

DIMENSIONAMIENTO DE YACIMIENTOS FILONEANOS POR EL MÉTODO TECTÓNICO: EJEMPLO VETAS TOMA LA MANO – REGION ANCASH

Churchill Vela Velásquez¹

Av. José Larco N° 345 Of. 1107 – Miraflores – Lima 18 – Perú
E-mail: churchillvela@hotmail.com / pormin@speedy.com.pe

RESUMEN

La mineralización de la Cordillera de los Andes es consecuencia de la deformación de las Placas de Nazca y Sudamericana, relacionadas a estructuras geológicas como producto de la deformación andina, cuyo estudio de la geometría de los cuerpos mineralizados dependerá en gran medida, del buen conocimiento tectónico del área de los yacimientos, siendo necesario aplicar métodos tectónicos y microtectónicos especiales que conlleven a determinar el modelo tectónico de una región y su consecuente relación con las estructuras mineralizadas.

Para la aplicación del método de determinación de la geometría de yacimientos filoneanos, se está tomando como ejemplo a las vetas de la Corporación Minera Toma la Mano, ubicadas en el eje de la Cordillera Blanca del Parque Huascarán – Provincia de Carhuaz – Ancash, donde realizamos un estudio tectónico y microtectónico completo, para determinar la extensión de las vetas.

El método consiste en determinar previamente la macroestructura geológica a través de mapas tectónicos regionales, preparados para ubicar y relacionar a la zona de los yacimientos dentro del contexto tectónico regional. Luego, utilizando métodos microtectónicos empleados en el análisis de la tectónica de fractura y de pliegues, creados por el profesor Maurice Mattauer en la Universidad de Montpellier – Francia y adaptados por el autor de la presente publicación a los Andes Centrales del Perú, se prepara el cartografiado tectónico de detalle del área de interés minero en estudio, obteniéndose así, el modelo tectónico de superficie compatibilizado con la macrotectónica determinada. Seguidamente, utilizando los mismos métodos microtectónicos empleados en superficie, se determina la estructura de los cuerpos mineralizados en interior mina, correlacionado las estructuras reconocidas en superficie, con las estructuras de interior mina, obteniéndose así, un modelo tectónico completo, que permite proyectar tanto en extensión horizontal como en profundidad las estructuras mineralizadas estudiadas.

Finalmente, con ayuda de los programas de interpolación de valores metálicos y de potencias de veta, se preparan secciones longitudinales a las estructuras mineralizadas obteniéndose secciones con isopacos de potencia de veta e isovalores de contenido metálico, datos que correlacionados con la estructura obtenida del área de mina, nos proporciona la geometría de los yacimientos filoneanos, determinándose así su extensión horizontal y profundidad de la mineralización.

¹ Doctor en Tectonofísica y D.E.A. en Microtectónica de la Universidad de Montpellier – Francia; Ingeniero Geólogo de la UNMSM – Lima – Perú; Profesor Principal de Tectónica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima – Perú; Consultor en Exploración Minera, Hidrocarburos, Geotecnia, Desastres Naturales e Investigación Tectónica – Geológica.

1. METODO UTILIZADO

Para la toma, análisis y procesamiento de datos de campo, tanto para superficie como en interior mina, se utilizaron los métodos microtectónicos desarrollados por los profesores Maurice Mattauer y François Arthaud, de La Universidad de Montpellier – Francia, adaptados por el autor de la presente publicación a la realidad tectónica de los Andes Peruanos, métodos que conllevaron a determinar la geometría de yacimientos hidrotermales de relleno de fractura.

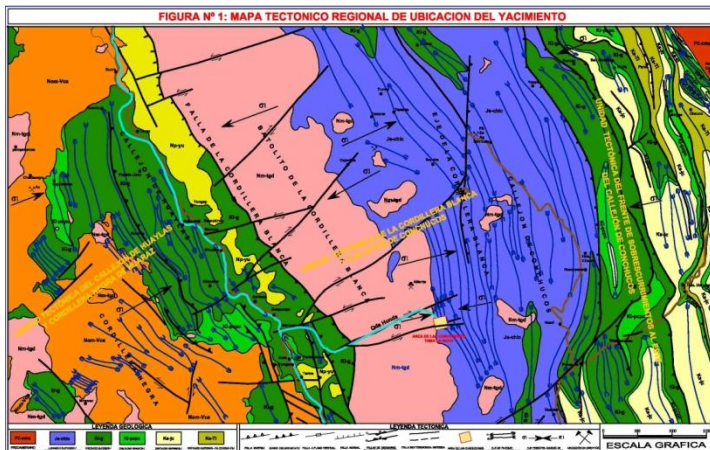
Los métodos microtectónicos aplicados fueron los siguientes:

- (1) En campo, para el análisis microtectónicos de fallas y su cartografiado, se utilizaron microestructuras asociados al plano de falla, que luego de su análisis correspondiente, se determinó el tipo de cada falla observada, en base a la medición del pitch del esfuerzo de corte - “ τ ” (ángulo formado entre la dirección del desplazamiento neto - τ y el rumbo de la falla) medido sobre el plano de falla. Para el caso del estudio de pliegues se utilizaron microestructuras asociadas al plegamiento, tales como estrías, cristalización automorfa, fisuras de extensión, estilolitas, fracturación asociada al plegamiento y al deslizamiento de capa sobre capa, microestructuras que conllevaron a determinar la geometría de los pliegues estudiados.
- (2) El estudio microtectónico de campo condujo a la preparación del Plano Tectónico-Geológico de Superficie, que muestra el modelo de deformación tectónica del área de mina y la relación de las vetas de plata estudiadas con la estructura geológica de la roca caja que alberga a estas estructuras.
- (3) Las estructuras reconocidas en superficie (vetas, fallas, pliegues y diques), se correlacionaron con el nivel más alto de mina (Nivel Ita) y así sucesivamente fuimos descendiendo la correlación tectónica-geológica hasta alcanzar el nivel de mina estudiado más bajo (Nivel Cachetón). Para facilitar la correlación desde superficie a interior mina, se asignaron una letra a cada nivel de mina y superficie, numerando a las estructuras con una nomenclatura compuesta por el número de estructura identificada en superficie, seguida de la letra del nivel donde se ha reconocido a la dicha estructura.
- (4) Con la misma metodología indicada en el ítem anterior y tomando como base los Levantamientos Geológicos existentes en los niveles de mina estudiados y las observaciones microtectónicas realizadas en nuestra campaña de campo, preparamos Planos Tectónicos – Geológicos de Interior Mina, correlacionando los contactos geológicos y estructuras desde superficie con todos los niveles de mina de subsuelo estudiados.
- (5) Con la información tectónica de superficie e interior mina obtenida, se preparó secciones transversales y longitudinales a cada veta estudiada, secciones que integran toda la información obtenida, proporcionándonos así, el modelo tectónico del área de las Concesiones Mineras “Toma la Mano”.
- (6) Con el modelo tectónico obtenido, utilizando las secciones longitudinales a las vetas estudiadas y programas especializados de interpolación que Peruvian Ore Mines S.A.C. cuenta, se procesó los ensayos de mina existentes, obteniéndose en sección longitudinal por cada veta estudiada, la siguiente información: (a) Curvas de isovalores de mineral de plata; y, (b) Isopacos de potencia de veta.
- (7) Analizando e interpretando la información obtenida en el ítem anterior, se obtuvo la geometría de las vetas estudiadas, entendiéndose por geometría, a la extensión de la veta, su profundidad y potencia de la estructura mineralizada, parámetro muy importante en las exploraciones mineras y vida de los yacimientos.

2. MARCO TECTÓNICO Y UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS

En el Mapa Tectónico de la Figura N°1 adjunta, se muestra las Grandes Unidades Tectónicas - Geológicas que caracterizan a la región donde se ubican las Concesiones Mineras Toma la Mano.

Obsérvese de Oeste a Este las siguientes Unidades Tectónicas Regionales: (1) *Unidad Tectónica del Callejón de Huaylas y Cordillera Negra de Huaraz*; (2) *Unidad Tectónica de la Cordillera Blanca y Callejón de Conchucos*, con tres zonas estructurales bien definidas: (a) *Batolito de la Cordillera Blanca*, (b) *Eje de La Cordillera Blanca*, (c) *Callejón de Conchucos*; (3) *Unidad Tectónica del Frente de Sobrescurrimientos al Este del Callejón de Conchucos*.



Obsérvese del Mapa Tectónico, que las minas de Ag, Pb y Zn explotadas en la región, se ubican en el *extremo Este del Batolito de la Cordillera Blanca, en contacto con la formación Chicama*. Las Vetas Toma la Mano se ubican en la Unidad Tectónica de la Cordillera Blanca y Callejón de Conchucos, en la Zona Estructural del Eje de La Cordillera Blanca, específicamente cerca al contacto Este del Batolito de la Cordillera Blanca y las rocas de la Formación Chicama de edad Jurásica superior.

3. TECTÓNICA DE SUPERFICIE DEL ÁREA DE MINA

La tectónica del área de los yacimientos, está compuesta por las siguientes estructuras: (1) Plegamiento intenso tipo isoclinal; (2) Sistema de fallas longitudinales a la estructura regional, del tipo inverso, posteriores y contemporáneo al plegamiento; (3) Vetas reconocidas en la Unidad de Producción Toma la Mano, emplazadas en el sistema de fallas inversas, como un estado de deformación posterior; (4) Sistema de fallas transversales a las estructura regional, como último estado de deformación de la región.

Las principales estructuras se describen a continuación.

SINCLINAL TOMA LA MANO

Se muestra en la sección transversal típica de la Fig. N°2 adjunta, la misma que integra toda la información geológica – tectónica de superficie y de los niveles de mina estudiados. Es la estructura más importante, ubicada en el centro del área de las concesiones.

Se trata de un sinclinal tipo isoclinal y concéntrico en profundidad, en superficie su eje “b” es de orientación Norte – Sur y buzamiento promedio de su plano axial del orden de 75° al Este. En el frente Sur de mina se observan las diferentes unidades estratigráficas de la Formación Chicama diferenciadas en el presente estudio, con capas paralelas entre si y fuerte buzamiento que caracterizan a los pliegues isoclinales, cuyo plano axial es curvo con buzamiento vertical a subvertical. Los pliegues cerca al Batolito de la Cordillera Blanca son más pequeños y sus planos axiales menos inclinados, hecho que obliga al diseño de este sinclinal con eje en profundidad buzando al Oeste (Figura N° 2). En el flanco Oeste de esta estructura, se ubican las vetas Ita y Principal, las mismas que en profundidad se juntan, observándose en el Nivel Cachetón la presencia de un importante fallamiento tipo inverso (ubicado en el eje del sinclinal en profundidad), que se conjuga con las fallas-vetas Ita y Principal. En superficie, el Sinclinal Toma la Mano se hace visible por repetir un horizonte guía de cuarcita de color blanco grisácea (Js-ch5),

con capas subverticales y paralelas que determinan la forma isoclinal del pliegue; mientras que en profundidad, su diseño es del tipo concéntrico.

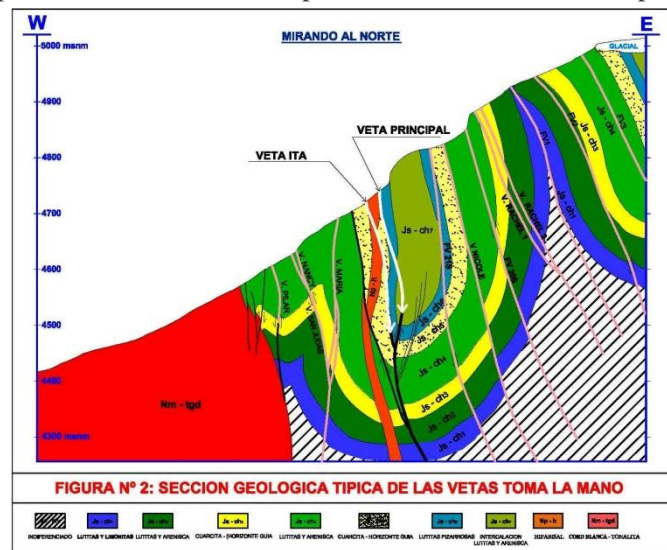
SISTEMA DE FALLAS LONGITUDINALES

Estas fallas se presentan superpuestas y contemporáneas al plegamiento. Son del tipo inverso, con rumbos paralelos a los ejes de los pliegues, de dirección promedio Norte – Sur y buzamientos comprendidos entre 65° y 87 ° tanto al Este como al Oeste, en algunos casos se presentan conjugadas. En los planos de fallas, tanto en superficie como en interior de mina, se han observado microestructuras asociadas al movimiento relativo de sus bloques, que proporcionan pitches del esfuerzo de corte (τ) del tipo inverso, comprendido entre 75° a 90°. Los planos de falla se orientan paralelos a oblicuos a la estratificación, ubicándose dentro del Sinclinal Toma La Mano según su forma y geometría. Son abundantes en los flancos de los pliegues. En el Sinclinal Toma la Mano se disponen en forma radial a la charnela interna de la estructura, mientras que en su eje, las vetas de Ag Ita y Principal corresponden a dos importantes fallas inversas.

PRINCIPALES ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

Las únicas estructuras mineralizadas del área de las concesiones mineras Toma La Mano son las vetas de plata con contenido de galena argentífera, de orientación paralela a los ejes de los pliegues y fallas inversas. En campo, tanto en superficie como en interior mina, en las cajas de las vetas, se han observado que éstas corresponden a fallas inversas preexistentes, determinadas por microestructuras en el plano de la veta-falla, tales como estrías, micro fracturación oblicua al plano de falla y microestructuras en media luna, que determinan pitches del esfuerzo de corte (τ) comprendido entre 75° y 90°, con desplazamiento de los bloques techo y piso del tipo inverso, al igual que las fallas inversas que afloran en el área.

Existen varias estructuras mineralizadas, siendo las principales y que mantienen la operación minera, las Vetas Ita y Principal, ubicadas estructuralmente en el eje del Sinclinal Toma la Mano, separadas por un dique cuarzo-monzodiorítico portador de la mineralización.



4. MICROTTECTÓNICA DE INTERIOR MINA

Luego de culminado el estudio Tectónico – Geológico de Superficie y determinada la estructura tectónica del área de las concesiones mineras, los pliegues, fallas, vetas y contactos geológicos fueron correlacionados desde superficie (4,800-5,000 msnm) con el nivel de mina más alto (Nivel Ita – 4,718 msnm) y así sucesivamente fuimos descendiendo la correlación tectónica-geológica hasta alcanzar el nivel de mina más bajo (Nivel Cachetón – 4.505 msnm).

Tomando como base los levantamientos geológicos existentes en los niveles de mina estudiados, se realizó un minucioso estudio microtectónico en cada nivel de mina, utilizando los mismos métodos microtectónicos empleados en superficie. Se puso especial énfasis en la determinación de la geometría de las estructuras mineralizadas, su correlación, roca caja en que se emplazan, tipo de fallamiento pre y post mineralización. Luego del estudio microtectónico se realizó la correlación de estructuras e interpretación tectónica de subsuelo, obteniéndose así, planos tectónicos-

geológicos por cada nivel de mina estudiado, en estos planos se proyectó la estructura y geología del nivel superior de mina, obteniéndose así, los planos tectónico-geológicos de los niveles de mina estudiados, donde se muestra el modelo de deformación y control estructural del área.

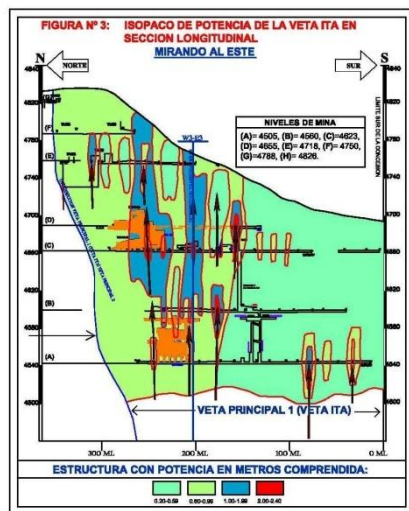
5. GEOMETRÍA DE LAS VETAS ESTUDIADAS

En gabinete se prepararon secciones longitudinales que contienen interpolación de curvas de isopacos de potencia de vetas y curvas de isovalores de contenido de mineral de plata, integrándose al modelo tectónico obtenido. Para la interpolación e interpretación de estas curvas, se utilizaron mil novecientos dos (1902) ensayos de mineral de Plata (Ag) proporcionados por la empresa minera, información que se procesó con ayuda de programas especializados de interpolación de valores metálicos que Peruvian Ore Mines S.A.C. cuenta. Luego de obtenido los isopacos de potencia de veta e isovalores de contenido metálico de plata en secciones longitudinales, se integró esta información al modelo tectónico del área de mina determinado, obteniéndose la geometría de las vetas de Ag estudiadas, entendiéndose por geometría, a la extensión, profundidad de mineralización y potencia de veta.

GEOMETRÍA DE LA VETA ITA EN SECCIÓN LONGITUDINAL

En la Fig. N° 3 se ha graficado la interpolación de los datos de potencia de veta observados en los diferentes niveles de mina, obteniéndose una sección con curvas de igual potencia de veta, que denominamos *“Isopacos de Potencia de Veta”*. Para su obtención se han agrupado los valores siguientes: (1) 0,10 m. a 0,19 m.; (2) 0,20 m. a 0,59 m.; (3) 0,60 m. a 0,99 m.; (4) 1,00 m. a 1,99 m.; (5) 2,00 m. a 2,40 m. (valores máximos de potencia de veta).

Los isopacos de la Sección Longitudinal muestra zonas alargadas de mayor potencia de la Veta Ita, orientadas en posición vertical a la sección, que corresponden a la mayor abertura de la falla inversa que dio origen a la veta, previo a su emplazamiento.



Estas zonas abiertas constituyen canales por donde las soluciones hidrotermales mineralizantes de plata se inyectaron, depositaron o reemplazaron las brechas o milonitas, dentro del plano de falla inversa pre-existente, dando origen a la Veta Ita. La sección muestra zonas alargadas de mayor potencia de veta (color celeste) que se tratarían de canales o “macro estrías”, formadas por desplazamiento inverso de una falla a plano curvo, preexistente, que dio origen a la Veta Ita. Obsérvese que en las zonas de mayor potencia de veta se han colocado flechas paralelas a éstas, las mismas que se presentan en disposición vertical a la sección longitudinal y paralelas entre sí, que corresponderían a las direcciones de flujo y/o deposición de las soluciones hidrotermales de mineral de plata, dentro del plano de la Veta-Falla Ita.

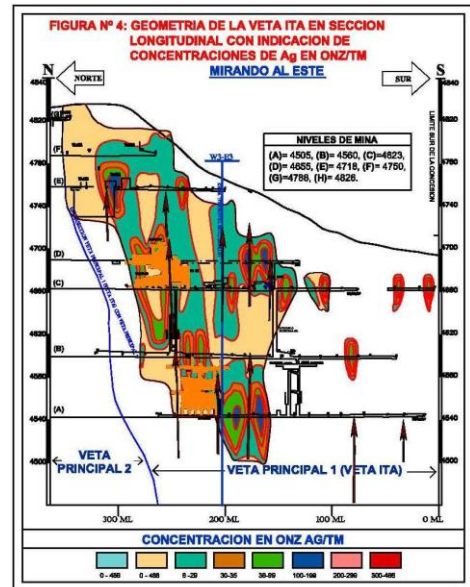
En la sección longitudinal de la Fig. N° 4, se muestra la geometría de la Veta Ita; es decir, la forma, extensión horizontal, profundidad y potencia del cuerpo mineralizado. Para obtener la geometría de la veta, se partió del modelo tectónico obtenido, la interpolación de curvas de isovalores de mineral de plata (curvas de igual contenido metálico) y los isopacos de potencia de veta.

Utilizando un software de interpolación lineal, se obtuvo la sección longitudinal con isovalores de contenido metálico, para cuyo efecto se agruparon las concentraciones de mineral de Ag siguientes: (1) Concentraciones entre 0 y 200 onzas de Ag/TM, interpretadas en base a los datos de tajos existentes e isopacos de potencia de veta; (2) Mineral económico de baja ley para blending, comprendidas entre 8.00 y 29.90 onzas de Ag/TM; (3) Mineral para planta

concentradora, comprendidas entre 30.00 y 35 onzas de Ag/TM ; (4) Mineral económico para blending, comprendidas entre 38.00 y 99.90 onzas de Ag/TM; (5) Mineral de exportación, comprendidas entre 100.00 y 486.00 onzas de Ag/TM.

Integrando el modelo tectónico determinado, los isopacos de potencia de veta y las curvas de isovalores de contenido metálico, se obtuvo la geometría de la Veta Ita, la misma que está compuesta por dos clavos mineralizados alargados, de forma rectangular, dispuestos en escalón.

En consecuencia, la geometría de la Veta Ita, corresponde a dos clavos mineralizados de forma rectangular y distribuidos en escalón, englobado por las concentraciones de mineral de plata de menor ley comprendida entre 8.00 y 29.90 onzas de Ag/TM; asimismo, los dos clavos mineralizados de concentración de mineral de Ag determinados, se ubican al Norte y Sur de la sección longitudinal en forma de echelón (escalón), profundizando más el clavo mineralizado del Sur con respecto al Norte que es más superficial. Obsérvese asimismo, que las direcciones de flujo de las soluciones mineralizantes obtenidas de la Fig. N° 3, coinciden con las elongaciones de los clavos mineralizados determinados.



La Fig. N° 4, muestra la forma geométrica de la Veta Ita, que corresponde a un cuerpo mineralizado compuesto por dos rectángulos alargados dispuestos en escalón (echelón), que de Norte a Sur son los siguientes: (1) *Clavo mineralizado ubicado al Norte de la sección*, con profundidad comprendida entre el Nivel “Cachetón” (4,505 msnm) y el Nivel “Alto Perú” (4,788 msnm), (2) *Clavo mineralizado ubicado al Sur de la sección*, ubicado a 45 m. por debajo del nivel de mina “Cachetón” (4,460 msnm) hasta 12 m. por debajo del nivel de Mina Ita (4,706 msnm). En consecuencia, la extensión de la Veta Ita es: (1) *Profundidad máxima de mineralización: 282m.*, (2) *Longitud horizontal promedia: 60 m.*, (3) *Potencia máxima de veta: 2.00-2.40 m*; observándose que el clavo mineralizado del Sur profundizaría como máximo 50 m. por debajo del Nivel de Mina Cachetón; mientras que, el clavo mineralizado del Norte, se termina en profundidad en el Nivel Cachetón contra la Veta Principal.

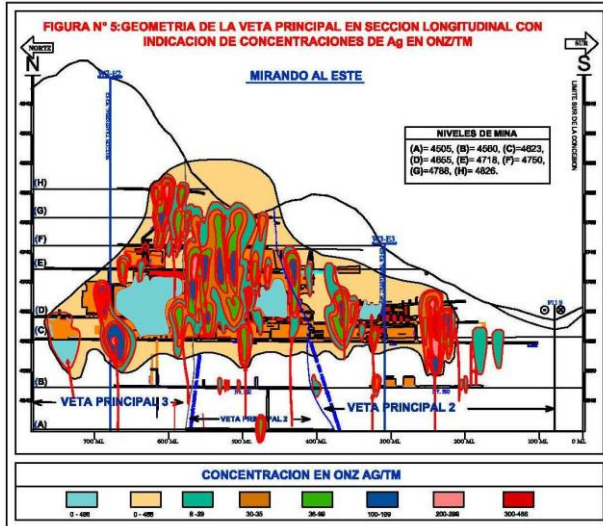
GEOMETRÍA DE LA VETA PRINCIPAL EN SECCIÓN LONGITUDINAL

En la sección longitudinal de la Fig. N° 5, se muestra la geometría de la Veta Principal; es decir, la forma del cuerpo mineralizado, su extensión horizontal, la profundidad de la mineralización y la potencia máxima de la veta, que al igual que la Veta Ita, para su obtención se integró al modelo tectónico determinado, información de isopacos de potencia de veta e isovalores de contenido metálico.

Para la obtención de las curvas de contenido metálico de plata, se agrupó los rangos de leyes siguientes: (1) Mineral económico de baja ley para blending: 8.00 y 29.00 onzas de Ag/TM; (2) Mineral requerido para planta concentradora: 30 y 35 onzas de Ag/TM ; (3) Mineral económico de mediana ley para blending: 36.00 y 99.90 onzas de Ag/TM; (4) Mineral de exportación de alta ley: (a) 100.00 y 199.00 onzas de Ag/TM, (b) 200 y 299 onzas de Ag/TM; (5) Mineral de exportación de máxima concentración: 300 y 486 onzas de Ag/TM; (6) Leyes inferidas en zonas de tajos sin datos de ensayos: 0 y 486 onzas de Ag/TM.

Las concentraciones minerales muestran la **forma geométrica de una campana o un sombrero**, que representa la geometría completa del cuerpo mineralizado; es decir, que no existiría la

posibilidad de continuarse en dirección horizontal ni vertical mas allá de esta forma, debido a que al parecer, la forma geométrica indicada correspondería a un flujo completo de soluciones hidrotermales provenientes de una cámara magmática (magma de un dique cuarzo monzodiorítico) ubicado en profundidad en la parte central del cuerpo.



El cuerpo mineralizado de la *Veta Principal* tiene la forma de una campana con las siguientes dimensiones: (1) La veta se termina en forma clara en profundidad entre los niveles de mina 560 y Michel (4,560 y 4,623 msnm); y, al parecer, su extremo más alto alcanzaría 40 m. por encima del nivel Raju (4,867 msnm), erosionado en superficie. La zona mas desarrollada de la parte basal de esta campana, se ubica en el Nivel de Mina 62 (4,655 msnm); (2) Las dimensiones del cuerpo mineralizado son: (a) *Extensión horizontal medido en la base de la campana = 550 ml.*, (b) *Profundidad en el centro del cuerpo = 265 ml.*, (c) *Potencia de veta= 1.00 a 2.00 m.*

6. GÉNESIS Y EDAD DE LAS VETAS

En el Sinclinal Toma La Mano de la Fig. N° 2, se muestra a un dique cuarzo – monzodiorítico, que en superficie e interior mina forma parte del techo de la veta Ita y piso de la veta Principal, asimismo, a la lupa y en muestra de mano de la roca hipabisal, se observa galena argentífera diseminada dentro de su masa. Estos hechos evidencian que el indicado dique, está asociado a la formación de las vetas Ita y Principal.

Por otro lado, en campo se ha determinado que los diques cortan al Batolito de la Cordillera Blanca datada de 9 a13 M.A., es decir de edad Mio-Pliocena; en consecuencia, los diques cuarzo – monzodioríticos serían de edad Pliocena, *formados durante el último estado de deformación de la “Fase Tectónica Quechua”*; y, por consiguiente, la edad de la mineralización correspondería a un estado previo al emplazamiento de los diques, en el momento que las soluciones hidrotermales se separarían del magma inicial que les dio origen.

En consecuencia, *las Vetos Ita y Principal, son de origen hidrotermal por relleno de fractura, formadas en el Pleistoceno temprano.*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Arthaud F., 1969**, *Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d’allongement et intermédiaire d’une population de failles* – Bull. Soc. Geol. France, 7ème série, t. XI, p. 729 à 737.
- **Vela Ch, 1977**, *La Microtectonique dans les plis: etude de la region plisee de Belzevet (Gard); son rapport avec la faille des Cevennes-* Tesis Doctoral- Université des Sciences et Techniques du Languedoc – Montpellier – Francia.

Lima, 08 de Abril del 2013