

"CARACTERIZACION GEOTECNICA Y LA MODELACION DE SUS VARIABLES, EN MINA BAJO DE LA ALUMBRERA, CATAMARCA, ARGENTINA"

Carlos Giraud¹, José A. Bassan² y Julio Bruna Novillo³

[1cgiraud@xstratacopper.com.ar](mailto:cgiraud@xstratacopper.com.ar)

[2jbassan@xstratacopper.com.ar](mailto:jbassan@xstratacopper.com.ar)

[3jbruna@xstratacopper.com.ar](mailto:jbruna@xstratacopper.com.ar)

EMPRESA: MINERA ALUMBRERA LTD.

DIRECCION POSTAL:

HUALFIN, 4139 – OFICINA Nº 2 - BELEN, CATAMARCA - ARGENTINA.

RESUMEN

Se presenta un resumen de la experiencia obtenida en la construcción de modelos geotécnicos tridimensionales y del modelo de bloques, mostrando y analizando la metodología utilizada.

Se resalta la importancia de la confianza de los datos interpretados, comenzando la gestión de los mismos en el terreno, a través del mapeo de celdas y el mapeo de bancos de estructuras mayores, menores, litología y alteración como así también la información de los sondeos de diamantina. Todos ellos disponibles en una base de datos, el "Acquire Data Model", un sistema eficaz, eficiente y auditable desde la generación de datos hasta su interpretación con Minesight haciendo de interfase.

Como trabajo previo al modelamiento de estas variables, utilizando un software específico, se realiza un análisis estadístico de las variables y sus interacciones y correlaciones respectivas.

La construcción del modelo geotécnico depende de las unidades litológicas involucradas, alteración, distribución y tipo de mineralización y estructuras principales. La base para la caracterización geotécnica del macizo rocoso, es la caracterización geológico-estructural, donde se definen dominios que presentan propiedades similares, que inciden directa e indirectamente en la estabilidad del mismo.

El macizo rocoso se presenta como bloques afectados por diaclasas, fracturas, fallas, etc., y a su vez los bloques generados presentan procesos geológicos como alteración, mineralización e meteorización, que les confieren características propias.

El modelamiento de las variables geotécnicas, permitirá determinar y predecir el comportamiento de la masa rocosa frente al diseño general del pit (fases, doble banco, mallas de perforación, etc.) y a su futura excavación minera

Las variables geotécnicas (**GSI y RQD**), son variables que se pueden modelar desde la geoestadística lineal, conjuntamente con las variables empíricas geológicas, y trabajar en la obtención de modelos útiles para el planeamiento minero, los cuales se traducen en aspectos de relevancia económica que influyen e influirán en la vida de la mina hasta su posterior cierre.

1.- INTRODUCCION

El yacimiento de Bajo la Alumbraera, está ubicado en el noroeste de Argentina, en el Departamento Belén, de la provincia de Catamarca. Se encuentra a 400 Km al noroeste de Catamarca capital y a 320 Km al suroeste de San Miguel de Tucumán.

Aflora en un bajo topográfico, formado por la erosión diferencial de los distintos halos de alteración que componen el depósito. Esta erosión permitió exponer la parte superior del sistema tipo pórfido favorable para su minado. El bajo tiene una superficie de 3.200 m por 2.200 m y una elevación central promedio de 2.550 m.s.n.m. y está enmarcado por rocas de composición andesítica del Complejo Volcánico Farallón Negro. La intrusión de una serie de pórfidos dacíticos a este complejo, generaron circulación de fluidos hidrotermales a gran escala que alteraron y mineralizaron tanto a las fases intrusivas como a las rocas volcánicas de caja.

2.- CARACTERIZACION GEOLOGICO-ESTRUCTURAL

La **caracterización geológica** considera las unidades litológicas involucradas, grado de fracturamiento, tipo e intensidad de alteración, distribución y tipo de mineralización y tipos de venillas; es decir todas las características que permiten definir unidades litológicas con un comportamiento similar.

La caracterización estructural es la interpretación y análisis de las estructuras que tienen efecto en la explotación minera, considerándose 3 tipos: las mayores, las intermedias y las menores.

El yacimiento de Bajo la Alumbraera, tiene definido tres dominios estructurales principales (Ver Fig. 1):

- Falla de Ron hacia el este
- Falla de Steve hacia el sur
- Falla de Yeso hacia el centro del *pit*

El conjunto de diaclasas, con su dirección de buzamiento y buzamiento predominante para cada uno de los dominios estructurales mayores, son útiles al momento de la construcción de nuestro modelo geotécnico.

- Dominio Este (Zona Ron): 259/79
- Dominio Central (Zona de Yeso): 073/87
- Dominio Oeste (Zona Steve): 238/88

El mapeo de estructuras mayores e intermedias, litología, alteración, se realiza utilizando los métodos de mapeo "Anaconda". Las estructuras se mapean con un plano a escala 1:2000, luego son digitalizadas y trabajadas en el software *MineSight*, realizando la interpretación de las mismas.

Con el logueo geológico-geotécnico de los sondajes DDH se obtienen los parámetros de GSI y RQD, de esta manera se complementa la información del mapeo de campo en el pit.

La **caracterización estructural** consistió en elaborar un plano de Dominios Estructurales teniendo en cuenta las estructuras mayores e intermedias y características geológicas relevantes

Para cada dominio se estudió la distribución de estructuras intermedias y menores, mediante un análisis estereográfico, incluyendo la distribución de cada "conjunto" o "set" y su variabilidad.

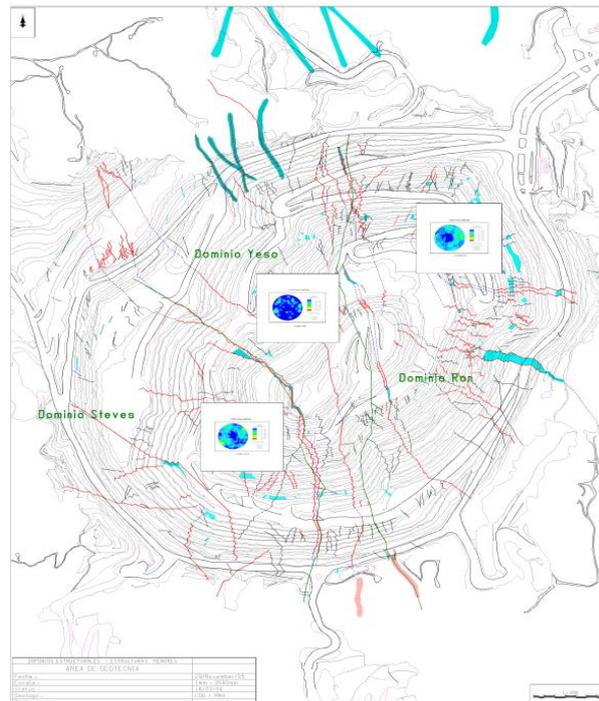


Fig. 1: Dominios Estructurales Principales

La base para la **caracterización geotécnica** del macizo rocoso, es la caracterización geológico-estructural, donde se definen unidades que presentan propiedades similares, que inciden directa e indirectamente en la estabilidad del mismo.

El macizo rocoso se presenta como bloques afectados por diaclasas, fracturas, fallas, etc., y a su vez los bloques generados presentan procesos geológicos como alteración, mineralización e meteorización, que les confieren características propias.

3.- CARACTERIZACION GEOTECNICA

Los datos obtenidos para la realización de Modelos Geotécnicos (GSI – RQD), se logran a través del mapeo de celdas (Estructuras Menores), mapeo de Estructuras Mayores, Litología, Alteración y también toda la información entregada por los sondeos de diamantina.

Para obtener una detallada caracterización geotécnica del rajo, se realizó el **mapeo de celdas**. Estas nos resumen la condición geotécnica – estructural de un sector delimitado (17x17 m), teniendo en cuenta que deben ser aplicadas en sectores de iguales características geológicas.

El propósito es relevar los datos geotécnicos – estructurales para definir los sets estructurales en los diferentes sectores y el valor de **GSI** (Ver Fig. 2 y 3)

"CARACTERIZACION GEOTECNICA Y LA MODELACION DE SUS VARIABLES, EN MINA BAJO DE LA ALUMBRERA, CATAMARCA, ARGENTINA"

MINERA ALUMBRERA - GEOTECNIA															
PLANILLA DE CELDAS GEOTECNICAS - MINERA ALUMBRERA - INGEROC - CALL & NICHOLAS															
T	Banco	Cell #	Celda		Geología			Orientación Talud		Fecha			Mapeado por:		
T			Ancho	Alto	Roca	Alter	Minerali	Rumbo	Buzam	Día	Mes	Año			
Resistencia de Matriz			Agua		GSI			Meteorización			Daño por Tronadura				
S	Tipo Estr	Largo Línea (metros)	Nº Fra #	OR LINEA	Longitud Max (Metros)	# T	Orientación			Relleno		Rugosidad		Alteración	Comentarios
							Rumbo	Buz	DipDir	Espesor (m)	Tipo	Resiste media	Esc <		
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
Coordenadas :										N	E	C			

Fig. 2: Planilla de Celdas

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA
 De los valores de resistencia descritos en el texto de este índice se obtiene el valor de GSI. Este valor se utiliza para determinar el estado de la roca y su comportamiento en las excavaciones. El GSI se define como el logaritmo de la resistencia de la roca en estado natural, dividido por la resistencia de la roca en estado natural. El GSI se define como el logaritmo de la resistencia de la roca en estado natural, dividido por la resistencia de la roca en estado natural. El GSI se define como el logaritmo de la resistencia de la roca en estado natural, dividido por la resistencia de la roca en estado natural.

CONDICION DE LA ROCA	GSI
INTACTO O BARRIO (INTACT OR BARRIO)	70
FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)	55
FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)	40
FRACTURADO Y PERTURBADO (FRAC & DISTURBED)	25
DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)	10
POLVO-LAMINADO/OCALADO (POLY-LAMINATED/OCALADO)	0

Fig. 3: Planilla GSI Índice Geológico de Resistencia – Hoek

Todos los datos recolectados son administrados por el software *Acquire*, conectándose (*on-off line*) automáticamente a la base de datos relacional SQL para la carga de la data. Esto nos permite obtener un sistema eficaz, eficiente y auditable desde la generación de datos hasta su interpretación con *Minesight* haciendo de interfase (Ver Fig. 4).

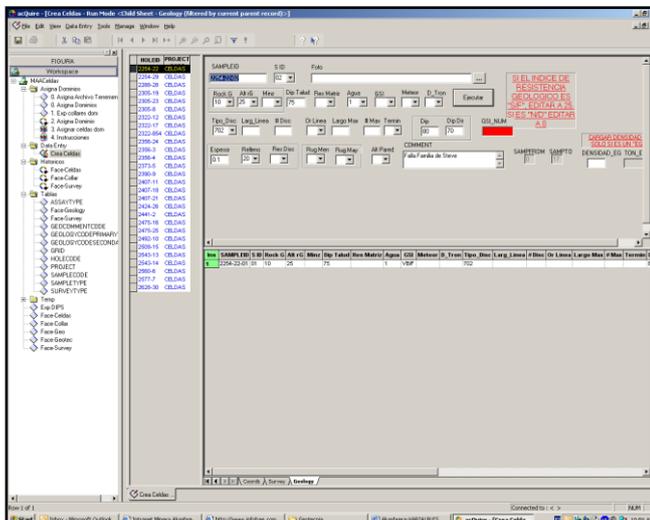


Fig. 4: Planilla de Celdas en Acquire

La flexibilidad en el manejo de los datos y su posterior análisis por medio del software *Acquire* y *Minesight* nos permite trabajar de acuerdo a los tiempos de la operación en Mina.

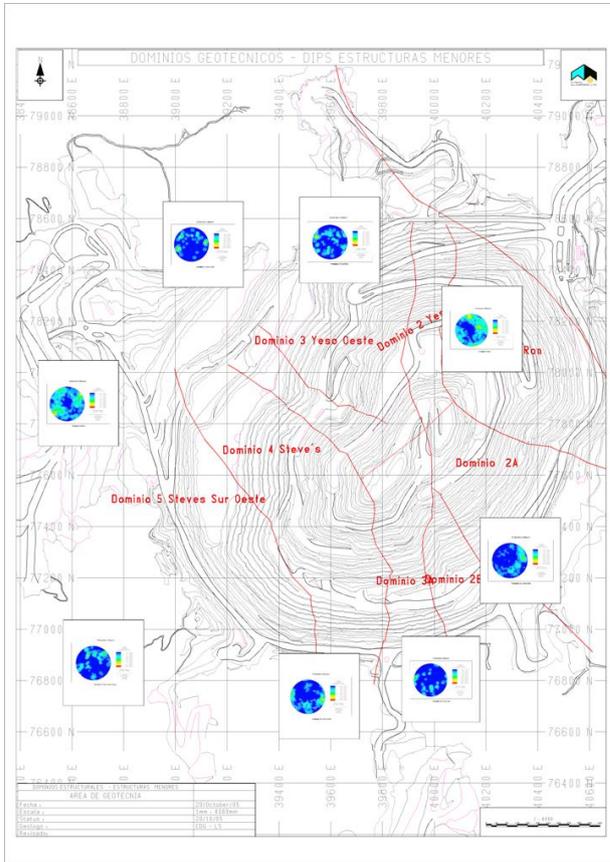


Fig. 5: Plano Dominios Geotécnicos – Dips Estructuras Menores

3.1- ANALISIS DEL PROCESO

Como trabajo previo a la realización del modelamiento de las variables GSI y RQD, se realizó el análisis geoestadístico correspondiente, usando una de las herramientas del software *Minesight*, MSDA Manager beta versión.

El análisis estadístico consiste en establecer las interacciones y correlaciones respectivas de las variables geotécnicas. Esto nos provee la información básica para la construcción de los modelos geotécnicos (Ver Fig. 6).

El principal objetivo es la obtención de las relaciones entre los diferentes parámetros (GSI, RQD, etc.) para su tratamiento y modelamiento, a fin de obtener modelos que puedan ser empleados por las distintas áreas en el planeamiento de la mina.

Se examinaron y chequearon los datos geotécnicos de las perforaciones de exploración y los datos obtenidos a partir de los mapeos de celdas en mina.

Los datos de celdas se analizaron en base al GSI (*Global Strength Index*) determinado en campo por los geólogos geotécnicos, y su relación con otros parámetros, como por ejemplo, roca, elevación, etc.

A partir de los testigos de perforaciones se pudo realizar análisis estadísticos de diversos parámetros, además del GSI, tales como RQD (%), etc.

Los testigos de perforación obtenidos en los distintos programas de perforaciones llevados a cabo en Bajo de la Alumbraera han sido fotografiados y posteriormente evaluados en cuanto a la calidad del macizo rocoso, es decir, se le

"CARACTERIZACION GEOTECNICA Y LA MODELACION DE SUS VARIABLES, EN MINA BAJO DE LA ALUMBRERA, CATAMARCA, ARGENTINA"

asignaron valores de GSI a intervalos de roca con propiedades similares; todos aquellos testigos que han sido fotografiados cuentan con este índice.

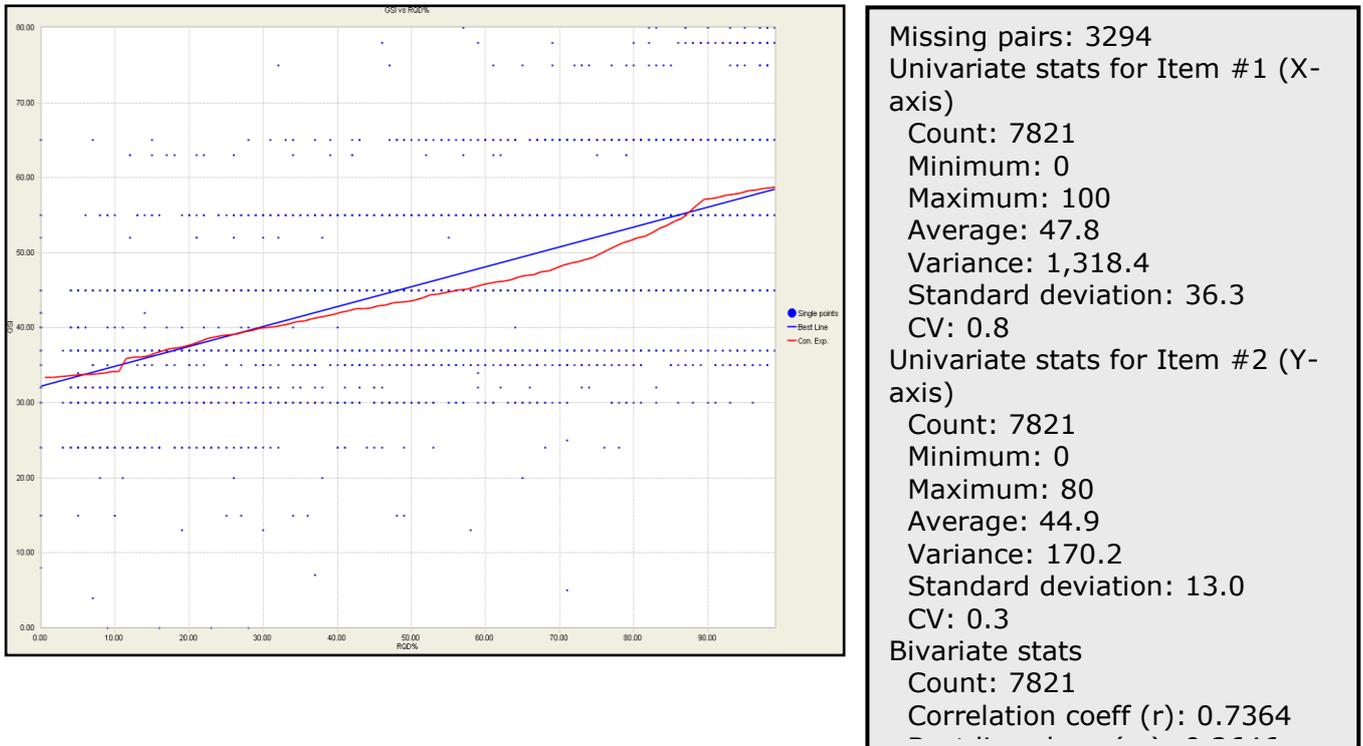


Fig. 6: Gráfico Correlación RQD vs. GSI

El coeficiente de correlación entre los valores de RQD y GSI, tiene un valor de 0.7364, lo que muestra que la relación entre ambos parámetros guarda un porcentaje alto de correspondencia.

Cabe aclarar que el GSI incorpora además del grado de fracturación, la condición de las discontinuidades, lo que hace que para un valor de GSI de 100, la estructura de macizo rocoso debería ser intacto, con escasas discontinuidades, sin óxidos ni pátinas de ningún tipo; mientras que el valor de RQD depende sólo de la intensidad de la fracturación de la roca.

3.2- GENERACION DEL MODELO DE BLOQUES PARA LAS VARIABLES GSI Y RQD

Metodología en la construcción del modelo de bloques:

- Datos cualitativos GSI y RQD provenientes del mapeo y loqueo respectivo.
- Carga de los datos del logueo y mapeo por medio del software *Acquire* a la base de datos relacional que se encuentra en el servidor *SQL*.
- Se cargan los datos desde la base correspondiente al software *Minesight*. Tamaño de los bloques 20 x 20 x 17 m.

"CARACTERIZACION GEOTECNICA Y LA MODELACION DE SUS VARIABLES, EN MINA BAJO DE LA ALUMBRERA, CATAMARCA, ARGENTINA"

- Las variables GSI, RQD, LITOLOGIA, ALTERACION son analizadas desde la geostatística lineal convencional por medio del software Minesight (módulo geostatístico *MSDA_MANAGER*, beta versión).

- Modelación de las variables GSI y RQD, condicionado a los dominios estructurales mayores, litología y alteración:

a) Primera rutina:

Se modelan inicialmente las variables GSI por "asignación del vecino más cercano" (17 m hasta un máximo de 30 m, GSI-RQD). Este mismo criterio se adopta para el RQD, ya que el coeficiente de correlación con el GSI es alto (0.73).

b) Segunda rutina:

Los valores del RQD, provenientes del logueo del DDH, nos permiten interpolar por medio del inverso a la distancia nuestro modelo fuera de los límites del pit (100 mts hasta un máximo de 250 mts. Esto nos permite también modelar el GSI, dada la buena correlación con el RQD.

c) Tercera rutina:

Comprobación de los resultados mediante el análisis cualitativo con el modelo litológico, alteración, neoeconómico y el mapeo-logueo DDH diario a medida que avanzan las paredes del pit y sondajes.

- Construcción de nuestro plan de vida de la mina en donde se incluyen las variables GSI, RQD. Las áreas de Corto Plazo, Perforación y Voladuras, *Dewatering* son nuestros principales clientes los cuales encuentran sus beneficios al momento de aplicarla en la operación de mina

- El modelo con las variables geotécnicas generado (Ver Figs. 7, 8, 9, 10), se actualiza una vez al año y se corrobora mensualmente realizando las conciliaciones cualitativas relevadas en el terreno por el departamento de geotecnia.

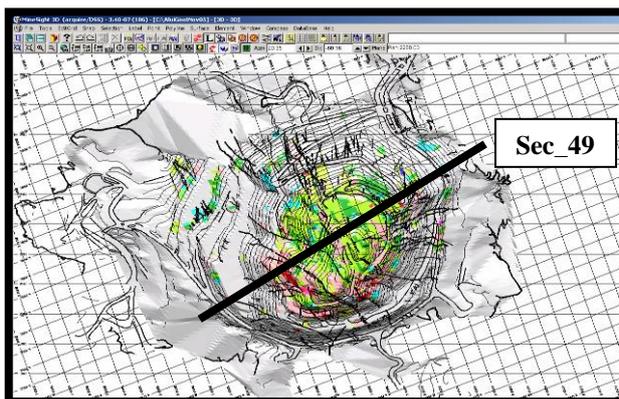


Fig. 7: GSI expuesto con Estructuras

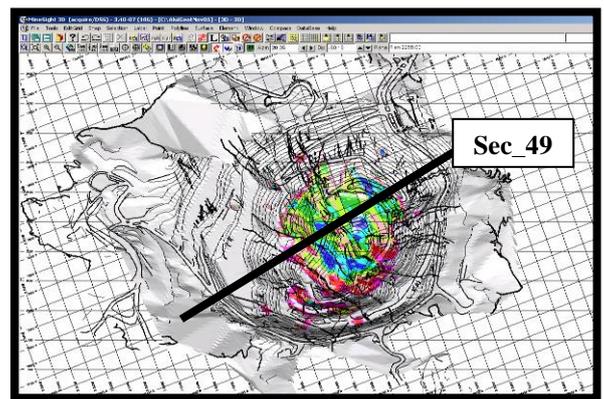


Fig. 8: RQD expuesto con estructuras

"CARACTERIZACION GEOTECNICA Y LA MODELACION DE SUS VARIABLES, EN MINA BAJO DE LA ALUMBRERA, CATAMARCA, ARGENTINA"

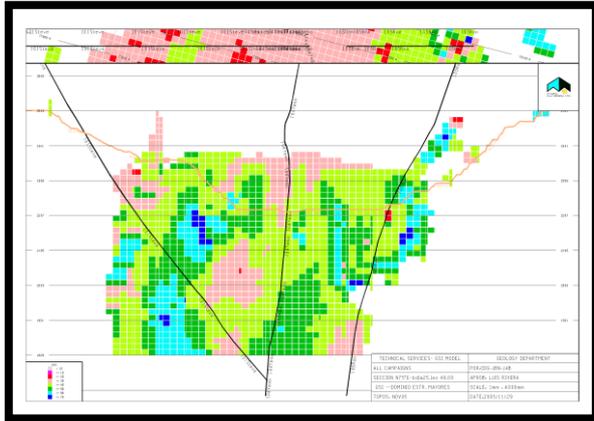


Fig.9: GSI en sección 49 transversal

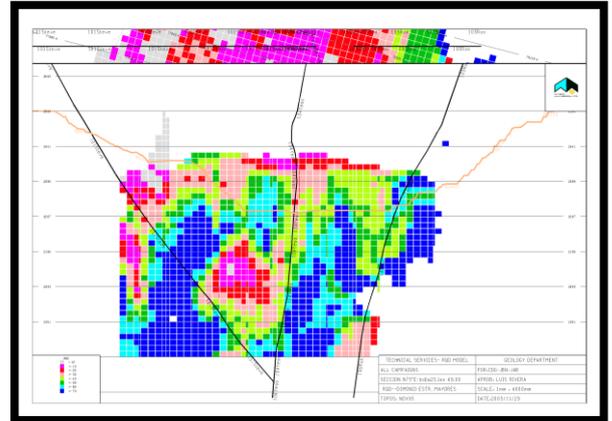


Fig.10: RQD en sección 49 transversal

(En ambas secciones se representan los dominios estructurales mayores)

4.- CONCLUSIONES

✓ Mediante el modelo geotécnico, Minera Alumbraera ha logrado la optimización del *open pit*, obteniendo mejores resultados económicos. Esto es debido al aumento del ángulo de interrampa y final en todos los sectores del *pit*, como así también el desarrollo del doble banco en las diferentes fases (Ver Fig. 11).

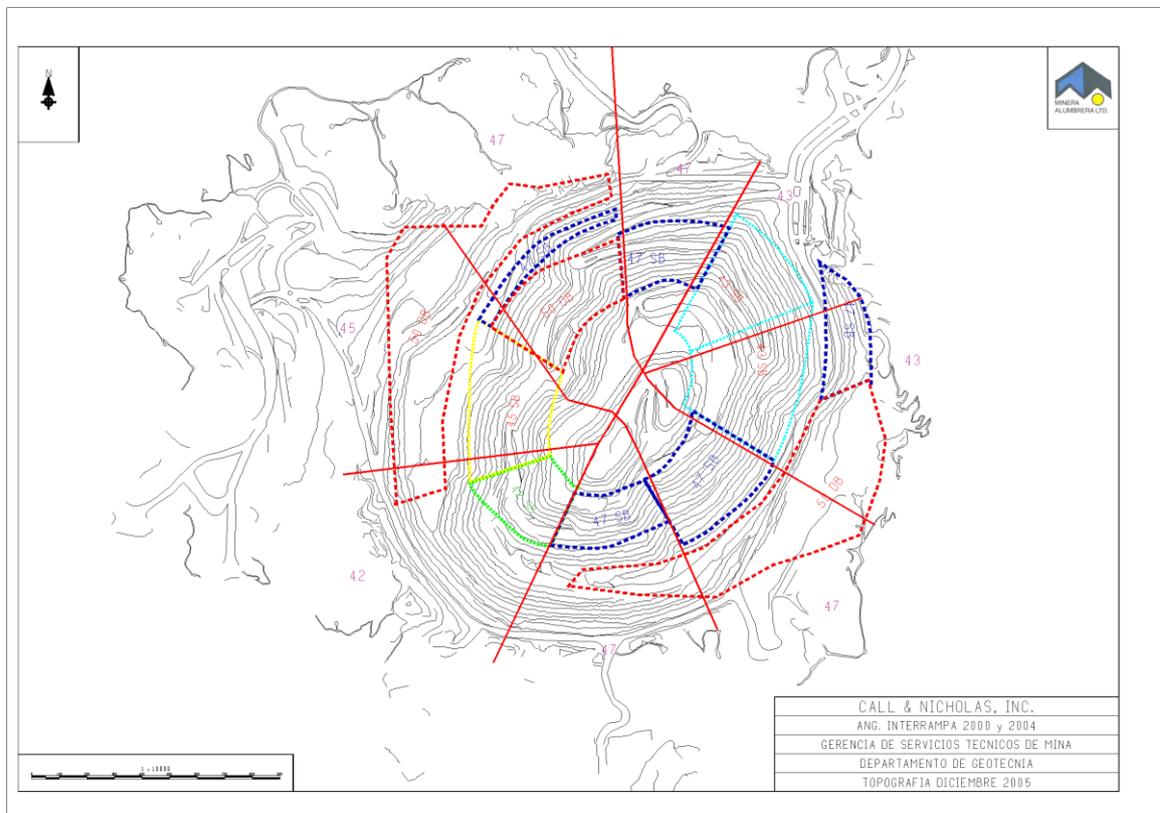


Fig.11: dominios geotécnicos principales y sectores optimizados del open pit en Bajo de La Alumbraera.

✓ Las diferentes áreas de la Gerencia de Servicios Técnicos pueden ajustar sus programas de trabajo de acuerdo a las variables generadas en el modelo geotécnico.

✓ Entendemos a la Ingeniería Geotécnica como una de las áreas vitales en Minera Bajo la Alumbreira, a la cuál le estamos dedicando el mayor esfuerzo en el trabajo e innovación para poder mejorarla día a día.

5.- COMENTARIOS

✓ Se pretende mejorar el modelo geotécnico con la incorporación de nuevos subdominios a los dominios estructurales mayores, tratando de densificar y por lo tanto entrar en detalle en la caracterización geotécnica del modelo.

✓ Buscar el mejor método de interpolación con los fines de mejorar el modelo geotécnico.

✓ Establecer conciliaciones en forma cuantitativa con los parámetros desarrollados en la generación del modelo, conjuntamente con la interrelación y trabajo en equipo de las áreas de la Gerencia de Servicios Técnicos de Mina a cargo del Ing. Luis Rivera Ruiz.

6.- BIBLIOGRAFIA

CALL & NICHOLAS INC. (2005):. Reporte Interno MAA.

VILLARROEL R, GIRAUD C. Y VARELA M. (2005): Definición de modelos geotécnicos-estructurales para su aplicación en la definición de estabilidad de taludes en yacimientos mineros. VI Simposio Taludes y Laderas – Valencia 2005.

PROFFETT, J. (2004): Geology of the Bajo de la Alumbreira porphyry copper-gold deposit, Argentina. Ec. Geology, 98 (8):1535 - 1574.

INGEROC (2004): Caracterización Geotécnica Estructural Yacimiento Bajo La Alumbreira. Informe Final.