

Minería a Rajo Abierto de Cerro Vanguardia: Manejo de Base de Datos para Análisis de Estabilidad

I. García Mendive, G. Rellán, U. Sterin & A. O. Sfriso
SRK Consulting Argentina SA, Buenos Aires, Argentina

G. Erz
Cerro Vanguardia SA, Santa Cruz, Argentina

RESUMEN: Cerro Vanguardia es una mina de Au-Ag ubicada en las planicies centrales de Santa Cruz, Argentina. El depósito consiste en varias vetas de 3,5-10 m de ancho y 19 km de largo, relacionadas con la mineralización epitermal de la formación Chon-Aike por episodios de vulcanismo del Jurásico. La explotación se lleva a cabo por medio de varios rajos abiertos en el rango de 100-240 m de profundidad. Se espera que se desarrollen más de cincuenta rajos durante la vida del proyecto.

La naturaleza del proceso de mineralización causó diferentes grados de alteración argílica en los alrededores de las vetas, especialmente en forma de bandas de roca de mala calidad que potencialmente podrían comprometer la estabilidad de las paredes del rajo. Se llevaron a cabo dos programas de caracterización geotécnica del macizo rocoso en 2012 y de nuevo en 2015 y se usaron para realizar análisis numéricos para evaluaciones de estabilidad de talud.

Este trabajo compara y contrasta las dos metodologías de análisis implementadas para los dos estudios, con el propósito de mostrar un procedimiento de manejo de datos destinado a reducir la incertidumbre mediante varios procedimientos geotécnicos. La distribución geoestadística y la densidad de datos condicionaron la definición de los límites entre las unidades geotécnicas y la exactitud de los límites entre ellos. Las amplias variaciones en la calidad y cantidad de datos implicó que se tuvieron que estimar parámetros claves a través de métodos completamente diferentes. En definitiva, la caracterización mejorada de unidades geotécnicas y el estudio de secciones de análisis detallado llevaron a recomendaciones acotadas sobre procedimientos de excavación y en definitiva produjeron un diseño de rajo más consistente y confiable.

1. INTRODUCCIÓN

Cerro Vanguardia (CV) es una mina de Au-Ag ubicada en la estepa central de la provincia de Santa Cruz, Argentina. El depósito consiste en 102 vetas epitermales de baja sulfidación de 19 km de largo, 3,5 – 10 m de ancho y manto 60° - 90° NE (Heather et al. 2004). La roca del campo consiste en ignimbritas riolíticas de la Era Jurásica, fracturada en forma moderada a intensa y muy alterada por el hidrotermalismo. La secuencia estratigráfica tiene un manto 7/146 como promedio y comprende ignimbritas estratificadas, granuladas, breccias y fragmentadas masivas. Esta estratigrafía subhorizontal es favorable para la minería a rajo abierto, que permite la excavación de paredes muy inclinadas que exhiben buen desempeño consistente.

La minería se está llevando a cabo principalmente a través de rajos abiertos y más recientemente, desarrollos subterráneos de tipo

longwall. Los rajos son de hasta 1000 m de largo, 150 m de ancho y 200 m de profundidad, con ángulos de talud globales de 53° - 58°, 64° - 70° interrampa, bancos de 20 m y bermas de 6 – 10 m. Las técnicas de tronadura de pre-corte son ampliamente empleadas para asegurar que el diseño cumpla bajo restricciones de dilución ajustada siendo la razón de lastre-mineral superior a 25 (Adamson et al. 2011).

2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL

Se hicieron análisis de estabilidad global y banco-berma con el Método de Elementos Finitos 2D (FEM) utilizando el programa Phase² (V8). Las pautas generales para análisis de estabilidad para rajos abiertos se siguieron a partir de Read & Stacey (2009).

Después de la definición de los dominios geotécnicos y el modelo, se definieron secciones críticas para cada rajo en base a sus alturas y ángulo de inclinación general; solo se simuló

los casos más desfavorables. Las geometrías típicas del rajo presentaron profundidades de 100 – 200 m, 15 – 20 m de altura de banco, anchos de berma entre 4 y 6 m e inclinaciones de banco de 75° a 87°.

El procedimiento consistió en la simulación del proceso de excavación de acuerdo al programa de explotación. Los esfuerzos iniciales se calcularon con el procedimiento K0, asumiendo que $K_x = K_y = 1,0$. Ya que no había mediciones in situ disponibles, se hicieron análisis de sensibilidad para evaluar las implicancias de este supuesto; como se espera, los esfuerzos iniciales in situ tienen un efecto insignificante sobre los resultados de los análisis numéricos 2D de estabilidad de talud.

Se consideraron características del macizo rocoso y discontinuidades menores en el análisis de acuerdo al procedimiento estándar de reducir los parámetros de resistencia Hoek-Brown para cada dominio geotécnico. De acuerdo a la metodología de tronadura aplicada y las pautas indicadas en Hoek (2012), se consideró un factor de daño (D) igual a 0,7 en una zona adyacente a la cara del rajo.

Se determinó el factor de seguridad global (FoS) mediante la metodología de factor de reducción de resistencia a cizalle (SRF). La estabilidad se analizó a escala global, con un enfoque determinístico y criterio de aceptación para taludes generales: $FS > 1.3$. Se propusieron modificaciones a la geometría, donde era apropiado hacerlo, para cumplir con los requerimientos de seguridad adoptados y la excavación del proyecto a la fecha.

3. BASE DE DATOS GEOMECÁNICA DE TODO EL SITIO

3.1 Geología

El depósito epitermal de Au-Ag de Cerro Vanguardia se sitúa dentro del Macizo Deseado (De Giusto et al. 1980). Abarca un área de 60.000 km² en la cual el vulcanismo Jurásico es el episodio predominante, asociado con la apertura originada en el Océano Atlántico (Uliana et al. 1985).

Heather et al. (2004) han llevado a cabo el último estudio geológico del Proyecto Cerro Vanguardia, de acuerdo con lo que consiste el

depósito, 102 vetas epitermales de baja sulfidificación mineralizadas con Au y Ag, almacenadas en ignimbritas riolíticas de la Era Jurásica. Las vetas tienen un largo de 193 km, miden 3,5 m de ancho en promedio (10 m máximo) y mantienen a 60° - 90° NE. La mineralización ocurre generalmente como vetas y tumbes de mineral, junto con cuarzo, calcedonia, ópalo, barita, calcita y adularia.

La alteración hidrotermal comprende mayormente de silicificación, sericitización, adularización, argilización y propilización. Los minerales de alteración son adularia, sericitita, smectita y caolinita (Zubia et al, 1999).

La estratigrafía del sitio consiste en una serie repetitiva de ignimbritas félsicas divididas en estratificadas, granulares, brecciadas (subdivididas en breccia base y superior estratificada) y fracturada masiva (compuesta de siete subunidades).

3.2 Estructuras mayores

Dentro del anticlinal de Cerro Vanguardia, la secuencia estratigráfica mantiene 7° (en promedio) en dirección 146 SE (Heather et al. 2004). Las fallas orientadas 324°/83° determinan el fracturamiento general del macizo rocoso, moderado a intenso, con claros patrones de fractura. La dirección principal a escala de mina es 328° / 87°. Las fracturas con densidades superiores a 5 por metro tienen una marcada dirección principal, a saber 323°/85°, lo que las correlaciona directamente con las vetas y vetillas (las orientaciones dominantes son respectivamente 323°/ 86° y 323° / 89°).

3.3 Roca Intacta

La caracterización previa de unidades de roca intacta (IRUs) presentada en Hormazábal et al. (2004) se basó en mapeos geotécnicos y ensayos de laboratorio en la perforación de testigos realizada en cuatro rajos. A fin de simplificar los análisis de estabilidad para una mina con múltiples rajos, Hormazábal et al. (2004) sugirió clasificar el macizo rocoso en categorías simples que agruparan propiedades mecánicas similares. Estas unidades geomecánicas básicas (BGUs) fueron clasificadas de acuerdo con su grado de alteración en argílica blanda, blanda y dura, esta última siendo subdividida en tres subcategorías (bloques pequeños, bloques

grandes, masivos), en relación con el grado de fracturamiento del macizo rocoso (ver Tabla 1). Además, recientes informes geotécnicos han incluido una subdivisión de la unidad blanda sobre la base de fracturamiento.

Tabla 1. Resumen de las unidades geotécnicas de CV.

Geotechnical unit	Alteration	Fracture frequency
Soft Argillic	Argillic (intense)	—
Soft	Argillic (light)	—
Hard – Small blocks	Siliceous	Medium
Hard – Big blocks	Siliceous	Low
Hard – Massive	Siliceous	Very Low

Más recientemente, este conjunto de datos se aumentó por una serie de resultados de ensayos disponibles en los ensayos de 2012 y 2015: 68 de compresión uniaxial, 16 de tensión, 121 triaxiales, 23 de módulo de Young y 239 ensayos de peso unitario. Se tomaron muestras de varias vetas, en el piso, pared y en el yacimiento mismo. Los materiales incluyen ignimbrita granulosa, brecciada y fragmentada, así como alteraciones argílicas y silíceas.

Aquellos ensayos nuevos contenían una descripción de la litología, sin embargo, no del tipo o grado de alteración. Por ende, en los análisis de 2012 y 2015 descritos aquí, la roca intacta y las unidades geotécnicas como se definen (Hormazábal et al. 2004) no se pudieron retener y se tuvieron que redefinir de acuerdo con los datos disponibles.

4. BASE DE DATOS DE 2012 Y PROCEDIMIENTO

4.1 Matriz de roca

Las líneas de contorno fueron la única fuente para la caracterización del macizo rocoso y definición de los dominios geotécnicos y solo incluyó litología, no alteración. Por ende, se redefinieron las IRU para cada rajo, individualmente, sobre la base de litología/estratigrafía y luego se subdividieron de acuerdo con la resistencia de la matriz en “Blanda” y “Dura” (ver Tabla 2). Los parámetros de resistencia se obtuvieron ajustando la envolvente de falla Hoek-Brown para los resultados de ensayo; dado el tamaño

pequeño de la base de datos disponible para cada unidad, se ajustó el parámetro m_i de acuerdo a los valores de referencia para cada litología.

Tabla 2. Unidades de Roca Intacta para ODCb7 de 2012.

Lithology [—]	Strength [—]	σ_{ci} [MPa]	m_i [—]	E_i [GPa]
IBR*	Soft	46.4	15.4	18850
IBR*	Hard	65.3	26.1	32800
IGR**	—	115.0	26.0	43400

* IBR: brecciated ignimbrite

** IGR: grainy ignimbrite

4.2 Discontinuidades

Se definieron dominios estructurales sobre la base de datos de discontinuidad capturados por mapeos de línea y validados a través de interpretación geológica de las fotografías de la pared del rajo.

4.2 Macizo rocoso

El macizo rocoso fue clasificado con la Clasificación de Macizo Rocosos (RMR) de Bieniawski (Bieniawski 1989), que se calculó para cada conjunto estructural: el RMR89 más bajo se consideró como controlador de la inestabilidad del macizo rocoso y el resto se ignoró. Además, el ajuste de clasificación para la orientación de discontinuidad se aplicó para cada rajo, caso a caso.

La resistencia de roca intacta para el cálculo de RMR se tomó como la informada en las líneas de contorno, lo que indicó litología pero no alteración. Donde estuvo disponible, se complementó con datos de ensayos de laboratorio, aunque no vale de nada que se hayan observado diferencias importantes entre las dos. La clasificación de aspereza se basó en el coeficiente de aspereza de diaclasa (Barton 1973).

El criterio de resistencia Hoek-Brown se empleó para el macizo rocoso. El GSI se calculó como “seco” RMR89 – 5 (Hoek 1994).

5. BASE DE DATOS DE 2015 Y PROCEDIMIENTO

La cantidad, calidad y distribución espacial de

los datos disponibles en 2012 resultaron insuficientes para abordar por completo las incertidumbres en las propiedades materiales de roca, lo que implica que grandes rangos de valores se tuvieron que considerar para los análisis de sensibilidad de cada parámetro, resultando en un escenario de riesgo pobremente definido. Este hecho motivó la ejecución de estudios de exploración adicionales destinados a enriquecer la caracterización geométrica. Se hizo un conjunto bastante grande de sondajes no orientados y mapeos adicionales.

Producto de este esfuerzo en terreno, se pudo tener acceso a una base de datos más grande y consistente en 2015.

5.1 Matriz de roca

Hormazábal et al. (2004) definieron las IRU en base al fracturamiento. A la luz de los ensayos posteriores (2003 y 2011), los autores no han observado diferencias en las características de la roca intacta que se pudieron atribuir al tamaño de bloque, excepto la unidad Masiva Dura. En otras palabras, el fracturamiento no se pudo atribuir directamente al comportamiento de la roca intacta que se pudo inferir. Por otra parte, la definición de los dominios geotécnicos se basó en registros de testigos complementados con mapeos, todos los cuales contenían datos UCS pero escasamente alguna litología o alteración. Por ende, las IRUs del 2015 que se muestran en la Tabla 3 se clasificaron solamente en base a resistencia: cada unidad se enriqueció con nuevos ensayos de laboratorio y por ende el intervalo de confianza de 95% para la media disminuyó. Se reconoce que esta clasificación merece más atención, siendo la observación de las paredes del rajo mientras se hace minería el método más directo para mejorar la consistencia del enfoque.

Tabla 3. Unidades de Roca Intacta 2015.

IRU [—]	γ [kN/m ³]	σ_{ci} [MPa]	m_i [—]	E_i [GPa]
Soft Argillic	22.1	11.4	12.0	5.0
Soft	23.0	21.6	14.8	15.8
Hard	24.2	41.1	15.6	21.9
Hard Massive	25.0	73.2	23.3	22.5

5.2 Macizo rocoso

La caracterización del macizo rocoso se basó principalmente en el registro de testigos geotécnicos no orientados, que constituyeron la fuente de información geomecánica más abundante. Las líneas de contorno y mapeos también estuvieron disponibles y se usaron para validar el GSI y el UCS obtenidos de los registros de testigos.

El sistema descrito en (Dempers et al. 2010) se usó para registrar testigos. Esta metodología permite el cálculo directo de RMR90 (Laubscher 1990), Q (Barton 1974) y GSI (Hoek 1995). Estos parámetros se determinaron para corridas de testigos de 3 m. El cálculo directo de GSI no es óptimo cuando se trata de bases de datos grandes, ya que requiere usar gráficos. Por ende, el GSI se estimó como “seco” RMR89 – 5 (Hoek 1994).

La estimación de UCS, RQD, espaciamiento y clasificaciones de agua subterránea para RMR89 fue directa. En cambio, para calcular J_c , se tuvo que establecer una equivalencia con las clasificaciones definidas en (Dempers et al. 2010). En particular, persistencia y erosión faltaban y se tuvieron que adoptar de las líneas de contorno.

En (Dempers et al. 2010), las clasificaciones de diaclasas están categorizadas por estos ángulos de incidencia: 0-30°, 30 - 60° y 60 - 90°. Por ende, se calculó un RMR89 para cada grupo y se adoptó el mínimo. Como es usual, la síntesis de grandes cantidades de datos experimentales en un pequeño grupo de índices simplifica la imagen a costa de perder detalles y sofisticación. La observación de las paredes del rajo también permitirá refinar el procedimiento de clasificación propuesto para los rajos de Cerro Vanguardia.

La Figura 1 (izq.) presenta el RMR89 obtenido según estos supuestos, junto con RMR89 para $J_c = 10$ y para $J_c = 20$. Como se muestra, las consideraciones anteriores son equivalentes a considerar $J_c < 10$. Figura 1 (der.) muestra la variación de RMR90 y RMR89 (para diaclasas). En todos los casos, RMR₉₀ y RMR₈₉ siguen la misma tendencia general, excepto para valores atípicos.

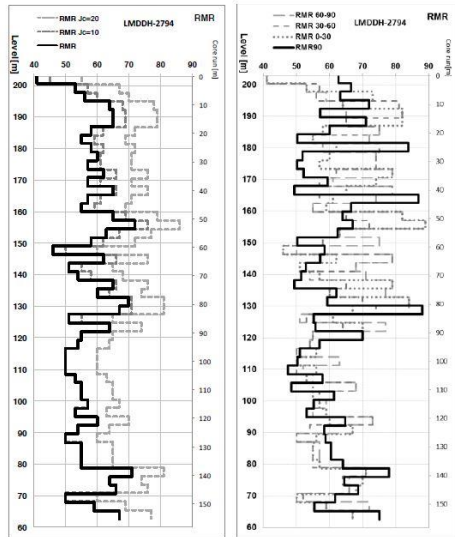


Figura 1. Izq: RMR89 calculado para $J_c = 10$ y para $J_c = 20$. Der.: RMR90 y RMR89 para tres grupos de diaclasas.

6. APLICACIÓN AL RAJO OSVALDO DIEZ CORTE 7

El rajo Osvaldo Diez es uno de los principales productores de la operación Cerro Vanguardia. La minería aquí comenzó en el 2002 y siguió ininterrumpida desde entonces. Se hicieron varios cortes. Los autores se involucraron en el diseño y análisis del Corte 7, que se emplea aquí como un ejemplo de la aplicación de las dos bases de datos de materiales en un solo problema.

Los análisis hechos en 2012 y 2015 para el rajo Osvaldo Diez Corte 7 (ODcb7, Fig. 2) se comparan y contrastan. La sección analizada en 2012 casi coincide con la sección del Dominio 2 definida en 2015.

El Dominio 2 comprende roca muy alterada en los 20-30 metros superiores con roca competente por debajo. Según los datos de registro de testigo, el fracturamiento es medio a bajo ($RQD > 50$) sin mayores bandas de salbanda. El fracturamiento no se correlaciona con el grado de alteración: se han registrado RQDs de 80 - 100 para testigos con $UCS < 5\text{MPa}$ (resistencia no compresiva desconfiada estimada vía martillo Schmidt).

En los análisis de 2012 y 2015, se simuló excavación por etapas del corte con modelos de elementos finitos 2D en Phase², donde a cada etapa se le permitió converger a equilibrio total antes de simular la nueva etapa. Se hizo un cálculo

de reducción de resistencia de corte en la etapa final para evaluar el Factor de Seguridad.

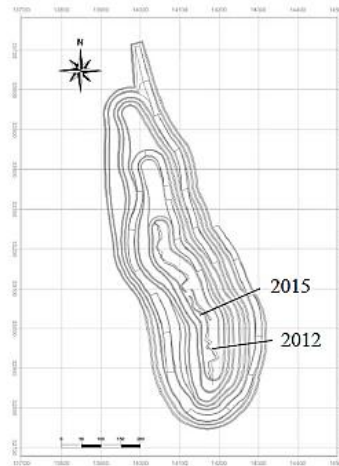


Figura 2. Vista en planta del rajo ODcb7 y secciones analizadas.

6.1 Análisis 2012

La información disponible en 2012 consistió en cuatro líneas de contorno de 20 m de largo distribuidas entre los niveles 185 y 205.

Se definió un dominio único y por ende, la sección crítica fue aquella con la geometría más inclinada (Fig. 3). Los parámetros geomecánicos y malla considerada en las simulaciones FEM se informan en la Tabla 4 y Figuras 4-5 respectivamente.

El módulo de Young para el macizo rocoso se estimó vía (Hoek & Diederichs, 2006). :

$$E_m [\text{MPa}] = E_i [\text{MPa}] \cdot \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60 - 15D - GSI)/11)}} \right)$$

Se consideró una razón de Poisson igual a 0,20 para todas las unidades geotécnicas. El Factor de Seguridad calculado para la excavación final fue 1.63. Las deformaciones por cizalle correspondientes al Factor de Seguridad se muestran en la Figura 6.

Tabla 4. Parámetros geomecánicos 2012.

Lithology	γ [kN/m ³]	GSI	σ_{ci} [MPa]	m_i [—]	E_i [GPa]
IBR Soft	26.0	44	46.4	15.4	18.9
IBR Hard	26.0	44	65.3	26.1	32.8
IGR	26.0	44	115.0	26.0	43.4



Figura 3. Geometría y materiales considerados, 2012.

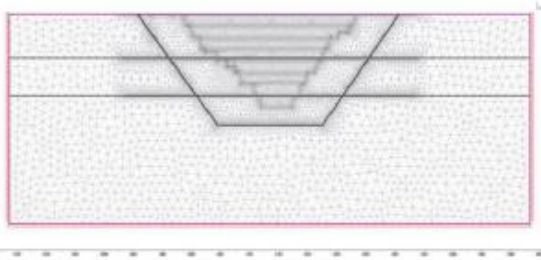


Figura 4. Malla, 2012.

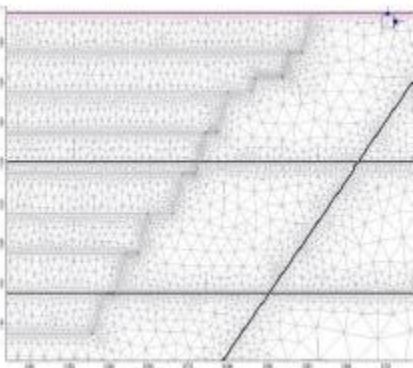


Figura 5. Detalles de la malla, 2012.

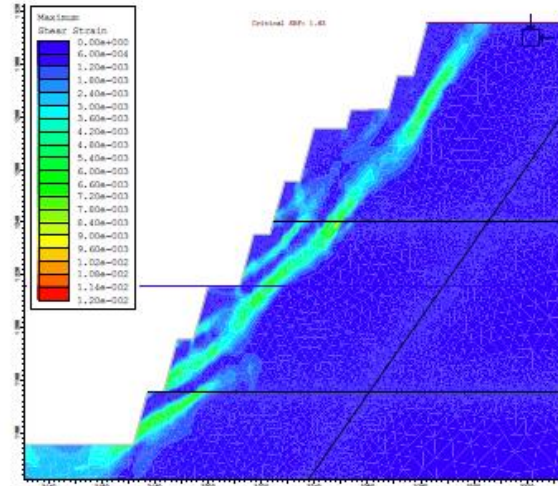


Figura 6. Deformaciones de cizalle en Etapa SRF de 2012.

6.2 Simulación FEM 2015

Además de la base de datos disponible en 2012, la información adicional proporcionada por ocho registros fue producida para los análisis de 2015, que habilitaron la definición de cinco dominios geotécnicos. De manera fortuita, la sección analizada en el Dominio 2 (Fig. 7) casi coincidió con la sección estudiada en 2012. Los parámetros geomecánicos y malla considerados en las simulaciones FEM se informan en la Tabla 5 y la Figura 8-9 respectivamente. La razón de Poisson del macizo rocoso y el módulo de Young se estiman considerando Hoek et al (2000) y Hoek & Diederichs (2006), respectivamente.

El factor de seguridad calculado para la excavación final fue 1.24. Se propuso una geometría alternativa ensanchando los bancos hasta 10 m en los niveles +95 y +115 m.s.n.m; el factor de seguridad correspondiente fue 1.36. Las deformaciones de cizalle correspondientes a la etapa de cálculo de seguridad se muestran en la Figura 10.

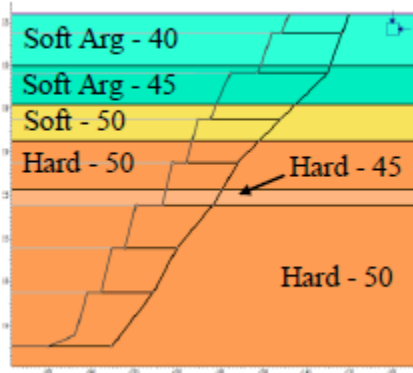


Figura 7. Geometría y materiales considerddos, 2015.

Tabla 5. Parámetros geomecánicos 2015.

Lithology [—]	γ [kN/m ³]	GSI [—]	σ_{ci} [MPa]	m_i [—]	E_i [GPa]
Soft Argillic	22.1	40	11.4	12.0	5.0
Soft Argillic	22.1	45	11.4	12.0	5.0
Soft	23.0	50	21.6	14.8	15.8
Hard	24.2	45	41.1	15.6	21.9
Hard	24.2	50	41.1	15.6	21.9

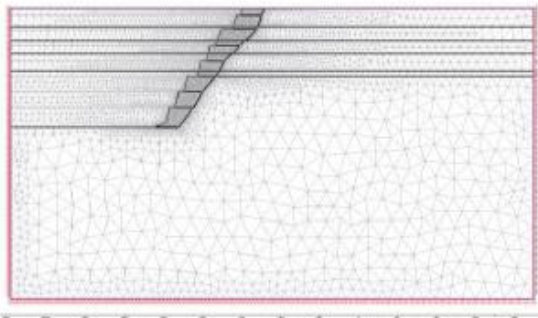


Figura 8. Malla, 2015.

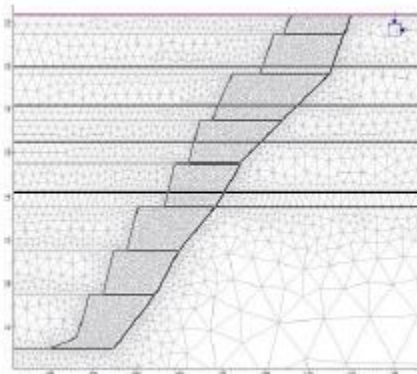


Figura 9. Detalles de la malla, 2015.

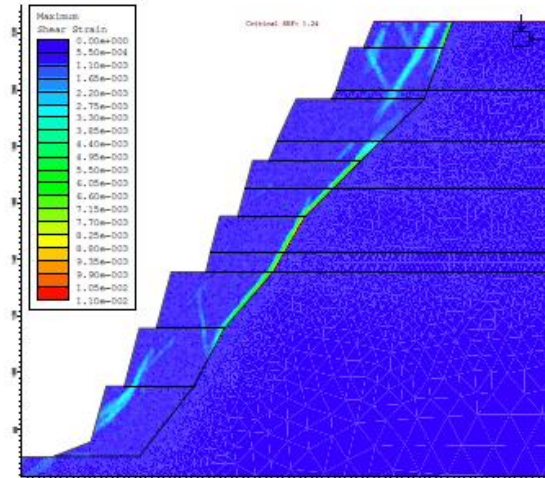


Figura 10. Deformaciones por cizalle en etapa Factor de Seguridad, 2012.

7. CONCLUSIONES

Se presentaron dos metodologías de análisis para las evaluaciones de estabilidad del rajo Osvaldo Diez corte 7 en la mina Cerro Vanguardia, Provincia de Santa Cruz, Argentina. Se describió el modelo geológico, estructural y del macizo rocoso a escala del depósito, que forman la base para los análisis hechos en 2012 y 2015.

Las bases de datos respectivas fueron comparadas y contrastadas junto con los procesos y criterios que se implementaron para obtener los parámetros mecánicos relevantes.

El análisis de estabilidad realizado en 2012 mostró un Factor de Seguridad muy robusto de 1.63 pero una amplia incertidumbre proveniente de muchas fuentes, principalmente la cantidad, calidad y distribución espacial de los datos disponibles. Este hecho motivó la ejecución de estudios de exploración adicionales para enriquecer la caracterización geomecánica; por ende una base de datos más grande estuvo accesible en 2015.

El análisis de estabilidad realizado en 2015 para la misma pared del rajo mostró un Factor de Seguridad de 1.26. Si bien 1.26 es mucho menos que 1.63, las incertidumbres relacionadas con el análisis 2015 fueron mucho menos que aquellas del estudio del 2012; la dispersión fue inferior y en definitiva la confianza en el diseño fue mayor. Además, el detalle más fino de la caracterización geomecánica del macizo rocoso permitió un leve

cambio en el diseño de la pared que elevó el Factor de Seguridad a 1.36, un valor considerado razonable para esta pared y el nivel restante de incertidumbre.

La mejora de la base de datos geotécnica—a escala del depósito y del rajo— y el estudio de numerosas y detalladas secciones de análisis llevó a recomendaciones orientadas sobre procedimientos de excavación y a veces, leves variaciones en la geometría de talud que a la larga produjeron un diseño de rajo más consistente y confiable.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la participación de Cerro Vanguardia SA, así como el permiso para publicar y presentar este trabajo. Marcos Calvente G. y Ariel Abad produjeron muchos de los modelos de los estudios del 2012 y 2015, respectivamente. Sus contribuciones se reconocen en este documento.

En este documento también se da crédito a Esteban Hormazábal, Peter Terbrugge y Oskar Steffen, consultores de SRK que actuaron como revisores para los estudios de 2012 y 2015.

9. REFERENCIAS

Adamson, W.R., Muñoz, V., & Sarapura, G. 2011. Application of Technology for Final Wall Damage Control at Cerro Vanguardia, Argentina. *Explo Conference Melbourne*.

Barton, N. 1973. Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Engineering Geology* (Elsevier), 7, 287-322.

Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley

Dempers, G. D, Seymour, C. R. W. & Harris, M. B. 2010. Optimising geotechnical logging to accurately represent the geotechnical environment, *Second Australasian ground control in mining conference*, Sydney.

De Giusto, J.M., Di Persia, C.A. & Pezzi, E. 1980. Nesocratón del Deseado. Turner, J.C.M. (ed.) *Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias* 2: 1389-1430, Córdoba.

Heather, Perez & Caram (2004). Final report, geological mapping program, Cerro Vanguardia district.

Hoek, E. 1994. Strength of rock and masses. *ISRM News Journal* 2 (2), 4–16.

Hoek, E., Kaiser P. K. & Bawden, W. F. 1995. *Support of underground excavations in hard rock*. AA Balkema, Rotterdam.

Hoek, E. & Karzulovic, A. 2000. Rock mass properties for surface mines. *Slope stability in surface mining*, 59-67. Colorado. SME.

Hoek, E., & Diederichs, M.S. 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 43, 203-215.

Hoek, E. 2012. Blast Damage Factor D. *RockNews*.

Hormazábal et al. 2004. Optimización geotécnica rajos Cerro Vanguardia.

Laubscher, D. H. 1990. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy* 90 (10), 279-283.

Read, J. & Stacey, P. 2009. *Guidelines for Open Pit Design*. CSIRO Publishing.

Uliana, M., Biddle, K., Phelps, D. & Gust, D. 1985. Significado del vulcanismo y extensión mesojurásicos en el extremo meridional de Sudamérica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 40: 231-253.

Schalamuk, I.B., de Barrio, R.E., Zubia, M., Genini, A. & Echeveste, H. 1999. Provincia auroargentina del Deseado, Santa Cruz. Zappettini, E. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35 (2): 1177-1188, Buenos Aires.

Zubia, M. A., Genini, A. D. & Schalamuk, I. B. 1999. Yacimiento Cerro Vanguardia, Santa Cruz. Zappettini, E. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35 (2): 1189-1202, Buenos Aires.