



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Actividades geológicas para
mejorar el control de calidad
del mineral en el área de
Barrenación Larga – Minera
Tayahua**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Lisset Polett Gonzalez Meneses

ASESOR DE INFORME

Dr. Enrique Alejandro González Torres



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

Agradecimientos

INFINITAS GRACIAS para la mujer que siempre ha estado a mi lado apoyándome incondicionalmente, dejándome siempre como su prioridad; mi madre Emma Meneses Romo, gracias por cada consejo que siempre me has dado, por ser mi mejor amiga, por todas tus atenciones y esfuerzo.

Gracias

A la empresa FRISCO por abrirme sus puertas en Minera Tayahua, y dejarme empezar en el mundo laboral aplicando los conocimientos adquiridos en mi alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México.

A mi jefe y mis compañeros de trabajo por hacer una estancia amena y agradable; Juan Manuel López Martínez por ser un gran jefe y por su buen sentido del humor; a Víctor Javier García Gamez por la bonita amistad, por su atención y todo el apoyo; a José Rafael Hernández Martínez y a su familia por su amistad y todas las atenciones brindadas.

A mi asesor el Dr. Enrique Alejandro González Torres, y mis sinodales por su valioso tiempo.

Índice

Resumen	5
I. Introducción.....	6
1.1 Objetivo General	6
1.2 Objetivos particulares.....	6
1.3 Antecedentes	7
1.3.1 Descripción de la empresa.....	7
Perfil de la empresa.....	7
Misión	7
Visión	7
1.3.2 Evolución de la Unidad Minera	8
1.3.3 Ubicación	9
II. Geología.....	10
2.1 Geología Regional	10
2.2 Geología Local.....	12
Estratigrafía Local.....	13
Jurásico	14
Cretácico.....	17
Paleógeno.....	24
III. Características del Yacimiento Mineral	26
3.1 Marco conceptual sobre los yacimientos tipo skarn	26
3.2 Distrito Minero de Providencia – Salaverna	30
3.3 Provincia Metalogénica	32
IV. Operación de la Mina	35
4.1 Minas en Tayahua (División de Áreas)	35
4.2 Obras de la mina.....	38
4.3 Minado	44
V. Actividades y contribuciones realizadas en la Unidad Minera Tayahua.....	47
5.1 Metodologías utilizadas.....	50
5.1.1 Mapeo.....	50

5.1.2 Secciones Geológicas	57
5.1.3 Toma de Muestras	68
5.1.4 Control de leyes y dilución	72
VI. Resultados	75
VII. Conclusiones	76
Referencias	77

Resumen

En el presente trabajo se informan las actividades geológicas que realicé en la Unidad Tayahua, con el fin de contribuir profesionalmente a favor de Minera Frisco. Se describe y mencionan los antecedentes de la empresa, así como el contexto geológico en que se originó el yacimiento mineral explotado, ubicado en la provincia geológica Sierra Madre Oriental, en la porción de las Sierras Transversas.

Se describe la columna estratigráfica del área conformada por las formaciones en orden cronológico; Zuloaga, La Caja, Taraises, Cupido, La Peña, Cuesta del Cura, Indidura, Caracol, Parras y Ahuichila, con un cuerpo intrusivo que originó la mineralización de composición cuarzomonzonítico de edad Paleógena, que va de finales del Eoceno hasta el Oligoceno 43 a 32 Ma. El yacimiento mineral es tipo Skarn. Una vez que finalizó el emplazamiento del evento magmático, tuvieron inicio diferentes etapas de mineralización que formaron los distritos mineros Providencia y Concepción del Oro.

Los yacimientos tipo skarn han sido empleados para categorizar conjuntos calco-silicatados originados como resultado de procesos metasomáticos e hidrotermales relacionados en tiempo y espacio al enfriamiento de cuerpos ígneos de composición intermedia a félsica en contacto con secuencias de rocas sedimentarias carbonatadas, por lo que este tipo de depósitos se encuentran a lo largo de un amplio cinturón magmático que se extiende por todo el país de noroeste a sureste.

Además de mencionar como se encuentra integrada la mina y sus respectivas características para un mejor conocimiento, se describen las metodologías a detalle del trabajo geológico que realicé en dicha unidad, el cual consistió primordialmente de elaboración de un mapeo, y de la construcción de una serie de secciones longitudinales y transversales, así como su interpretación, muestreos tanto de canal como de detritos, así como un análisis, organización y control de resultados del muestreo.

I. Introducción

1.1 Objetivo General

Este trabajo tiene el objetivo de informar las actividades geológicas que desarrolle en la Unidad Tayahua durante un año de labores, en el cual apliqué mis conocimientos para llevar a cabo un mejor control de calidad respecto al control de las leyes en la producción, así como contribuir en el alcance de una mayor certeza sobre las áreas de tumbe en determinado tiempo, mediante la identificación de las mejores zonas mineralizadas para guiar al ingeniero minero con la proyección y orientación de barrenos, en el intento de reducir costos.

1.2 Objetivos particulares

- Realizar un mapeo geológico con la finalidad de caracterizar las áreas mineralizadas.
- A partir del mapeo que se realizó en la mina Santiago y Catasillas de Unidad Tayahua, efectuar las observaciones adecuadas para la elaboración de secciones geológicas y su interpretación.
- A partir de la elaboración de secciones geológicas longitudinales y transversales, realizar la proyección de barrenos sobre los cuerpos mineralizados, además de conocer cómo se encuentran las condiciones de la mina para tomar decisiones sobre la barrenación.
- A través del análisis de muestreo de interior mina realizado por barrenación larga, se pretende identificar los minerales presentes, y estimar la ley del mineral.
- A partir de los resultados de las leyes, obtener la media ponderada de las mismas, para planificar de manera más adecuada los planes de minado.

1.3 Antecedentes

1.3.1 Descripción de la empresa

Perfil de la empresa

Minera Frisco es una empresa con una amplia trayectoria dedicada a la exploración y explotación de yacimientos minerales a través de sus subsidiarias dentro de la República Mexicana, desempeñando la actividad de producción y comercialización principalmente de barras doré con contenidos de oro y plata. También produce cobre en forma de cátodo y concentrados de cobre, plomo-plata y zinc. Actualmente cuenta con nueve unidades mineras en operación: El Coronel, Asientos, El Porvenir, Tayahua, San Felipe, María, San Francisco del Oro, Ocampo y Concheño, (FRISCO, 2015), (HR Ratings-MFRISCO, 2018).

Minera Frisco realiza una estrategia constante en mejora de procesos, minimización de costos y maximización de resultados. A través de recursos propios, investiga las técnicas más modernas y rentables para la localización y procesamiento de minerales. Así también, realiza trabajos de exploración con el propósito de desarrollar nuevos proyectos, (FRISCO, 2015).

En lo relativo a su compromiso social desarrolla actividades con la intención de mejorar la calidad de vida en las comunidades relacionadas a sus proyectos y de sus unidades mineras, promoviendo la capacitación, la educación y la salud. Así mismo, implementa iniciativas de sustentabilidad enfocándose en minimizar la generación de residuos, el consumo de agua, el consumo de energía y en compensar los impactos ambientales adversos, (FRISCO, 2015).

Misión

Trabajar de manera armónica con todos nuestros grupos de interés, promoviendo una cultura de innovación y prácticas de eficiencia tecnológica y ambiental, que nos permitan crecer de manera conjunta hacia el logro de nuestros objetivos, (FRISCO, 2015).

Visión

Ser una empresa minera eficiente en la extracción de metales preciosos y metales base, que tenga el menor riesgo en sus procesos y que garantice el retorno de inversión a sus accionistas y favorezca el desarrollo de las comunidades de manera sustentable, (FRISCO, 2015).

1.3.2 Evolución de la Unidad Minera

La fecha del descubrimiento de las minas de Mazapil, se estima durante el año 1556. Sin embargo, es probable que la explotación más formal de las minas debió haber comenzado después de la fundación del poblado de Mazapil, que fue en el año de 1568. Desde su descubrimiento los depósitos de mineral se comenzaron a explotar por Francisco de Urdiñola y desde esa época, prácticamente no se han dejado de explotar diferentes minas del distrito. La explotación minera del distrito, se estima que inicia en el área de Salaverna en la mina El Nazareno, (Servicio Geológico Mexicano, 2018).

La Unidad Minera, a partir de inicios del siglo pasado ha cambiado de propietarios y de razón social. De acuerdo con información del Servicio Geológico Mexicano (2018), se enuncian a continuación algunos datos relevantes:

- De 1915 a 1972, la Compañía Minera Peñoles Unidad Avalos inició un nuevo período de explotación de Ag, Pb, Zn, logrando producir 3'000,000 de toneladas métricas de óxidos con leyes de: Pb, 12 % y Ag, 800 g/t y 4'000,000 de toneladas de sulfuros con ley de: Pb, 6.5 %; Zn, 13 % y Ag, 200 g/t, en las minas Albarradon, San Eligio, Providencia, El Refugio y Santiago.
- De 1972 a 1978, la explotación continuó por parte de la Compañía Minera Providencia del Año Nuevo S.A. de C. V, la cual produjo 600,000 toneladas de mineral con una ley de: Pb, 2.8 %; Zn, 6.4 %, Cu, 1.2 % y Ag, 154 g/t.
- De 1977 a 1998, la minera pasó a ser propiedad del Sr. Luis Gutiérrez Treviño, originario de Saltillo – Coahuila, con el nombre de Minera Tayahua S.A. de C.V., produciendo 2'400,000 toneladas métricas de mineral con leyes de: Pb, 1.60 %; Zn, 4.40 %; Cu, 1.0 % y Ag, 83 g/t.
- En 1998 Minera Tayahua S. A de C.V. fue adquirida por grupo Frisco en un 51%, (FRISCO, 2011).
- El 1 de noviembre del 2018 Minera Tayahua S.A. de C.V cambio de razón social y pasó a ser Ocampo Mining S.A. de C.V. Unidad Tayahua, produciendo 10 000 toneladas diarias.

1.3.3 Ubicación

El acceso a la Unidad Tayahua es por la autopista de cuatro carriles de Zacatecas a Concepción del Oro, desde esta comunidad se continúa rumbo a Saltillo, Coahuila, y 6 km adelante, se toma una carretera pavimentada al oeste por 15 km, que conduce hasta el poblado de Terminal de Providencia, municipio Mazapil, estado de Zacatecas. La unidad se localiza a 126 km de la ciudad de Saltillo y 275 km de la ciudad de Zacatecas. Figura (1).

En las coordenadas geográficas 24°40'47" latitud norte y 101°28'26" latitud oeste, se encuentra la planta de beneficio, las oficinas y el campamento de la unidad. Las entradas principales de la mina son: la rampa Gloria Estela (ingreso de vehículos), el Socavón Providencia (ingreso a través de arzones), Tiro Santiago (Clausurado) y Ozuna (Ingreso con vehículo). Mostrándose tales accesos en las Figuras (9 y 10).

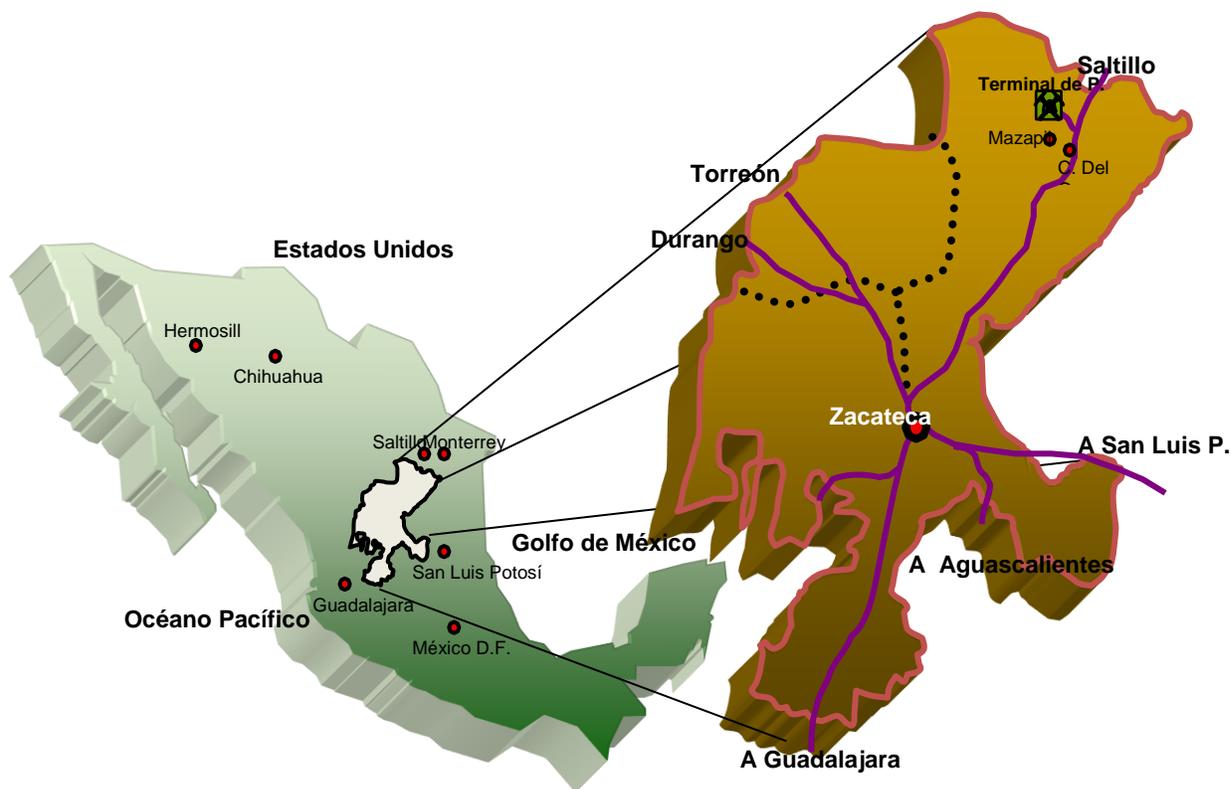


Figura (1). Ubicación de Ocampo Mining – Unidad Tayahua. Proporcionada por Unidad Tayahua.

II. Geología

2.1 Geología Regional

La Unidad Tayahua se localiza en la provincia geológica Sierra Madre Oriental (SMO) Figura (2), y en forma específica pertenece a la porción denominada Sector Transversal de Parras Figura (3), (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2000). De acuerdo con Fitz-Díaz la SMO cuenta con una espectacular expresión topográfica pertenece al denominado Orógeno Mexicano el cual tiene una longitud de 2000 km y un ancho variable de cientos de km a lo largo de una zona alargada que se extiende hacia el norte desde el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca hasta el noroeste de Sonora. La SMO es representada por un relieve morfoestructural curvado, que se ubica desde la Faja Volcánica Transmexicana, hasta la proximidad de la Ciudad de Torreón, Coah., cuyas dimensiones son de más de 800 km de longitud y de 80 a 100 km de amplitud, extendiéndose preferencialmente en dirección NW-SE, haciéndose más angosta hacia el sur, (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2000; Fitz-Díaz *et al.*, 2018). En dichos extremos NW y SE, la Sierra Madre Oriental está cubierta por derrames volcánicos del Cenozoico de la Sierra Madre Occidental y de la Faja Volcánica Transmexicana, respectivamente. (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2000).

En términos geológicos, la Sierra Madre Oriental es el producto de levantamientos y deformaciones de rocas principalmente mesozoicas, y paleógenas; incluido su basamento, el cual está compuesto mayormente de gneises de edad Precámbrica, hasta esquistos de edad pre-oxfordiana, así bien a finales del Cretácico Temprano empezó el emplazamiento de rocas magmáticas, (Fitz-Díaz *et al.*, 2018; Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2000).

De acuerdo al análisis estratigráfico, paleogeográfico y morfoestructural, la franja plegada del frente de la Sierra Madre Oriental puede dividirse en sectores nombrados: San Pedro del Gallo, que corresponde al extremo noroeste de la cadena plegada; Sector Transversal de Parras, situado entre Jimulco y Saltillo, Coah.; Sector Saliente de Monterrey, se ubica desde el poniente de Monterrey, hasta Aramberri, N.L.; Sector Valles localizado entre Cd. Victoria, Tamps., y Valles, S.L.P. y el Sector Huayacocotla, entre Tamazunchale y Tezuitlán, Pue. (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2000).

Para nuestro interés nos enfocaremos al Sector Transversal de Parras debido a la ubicación de la unidad minera. El estilo estructural en el Sector Transversal de Parras es dominado por plegamiento. Los pliegues están orientados NW 70° SE, se caracterizan por ser angostos y alargados, con periclinales con buzamiento al E-SE. Los planos axiales de sus pliegues son en su mayoría subverticales y vergentes al N-NE, pero ocasionalmente pueden presentar vergencias opuestas. (Eguiluz-de Antuñano *et al.*,

2000). Este rasgo es conspicuo hacia el frente de montaña, donde se presenta un bloque expulsado, limitado por fallas de vergencias opuestas.

Las rocas más antiguas son esquistos que subyacen a una sección tripartita de rocas del Jurásico superior, la unidad inferior está separada de los esquistos por una discordancia subhorizontal y no afectada por plegamiento; encima se observan las evaporitas, sobre las que resbala la base de pliegues sinclinales, formados por la caliza superior y la columna Cretácico-Jurásica restante. Los estratos del Jurásico superior muestran deformación compleja en los núcleos de los anticlinales, pero el resto de la columna, en niveles estratigráficos más jóvenes, tienen geometría simple con carencia de fallas. Estas relaciones, junto con el ángulo alto de los flancos posteriores del pliegue y los estratos no plegados en la base de los sinclinales, sugieren una mecánica de plegamiento por despegue (*detachment*) y provee el mejor modelo geométrico para estos pliegues. Secciones sísmicas muestran el basculamiento del complejo basal y su cubierta, suavemente inclinada al SSW. (Eguiluz-de Antuñano *et al.*, 2000).

SMO en el estado de Zacatecas

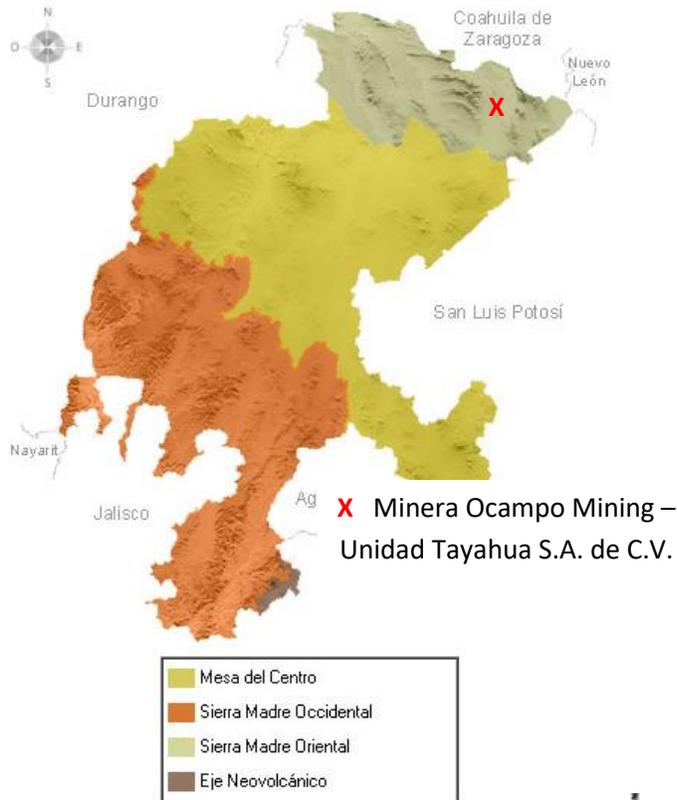
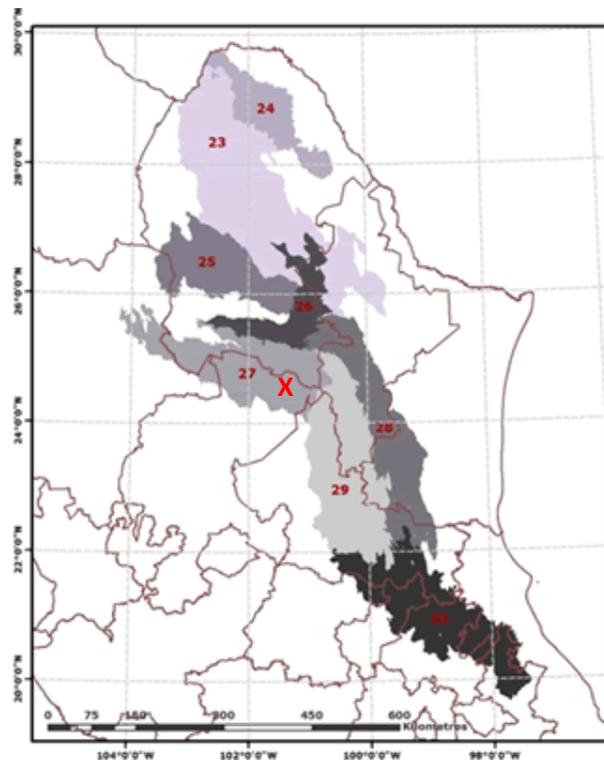


Figura (2). División del estado de Zacatecas en sus Provincias Geológicas, mostrándose Minera Ocampo Mining – Unidad Tayahua S.A. de C.V. en la Sierra Madre Oriental. Tomado de INEGI.

Figura (3). Con el número 27 se identifica el Sector Transversal de Parras. Tomado de INEGI.

Sector Transversal de Parras



2.2 Geología Local

Estratigrafía Local

La Minera Ocampo Mining S.A de C.V – Unidad Tayahua se encuentra comprendiendo las unidades estratigráficas que se describen posteriormente, ordenadas de acuerdo a su cronoestratigrafía; donde el área de este trabajo se encuentra abarcando la Formación Cuesta del Cura, mostrándose a continuación la respectiva columna estratigráfica local. Figura (4).

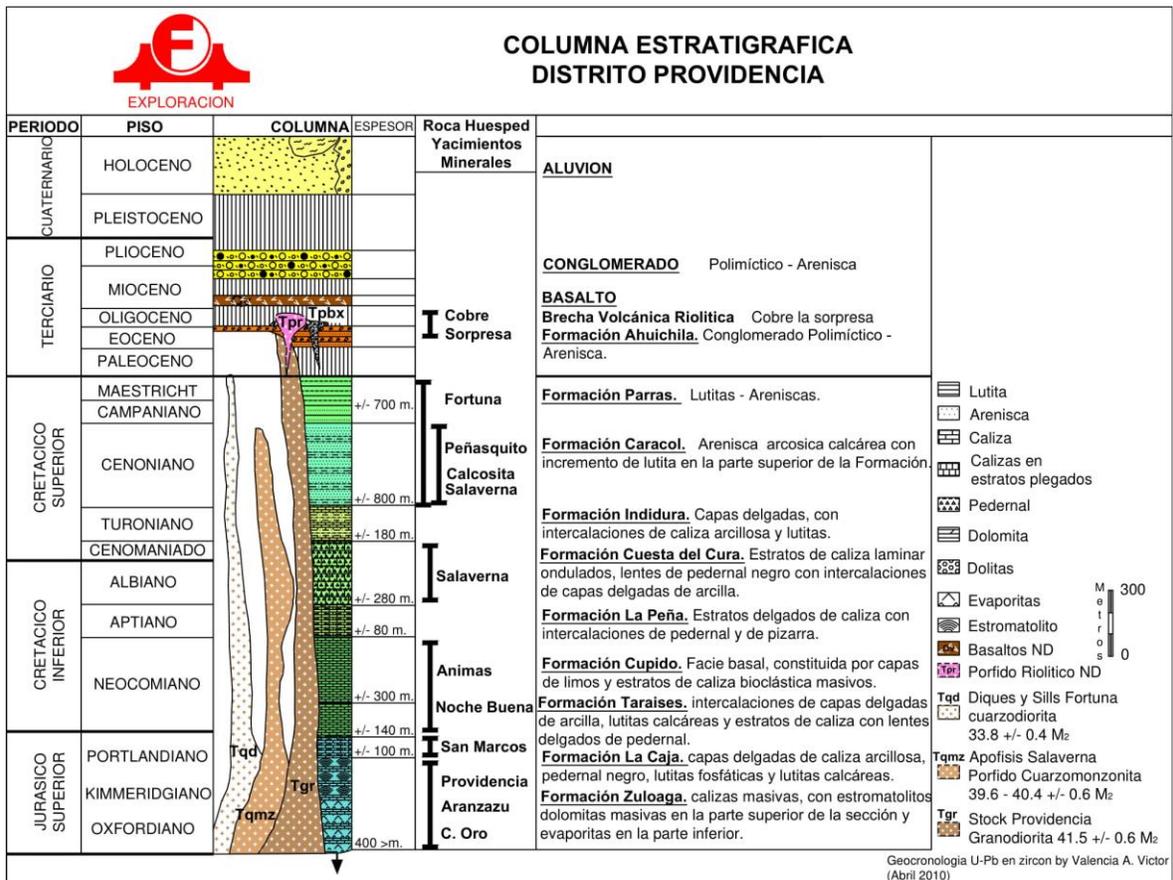


Figura (4). Columna estratigráfica – Distrito Providencia, Unidad Tayahua Proporcionada por Unidad Tayahua.

Jurásico

Formación Zuloaga

La localidad tipo de esta unidad se ubica en la Sierra de Sombrerillo al norte de Melchor Ocampo, Zacatecas, (Imlay, 1938). Se presenta caliza de estratificación gruesa, presentándose capas de 0.91-1.5 m incluso 3.05 m, generalmente de color gris oscura, aunque en las partes inferior y media se pueden observar capas de color gris medio a claro, (Imlay, 1938-1953). Texturalmente corresponde a una packstone, predominantemente constituido por granos no esqueletales (Salvador, 1991). Se caracteriza por la abundancia de fracturas estilolíticas relativamente grandes, (Pérez - Rul, 1967).

Espesor

El espesor de esta formación es muy variable teniendo 548.64 m, en su localidad tipo (Imlay, 1938). Y en la sierra de catorce al norte de San Luis Potosí 304.8 m (Imlay, 1953).

Distribución

Es la principal formadora de las montañas en el norte del estado de Zacatecas, sureste de Coahuila y norte de San Luis Potosí; aflora en los levantamientos anticlinales mayores de la Sierra Madre Oriental, desde la región de Saltillo y Monterrey hacia el sur, hasta la porción meridional de Nuevo León y suroccidental de Tamaulipas. (Imlay, 1953).

Relaciones Estratigráficas

La caliza Zuloaga es sobreyacida por la Fm. La Caja (Imlay, 1938), y la Casita (Pérez-Rul, 1967).

Ambiente de depósito

Para su ambiente de depósito se considera que la asociación faunística indica que fue depositada en profundidades no mayores a 100 m sobre un banco carbonatado en profundidades neríticas libre de la energía del oleaje, (Pessagno y Martin, 2003).

Importancia económica

Desde el punto de vista económico esta unidad es importante para los yacimientos minerales, ya que está constituido por estratos de caliza recristalizados - calcita, que se presentan mineralizados con antimonio, (Zarate del Valle, 1982), y en el noroeste de México, es una unidad productora de petróleo y gas de menor importancia, (Salvador, 1991).

Formación La Caja

La localidad tipo de esta unidad se ubica en la vereda del Quemado, en la Sierra de La Caja, norte de Mazapil-Zacatecas.

Consiste en una secuencia de calcarenitas y limolitas calcáreas que en conjunto presentan un color gris rosáceo con abundante fauna de amonitas (Padilla y Sánchez, 1978); y fosforita (Padilla y Sánchez, 1978; PEMEX, 1988), así como una secuencia de mudstone de color gris claro y oscuro en capas de unos cuantos centímetros a 10 cm de espesor con interstratificaciones de lutita calcárea, además de bandas de pedernal negro (PEMEX, 1988).

Los miembros litológicos propuestos por Pessagno *et al.* (1999), se describen como:

1. Miembro lutita inferior, consiste en mudstone gris oscuro que varía de silíceo a calcáreo con nódulos micriticos gris oscuro, presentando localmente masas lenticulares de micrita gris oscura de estratificación delgada, con un espesor de 52 m.
2. Miembro pedernal, incluye mudstone silicio gris oscuro, interestratificadas con pedernal negro de radiolarios de estratificación delgada y menor cantidad de micrita gris oscura, con un espesor ~316 m.
3. Miembro lutita superior, comprende mudstone silíceo gris oscuro y en menor cantidad micrita gris oscura de estratificación delgada, con un espesor de 36 m.
4. Miembro Cantera Cerro Panteón, consiste en caliza micritica roja-rosa y gris rosáceo, limolita calcárea y mudstone calcáreo, con un espesor de 6 a 77 m.

Relaciones Estratigráficas

El contacto inferior es concordante con la Fm. Zuloaga, y el superior también es concordante con la Fm. Taraises (Regalet-Figueroa, 2011).

Ambiente de depósito

Por sus características litológicas y el contenido macro y microfaunístico, se interpreta que su depósito se efectuó en facies profundas (PEMEX, 1998), arriba del nivel de compensación de la aragonita, (Pessagno *et al.* 1999). Debido al contenido de amonitas y al porcentaje alto de bivalvos, la plataforma donde se desarrollaron debió tener profundidad entre 50-70 m.

Importancia Económica

Su importancia económica radica en que sirve como roca encajonante en la zona mineralizada La Casita, la cual contiene fosforita, cobre, barita, barita asociada con celestita al norte en el estado de Coahuila (Santiago-Carrasco *et al.*, 2000), así como el área mineralizada El Trebol al noroeste de la localidad Concepción del Oro- Zacatecas con una producción promedio de 30-50 g/ton de Au (Broili y Carden, 2004). En el Distrito Minero Concepción del Oro existen, dentro de esta unidad, yacimientos de tipo skarn representados por cuerpos de forma irregular incluidos en halos de metamorfismo, la mayoría de las estructuras mineralizadas corresponden a chimeneas, dentro de las cuales destacan valores de oro, y plata asociados a cobre y fierro, con una mineralogía de hematita, magnetita, óxidos de hierro, especularita, malaquita, azurita, bornita, pirita, calcopirita, arsenopirita, cuarzo, turmalina, granate, yeso, goethita (Montañez-Castro y Torres Duran, 2003).

Cretácico

Formación Taraises

La localidad tipo se encuentra en el cañón Taraises, donde existe buena exposición de la roca de la unidad. (Imlay, 1936).

La Fm. Taraises se divide en dos miembros litológicos, en el miembro inferior se describe como calizas grises, resistentes a la erosión, el miembro superior se constituye por calizas de estratos delgados, así como de calizas arcillosas con textura de mudstone a wackestone de color gris oscuro con intercalaciones de margas y lutitas calcáreas de capas laminares en estratos de medianos a gruesos. (PEMEX, 1988; Imlay, 1936). Así mismo se observan delgadas bandas y lentes de pedernal intercaladas con estratos de lutitas y limolitas, líneas estilolíticas paralelas a la estratificación (Santamaría-Orozco *et al.*, 1990), y horizontes terrígenos de color gris. (Barbosa-Gudiño *et al.*, 1998).

Espesor

El espesor de esta unidad tiene gran variabilidad dependiendo de la localidad de afloramiento, yendo desde los 25 m hasta los 300 m en promedio. (Imlay, 1940; PEMEX, 1988).

Distribución

Esta Formación es característica de la porción media y oriental del Sector Transversal de la Sierra Madre Oriental. (Barbosa-Gudiño *et al.*, 1998).

Relaciones estratigráficas

El contacto inferior de esta unidad es concordante con la Fm La Caja, La Casita, Pimienta y Carbonera. El contacto superior es transicional y concordante con la Fm. Cupido y con la Fm. Tamaulipas inferior. (PEMEX, 1988).

Ambiente de depósito

El ambiente de depósito se formó en una cuenca profunda, con un ambiente reductor y depositación singenética de pirita. (Santiago-Carrasco *et al.*, 2000).

Importancia económica

De importancia económica se reporta que rocas de esta unidad se encuentran encajonando a una estructura mineralizada "La Negra" en el estado de San Luis Potosí. (Soto-Araiza *et al.*, 2001). Así mismo Santiago Carrasco *et al.* (2000), reporta que las rocas de la unidad encajonan zonas mineralizadas Pb-Zn, Barita, Yeso y Calcita.

Formación Cupido

En esta unidad se incluyen las rocas del miembro inferior de la Formación La Peña, que afloran en la parte media de la Sierra de Parras. La localidad tipo es la pared norte del Cañón Mimbre, a unos 60 kilómetros al sureste de Parras, Coahuila. (Imlay, 1937)

Consiste en calizas de color gris oscuro, formando capas con concreciones de pirita, y concreciones de pedernal gris claro, (Imlay, 1937). Esporádicamente las calizas están intercaladas con capas de limolitas de color violáceo; y en algunos sitios se observaron algunas brechas sinsedimentarias. (Tristán-González y Torres-Hernández, 1994).

Espesores

En la localidad tipo (Cañón de Mimbre) se reporta un espesor de 431.29 m (Imlay, 1937), y en Melchor Ocampo- Zacatecas tiene un espesor de 293 m (Humphrey y Díaz, 2003).

Distribución

La Formación Cupido ha sido reconocida a lo largo de toda la Sierra Madre Oriental, en los estados de San Luis Potosí, Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Zacatecas y Durango, también tiene una amplia distribución en todas las zonas del Golfo de Sabinas y a lo largo de los bordes de la Península de Coahuila (Humphrey y Díaz, 2003).

Relaciones estratigráficas

El contacto inferior es concordante con la Fm. Taraises y el contacto superior es concordante con la Fm. La Peña. (Imlay, 1937).

Ambiente de depósito

La interpretación del ambiente de depósito de esta unidad, corresponde a dos distintos tipos de ambiente: la parte inferior ha sido relacionada a ambientes poco profundos, (Humphrey y Díaz, 2003), en plataforma somera, con ciclos de carbonatos depositados en un área protegida por un borde arrecifal, a margen somero de barrera. (Lehmann *et al.*, 1998). La parte superior se depositó en un ambiente de aguas profundas, representado por wackestone de foraminíferos y mudstone intercalados con sustratos endurecidos; por lo tanto, se infiere que estos ciclos están gobernados por cambios relativos del nivel del mar. (Lehmann *et al.*, 1998).

Importancia económica

Esta unidad tiene importancia económica tanto petrolera; Cuenca Sabinas y Península de Tamaulipas, (PEMEX, 1988), como minera; yacimientos minerales de Plomo, Zinc y Barita. (González-Ramos *et al.*, 1997).

Formación La Peña

El flanco occidental de la Sierra de Parras, Coahuila México en la parte norte del Cañón del Mimbres en la Sierra de Taraises cerca de la Hacienda de La Peña.

Imlay (1936), en su descripción original la dividió en dos miembros: un miembro inferior de 426.72 m de calizas gris oscuro a gris claro en estratos medianos a gruesos con algunas zonas de caliza finamente estratificada junto a cantidades variables de lutita, las superficies intemperizadas son de color gris a gris amarillento y puede contener nódulos de pirita. El miembro superior consiste en un paquete de 15.24 a 24.38 m de calizas de capas delgadas y lutitas interestratificadas; sin embargo, más tarde Humphrey (1949) menciona que la unidad está formada por margas de color gris que intemperizan en colores rosa y rojo, interestratificadas con delgadas capas de calizas de color gris claro a gris oscuro. Presenta estratos delgados de lutitas fisiles de color gris oscuro a negro y comúnmente contiene vetillas y lentes de pedernal de 3 a 9 cm de espesor.

Distribución y Espesores

Hacia el sur-suroeste de la localidad tipo en las regiones de Concepción del Oro, Zacatecas, Sierra de Catorce y Sierra del Coro en la Cuenca Mesozoica del Centro de México su espesor es de 105 m, 40 m y 200 m respectivamente (Padilla y Sánchez, 1982; Labarthe-Hernández *et al.*, 1982; Barboza-Gudiño *et al.*, 2004).

Relaciones estratigráficas

En el norte y noreste localmente sobreyace a la caliza Cupido y subyace a la caliza Aurora. Sin embargo, hacia el oriente y sur cambia a facies más profundas sobreyaciendo a la Formación Tamaulipas inferior y subyaciendo a la Formación Tamaulipas superior. En las zonas centrales de las cuencas circundantes la Formación La Peña subyace a la Formación Cuesta del Cura del Albiano-Cenomaniano (Padilla y Sánchez, 1982; Carrillo-Bravo, 1982).

Ambiente de depósito

Se le atribuye un ambiente peri-continental de poca profundidad y con influencia detrítica continental.

Importancia económica

No establecida.

Formación Cuesta del Cura

Imlay (1936) ubica su sección tipo en la Cuesta del Cura a 4 millas al oeste de la Sierra de Parras, Coahuila, donde está excelentemente expuesta.

Esta unidad consta de capas delgadas de caliza ondulosa y compactas de color gris oscuro a negro; incluye lutita gris y numerosos lentes de pedernal, algunas capas de caliza son finamente laminadas con bandas grises y negras intercaladas. Imlay (1936).

Espesores

Los espesores de tal Formación dependen de la localidad visitada, variando de 34 m a 100-150 m (Barboza-Gudiño *et al.*, 2004), incluso llegar a los 400 m (Ledezma-Guerrero, 1967).

Distribución

Barboza-Gudiño *et al.* (2004) registra en San Luis Potosí en la Sierra de Catorce a la Formación Cuesta del Cura y menciona que esta unidad tiene una amplia distribución en el norte y noreste de México, en la Sierra Madre Oriental y en la Mesa Central.

Relaciones estratigráficas

Sobre las formaciones La Peña (PEMEX, 1988) y Tamaulipas superior (PEMEX, 1988; Barboza-Gudiño *et al.*, 2004). El contacto superior es concordante y transicional con la Formación Indidura (Imlay, 1936; PEMEX, 1988; Barboza-Gudiño *et al.*, 2004); sin embargo, Enciso de la Vega (1963) reporta este contacto marcado por una discordancia.

Ambiente de depósito

Con base en la litología y asociación micro faunística de planctónicos, PEMEX (1988) interpreta que esta formación se depositó en ambientes profundos con baja circulación; mientras que Barboza-Gudiño *et al.* (2004), mencionan que el ambiente de depósito se interpreta como nerítico profundo, con buena oxigenación y un aporte cíclico constante de sedimentos terrígenos; asimismo, agrega que por su contenido macro y microfaunístico, y su litología, esta unidad se depositó en un ambiente marino pelágico de cuenca, con profundidades de una zona circalitoral a epibatial de más de 200 m en aguas tranquilas. En interpretaciones más recientes, Ángeles Villeda *et al.* (2005), Arvizu-Gutiérrez (2006) y Villareal-Fuentes (2007) consideran el depósito de esta unidad de facies profunda.

Importancia económica

No documentada.

Formación Indidura

Localidad tipo: no designada, toma su nombre de las exposiciones orientales del Cerro Indidura, situado a 8 kilómetros al norte del Tanque Toribio, sur de la Sierra de Santa Ana, al sureste de Las Delicias, Coahuila (Kelly, 1936).

Consiste de una alternancia de lutita y caliza tipo mudstone a wackestone en partes arcillosos, en capas de espesor delgado a medio con algunas intercalaciones de arenisca, así predominando las coloraciones grises oscuro; negro en la caliza y gris verdoso en la lutita (PEMEX, 1988).

La Fm. presenta una edad del Cenomaniano-Turoniano debido a su posición estratigráfica y contenido paleontológico. (Rogers *et al.*, 1957).

Distribución

Aflora en gran parte del Sector Transversal de la Sierra Madre Oriental, en la Cuenca de la Mesa Central, parte sur de la Plataforma de Coahuila y en la porción occidental de la Sierra Madre Oriental (PEMEX, 1988).

Espesores

Tiene un espesor de 652 m en las Lomas de San Pablo en la Sierra de Parras – Coahuila estando la sección completa y bien expuesta (Imlay, 1936). En la región de Concepción del Oro, Zacatecas Rogers *et al.*, (1957) midieron 180 m de espesor en esta unidad.

Relación estratigráfica

La Formación Indidura sobreyace de manera concordante y transicional a la Formación Cuesta del Cura, de igual forma subyace a la Formación Caracol y se interdigita en esta zona con las facies de talud de la Plataforma Valles-San Luis Potosí (Barboza-Gudiño *et al.*, 2004).

Ambiente de depósito

La Formación Indidura representa depósitos de aguas someras, como lo indica la gran cantidad de lutita negra, la presencia de yeso y limolita en el miembro basal (Imlay, 1936).

Importancia económica

No determinada.

Formación Caracol

La localidad tipo se ubica en lado oeste del Arroyo Caracol al oriente de la Sierra de San Ángel, Estado de Coahuila (Imlay, 1937). Consiste en una sucesión irregular de lutita, arenisca y caliza con interestratificaciones de toba desvitrificada y presencia de caliza silíceas interestratificadas (novaculita), (PEMEX, 1988).

Distribución y Espesores

La Formación Caracol se distribuye ampliamente en las áreas oriental y media occidental de la Cuenca de la Mesa Central y en la parte sur-media del Sector Transversal de la Sierra Madre Oriental. Su espesor es irregular reportándose rangos de 200 m a 1000 m. (PEMEX, 1988).

Relaciones Estratigráficas

Su contacto inferior es transicional sobre las formaciones Indidura y Soyatal, mientras que el contacto superior se encuentra erosionado y en discordancia angular con depósitos continentales del Paleógeno o con derrames ígneos del Neógeno (PEMEX, 1988).

Ambiente de depósito

Por su litología y rasgos sedimentológicos, las rocas de la Formación Caracol se depositaron en una cuenca poco profunda, con libre circulación y parcial influencia del oleaje, dentro de una zona sublitoral entre 50 y 100 m de profundidad (Barboza-Gudiño *et al.*, 2004).

Importancia económica

En la Carta Geológico-Minera Concepción del Oro (Montañez-Castro *et al.*, 1999), se manifiesta como una unidad muy favorable para el emplazamiento de la mineralización de Oro-Cobre, relacionados a los troncos monzonítico y sienítico de la Sierra El Astillero y en el distrito de Melchor Ocampo con mineralización de Plomo, Zinc, Plata, Cobre y Oro relacionada al tronco granodiorítico.

Formación Parras

La localidad tipo está situada en Lomas de San Pablo a 6.4km al noreste de la ciudad de Parras, Coahuila, (Imlay, 1936). Lutita calcárea fisil o nodular, color gris oscuro a negro y gris verdoso con capas delgadas de arenisca calcárea amarilla de grano fino, así como horizontes de caliza mudstone densa y color negro. (Imlay, 1936).

Espesores

La Fm. Consta de un espesor variable entre 300 y 1500 m, cabe señalar que en el área de Melchor Ocampo Mazapil Zacatecas se midieron 609.6 m (Weidie y Murray, 1967).

Distribución

Se distribuye en el flanco norte de sierra La Caja, en los alrededores del Distrito Minero Terminal de Providencia (Rogers, *et al.* 1961; Montañez-Castro y Torres- Durán, 2003).

Relaciones Estratigráficas

El contacto inferior es concordante y transicional con las Fm. Indidura, Caracol y Eagle Ford. El contacto superior es concordante con el grupo Difunta específicamente con la Fm. Muerto y Cerro del Pueblo, así como con la Fm. Upson. Este contacto se ha observado discordante con el Conglomerado Sabinas y con la Fm. Ahuichila y se ha detectado cabalgada por las Fm. Zuloaga, Olvido, Cupido y Tamaulipas superior. (Imlay, 1936).

Ambiente de depósito

La unidad se depositó probablemente de manera flysch de antifosa, en ambientes marinos relativamente someros con influencia de plataforma externa en facies de prodelta, (GYMSA, 2008).

Importancia económica

Depósitos de arcilla bajos en carbonato de calcio, los cuales se han utilizado en fabricación de ladrillos y losetas para la industria de la construcción. (Santiago-Carrasco *et al.*, 2000).

Paleógeno

Formación Ahuichila

Rogers *et al.*, (1961) proponen el nombre de Formación Ahuichila y describen capas de conglomerado, arenisca, lutita, caliza lacustre y toba, que afloran cerca de Ahuichila, Coahuila.

La Formación Ahuichila consta de conglomerado y brecha de origen continental, compuesta por fragmentos sub-redondeados de caliza gris, calcilutita rosada, arenisca café, pedernal negro y fragmentos de rocas ígneas; los fragmentos varían en diámetro de 1 a 20 cm; su matriz es arcillosa-arenosa y el cementante está compuesto de arcilla calcárea y limolita; la erosión forma terrenos altos en forma de mesas y cantiles en sus bordes (Enciso de La Vega, 1963).

Pérez-Rul (1967) describe dos miembros de la Formación Ahuichila, el inferior de 30 m de espesor, compuesto de material tobáceo, y arenisca deleznable, interestratificada con capas delgadas de yeso, contiene glauconita; el miembro superior de 275 m de espesor, consiste de conglomerado bien cementado y compuesto de clastos subredondeados de caliza, pedernal y rocas volcánicas de 2 a 5 cm de diámetro.

Ambiente de depósito

La presencia de caliza delgada porosa con yeso, indica un ambiente lacustre (Clemons y McLeroy, 1962).

Importancia económica

No establecida.

Intrusivo Cuarzomonzonítico

El intrusivo cuarzo-monzonítico se emplaza principalmente en los ejes de los anticlinales (pueden representar debilidades estructurales) de algunas de las formaciones antes mencionadas, donde forma parte del Cinturón de Intrusivos de Concepción Del Oro, teniendo una orientación preferencial E-W y geológicamente se encuentra en la parte sur de las Sierras Transversales y poco antes de la curvatura de Monterrey, tiene una edad del Paleógeno, que va de finales del Eoceno hasta el Oligoceno, de acuerdo con Sosa-Valdés (2011) a partir de cristalización de circones obtenidas por el método de U-Pb se obtiene una edad de 43 a 32 Ma. (Alfaro-Torres, 2015; Ramírez-Díaz, 2012).

Al finalizar el emplazamiento de la cuarzomonzonita se presentan etapas mineralizadoras formando los distritos mineros Providencia, y Concepción del Oro. Se identifican tres pulsos magmáticos que dieron origen a estos cuerpos, y se relaciona la mineralización de Cu con etapas de emplazamiento temprano, mientras que la mineralización de Pb, Zn y Ag, se relaciona con pulsos tardíos.

En muestra de mano dicho intrusivo se presenta como una unidad de grano medio con tonalidades verde-grisáceas en muestra fresca. La cuarzomonzonita se caracteriza por una textura inequigranular holocristalina, constituida principalmente por plagioclasa subhedral (25–40 %, 0.3–2.0 mm de diámetro), con zonación oscilatoria mostrando maclas polisintéticas y de Carlsbad, el feldespato alcalino presente (25–41 %, 0.3–4.1 mm de diámetro) ocasionalmente presenta texturas peritéticas. La biotita (4–11 %) exhibe formas principalmente euhedrales de 0.5 a 1.8 mm de diámetro máximo, un hábito hojoso, e inclusiones de minerales máficos. El anfíbol (1–8 %) se presenta en forma de cristales (0.5–2.4 mm de longitud) subhedrales y anhedrales de color café, con inclusiones de minerales máficos dentro de los cristales de mayor tamaño, confiriéndole una textura tipo poiquilítica. El cuarzo (3–5%) se presenta como granos subhedrales de 0.3–0.5 mm o en formas anhedrales de 0.5–1.0 mm de diámetro, con extinción ondulante y desarrollo de pequeñas fracturas. La mineralogía se complementa con ortopiroxenos (0.5–11 %) y clinopiroxenos (1–9 %) de 0.2–1.0 mm de longitud, titanita euhedral (1–7 %, 0.2–0.7 mm de diámetro) y minerales opacos diseminados. (Velasco-Tapia, 2011).

III. Características del Yacimiento Mineral

3.1 Marco conceptual sobre los yacimientos tipo skarn

El término de yacimiento tipo skarn se usa para categorizar conjuntos calco-silicatados formados como resultados de procesos metasomáticos e hidrotermales relacionados en tiempo y espacio al enfriamiento de cuerpos ígneos de composición intermedia a félsica en contacto con secuencias de rocas sedimentarias carbonatadas. (Alva Valdivia, 2011). La mayor concentración económica de minerales se produce durante el enfriamiento del sistema hidrotermal, coincidiendo con el inicio del proceso retrogrado, (Dawson K.M, 1996).

Las rocas metasomáticas de contacto mineralizadas se desarrollan en diversos ambientes tectónicos, siendo comúnmente; márgenes continentales y arcos oceánicos, básicamente donde se encuentran rocas carbonatadas asociadas a las intrusiones tipo I. (Meinert, 2005). Así también ocurren a lo largo de los arcos de margen continental en donde tales litologías son más comunes, resultado de la sedimentación en cuencas tras-arco, asociándose a las intrusiones Tipo S. (Alva Valdivia, 2011; Meinert, 1992). El skarn de Concepción del Oro – Zacatecas ocurrió en márgenes continentales, (Dawson K.M, 1996).

La clasificación de los Skarn se da por el mineral metálico más abundante, abarcando principalmente Cu, Pb, Zn, Au, Fe, W y Sn, así como en otros minerales industriales, (wollastonita, grafito, asbesto, talco, fluorita), (Pérez-Segura y González-Partida, 2010). Por regla general los Skarn de Fe y Au tienden a estar asociados a intrusiones de composición más máfica a intermedia. Los skarn de Cu, Pb, Zn y W están asociados a intrusiones graníticas, tipo-I, calcoalcalinas, con magnetita, oxidadas. Los skarn de Mo y Sn están asociados a granitos más reducidos, tipo-S, con Ilmenita. (Meinert, 1992). Figura (5).

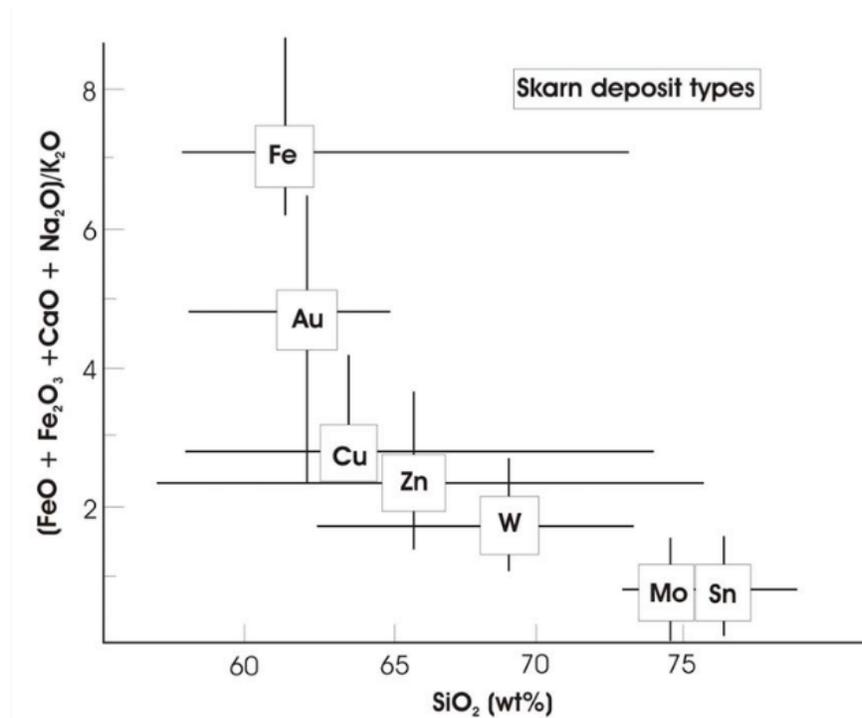


Figura 5. Relación entre la composición de intrusiones ígneas y el metal dominante en varios depósitos de skarn; SiO₂ contra $[\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}]/\text{K}_2\text{O}$ (Meinert, 1992).

Temperaturas de formación de un skarn:

1. La intrusión el magma intermedio a granítico ocurre entre 900-700°C, probablemente a poca profundidad, (quizás desde decenas o cientos de metros hasta varios kilómetros).
2. El contacto metamórfico (deshidratación y descarbonización), de las rocas ocurre a 700-500°C. La cristalización del intrusivo continúa a hasta completar el proceso.
3. La formación temprana de skarn en zonas anhidras se produce a 600-400°C, debido a la liberación de fluidos ricos en hierro y sílice del magma, o a la llegada de fluidos de una fuente más profunda. En las calizas, los minerales dominantes de skarn temprano son comunes; granate y / o clinopiroxeno; en dolomita forsterita y / o flogopita.
4. La formación del mineral metálico comienza entre 500-300°C, a medida que continúa la formación del Skarn.

5. La alteración hidrotermal tardía ocurre entre 400-200°C o menos, con la destrucción de minerales de skarn anhidros tempranos y la deposición continua de minerales. La serpentina reemplaza la forsterita, y la calcita, la magnetita, la hematita, el cuarzo, la pirita, la ilvanita, el clorito y otros minerales reemplazan el granate y el clinopiroxeno.

Durante las etapas 4 y 5 de arriba, el fluido portador del mineral presumiblemente cambia de magmático a meteórico convectivo de circulación profunda. Los minerales de silicato característicos de las últimas fases hidrotermales de la formación de skarn incluyen babingtonita, nontronita, apofilita, stevensita, thaumasita y varias zeolitas. (Burt, Donald M, 1977).

Dependiendo de las etapas de temperatura de formación de un skarn, lo podemos dividir en proceso progrado y retrogrado. Manteniéndose el emplazamiento como proceso progrado (etapa 1, 2 y 3), mientras que a la alteración y enfriamiento del intrusivo como proceso retrogrado (etapa 4 y 5). (Meinert, 1992).

Mientras que las tipologías que presenta un skarn son: Exo-skarn, son los que reemplazan las rocas carbonatadas; Endo-skarn, son aquellos que reemplazan una roca intrusiva. Los exo-skarn son generalmente mucho más extensos que los endo-skarn, y transportan la mayor parte del mineral. (Burt, Donald M, 1977). Por otro lado tenemos el llamado Skarnoide, nombrado así al presentar parcialmente la composición del protolito. (Meinert, 2005).

El tipo de yacimiento mineral que se encuentra en el área donde se realizó el presente trabajo (mina Santiago y Catasillas) es un Skarn de Cu (Sk), el cual tiene un origen por remplazamiento metasomático de la roca madre caliza por asociaciones de calcosilicatos durante metasomatismo de contacto, quedando así; un modelo aureol conformado de caliza de la formación Cuesta del Cura (Kicc), un exo-skarn con una mineralización metálica compuesta por: pirita (py), calcopirita (cpy), bornita (bn), hematita (hm), magnetita (mt); un endo-skarn con una mineralización no metálica compuesta por: grosularia, andradita del grupo de los granates, calcita, epidota, clorita, feldespatos, sericita, piroxeno; y un cuerpo intrusivo de composición félsica cuarzomonzonítico. (Andrade-Rosales, 1980).

Cabe mencionar que la grosularia en comparación con la andradita se encuentra más abundante en posición cercana a la caliza; presentando así un zoneamiento mineralógico clásico, debido a la interacción que ha tenido la roca encajonante con los fluidos de reacción. (Meinert, 2005). Figura (6).

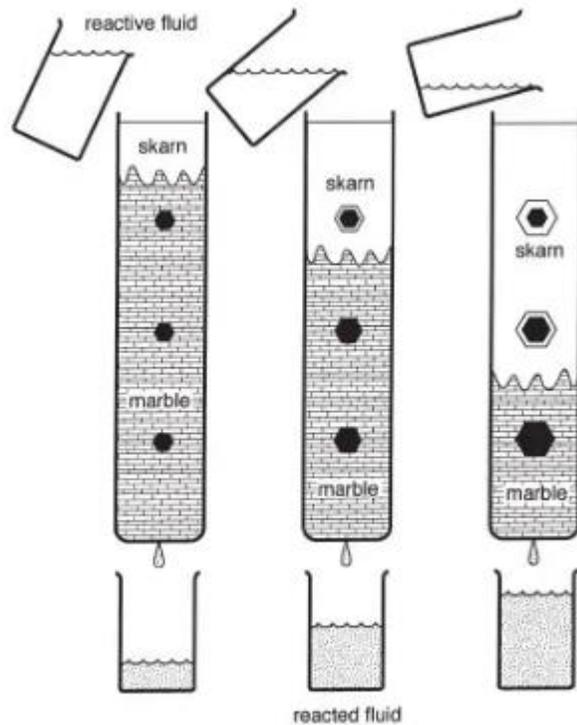


Figura 6. En la imagen se muestra la propagación de los fluidos mineralizantes, y la zonificación mineral resultante de la infiltración de estos. Donde; el bosquejo sin patrón indica la roca infiltrada por los fluidos de reacción. El patrón gris indica la roca sin reaccionar, debido a que ha encontrado un equilibrio con los fluidos de reacción. Los hexágonos negros indican crecimiento de grosularia. Los hexágonos blancos indican crecimiento de andradita. La zonificación del granate difiere con la trayectoria del fluido. (Meinert, 2005).

En la Mina Santiago predomina la andradita y en menores cantidades la grosularia, esto se define como se muestra en la literatura que en Skarn de Cu hay mayor predominancia en andradita, y conforme a la variación composición del mineral se refleja el color, mostrándose granate pardo-rojizo oscuro en la zona proximal, y pardo claro a amarillo-verdoso cerca a las calizas; en general el color va a depender de la cantidad de Fe que contenga el granate, es decir; entre más Fe contenga será más oscuro el granate. (Meinert, 2005). En este skarn, la mineralización de cobre se encuentra diseminada y en ocasiones reemplazando parcialmente algunos estratos de las calizas de la formación Cuesta del Cura.

3.2 Distrito Minero de Providencia – Salaverna

A una altitud de 2,300 msnm se encuentra el distrito minero, comprendido en la estructura anticlinal de la Sierra de la Caja, que constituye un macizo montañoso continuo, con una longitud de 45 km y de 2 a 5 km de ancho. El eje axial de este anticlinal comienza en su extremo oriental con un rumbo general de N 45° W, el cual se curva gradualmente hasta adquirir una dirección prácticamente de E-W. (Servicio Geológico Mexicano, 2018).

En la zona de Providencia – Salaverna, la estructura es muy simple, casi no presenta complicaciones por plegamientos y solamente algunos por fallamientos. Los yacimientos minerales de la zona están íntimamente asociados al contacto de la masa intrusiva principal con las formaciones sedimentarias adyacente, así como con pequeños ramaleos del mismo cuerpo intrusivo principal, alojados en las rocas sedimentarias, (por ejemplo: cuerpo Catasillas en Mina Santiago), (Andrade Rosales, 1980).

Las rocas que afloran en éste distrito son sedimentarias, ígneas y metamórficas.

Las rocas sedimentarias incluyen calizas, calizas arcillosas, lutitas y areniscas del Sistema Jurásico representadas por las formaciones Zuloaga (Jsz) y La Caja (Jsc), el Sistema Cretácico está representado por las formaciones Taraises (Kitc), Cupido (Kit), La Peña (Kip), Cuesta del Cura (Kicc), Indidura (Ksi), Caracol (Ksc) y Parras (Ksp).

El Sistema del Paleógeno está representado en el área por rocas ígneas intrusivas en forma de apófisis, diques y sill de composición que varía de intermedia a félsica; estando presente el intrusivo granodiorítico (Tgr), intrusivo cuarzo-monzonítico (Tqmz), y el intrusivo monzonítico (Tmz) del Eoceno, de composición félsica. (Servicio Geológico Mexicano, 2018).

Las rocas metamórficas presentes en este distrito fueron originadas por metamorfismo térmico en los contactos de los cuerpos de rocas ígneas intrusivas con caliza, caliza arcillosa, lutita y arenisca dando lugar a la formación de skarn (Skn) de granate y hornfels. (Servicio Geológico Mexicano, 2018).

En el distrito las variaciones en cuanto a los tipos de roca depositados en este largo periodo son transicionales de caliza a lutita, pasando por tipos intermedios; solamente el paso de la Fm. Zuloaga a la Fm. La Caja, es el más brusco, caracterizándose por el cambio de sedimentos de caliza muy pura, de estratificación gruesa a sedimentos lutíticos de estratificación delgada, lo que puede indicar un cambio brusco del nivel de mar, haciéndose muy somero y con niveles muy variables durante el Kimmeridgiano.

Al iniciarse el Cretácico temprano, continuó la depositación de caliza, efectuándose en un mar de moderada profundidad, con algunas capas de material clástico, debido principalmente a cambios climáticos temporales, o a elevaciones de las áreas circunvecinas. Paulatinamente la profundidad de los mares se acentuó hasta principios del Aptiano, llegando posiblemente a conservar un nivel más o menos estático hasta el piso Cenomaniano, en que termino la acumulación de la caliza Cuesta del Cura. (Andrade-Rosales, 1980).

3.3 Provincia Metalogénica

En un contexto geológico regional, el Distrito Minero de Providencia forma parte de una provincia metalogénica ubicada temporalmente en el Eoceno-Oligoceno al Mioceno temprano. (Camprubí, 2013). A continuación, se describen algunas de las características geológicas distintivas que caracterizan a las provincias metalogénicas de México.

Los procesos geológicos más productivos metalogénicamente de México comenzaron en el Jurásico. México cuenta con grandes riquezas minerales (Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Fe, entre otros) alojadas en diversos yacimientos minerales, entre los cuales destacan los yacimientos tipo skarn.

La mayoría de los yacimientos minerales en México de acuerdo a Camprubí (2013), están relacionados con:

- a) La margen de placa convergente a lo largo de la costa del Pacífico y la actividad magmática resultante desde el Jurásico, ó.
- b) La dinámica de fluidos y los procesos geoquímicos en las cuencas sedimentarias que forman parte de la megacuenca del Golfo de México, que también alberga los campos mexicanos de petróleo y gas natural.

Así también, la compleja arquitectura estructural de México se caracteriza por zonas de fallas o discontinuidades en diferentes escalas corticales que han actuado episódicamente como canales preferenciales para magmas y fluidos hidrotermales durante un largo período de tiempo.

Los skarns son uno de los principales tipos de yacimientos minerales que se le puede atribuir genéticamente a una amplia gama de procesos singenéticos y magmáticos asociados a la evolución del margen acrecionado del Pacífico Mexicano, ocurridos predominantemente en ambientes oceánicos durante el Jurásico tardío hasta el Cretácico temprano, y en los arcos continentales durante el Cretácico tardío al reciente. Este tipo de depósitos entre otros se encuentran a lo largo de un amplio cinturón magmático que se extiende por todo el país de noroeste a sureste.

La actividad magmática mesozoico-cenozoica en el margen del Pacífico se puede dividir de acuerdo con Camprubí (2013) en cinco episodios principales: a) Jurásico a Cretácico temprano, b) Cretácico tardío a Paleoceno, c) Eoceno-Oligoceno, d) Mioceno temprano y e) Mioceno medio al presente.

Para nuestro interés nos enfocamos en el Eoceno a Mioceno temprano, donde el magmatismo se representa por dos pulsos principales:

a) Desde el Eoceno tardío hasta el Oligoceno temprano a lo largo de toda la Sierra Madre Occidental y la Mesa Central, y

b) Durante el Mioceno temprano en el centro y el sur de la Sierra Madre Occidental.

Así bien, el magmatismo de los pulsos principales de la Sierra Madre Occidental migró hacia el este desde el margen del Pacífico hacia el interior durante el Eoceno, y los magmas calco-alcalinos se introdujeron en las secuencias de la plataforma de carbonato que se formaron en las cuencas epicontinentales relacionadas con el margen pasivo del Golfo de México. Las intrusiones dentro de las rocas carbonatadas están asociadas espacialmente con algunos de los yacimientos de skarn Cu-Zn-Pb-Ag más grandes del país. Estos incluyen los depósitos Zimapán, Mapimí, Charcas, Concepción del Oro y San Martín. Este grupo de depósitos también incluye yacimientos minerales de skarn conocidos en Mazapil. Figura (7).

Como se menciona anteriormente, en las zonas aledañas a la Unidad minera Tayahua, se pueden identificar otras minas en producción: Mina Peñasquito, ubicada en el mismo municipio (Mazapil), y Mina Aranzazu, ubicada en el municipio de Concepción del Oro, Zacatecas. Donde el intrusivo que da origen al yacimiento minero Peñasquito tiene un carácter diferente, es decir; este cuerpo intrusivo se emplazó en el eje del sinclinal del Valle de Mazapil, y posteriormente presentó una explosión freato-magmática que resultó en la creación de una diatrema de explosión única en la región. (Alfaro-Torres, 2015).

El conjunto de depósitos de skarn en el Sector Transversal de Parras probablemente constituye el cinturón de skarn más productivo económicamente en México, en el distrito de skarn de Mazapil, Zacatecas. (Camprubí, 2013).

La mayoría de los tipos de yacimientos minerales y la gran mayoría de los yacimientos minerales fechados están genéticamente asociados con magmatismos de diferente composición y afinidad tectonomagmática, emplazados a diferentes niveles de la corteza. Para nuestro interés se muestra el fechamiento del yacimiento mineral skarn ubicado en Providencia, donde a través de K-Ar, Rb-Sr se estima una edad de 40.0-38.8 Ma. (Camprubí, 2013).

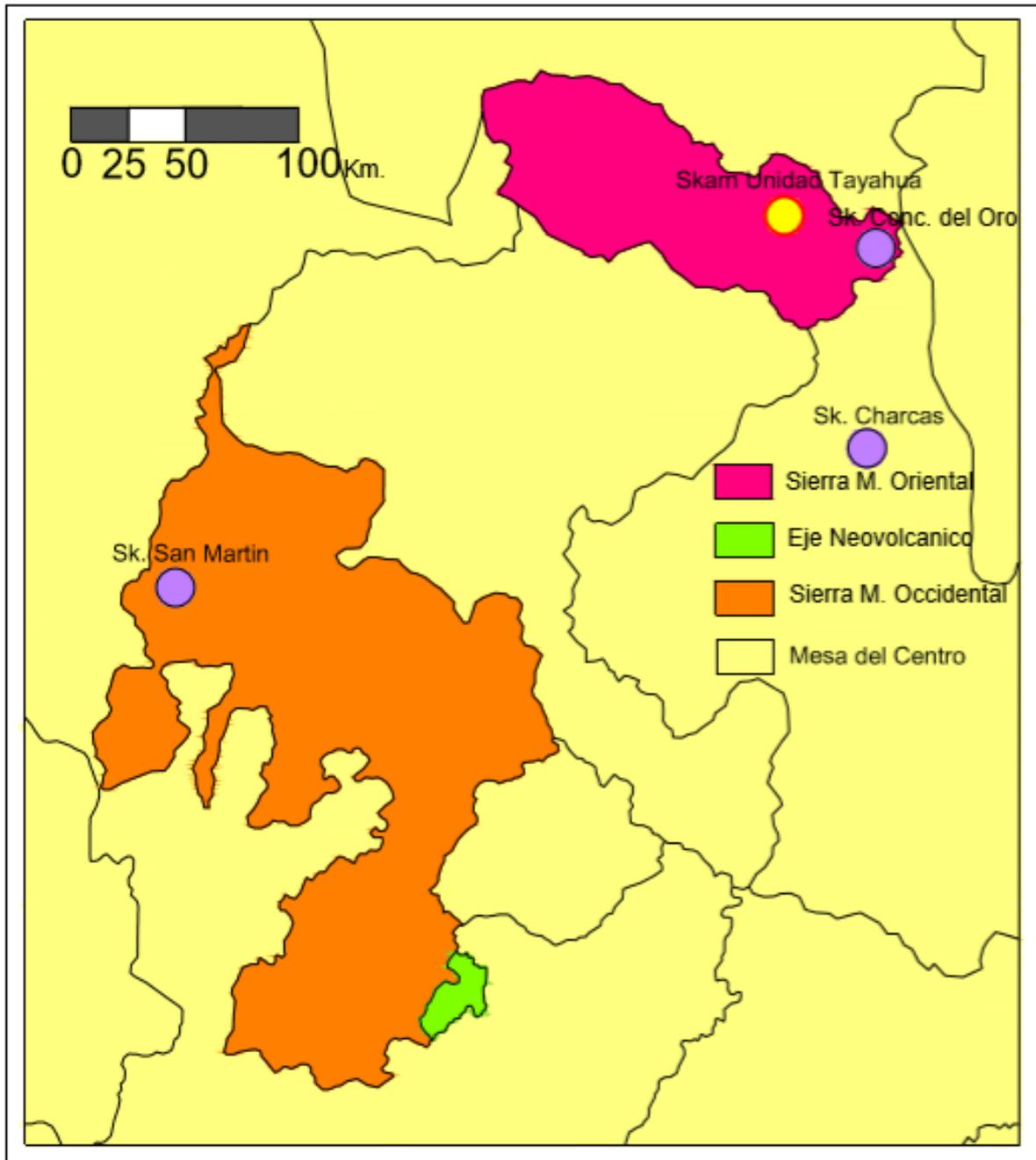


Figura (7). Yacimientos Minerales tipo skarn emplazados durante el Eoceno en el margen convergente del Pacifico Mexicano. (Basado en Camprubí, 2013).

IV. Operación de la Mina

4.1 Minas en Tayahua (División de Áreas)

Tayahua se divide en 5 minas explotadas actualmente llamadas; Santiago (N-18 y N-25), Catasillas, Poniente, San Eligio y San Marcos. Figura (8 y 9). En las cuales se explotan minerales metálicos de interés económico encajonados en las formaciones mostradas en la Tabla (1), donde cabe mencionar que están constituidas por secuencias de calizas de edad Jurásico superior y Cretácico.

Minas en Tayahua, de acuerdo a:			
Minas	Mena	Roca Encajonante	Yacimiento mineral
<i>Santiago N-18</i>	Cobre Primario (Cu)	Fm. Cuesta del Cura	Skarn
<i>Santiago N-25</i>	Cobre Primario (Cu), Pb-Zn, Ag	Fm. Cuesta del Cura y Fm. Peña, Fm. Cupido Taraises	Skarn
<i>Catasillas N-18</i>	Cobre Primario (Cu), Zn-Cu.	Fm. Cuesta del Cura	Skarn
<i>San Marcos</i>	Ag, Pb-Zn	Fm. Zuloaga y Fm. Caja	Chimeneas
<i>San Eligio</i>	Ag, Pb-Zn	Fm. Zuloaga y Fm. Caja	Chimeneas
<i>Poniente</i>	Ag, Pb-Zn	Fm. Zuloaga	Chimeneas

Tabla 1. Minas de la Unidad Tayahua, de acuerdo a su mena, roca encajonante y yacimiento mineral.

Proporcionada por Unidad Tayahua.

División de Áreas dentro de Mina

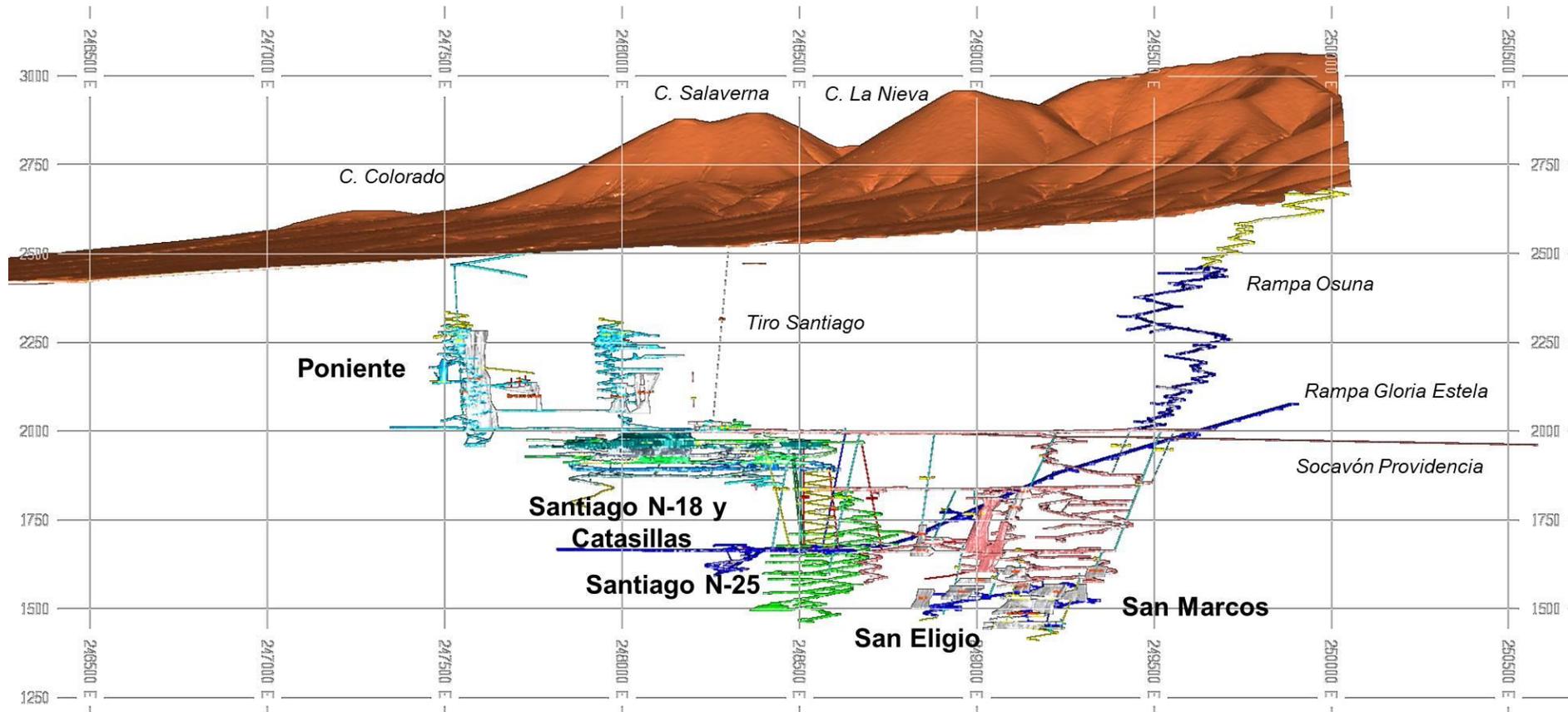


Figura 8.

Minas que conforman Ocampo Mining - Unidad Tayahua con las respectivas vías de acceso a cada una, en vista Lateral. Proporcionada por Unidad Tayahua.

División de Áreas dentro de Mina

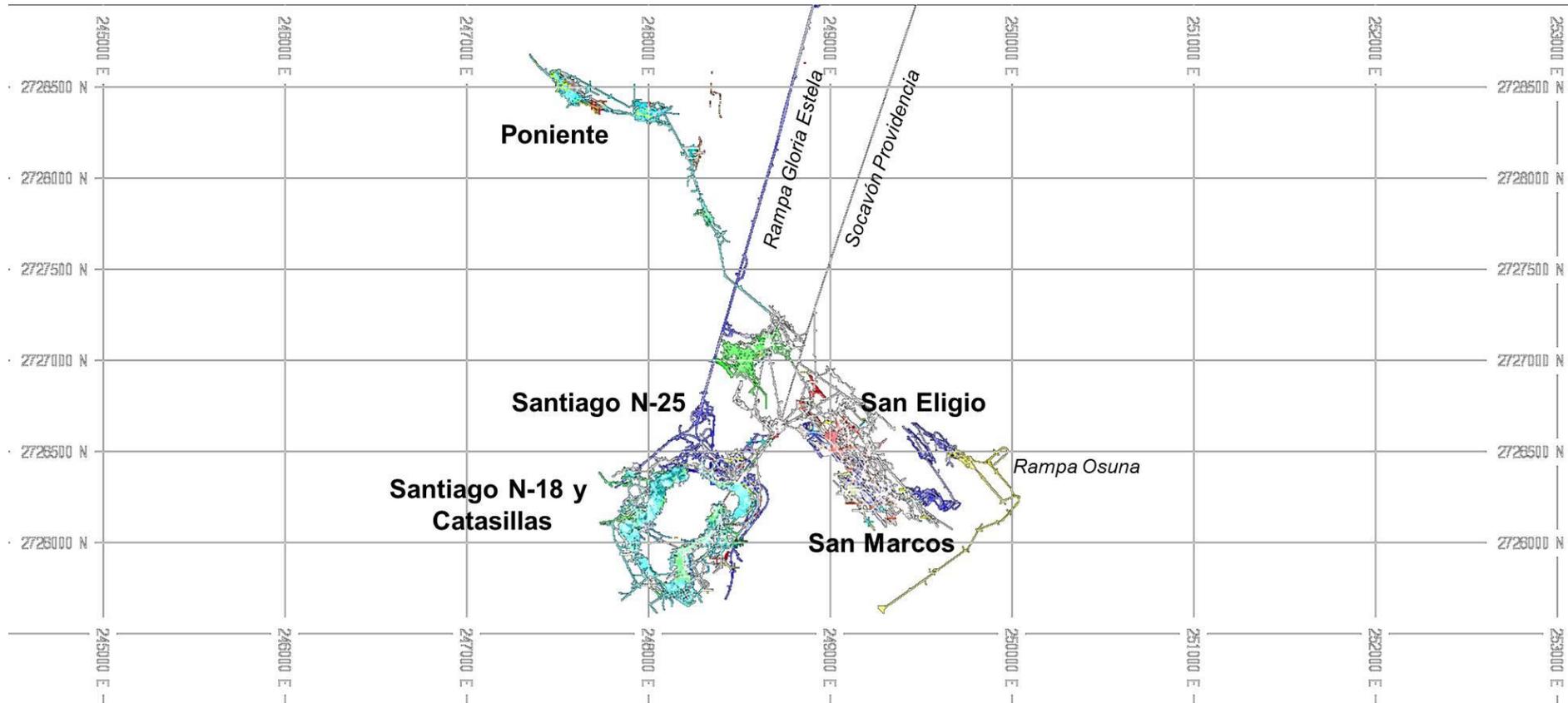


Figura 9.

Minas que conforman Ocampo Mining - Unidad Tayahua, mostrándose los principales accesos, en planta.
Proporcionada por Unidad Tayahua.

4.2 Obras de la mina

El Yacimiento Mineral tipo skarn en sección horizontal se divide en subniveles con secuencia negativa (SN-), que van del SN-1 al SN-18 o también nombrado N25 (donde los niveles de producción son del SN-3 al SN-12) Figura (11 y 12). En sección vertical se divide en 5 áreas denominadas sectores: abarcando mina Santiago el sector 1 y sector 5, mientras que mina Catasillas abarca el sector 2, sector 3 y sector 4. Figura (13).

Así bien, las obras de desarrollo se encuentran subdivididas en dichos sectores, a las cuales se les asigna el nombre de calles, cruceros (X0), periferias y *slots*, (genéricamente en Unidad Tayahua). Siendo las periferias el paso principal para ingresar a los cruceros (perpendicular a estas) y calles (paralelas a estas). Se hace referencia a los términos mencionados en la literatura minera. Tabla (2).

Términos Mineros para obras; Literatura VS. Unidad Tayahua	
Literatura	Unidad Tayahua
Calle → Galería de tráfico y vaciado de mineral de las palas LHD-Load Haul Dump (<i>Scoop Tram</i>), (Duarte R., 1993).	Periferia: Obra minera subterránea que se desarrolla paralelo al cuerpo mineralizado al llegar al contacto con la caliza.
Crucero → Obra minera subterránea que se desarrolla perpendicular al rumbo del cuerpo mineralizado, o de una obra principal. (Lopez-Aburto, 1994). Figura (10).	Crucero: Obra minera subterránea que se desarrolla sobre el cuerpo mineralizado, perpendicular a este.
Cruzada → Son labores horizontales, perpendiculares al rumbo del cuerpo mineralizado, (MME, 2003).	Calle: Obra minera subterránea que se desarrolla paralelo al cuerpo mineralizado para intersectar dos cruceros, sí el ancho del cuerpo mineralizado lo permite.
Slots o Ranura → En un diagrama de perforación, son los barrenos hechos en el centro o extremo de una obra, su objetivo es crear la cara libre de un disparo. Ideas afines: Corte. Cuele, (Duarte R., 1993).	<i>Slots</i> o Ranura: Obra minera subterránea que se desarrolla paralelo al cuerpo mineralizado al llegar al contacto con el intrusivo.

Tabla 2. Términos mineros para obras mineras; Literatura VS. Unidad Tayahua.

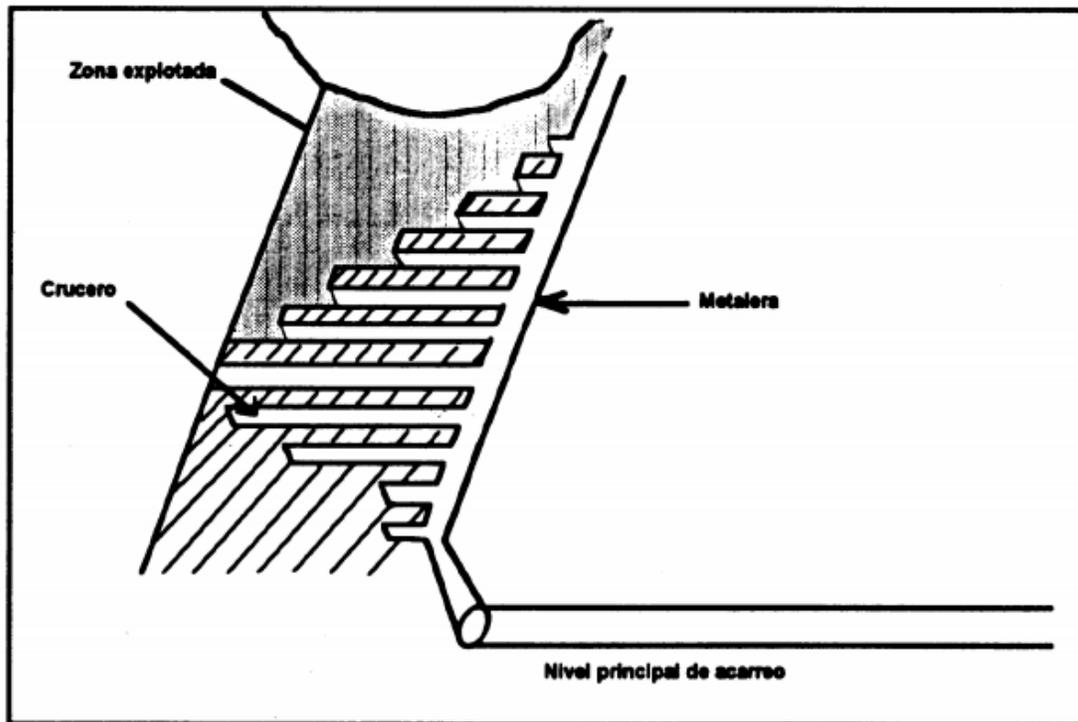


Figura 10. Representación esquemática de hundimiento por subniveles, donde se ejemplifica el término “cruceiro”. (Lopez-Aburto, 1994).

La subdivisión mencionada anteriormente fue asignada con base en el tipo de yacimiento mineral que se encuentra en el área de trabajo; YM. skarn, de acuerdo con el contacto caliza (KICC) se ubican las periferias, y los *slots* se ubican cerca del contacto endo-skarn – intrusivo, de igual manera; tomando en cuenta el YM skarn se lleva a cabo el minado en operación mina. Figura (14).

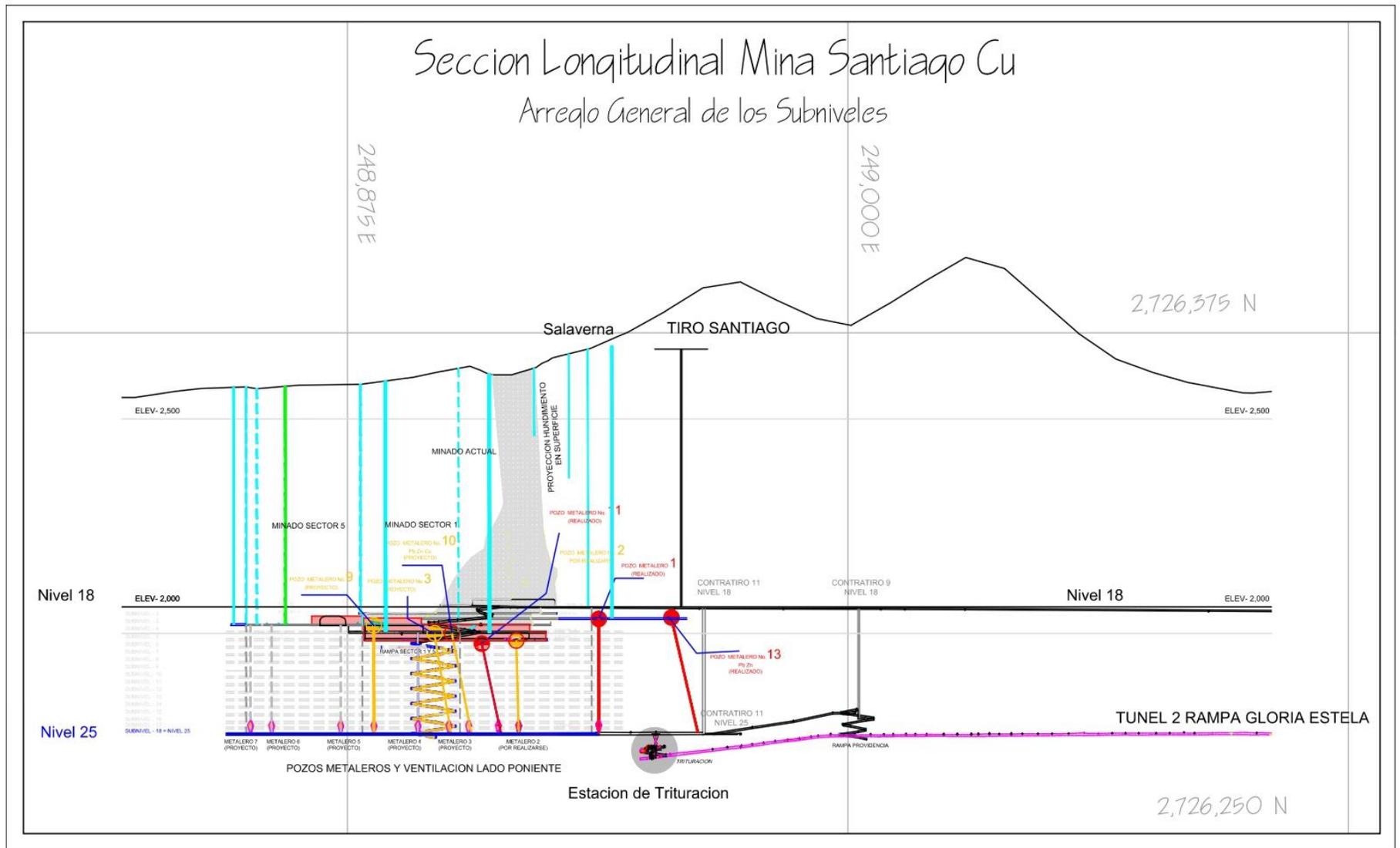


Figura 11. Sección Longitudinal Mina Santiago Cu, arreglo general de los subniveles.
Imagen proporcionada por Unidad Tayahua.

Arreglo General de los Subniveles

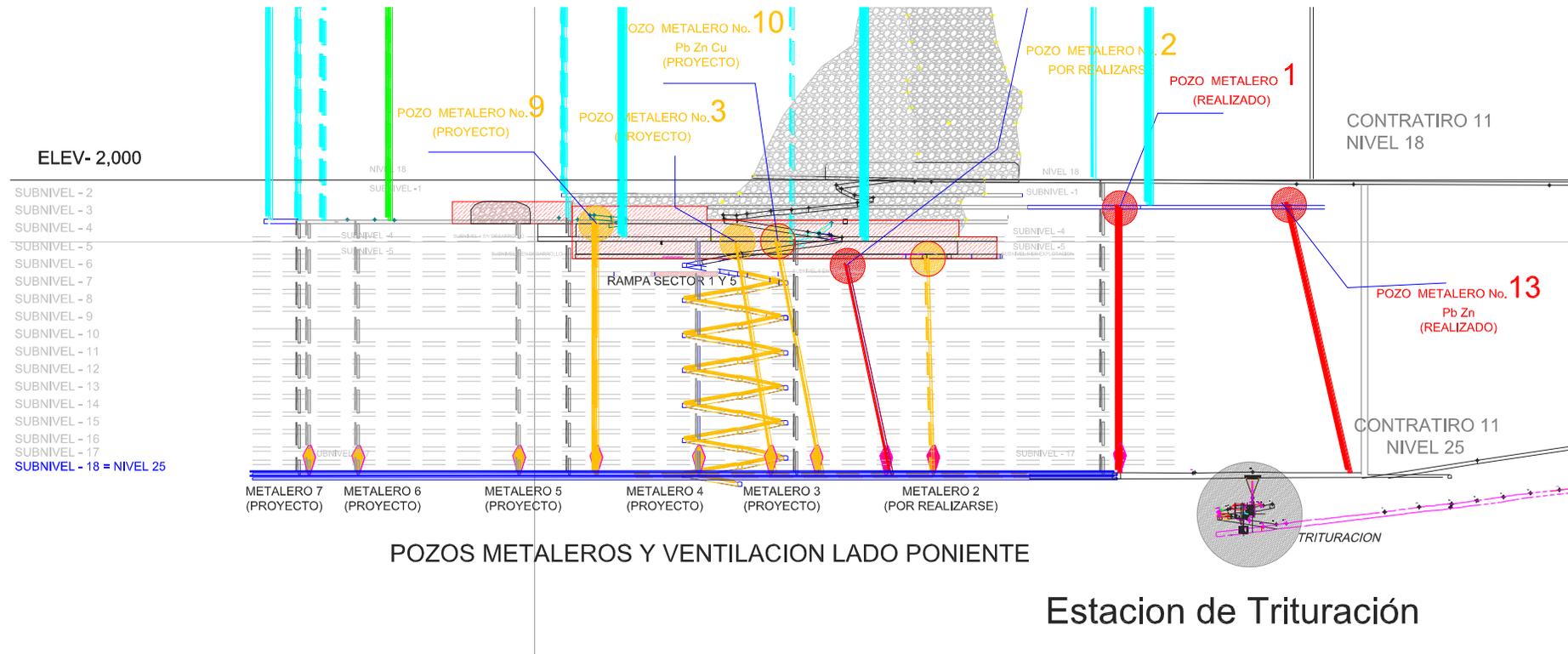


Figura 12. Zoom del arreglo general de los subniveles.
Imagen proporcionada por Unidad Tayahua.

División de Sectores a lo largo del Yacimiento Mineral

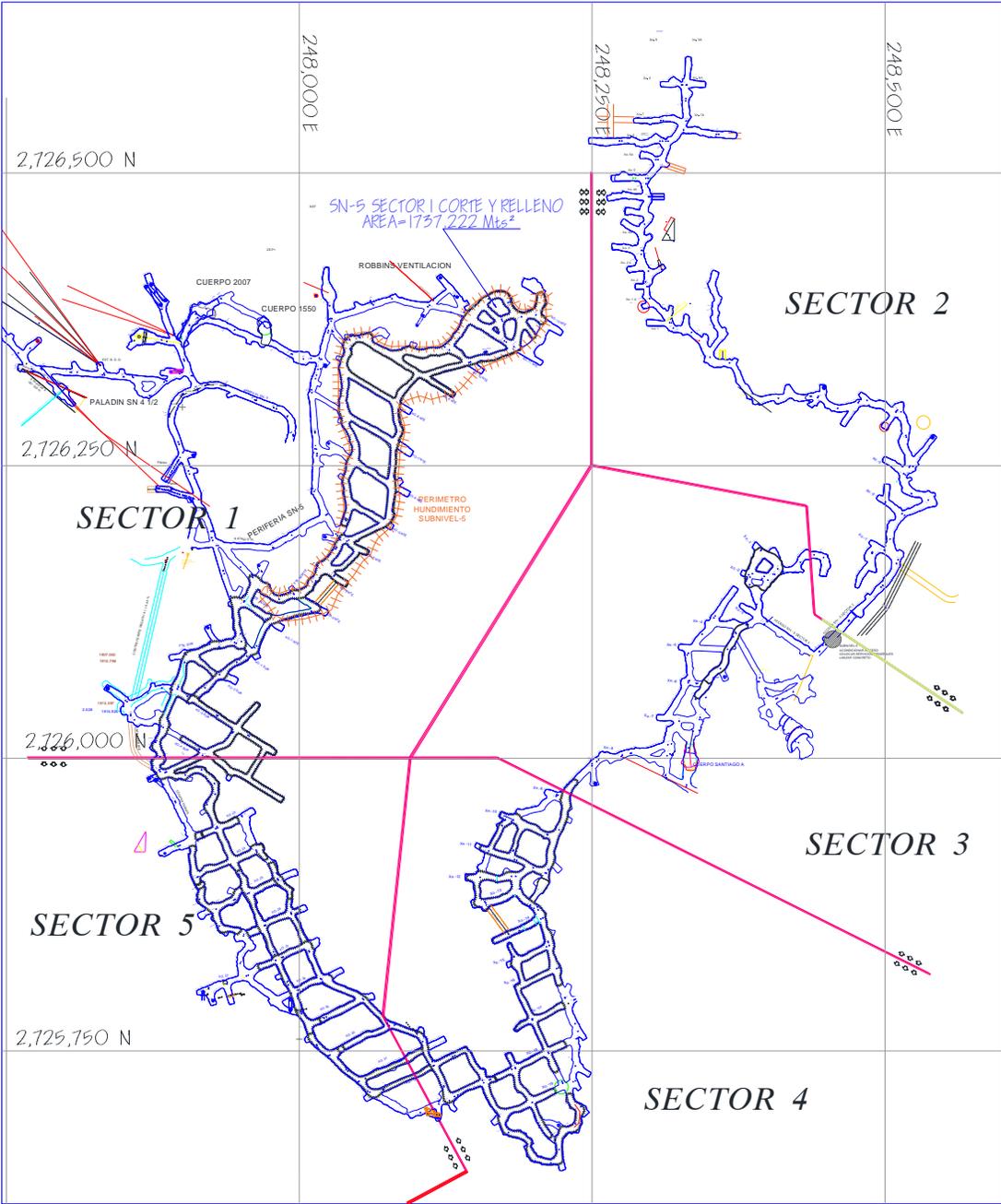


Figura 13. División de sectores a lo largo de las obras que conforman el Yacimiento Mineral, ejemplificado con el SN-5. Imagen proporcionada por Unidad Tayahua.

Obras de mina acorde al Yacimiento Mineral

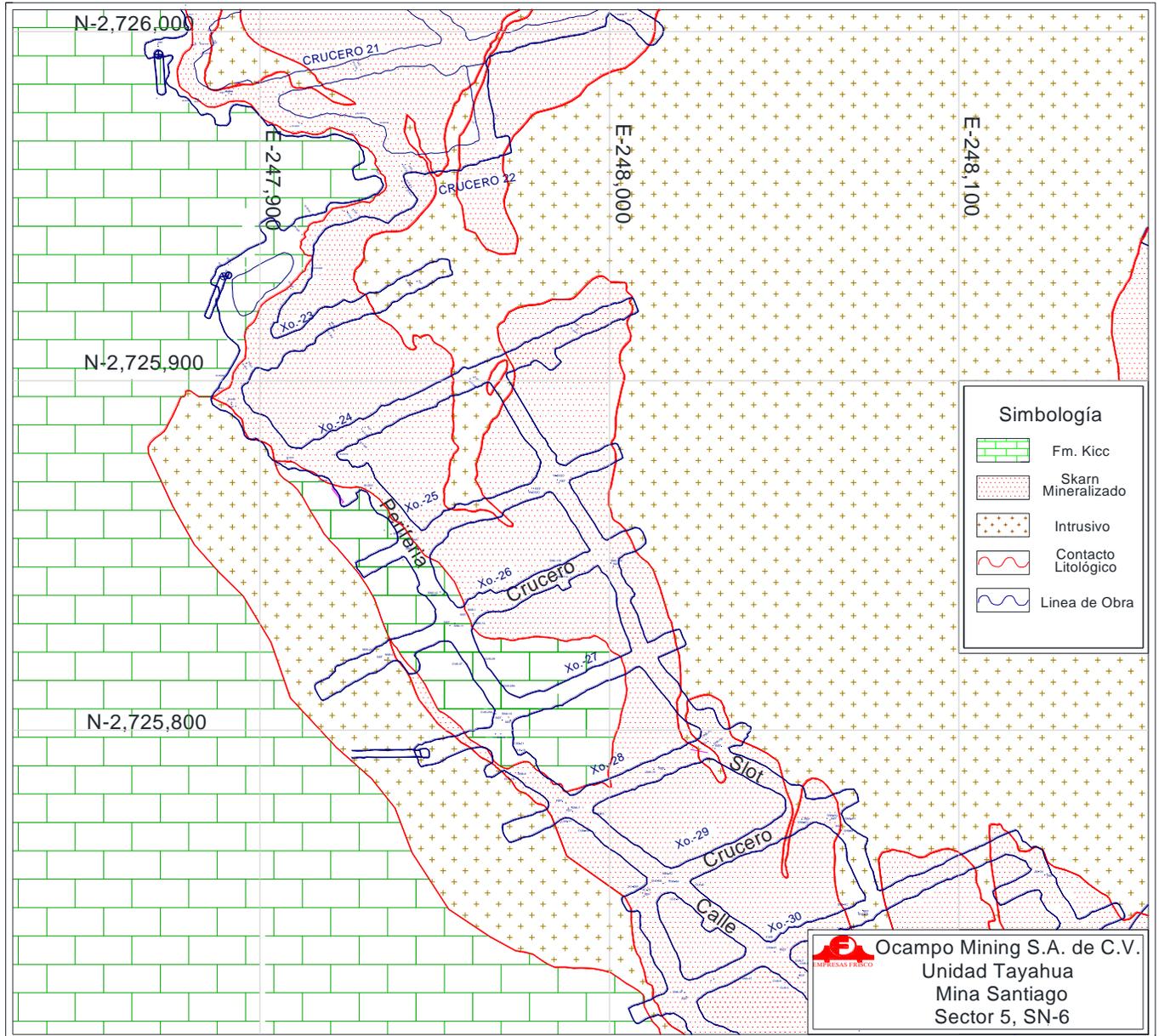


Figura 14. Identificación de Cruceros, Slots y Periferias respecto a las litologías del Yacimiento Mineral. Ejemplificación SN -6. Planos de Ocampo Mining S.A. de C.V. Unidad Tayahua.

4.3 Minado

Los tipos de minado que se llevan a cabo en mina Santiago y Catasillas a partir de los desarrollos son; hundimiento por subniveles ocupando este método un 80% de la producción de mina, y en algunos lugares se llevan por corte y relleno. En este trabajo se hablará de hundimiento por subniveles por ser el área de barrenación larga más abundante y en donde desempeño la profesión de ingeniería geológica.

El método de hundimiento por subniveles es un método de extracción vertical en el que se crea una gran apertura dentro del cuerpo mineralizado, por etapas, desarrollando una ranura vertical en un extremo del rebaje, posteriormente se continua trabajando para perforar un patrón, ya sea radial o paralelo de perforaciones, antes de cargar un conjunto de estos agujeros (una línea), ya sea completa o parcial, es decir; usando tapones, se debe cargar y detonar primero la ranura. La ranura es un factor de suma importancia, por ello se debe barrenar y cargar adecuadamente, ya que esta será la que de cara libre al rebaje para el tumbado de las líneas programadas, además de ser prácticamente imposible de que los mineros vuelvan a entrar a la zona para corregir los problemas. (Hartman, 2002). Figura (15).

Geológicamente los desarrollos se llevan a cabo dentro de todo el cuerpo mineralizado. La maquinaria que se emplea aquí son los equipos jumbo, mientras que en hundimiento por subniveles se barrena de acuerdo al tipo de litología que se encuentre entre subnivel y subnivel, para ello se emplean los equipos de perforación DL 431, 421 (4-> 4*4m., 3-> motores, 1->versión), "SOLOS". Figura (16, 17 y 18).

Al generar la ranura y el patrón radial se utiliza diferente diseño, cantidad y diámetro de barreno, constando la ranura de 19 barrenos, mientras que el patrón radial se divide en abanico o medio abanico, y se usa dependiendo como se encuentre el contacto litológico. El patrón paralelo se identifica como "zanjón", dependiendo del corte del tumbado a lo largo de la obra. (Se explica a detalle en el Subcapítulo 5.1.2).

Hundimiento por Subniveles

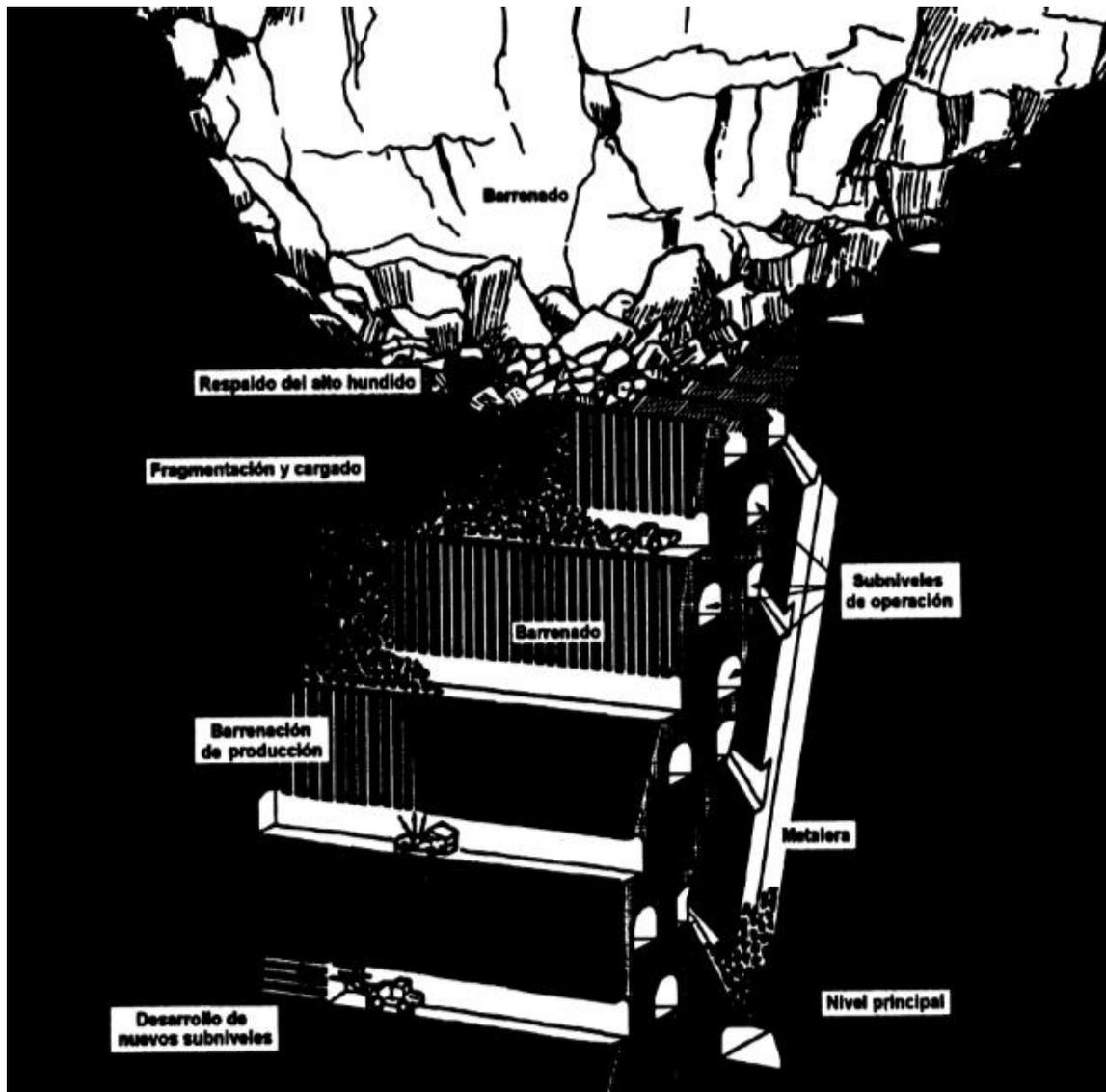


Figura 15. Ejemplificación de hundimiento por subniveles. (López Aburto, 1994).



Figura 16. Equipo de perforación DL – “Solo 7”



Figura 17. Módulo de perforación DL

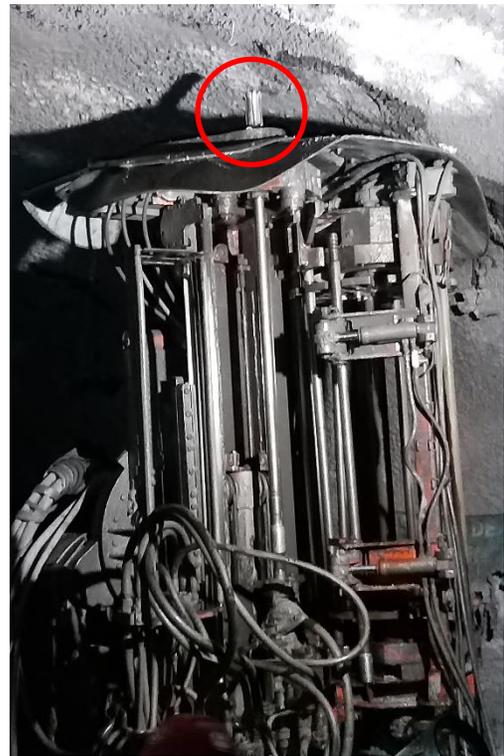


Figura 18. Módulo de perforación DL - Exhibiendo broca

V. Actividades y contribuciones realizadas en la Unidad Minera Tayahua

La participación profesional que he efectuado en Unidad Tayahua consiste en realizar los mapeos geológicos de los desarrollos mineros, representando una actividad importante porque a partir de ello se conoce el comportamiento del cuerpo mineralizado, con lo cual se comienza la elaboración de las secciones geológicas para el cálculo de reservas, así como preparar las áreas de barrenación larga.

El elaborar los compositos a partir de los resultados de ensaye del muestreo de canal (tomado durante el mapeo), y los resultados de ensaye del muestreo de detritos (tomado de barrenación larga), permite supervisar un control de calidad de mineral, para los planes de minado respecto a las leyes adquiridas. De este modo al momento de realizar el tumbe ya se tiene una noción de la cantidad y calidad de carga que se va a generar al alimentar a la planta de beneficio.

- La cantidad se sabe por el número de barrenos proyectados a lo largo del cuerpo mineralizado.
- La calidad se calcula basándose de la prospección dada en las secciones geológicas, como lo puede ser la presencia de diques, xenolitos o cuerpos no rentables económicamente que pueden llegar a descender y contaminar la carga no estéril; es decir; la mena y, por lo tanto, bajar la ley esperada por ensaye.

En caso de tener leyes bajas en determinada área barrenada, se recurre al llamado método “endulzar”, el cual consiste en hacer una mezcla de cargas de un área de alta ley (“azucareras”) con un área de baja ley, así tener una recompensa al hacer el corte de final de turno o final de día, y tener un registro del balance mensual.

Contribuciones

La contribución que se ha generado en la Unidad en el lapso de tiempo que llevo laborando para ella es que a partir de las secciones elaboradas ha disminuido la dilución de la carga debido principalmente al barrenado correcto guiado por estas mismas, y a la combinación de cargas adecuadas a partir del muestreo generado, ya que antes de realizar este trabajo, el barrenado se efectuaba de manera automatizada, es decir; no se seguía el echado de contacto preferencial (ejecutado principalmente en las periferias y slots), además no se tenían leyes pronóstico para control de plan de minado en barrenación larga.

Por otro lado, apliqué el uso de los equipos “SOLOS”, para identificar la proyección de mineral con su respectiva ley; en zonas con proyectos de rebajes, así como para cuantificar la proyección de mineral (Cu, Pb-Zn) en bloques determinados. Dicho proceso lo lleve a cabo asignando barrenos a lo largo del rebaje cada diez metros aproximadamente, una vez empezando a barrenar se muestreo tubo por tubo (cada 1.8 m), y se mandó a ensayar, al obtener el resultado hice una correlación para determinar el comportamiento de cada litología respecto a las muestras recolectadas. El proyecto del rebaje salió favorable, por lo cual ya está en ejecución, y la cuantificación Cu, Pb-Zn se tomó en cuenta para la determinación de tumbe. Figura (19).

Sección Transversal

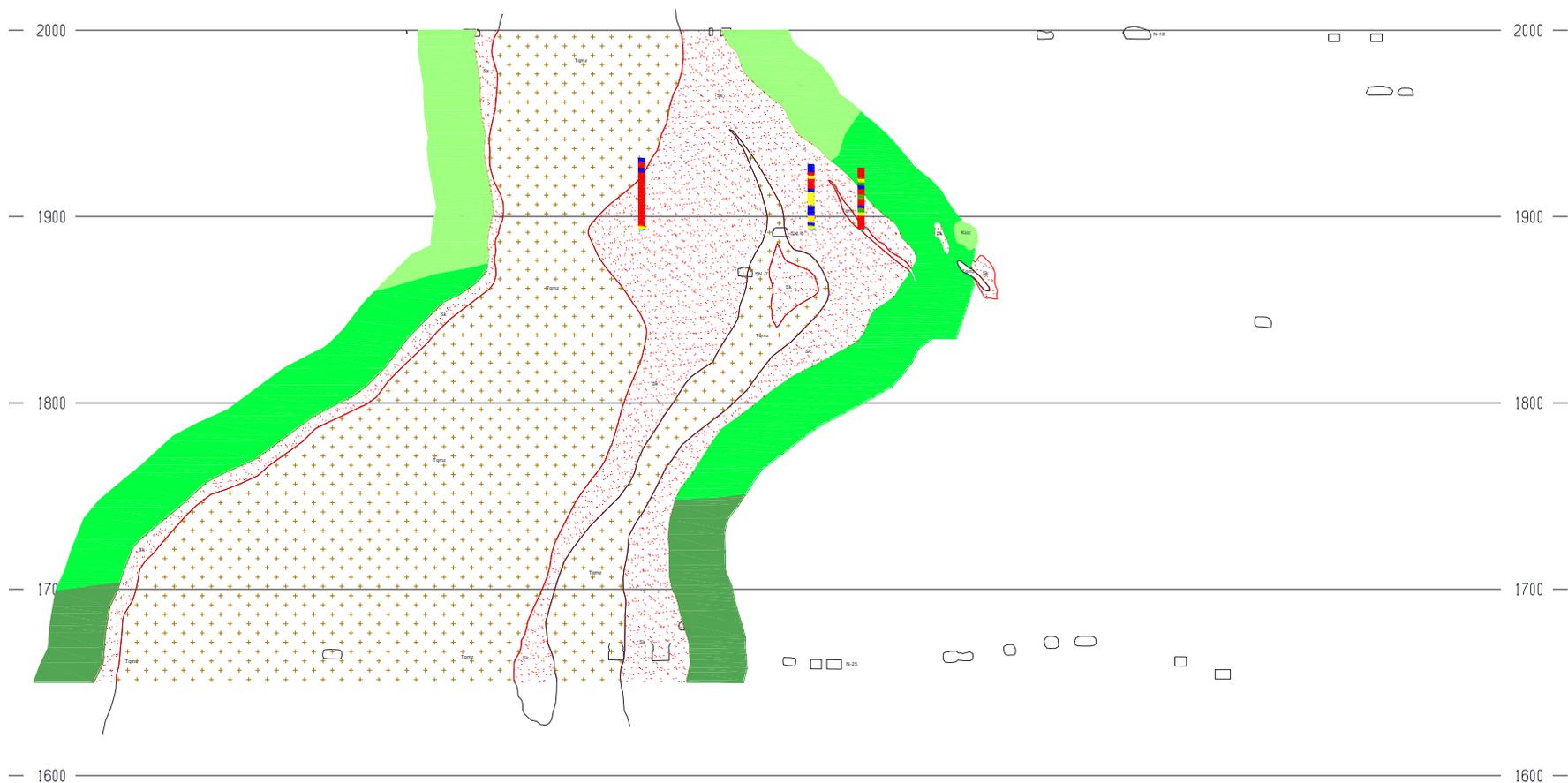


Figura 19. Sección Transversal mostrando proyección mineral para proyecto de rebaje. Unidad Tayahua.

5.1 Metodologías utilizadas

5.1.1 Mapeo

El mapeo se realiza en los desarrollos conforme se va disparando el avance de obra, es decir; se lleva a cabo al cumplir con las *condiciones óptimas* para ingresar.

Condiciones Óptimas:

- Ventilar el área: Al hacer detonar los explosivos, emerge la transformación en un gran volumen de gas, Figura (20), los cuales son tóxicos para la salud, además de elevar la temperatura en el área trabajada.

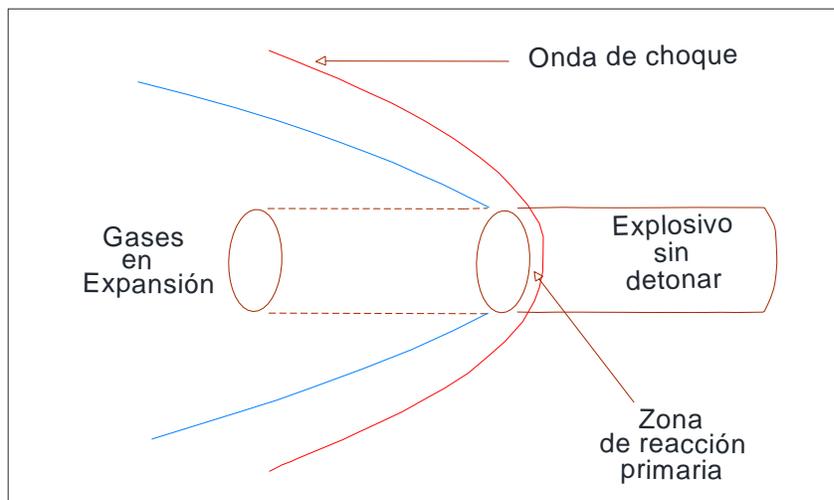


Figura 20. Zonas del proceso de detonación. (Bernaola J., et al., 2013).

- Amacizar el área: Al amacizar la zona después de ventilar el área, es de gran importancia, ya que durante la detonación se genera la onda de choque produciendo alto fracturamiento en el macizo rocoso. Figura (21).

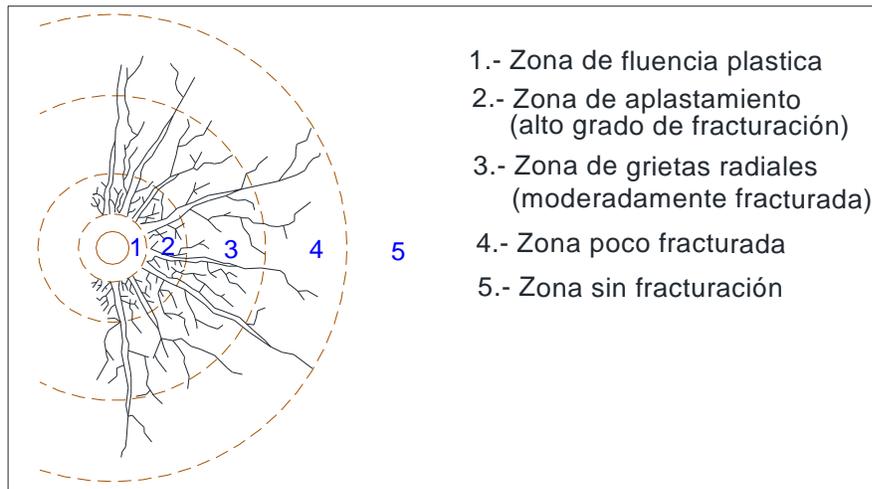


Figura 21. Tipos de fisuras en las proximidades del barreno. (Bernaola J., *et al.*, 2013).

- Extraer la carga: Una vez cumplidos los dos puntos anteriores, se ingresa al *Scooptram* para la extracción de esta, y tener el piso libre de obstrucciones. Figura (22).

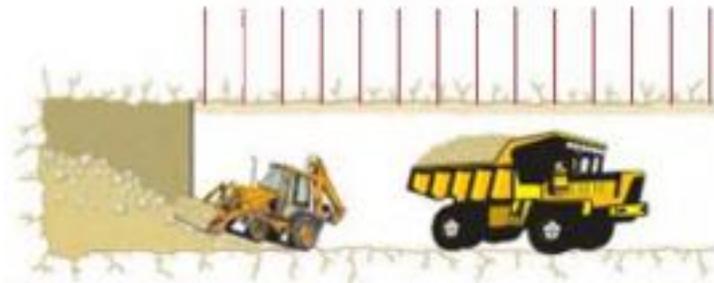


Figura 22. Extracción de carga. (González de Vallejo, 2002).

- Lavar el área tanto cielo como tablas: Esto es para tener una mejor visibilidad de las estructuras geológicas, así tener una buena caracterización y descripción de ello.

Levantamiento topográfico

- a) Ubicar el punto topográfico más cercano al último mapeo que se dio y proyectar ese punto a la altura conveniente de la obra. Figura (23).



Figura 23. Punto Topográfico al cielo de la obra.

- b) Colocar una cinta métrica con ayuda de clavos desde el punto topográfico hasta el tope, dejando la cinta lo más tensa posible.
- c) Con ayuda de la brújula sacar el rumbo de la cinta y medir la longitud generada del punto b), plasmar el rumbo y longitud en la carpeta donde se desarrolla el trabajo con ayuda de un protactor (regleta o rumbera).
- d) Cada 2 m a lo largo de longitud de la cinta se mide la distancia de la cinta a la tabla (pared de la obra), tanto de lado izquierdo como de lado derecho y se plasma en la carpeta de trabajo las medidas tomadas.
- e) Hacer una unión de los puntos generados, de tal manera obtendremos el levantamiento de la obra actual. Figura (24).

Levantamiento Topográfico

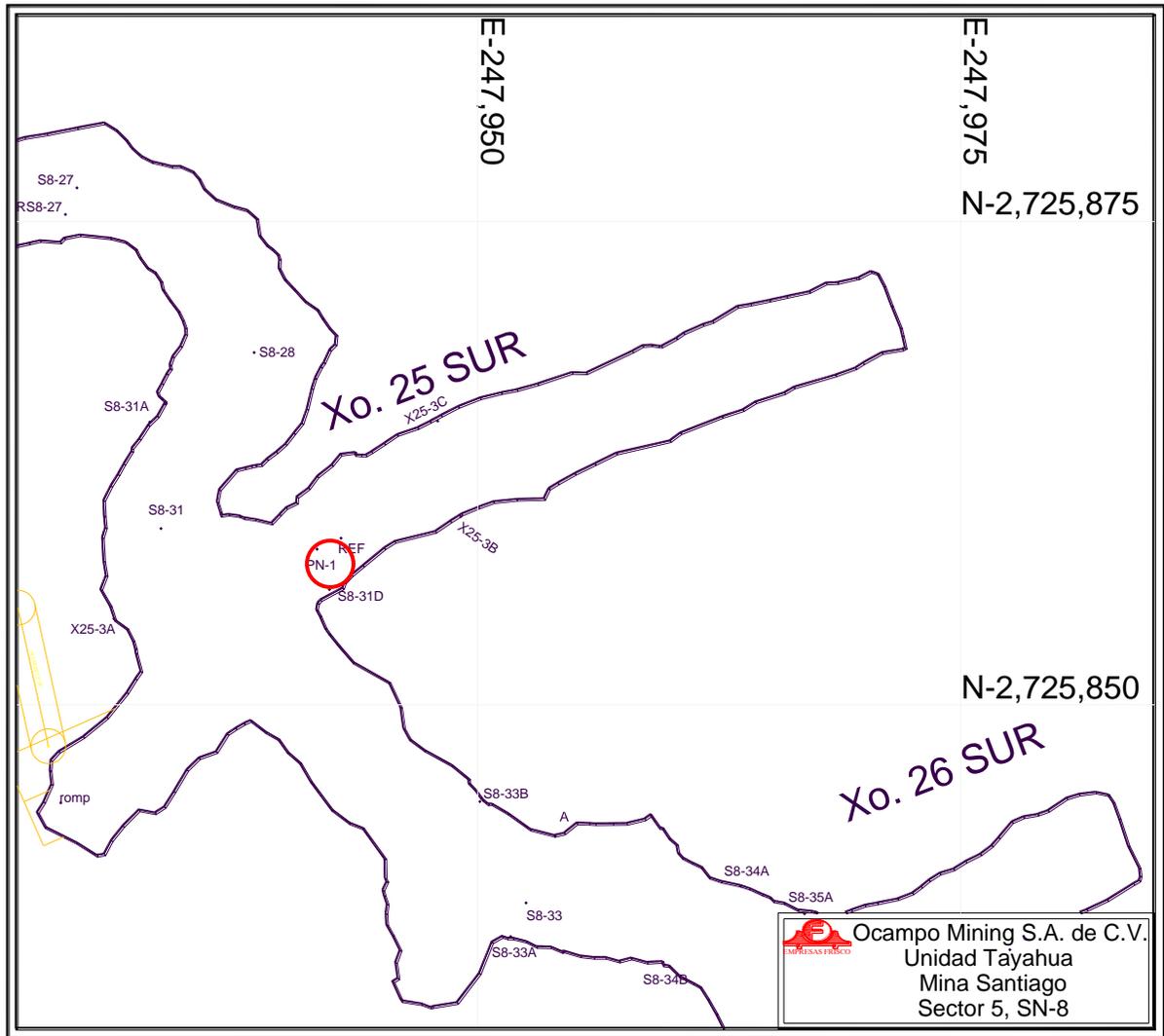


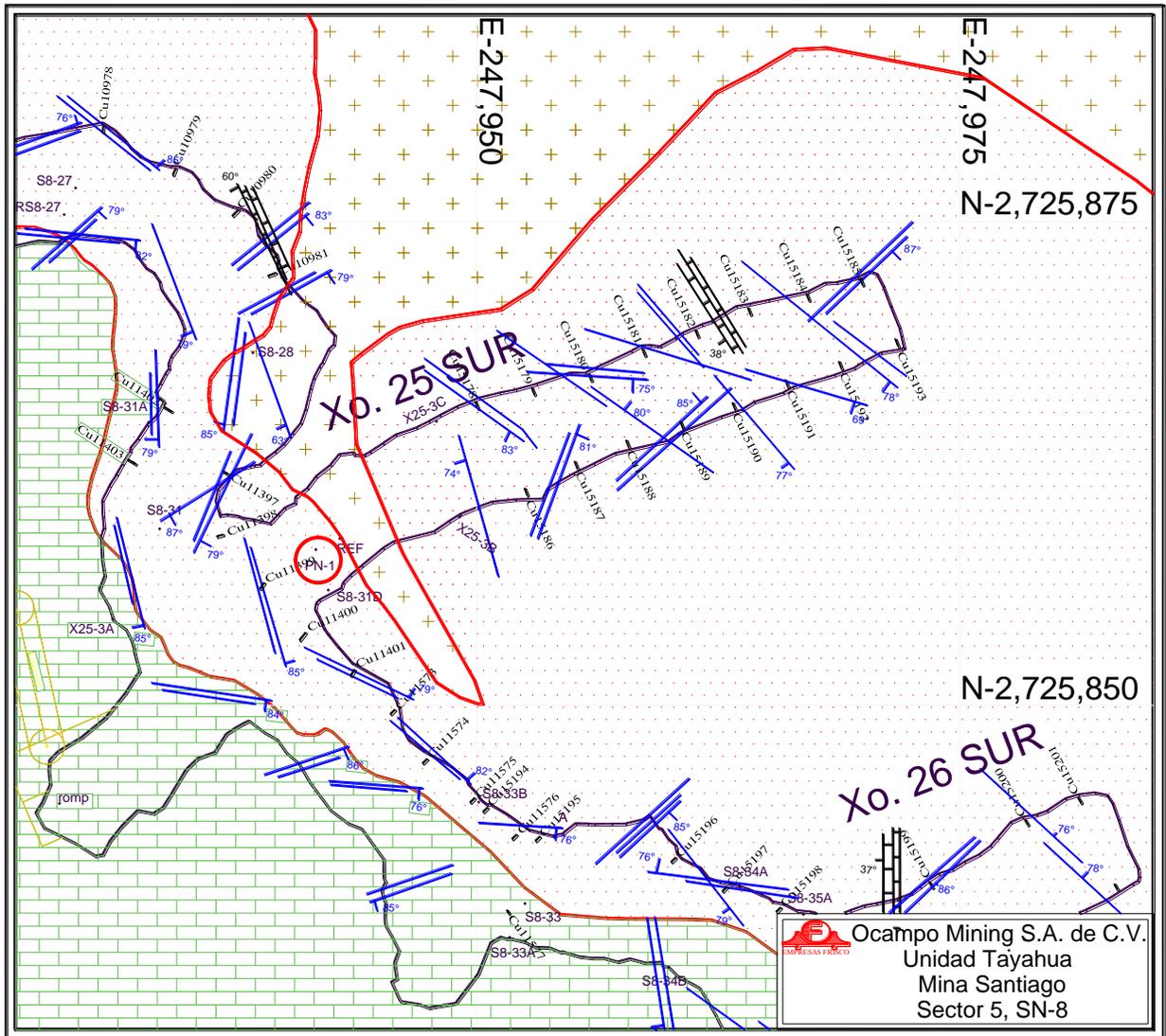
Figura 24. Levantamiento topográfico digitalizado.

Levantamiento geológico

Una vez obtenido el levantamiento topográfico, se procede a realizar la descripción y caracterización de las litologías, que consta de las siguientes etapas:

- a) Ubicar un punto topográfico para tomarlo como referencia al avance de la obra. Figura (23).
- b) Observar las fallas, fracturas y estratos más prominentes, caracterizarlos (rumbo y echado), hacer la descripción respectiva de cada estructura, ubicarlos y plasmarlos con la simbología adecuada en el levantamiento topográfico, con la ayuda de una regleta.
- c) Observar al cielo y tablas las diferentes litologías expuestas, así ubicar sus respectivos contactos en el levantamiento topográfico, así como hacer una pequeña descripción de estas mismas, es decir; tipo de roca, mineralogía y alteraciones, así obtenemos el mapeo. Figura (25).

Plano Geológico



Muestreo de canal

El muestreo se marca perpendicular a la dirección preferencial de rumbo de los estratos a cada 3 m, con una longitud por muestra que varía entre 1 y 1.5 m, un ancho de canal de 7 a 10 cm, y una profundidad de 1 a 2 cm. Este procedimiento se hace tanto en la tabla derecha como tabla izquierda, y cada muestra tomada se coloca en el levantamiento geológico. Figura (26).



Figura 26. Marcaje de muestra de canal

5.1.2 Secciones Geológicas

La elaboración de secciones geológicas fueron empleadas para analizar e interpretar las diferentes litologías presentes, así como el comportamiento de las diferentes estructuras geológicas (diques, fracturas y fallas principalmente). En el campo profesional de las geociencias, la minería y específicamente en el área de barrenación larga, es importante identificar la dirección preferencial de la zona rentable o bien, zona mineralizada, tratando de evadir en su mayoría a la roca encajonante (Kicc) o en su caso diques, y de esta manera proyectar barrenos a lo largo de esta misma.

En este trabajo, se desarrollan dos tipos de secciones: longitudinales y transversales. La diferencia entre ambas es el trazo que se les asigna sobre el mapeo, que depende de la conveniencia o enfoque del área a analizar.

El procedimiento para realizar las secciones longitudinales como transversales se enlista a continuación:

- a) Tener a la mano la planta con topografía y geología del área a estudiar, sobre esta trazar la línea de sección en donde se requiera con su respectiva línea de referencia.
- b) Proyectar tanto la línea de sección como la de referencia dos subniveles arriba, para identificar la proyección y área mineralizada.
- c) La línea de referencia marcada en la planta anterior deberá coincidir con el perfil topográfico elaborado, al igual que las escalas.

Una vez cumpliendo con lo anterior se procede a:

- a) Empalmar las plantas de los subniveles, figura (27, 28, y 33, 34), y el perfil topográfico respecto a la línea de referencia.
- b) Marcar los contactos de las diferentes litologías e ir marcando el rumbo y echado de alguna estructura presente.
- c) Marcados los contactos de cada subnivel, se lleva a cabo la interpretación geológica y se coloca la simbología adecuada.
- d) Una vez finalizada la sección geológica se proyectan los barrenos (la longitud y echado varía según el cuerpo mineralizado).

Para ejemplificar el proceso anterior se muestran las siguientes figuras (29, 31 y 35). Y las figuras (30, 32 y 36) evidencian el trabajo ejecutado en campo.

Planta para la elaboración de sección

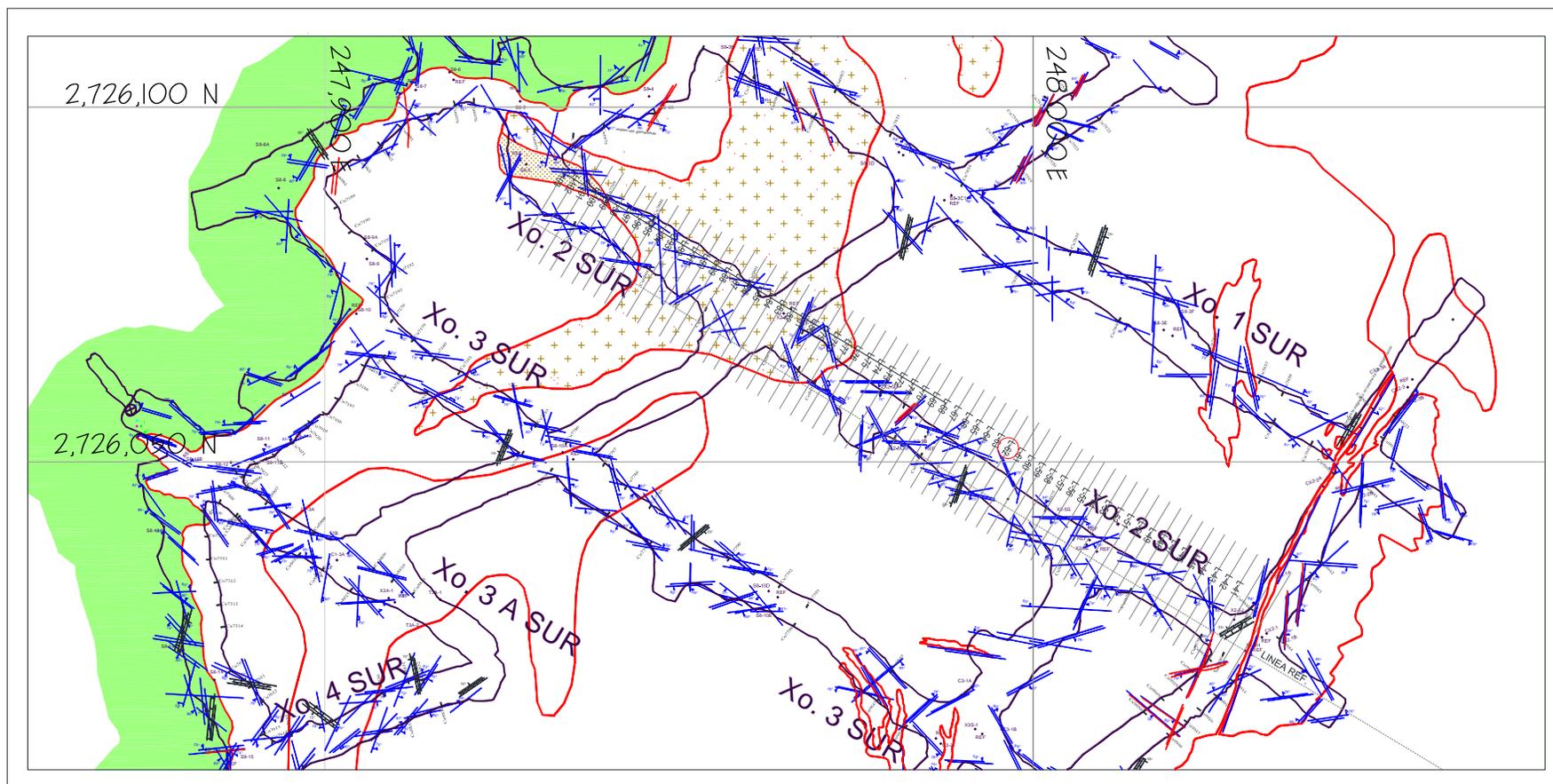


Figura 27. Planta del Xo 2, subnivel -8, sector 1 para elaboración de la sección geológica que se presenta en la figura 29, con su respectiva línea de referencia.

Planta para la elaboración de sección

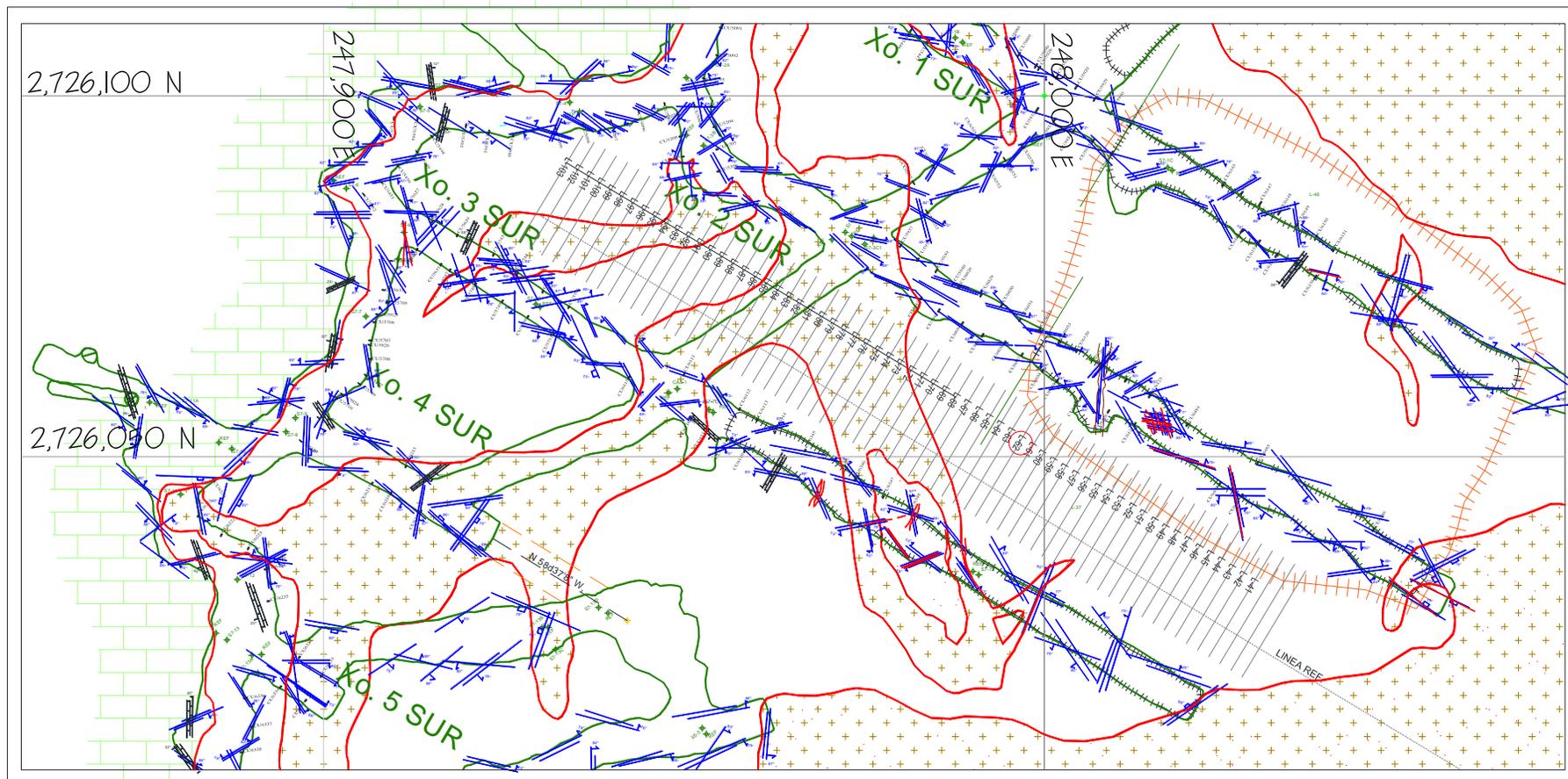


Figura 28. Planta del subnivel -7, sector 1 para seguir la correlación de litologías y elaborar la sección geológica que se presenta en la figura 29, con su respectiva línea de referencia.

Sección con proyección de abanico completo

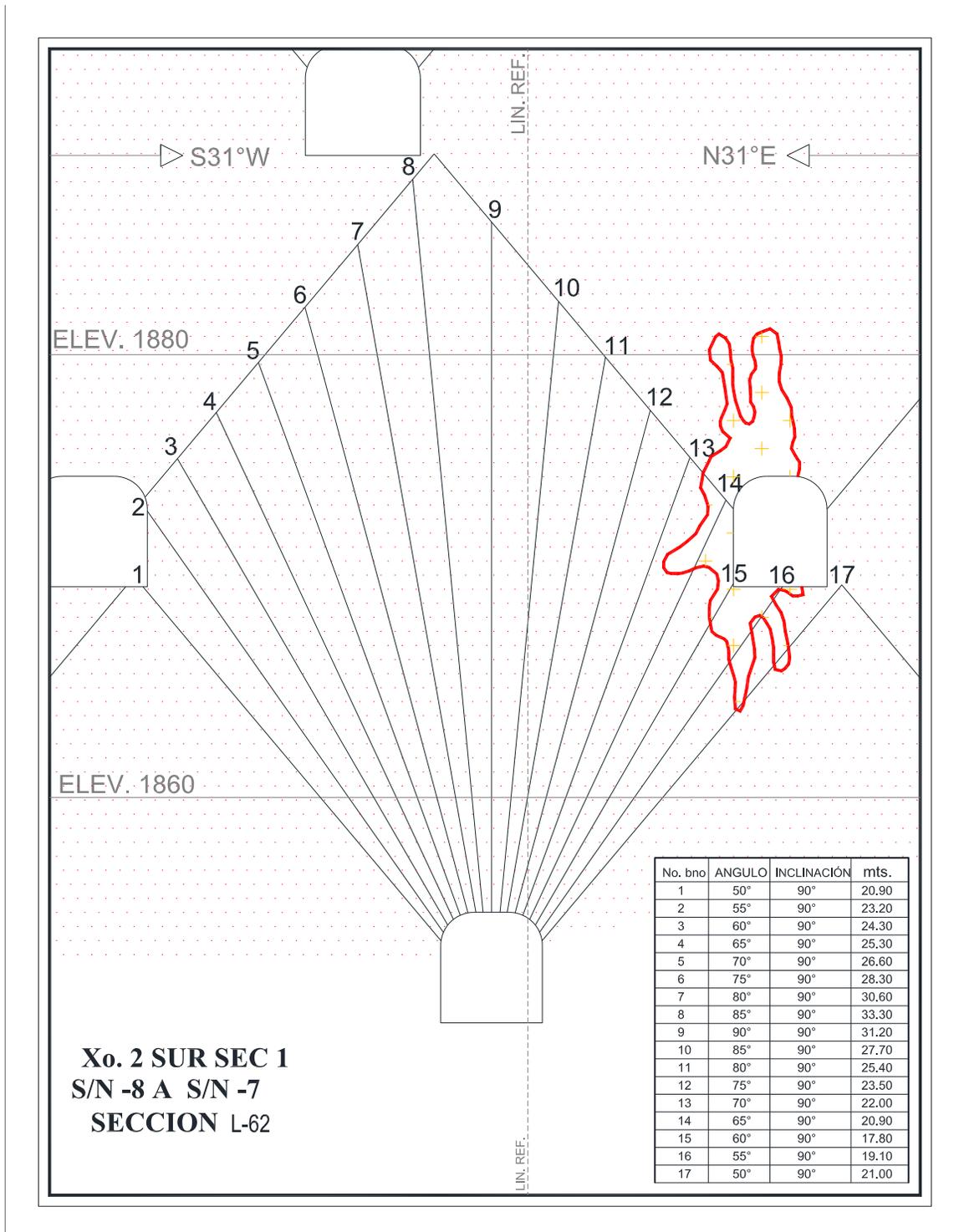


Figura 29. Sección geológica mostrando área mineralizada y un dique con proyección de abanico completo, observando el corte de las obras a “tres bolillo”

Abanico completo en campo



Figura 30. Sección de abanico completo ejecutada en campo, constando de 17 barrenos

Sección con proyección de medio abanico

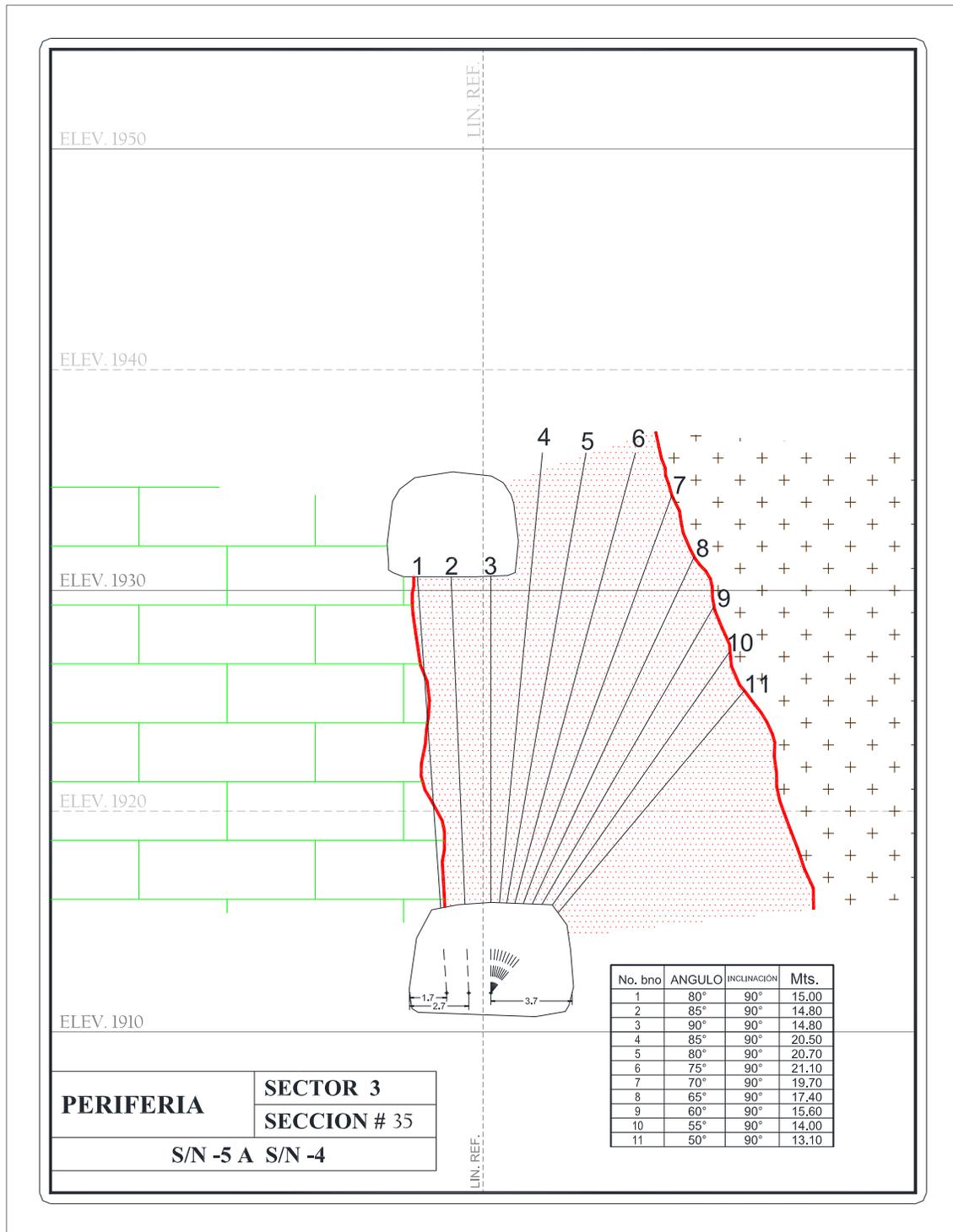


Figura 31. Sección geológica con proyección de medio abanico

Medio abanico en campo



Figura 32. Sección de medio abanico ejecutada en campo, constandingo de 11 barrenos

Planta para la elaboración de sección

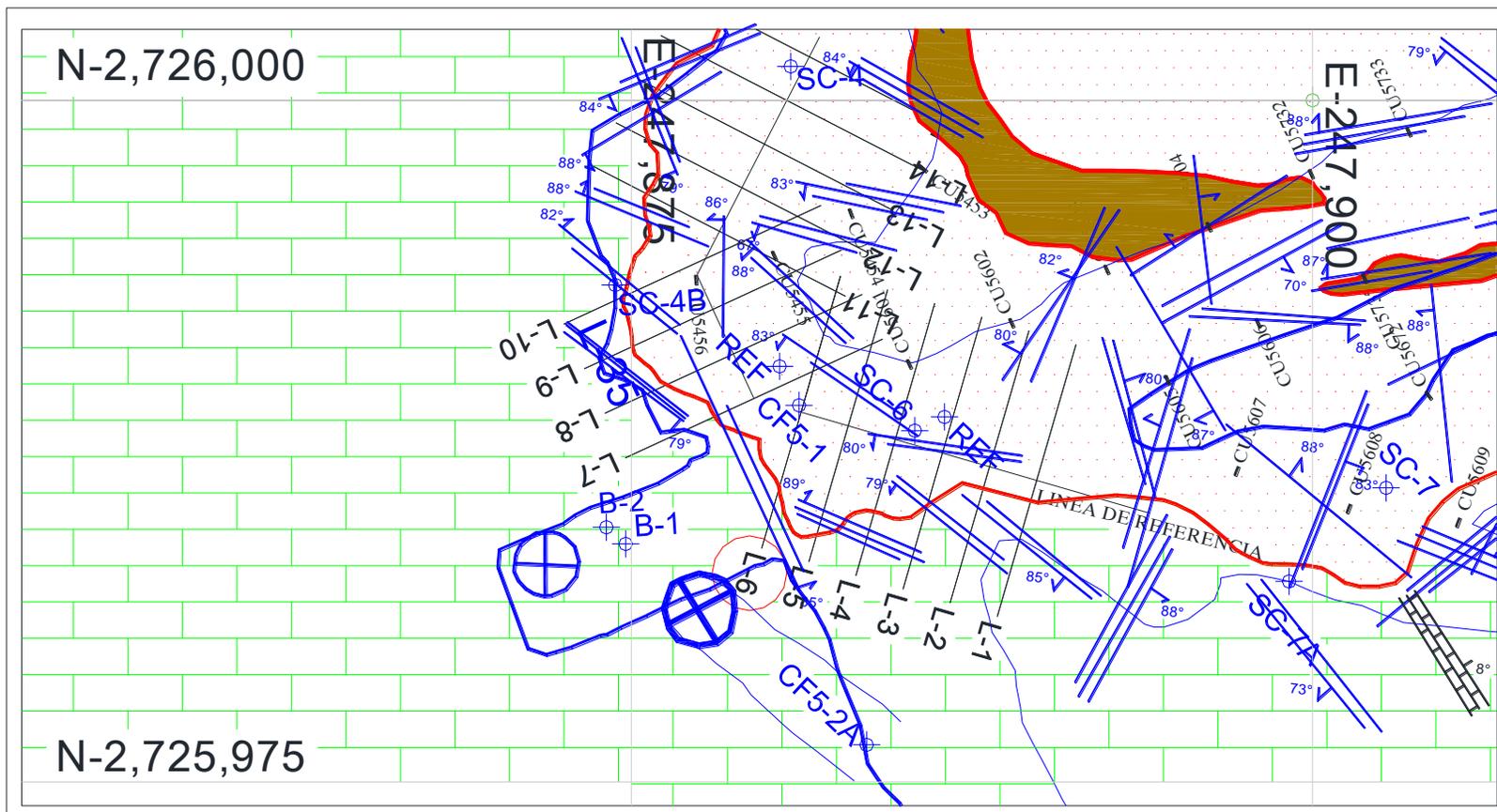


Figura 33. Planta de la periferia, subnivel -5, sector 1 para elaboración de la sección geológica que se presenta en la figura 35, con su respectiva línea de referencia.

Planta para la elaboración de sección

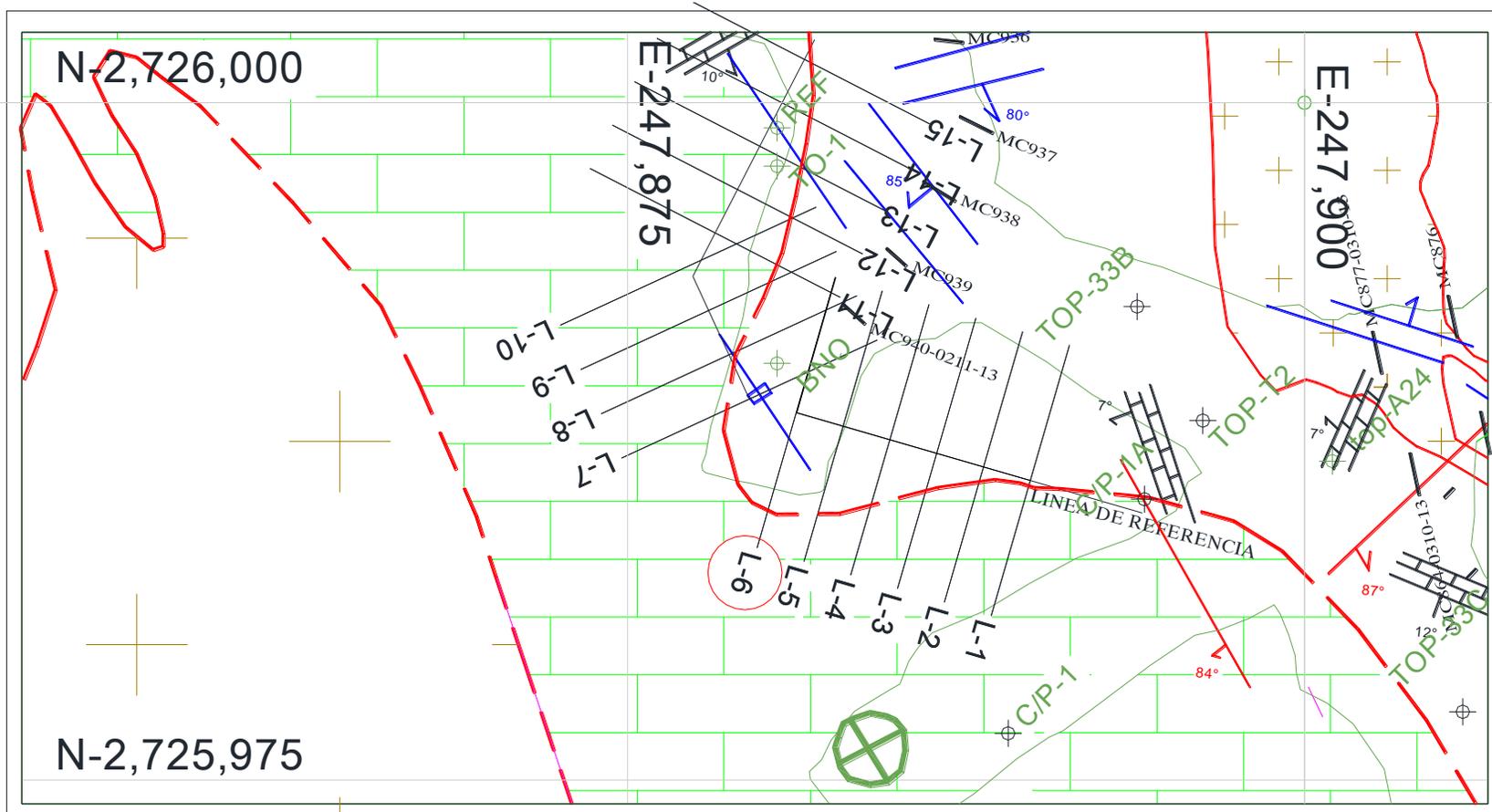


Figura 34. Planta del subnivel -4, sector 1 para seguir la correlación de litologías y elaborar la sección geológica que se presenta en la figura 35, con su respectiva línea de referencia.

Sección con proyección de zanjón

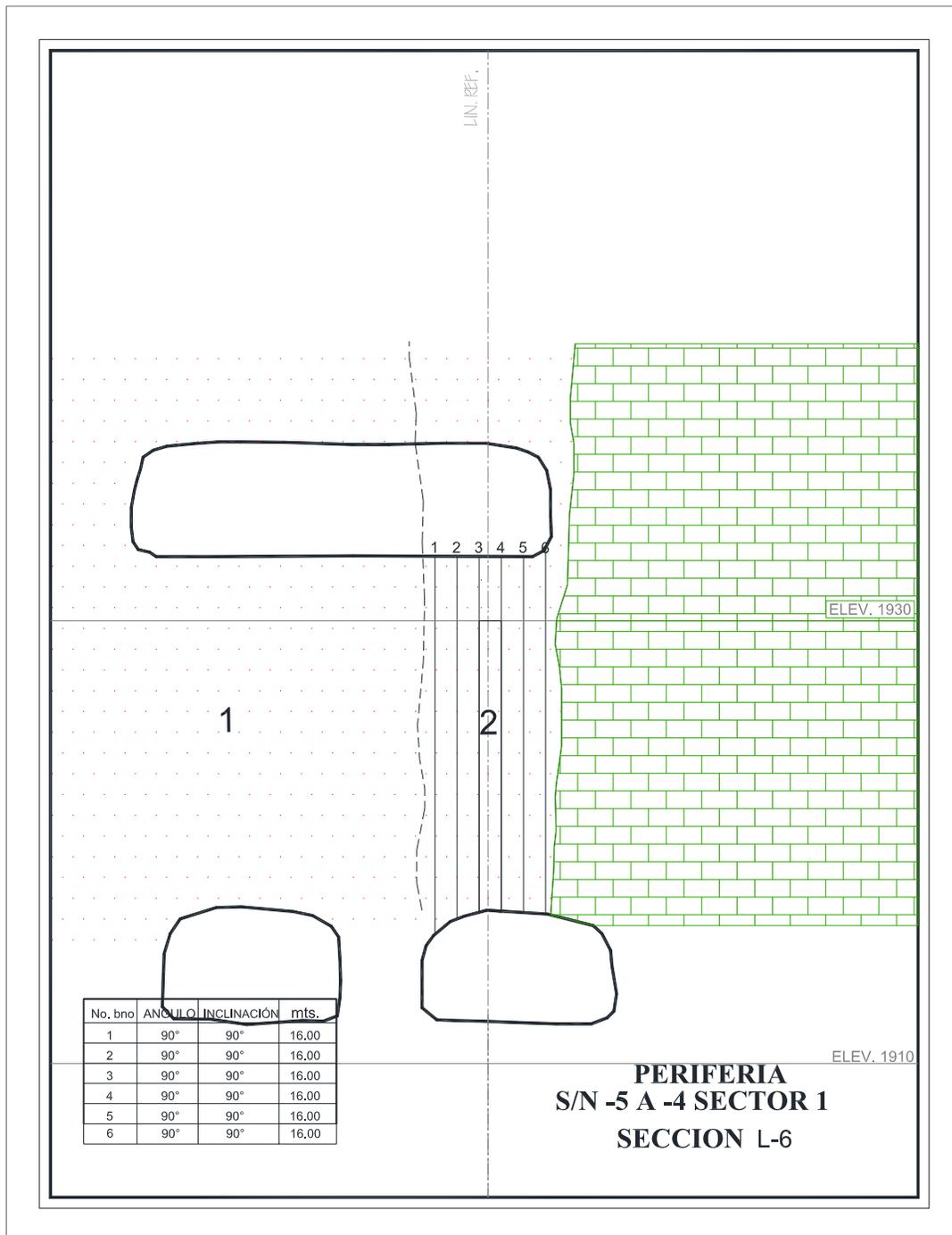


Figura 35. Sección geológica con proyección de zanjón, donde el número uno indica área mineralizada a tumbar con próximas líneas debido a la posición de la obra, y el numero dos indica área mineralizada a tumbar con la sección de zanjón.

Zanjón en campo

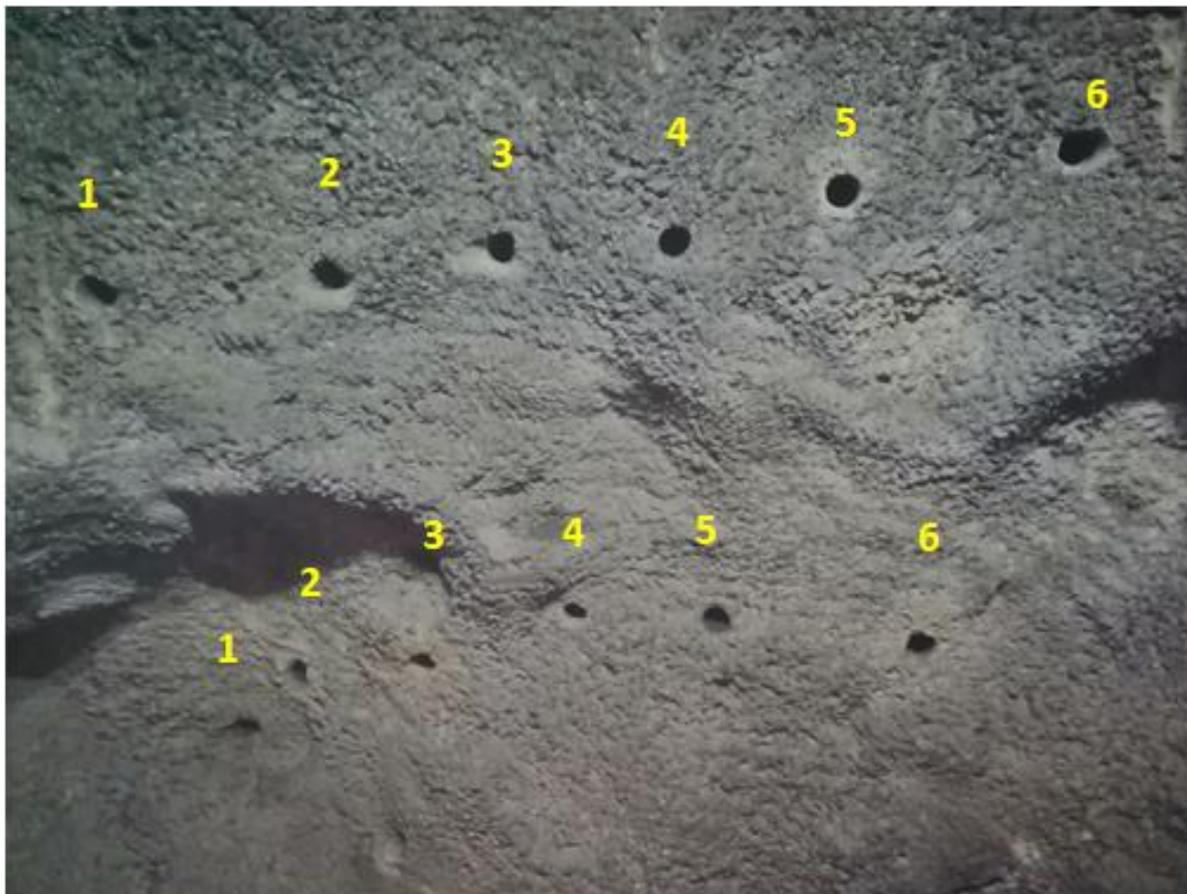


Figura 36. Sección de zanjón ejecutada en campo, constando de 6 barrenos

5.1.3 Toma de Muestras

La toma de muestras en barrenación larga es de gran importancia, porque a partir de ellas se obtiene una estimación de la ley para el tumbe planeado.

El muestreo se toma al término de cada barreno en todas las líneas, es decir; al finalizar todos los tubos que tienen por medición 1.8 m.

Cuarteo

El método de cuarteo se realiza con el objetivo de hacer más representativa a la muestra respecto a la mezcla de litologías, por consiguiente nos da una ley más exacta, y respecto a la cantidad empaquetada.

Antes de empezar a barrenar se coloca un recipiente con dimensiones 60 cm de largo X 60 cm de ancho X 5 cm de altura o bien un recipiente circular de 35 cm de radio debajo del módulo de perforación, así los detritos tengan donde caer durante el periodo de perforación, la posición de este recipiente dependerá de los grados de inclinación del barreno. Figura (37 y 38).

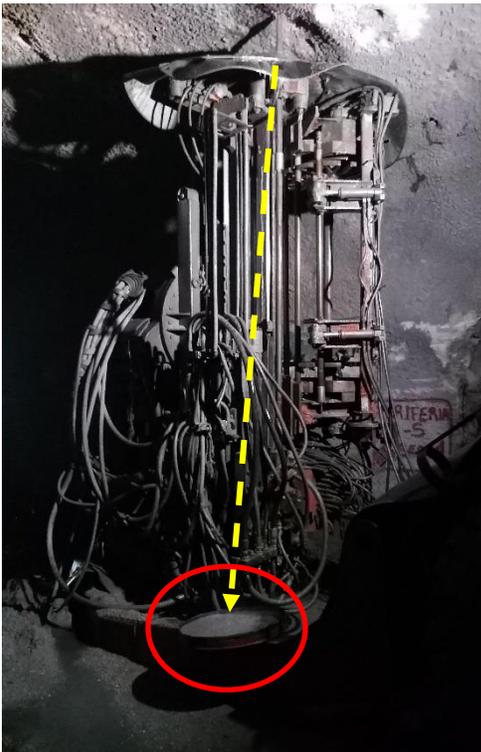


Figura 37. Recipiente colocado al módulo de perforación a 85°



Figura 38. Recipiente colocado al módulo de perforación a 80°

Al terminar de perforar se continúa con la recolección de la muestra, para ello se mezcla el detrito obtenido y se cuartea, es decir; la mezcla obtenida se aplana de tal manera de obtener un espesor uniforme, Figura (39), seguido se divide en cuatro (dependiendo de la cantidad generada se hace n cantidad de veces el cuarteo), Figura (40), se desechan dos cuartos opuestos, Figura (41 y 42), y los 2 cuartos sobrantes se empaquetan. Figura (43, 44 y 45). Finalizado dicho procedimiento se enjuaga el recipiente y se vuelve a colocar para la perforación del próximo barreno. Figura (46).



Figura 39. Mezcla del detrito



Figura 40. División en cuartos



Figura 41. Desechando primer cuarto del recipiente



Figura 42. Desechando segundo cuarto del recipiente



Figura 43. Cuartos opuestos a empaquetar



Figura 44. Muestra empaquetada



Figura 45. Muestra empaquetada con escala



Figura 46. Enjuague de recipiente

Una vez empaquetada la muestra se le asigna una etiqueta de identificación, siendo muestra de barrenación larga deberá llevar fecha, turno, número de equipo, ubicación de la muestra, número de línea, echado del barreno, tabla izquierda o derecha, número de tubos (longitud del barreno) y número de cuarteo. Figura (47).



MUESTREO DE BARRENACIÓN LARGA

Ubicación: _____ Fecha: _____

Línea #: _____ Turno: _____

Grados de BNO: _____ Equipo: _____

Tabla: _____ Núm. de Cuarteo: _____

Núm. de tubos: _____ Muestreado por: _____

Figura 47. Etiqueta para muestreo de Barrenación Larga

Las muestras se extraen a superficie y se hace una descripción de cada una, seguido la información de cada etiqueta se pasa a una base de datos, Figura (48). De la misma forma se elabora una solicitud de ensaye para darle seguimiento a cada muestra en el laboratorio, terminando su análisis se envían los resultados de cada muestra por g/ton en Plata (Ag), y porcentaje en plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), bismuto (Bi), antimonio (Sb), arsénico (As), así proceder a elaborar los respectivos compositos y llevar un control de la ley.

 <div style="text-align: center;"> Minera FRISCO Ocampo Mining S.A. de C.V. UNIDAD TAYAHUA Terminal de Providencia - Zacatecas UBICACIÓN: SECTOR 5, SN -6, Xo26 LINEAS: 1A,21 NOTA No muestreado </div>																	
FECHA/TURNO	LINEA	BARRENO	LONGITUD	AZIMUT	ECHADO	TABLA	Aggt	Pb%	Zn%	Cu%	Fe%	Bi%	Sb%	As%	ESTE	NORTE	ELEVACION
		1															
		2															
		3															
		4															
		5															
		6															
		7															
		8															
		9															
		10															
		11															
		12															
		13															
		14															
		15															
		16															
		17															
		1	Promedio	0			#DIV/0!										

Figura 48. Base de datos

5.1.4 Control de leyes y dilución

La dilución es importante tomarla en cuenta a la hora de llevar a cabo el tumbe, ya que es aquí donde se ve la disminución de ley por presencia de roca estéril, y de este modo nos afecta la calidad de producción, ya que la dilución no solo significa bajar la ley del mineral, es elevar mucho los costos, porque el envío de una tonelada de material estéril a la planta, es más costoso que una tonelada de mineral al jal.

Para tratar de disminuir este conflicto, Minera Tayahua decidió involucrar un geólogo dedicado específicamente al área de la barrenación larga; donde a partir de una metodología de trabajo que involucra mapeo, muestreo de canal, secciones geológicas, muestreo de detritos, y análisis de resultados, busca un control de la dilución y al mismo tiempo verificar la calidad de mineral que se alimenta a la planta de beneficio.

Además de ser el interés de la mina aumentar ganancias y reducir costos, se enfoca a que básicamente un buen control de muestreo incrementa las ganancias, ya que a partir de esto se sabe cómo endulzar las cargas, por otro lado, el hecho de reducir costos esta dado en barrenar de acuerdo con las secciones geológicas, porque se ahorra en metros barrenados, en cantidad de explosivo, en herramienta (brocas, barras para perforar), y cuando se tumba en transportar la carga con mejor ley a la planta.

El factor que causa inicialmente la dilución es el no seguir el ángulo preferencial de contacto marcado en las secciones geológicas para la barrenación, ya que es aquí donde se perforará la zona mineraliza o estéril, y a la hora del tumbe se verá reflejado. Seguido por la mala comunicación y capacitación de los operadores de “solos”, así como cargadores, aquí se verá reflejado en el control del fracturamiento, y agilidad de productividad principalmente.

Para calcular la ley diluida se aplica la siguiente formula:

$$(L_M \times A_M) / A_O$$

Donde:

L_M = Ley de mineral

A_M = Ancho del mineral

A_O = Ancho de la obra

Por ejemplo:

Se tiene un ancho de obra de 5 m, y a partir del contacto un ancho de mineral de 4.3 m con una ley promedio de 0.97 %, ¿Cuál es la ley diluida y cuál es el porcentaje de dilución?

Ley diluida: $(0.97 \times 4.3) / 5 = 0.83 \%$

Porcentaje de dilución: $(0.83 \times 100) / 0.97 = 85.5$; $100 - 85.5 = 15\%$

Para llevar a cabo el control de la ley se utiliza la base de datos, Figura (48), en donde se colocan los resultados obtenidos por laboratorio, y se saca un promedio ponderado por línea y a su vez un promedio de líneas por obra. Finalmente se hace la entrega al Ingeniero Minero para que tenga noción de la calidad de mineral. Además, una vez a la semana se estima una ley pronóstico por lugar, donde el Ingeniero Minero y el Departamento de Planeación indicarán el tonelaje a producción semanal. Una vez definida la cantidad, se procede a hacer el cálculo para saber cuántas líneas se tumbarán, y hacer el respectivo composito.

Ejemplo de promedio ponderado en Software (Tabla 3).

Promedio ponderado en Software (Excel)

<i>No de muestra</i>	<i>Ancho</i>	<i>Ley</i>
1	18	1,58
2	19,8	1,77
3	21,6	1,46
4	23,4	1,71
5	25,2	1,6
Promedio	108	1,62

=SUMAPRODUCTO(\$D161:\$D178;I161:I178)/\$D179

Tabla 3. Promedio ponderado en Software (Excel)

Ejemplo de promedio ponderado manual. (Tabla 4).

Promedio ponderado manual

<i>No de muestra</i>	<i>Ancho</i>	<i>Ley</i>	<i>Anchura x Análisis</i>
1	18	1,58	28,44
2	19.8	1,77	35,05
3	21.6	1,46	31,53
4	23.4	1,71	40,01
5	25.2	1,6	40,32
	108		175,36
	L= 1,62		

$$L = \frac{\sum_1^n l * a}{\sum_1^n a}$$

Donde;

l = ley reportada de cada muestra

a = ancho de cada muestra

Tabla 4. Promedio ponderado manual

VI. Resultados

Los resultados obtenidos a partir de la metodología que lleve a cabo para el trabajo en el área de barrenación larga de Unidad Tayahua, se enfocaron primordialmente en el desarrollo de las secciones geológicas transversales a la obra cada 1.8 m llegando un crucero a constar de 30 secciones promedio, aumentando en las periferias (dependiendo del avance en tumbe de los cruceros), logrando con ello la correcta proyección de barrenos principalmente en el contacto intrusivo – cuerpo mineralizado, y caliza - cuerpo mineralizado, por lo que significa que al seguir el ángulo preferencial del contacto, se evita la barrenación errónea en roca estéril y se contribuye con la disminución de dilución. Se menciona principalmente por el hecho que las rocas estériles se encuentran de forma masiva ahí, a comparación con los xenolitos o diques presentes en el trayecto del cuerpo mineralizado.

Además, se ve reflejado en el ahorro de acero, por ejemplo al no dar barrenos erróneos, se alarga la vida de todos los artefactos involucrados en este campo; y al mismo tiempo se contribuye a no mal gastar el explosivo, y ahorro en el acarreo.

La toma de muestreo que se realizó fue de gran eficacia, ya que se obtuvo un control de calidad de las áreas a tumbar, y al mismo tiempo dio certeza de las cargas a mezclar, para que de esta manera existiera un equilibrio.

En los últimos años se aprecia como la ley y el tonelaje de producción ha sido proporcional, es decir; antes el tonelaje era menor, por lo tanto su ley era mayor. Conforme al paso de los años la empresa ha exigido una mayor producción en tonelaje llegando a bajar su respectiva ley, es por eso, por lo que cada vez se debe de llevar un mejor control de ley y dilución.

VII. Conclusiones

En las actividades profesionales desarrolladas durante el último año en Minera Tayahua, implicando la aplicación de metodologías que consideran la geología del yacimiento, tales como el mapeo, elaboración de secciones y muestreo, han permitido que junto con un equipo de trabajo se contribuya a:

- Mapear futuras áreas para barrenación larga, para seguir manteniendo la continuidad en el trabajo de explotación que se lleva a cabo.
- El trabajo geológico realizado en la mina permite una reducción en costos.
- Con la elaboración de secciones transversales al yacimiento mineral se logró identificar zonas no convenientes a barrenar cerca del intrusivo por alguna inestabilidad presente.
- A través del sondeo, recolección de muestras y correlación de resultados se desarrolló un área de corte y relleno.
- La dilución fue favorecida, debido a que los barrenos se efectuaron a lo largo del cuerpo mineralizado.

Referencias

Alfaro-Torres M. C., 2015, Tesis: Geología estructural del área de Mazapil y Concepción del Oro, en el estado de Zacatecas, UNAM-FI, CDMX, pp. 108.

Alva-Valdivia, 2011, Lo esencial sobre yacimientos metálicos en la margen continental del pacífico mexicano: relación con la teoría de tectónica de placas, Vol. 1, Latingmag Letters, LL11-0101Rv, pp. 1-26.

Andrade-Rosales F. J., 1980, Estudio Geológico Minero Evaluativo del Proyecto Minera Tayahua – Ubicado en Terminal de Providencia, Mpo. De Mazapil, Edo. De Zacatecas., Consejo de Recursos Minerales, pág. 58, 22.

Ángeles-Villeda, M.A., Hinojosa-Espinosa, J.J., López-Oliva, J.G., Valdés-González, A., Livas-Vera, M., 2005, Estratigrafía y microfacies de la parte sur del Cañón La Boca, Santiago, Nuevo León, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 22(2), 272-281. Bacon, R.W., 1978, Geology of the northern Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: Arlington, Texas, University of Texas, tesis de maestría, 124 p.

Arvizu-Gutiérrez, I.R., 2006, Paleomagnetismo de rocas jurásicas y cretácicas del Valle San Marcos, Coahuila, México: México, D.F., Centro de Geociencias Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría, 121 p.

Barbosa-Gudiño, J.R., Álvarez-Mata, V.M., Torres-Hernández, J.R., 1998, Informe de la Carta Geológica Minera y Geoquímica Real de Catorce F14-A24, escala 1:250 000, estado de San Luis Potosí: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales, informe técnico, 160 pp.

Barboza-Gudiño, J.R., Hoppe, M., Gómez-Anguiano, M., Martínez-Macías, P.R., 2004, Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 21(3), 299-319.

Bernaola J., Castilla J., Herrero J., 2013, Perforación y voladura de rocas en minería, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, pp. 256.

Broili, C., Carden, J.R., 2004, Technical Review Report of Trebol Gold Property, Zacatecas Mexico, Corex Gold Corporation, Technical Report, 79pp.

Burt, Donald M., 1977, Mineralogy and petrology of skarn deposits. Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, 33 (2), 859-873, pp. 859-873.

Camprubí Antoni, 2013, Tectonic and Metallogenetic History of Mexico, Society of Economic Geologists, Special Publication 17, Chapter 6, pp. 201-243.

Carrillo-Bravo, J., 1982, Exploración petrolera de la Cuenca Mesozoica del centro de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 34(1), 21-46.

Clemons, R. E., y McLeroy, D.F., 1962, Geology of Torreon and Pedriceñas quadrangles, Coahuila and Durango, Mexico., The University of New Mexico, Master of Science, 171 p.

Dawson K.M., 1996, Skarn Deposits, *in Geology of Canadian Mineral Deposit Types*, pp. 447-502.

Duarte-Raúl., 1993, Colección de término técnicos y vocablos propios de los trabajadores que laboran en la mina el teniente, Glosario Minero, Rancagua, pp.147.

Eguiluz de Antuñano S., Aranda García M., Randall Marrett., 2000, Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana., V. LIII, pp. 1-26.

Enciso de La Vega, S., 1963, Hoja Nazas 13R-k (6), Resumen de la Geología de la Hoja Nazas, Estado de Durango: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas de México serie 1:100,000, 1 mapa con texto.

Fitz-Díaz E., Timothy F. Lawton, Juárez-Arriaga E., Chávez-Cabello G., 2018, The Cretaceous-Paleogene Mexican Orogen: Structure, basin development, magmatism and tectonics. *Earth-Science Reviews*-183, pp. 56–84.

González de Vallejo L., 2002, Ingeniería Geológica, Pearson, Madrid, pp. 744.

González-Ramos, A., Barbosa-Luna, D., Santiago-Carrasco, B., Izaguirre-Ramos, M.A., 1997, Informe de la Carta Geológico-Minera y Geoquímica Monclova G14-4, escala 1:250 000, Estados de Coahuila y Nuevo León: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales, informe técnico, 50 p.

GYMSA, Geoquímica y Perforación S.A. de C.V. (GYMSA), 2008, Texto explicativo Carta Geológico-Minera Sierra La Pila G14-C12, escala 1:50 000, estado de Coahuila: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales, informe técnico, 51 pp.

Hartman-Howard L., 2002, Introductory mining engineering, second edition, USA. pág. 570.

Humphrey, W.E., 1949, Geology of the Sierra de los Muertos area, Mexico (with description of Aptian cephalopods from La Peña Formation): *Geological Society of America Bulletin*, 60, 89-176.

Humphrey, W.E., Díaz, T., 2003, Jurassic and Lower Cretaceous Stratigraphic and Tectonics of Northeast of Mexico, Bureau of Economic Geology, Report of Investigations No 267, 152 p.

Imlay, R.W., 1936, Evolution of the Coahuila Peninsula, Mexico. Part IV Geology of the Western of the Sierra the Parras: Geological Society of America Bulletin, 47(7), 1091-1152.

Imlay, R.W., 1937, Geology of the middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico: Bulletin of Geological Society of America, 48(5), 587-630.

Imlay, R.W., 1938, Studies of the Mexican Geosyncline: Geological Society of America Bulletin, 49, 1651-1694.

Imlay, R.W., 1940, Neocomian faunas of Northern Mexico: Geological Society of American Bulletin, 51(1), 117-190.

Imlay, R.W., 1953, Las formaciones jurásicas de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 16(1), 1-64.

Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Aranda-Gómez, J., 1982, Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del Estado de San Luis Potosí: San Luis Potosí, México, Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Folleto Técnico 85, 208 p.

Ledezma-Guerrero, O., 1967, Hoja Parras 13R-1(6), Resumen de la Geología de la Hoja Parras: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas de México serie 1:100,000, 1 mapa con texto.

Lehmann, C., Osleger, D.A., Montañez, I.P., 1998, Controls on cyclostratigraphy of Lower Cretaceous Carbonates and Evaporites, Cupido and Coahuila platforms, northeastern Mexico: Journal of Sedimentary Research, 68(6), 1009-1130-

López-Aburto, 1994, Métodos de Explotación de Minas, UNAM-FI, pp. 114.

Meinert-Lawrence D., 1992, Skarns and Skarn Deposits, Geoscience Canada, Volume 19, Number 4. USA., pp. 145-162.

Meinert-Lawrence D., 2005, World Skarn Deposits, Society of Economic Geologists, pp. 299-336.

Ministerio de Minas y Energía, 2003, Glosario Técnico Minero, Bogotá D.C., pp.168.

Montañez-Castro, A., Ramírez-Gutiérrez, J.G., Escalante-Martínez, J.C., Luévano, A., LópezLópez, M., 1999, Carta Geológico-Minera y Geoquímica Concepción del Oro, clave G14-10 escala 1:250 000: Pachuca, Hidalgo, México, Informe Técnico, 157 p.

Montañez-Castro, A., Torres-Duran, V., 2003, Carta Geológico-Minera Concepción del Oro G14-C62, escala 1:50 000: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales, informe, 91 pp.

Padilla y Sánchez, R.J., 1978, Geología y estratigrafía (Cretácico Superior) del límite suroeste del estado de Nuevo León: Revista del Instituto de Geología, 2(1), 37-44.

Padilla y Sánchez, R.J., 1982, Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo and Monterrey, Mexico: Texas, U.S.A., University of Texas at Austin, tesis doctoral, 217 p.

PEMEX, Petróleos Mexicanos, 1988, Estratigrafía de la República Mexicana: Mesozoico: México, D.F., Subdirección de producción primaria, Coordinación ejecutiva de exploración informe inédito, 229 pp.

Pérez-Rul, F.A.M., 1967, Hoja Viesca 13R-1(5), Resumen de la Geología de la Hoja Viesca, estados de Coahuila y Durango, México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas de México serie de 1:100 000, 1 mapa con texto.

Pérez-Segura y González-Partida, 2010, Mineralogía de skarn y fluidos asociados a los yacimientos de Cu-Zn-Ni-Co de La Esperanza, Sonora, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V. 27, núm. 1, pp. 1-17.

Pessagno, E.A. Jr., Martin, Ch., 2003, Tectonostratigraphic evidence for the origin of the Gulf of Mexico in Bartolini, C., Buffler, R.T., Blickwede, J. (eds.), Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 79, 46-74.

Pessagno, E.A., Jr., Cantú-Chapa, A., Hull, D.M., Kelldorf, M., Longoria, J.F., Martim, C., Meng, X., Montgomery, H., Urrutia-Fucugauchi, J., Ogg, J.G., 1999, Stratigraphic evidence for Northwest to southeast tectonic transport of Jurassic Terranes in Central Mexico and the Caribbean (Western Cuba) in Mann, P. (ed.), Caribbean Basin. Sedimentary Basins of the World: Amsterdam, Netherlands, Elsevier Science B.V., volume 4, 123-150.

Ramírez-Díaz, A., 2012, Tesis: Estudio geológico - estructural del anticlinal la caja (área Bonanza – Providencia), Sierra Madre Oriental, NE de Zacatecas, Linares, Nuevo León, pp. 139

Regalet-Figueroa, J.I., 2011, Bioestratigrafía, análisis microfacial y geoquímico de la formación La Casita, Jurásico Tardío (Kimmeridgiano-Tithoniano) en Potrero Prieto Galeana, Nuevo León, México: Linares, Nuevo León, facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de maestría, 93 pp.

Rogers, C.L., De Cserna, Z., Tavera-Amezcu, E., Ulloa, S., 1957, Geología general y depósitos de fosfatos del Distrito de Concepción del Oro, Estado de Zacatecas: Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales, Boletín 38, 129 p.

Rogers, C.L., De Cserna, Z., Van Vloten, R., Tavera-Amezcu, E., Ojeda-Rivera, J., 1961, Reconocimiento geológico y depósitos de fosfatos del norte de Zacatecas y áreas adyacentes en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí: México, DF., Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Boletín 56, 322pp.

Salvador, A., 1991, Chapter 8, Triassic-Jurassic in Salvador, A. (ed.), The Gulf of Mexico Basin: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geologic of North America, vol. J. 131-180.

Santamaria-Orozco, D., Arenas-Partida, R., Escamilla-Herrera, A., 1990, Normalización de la nomenclatura estratigráfica de las Cuencas Mesozoicas de México, Etapa I: Zona Norte, (Cretácico), Proyecto CAO 3052, Instituto Mexicano del Petróleo, 140 pp.

Santiago-Carrasco, B., Martínez-Ramos, C.J., Sánchez-Bermeo, G., Chiapa-García, R., Palacios-García, R., 2000, Informe de la Carta Geológico-Minera G14-7, escala 1:250 000, estados de Coahuila, Nuevo León y Zacatecas: Pachuca, Hidalgo, Consejo de Recursos Minerales, informe técnico, 99pp.

Servicio Geológico Mexicano, 2018, Monografía geológica Minera del Estado de Zacatecas, pag.72.

SOSA-VALDÉS, R. (2011) Geocronología U-Pb del Cinturón de Intrusivos de Concepción del Oro, Zacatecas, México [licenciatura] Universidad Autónoma de Nuevo León, 127 p.

Soto-Araiza, R.G., Maldonado-Lee, JM., Pérez-Vargas, M.A., Estrada-Reyes, C., 2001, Informe final de la Carta Geológico-Minera Charco Largo F14-A13 escala 1:50 000, estados de San Luis Potosí y Zacatecas: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales, informe técnico, 38 pp.

Tristán-González, M., Torres-Hernández, J.R., 1994, Geología de la Sierra de Charcas, Estado de San Luis Potosí, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 11(2), 117-138.

Velasco-Tapia F., 2011, Estudio Petrográfico y Geoquímico del Complejo Plutónico El Peñuelo (Cinturón de Intrusivos de Concepción del Oro), Noreste de México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 63, Núm. 2, pp. 183-199.

Villarreal-Fuentes, J., 2007, Depósitos de Celestina en la zona de los alamos, Estado de Coahuila; un ejemplo de mineralización del tipo mvt: México, D.F., Centro de geociencias, campos Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría, 77 p.

Weidie, A.E., Murray, G.E., 1967, Geology of Parras basin and adjacent areas of Northeastern Mexico: American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 51(5), 678-695.

Zarate del Valle, P., 1982, Geología y Análisis metalogenético de la Sierra del Catorce, S.L.P.: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 43(1), 1-21.

Mesografía

HR Ratings, Minera Frisco.

https://www.hrratings.com/pdf/RETIRO_MFRISCO%2013_20180902.pdf

INEGI, Provincia Geológica del Estado de Zacatecas.

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=32>

FRISCO, 2011.

http://www.minerafrisco.com.mx/ES_inversionistas_informacionfinanciera_reporteanu/2011.pdf

FRISCO, 2015.

http://www.minerafrisco.com.mx/ES_inversionistas_informacionfinanciera_reporteanu/2015.pdf

Servicio Geológico Mexicano, Léxico Estratigráfico Mexicano.

https://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/