

# **DIMENSIONAMIENTO DE YACIMIENTOS FILONIANOS POR EL MÉTODO TECTÓNICO: EJEMPLO VETAS TOMA LA MANO - REGION ANCASH**

**Churchill Vela Velásquez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> 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.

Av. José Larco N° 345 Of. 1107 – Miraflores – Lima 18 – Perú

E-mail: churchillvela@hotmail.com / [pormin@speedy.com.pe](mailto: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 filonianos, 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 estructurales 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, correlacionando 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 potencia de veta, se preparan secciones longitudinales a las estructuras mineralizadas con isópacos de potencia de veta e isovalores de contenido metálico, valores que correlacionados con la estructura obtenida del área de mina, nos proporciona la geometría de los yacimientos filonianos, determinándose así su extensión horizontal y profundidad de la mineralización.

## **1.-METODO UTILIZADO**

Para la toma, análisis y procesamiento de datos de campo, tanto para superficie como en el interior de la 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 publicación a la realidad tectónica de los Andes Centrales del Perú, 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 (ángulo formado entre la dirección del desplazamiento neto 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 y fracturación asociada al pliegue y al deslizamiento de capa sobre capa, permitiendo 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 interés minero y la relación de las vetas 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 más bajo estudiado (Nivel Cachetón). Para facilitar la correlación desde la superficie al interior de mina, se asigna una letra a cada nivel de mina y superficie, numerando a las estructuras con una nomenclatura compuesta por el número identificado en superficie, seguida de la letra del nivel donde se ha reconocido a la 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, correlacionándolos desde superficie con todos los niveles de mina estudiados. (5) Con la información tectónica de superficie e interior mina obtenida, se preparó secciones transversales y longitudinales 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 y utilizando programas especializados de interpolación que Peruvian Ore Mines SAC cuenta, se procesó los ensayos de mina existentes, preparando secciones longitudinales con isovalores de mineral de plata e isopacos de potencia de veta, obteniéndose así, la geometría de las vetas estudiadas, donde se visualiza la extensión horizontal y profundidad 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, 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: (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, 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 entre el 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, superpuesto 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 la 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, la misma que integra toda la información geológica – tectónica de superficie y de los niveles de mina estudiados. Es la estructura más importante, ubicada al centro del área de las concesiones. Se trata de un sinclinal tipo isoclinal y al parecer, concéntrico en profundidad, caracterizado por presentar 3

en superficie un eje de orientación Norte – Sur y buzamiento promedio de su plano axial de 75° al Este. En el frente Sur de mina se observan las diferentes unidades estratigráficas diferenciadas de la Formación Chicama, con buzamiento de capas paralelas entre si, que caracterizan a los pliegues isoclinales. Obsérvese que el eje del sinclinal en superficie cambia de inclinación respecto a los pliegues cerca al Batolito de la Cordillera Blanca, hecho que obliga al diseño de este sinclinal con eje en profundidad buzando al Oeste. 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 conjugan con las fallas Ita y Principal. En superficie, el Sinclinal Toma la Mano se hace visible debido a que repite al horizonte guía de cuarcita de color gris claro (Js-ch5), presentando capas paralelas, subverticales que sugieren 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 promedia 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 estas fallas, tanto en superficie como en interior de mina, se han observado microestructuras asociadas al movimiento relativo de sus bloques, que proporcionan pitches del desplazamiento de corte del tipo inverso, comprendido entre 75° a 90°. Se orientan paralelas a oblicuas a la estratificación, ubicándose según la forma y geometría del pliegue, siendo abundantes en los flancos de los pliegues y, en el Sinclinal Toma la Mano, al igual que las vetas se disponen en forma radial a la charnela interna del sinclinal.

**Principales Estructuras Mineralizadas:** Constituyen 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 estrías de falla, microfracturación oblicua al plano de falla y microestructuras en media luna, con pitches del esfuerzo de corte comprendido entre 75° y 90°, del tipo inverso, al igual que las fallas inversas estudiadas.

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.-MICROTECTÓNICA 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 con el nivel de mina más alto (Nivel Ita) y así sucesivamente fuimos descendiendo la correlación tectónica-geológica hasta alcanzar el nivel de mina más bajo estudiado (Nivel Cachetón).

Tomando como base los levantamientos geológicos existentes en los niveles de mina estudiados, se realizó un minucioso estudio microtectónico con los mismos métodos microtectónicos empleados en superficie, poniendo especial énfasis en la determinación de la geometría de las estructuras mineralizadas, su correlación, roca caja en que se emplazan, tipo de fallamiento pre-mineralización y fallas posteriores a éstas que las cortan. Se realizó la interpretación tectónica de los niveles de mina estudiados, obteniéndose así, planos tectónicos-geológicos por cada nivel de mina, donde se proyectó la estructura y geología de los niveles de mina adyacentes, que muestran el control estructural y modelo de deformación por cada nivel de mina estudiado.

#### 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, 4

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 SAC cuenta, obteniéndose así, la extensión horizontal y la profundidad del cuerpo mineralizado estudiado.

#### 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, agrupados en curvas con los rangos 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).

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 constituyeron 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.

Esta sección se ha interpretado considerando que las zonas de la Veta Ita que presentan mayor potencia, se tratarían de canales o “macroestrías” que caracterizan a las vetas que se emplazan en fallas inversas preexistentes. 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 Ita.

En la sección longitudinal de la Fig. N° 4, se muestra la geometría de la Veta Ita; es decir, la forma, extensión horizontal y profundidad del cuerpo mineralizado. Para su interpretación, se ha tenido en cuenta la interpolación de curvas de isovalores de mineral de plata (curvas de igual contenido de plata); asimismo, a fin de obtener zonas mineralizadas que se ajusten a la realidad tectónica mineralógica de la Veta, se han agrupado las siguientes zonas de concentración de minerales: (1) Concentraciones entre 0 y 200 onzas de Ag/TM, interpretadas en base a los tajos existentes y sección interpretativa de potencia de vetas; (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.

Como resultado del modelo tectónico determinado, los isópacos de potencia de veta y curvas de isovalores, en la figura indicada, muestra la forma geométrica de la veta, la misma que está conformada por dos rectángulos alargados en escalón formando el cuerpo mineralizado que contiene la Veta Ita, que corresponde a dos clavos mineralizados en forma rectangular y distribuidos en escalón, englobado por las concentraciones de mineral de plata comprendido entre 8.00 y 29.90 onzas de Ag/TM. Los clavos mineralizados de concentración de mineral de Ag, se distribuyen en forma de echelón (escalón), profundizando más el clavo mineralizado ubicado en el extremo sur, mientras que, en el extremo norte, el clavo mineralizado es mas superficial; 5

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 del cuerpo mineralizado que contiene la Veta Ita, que corresponde a dos rectángulos alargados o cuerpos mineralizados dispuestos en escalón (echelón), que de Norte a Sur son los siguientes: (1) Clavo mineralizado del norte de la sección, ubicado entre el nivel “Cachetón” y el nivel “Alto Perú”, (2) Clavo mineralizado ubicado al Sur de la sección, ubicado a 45 m. por debajo del nivel de mina “Cachetón” hasta 12 m. por debajo del nivel de mina Ita. En consecuencia, la extensión del cuerpo es: (1) Profundidad máxima: 282m., (2) Ancho promedio: 60 m.; asimismo, el clavo mineralizado del Sur profundizaría como máximo a 50 m. por debajo del nivel de mina Cachetón; mientras que, el clavo mineralizado del Norte, se termina en profundidad en el Nivel Cachetón y en forma horizontal, contra la Veta Principal.

#### GEOMETRÍA DE LA VETA PRINCIPAL EN SECCIÓN LONGITUDINAL

Al igual que la Veta Ita, se han preparado secciones longitudinales con isópacos de potencia de veta e isovalores de contenido de mineral de plata.

En la sección longitudinal de la Fig. N° 5, se muestra la geometría de las Vetas Principal; es decir, la forma, extensión horizontal y vertical del cuerpo mineralizado. Para su interpretación, se ha agrupado las siguientes zonas de concentración mineral: (1) Leyes inferidas en zonas de tajos sin ensayos: 0 y 486 onzas de Ag/TM; (2) Mineral de plata sin datos de ensayos: 0 y 486 onzas de Ag/TM; (3) Mineral económico de baja ley para blending: 8.00 y 29.00 onzas de Ag/TM; (4) Mineral requerido para planta concentradora: 30 y 35 onzas de Ag/TM ; (5) Mineral económico de mediana ley para blending: 36.00 y 99.90 onzas de Ag/TM; (6) Mineral de exportación de alta ley: (a) 100.00 y 199.00 onzas de Ag/TM, (b) 200 y 299 onzas de Ag/TM; (8) Mineral de exportación de máxima concentración: 300 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.

La campana del cuerpo mineralizado de la Veta Principal se termina en forma clara en profundidad entre los niveles de mina 560 y Michel; y, al parecer, la parte mas alta de la campana alcanzaría 40 m. por encima del nivel Raju, erosionado en superficie. La zona más desarrollada de la parte basal de esta campana, se ubica en el Nivel de Mina 62, alcanzando una extensión horizontal de 550 ml. y una profundidad en su centro de 265 ml.

#### REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- **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, 31 de mayo del 2012