitoreo esta entre 500 y 600 metros como máximo para este tipo de trabajos.

Las recomendaciones en los trabajos de estabilización a bando doble ante cualquier cambio en la tendencia de deformación (incremento en la velocidad) es comunicar vía radial a los operadores del equipo de estabilización de taludes la condición de estabilidad actual del talud inmediato y alrededores al área operativa y permanecer atentos ante cualquier evidencia de apertura de estructuras en cara del talud. En caso se

evidencie condiciones críticas de acuerdo con el registro del radar se comunica el retiro inmediato de las personas y equipos, hasta que el sector entre en estado de reposo y se establezca para una nueva reevaluación y poder retomar los trabajos bajo la inspección del supervisor Geotécnico de Campo.

#### FIGURA 9

*Radar GroundProbe XT*



*Nota.* Equipo de monitoreo geotécnico para el soporte a las operaciones mineras. Elaboración propia.

**4.1.1.5 Control con cámaras térmicas.** Uno de los controles complementarios no menos importante son las cámaras Térmicas de alta resolución, con las cuales se tiene visibilidad en tiempo real de los taludes y de los trabajos cercanos y críticos como es la estabilización de taludes a doble banco. Durante las actividades a bando doble, las cámaras térmicas alimentan la información de la condición y cambios en la cara de los taludes a bando doble desde distintos ángulos donde están ubicados estratégicamente estas cámaras que detectan los primeros indicios de deformación como son los chispeos y registros de caídas de rocas antes del proceso de colapso. Esta tecnología se complementa muy bien con los radares de estabilidad de taludes para validar deformaciones en los taludes y principalmente focalizar el comportamiento de las estructuras desfavorables que son inducidas muchas veces por vibraciones operativas por los equipos de mina. EL detalle que se obtiene de los taludes con estas cámaras térmicas va desde aperturas de planos de discontinuidades, grietas en la cara del talud, chispeos hacia los bordes de alguna estructura o bloque colgado, etc.; lo cual nos permite contribuir en la seguridad de los trabajos de nuestros compañeros.

#### Figura 10

*Cámara Axis*



*Nota.* Cámara térmica en SMCV. Elaboración propia.

**4.1.1.6 Vuelos drone.** En el área de Geotecnia se cuenta con 02 drones Phantom 4, los cuales nos ayudan a complementar los controles en sectores donde no se cuenta con acceso para la inspección in situ con el supervisor geotécnico de campo o se tiene condiciones desfavorables para su ingreso. Posterior a la inspección de campo y las restricciones que existan, se evalúa la necesidad de realizar vuelos drone, los cuales nos permiten obtener una visión global mucho más amplia del sector.

#### Figura 11

*Operaciones Mineras SMCV*



*Nota.* Fotografía panorámica tomada por un drone en SMCV. Elaboración propia.

Esta información proporcionada con drone desde otro punto de observación puede ser filmado y revisado en tiempo real para la condición in situ de los taludes, grietas que puedan llevar a desprendimientos de bloques y situaciones inseguras, gracias a la

obtención de estas imágenes y videos nos permite tener un control adicional para poder asegurar los trabajos de estabilización. En caso sea necesario realizar un levantamiento de nube de puntos con dron similar al escaneo de taludes con escáner Maptek, la información recolectada será con mayor resolución para dimensionar con mayor exactitud el tamaño de los bloques a estabilizar, también es posible generar un modelo 3D para extracción de grietas en banquetas, apertura de planos que delimitan los bloques de rocas, etc.

**4.1.1.7 Análisis de caída de rocas.** Dentro de los controles adicionales antes de los trabajos de estabilización, se realiza un análisis de caída de rocas 2D y 3D en sectores donde previa inspección de campo se podría tener un impacto desde niveles superiores hacia los trabajos planificados en niveles inferiores.

De acuerdo con los resultados de las iteraciones donde se simulan 2000 casos de caída libre desde cierta altura de talud, se procede a identificar los niveles que requieren limpieza de banquetas y poder asegurar un ancho efectivo o área libre entre el muro y toe del talud que pueda asegurar la retención de rocas y donde la posibilidad de sobrepasar el muro sea nulo o mínimo y así poder dar continuidad a los trabajos de estabilización.

## **4.2. Elaboración del plan de trabajo**

Luego de la verificación e inspección y teniendo identificado los controles para ejecutar la estabilización de un talud, el equipo de trabajo (geotecnia, supervisor de taludes, operadores de equipos y vigías acreditados), analizan donde se posicionará el equipo, cuál será la forma de ataque, revisión de la banqueta superior para identificar zonas de agrietamiento y estructuras geotécnicas que puedan condicionar la ejecución del trabajo, las estructuras geotécnicas presente como fallas tipo cuña y planar están sectorizadas en toda la mina y otros tipos de inestabilidades como son los eventos de caída rápida por presencia de fallas, presencia de agua y grietas de tensión en la cresta del talud.

**Estructura Tipo Planar:** Se produce cuando la orientación de fracturas o fallas geológicas son casi paralelas a la dirección del talud y estas tiene su buzamiento hacia el tajo.

**Estructura Tipo Cuña:** Se produce cuando se intersecan dos planos de discontinuidad cuya línea de intersección buza hacia el tajo y aflora en la cara del talud.

También se evalúa los recursos (equipos) necesarios para cada frente de trabajo y la manera de cómo se realizará la estabilización del talud, considerando siempre la ejecución de la tarea minimizando los riesgos y peligros, se realiza la distribución y traslado de los equipos, excavadoras long reach, excavadoras de brazo estándar y tractor de orugas, a las zonas de trabajo de acuerdo con lo planificado con planeamiento mina según prioridades de estabilización.

Cerro Verde cuenta en la actualidad con tres excavadoras “long reach” para los trabajos de estabilización de taludes. Estas excavadoras tienen como principal característica la longitud del conjunto boom – stick, que le permiten alcanzar distancias verticales de hasta ~15 m y horizontales alrededor de ~20m; esta característica permite posicionar la excavadora y sobre todo la cabina del operador, alejado de la línea de los bloques de roca que se encuentren en el talud, minimizando la exposición del equipo y el operador.

Se delimita toda el área de trabajo colocando un muro de 1m de altura a 25m del pie del talud en todo el tramo que se realizara el perfilado o estabilización siendo el único fin de no tener interacción con los demás equipos y áreas que no son de taludes y colocándose señalización como demarcación del área de trabajo.

## **4.3. Ejecución de los trabajos de taludes**

Para la ejecución de los trabajos de estabilización de los taludes, se elabora con todo el equipo el formato IPERC para identificar los riesgos e implementar controles. También se solicita información de los radares que monitorean el talud donde se realizarán los trabajos, el tiempo de barrido de los radares y el tamaño de los pixeles de monitoreo con los que cuentan los radares. Con el visto bueno de Geotecnia se inician los trabajos, antes de empezar el perfilado o estabilización se conformará un muro de seguridad delante de la excavadora. Para evitar que caigan rocas por efecto de la limpieza e impacten al equipo se debe realizar el trabajo manteniendo una distancia aproximada de 2 metros desde la cara del talud hasta el muro de seguridad de la excavadora, para crear una trinchera que pueda contener el material producto de la limpieza y como precaución ante el deslizamiento de la zona de trabajo. Cuando no exista material en el frente de trabajo o cercano a este para colocar el muro de seguridad o conformar una rampa, se tendrá que generar material el cual se obtendrá de la mitad de la altura del banco con un ataque a 45° con respecto a la perpendicular de la cara del talud, siempre y cuando se pueda generar material del talud. Cuando las

condiciones del macizo rocoso no permitan generar material se solicitará al supervisor de taludes material proveniente de los frentes de carguío.

Cuando se necesite perfilar o estabilizar un talud a banco simple o doble y el alcance de la pluma y el brazo de la excavadora estándar o long reach sea insuficiente para la realización del trabajo, se conformará rampas de 35° de pendiente y 8 metros de ancho con muros de seguridad en ambos lados de la rampa que delimitarán la vía como referencia para los operadores de excavadora tomando en cuenta las siguientes consideraciones para el perfilado en banco simple y banco doble.

- a. **Para perfilado a banco simple**, se identifican estructuras que podrían representar un riesgo para los trabajos futuros cercanos al talud, como áreas de perforación, áreas de bombeo de Pit Dewatering, zonas de trabajo de Hidrogeología, vías de acarreo y minado de palas a banco doble, entre otros. Se da énfasis en el cuidado de la banqueta, la cual servirá de retención ante posibles caídas de rocas de taludes superiores, si se identifica alguna estructura desfavorable se coordina con el área de Geotecnia para eliminar la condición y tenga conocimiento de una posible pérdida del ancho de la banqueta.
- b. **Para perfilado a banco doble**, posterior al minado de las palas se evalúa el talud banco doble, para realizar la estabilización del segundo banco, si no se identifican condiciones desfavorables en el primer banco (banco superior) se eliminan rocas sueltas o estructuras de poca dimensión, si se identifican estructuras desfavorables con potencial de caída hacia el banco superior (primer banco) se construyen rampas auxiliares con material de relleno para las excavadoras y lograr mayor alcance, para eliminar las estructuras desfavorables.

Durante la ejecución de los trabajos se realizará el ataque al talud de derecha a izquierda para evitar la exposición de la cabina del operador. Eventualmente cuando las condiciones del trabajo lo requiera se podrá trabajar de izquierda a derecha según la evaluación realizadas por el equipo de Estabilidad de Taludes quienes consideraran, la estabilidad del talud, las condiciones estructurales y la proyección de material colgado, si es necesario se realizara un monitoreo táctico o crítico de la zona (monitoreo focalizado con un radar IBIS existente, traslado de un radar GroundProbe cerca de la zona de deslizamiento, etc.) para minimizar el tiempo de respuesta. Estas

consideraciones se pueden aplicar en trabajos a banco simple y doble.

El posicionamiento de la excavadora se colocará aproximadamente a 45° o 90° con respecto a la cara del talud, según la evaluación realizada por el supervisor de taludes y el operador de acuerdo con las características y condiciones estructurales del macizo rocoso. Los operadores de la excavadora long reach solo realizarán trabajos de perfilado de cresta y talud hasta el primer tercio de la altura empezando por la parte alta. Lo restante será ejecutado por la excavadora estándar, cuando se necesite realizar trabajos de corte será necesario evaluar el uso de martillos neumáticos o la excavadora estándar para la realización de los trabajos.

La presencia de agua en el macizo rocoso baja la resistencia al corte de la roca, esta condición puede generar deslizamientos o colapsos repentinos en la cara del talud donde existe filtraciones, flujo de agua u otras soluciones.

Cuando se realice trabajos de perfilado y estabilización en zonas donde se requiera minimizar el tiempo de respuesta ante una aceleración de la deformación del talud debido a la presencia de estructuras desfavorables o condiciones que puedan generar un riesgo para el operador, el equipo de estabilidad de taludes nuevamente coordinara con el ingeniero geotécnico de instrumentación la posibilidad de realizar un monitoreo táctico o crítico de la zona (monitoreo focalizado con un radar existente IBIS, traslado de un radar GroundProbe cerca de la zona de deslizamiento, etc.), para minimizar el tiempo de respuesta y el riesgo residual del trabajo. De ser necesario el traslado de un radar, el equipo de estabilización de taludes coordinará con el área de operaciones la habilitación de la plataforma para ubicar el radar en una zona segura de acuerdo con las indicaciones del ingeniero geotécnico de instrumentación.

Cuando se conforme el talud en material de relleno se podrá trabajar con las orugas de la excavadora ubicadas en forma perpendicular o paralela al talud según evaluación de la cantidad de material sobredimensionado existente en la cara del talud realizada por el supervisor de estabilidad de taludes y el operador.

Durante la ejecución de la tarea se hace seguimiento ante posibles condiciones desfavorables nuevas que se puedan presentar, en caso se presente alguna condición desfavorable nueva se vuelve a hacer una evaluación de los trabajos a realizar para tomar controles nuevos que hagan segura la ejecución de la tarea.

#### 4.4. Liberación y entrega de la zona solicitada

Al término de realizar la estabilización de un talud se deberá evaluar las condiciones finales del talud con el área de Geotecnia, una vez corregidas todas las observaciones que podrían generar alguna situación de riesgo para las personas y/o equipos que deben trabajar cercanos al talud, se dará conformidad siempre y cuando cumplan con el levantamiento de las observaciones realizadas y se genera un formato (Anexo 1) de **Aprobación de Taludes Operativos** por parte del área de Estabilización de taludes como indicativo del fin del trabajo e indicando todas las condiciones y recomendaciones presentes para los trabajos cercanos al talud.

Para tal efecto se utiliza un formato en SMCV en donde se aprueba la condición actual de los taludes, para poder realizar trabajos en interacción con los mismos.

#### 5. Expectativas del área de taludes minas

- Minimizar los riesgos y peligros de las demás actividades que interactúan con nuestros Taludes. (colapsos, caídas de roca, etc.)
- Asegurar el ancho de banquetas "Catch Bench" evaluando y ejecutando los trabajos de estabilización en coordinación de todo el equipo involucrado.
- Asegurar la seguridad de personal y equipos trabajando bajo los taludes, contra caída de rocas.

Figura 12

Aprobación de Taludes Operacionales

**Cerro Verde** ANEXO 1 - APROBACIÓN DE TALUDES OPERACIONALES

**1. IDENTIFICACIÓN**

Fecha:	Coord. desde:	N:	E:
Banco:	Coord. hasta:	N:	E:

Descripción de sector:

Tipo de Roca:  Banco Simple  Banco Doble

RCD:  Oros:

USC:

Solicitado Por:

Nombre:

Cargo:

**2. EVALUACIÓN CONDICIÓN TALUD** (marque con una X según corresponda)

Condición	SI	NO	N.A.
1. ¿El talud se encuentra monitoreado por sismos?			
2. ¿Bancos superiores con capacidad de cohesión?			
3. ¿Cuerpo del banco inmediato, sin materiales sueltos?			
4. ¿Es visible el picaporte o medidas caídas?			
5. ¿Están presentes en los bancos superiores?			
6. ¿Hay y/o señales en estructuras, talas, caídas entre otras condiciones especiales que puedan generar inestabilidad?			
7. ¿Talud cara del banco y/o piso sin presencia de agua?			
8. ¿La cara del banco carece de material suelto?			
9. ¿Tasa de talud (emp)?			
10. ¿Tasa de talud (topo)?			
11. ¿Anchos de muro superior (topo)?			
12. ¿En los bancos superiores, se tienen antecedentes de caída de material?			
13. ¿Existen condiciones que reinicien el perfilado del talud solicitado?			

**3. APROBACIÓN**

Observaciones:	Controles Adicionales:
¿Talud Aprobado?	SI NO

Ingeniero Senior de Geotecnia o Ingeniero Geotécnico Mina

Nombre: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Ingeniero Senior de Planeamiento Corto Plazo o Ingeniero de Planeamiento Corto Plazo

Nombre: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Ingeniero Senior de Taludes o Supervisor de Taludes

Nombre: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

**3. APROBACIÓN**

Observaciones: TALUD PRESENTA MAUZO BOGOSO DE BUENA A REGULAR CALIDAD CON PRESENCIA DE ESTRUCTURAS TIPO PLANAR Y TIPO CUNA QUE TIENEN LAS JUNTAS SELLADAS Y AL MOMENTO NO CONDICIONAN LA ESTABILIDAD DEL TALUD.

Controles Adicionales: - SOLICITAR A GT LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD DEL TALUD DEL MOMENTO SI SE REALIZARÁN TRABAJOS CERCANOS AL TALUD. - EVALUAR LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD DEL TALUD POSTERIOR A VIAJES CERCANOS.

¿Talud Aprobado? SI  NO

Ingeniero Senior de Geotecnia o Ingeniero Geotécnico Mina

Nombre: *José Guillermo Cardona Zúñiga* Firma: *[Firma]*

Ingeniero Senior de Planeamiento Corto Plazo o Ingeniero de Planeamiento Corto Plazo

Nombre: *ALCIDES LAZO DOMÍNGUEZ* Firma: *[Firma]*

Ingeniero Senior de Taludes o Supervisor de Taludes

Nombre: *OSCAR GALARDO SALAS* Firma: *[Firma]*

Nota. Anexo de aprobación de taludes. Adaptado de GGMpr0002 Procedimiento de Aprobación de Taludes Operacionales V03 (p.19), por Sociedad Minera Cerro Verde, 2017.

**6. Tareas principales del área**

- Perfilado de taludes posterior a los trabajos de minado con Pala en banco simple y doble.
- Habilitación de Áreas de Perforación en interacción con Taludes.
- Estabilización de Deslizamientos.
- Habilitación de Áreas para bombeo de Pit Dewatering.
- Habilitación de zonas de trabajo para Hidrogeología.

- Trabajos Especiales (Habilitación de rutas, limpieza y habilitación de banquetas, etc.).

**7. Riesgos fatales y controles críticos**

Tal como se observa en las figuras 13 y 14, encontramos las actividades críticas y el control de riesgos críticos para la estabilización de taludes en Sociedad Minera Cerro Verde.

**Figura 13**

*Actividad Crítica en SMCV*



**13. Perfilado de talud y estabilización de paredes.**

- Colisión o vuelco del vehículo
- Impacto de vehículo a personas
- Derrumbe / deslizamientos

CONTROLES CRÍTICOS
Competencia del operador (Acreditación vigente).
Listo para trabajar / Control de fatiga.
Inspección preoperacional del equipo.
Comunicación efectiva (entre operadores, excavadora - tractor, operador con vigía / personal en piso).
Control de acceso / Autorización de ingreso.
Muro para delimitar el área de trabajo / Muro delante de la excavadora.
Monitoreo e inspección geotécnica antes y durante los trabajos (fadar y control geotécnico).
Reporte geotécnico / Inspección de G17 en campo.
Verificación de la zona superior e inferior antes de realizar el perfilado (uso de vuelo de dron).
Mallas protectoras de cabina, micas anti-impacto.
Posición de la excavadora para el perfilado (exposición de la cabina, ángulo de ataque, ancho del piso, pendiente).
Luminaria en turno noche.
Presencia de vigía en el perfilado.
Control remoto en tractor de orugas.



*Nota.* Actividad y controles críticos para el perfilado de talud y estabilización de paredes. Elaboración propia.

**Figura 14**

*Control de Riesgos Críticos*



	AUDITORÍA DE TAREAS CRÍTICAS	FORMATOS DIGITALES EFORMS ESTABILIZACION DE TALUDES
FRECUENCIA	La auditoría a la Tarea Crítica Perfilado de talud y estabilización de paredes debe realizarse mensualmente.	Los formatos digitales "eforms" se realizan de manera diaria a través de los equipos digitales (computadoras de escritorio, laptops, celulares) con conexión a la red de la empresa.
ENCARGADO	El equipo encargado de acuerdo a la programación conformado por 03 supervisores de SMCV.	Todos los supervisores de SMCV.

*Nota.* Cuadro resumen control de riesgos críticos. Elaboración propia.

## 8. Excavadoras “long reach”

Las excavadoras cuentan con sistema de protección de mallas ubicadas en la parte frontal y superior de cabina, parabrisas de 0.90 mm. de grosor, micas protectoras contra impactos todos estos sistemas de protección son necesarios para garantizar la seguridad hacia el personal que está expuesto ante la posible caída de rocas que puedan impactar en la cabina.

Tal como se observa en la figura 15 podemos identificar a las excavadoras long reach realizando el trabajo de perfilado de taludes en la mina Cerro Verde.

En la figura 16 observamos el sistema de protección de mallas de las excavadoras long reach.

**Figura 15**

*Excavadora Long Reach*



*Nota.* Mejoramiento de protección en las cabinas de excavadoras long reach en SMCV. Elaboración propia.

**Figura 16**

*Excavadoras Long Reach en SMCV*



*Nota.* Perfilado de taludes y estabilización de paredes en SMCV. Elaboración propia.

## 9. Tractores con mando a control remoto

En Cerro Verde se cuenta con dos tractores de orugas con mando a control remoto. Estos equipos integran la tecnología para operar el tractor, sin ninguna limitación, desde una ubicación segura para el operador.

Los tractores a control remoto han tenido diversas aplicaciones como limpieza de banquetas en zonas con taludes bajo observación, trabajos cerca de taludes de material spill de gran altura y cerca de estructuras de roca con potencial de caída, maximizar el ancho de banquetas geotécnicas en interacción de fases para la retención de material, entre otros.

La tecnología integrada en estos equipos permite prescindir por completo de la presencia del operador dentro de la cabina del tractor, minimizando la exposición de las personas frente a las condiciones desfavorables.

**Figura 17**

*Tractor Operado a Control Remoto*



*Nota.* Limpieza de banqueta con tractor a control remoto en SMCV. Elaboración propia.

## 10. Otros métodos de estabilización de talud

### 10.1. Desatado y perfilado de taludes con cadena

Como método alternativo de estabilización de taludes se utiliza del desate y perfilado con cadena, el cual solo es utilizado cuando tenemos un talud con bloques colgados expuestos hacia la caída libre, se utiliza una cadena de aproximadamente de 26 metros de largo con 2 pulgadas de grosor, así como grilletes que son conectados al tractor en el lado extremo de la hoja topadora.

Para la ejecución de los trabajos de cadeneo es necesario contar con el apoyo de un vigía en la parte baja para alertar sobre posibles atascos con la cadena y no realizar ningún tipo de esfuerzo hacia el tractor.

**Figura 18**

*Sistema de Cadeneo para el Perfilado de Taludes*



*Nota.* Sistema de cadeneo utilizado en trabajos especiales de perfilado y estabilización en SMCV. Elaboración propia.

**Figura 19**

*Trabajos Especiales de Perfilado y Estabilización*



*Nota.* Recuperación de rampa principal en interacción con cuña no aflorante en SMCV. Elaboración propia.

### 10.2. Relleno de roca en taludes

Uno de los métodos simples de aumentar la estabilidad del talud es rellenar con material homogéneo toda la zona de superficie disturbada para evitar su colapso esto consigue que las fuerzas de empuje (peso) estén en equilibrio creando un pie de soporte natural, conformado por un ángulo de reposo de 37°.

**Figura 20**

*Relleno de taludes*



*Nota.* Trabajo de estabilización de taludes SMCV. Elaboración propia.

## Conclusiones

El equipo de trabajo de estabilización de taludes en Cerro Verde ha contribuido a generar condiciones seguras y favorables para la continuidad del ciclo de minado y actividades aledañas a los taludes en mina, minimizando la probabilidad de colapso o caída de material que pueda ocasionar daños a la persona y equipos.

Además, el uso del tractor de orugas operado a control remoto respalda a la seguridad de los trabajadores minimizando su exposición frente a condiciones desfavorables.

En Cerro Verde estamos convencidos que, integrando la tecnología con el liderazgo y actuando bajos nuestros principios de seguridad podemos hacer frente a los desafíos y aplicar soluciones efectivas para hacer nuestra operación más segura.

## Referencias

- Sociedad Minera Cerro Verde. 2022. *SCpr0300 Carguío de Material* (V.20). Arequipa.
- Sociedad Minera Cerro Verde. 2021. *SCpr0305 Perfilado y Estabilización de Taludes* (V.13). Arequipa.
- Sociedad Minera Cerro Verde. 2021. *GGMpr002 Procedimiento de Aprobación de Taludes Operacionales* (V.03). Arequipa.
- Sociedad Minera Cerro Verde. 2021. *SSOst0028 Control de Taludes* (V.01). Arequipa.

## Glosario

**SMCV:** Sociedad Minera Cerro Verde SAA

**Minado a doble banco:** Taludes de diseño de 30 m. de altura

**Excavadoras long reach:** excavadoras con brazos de largo alcance, ~ 15 metros en posición de ataque vertical y ~23 metros en horizontal.

**Formato Anexo 01:** Formato de aprobación para los trabajos realizados por el área de Estabilización de Taludes de SMCV.

**BFA:** ángulo de la cara de banco

**IRA:** ángulo interrampa

**CB:** ancho banquetta

**PETS:** Procedimiento escrito de trabajo seguro en SMCV.

**MEM:** Ministerio de Energía y Minas.

**DDM:** Depósito de desmonte.

**ET:** Estabilización de taludes.

**Radares GroundProbe:** Radares móviles utilizados en SMCV para el control y monitoreo geotécnico.

**Radares IBIS:** Radares estáticos utilizados en SMCV para el control y monitoreo geotécnico.

**IPERC:** Identificación de riesgos y evaluación de peligros.

Ingeniero de Minas  
Frank Tapia Echagaray  
Superintendente Operaciones Mina Carguío  
Sociedad Minera Cerro Verde  
[ftapiaec@fmi.com](mailto:ftapiaec@fmi.com)  
(5154) 283-2061

Ingeniero de Minas  
Aldo José Miguel Gutierrez Carrillo  
Supervisor Senior Operaciones Mina  
Sociedad Minera Cerro verde  
[agutierr1@fmi.com](mailto:agutierr1@fmi.com)  
(5154) 283-2527