

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**“MODELO PRELIMINAR DEL YACIMIENTO NEPTUNO DE MAGNETITA Y  
HEMATITA EN LA REGIÓN COSTERA DEL ESTADO DE JALISCO”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO GEÓLOGO**

**P R E S E N T A:**

**JOSÉ ESTRADA CONTRERAS**

**DIRECTOR: ING. MIGUEL IDELFONSO VERA OCAMPO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, 2010.**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
60-I-1061

**SR. JOSÉ ESTRADA CONTRERAS**  
**Presente**

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Miguel I. Vera Ocampo y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**MODELO PRELIMINAR DEL YACIMIENTO NEPTUNO DE MAGNETITA Y HEMATITA EN LA  
REGIÓN COSTERA DEL ESTADO DE JALISCO**

**RESUMEN**  
**INTRODUCCIÓN**  
**I GENERALIDADES**  
**II GEOLOGÍA**  
**III YACIMIENTOS MINERALES**  
**IV MODELO GEOLÓGICO 3D**  
**CONCLUSIONES**  
**BIBLIOGRAFÍA**  
**PLANOS E ILUSTRACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar En el sentido que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta

Asimismo, le recuerdo que la ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social Durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

CD. Universitaria, D. F., a 17 de Septiembre de 2009

EL DIRECTOR

**MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA**

**JGGZ\*RJPYS\*srs**

**A mis padres,** gracias a su apoyo infinito y a todo el amor que me han brindado.

**A mis hermanos,** por mostrarme el camino siempre correcto.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todas las personas que contribuyeron con la realización de este trabajo y a todas las personas que me apoyaron durante esta etapa de mi vida.

Agradezco al Ing. Rodolfo Hernández Ontiveros, por sus enseñanzas y consejos para la realización de la tesis; al Ing. Miguel I. Vera Ocampo, director de esta tesis, por su apoyo y sus consejos en la edición de este trabajo; a los ingenieros Germán Arriaga García, Fernando Rosique Naranjo, Jesús Castro Mora y el Dr. Carlos Garza González Vélez, por sus observaciones y consejos siempre críticos, los cuales fueron de gran ayuda en la mejora de esta obra; a mi amigo, Ing. Christian Uriel Moya García, por su paciente y siempre desinteresada colaboración para este trabajo.

Así mismo quiero agradecer a todos mis amigos, maestros y familiares que durante estos 10 años han sido un pilar importante de mi formación profesional.

Noé y Gabriel, esta tesis también es suya.

## ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	3
Objetivo	5
Antecedentes	6
Método de trabajo	12
I- Generalidades	
I-1 Localización y vías de comunicación	15
I-2 Modelo geológico conceptual (yacimientos metasomáticos)	16
I-3 Marco teórico conceptual (software)	20
II- Geología	
II-1 Provincia fisiográfica	22
II-2 Marco geológico	22
II-3 Estratigrafía	23
II-4 Geología estructural	29
II-5 Evolución tectónica	29
III- Yacimientos minerales	
III-1 Paragénesis	30
III-2 Alteraciones	30
III-3 Roca encajonante	31
III-4 Estructuras mineralizadas	32
III-5 Génesis	32
IV- Modelo geológico 3D	
IV-1 Secciones transversales	34
IV-2 Construcción del sólido	38
IV-3 Planteamiento del modelo 3D	40
Conclusiones	46
Bibliografía	48
Apéndice I. Secciones transversales	50

## INDICE DE FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y TABLAS

Figura 1. Mapa magnético de baja altura minera Jeco 2000.	8
Figura 2. Mapa de magnetometría a detalle minera Jeco 2004.	10
Fotografía1. Equipo CS-1000 para barrenación a diamante.	12
Figura 1-1.1. Localización del área de estudio (Corona-Esquivel, 2004).	15
Figura 1-2.1. Modelo geológico conceptual propuesto para el yacimiento Neptuno.	17
Figura IV-1.1. Sección transversal geológica transversal st1.	36
Figura IV-1.2. Sección transversal mineral transversal st1.	37
Figura IV-2.1. Vista SW de los niveles del cuerpo principal del yacimiento Neptuno.	39
Figura IV-2.2. Vista SW de los niveles acompañados del sólido del cuerpo principal.	39
Figura IV-3.1. Imagen tridimensional de la topografía y afloramientos del cuerpo 1 del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).	41
Figura IV-3.2. Imagen tridimensional del cuerpo mineral número 1 del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).	41
Figura IV-3.3. Imagen tridimensional de la topografía y afloramientos del cuerpo principal del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).	42
Figura IV-3.4. Imagen tridimensional de la topografía, afloramientos, barrenos y sólido a profundidad del cuerpo principal del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).	43
Figura IV-3.5. Imagen tridimensional de la topografía y afloramientos de los cuerpos 3, 4, 5 y 6 del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).	44
Figura IV-3.6. Imagen tridimensional de la topografía, afloramientos, barrenos y sólidos a profundidad de los cuerpos 3, 4, 5 y 6 del yacimiento Neptuno. (minera Jeco 2008).	44
Tabla 1. Promedios de Fe y otras sustancias para el yacimiento Neptuno.	11
Tabla I-2.1. Tipos de minerales formados por metasomatismo de contacto con los principales constituyentes minerales (modificado de Bateman, 1978).	20
Tabla II-3.1. Características principales de las formaciones que afloran en el área de estudio	28
Tabla IV-3.1. Tonelaje de los 6 cuerpos minerales del yacimiento Neptuno	45
Mapa geológico anexo	

## **Resumen**

Durante los meses de junio, julio y agosto del año 2008 la brigada de diseño tridimensional del departamento de exploración de la Compañía Minera Jeco como parte de los trabajos realizados en los estados de Michoacán, Jalisco y Colima, se dio a la tarea de generar el modelo geológico tridimensional del yacimiento Neptuno.

El yacimiento se ubica dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur en el área denominada región ferrífera del Pacífico Mexicano en las coordenadas  $18^{\circ} 45'$  y  $19^{\circ} 30'$  N y  $102^{\circ} 45'$  y  $104^{\circ} 45'$  W y comprende parte de los estados de Colima, Michoacán y Jalisco; queda limitada al norte por la población de Tecalitlán, Jal, al sur por Coalcomán, Mich, al este por Tepalcatepec, Mich y al oeste por La Huerta y Barra de Navidad, Jal (Corona-Esquivel, 2004).

Los trabajos realizados en esta área por minera Jeco fueron la selección de áreas, vuelos aeromagnéticos de baja altura, magnetometría terrestre, geología superficial, un programa de barrenación y topografía.

El área de estudio se encuentra en un arco de islas mesozoico con aportes de material ígneo y calcáreo que en el Terciario fue intrusionado por un numeroso grupo de batolitos de composiciones que varían de félsico a máfico.

La estratigrafía abarca desde el Jurásico al Cretácico con formaciones como la Formación Tepalcatepec que aflora por toda la región.

El yacimiento ha sido clasificado como del tipo de metasomatismo de contacto, ya que son evidentes las adiciones a partir del magma en rocas de skarn y éstas son reflejadas por los minerales encontrados como la magnetita, epidota, wollastonita, escapolita y la grosularita. En algunas pequeñas zonas también se observa reemplazamiento.

El modelo tridimensional fue construido a partir de la reinterpretación de secciones geológicas transversales y una extensa base de datos generada por los datos obtenidos de la barrenación; posteriormente por la creación de niveles que muestran en planta, las áreas ocupadas por el yacimiento mineral y es a partir de estos niveles que se pudieron crear las imágenes tridimensionales que representan la ubicación del yacimiento mineral en el subsuelo.

Se encontraron 6 cuerpos minerales independientes, 5 pequeños, de menos de 300 m de longitud y otro de grandes dimensiones con casi 1.3 km de longitud.

Para complementar el estudio se requiere realizar un modelo de bloques y geoestadística; sin embargo, estos estudios quedaron fuera del alcance de esta tesis.

Se realizó una cubicación preliminar del yacimiento, con base en el volumen de los cuerpos interpretados y la densidad del mineral según la ley que le corresponde, de esta manera se cubicaron 52.33 millones de toneladas para todo el yacimiento y que deberán ser comprobadas posteriormente para realizar la certificación del yacimiento e incorporarlo a las reservas de Minera Jeco.



## Introducción

Todos los yacimientos de importancia económica han sido formados bajo diferentes condiciones y procesos geológicos ya sean endógenos, exógenos, metamórficos o combinaciones de éstos y la variabilidad de los mismos depende del número de condiciones geológicas que intervinieron en su formación.

La génesis de estos yacimientos suele depender del carácter físico y químico de la roca huésped, los rasgos estructurales, la profundidad de formación, la concentración de los fluidos mineralizantes, la presión y temperatura de su formación.

En el yacimiento Neptuno estos rasgos han quedado impresos en las rocas, como el skarn y el mármol y en los minerales que lo forman, como la magnetita y la hematita. Ha sido posible, mediante un análisis minucioso de los datos y evidencias geológicas, (magnetometría, geología superficial y barrenación) establecer un modelo mineral tridimensional que lo represente de manera veraz.

Para llegar a esto fue necesario establecer un programa de exploración que incluye trabajos de magnetometría aérea y terrestre, levantamientos topográficos, geológicos y una campaña de barrenación con máquinas de perforación a diamante diámetro NQ y circulación inversa, de 34,752 m perforados.

El yacimiento Neptuno fue seleccionado como un proyecto de excelente potencial debido a la gran magnitud de magnetita de alta ley (fierro total mayor al 45 %) y que quedó reflejada en el vuelo magnético efectuado por Minera Jeco en el año 2000. En éste se aprecia una anomalía magnética de 3.0 km de largo con un patrón de orientación preferencial NW-SE.

Aunado a esto se tienen antecedentes de una campaña exploratoria en la década de 1970 la que dio como resultado la cubicación de una pequeña mina

de mineral de alta ley la misma que fue cerrada por falta de capital; tanto los nombres de la mina y la compañía que realizó la exploración se mantienen en secreto por razones de confidencialidad.

En la planeación de los trabajos efectuados en la zona, se consideraron estos estudios anteriores y se comprobó también que adolecen de una buena interpretación geológica, por falta de capital y carencias tecnológicas.

En relación con este aspecto cabe señalar que el cuerpo Neptuno fue interpretado como una serie de mantos horizontales de espesor variable. En los estudios realizados en este trabajo se observa que el yacimiento son varias estructuras con tendencia vertical lo que modifica considerablemente la evaluación original.

El objetivo de esta etapa quedó concluido en el presente trabajo, al contar con el modelo geológico tridimensional; con este fundamento los trabajos complementarios de las subsecuentes etapas tienen tendencia a ser positivos.

## **Objetivo**

Establecer un modelo geológico tridimensional de los cuerpos minerales que permitan definir con certidumbre la ubicación en el subsuelo de las zonas mineralizadas del yacimiento Neptuno.

Como metas particulares de este trabajo se tuvieron:

1. La construcción de las secciones transversales al cuerpo mineralizado y la ubicación de las diferentes leyes que lo conforman.
2. Con base en la construcción de las secciones, la determinación de los diferentes cuerpos minerales.
3. La modelación tridimensional de los cuerpos que conforman el yacimiento y la separación en leyes de los mismos, todo esto para tener el mayor control estructural de la mineralización.
4. Con el fin de tener una idea preliminar del potencial del yacimiento se realizó una cubicación tomando en cuenta el volumen obtenido de mineral y la densidad del mismo, todo esto sin hacer estudios de modelo de bloques ni geoestadística, que estaban fuera del alcance del presente trabajo.
5. Determinar con base en los trabajos anteriores si el yacimiento Neptuno cuenta con el potencial necesario para complementar o sustituir a los yacimientos de fierro de Minera Jeco en un mediano o corto plazo.

## **Antecedentes**

Existen numerosos trabajos realizados en esta área, la mayoría son de carácter minero como los de Mosco-Cordova (2008) y Ramirez-Leines (2002, 2006) aunque también se han realizado estudios paleontológicos, estratigráficos, estudios encaminados a la evolución tectónica de México e incluso hay estudios de Petróleos Mexicanos que incluyen estratigrafía y pozos perforados.

En las últimas décadas se realizaron varios estudios por diferentes investigadores con la finalidad de entender la evolución tectónica de México algunos de estos trabajos fueron realizados por: Centeno-García y colaboradores (1993), Grajales-Nishimura y colaboradores (1984), Sedlock y colaboradores (1993) y Pantoja-Alor y Estrada-Barraza (1986).

Petróleos Mexicanos aportó importante información a la estratigrafía del lugar debido a la perforación de 2 pozos: Colima y Tepames.

### **Selección de áreas**

La selección de áreas es el primer paso en la cadena de la exploración minera, que consiste en recaudar la información necesaria para elegir áreas que sean susceptibles a la mineralización de fierro y que técnicamente su explotación sea viable.

Para esta etapa en la exploración se recopila información como bibliografía de la zona, imágenes satelitales, magnetometría regional, fotografías aéreas, cartas geológicas regionales, cartas geoquímicas, estratigrafía y antecedentes de minas cercanas.

Toda esta información es estudiada para elegir las mejores zonas para la obtención de concesiones mineras, y es así como el área que ocupa el yacimiento Neptuno y otras fueron elegidas para estudios posteriores.

## Magnetometría aérea

La magnetometría aérea es el segundo paso en la actividad exploratoria y consiste en el levantamiento magnético desde un helicóptero que vuela a baja altura (50 m) y en la interpretación de los datos obtenidos.

Se realiza magnetometría, ya que el mineral buscado es primordialmente magnetita y las características de dicho mineral, hacen inmejorable este método de exploración geofísica.

El método consiste en realizar líneas paralelas por grandes áreas con un magnetómetro a bordo y un sensor que cuelga del helicóptero, el vuelo se realiza a una altura de 50 m sobre la superficie del terreno y mediante ubicación con GPS, la computadora del magnetómetro toma los datos y los posiciona en el terreno, posteriormente estos datos son interpretados y se forman diferentes cartas magnéticas con características que permiten la ubicación de estructuras magnéticas que generen anomalías en el campo magnético terrestre.

En el año 2000 se realizaron vuelos magnéticos de baja altura con el fin de obtener datos de campo total, que permitieron localizar zonas con potencial ferrífero.

Fueron efectuados 4 periodos de vuelo que sumaron 10,500 kilómetros lineales de levantamiento.

A partir de la información colectada en vuelo se realizó la interpretación, misma que definió las características de los cuerpos de interés (figura 1).

En la interpretación de los datos obtenidos en los vuelos de baja altura de magnetometría se jerarquizaron 8 anomalías aeromagnéticas como potenciales indicadoras de mineral magnético, en donde la anomalía del yacimiento Neptuno fue la más importante y de mayor longitud.

En la figura 1, se puede observar que la anomalía del yacimiento Neptuno se encuentra en los bordes de un curvoneamiento que a nivel regional es el anillo exterior de un gran stock de composición intermedia. En la imagen magnética de Neptuno se puede observar una tendencia NW-SE de la zona mineralizada en el gradiente magnético, así mismo, se encontraron otras anomalías interesantes en los bordes de esta estructura curvilínea que serán estudiadas posteriormente.

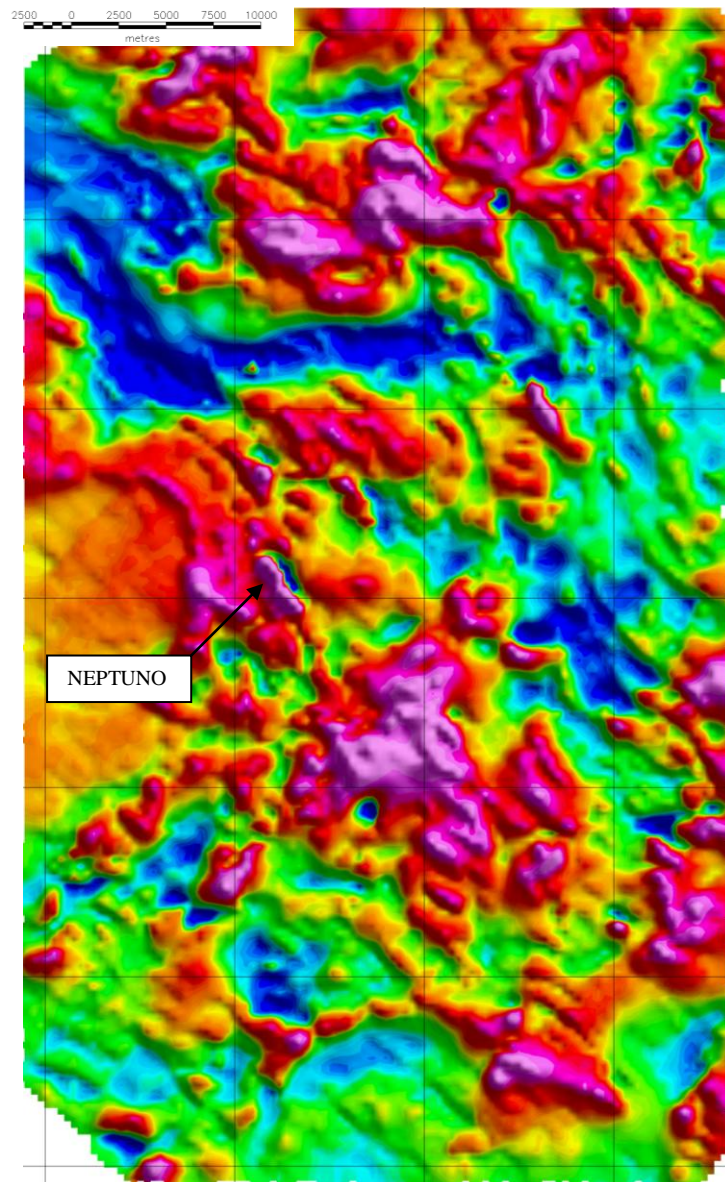


Figura 1. Mapa magnético de baja altura dónde se muestra la ubicación del yacimiento Neptuno (Minera Jeco, 2000), explicación en el texto.

## Verificación de anomalías magnéticas

La verificación de anomalías magnéticas se realiza con la finalidad de encontrar las fuentes que generaron la anomalía; se camina el área seleccionada para hacer un levantamiento de magnetometría terrestre con separación de líneas de 50 m y con una densidad de toma de datos de 20 m.

Junto con el levantamiento magnético se hace un levantamiento geológico a semidetalle en el que se observan las unidades litológicas, afloramientos minerales y estructuras como fallas y fracturas. Los datos obtenidos son interpretados y se decide si la anomalía estudiada tiene el potencial de albergar mineral de hierro en cantidades económicamente viables.

En caso de que la anomalía estudiada sea positiva, la brigada de campo propone barrenos exploratorios en las áreas de mayor intensidad magnética o en las estructuras mineralizadas ya sean vetas o cuerpos diseminados. Si la anomalía estudiada es generada por otros factores como el contraste entre una roca sedimentaria y una roca ígnea básica o intermedia, la anomalía es desechada por completo y se da de baja el lote minero que la concesiona.

En la verificación de la anomalía magnética del yacimiento Neptuno, desde las primeras líneas levantadas, se obtuvieron valores bajos al NE y altos al SW, se comprobaron numerosos afloramientos de minerales económicamente atractivos en diferentes concentraciones, se comprobaron estructuras afalladas en bloques que albergaban cuerpos minerales, los afloramientos minerales fueron encontrados en el gradiente magnético y se definió la dimensión de la zona potencialmente económica siendo esta de casi 3 km de largo.

La brigada de verificación de anomalías aeromagnéticas generó un nuevo mapa magnético (figura 2) en el que se observan varios bloques que posiblemente sean cuerpos minerales que fueron separados por fallamiento posterior a la mineralización.

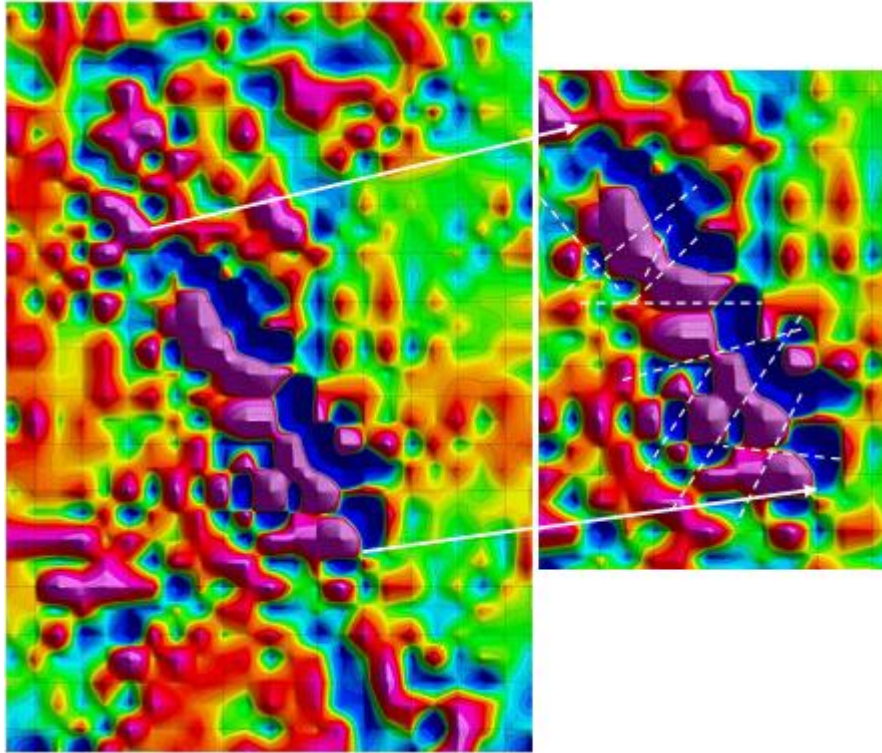


Figura 2. Mapa de magnetometría a detalle del yacimiento Neptuno (Minera Jeco, 2004), explicación en el texto.

En la figura 2, se observa con más detalle la anomalía magnética que es generada por los cuerpos de magnetita presentes en el terreno; la imagen representa una anomalía normal con el bajo magnético al norte y el alto al sur.

Se distinguen diferentes bloques los cuales se interpreta, podrían estar separados por estructuras como fallas y fracturas.

#### Geología a detalle y Barrenación

Con el fin de comprobar las anomalías geofísicas y la zona mineralizada para evaluar el yacimiento se planea un levantamiento geológico a detalle y un programa de barrenación exploratorio.

En esta etapa, la brigada de geología apoyada por topógrafos hace un levantamiento a detalle de la geología superficial, el que va a servir para la construcción de una carta geológica escala 1 : 5000. Esta carta geológica es la base sobre la cual se planean los barrenos a perforar.



Para la brigada de barrenación se llevan especialistas en diferentes áreas como geólogos, técnicos en barrenación, mecánicos y topógrafos, los cuales realizan el trabajo en periodos largos de exploración que se llevan a cabo en varios meses e incluso años de trabajo.

Los barrenos en campo se describen y se mandan a analizar por Fe total y otras sustancias (tabla 1), todo esto para crear una base de datos que más adelante, en otras etapas de la exploración será utilizada para la generación de secciones geológicas y el modelo 3-D.

En el área de estudio se llevó a cabo una campaña de perforación en la que fueron realizados 34,751 m de barrenación los cuales 29,773 fueron barrenación diamante y el resto de ellos fue circulación inversa. La mayoría de los barrenos se realizaron verticales y con varios equipos de barrenación a diamante CS-1000 (fotografía 1).

El muestreo de los barrenos se envió para su análisis por Fe total y otras sustancias, y se obtuvieron los siguientes promedios:

Elemento	Fe total	P	SiO <sub>2</sub>	Zn	S	K <sub>2</sub> O
porcentaje	42.29%	0.067%	15.72%	0.299%	1.1714%	0.299%

Tabla 1. Promedios de Fe y otras sustancias para el yacimiento Neptuno

De esta manera se pudo hacer una correlación entre la ley del mineral y la densidad a la que ésta corresponde; se obtuvieron valores promedio de: 3.7 g/cm<sup>3</sup> en leyes mayores al 45%, 3.3 g/cm<sup>3</sup> en leyes de 30% a 44.9% y de 2.75 g/cm<sup>3</sup> en leyes del 15% al 29.9%.



Fotografía 1. Equipo CS-1000 para barrenación a diamante

### **Método de trabajo**

Las actividades generales de la construcción de los sólidos tridimensionales que conforman al yacimiento Neptuno fueron realizadas durante los meses de junio, julio y agosto del año 2008.

Como punto de partida para este estudio se tomaron en cuenta todas las etapas anteriores de exploración y fueron la base de datos generada por la brigada de barrenación la principal herramienta con la cual se trabajó.

El método de trabajo consistió en 6 diferentes etapas las cuales se describen a continuación.

#### **a) Corrección de la base de datos:**

La brigada de barrenación entregó una extensa base de datos en formato digital, en la cual se describían de manera minuciosa la totalidad de barrenos perforados, ya fueran diamante o circulación inversa. Entre los

datos descritos en esta base de datos se tienen: ubicación tridimensional del barreno, profundidad total, litologías y análisis químicos.

Al ser ésta una base de datos de más de 34,752 metros hay pequeños errores que pueden ser de puntuación o escritura y que al momento de ser cargados en el programa de edición minera, estos pequeños errores generan otros aun más grandes los cuales impiden y bloquean funciones básicas con las cuales este programa trabaja. Por esta razón es necesario revisar de manera minuciosa la base de datos para encontrar la mayor cantidad de errores y optimar las próximas etapas de trabajo.

El programa utilizado para este trabajo fue la versión 6.0 de Surpac Minex.

#### **b) Construcción de secciones:**

La brigada de barrenación generó secciones geológicas en las cuales se interpretaba la geología del subsuelo, los cuerpos mineralizados y una zonación de las alteraciones, estas secciones son impresas en papel de 50 cm por 90 cm y en una mesa digitalizadora se separan las zonas mineralizadas y se correlacionan lateralmente para generar una nueva interpretación con la base de datos ya corregida.

Estas secciones son digitalizadas en 3 dimensiones y se importan al paquete Surpac Minex 6.0 en donde se separan las 3 leyes con las cuales se decidió trabajar: alta ley 45% en adelante ley media 30% a 44.9% y baja ley 15% a 29.9% de Fe total, respectivamente.

#### **c) Construcción de niveles:**

La construcción de los niveles se realiza a partir de las secciones tridimensionales.

Se cortan las secciones en planta según su profundidad y las intersecciones son unidas, de esta manera se crean niveles cada 10 m hasta delimitar todo el cuerpo mineral.

**d) Construcción del sólido:**

El sólido del cuerpo mineral se crea usando como base los niveles tridimensionales del yacimiento, se separan los cuerpos en las 3 diferentes leyes y se unen nivel por nivel hasta completar el o los sólidos encontrados en las secciones.

Cabe mencionar que el sólido que se produce en este estudio, si es bien interpretado, tendrá un máximo de 80% de certidumbre con la configuración real del yacimiento; según las especificaciones estadísticas de los asesores de Surpac Minex Group.

**e) Cubicación preliminar**

La cubicación de yacimiento se hace a través del modelo tridimensional, de un modelo de bloques y de la geoestadística y es de esta manera como una empresa certificadora avala los estudios realizados en un yacimiento; pero el presente trabajo no llegó a esas etapas de la exploración minera, por lo que para tener una idea preliminar del tonelaje del yacimiento, se multiplicó la densidad de los promedios de las leyes minerales por los volúmenes totales y así se obtuvo una idea cercana al tonelaje del yacimiento.

## I.- Generalidades

### I-1 Localización y vías de comunicación

El área de estudio se encuentra ubicada en la región ferrífera del pacífico mexicano que queda limitada por las coordenadas de 18° 45' y 19° 30' N y 102° 45' y 104° 45' W y que comprende parte de los estados de Colima, Michoacán y Jalisco; queda limitada al norte por la población de Tecalitlán, Jalisco, al sur por Coalcomán, Mich, al este por Tepalcatepec, Mich y al oeste por La Huerta y Barra de Navidad, Jal (Figura I-1.1).

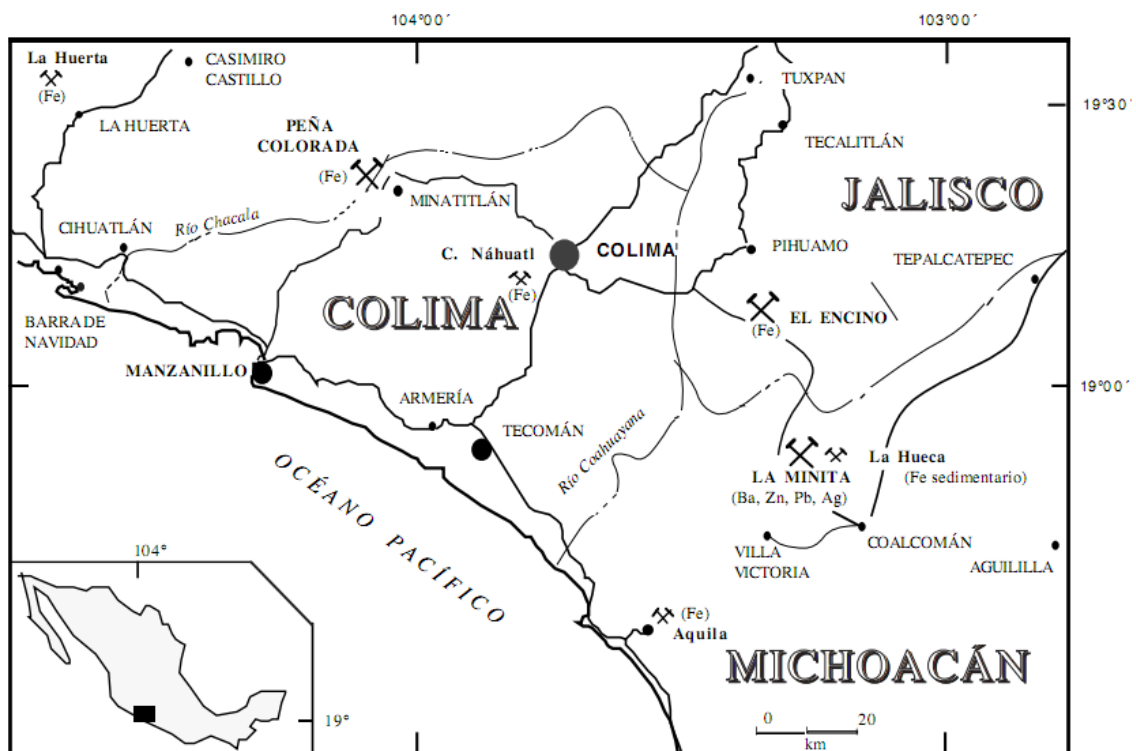


Figura 1-1.1. Localización del área de estudio (Corona-Esquivel, 2004)

El área de estudio se encuentra comunicada por carreteras federales y autopistas de cuota, además por una extensa red de caminos rurales de terracería que conectan ranchos y poblaciones pequeñas, entre las autopistas principales está la número 54 que conecta la ciudad de Colima con el puerto de Manzanillo y se extiende hasta Guadalajara, y la autopista 37 que conecta el centro de Michoacán con el puerto de Lázaro Cárdenas.

Entre las carreteras federales, las de mayor importancia son la 110, 80, 200 y la 120, que unen poblaciones como Tecalitlán, Ciudad Guzmán, Apatzingán, Coalcomán, Tecomán, y Barra de Navidad.

Por vía marítima los puertos de Manzanillo y el de Lázaro Cárdenas son las conexiones más importantes al mar en esta región.

## **I-2 Modelo geológico conceptual**

El modelo muestra la configuración preliminar que tiene el yacimiento mineral e identifica la o las estructuras importantes del yacimiento, ya sean vetas, mantos, chimeneas o cualquier otro tipo de estructura mineralizada.

En el modelo conceptual del yacimiento Neptuno se encontró una configuración de varios cuerpos con tendencia vertical que quedan en el contacto entre una zona de metasomatismo, donde se involucran una roca ígnea intrusiva intermedia que varía de diorita a granodiorita, que afecta a una secuencia de rocas calcáreas (figura I-2.1).

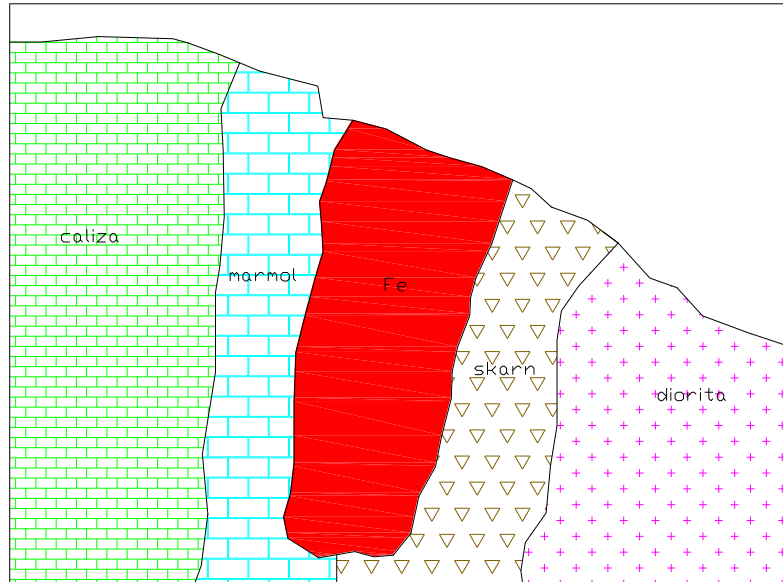


Figura I-2.1. Modelo geológico conceptual propuesto para el yacimiento Neptuno.

Las características litológicas del área estudiada sugieren que el yacimiento pudo ser generado por metasomatismo de contacto, la litología también podría sugerir un yacimiento formado por metamorfismo isoquímico pero éste es descartado ya que los yacimientos de este tipo son escasos, en la mayoría de los casos se restringen a minerales no metálicos como los de silimanita.

#### Yacimientos de metasomatismo.

Este tipo de yacimientos se caracteriza por tener importantes adiciones a partir del magma, las que por reacción metasomática con las rocas con las que establece contacto, forman nuevos minerales en condiciones de elevadas temperaturas y presiones; a diferencia de los yacimientos de metamorfismo que sólo hay un reordenamiento de los minerales que interactúan entre sí, así que la mineralogía resultante es más variada y compleja que con el metamorfismo térmico.

Solo si las emanaciones magmáticas están muy cargadas de los constituyentes de depósitos minerales, resultan yacimientos metasomáticos, particularmente en un ambiente favorable de rocas calcáreas.

Los efectos térmicos de las intrusiones magmáticas profundas sobre las rocas invadidas son el resultado del calor transferido directamente por las emanaciones magmáticas y en menor proporción por la conducción, que es muy lenta. Capas enteras de rocas carbonatadas pueden transformarse en rocas silicatadas o en skarn. Las emanaciones pueden aportar constituyentes de depósitos minerales que substituyen a la roca invadida, y de esta manera formar yacimientos minerales metálicos y no metálicos distribuidos en la aureola de contacto, pero cabe mencionar que no todas las intrusiones de magmas producen yacimientos minerales ya que para que esto suceda son necesarias condiciones particulares como lo son, la composición del magma, la profundidad de la intrusión y la roca reactiva, entre otros aspectos (Bateman, 1978).

El metasomatismo de contacto comienza poco tiempo seguido de la intrusión y termina mucho después de la consolidación de la parte exterior de la intrusión. La primera fase que es térmica, produce recristalización y una recombinación aún sin tener aporte del magma (Bateman, 1978).

La magnetita se forma junto con los silicatos y también después de ellos, aunque casi siempre se forma antes que los sulfuros (Bateman, 1978).

La recristalización y parte de la recombinación pueden ser realizadas sólo por el calor en el tiempo inmediato a la intrusión. Sin embargo, es posterior el aporte de materias por los fluidos magmáticos, y es ésta la transferencia principal de componentes.

Cualquier magma puede producir efectos de metamorfismo de contacto cuando se emplaza en rocas carbonatadas pero en la mayoría de los casos son los de composición intermedia a intermedia-félsica los que pueden definir yacimientos de metasomatismo de contacto, entre estos magmas están, monzonita cuarcífera, monzonita, granodiorita, diorita o diorita cuarcífera. Las rocas silíceas como el granito raras veces producen yacimientos minerales, y lo mismo pasa con los magmas ultramáficos y sólo hay unos pocos ejemplos con



rocas básicas como lo son el de Cornwall en Pensilvania con una diabasa cuarcífera y el de Hedley en Columbia Británica con un gabro blanco (Bateman, 1978).

La profundidad de la intrusión es un factor importante en la formación de un yacimiento metasomático ya que se ha encontrado que todos los yacimientos minerales de este tipo están en rocas granuladas en donde se muestra un decremento gradual de la temperatura y por consiguiente una profundidad de intrusión considerable. La ausencia de yacimientos minerales de metasomatismo en rocas con texturas vítreas y afaníticas demuestra que la poca profundidad de una intrusión no es favorable, probablemente por que las emanaciones magmáticas se pierden rápidamente a poca profundidad (Bateman, 1978).

Los yacimientos minerales que resultan del metasomatismo son importantes en la producción mundial de minerales, como por ejemplo la magnetita y aunque en su mayoría son yacimientos pequeños si se les compara con pórfidos de cobre o los yacimientos sedimentarios.

Los depósitos están generalmente diseminados irregularmente alrededor del contacto, pero tienden a concentrarse del lado de la intrusión que buza con más suavidad. Cuando hay fallas que se extienden hacia fuera del contacto, los yacimientos pueden estar alineados a lo largo de las mismas y extenderse varios cientos de metros más allá del contacto (Bateman, 1978).

La mineralogía de este tipo de yacimientos es muy variada, entre los minerales de ganga encontrados comúnmente están: grosularita, andradita, hedenbergita, hastingsita, tremolita, actinolita, wollastonita, epidota, zoisita, vesubianita, ilvaíta, diópsido, forsterita, anortita, albita, fluorita, clorita y micas, generalmente también están presentes el cuarzo y los carbonatos. Los minerales de mena están formados por óxidos, metales nativos, sulfuros, arseniuros y sulfosales.

En la siguiente tabla están representados los principales minerales de mena que se encuentran en los yacimientos metasomáticos.

DEPÓSITO	MINERALES PRINCIPALES
Hierro	Magnetita y especularita (oligisto)
Cobre	Calcopirita y bornita con pirita, pirrotita, blenda, molibdenita y óxidos de hierro
Zinc	Esfalerita con magnetita, sulfuros de hierro y plomo
Plomo	Galena, magnetita y sulfuros de hierro, cobre y zinc
Oro	Oro con arsenopirita, magnetita y sulfuros de hierro y cobre
Manganeso	Manganeso y óxido de hierro
Esmeril	Magnetita y corindón, con ilmenita
Granate	Granate
Corindón	Corindón con magnetita, granate

Tabla I-2.1. Tipos de minerales formados por metasomatismo de contacto con los principales constituyentes minerales (modificado de Bateman (1978)).

### I-3 Marco teórico conceptual (software)

Debido a la naturaleza de los recursos minerales, es decir a su no renovabilidad y a su contenido siempre decreciente, con el paso de los años la industria minera ha desarrollado nuevas herramientas computacionales en las áreas de geología y minería que han ayudado a optimar los tiempos de trabajos, mejorando el manejo de la información y de los recursos minerales.

La industria minera ahora cuenta con varios programas computacionales para la edición de sólidos que representan los cuerpos minerales en el subsuelo.

Entre los programas mencionados se encuentran el Surpac, Vulcan, Datamine, Gencom, Gems, Minesigth y Land entre otros.

Para este trabajo se utilizó el programa Surpac versión 6.0 que tiene las siguientes características:

Surpac Minex Group es un software desarrollado para la industria minera. Su sistema tiene aplicaciones en todas las etapas del ciclo de la producción

minera desde la estimación de reservas, planificación, producción y la restauración ambiental. Algunas de las áreas que abarca son:

- Modelado de reservas
- Diseño y planeación de mina a tajo abierto y subterránea
- Topografía subterránea y de superficie
- Control de leyes
- Modelo de bloques
- Producción minera y planificación
- Herramientas para exploración, incluyendo Geoestadística avanzada
- Módulos para bases de datos de sondeos

## **II- Geología**

### **II-1 Provincia fisiográfica**

El área de estudio se encuentra localizada en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur y se encuentra designada por algunos autores como la región ferrífera del suroeste de México y está entre los 18° 45' y 19° 30' N y los 102° 45' y 104° 45' W

Queda limitada al norte por la población de Tecalitlán, Jalisco, al sur por Coalcomán, Michoacán, al este por Tepalcatepec, Michoacán y al oeste por La Huerta y Barra de Navidad, Jalisco y comprende parte de los estados de Colima, Michoacán y Jalisco. Esta región forma parte de la subprovincia de cordilleras costeras del sur y planicies costeras descrita por Raisz (1969).

La morfología del área comprende sierras elevadas con pendientes pronunciadas y suaves, también hay planicies y una franja costera angosta, las sierras tienen una orientación predominante NNW-SSE con excepción de las áreas de Peña Colorada y Tepalcatepec con sierras de orientación NE-SW (Corona-Esquivel, 2004).

### **II-2 Marco geológico**

La geología de la región comprende rocas volcánico-sedimentarias, sedimentarias marinas y continentales, metamórficas e intrusivos con un alcance estratigráfico que va desde el Mesozoico hasta el Holoceno.

A continuación, en el apartado de Estratigrafía, se muestra un resumen de las diferentes formaciones con sus datos generales como su alcance estratigráfico, litología, distribución, localidad tipo y espesor (tabla II-3.1).

## **II-3 Estratigrafía**

### **Jurásico**

#### **Complejo Arteaga**

El Complejo Arteaga (Centeno-García et al, 1993) está constituido por una alternancia de lutitas, areniscas de grano fino, grauvacas y algunos paquetes finos de pedernal, capas delgadas de caliza alternadas con tobas y cuerpos graníticos y dioríticos foliados, toda la unidad está deformada y en partes metamorfoseada en facies de esquisto verde.

Su localidad tipo se encuentra entre los poblados de Arteaga y Tumbiscatío en el estado de Michoacán y tiene un espesor de más de 1200 m. su edad es de Jurásico Inferior a Jurásico Medio se cree que se encuentra suprayaciendo discordantemente a las Formaciones Tecalitlán y Alberca.

### **Cretácico**

#### **Formación Alberca**

Esta formación fue inicialmente nombrada informalmente por Pimentel en 1980 para describir lutitas negras, calizas arcillosas, areniscas de grano fino, tobas y andesitas del Cretácico Inferior.

Bermúdez-Santana, J.C. (1994), menciona que la base de la Formación Alberca la constituye una unidad vulcano-sedimentaria con estratos pelíticos que algunas ocasiones contienen amonites y restos de plantas y que están interestratificados con derrames andesíticos, brechas y conglomerados volcánicos. De la misma manera considera que la base de la Formación Alberca está afectada por el batolito de Jicotlan en una extensa área de contacto. Por asociación de fósiles encontrados en esta formación se tiene una edad del Cretácico temprano que va del Berriasiano al Hauteriviano Inferior.

Diferentes autores han encontrado un espesor que va desde los 1290 m hasta los 2000 y está suprayaciendo concordantemente a la Formación Tecalitlán.

### **Formación Tecalitlán**

Fue propuesta informalmente por Rodríguez, F.D. (1980), para designar a las rocas piroclásticas constituidas por tobas, areniscas volcánicas, conglomerados volcánicos, tobas líticas, derrames andesíticos e intercalaciones aisladas de limolitas. Pantoja-Alor, J. y Estrada Barraza, S. (1986), extendieron y nombraron formalmente a la Formación Tecalitlán incluyendo a las rocas volcánicas que afloran al poniente de la mina El Encino, cuya composición y posición estratigráfica son similares a las descritas por Rodríguez (op cit).

La localidad tipo se encuentra en afloramientos sobre la carretera federal 110 entre Tecalitlán y el rancho El Carrizo, su espesor varía entre los 1200 m y más de 2000, su edad es del Cretácico inferior del Hauteribiano al Aptiano.

### **Formación Madrid**

Fue propuesta por Panno et al. (1986), para designar rocas constituidas por calizas arcillosas, lutitas carbonosas que cambian lateralmente a yeso y que afloran en las cercanías de la estación de ferrocarril Madrid en el estado de Colima.

La Formación Madrid está constituida por 2 miembros diferenciables. El miembro inferior está formado por paquetes de caliza arcillosa de 20 a 30 metros que están interestratificados por lutitas carbonosas de 5 a 10 metros con gran abundancia de plantas.

Esta formación aflora de manera restringida, al norte y oeste de Coquimatlán al SE de Ixtlahuacán en el estado de Colima, al SE de Pihuamo en el estado de Jalisco y en Paso de Arrieros en Michoacán.

El espesor de la formación es de 800 m (Panno, op cit) y yace en aparente concordancia con la Formación Tecalitlán y tiene contacto transicional con la Formación Tepalcatepec.

### **Formación Tepalcatepec**

Pimentel (1980), la definió informalmente en el área de Tepalcatepec, Michoacán y consiste en una secuencia vulcanosedimentaria de capas gruesas a masivas de caliza, caliza arcillosa, lutita, caliza arenoarcillosa, arenisca, limolita, toba, conglomerado y derrames andesíticos.

Esta formación es la que aflora más frecuentemente en el área de estudio y ha sido dividida en facies de banco y facies volcánico sedimentaria, ambas facies inician con alternancia de areniscas, conglomerados, lutitas y limolitas. Las facies de banco están constituidas por capas gruesas a masivas de calizas de plataforma e incluye conglomerados potentes de matriz calcárea. La facies volcánico-sedimentaria la forman brechas andesíticas a latíticas con intercalaciones de estratos calcáreos delgados.

Esta formación yace concordantemente sobre la Formación Tecalitlán se interdigita con las Formaciones Madrid y Cerro de la Vieja y subyace en discordancia con la Formación Colima. Su relación con las formaciones Encino y Vallecitos no ha sido comprobada en campo pero por ser de la misma edad se les considera como un cambio de facies.

Su edad es de albiano-cenomaniano y se basa en su contenido de rudistas; su espesor varia entre los 2500 y 3750 m (Corona-Esquivel et al., 2004).

### **Formación Encino**

Esta formación fue descrita formalmente por Pantoja-Alor et al. (1986), quienes la definieron como un conjunto de rocas volcanoclásticas marinas que consisten en conglomerados, tobas e intercalaciones lenticulares de caliza.

La Formación Encino se divide en 2 miembros. El inferior consiste en una secuencia de más de 230 m de rocas volcanoclásticas y sedimentarias marinas formadas por conglomerados de fragmentos volcánicos en matriz tobácea limoarenosa, arenisca y limolita calcárea, toba piroclástica y capas de caliza arrecifal. El miembro superior consiste en aproximadamente 185 m de espesor de secuencia tobácea, lodolita, limolita y arenisca calcárea con intercalaciones de lentes de caliza y conglomerado. Hacia la parte superior, la secuencia tiene capas de traquita, capas muy gruesas de toba con fragmentos brechoides de andesita y capas delgadas de caliza arenosa, caliza y limolita calcárea, asimismo, la formación está cortada por diques de composición andesítica.

La edad de esta formación es del Aptiano Tardío al Albiano Temprano, su localidad tipo es el arroyo de la Navidad en el rancho El Encino, Jalisco; yace discordantemente sobre la Formación Tecalitlán y bajo la Formación Vallecitos y es transicional lateralmente con la Formación Tepalcatepec.

### **Formación Vallecitos**

Piñeiro (1972), hace la primera descripción de las rocas de esta formación y posteriormente Pantoja-Alor et al. (1986), la nombraron formalmente como Formación Vallecitos, la definieron como una secuencia de más de 350 m de espesor de toba ignimbrítica, derrames andesíticos, caliza arrecifal y rocas volcanoclásticas de ambiente marino que afloran en el área de la mina El Encino y en los alrededores de la ranchería de Vallecitos en el estado de Jalisco.

Esta formación comprende 2 miembros, el inferior es un miembro tobáceo que cubre en discordancia angular a la Formación El Encino y el miembro superior descansa concordante al miembro tobáceo. La edad de esta formación es Albiana Temprana y se basa en la presencia de Coalcomana ramosa (Corona-Esquivel, 2004).



## **Formación Cerro de la Vieja**

Fue nombrada informalmente por Parga (1977), y formalmente por Corona (1996), para definir una secuencia de limolita, arenisca y conglomerado calcáreo. Estudios más recientes Corona-Esquivel (2004) demostraron que la Formación Cerro de la Vieja es en realidad la parte superior de la Formación Madrid en contacto por un cambio de facies transicional, es de edad Albiano y su localidad tipo es el Cerro de la Vieja, Colima su distribución es al W, SW y S de la ciudad de Colima y al sur de Tepalcatepec, Michoacán y su espesor es de 580 m.

## **Cretácico Superior-Terciario Inferior**

### **Rocas intrusivas**

Todas estas rocas varían en edad del Cretácico Superior al Terciario Inferior y están constituidas por una serie de grandes plutones distribuidos en toda la costa del suroeste de México, entre los más importantes se encuentran:

Batolito de Tomatlán (Grajales-Nishimura y Lopez-Infanzón, 1984). Aflora en muchas áreas desde el sur del estado de Nayarit hasta el estado de Colima.

Batolito o tronco cuarzomonzonítico de Pihuamo (Pantoja-Alor, 1983). Con edad de 65 MA determinada por el método K-Ar y el cual también aflora extensamente en el área de estudio.

Batolito de Aquila (Pantoja-Alor, 1983). Fechado en 63 y en 61 Ma determinado por el método K-Ar, en Hornblenda y Biotita respectivamente.

Batolito de Ostula. De 57 y 56 Ma determinado con el método K-Ar en hornblenda y biotita, respectivamente.

Según Sheldock y colaboradores (1993), los cuerpos graníticos del área de estudio presentan una edad de cristalización decreciente de oeste a este desde

el Cretácico en el sur de Nayarit, Jalisco, Colima y poniente de Michoacán, hasta el Terciario en el este de Michoacán y Guerrero.

Formación	Edad	Litología	Espesor	Relación de contacto
Colima	Cuaternario	Depósitos de lahar	>300 m	
Cerro de la Vieja	Albiano	limolita, arenisca conglomerado	580 m	Subyace discordante a Colima lateralmente es cambio de facies con Tepalcatepec y sobreyace transicional a Madrid
Vallecitos	Albiano	Andesita, toba ignimbrítica, caliza arrecifal y volcanoclásticas	350 m	Sobreyace discordantemente a la Formación Encino
Encino	Aptiano Tardío Albiano Temprano	Brecha andesítica Limolita calcárea Lentes de Caliza hialoclastita	sup 185 m inf 250 m	Subyace discordante a Vallecitos sobreyace discordante a Tecalitlán y lateralmente es cambio de facies con Tepalcatepec
Tepalcatepec	Albiano-Cenomaniano	Caliza, caliza arcillosa, limolita arenisca, toba andesítica conglomerado	2500 m 3750 m	Subyace discordante a Colima sobreyace concordante a Tecalitlán y lateralmente es transicional a Madrid, Cerro de la Vieja, Vallecitos y Encino
Madrid	Albiano	Caliza arcillosa, lutita carbonosa, yeso	800 m	Sobreyace concordante a Tecalitlán y lateralmente es cambio de facies a Tepalcatepec
Tecalitlán	Cretácico Inferior	Conglomerado, toba riolítica, Brechas, derrames andesíticos		Sobreyace concordante a Alberca y subyace concordante a Tepalcatepec
Alberca	Cretácico Inferior	Lutita, caliza arenisca, volcanosedimentos derrames de andesita brecha conglomerado y volcánico	1500 m 1200 m 200 m	Subyace concordante a Tecalitlán y tiene intrusiones con el batolito de Jilotlán
Complejo Arteaga	Triásico Superior Jurásico Inferior-Medio	Lutita, arenisca grauvaca, pedernal, basalto y lavas Almohadilladas, caliza y granito, todo con metamorfismo en facies de esquisto verde	>1200 m	Tal vez está discordantemente subyaciendo a las Formaciones Alberca y Tecalitlán

Tabla II-3.1. Características principales de las formaciones que afloran en el área de estudio.

## **II-4 Geología estructural**

En los estudios realizados en el área del yacimiento Neptuno se observó que está situado en el lado oriental de un megabloque, delimitado por fallas normales de rumbo NW.

Este megabloque se encuentra en contacto directo con una estructura local en forma de domo en la que se observa el colapso de su parte central.

Se observan estructuras predominantes de rumbo NW-SE que fueron el resultado de esfuerzos distensivos que se originaron a finales del Paleógeno durante la etapa postorogénica. La mineralización en el área de Neptuno tiene un control tectónico estricto y se encuentra en zonas de trituración tectónica de las rocas, formada por fallas distensionales y tensionales con rumbo NW25° y NE25° respectivamente (Mosco-Cordova, 2008).

## **II-5 Evolución Tectónica**

El área de estudio se encuentra en un arco de islas del Mesozoico, las rocas expuestas en la región suponen un ambiente de depósito Vulcano-sedimentario con importantes volúmenes de material volcánico, (coladas y piroclastos) asociados a grandes estructuras volcánicas, intercalados por secuencias calcáreas y terrígenas de origen marino (Corona-Esquivel, 2004).

### **III- Yacimientos minerales**

#### **III-1 Paragénesis**

El hierro se presenta como magnetita, hematita, especularita y martita, los cuales forman una masa compacta de calidad variable y minerales de metamorfismo de contacto. En algunas zonas, el reemplazamiento no llegó a transformar a la roca original completamente, por lo que el mineral presenta un bandeamiento característico.

Las menas tienen un carácter diverso. Se encuentran menas formadas por granate, epidota, magnetita, una porción baja de clorita, escapolita, hematita en pequeñas cantidades, pirita, pirrotita, ocasionalmente calcopirita y muy raramente esfalerita y galena.

#### **III-2 Alteraciones**

La zona mineralizada Neptuno fue formada por un fenómeno de metasomatismo de contacto por lo que los fluidos hidrotermales jugaron un importante papel en la génesis del yacimiento y por consiguiente las alteraciones de los minerales quedaron impresas en las rocas encontradas.

Fueron encontradas cuatro diferentes tipos de alteraciones, algunas de éstas son importantes guías para el rastreo de los cuerpos minerales. Serán descritas con base en su importancia en el yacimiento.

La alteración más evidente y la cual es la guía de la mineralización es la epidotización, ésta fue encontrada en los núcleos de barrenación y va de leve a total en las zonas próximas al mineral de hierro.

Otra alteración importante encontrada en los núcleos de barrenación fue la cloritización, la que apareció próxima a la epidotización, a veces de manera errática antes o después de los cuerpos de fierro, por lo que esta alteración no pudo servir de guía para la mineralización de estos cuerpos minerales. La manera en la que se presentó esta alteración fue de leve a intermedia.

También en los núcleos de barrenación fue encontrada la argilitización, que consiste en la alteración a arcillas de los diferentes feldespatos que componen a las rocas intrusivas, ésta se presentó de manera incipiente en zonas donde evidentemente se notaba el paso de fluidos hidrotermales.

Tanto superficialmente como a profundidad se observaron zonas oxidadas, en la superficie las zonas donde se encontraron los afloramientos de magnetita exhibían partes de oxidación incipiente a parcial, mientras que en los núcleos de barrenación la oxidación sólo se observó leve y sin importancia alguna.

En superficie se pudo observar disolución del carbonato de calcio, tanto en las calizas como en el mármol, ésta se presentó de manera incipiente y sin importancia.

### **III-3 Roca encajonante**

En el yacimiento Neptuno afloran varios tipos de litologías entre las cuales destacan cuerpos calcáreos, intrusivos y metamórficos como producto de los anteriores, por lo que en el yacimiento se caracterizan grandes aureolas de metasomatismo expuestas de manera errática a lo largo y ancho de todo el yacimiento, en estas zonas metasomáticas es donde los cuerpos minerales tienen su espacio y están rodeadas por rocas descritas como skarn las cuales constituyen la roca encajonante de este yacimiento.

### **III-4 Estructuras mineralizadas**

El yacimiento Neptuno está formado por varios cuerpos de tendencia subvertical, los que fueron emplazados metasomáticamente en fracturas y fallas con una tendencia preferencial NW-SE, esto se puede observar en las secciones contenidas en el apéndice correspondiente y en la figura 2, en el apartado de Antecedentes, donde se muestra la magnetometría a detalle.

En la interpretación de las secciones se encontraron 6 cuerpos de mineral de hierro, cinco pequeños con aproximadamente 300m de longitud y uno de grandes dimensiones con mas de kilómetro y medio de longitud y precisamente se abundará sobre el tema en el capítulo correspondiente al modelo geológico tridimensional.

### **III-5 Génesis**

Los procesos que intervinieron en la formación de este yacimiento de hierro fueron metasomatismo y reemplazamiento.

A medida que el magma intrusivo fue solidificando se fueron formando minerales propios de las rocas ígneas (silicatos), mientras las fases fluidas de la mezcla se fueron enriqueciendo en agua y con ciertos elementos en solución (F, Cl, B, CO<sub>2</sub>, Fe, S, Cu, etc.). Estas fases fueron expulsadas del magma, principalmente durante su solidificación a muy alta presión y temperatura, durante las cuales produjeron efectos de metasomatismo y relleno en la roca encajonante.

El proceso de metasomatismo se desarrolló cuando una vez depositadas las calizas, tuvieron lugar las intrusiones ígneas que al entrar en contacto con las rocas sedimentarias efectuaron fenómenos metasomáticos, cuyo efecto más notable consistió en la recristalización de las calizas y la formación de minerales como el granate, la epidota, wollastonita, diopsido, tremolita, etc. (Mosco-Córdova, 2008).

En el contacto caliza-diorita es donde se localizan los cuerpos de fierro, los cuales se encuentran en muchos lugares expuestos debido a la erosión de la roca sedimentaria suprayacente (ver mapa geológico anexo).

#### **IV- Modelo Geológico 3-D**

La construcción del modelo tridimensional del yacimiento mineral es el objetivo principal del presente trabajo.

Este modelo es la representación gráfica del yacimiento a profundidad y aunque aun faltan 2 etapas de la cadena de exploración minera, (modelo de bloques y geoestadística) este modelo representa al yacimiento con un máximo de 80% de certidumbre, un valor muy alto si se toma en cuenta que el yacimiento es un cuerpo oculto en el subsuelo.

Imágenes tridimensionales del yacimiento son un insumo importantísimo para las siguientes etapas de la exploración ya que con base en este trabajo se podrán calcular y certificar reservas de mineral de hierro de alta ley, las cuales son traducidas directamente en millones de dólares en bolsas de valores. También estas imágenes son el insumo primordial para los diseñadores encargados de la planeación de la mina que seguramente será construida en este sitio.

A continuación se describirá ampliamente la construcción del sólido con el que se calculó un aproximado del tonelaje de mineral de hierro presente en el área de estudio.

##### **IV-1 Secciones transversales**

Las secciones transversales son la representación bidimensional en el subsuelo de los cuerpos minerales, fueron construidas a partir de secciones geológicas elaboradas por personal encargado de la barrenación y por la base de datos que estos generaron con los 34,751m de barrenos perforados (ver Apéndice I).

Al departamento de diseño tridimensional le fueron entregadas 54 secciones transversales y 8 longitudinales todas en archivos digitales, en las cuales aparecían la topografía, los barrenos perforados, las leyes de los núcleos



recuperados y la interpretación geológica (figuras IV-1.1 y IV-1.2). A su vez la base de datos en formato xls presenta los siguientes conceptos: localización Utm Nad 27 y altura sobre el nivel del mar, RQD, susceptibilidad magnética, análisis químicos de Fe total y otras substancias, descripción y profundidad total de cada barreno que se perforó en el área. Estos elementos fueron el punto de partida para la reinterpretación de las secciones.

A partir de este momento las secciones geológicas son impresas a una escala de 1:1000 en papel de 50 X 90 cm y otro juego de secciones también fue impreso en el mismo formato pero bloqueando la imagen de la geología.

En la mesa de luz estas secciones fueron revisadas minuciosamente para marcar errores de interpretación y de correlación lateral entre secciones subsecuentes, ya encontrados estos errores se procede a la reinterpretación de las nuevas secciones, las cuales después de ser interpretadas nuevamente fueron impresas.

En las nuevas secciones se observa la topografía, los barrenos, las leyes en ellos y el contorno de los cuerpos minerales en sus 3 diferentes leyes, alta, media y baja (figura IV-1.2). Tanto las secciones con geología como las secciones con los contornos del mineral de hierro son impresas y guardadas en el archivo para interpretaciones futuras.

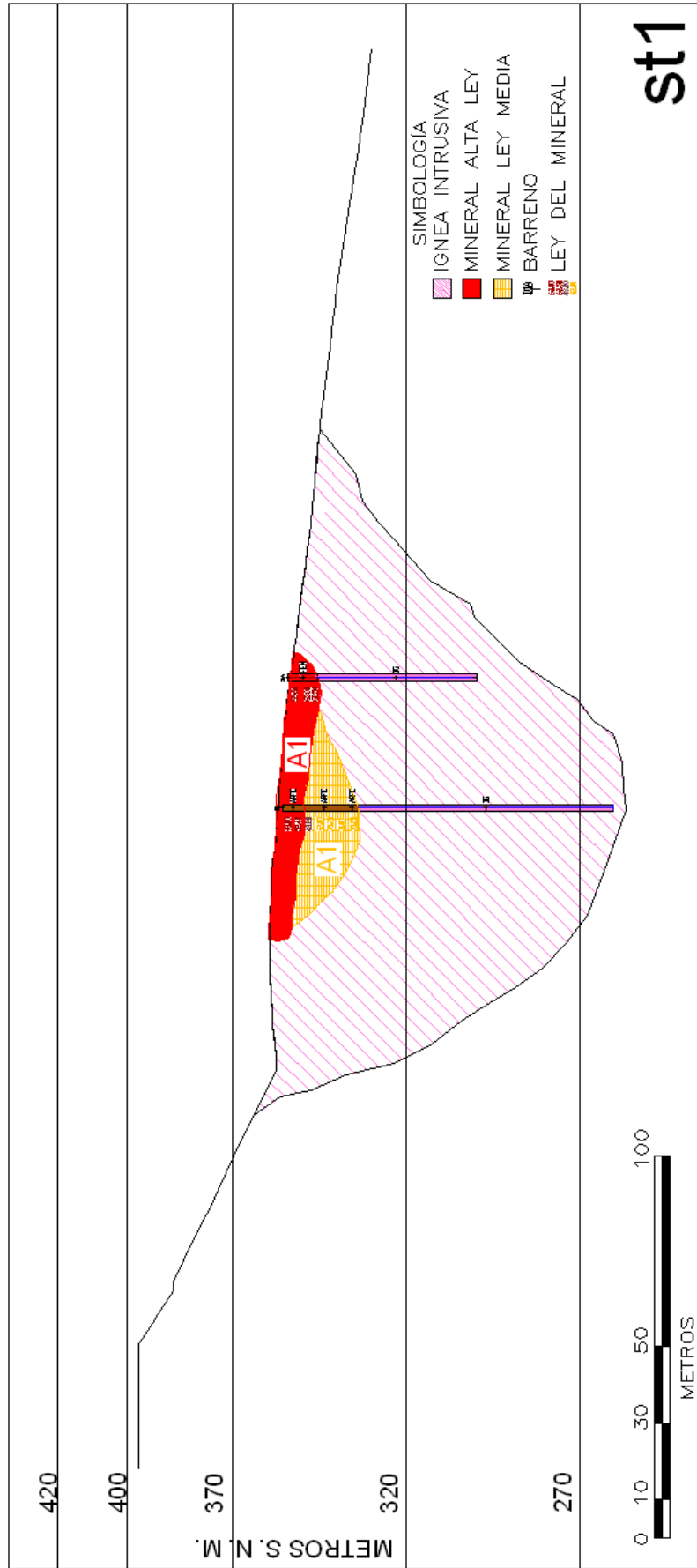


Figura IV-1.1. Sección transversal geológica st1, explicación en el texto.

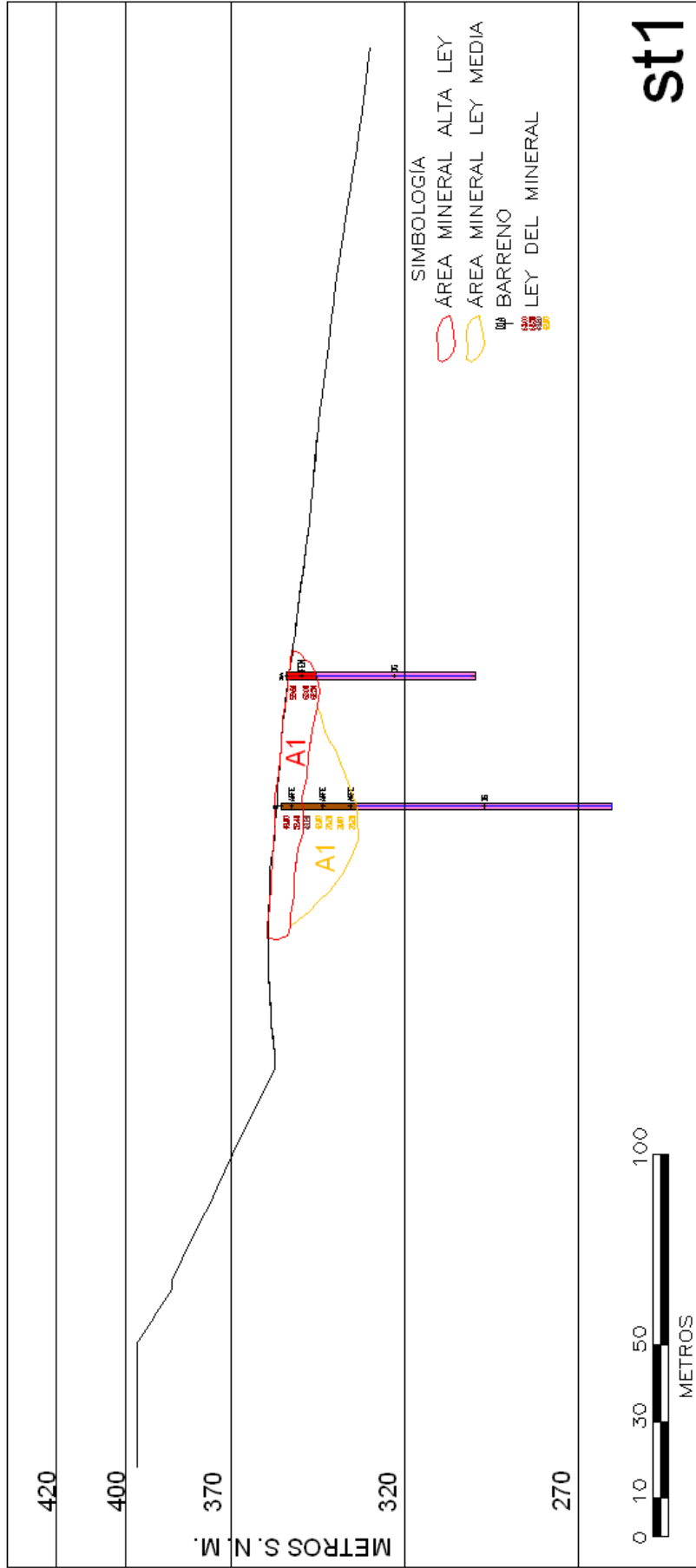


Figura IV-1.2. Sección transversal mineral st1, explicación en el texto.

En la interpretación de las secciones se encontraron 6 diferentes cuerpos minerales, uno de gran magnitud con casi 1.5 km de longitud y otros 5 de pequeñas dimensiones (ver Apéndice I).

#### **IV-2 Construcción del sólido**

Como base para la construcción del sólido tridimensional se toman las secciones generadas en la etapa anterior y descritas a detalle en el mapa anexo y en el Apéndice I.

Después del proceso de depuración de las secciones, estas fueron montadas en una mesa digitalizadora Calcomp Drawing Board III y en la cual después de la digitalización, se generaron archivos vectoriales.

Estos archivos fueron cargados en el programa de edición minera Surpac 6.0 y es en este programa, donde estas secciones son representadas en planta y cortadas en niveles que están separados cada 10 m de altura. Estos niveles son representados en el programa como líneas cruzadas de 3 diferentes colores, los colores son las 3 leyes minerales.

A partir de aquí se lleva la interpretación de los cuerpos en planta, se tuvo especial cuidado en no cruzar los colores ya que esto generaría graves errores en la próxima etapa de la construcción del sólido.

Fueron interpretados 29 niveles, lo que representa 290 metros de profundidad del cuerpo principal, que es el de mayores dimensiones. Estos niveles (figuras IV-2.1.1 y IV-2.2) ya pueden ser graficados tridimensionalmente y representan el esqueleto del modelo 3-D.

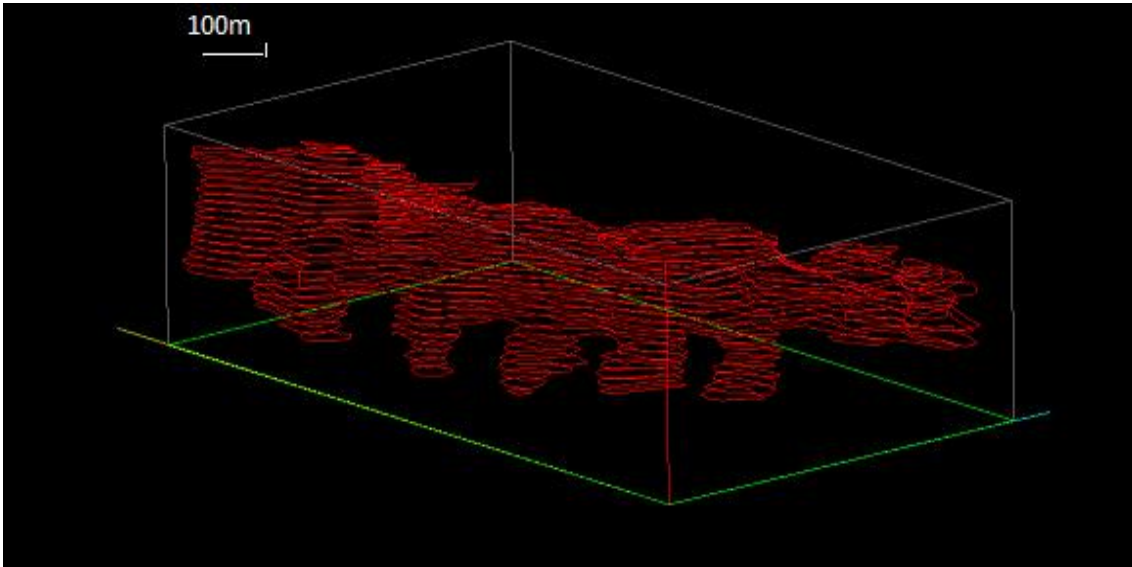


Figura IV-2.1. Vista SW de los niveles del cuerpo principal del yacimiento Neptuno.

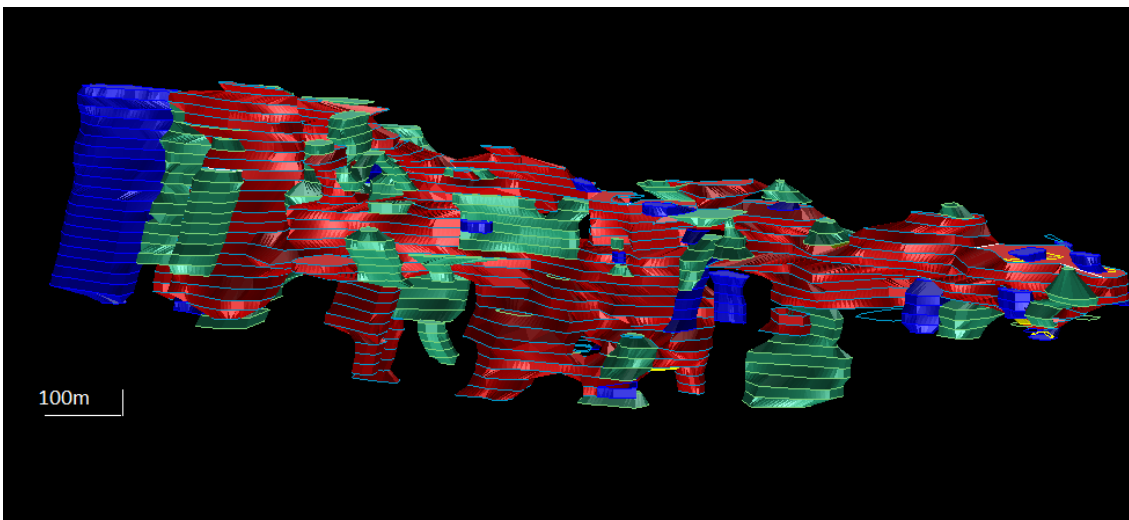


Figura IV-2.2. Vista SW de los niveles acompañados del sólido del cuerpo principal.

Este esqueleto representado por los niveles del yacimiento (figura IV-2.2), fue la base donde los niveles comenzaron a ser unidos en las 3 diferentes leyes; el mismo proceso se repitió para cada uno de los 6 diferentes cuerpos minerales y de esta forma se concluyó la construcción de los modelos 3-D.

### **IV-3 Planteamiento del modelo 3-D**

A continuación se muestran las imágenes de los 6 diferentes sólidos en los cuales se observan las representaciones tridimensionales de la topografía, afloramientos y los cuerpos a profundidad. Quedan representadas en colores diferentes y las leyes que los conforman. En color rojo está el mineral de alta ley, en color verde el mineral de ley media y en azul el mineral de baja ley.

En la figura IV-3.1, se puede observar la topografía de la zona representada en color gris y las superficies con colores rojo verde y azul que representan los afloramientos del cuerpo mineral numero 1.

En la figura IV-3.2, se puede observar el cuerpo mineral número 1 con las 3 leyes que lo conforman, en rojo la alta ley, en verde la ley media y por último en color azul la baja ley.

En la figura IV-3.3, se puede observar en color gris la topografía de la ladera NE del cerro donde se encuentra el cuerpo principal, así mismo, las superficies representadas en colores rojo, verde y azul representan los afloramientos en sus 3 diferentes leyes, alta, media y baja respectivamente. Aunque no se pudo referenciar una escala gráfica a esta imagen, el largo total de la misma pasa por un poco los 1.3 km de longitud.

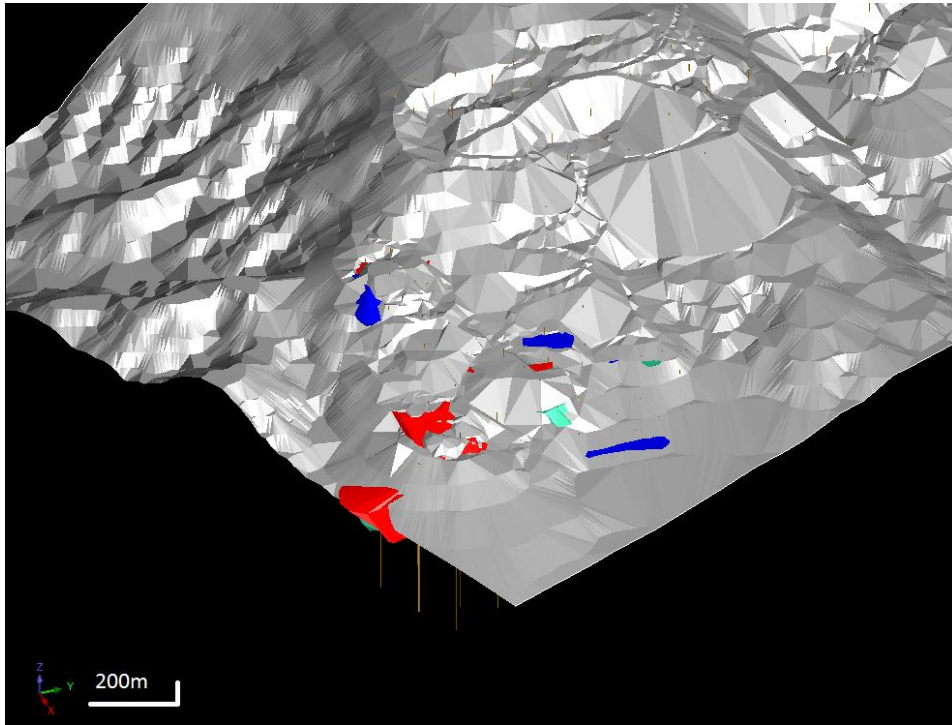


Figura IV-3.1. Imagen tridimensional de la topografía y afloramientos del cuerpo 1 del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).

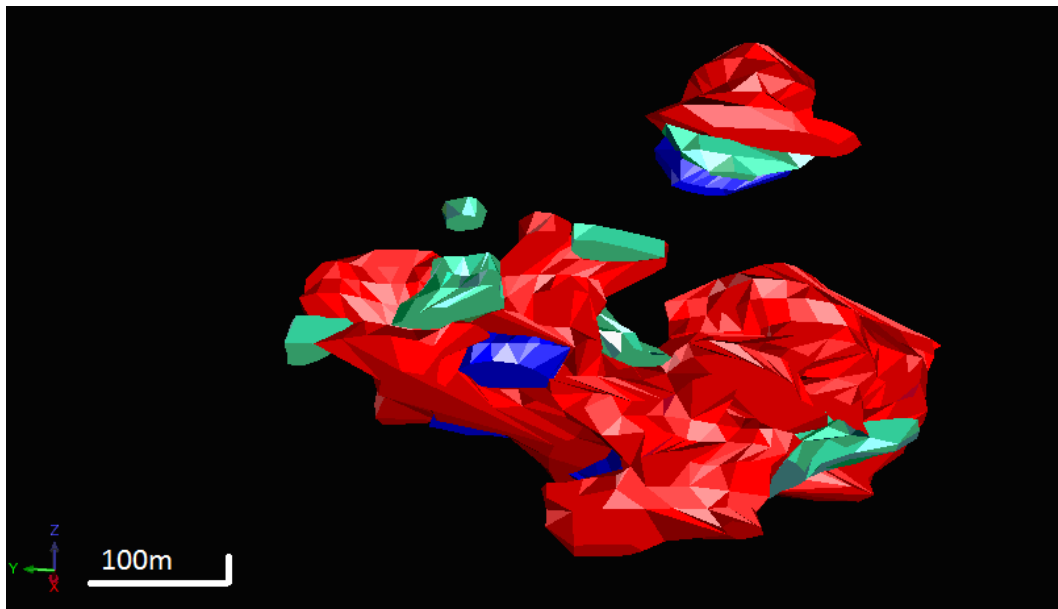


Figura IV-3.2. Imagen tridimensional del cuerpo mineral número 1 del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).

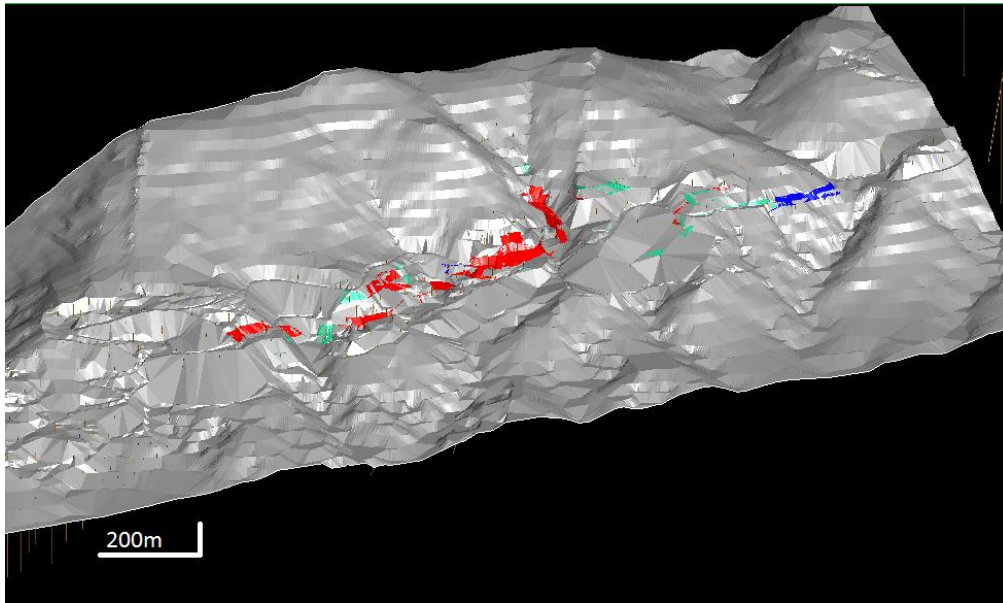


Figura IV-3.3. Imagen tridimensional de la topografía y afloramientos del cuerpo principal del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).

En la figura IV-3.4, se puede observar la complejidad del cuerpo mineral principal y representa la imagen de la ladera NE del cerro donde se encuentra este cuerpo y la imagen tridimensional a profundidad del cuerpo.

En ella, se observa que del cuerpo más somero, se desprenden ramificaciones verticales que terminan a profundidad. El color gris representa la topografía, el amarillo los barrenos perforados y los colores rojo, verde y azul las leyes alta, media y baja del mineral respectivamente.

En la siguiente imagen (figura IV-3.5) se puede observar la topografía y afloramientos de los 4 cuerpos minerales que se encuentran más al norte del yacimiento, estos afloramientos desde el principio sugirieron cuerpos aislados y sin conexión a profundidad y lo que al momento de la barrenación se comprobó, en esta imagen se observa que cercano al cuerpo 4 hay un tajo, producto de una pequeña obra minera que se encargó de explotar el mineral en la década de 1970 y la cual cerró por falta de capital. La imagen representa en color gris la topografía y las superficies de color rojo son los afloramientos de



los 4 cuerpos minerales que en este caso afloran totalmente como cuerpos minerales de alta ley.

En la imagen IV-3.6 se pueden observar 4 cuerpos minerales de pequeñas dimensiones los cuales tienen una tendencia casi vertical y que no tienen ninguna conexión a profundidad, gracias a la interpretación de las secciones se pudieron encontrar estos pequeños cuerpos que si bien por separado no son muy atractivo, ya juntos representan una cantidad de mineral magnético el cual puede ser incorporado a las reservas del cuerpo principal.

En color gris está representada la topografía, en amarillo los barrenos perforados en la zona y los colores rojo, verde, y azul representan los sólidos tridimensionales en sus 3 respectivas leyes alta, media y baja.

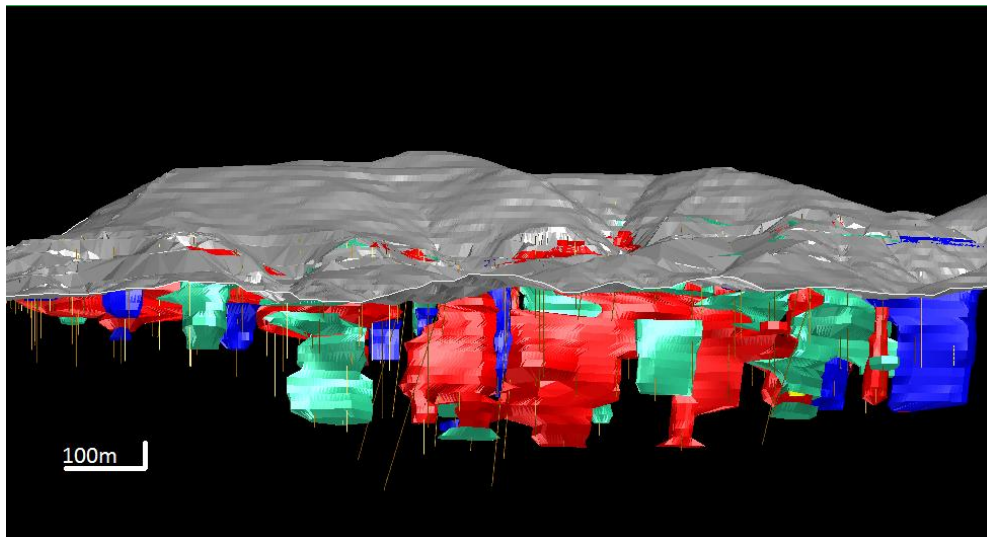


Figura IV-3.4. Imagen tridimensional de la topografía, afloramientos, barrenos y sólido a profundidad del cuerpo principal del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).

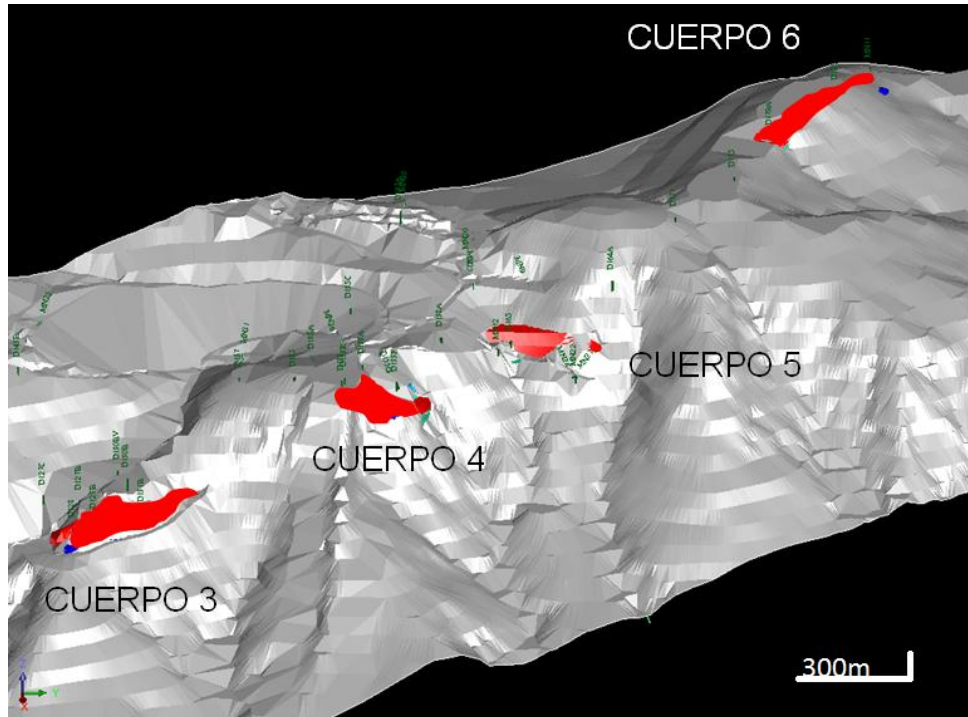


Figura IV-3.5. Imagen tridimensional de la topografía y afloramientos de los cuerpos 3, 4, 5 y 6 del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).

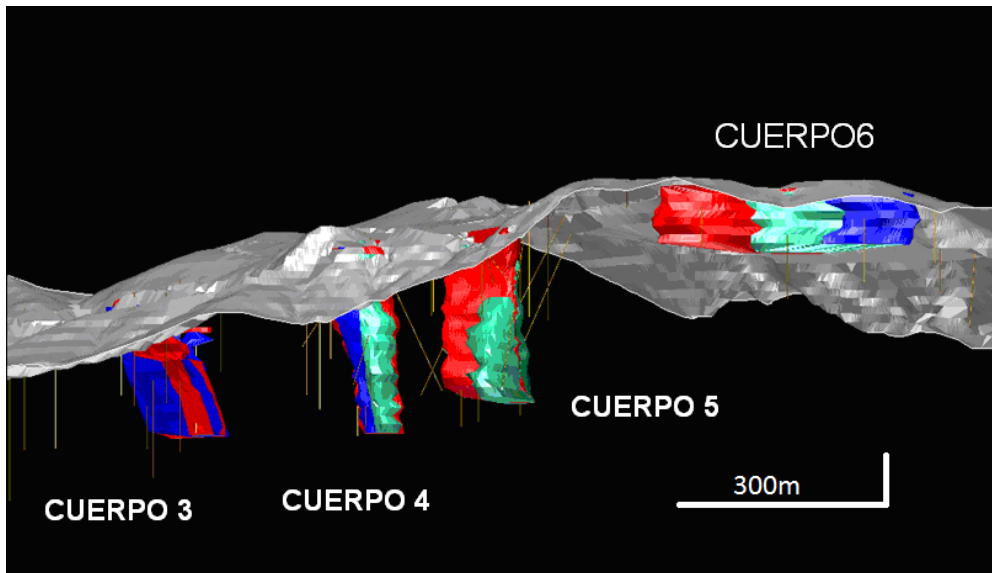


Figura IV-3.6. Imagen tridimensional de la topografía, afloramientos, barrenos y sólidos a profundidad de los cuerpos 3, 4, 5 y 6 del yacimiento Neptuno (minera Jeco 2008).

## Tonelaje

Para el cálculo del tonelaje es necesario utilizar geostatística método de Kriging o inverso de la distancia y un modelo de bloques que se construye a partir del modelo geológico tridimensional y de los análisis químicos de las muestras tomadas de los núcleos de la barrenación con diamante, pero el alcance del presente trabajo no llega a estos estudios.

Aún así, en este trabajo se calculó un aproximado del tonelaje utilizando como base el volumen de los cuerpos minerales y las densidades a los que estos corresponden. La tabla IV-3.1 representa el tonelaje de alta, media y baja ley, además del tonelaje total calculado de cada uno de los 6 cuerpos minerales.

### CUERPO 1

TON ALTA LEY	TON LEY MEDIA	TON BAJA LEY	TON TOTAL
2,944,100.175	698,641.35	358,950.2469	4,001,691.772

### CUERPO PRINCIPAL

TON ALTA LEY	TON LEY MEDIA	TON BAJA LEY	TON TOTAL
22,042,932.6	10,184,207.22	3,849,529.75	36,076,669.57

### CUERPO 3

TON ALTA LEY	TON LEY MEDIA	TON BAJA LEY	TON TOTAL
1,317,375.75	27,591.3	1,024,430	2,369,397.05

### CUERPO 4

TON ALTA LEY	TON LEY MEDIA	TON BAJA LEY	TON TOTAL
2,271,946.15	516,624.9	220,616	3,009,187.05

### CUERPO 5

TON ALTA LEY	TON LEY MEDIA	TON BAJA LEY	TON TOTAL
1,639,114.8	3,436,011.15	0	5,075,125.95

### CUERPO 6

TON ALTA LEY	TON LEY MEDIA	TON BAJA LEY	TON TOTAL
797,468.4	629,372.7	374,069,025	1,800,910.125

### TOTAL

TON ALTA LEY	TON LEY MEDIA	TON BAJA LEY	TON TOTAL
31,012,937.87	15,492,448.62	5,827,595.022	52,332,981.51

Tabla IV-3.1. Tonelaje de los 6 cuerpos minerales del yacimiento Neptuno

## Conclusiones

Durante los meses de junio, julio y agosto del año 2008 La brigada de modelado tridimensional del departamento de exploración de Minera Jeco, se dio a la tarea de la construcción del modelo geológico tridimensional del yacimiento Neptuno en la región ferrífera del Pacífico Mexicano. Dicho trabajo alcanzó todos los objetivos planteados.

Las conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

1. Se construyeron 47 secciones transversales que ejemplifican en 2 dimensiones el área ocupada a profundidad por los cuerpos del yacimiento.
2. Con base en la construcción de secciones minerales se encontraron 6 cuerpos con mineral de Fe de alta ley, 5 cuerpos pequeños y un cuerpo de gran magnitud con casi 1.3 km de longitud.
3. Se realizó la modelación tridimensional de los 6 cuerpos encontrados, el mayor de ellos con una longitud de casi 1.3 km y 290 m de profundidad y se separaron los cuerpos en 3 diferentes leyes, baja 15%-29.9% de Fe total, media 30%-44.9% de Fe total y alta > 45% de Fe total.
4. Con base en los volúmenes de mineral encontrados y la densidad a la que estos corresponden se realizó una cubicación preliminar de los cuerpos minerales dando los siguientes resultados:

Cuerpo 1-----	4, 001,691.772 toneladas
Cuerpo principal-----	36, 076, 669.57 toneladas
Cuerpo 3-----	2,369, 397.05 toneladas
Cuerpo 4-----	3, 009, 187.05 toneladas
Cuerpo 5-----	5, 075, 125.95 toneladas
Cuerpo 6-----	1,800, 910.125 toneladas

Con un total en todos los cuerpos de 52.33 millones de toneladas.

5. Se concluye que el yacimiento Neptuno tiene el potencial necesario para ser explotado como una mina de magnetita de alta ley de hierro.

Para optimar el presente trabajo es necesario realizar los estudios faltantes con los cuales se podrá calcular el tonelaje y certificar el yacimiento, dichos estudios son, modelo de bloques y la geoestadística.

## Bibliografía

Bateman, Alan M., 1978, Yacimientos minerales de rendimiento económico, traducción de la segunda edición americana por el Dr. José Luis Amorós, Ediciones Omega s.a. Barcelona.

Bermúdez-Santana, JC. 1994. Estratigrafía de una secuencia vulcanosedimentaria del Cretácico Inferior de la región de Tepalcatepec-Coalcomán, Michoacán, integrando métodos bioestratigráficos y radiométricos: ESIA, Instituto Politécnico Nacional.

Centeno-García E., Ruiz J, Coney P, Patchett JP, Ortega-Gutiérrez F., 1993. Guerrero Terrane of Mexico: its role in the Southern Cordillera from new geochemical data. *Geology, Geological Society of America*, 21, 5: 419-422.

Corona-Esquivel, Rodolfo, 2004. Modelo magmático del yacimiento de hierro Peña Colorada, Colima, y su relación con la exploración de otros yacimientos de hierro en México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.

Grajales-Nishimura, J., López-Infazón, M., 1984. Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas en el prospecto Tomatlán, Guerrero-Jalisco: Instituto Mexicano del Petróleo, proyecto C-1160, Informe técnico.

Huang, Walter T. 1968. *Petrología*, 1ª. Ed.: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, México.

Mosco-Córdova, Eulalio, 2008, Modelos geológicos de la zona sur: Minera del Norte, inédito.

Panno, S.V. y Hood, W.C., 1986. Volcanic stratigraphy of the Pilot Knob iron deposits, Iron County, Missouri: *Economic Geology*. Vol. 78, p. 1-20.

Pantoja-Alor, Jerjes, 1983. Geocronometría del magmatismo Cretácico-Terciario de la Sierra Madre del Sur: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. 44, num. 1, p. 1-20.

Pantoja-Alor, Jerjes y Estrada-Barraza, Samuel, 1986. Estratigrafía de los alrededores de la mina de hierro de El Encino, Jalisco: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. 47, num. 1, p.1-16.

Parga, M.J.A., 1977. Estudio Geológico del prospecto Manzanillo, Colima: *Petróleos Mexicanos*, IGPR-153 informe técnico.

Pimentel, R.A., 1980. Informe geológico final, Prospecto Soyatlán de Adentro: *Petróleos Mexicanos*, IGPR-190, informe técnico.

Piñeiro, Fernando, 1972. Descripción de las unidades litoestratigráficas de la formación Tobas Encino, Pihuamo, Jalisco: Colima, Col. Las Encinas, informe técnico.

Ramírez-Leines, Felipe, 2002, interpretación del vuelo magnético de la zona sur: Minera del Norte, inédito.

Ramírez-Leines, Felipe, 2006, revisión de anomalías aeromagnéticas de la zona sur: Minera del Norte, inédito.

Reportes de trabajo de barrenación y geología superficial Minera del Norte 2005.

Rodriguez, F.D., 1980. Informe geológico final, Prospecto Tecalitlán: Poza Rica Ver., Petróleos Mexicanos, Zona Centro, Superintendencia General de Exploración, IGPR-186.

Sedlock, R. L., Ortega-Gutierrez, F., Speed, R.C., 1993. Tectonostatigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: Geological Society of America Special Paper 278, 153 p.

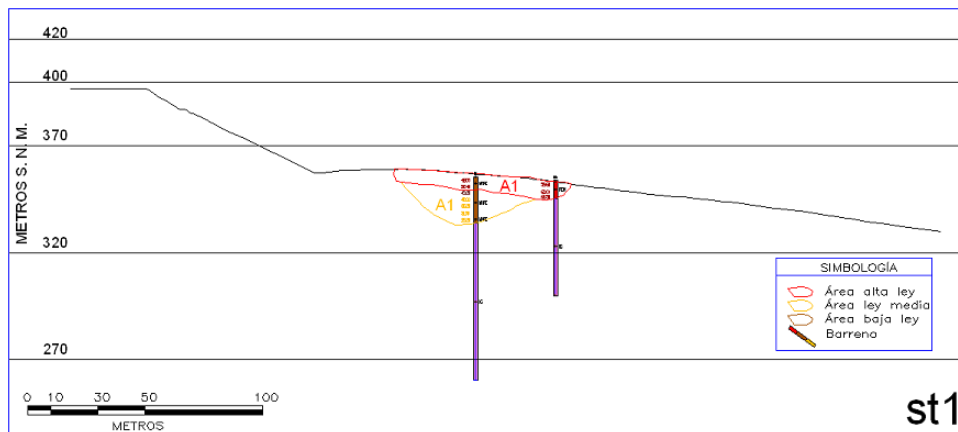
Villares, Fabián, año desconocido, depósitos tipo skarn: inédito.

## Apéndice I

### Secciones transversales

Cuerpo mineral número 1 (ver mapa geológico anexo).

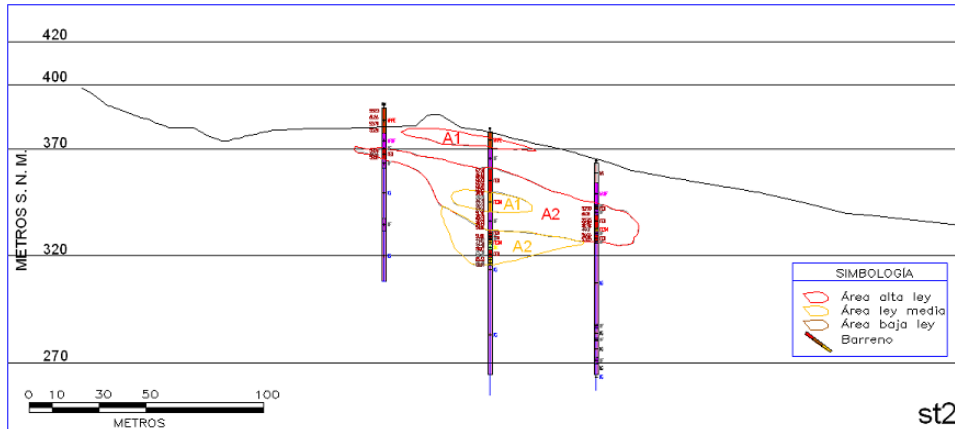
**St1**-Esta sección transversal se encuentra en la parte sur del cuerpo mineral número 1 y fue construida tomando en cuenta el afloramiento de alta ley y 2 barrenos de diamante; en ella se muestran 2 diferentes leyes, una capa costra de magnetita de alta ley mayor al 45% en Fierro total y una ley media que varía de 30 a 45%.



Sección transversal mineral st1 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

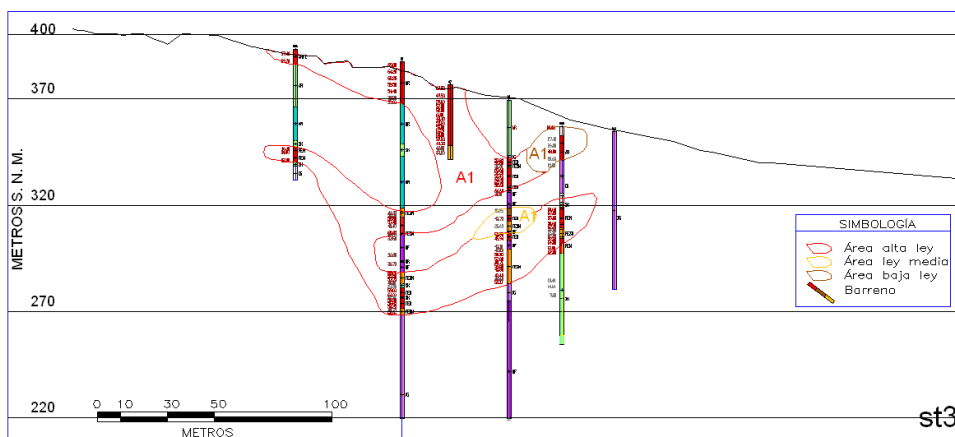
**St2**-Esta sección transversal fue construida con la interpretación de 3 barrenos, en ella se muestran 2 diferentes leyes y un cuerpo mineral tipo manto que se ensancha hacia el centro, la alta ley está dividida en 2 cuerpos uno pequeño arriba y en medio un cuerpo de medianas dimensiones.





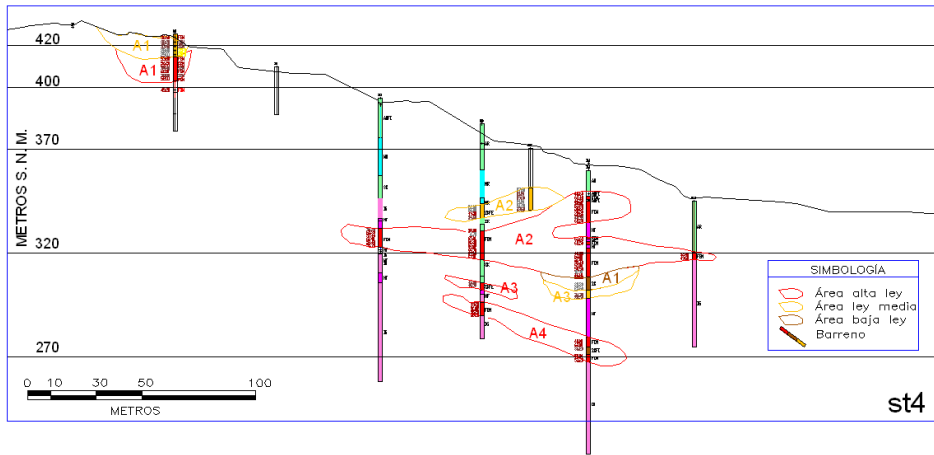
Sección transversal mineral st2 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St3-** Esta sección fue construida con la información de 6 barrenos con diamante y en la cual se aprecian cuerpos minerales subhorizontales en su mayor parte con mineral de alta ley; uno de los barrenos presentes en esta sección no cortó mineral pero sirvió para delimitar el cuerpo de fierro.



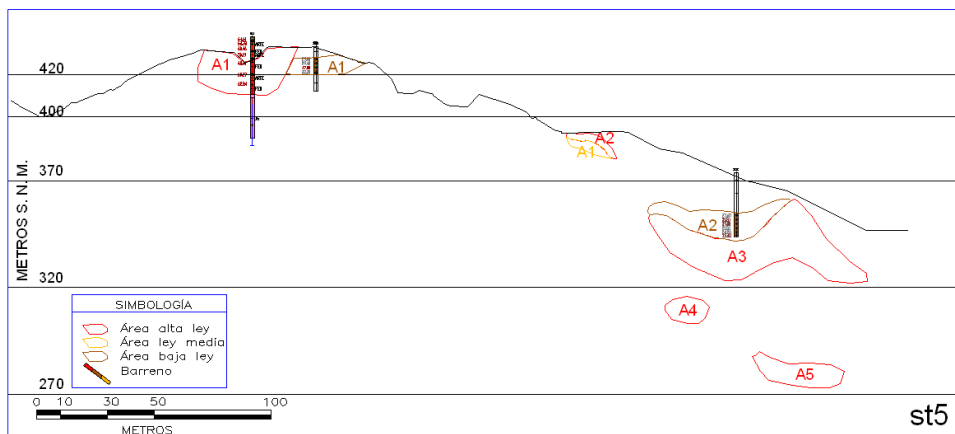
Sección transversal mineral st3 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St4-** Esta sección fue construida con la información de 7 barrenos, 5 con diamante y los 2 restantes con circulación inversa, la sección se interpretó con varios cuerpos algunos sin conexión a profundidad y en su mayor parte con mineral de alta ley.



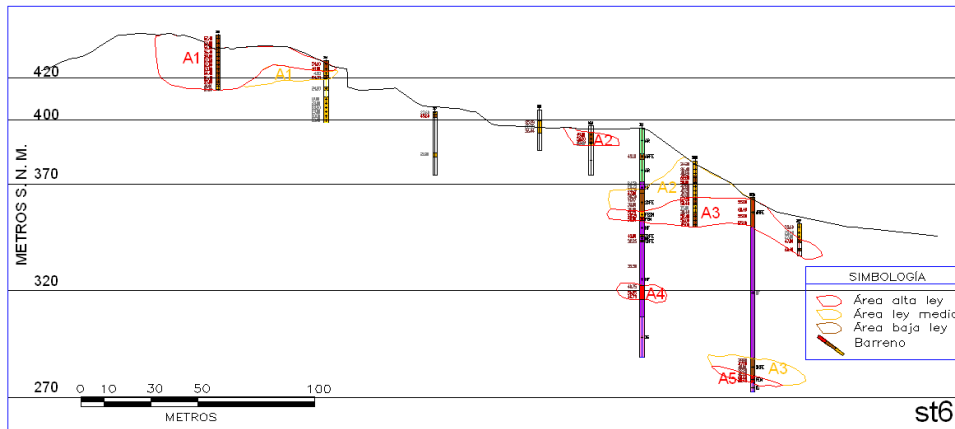
Sección transversal mineral st4 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St5**-Esta sección fue construida con la información de 3 barrenos, 2 de circulación inversa y uno de diamante, además fue tomada en cuenta la información de las secciones aledañas y por correlación lateral entre ellas se interpretaron 4 cuerpos que aparecen en esta sección, también se usó la información de las secciones geológicas longitudinales elaboradas por la brigada de perforación.



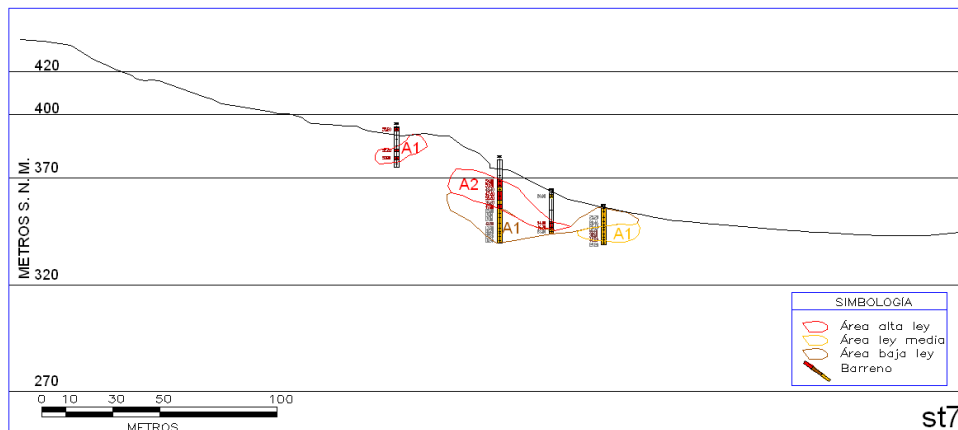
Sección transversal mineral st5 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St6**-Esta sección fue construida por la información de 9 barrenos 7 de circulación inversa y 2 con diamante, en la imagen se aprecian 2 cuerpos de regular tamaño con mineral de alta y mediana ley, los otros cuerpos son pequeños pero se pueden correlacionar lateralmente con las secciones aledañas.



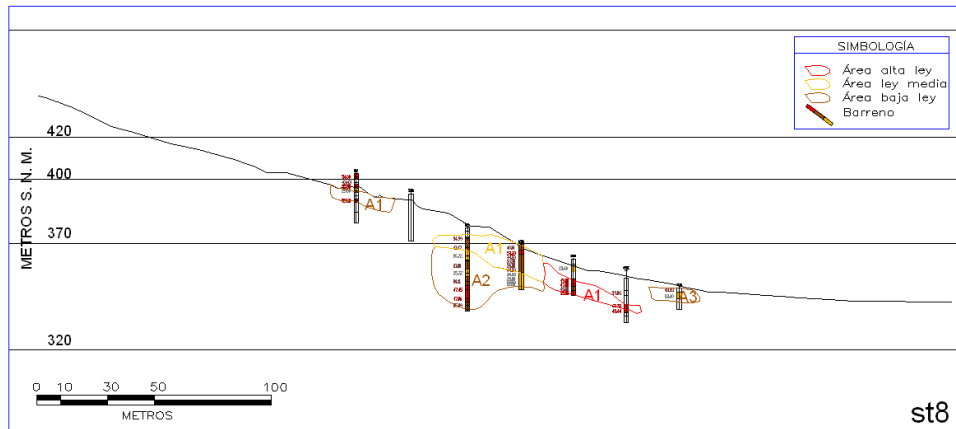
Sección transversal mineral st1 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St7**-Esta sección fue construida con la información de 4 barrenos de circulación inversa; en esta imagen se aprecia que el cuerpo mineral comienza a decrecer adelgazándose hacia la parte norte, también la ley del mineral comienza a bajar aunque aun se tiene mineral de más del 45% en Fe total.



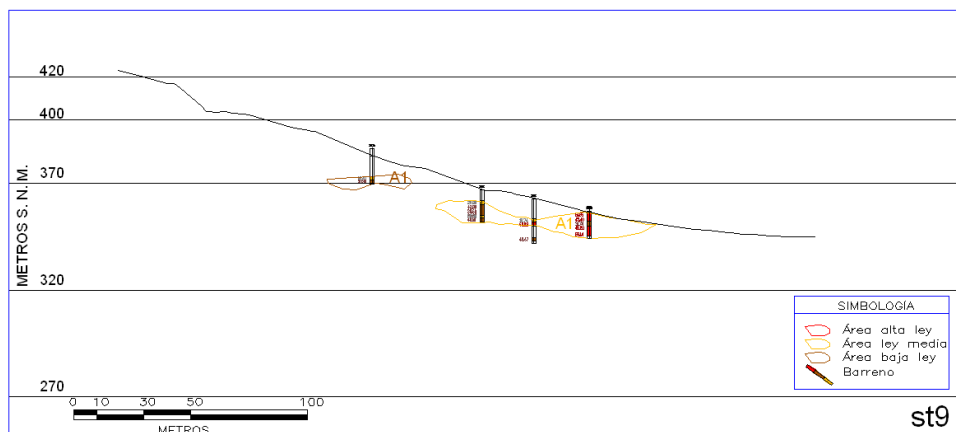
Sección transversal mineral st7 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St8**-Esta sección fue construida con la información de 7 barrenos de circulación inversa, en donde unos de ellos no cortó mineral de hierro, en la imagen se aprecia que el mineral de alta ley sigue bajando y aumentando los de las leyes media y baja, el cuerpo se ensancha un poco respecto a la sección St7.



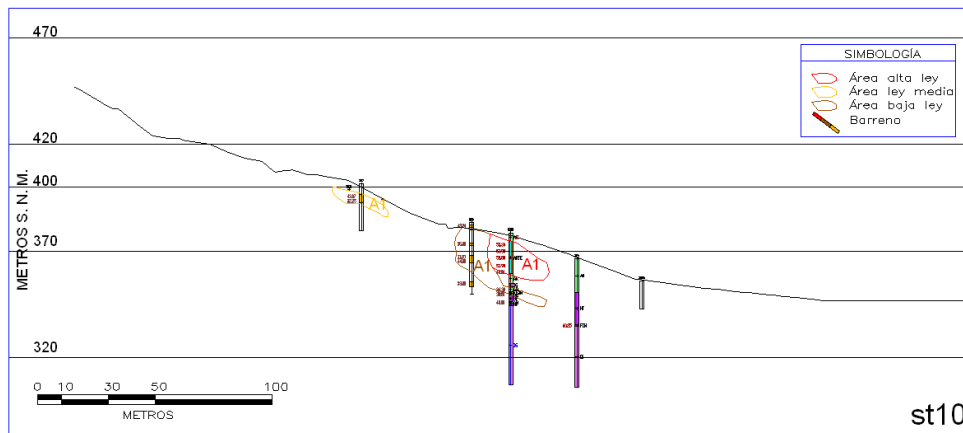
Sección transversal mineral st8 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St9**-Esta sección fue construida con la información de 4 barrenos de circulación inversa y se puede observar que en promedio el mineral de alta ley ya desapareció y sólo quedan leyes medias y bajas, también el cuerpo ya ocupa menos área que en las secciones anteriores.



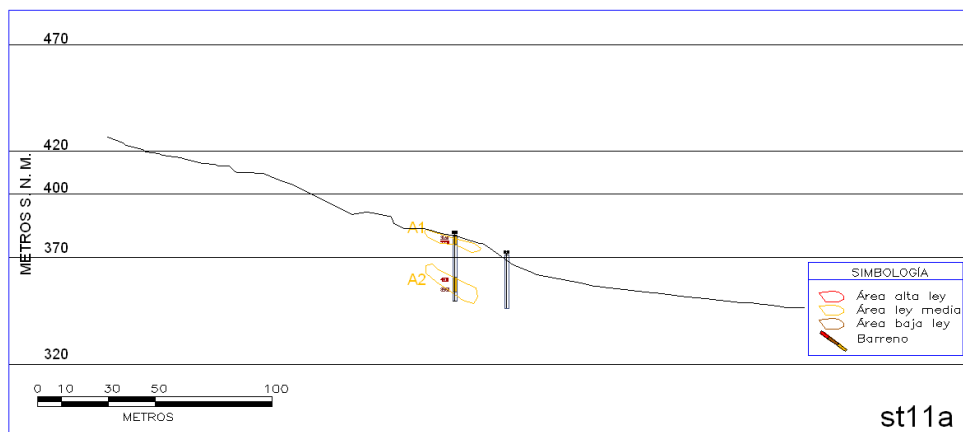
Sección transversal mineral st9 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St10**-Esta sección está construida con la información de 5 barrenos, 2 con diamante y 3 de circulación inversa, la imagen muestra 2 cuerpos con mineral, uno de ellos tiene mineral de alta ley, aunque en su mayor área es de mineral de baja ley, el cuerpo crece un poco respecto al que está interpretado en la sección St9.



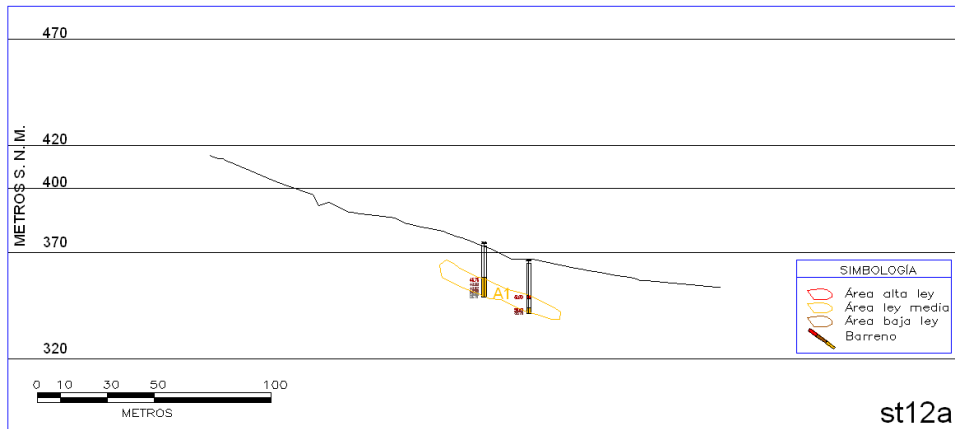
Sección transversal mineral st10 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St11a-** Esta sección está construida con la información de 2 barrenos de circulación inversa, uno de ellos sin cortar mineral de fierro, en la imagen se aprecian 2 pequeños cuerpos de mineral que en promedio está entre los 30% y los 45% de fierro total.



Sección transversal mineral st11a con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

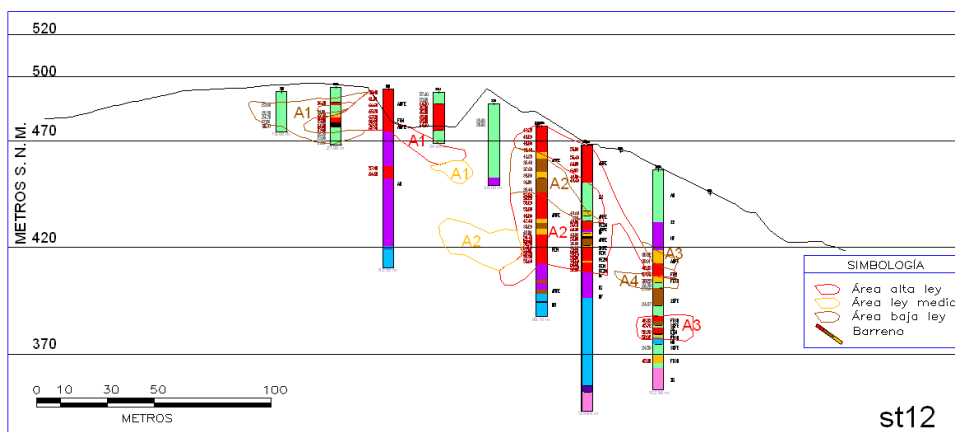
**St12a-** Esta sección está construida con la información de 2 barrenos de circulación inversa, en la imagen se observa un cuerpo casi horizontal de mineral de ley media, el cual ya es muy pequeño y que limita al norte el cuerpo número 1.



Sección transversal mineral st12a con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

Cuerpo mineral principal (ver mapa geológico anexo).

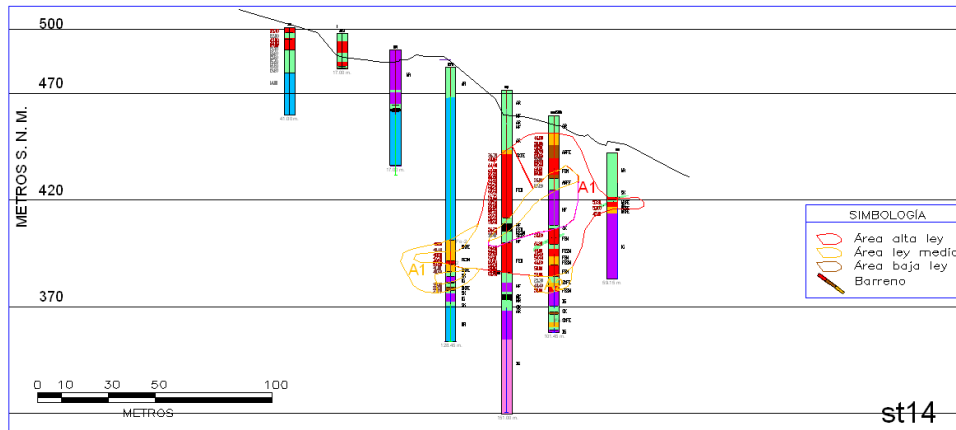
**St12**-esta sección es la primera de sur a norte del cuerpo mineral principal, está construida con la información de 8 barrenos de diamante, en la sección se interpretaron 2 cuerpos minerales que contienen mineral de hierro en las 3 leyes propuestas; uno de los barrenos no cortó mineral.



Sección transversal mineral st12 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

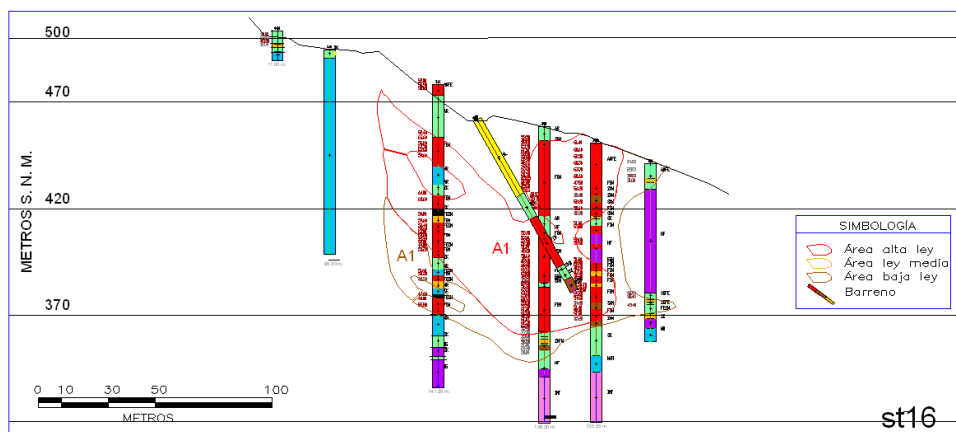
**St14**-Esta sección fue construida con la información de 7 barrenos de diamante, donde uno de ellos no cortó mineral y otros 2 cortaron tan poco que no se tomó en cuenta el cuerpo ya que es de pequeñas dimensiones, pero el

otro cuerpo en la sección es grande, tiene tendencia vertical y posee las 3 diferentes leyes de fierro total propuestas.



Sección transversal mineral st14 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

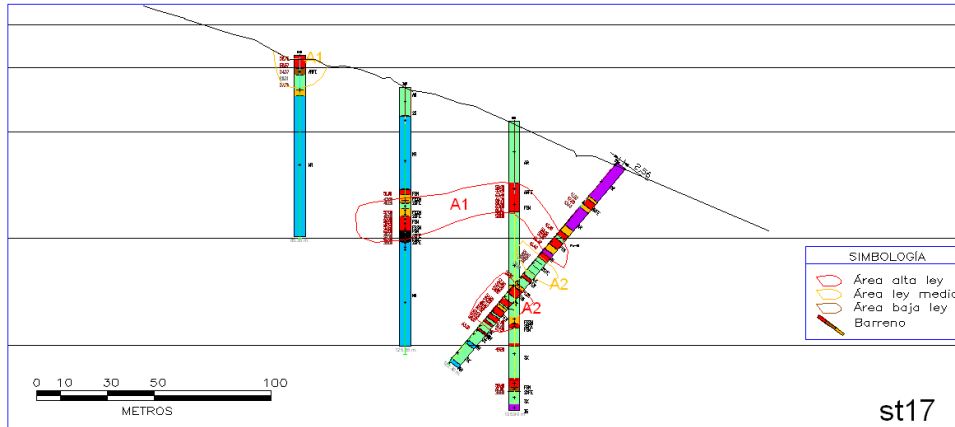
**St16**-Esta sección está construida con la información de 7 barrenos de diamante, donde unos de ellos no cortó mineral de fierro y otro cortó muy poco y no fue tomado en cuenta para la interpretación del cuerpo. En la sección se interpretó un gran cuerpo mineral con mineral de alta ley, la tendencia de este cuerpo mineral es de crecer hacia las secciones del centro.



Sección transversal mineral st16 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

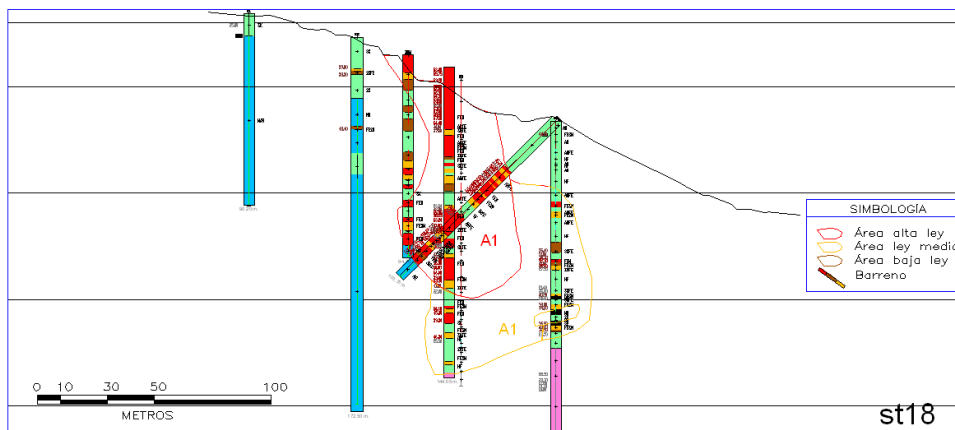
**St17**-Esta sección está construida con la información de 4 barrenos de diamante y en los cuales se puede observar un acuñamiento del cuerpo

mineral con respecto a las secciones aledañas al sur, aun así el mineral es de alta ley y tiene correlación lateral hacia las otras secciones.



Sección transversal mineral st17 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

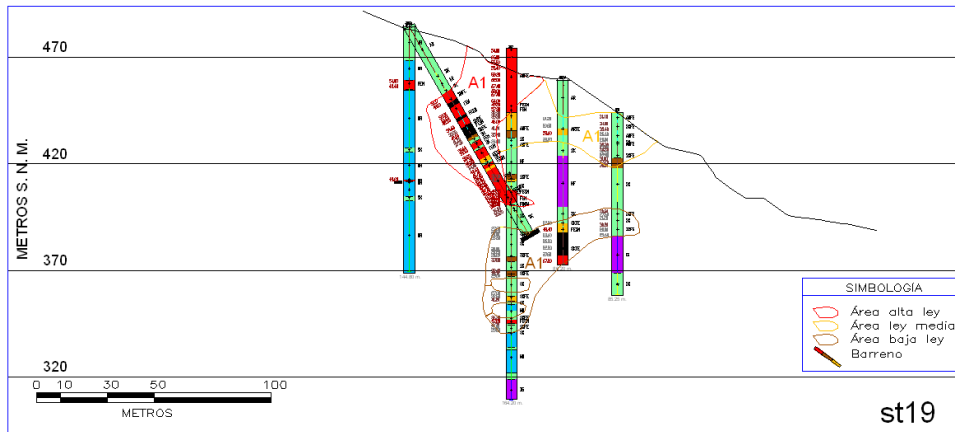
**St18**-Esta sección está construida con la información de 6 barrenos de diamante en donde 2 barrenos no cortaron mineral de Fe, con la información de los otros 4 barrenos se pudo interpretar un cuerpo de mineral de alta ley de tendencia vertical que está en contacto con un cuerpo brechado de mineral de ley media.



Sección transversal mineral st18 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

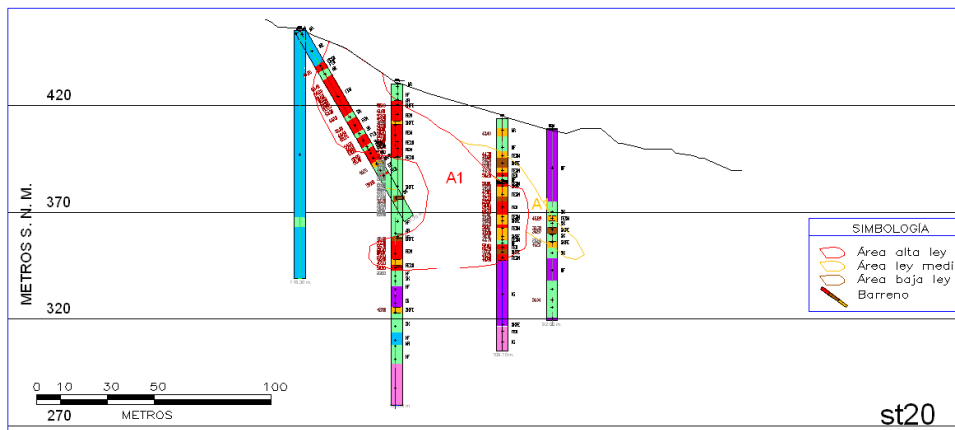


**St19**-Esta sección está construida con la información de 5 barrenos con diamante en donde 1 de estos barrenos no cortó mineral de manera importante, se observa un cuerpo de mineral de alta ley en contacto con un cuerpo de mineral de ley media, metros abajo se interpretó otro cuerpo de mineral de baja ley.



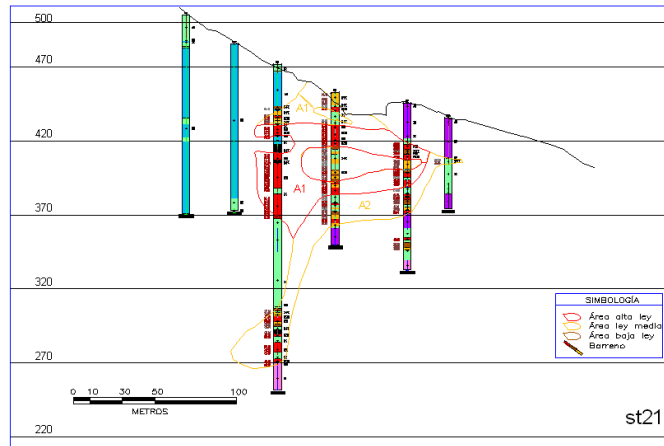
Sección transversal mineral st19 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St20**-Esta sección está construida con la información de 5 barrenos con diamante en donde uno de estos barrenos no cortó mineral de Fe, en la sección se interpretó un cuerpo de mineral de alta ley con tendencia vertical que está en contacto lateral con otro cuerpo de ley media, el cuerpo interpretado es de grandes dimensiones.



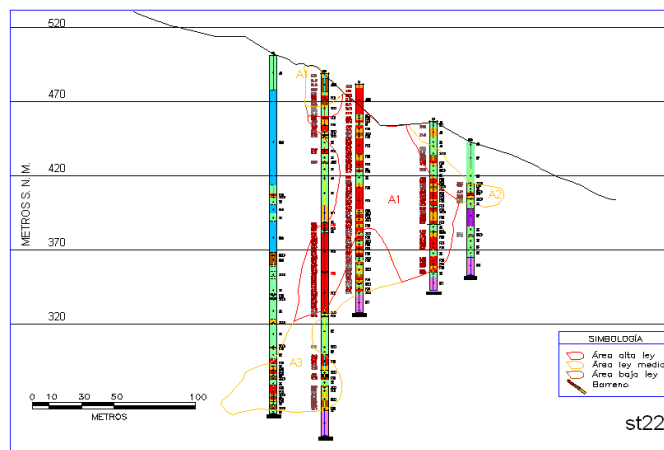
Sección transversal mineral st20 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St21**-Esta sección está construida con la información de 6 barrenos de diamante en donde dos de ellos no cortaron mineral de fierro. El cuerpo interpretado es en su mayoría de alta ley aunque hay ramificaciones de mineral de ley media.



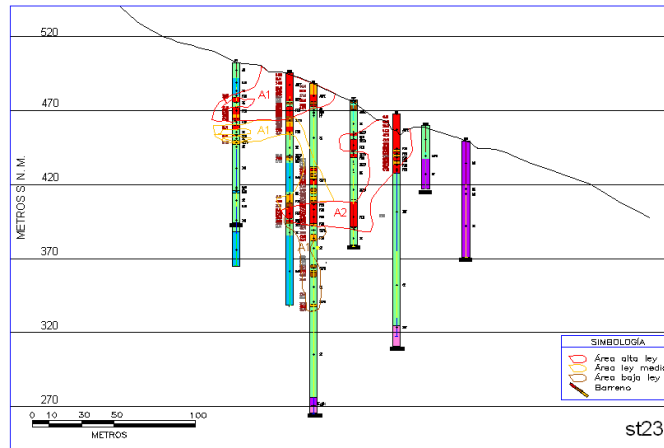
Sección transversal mineral st21 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St22**-Esta sección está construida con la información de 5 barrenos de diamante en los cuales todos cortaron mineral de Fe en las 3 leyes propuestas, el cuerpo interpretado es de tendencia vertical y en su mayoría tiene mineral de alta ley.



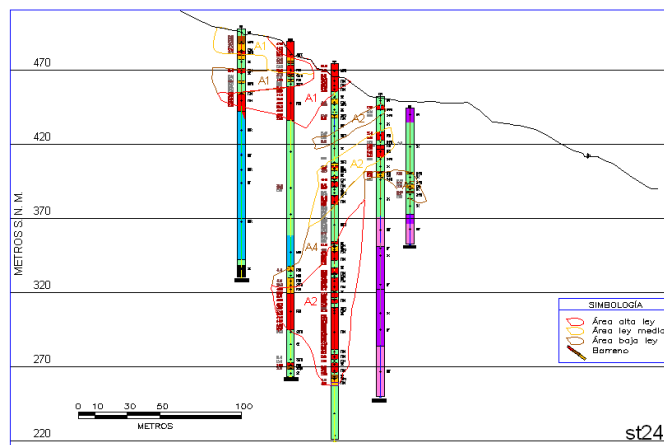
Sección transversal mineral st22 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St23**-Esta sección fue construida por la información de 7 barrenos con diamante en donde 2 de ellos no cortaron mineral de fierro pero sirvieron para delimitar la zona mineralizada, en la sección se observan 2 cuerpos de mineral de alta ley de medianas dimensiones unidos por una ramificación de mineral de ley media, en la parte inferior hay otra ramificación de mineral de baja ley.



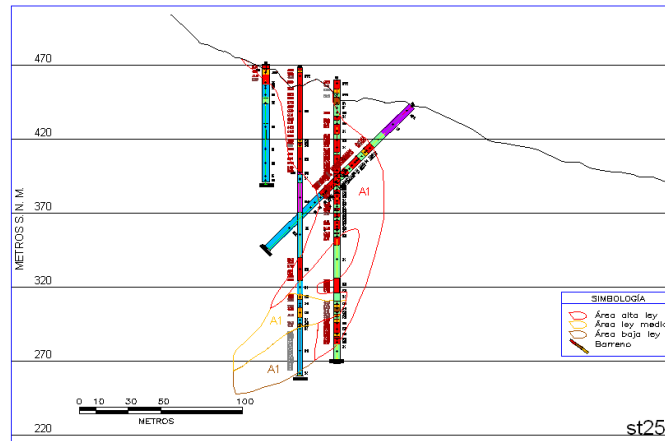
Sección transversal mineral st23 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St24**-Esta sección fue construida con la información de 5 barrenos de diamante. En la sección se interpretaron 2 cuerpos minerales que contienen mineral en las 3 leyes propuestas, en donde el de alta ley el de mayor área en ambas secciones.



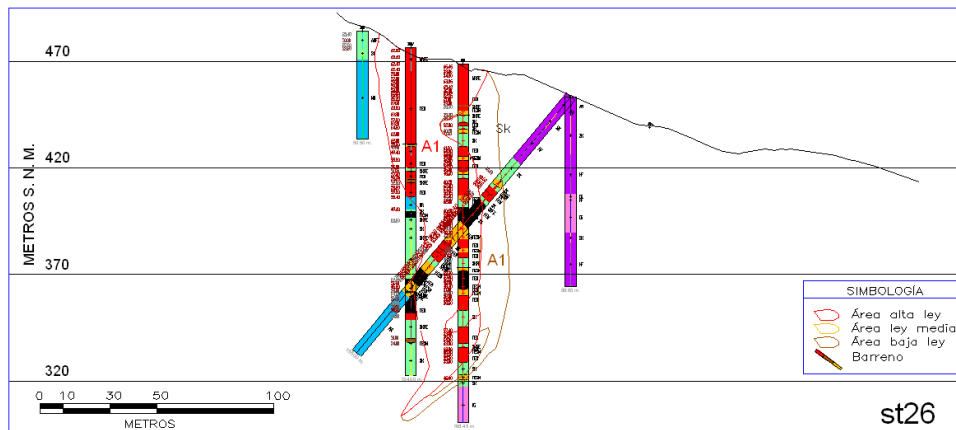
Sección transversal mineral st24 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St25**-Esta sección fue construida con la información de 4 barrenos con diamante. La sección mineral se interpretó como 1 cuerpo con tendencia vertical y la cual en su mayoría contiene mineral de alta ley.



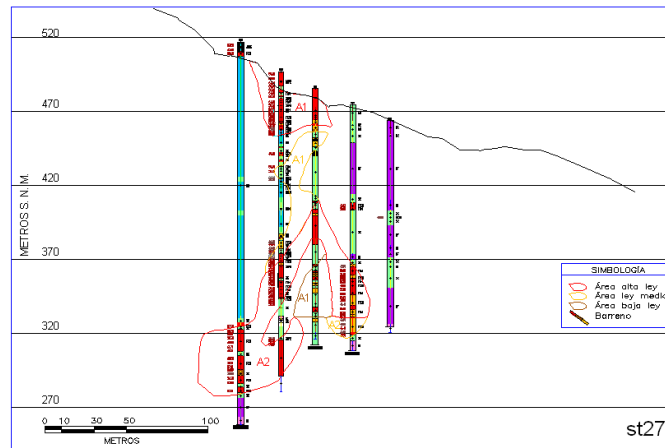
Sección transversal mineral st25 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St26**-Esta sección fue interpretada con la información de 5 barrenos a diamante en donde dos barrenos no cortaron mineral de Fe. El cuerpo mineral se interpretó con tendencia vertical y en el cual el mineral de hierro es en su mayoría de alta ley, en contacto tiene un diseminado de baja ley que profundiza paralelo al cuerpo masivo.



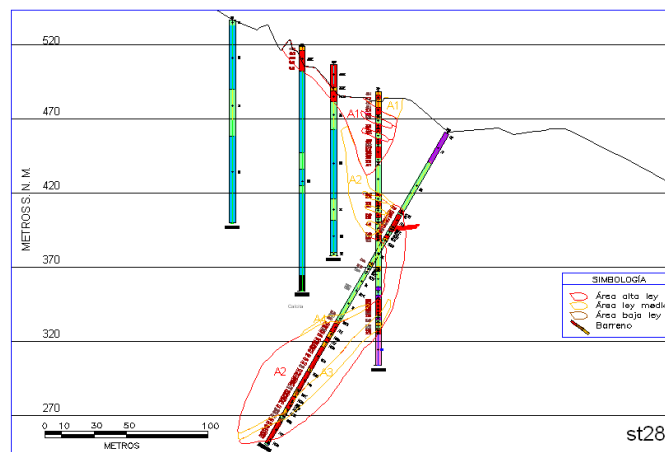
Sección transversal mineral st26 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St27**-Esta sección mineral está interpretada con la información de 5 barrenos con diamante en donde uno de ellos no cortó mineral de fierro. El cuerpo es de tendencia vertical y profundiza cerca de 230 m, el cuerpo en su mayoría es de mineral de alta ley.



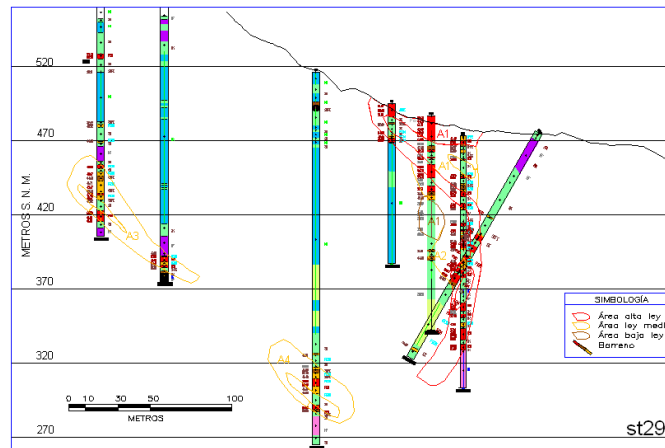
Sección transversal mineral st27 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St28**-Esta sección fue interpretada con la información de 5 barrenos con diamante en donde un barreno no cortó mineral y otros 2 sólo lo cortaron superficialmente, el cuerpo interpretado es vertical y contiene gran área de mineral de alta ley.



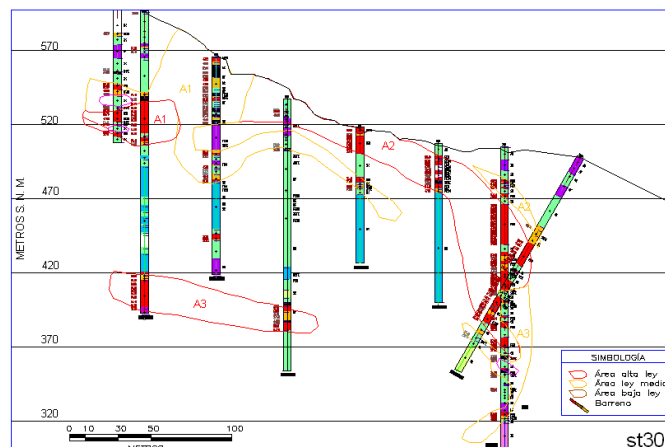
Sección transversal mineral st28 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St29**-Esta sección fue construida con la información de 7 barrenos con diamante en donde todos cortaron mineral de Fe. En la sección están interpretados 3 cuerpos en donde el mayor tiene la correlación lateral de las secciones aledañas, los cuerpos alejados son de mineral de ley media.



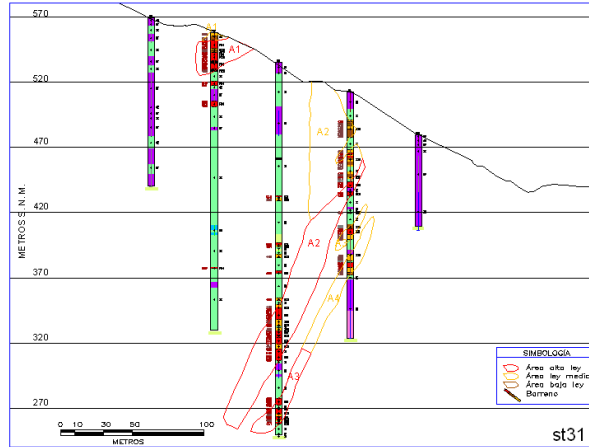
Sección transversal mineral st29 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St30**-Esta sección está construida con la información de 8 barrenos con diamante en los cuales todos cortaron mineral de Fe. El cuerpo mineral interpretado parte de manera horizontal y se curva hacia el éste hasta ponerse en posición vertical, el cuerpo comienza con mineral de ley media y va gradando a alta ley, también hay un cuerpo a profundidad con alta ley que aparentemente no tiene conexión al cuerpo principal.



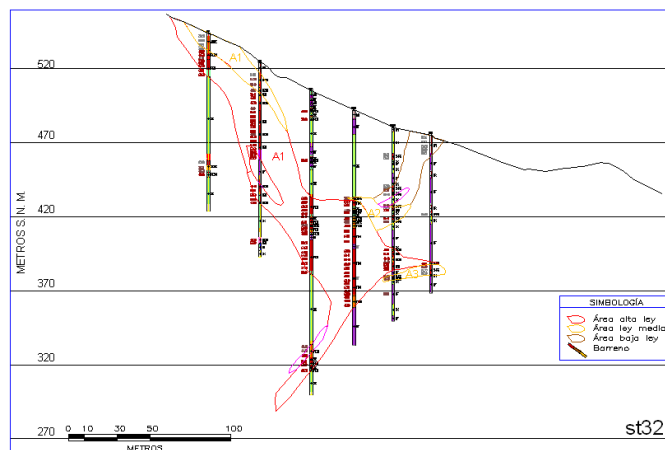
Sección transversal mineral st30 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St31**-Esta sección está construida con la información de 5 barrenos con diamante en los cuales 2 de ellos no cortaron mineral de fierro. Están presentes 2 cuerpos minerales el mayor de ellos sigue la tendencia vertical y en su mayor parte es de mineral de alta y media ley.



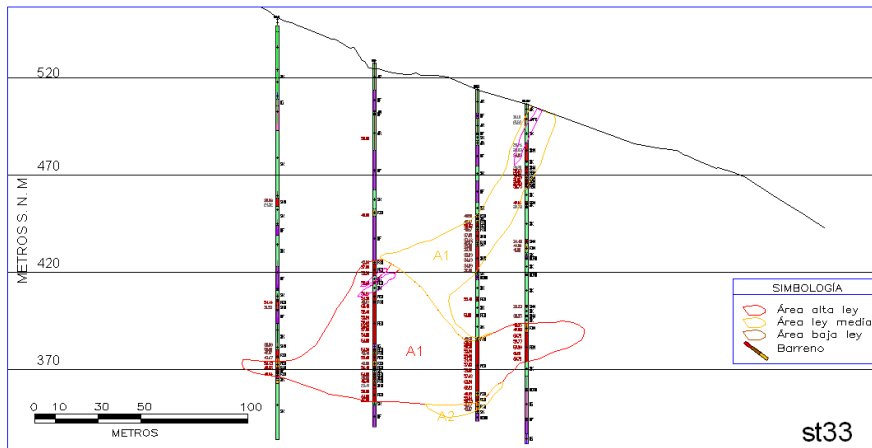
Sección transversal mineral st31 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St32**-Esta sección está construida por 6 barrenos de diamante en los cuales todos cortaron mineral de fierro. La sección muestra dos cuerpos superficiales que a profundidad tienden a unirse y terminan en una pequeña ramificación.



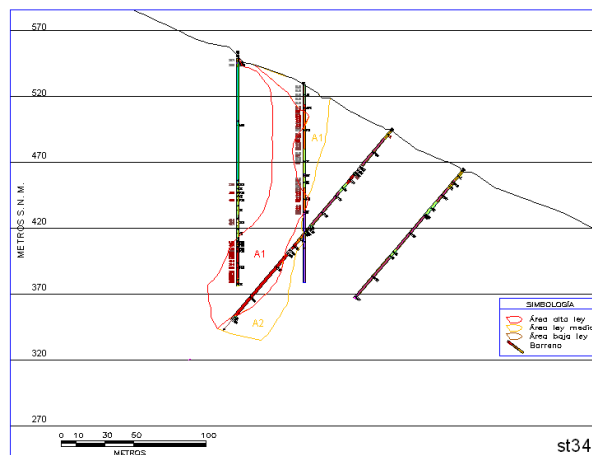
Sección transversal mineral st32 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St33**-Esta sección está construida con la información de 4 barrenos y en la cual se observa un cuerpo que va creciendo a profundidad llegando a su mayor dimensión alrededor del nivel 400, en la parte superior es un cuerpo de ley mediana y en la parte baja la ley del cuerpo crece a mayor del 45% de fierro total.



Sección transversal mineral st33 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

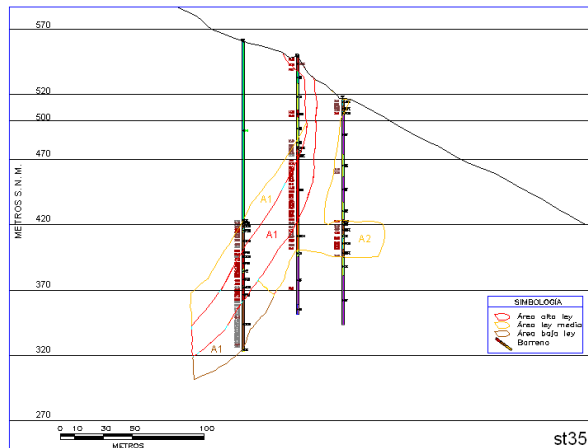
**St34**-Esta sección fue construida con la información de 4 barrenos con diamante en los cuales 3 cortaron mineral y uno no. La sección muestra un cuerpo de tendencia vertical que se mantiene mas o menos constante en dimensiones tanto en la base como a profundidad, en su mayor parte contienen mineral de alta ley.



Sección transversal mineral st34 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

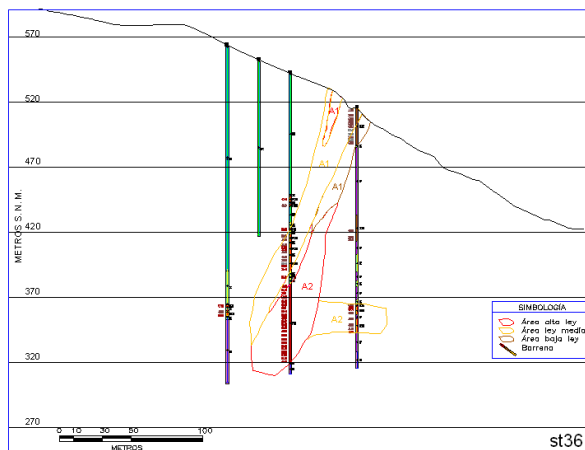


**St35**-Esta sección está construida por 3 barrenos con diamante los cuales todos cortaron mineral. El cuerpo mantiene la misma tendencia que el cuerpo del la sección st34, pero en esta sección la ley del mineral es más baja y la zona de mineral de alta ley disminuye a menos de la mitad del área total del cuerpo mineralizado.



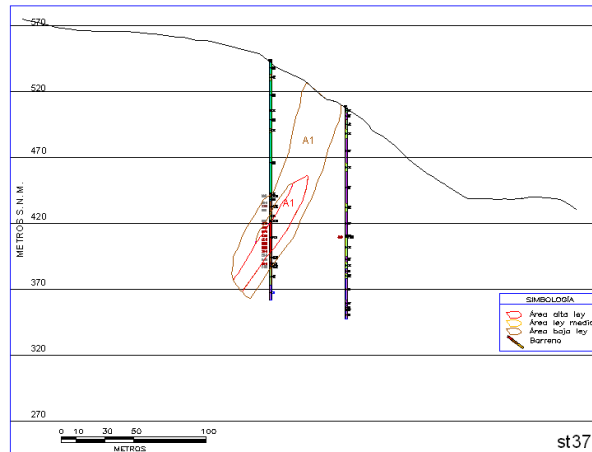
Sección transversal mineral st35 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St36**-Esta sección está construida con la información de 4 barrenos con diamante y en ella se ve la misma tendencia vertical de las secciones anteriores, el área de mineral de alta ley se mantiene más o menos igual.



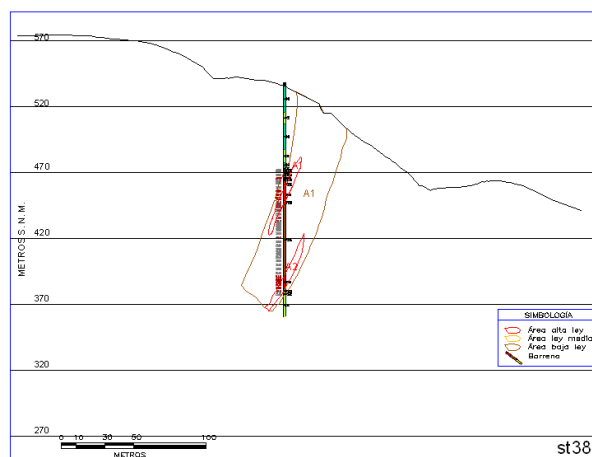
Sección transversal mineral st36 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St37**-Esta sección está construida con la información de 2 barrenos, en donde uno de ellos cortó mineral y el otro no. El barreno cortó el mineral a profundidad pero por la continuidad geológica de las secciones laterales y por el afloramiento el cuerpo mineral se interpretó con tendencia vertical.



Sección transversal mineral st37 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

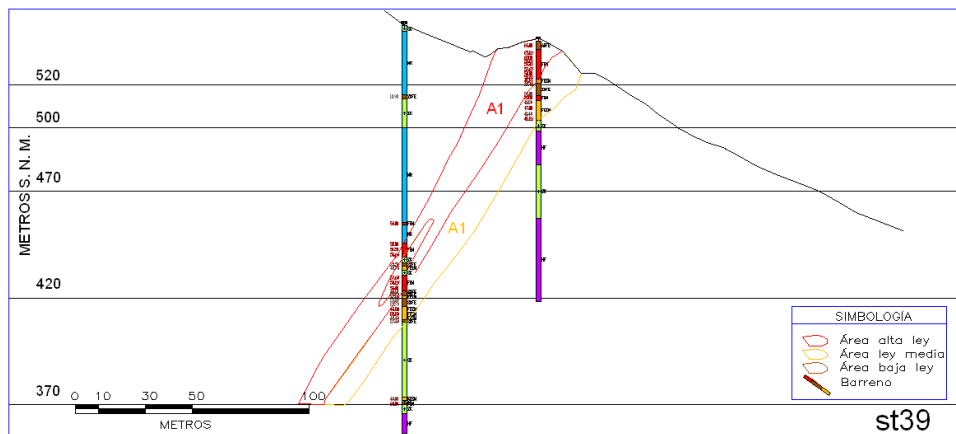
**St38**-Esta sección es la última al norte del cuerpo mineral principal y en ella se observa la tendencia vertical del cuerpo y se nota que el cuerpo se acuñó perdiendo de manera significativa el mineral de alta ley que es el área marcada en color rojo.



Sección transversal mineral st38 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

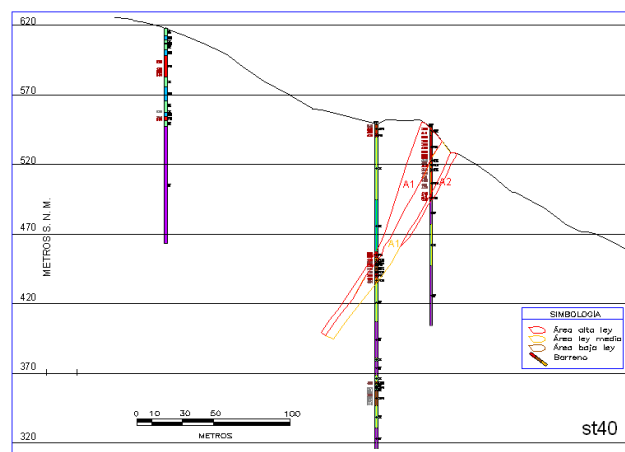
Cuerpo mineral número 3 (ver mapa geológico anexo)

**St39**-Esta sección es la primera de 3 que representan un cuerpo de pequeñas dimensiones de mineral de Fe de alta ley, esta fue interpretada con la información de 2 barrenos, en ella está representado un cuerpo delgado con tendencia subvertical, el área de mineral de alta ley ocupa la mitad del cuerpo.



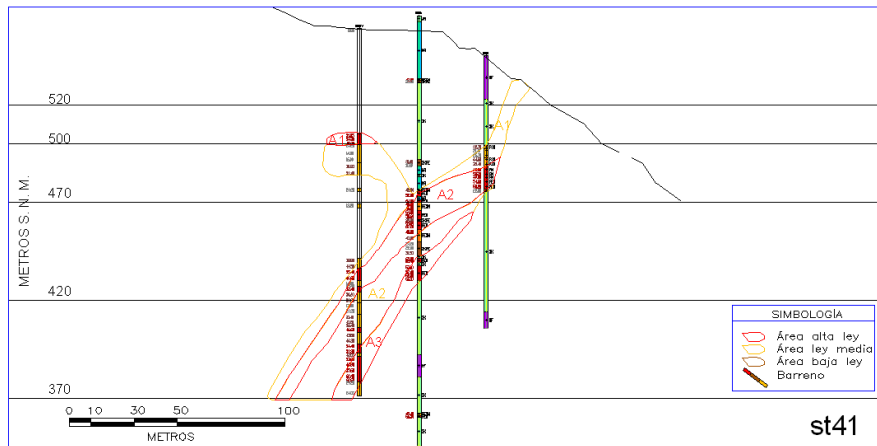
Sección transversal mineral st39 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

**St40**-Esta sección fue construida con la información de 3 barrenos con diamante y en los cuales uno cortó mineral de manera incipiente y no tiene correlación con los cuerpos encontrados en los otros barrenos, teniendo en cuenta la continuidad geológica se interpretó un cuerpo con la misma tendencia que la sección anterior.



Sección transversal mineral st40 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

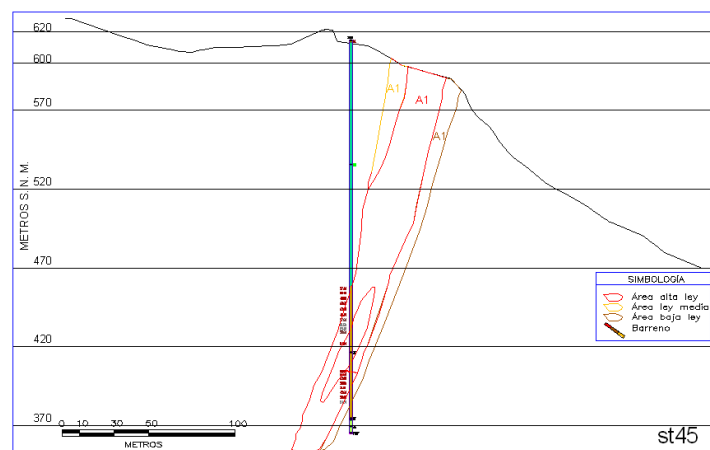
**St41**-Esta sección cierra el cuerpo mineral de pequeñas dimensiones y fue construida con 3 barrenos a diamante, en ella se muestra un cuerpo con tendencia inclinada con mineral de alta, media y baja ley.



Sección transversal mineral st41 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

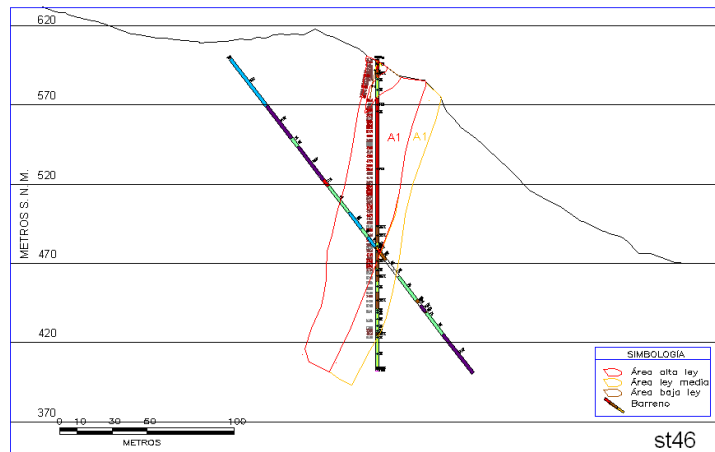
Cuerpo mineral número 4 (ver mapa geológico anexo)

**St45**-Esta sección es la primera de 2 que conforman el cuerpo 4, fue construida con la interpretación de un solo barreno y con el afloramiento en superficie. En la sección se observa un afloramiento que tiende vertical a profundidad, contiene mineral de alta ley.



Sección transversal mineral st45 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

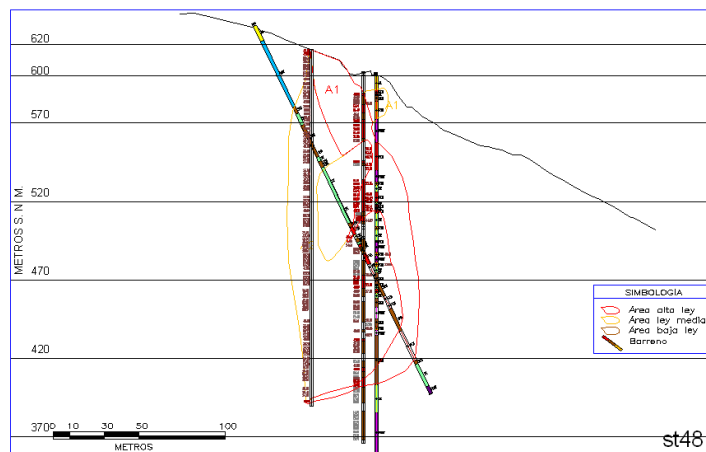
**St46**-Esta sección está construida con la información de 2 barrenos, en esta se muestra el cuerpo mineral de pequeñas dimensiones y en la cual se observa un cuerpo casi vertical con mineral de alta y media ley. Este cuerpo puede ser explorado de mejor manera con otros barrenos.



Sección transversal mineral st46 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

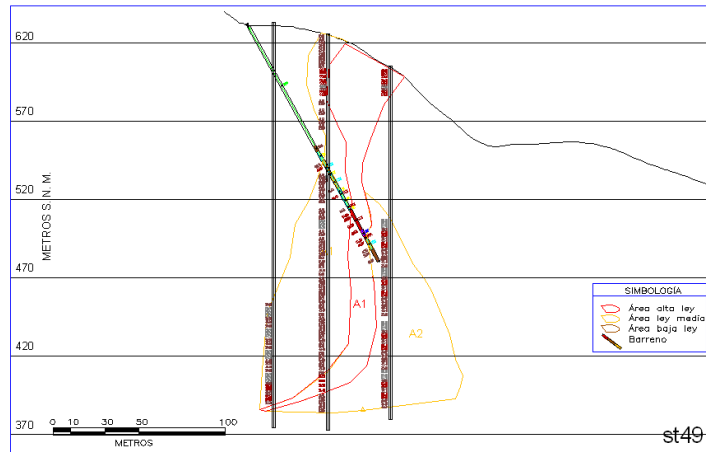
Cuerpo mineral número 5 (ver mapa geológico anexo)

**St48**-Esta sección mineral está construida con la información de 4 barrenos 3 de ellos diamante y uno de circulación inversa. Esta sección está interpretada como un cuerpo vertical el cual contiene mineral de fierro de diferentes leyes en donde la de mayor área es la que oscila entre el 30 y 45% de Fe total.



Sección transversal mineral st48 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

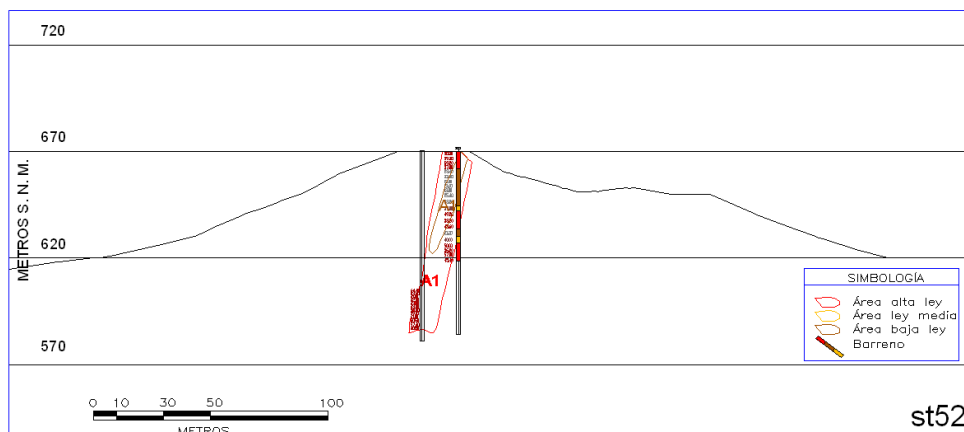
**St49**-Esta sección está construida con la información de 4 barrenos 3 de circulación inversa y uno con diamante. En esta sección se observa un cuerpo con tendencia vertical que profundiza por aproximadamente 240 m, en mayor parte contiene mineral de ley media.



Sección transversal mineral st49 con rumbo NE65°, con vista hacia el NW.

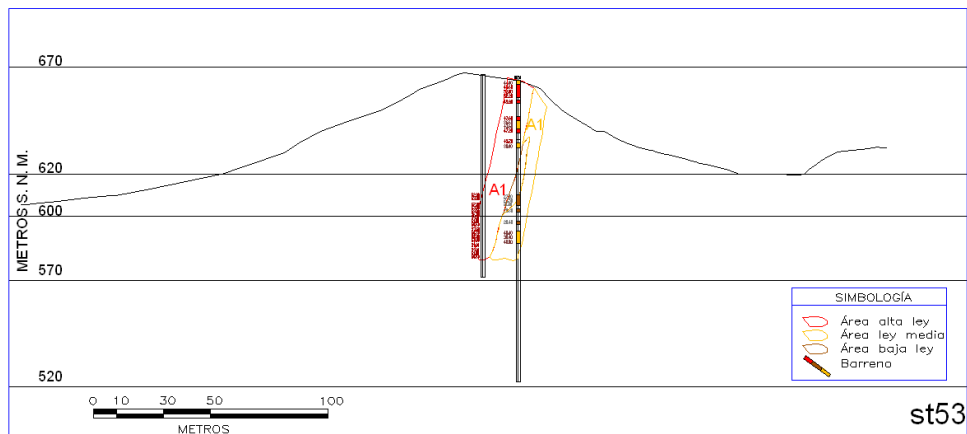
Cuerpo mineral número 6 (ver plano geológico anexo).

**St52**-Esta sección es la primera de 3 que conforman un cuerpo pequeño con mineral de alta, media y baja ley, esta sección fue interpretada con la información de 2 barrenos de circulación inversa y en ella se ve un cuerpo vertical que en su mayoría contiene mineral de alta ley.



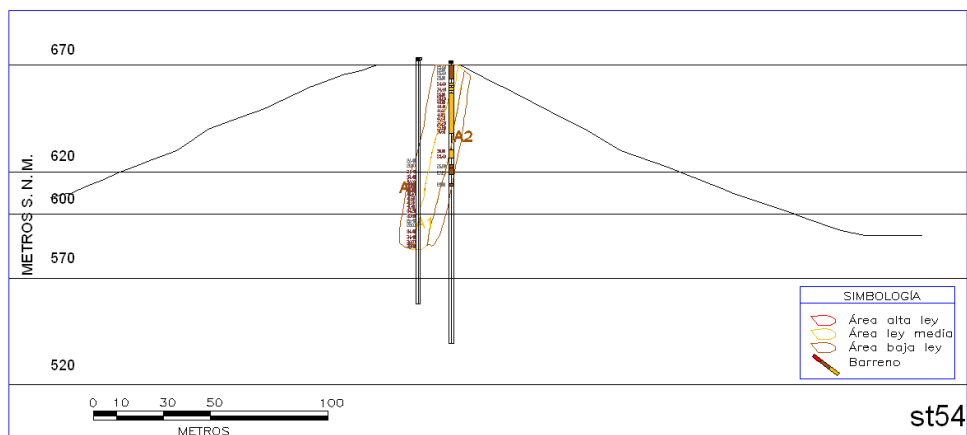
Sección transversal mineral st52 con rumbo NE30°, con vista hacia el NW.

**St53**-Esta sección está interpretada con la información de 2 barrenos de circulación inversa y se correlaciona lateralmente a la sección transversal 52, la figura mineral contiene 2 áreas una con mineral de alta ley y otra un poco más pequeña con mineral de ley media.



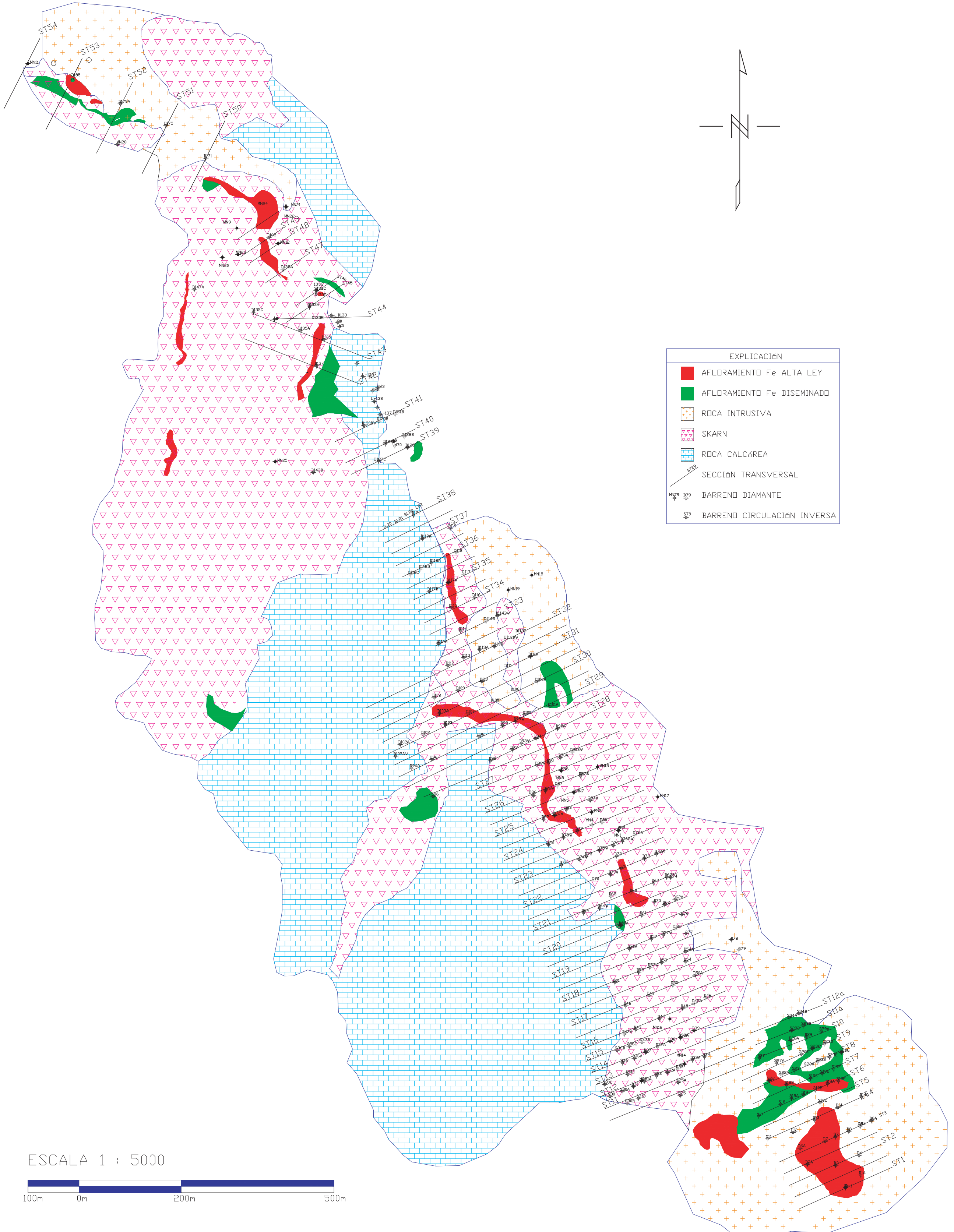
Sección transversal mineral st53 con rumbo NE30°, con vista hacia el NW.

**St54**-Esta sección es la que se encuentra más al norte de todo el yacimiento y limita al mismo, representa la parte final del cuerpo 6 y en ella se observa un área con mineral de ley baja y ley media, fue construida con la información de 2 barrenos de circulación inversa.



Sección transversal mineral st54 con rumbo NE30°, con vista hacia el NW.

PLANO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO NEPTUNO



EXPLICACIÓN	
<span style="color: red;">■</span>	AFLORAMIENTO Fe ALTA LEY
<span style="color: green;">■</span>	AFLORAMIENTO Fe DISEMINADO
<span style="background-color: yellow; border: 1px solid black;">+</span>	ROCA INTRUSIVA
<span style="background-color: pink; border: 1px solid black;">▽</span>	SKARN
<span style="background-color: lightblue; border: 1px solid black;">■</span>	ROCA CALCÁREA
	SECCIÓN TRANSVERSAL
	BARREND DIAMANTE
	BARREND CIRCULACIÓN INVERSA

ESCALA 1 : 5000

