

## CONTROLES GEOLÓGICOS - ESTRUCTURALES DE LA MINERALIZACIÓN AURÍFERA EN EL SISTEMA DE VETAS DE LA MINA ORIÓN CHALA – AREQUIPA

J. Santos Cisneros

Email: msantos\_cisneros@hotmail.com

La mina Orión se localiza a 30 km al norte de la ciudad de Chala-Arequipa, entre 1700 - 2500 m.s.n.m. En la zona de estudio afloran rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico al Cenozoico, intruídas por stocks generalmente correspondientes a las súper unidades Linga y Tiabaya, también por diques/sills porfido dioríticos (horblenda cristales de 2 cm) y algunos escasos diques andesíticos. Las estructuras mineralizadas tienen un rumbo promedio de N20°-60°W buzando generalmente 45°-75° al NE, emplazadas en los intrusivos de diorita – tonalita ricos en biotita, en las secuencias sedimentarias y volcanoclásticas de la formación Guaneros y del grupo Yura. La mineralización está dividida en dos sectores, uno secundario de óxidos - mixtos de hierro (hematita-jarosita-goethita) de 200 a 400 m de profundidad y otra de sulfuros primarios, ensamble de pirita-calcopirita-magnetita-covelita. La alteración hidrotermal, se manifiesta en un ensamble de cuarzo sericita intenso en las estructuras y en las cajas adyacentes como sericitización-caolin-cloritización seguida por una propilitización marginal. Se han determinado 04 fases de deformación en la mina Orión que están relacionadas a procesos tectónicos desde la orogenia Mochica y todo el ciclo andino, primera fase transcurrente en la dirección N03°E – S03°W, pre – mineralización; la segunda fase extensional en la dirección N19°E – S19°W, esta relacionada a los eventos de mineralización; tercera fase transcurrente en la dirección N22°W – S22°E, considerada post – mineralización; la cuarta fase es transcurrente en la dirección N16°E – S16°W, corresponde a una etapa post – mineralización.

### INTRODUCCIÓN

El presente trabajo relaciona las características estructurales del yacimiento con la mineralización considerando tres episodios importantes para la interpretación, un evento tectónico pre-mineralización, seguido de un evento sin-mineralización y finalmente uno post-mineralización.

### LOCALIZACIÓN

Orión está dentro de la faja de yacimientos filonianos Nazca – Ocoña perteneciente a la Provincia Metalogenética Occidental, Sub-provincia Cuprífera de la costa. Está a 30 km del centro poblado de Chala, y es accesible mediante una trocha carrozable (Ver figura 01).

### CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Geológicamente está ubicado en el segmento Arequipa del Batolito de la Costa, dentro de las Súper unidades Tiabaya y Linga (97.0 +\_ 3.0 Ma) que se asumen como responsables de la mineralización de Cu, Fe, Mo; aflora la unidad Tiabaya de 80.5 +\_ 1.4 Ma y una secuencia sedimentaria con rocas de edades que van desde el Precámbrico hasta el Cenozoico: Complejo Basal de la costa, Grupos Ambo y Tarma, Formaciones Chocolate, Yuncachaca, Guaneros, Yauca, Pisco, Millo y Sencca

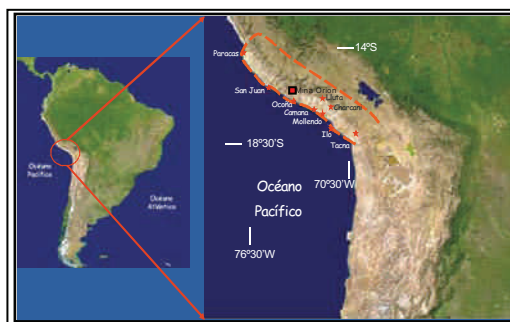


Figura 1. Ubicación de la Mina Orión en la Franja Nazca – Ocoña.

La metalogenia del área de estudio está caracterizada por la ocurrencia de vetas mesotermales de Au-Ag-(Cu), mantos de Cu, skarns y pórfidos de Cu emplazados en el intrusivo y en las secuencias sílico – clásticas.

El área en estudio está enmarcada en la Cordillera de los Andes del Perú central cuya evolución está relacionada a la orogenia andina (Mégard, 1978).

## CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

### ESTRATIGRAFÍA Y MAGMATISMO

La litoestratigrafía está definida por los volcánicos Chocolate, formación Guaneros, grupo Yura (formaciones Yauca y Hualhuani), formación Millo, volcánicos Sencca y depósitos cuaternarios. Petrográficamente, la secuencia volcánica sedimentaria está compuesta por una intercalación de lavas andesíticas porfíricas con niveles sílico - clásticos representados por areniscas cuarzosas de grano medio, arcosas, areniscas de grano fino grises, limo areniscas con cemento calcáreo, limolitas y lutitas gris verdosas pertenecientes a las formaciones Guaneros y Yauca del Liásico al Neocomiano, intruidas por las súper unidades Linga y Tiabaya caracterizadas por mozdioritas, dioritas faneríticas, dioritas porfíricas de grano medio, gabros y dioritas porfíricas de grano grueso, teniendo estas descripciones un alcance distrital.

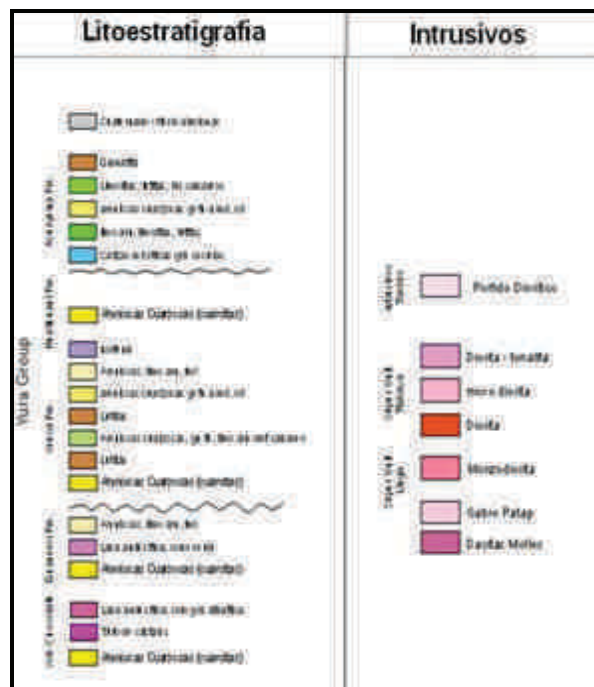


Figura 2. Columna Litoestratigráfica local, Mina Orión.

### ESTRUCTURAS

Las vetas de la Mina Orión tienen rumbo N40°-60°W buzando 40°-75°NE predominantemente y en algunos casos 50°-60°SW. Son fallas de naturaleza dextral – normal. Se observan diversos sistemas de fallas, están caracterizados por fallas de rumbo N10°-30°E buzando de 70°-75° NW, con potencias variables de 0.8 m a zonas de clataclastitas de 10 a 20 m (falla Sur) y estructuras de rumbo N50°-30°W subverticales y longitudes de afloramiento de 100 a 300 m (fallas de 1er orden).

#### Alteración y Mineralización

La alteración esta dada por sericitización moderada a intensa en la estructura y argilización moderada (arcillas - caolín), se nota en las cajas inmediatas caolín intenso (hasta 2 m), seguido de silicificación intensa y propilitización moderada (clorita – epidota – pirita) súperpuesta. La mineralización primaria compuesta por pirita, pirrotita, calcopirita, covelita y magnetita con concentraciones de Au, la parte superficial muestra un ensamble de hematita – goetita – jarosita asociada a Au.



## ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA MINA ORIÓN

### ANÁLISIS GEOMÉTRICO

Este análisis se desarrolla mediante el estudio de la geometría de las fallas y sistemas de vetas en vista en planta y en secciones. Las estructuras del área de estudio presentan geometrías similares, en vista en planta muestran formas sinuosas y buzamientos variables de 40°-75°NE.

#### Geometría - Veta Falla Francia:

Esta estructura tiene un rumbo de N30°-60°W, buzamiento 40°-75°NE, potencias variables de 20 cm hasta 10 m en los sigmoides. La estructura vista en planta presenta formas sinuosas, con ensanchamientos y adelgazamientos tipo rosario en la vertical y la horizontal, en estructuras **sigmoides** (Figura 04). La veta está siendo desplazada por fallas post mineralización de rumbo N-S y NE - SW de naturaleza dextral y sinistral con desplazamientos variables.

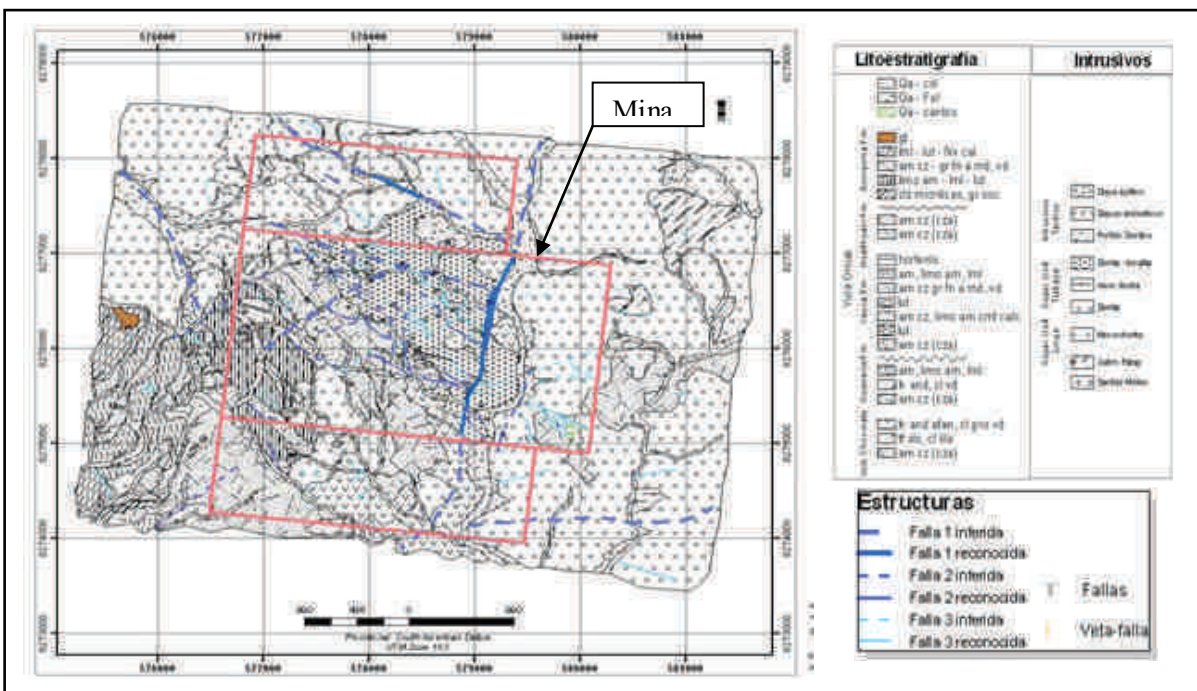


Figura 3. Plano Geológico – Estructural de la Mina Orión, Chala – Arequipa.

Verticalmente la estructura tiene comportamiento ondulante o sinuoso y es cortada por fallas normales post mineralización de rumbo N30°-40°W y buzamiento 20°- 30°SW.

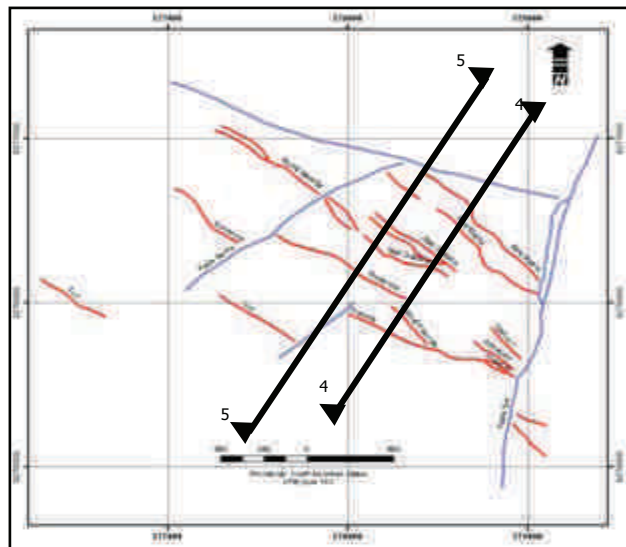


Figura 4. Vista en planta de las estructuras mineralizadas, mostrando las sigmoideas y ramificaciones tipo rosario, Mina Orión.

#### Geometría - Veta Falla Bonanza:

La estructura tiene un rumbo de N20°-60°W, buzamiento 40°-65°NE, potencias variables de 0.2 a 2 m, la potencia promedio sería de 0.6 m.

La veta vista en planta muestra ramificaciones y pequeños sigmoideas de algunos metros, siguiendo un modelo de lasos sigmoideas y ramificaciones tipo rosario, la mineralización es errática y se presenta como pequeños bolsones que van de 20 a 40 m dentro de la estructura, vista en perfil la estructura se presenta sinuosa y con zonas de inflexión de mayor ancho.

#### Análisis Cinemático – Mina Orión

El análisis cinemático está basado en el estudio del movimiento de las fallas sea trascurrente, normal o inverso, tomando como base la identificación y entendimiento de unas pequeñas estructuras asociadas a las estrías en los planos de fallas llamadas tectoglifos.

Orión presenta por lo menos 4 fases de deformación que han afectado en diferente medida la geometría inicial del yacimiento. Para un mejor entendimiento de los eventos tectónicos responsables de las deformaciones, procederemos a agruparlos en función al estado de esfuerzo efectivo que se relacionaran a deformaciones descritas a escala regional.

#### Fase I:

Está dada por una primera fase trascurrente en la dirección N03°E – S03°W, se le denominara como fase **TCN-S**. En la mina Orión se ha observado este movimiento en las vetas fallas Francia, Almacén, Bonanza, Burra Muerta, Gallera y Cristina, presentan estriaciones asociadas a un movimiento dextral, se considera como pre – mineral.

En tal sentido, la fase **TCN-S**, estaría ubicada entre un evento tectónico compresivo denominado orogenia Mochica (albiano medio – cenomaniano) y una fase compresiva que sería la fase Peruana (84 Ma – 79 Ma).

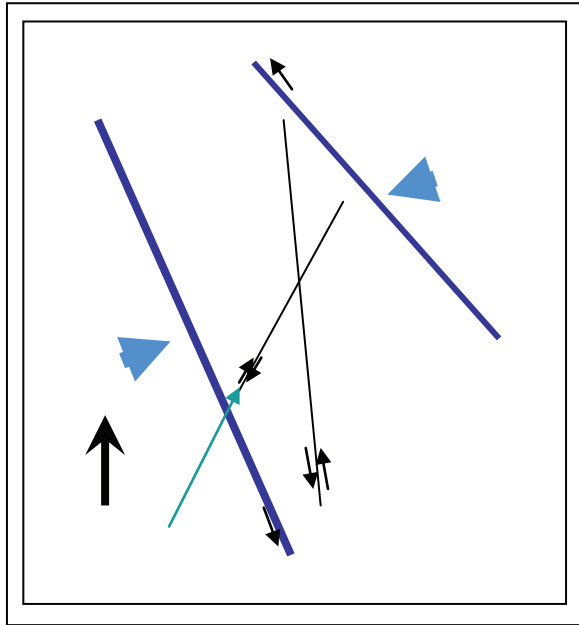


Figura 5. Mina Orión, Esquema conceptual de los esfuerzos compresivos efectivos.

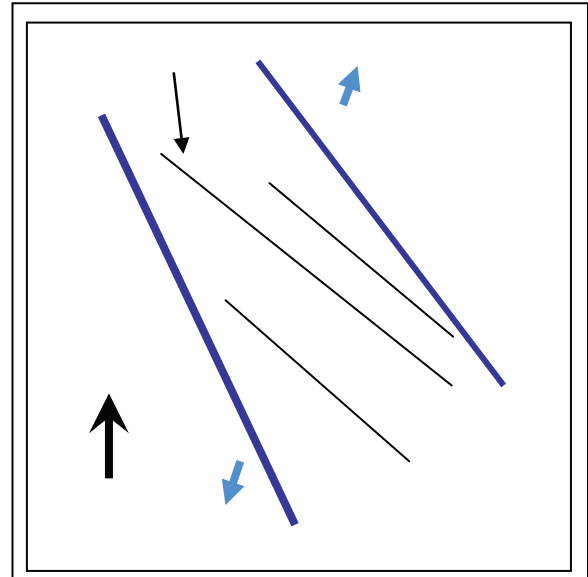


Figura 6. Mina Orión, modelo esquemático de la fase extensional.

#### Fase II:

Es la primera fase extensional en la dirección N19°E – S19°W, se le denominara como **ENE-SW**. En la mina Orión este periodo de esfuerzos distensivos estaría ligado a los procesos de mineralización regionales que aportaron en el enriquecimiento del yacimiento. Este esfuerzo es manifestado por la presencia de estrías ligadas a un movimiento de naturaleza normal en los planos de falla de las vetas Francia, Bonanza, Ana María y Cristina.

En relación a los datos, esta fase **ENE-SW** estaría ligada a un régimen extensional ubicado entre los pulsos finales de la fase Peruana (84 Ma – 79 Ma) y el inicio de la fase Incaica I (59 Ma – 55 Ma), (Campaniano tardío – Paleoceno).

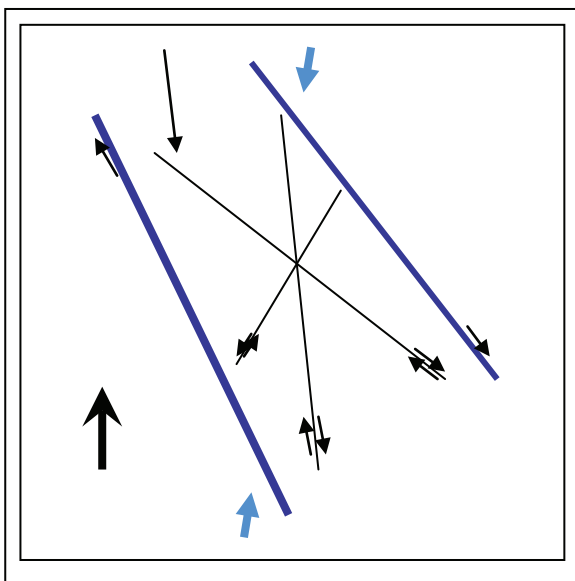


Figura 7. Mina Orión, esquema de la fase sinistral que produjo la fragmentación de las estructuras mineralizadas.

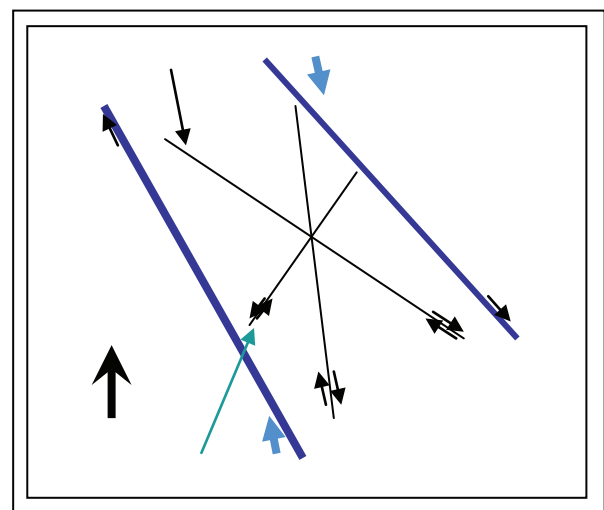


Figura 8. Mina Orión, modelo conceptual mostrando la reactivación dextral sobre el sistema de fallas post mineralización.

Fase III:

Es la segunda fase transcurrente, en la dirección N22°W – S22°E, a la que denominaremos **TCNW-SE**, en la mina Orión se observa en los niveles 725 y I (Veta falla Francia).

Por lo expuesto, esta fase **TCNW-SE** la podríamos ubicar entre la fase Incaica I (59 Ma – 55 Ma) y la fase Incaica II (43 Ma – 42 Ma) ambas de naturaleza compresiva.

Fase IV:

Es la tercera fase transcurrente, en la dirección N74°E – S74°W, a la que denominaremos **TCNE-SW**. Este movimiento en la mina Orión se puede observar en los niveles 725, I (Veta Francia), en la labor Bonanza intermedia e inferior, en Burra muerta y labores artesanales de la veta falla Cristina, manifestadas por fallas de rumbo N30°-40°E buzando 60°-75°SE.

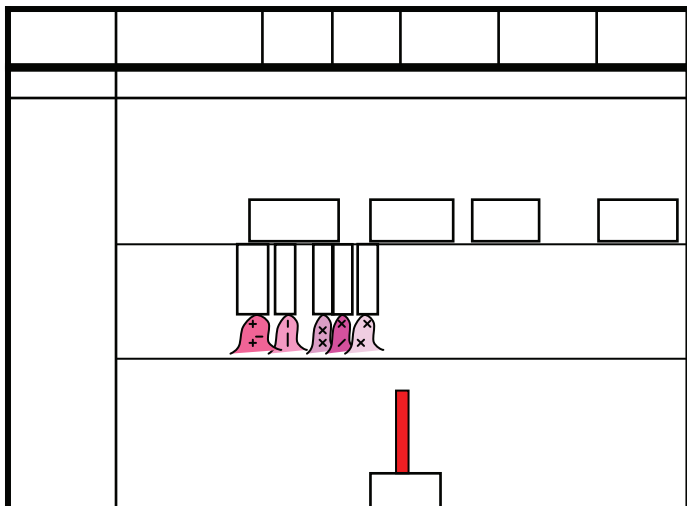
Este periodo de deformación **TCNE-SW** estaría relacionado a la fase Incaica IV (22 Ma), esta fase corresponde a un evento compresivo.

### RELACIONES ENTRE LA TECTÓNICA Y LA MINERALIZACIÓN AURÍFERA

Como resultado de los estudios se podría tener una serie de interpretaciones relativas que se ajusten al emplazamiento de los intrusivos, formación de las estructuras con las reactivaciones respectivas y ocurrencia de los diferentes eventos de mineralización.

El primer evento (fase I) observado se relacionara con la orogénia Mochica del Albiano Medio - Cenomaniano, siendo en este periodo donde se formaron la estructuras de alcance regional con las subsecuentes secundarias que son motivo de estudio, además se emplazaron intrusivos como los gabros Patap. La edad de mineralización en el Batolito de la Costa fluctúa entre 70 MA a 50 MA, esto tiene un nexo con la fase extensional (fase II) entre finales de la orogenia Peruana (84 Ma – 79 Ma) y el inicio de la fase Incaica I (59 Ma – 55 Ma), Campaniano tardío – Paleoceno. Durante este periodo ocurrieron los eventos de mineralización que contribuyeron al enriquecimiento en Au en las vetas del Batolito de la Costa (segmento de Arequipa) y poco después del emplazamiento de la súper unidad Tiabaya.

La tercera fase observada de dirección N22°W – S22°E, naturaleza transcurrente, estaría ubicada entre los periodos Incaica I y II, este acontecimientos es reconocible en las fallas post mineralización que produjeron un movimiento de naturaleza sinistral observable dentro del proyecto afectando a las estructuras mineralizadas, con desplazamientos de algunos metros hasta cientos de metros (falla Sur, Norte) y reactivación de tipo dextral en las estructuras mineralizadas.



*Figura 9. Mina Orión, cuadro esquemático conceptual relacionando las fases tectónicas en la mina Orión con eventos tectónicos, magmáticos y mineralización regionales*

El cuarto evento reconocible (fase IV) es de naturaleza dextral, afectando a las estructuras mineralizadas reactivando las estructuras existentes y reduciendo el efecto de la tercera fase, este acontecimiento se relaciona a la fase Incaica IV (22 Ma).

## CONCLUSIONES

Las estructuras mineralizadas tienen un rumbo promedio de N20<sup>0</sup>-60<sup>0</sup>W buzando generalmente 45<sup>0</sup>-75<sup>0</sup> al NE, emplazadas en los intrusivos de diorita – tonalita ricos en biotita, en las secuencias sedimentarias y volcanoclásticas. Estas estructuras están siendo fragmentadas y desplazadas por fallas post mineralización de orientación N10<sup>0</sup>-50<sup>0</sup>E subverticales de naturaleza dextral y sinistral.

La mineralización está dividida en dos sectores, uno secundario de óxidos - mixtos de hierro (hematita-jarosita-goethita) de entre 200 a 400 m de profundidad y otra de sulfuros primarios, ensamble de pirita-calcopirita-magnetita-covelita. Las zonas enriquecidas en óxidos – mixtos, se extienden en “clavos” a lo largo de la falla con un plunge 75<sup>0</sup> con longitudes entre 200 y 300 m con zonas estériles de 6 a 20 m.

La alteración hidrotermal, se manifiesta en un ensamble de cuarzo sericita intenso en las estructuras y en las cajas adyacentes como sericitización-caolin-cloritización seguida por una propilitización marginal con clorita, epidota, pirita, carbonatos.

Se han determinado 04 fases de deformación en la mina Orión, primera fase trascurrente en la dirección N03°E – S03°W, pre – mineralización; la segunda fase extensional en la dirección N19°E – S19°W - mineralización; tercera fase trascurrente en la dirección N22°W – S22°E, post – mineralización; la cuarta fase es trascurrente en la dirección N16°E – S16°W, corresponde a una etapa post – mineralización.

La primera fase corresponde al evento de formación de las estructuras, sistemas de fallas tipo rosario y lazos sigmoides, el segundo evento esta relacionado a los eventos de mineralización, el tercer y cuarto evento son post mineralización y han contribuido al fracturamiento y cambio de geometría del yacimiento.

Existe una relación importante entre la ocurrencia de mineralización y los intrusivos de tonalita - diorita con abundante biotita, textura fanerítica y grano medio (Súper unidad Tiabaya), aparentemente esta relación se debe a la mayor reactividad que presentan estos intrusivos al contacto con fluidos hidrotermales clorurados, ricos en azufre y PH neutros a altas temperaturas, facilitando la precipitación como sulfuros de los cationes metálicos. Se asume que la mineralización de la mina Orión, está genéticamente ligada a las fases finales de los intrusivos de la súper unidad Tiabaya, todavía ocultas.

## AGRADECIMIENTOS

El estudio para optar el título profesional de ingeniero geólogo titulado: **Controles Geológicos - Estructurales de la Mineralización Aurífera en el Sistemas de Vetas de la Mina Orión – Chala (Arequipa)**, no habría sido posible sin el apoyo de Compañía Minera Orión (hoy, Analítica Mineral Services S.A.C); por la tanto mi mayor muestra de gratitud al gerente general Ingeniero Bernardo Álvarez Calderón, al gerente de operaciones Gregorio Llanos Villarreal.

## REFERENCIAS

- AGAR R.A. & LE BEL L. The Linga Super – Unit: high-K diorites of the Arequipa segment. Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes, p 119-127.
- Ascue J. (1997). Posible Evolución Tectónica de la Deflexión de Abancay e Implicancias Geotectónicas en la Región Sur oriental del Perú. Resumen extendido IX Congreso Peruano de Geología, p. 245-247.
- Nelson E.P. (2004). Structural Geological Analysis of the Ishihuinca vein system. Informe interno INMINSUR. Colorado School of Mines.
- Mason G.H. (1982). The mineralogy and textures of the Coastal Batholith, Peru. Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes, p 156-166. Department of Geology University Of Liverpool.
- Injoque J., Rodriguez I. & Alvarez B. (2002). Geología del distrito minero aurífero de Orión, Caravelí - Arequipa. Resumen extendido XI Congreso Peruano de Geología Trabajos Científicos.
- Macharé J. & Ortega H. (1997). Estudio Estructural del Sector Este de la Veta Calera, Mina Orcopampa – Perú. Resumen extendido IX Congreso Peruano de Geología, p. 95-99.

- Macharé J. & Injoque J. (1997). El Fallamiento Tanaka – Yauca y sus Implicancias en la Tectónica Cenozoica de la Costa Sur del Perú. Resumen extendido IX Congreso Peruano de Geología, p. 341-345.
- Quispe J. (2006). Características Estructurales e Isótopos de Plomo de las Mineralizaciones Auríferas de la Franja Huaytará – Tantará, Huancavelica (Puno). Tesis de Maestría – Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalurgia.
- Vidal C. (1977). Metallogenesis associated with the coastal batholith of Peru: a review. *Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*, p 243-249. Buenaventura Ingenieros S.A.