

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



**EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO
GEOLOGICO TRIDIMENSIONAL DE LA ZONA DE ATACOCHA Y
LA ZONA DE SANTA BÁRBARA - CERRO DE PASCO - PERÚ**

***INFORME DE INGENIERIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEOLOGO***

PRESENTADO POR VICTORIA ALBERTA QUINTANA JURADO

PROMOCION : 1999-I

LIMA-PERU

2002

DEDICATORIA

Con toda mi admiración y cariño
para quienes son la guía y motor de mi vida,
mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial por el apoyo, brindado en el desarrollo de este trabajo al Ing. Francisco Gallo (hijo), quien autorizó el uso de datos y la infraestructura de la Mina Atacocha S.A.A. Así mismo al Ing. Oscar Frías Martinelli de T-Matrix S.A.C. quien con la confianza y la responsabilidad compartida, permitió la elaboración de este trabajo. Una mención especial, al trabajo coordinado con los geólogos encargados a los Ing. José Condori y Ing. Manuel Rodríguez, del departamento de geología de la Cía. Minera Atacocha S.A.A., quienes con sus interpretaciones y sugerencias enriquecieron el modelo.

Por último, a los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Ingeniería, que con sus sugerencias y correcciones permitieron alcanzar las metas trazadas en este informe.

RESUMEN

El yacimiento de Atacocha se ubica en la parte central de los Andes del Perú, en el Distrito Minero Milpo-Atacocha. Estos yacimientos se vienen estudiando y explotando desde inicios del siglo pasado y tienen gran importancia regional por su desarrollo y aporte a la industria minera.

El distrito minero Milpo-Atacocha es un yacimiento hidrotermal polimetálico con un control estructural bien marcado.

La geología local, que comprende la unidad minera Atacocha, que se caracteriza por la presencia de stocks y diques que intruyen a las calizas Pucará y a las areniscas Gollarisquizga. Los stocks son sub-volcánicos, compuestos de monzogabros, dioritas, monzodioritas y granodioritas, donde los fenocristales consisten de plagioclasas + homblendas + biotitas + cuarzo beta y piroxenos(diópsido). Este yacimiento se caracteriza por tener cuerpos y vetas de gran tamaño lo que han hecho que sean de alta explotación y producción.

Atacocha con unidad minera que se subdivide en cuatro zonas que son: Atacocha, Santa Bárbara, San Gerardo y Machcán. De las dos primeras tenemos mas data, obtenida durante la exploración y explotación , y por ello de esta parte de la mina se construirá un modelo geológico utilizando el Software VULCAN.

El VULCAN es un software que por sus características se adecua bien a los requerimientos geológicos de este yacimiento. Sus aplicaciones y obtención de resultados, dependen de la calidad y cantidad de datos que se puedan recopilar y recuperar de los antiguos registros.

El trabajo del proceso de tratamiento de los datos es muy extenso y de mucho cuidado, necesitando un control de calidad exhaustivo. Por ello se detalla cada paso y se da un procedimiento claro y sugerido por los propios desarrolladores del software.

Con la construcción de una base de datos se puede hacer efectivo la aplicación de los mismos. En este caso, desde el primer momento se trato de emplear estos en el proceso de producción, obteniendo resultados de una manera mas sistematizada.

LISTA DE FIGURAS

- Fig.1.1. Plano de Ubicación de la Mina Atacocha.**
- Fig.2.1. Relación paragenetica de los principales minerales de Atacocha.**
- Fig.2.2. Plano regional del distrito Minero Milpo-Atacocha.**
- Fig.2.3. Columna estratigráfica distrito Minero de Milpo-Atacocha.**
- Fig.2.4. Mapa tectónico regional de los cuadrángulos de Cerro de Pasco y Ambo.**
- Fig.2.5. El batolito de la Cordillera Blanca y los stocks hipabísales asociados y relacionados con las fallas mayores.**
- Fig.2.6. Plano de yacimientos del distrito minero Milpo-Atacocha.**
- Fig.2.7. Cuadro de minas y prospectos del distrito minero Milpo-Atacocha.**
- Fig.3.1. Plano geológico local de Atacocha.**
- Fig.3.2. Sección geológica de la zona Atacocha.**
- Fig.3.3. Sección geológica de la zona Santa Bárbara.**
- Fig.3.4. Sección geológica ore body 13, 13C, 9.**
- Fig.4.1. Principales aplicaciones del Software Vulcan en la Minería.**
- Fig.4.1A Aplicación en la seguridad minera (distribución del ruido).**
- Fig.4.1B Aplicación en Geofísica o Geoquímica: delimitación de áreas de alteración.**
- Fig.4.1C Aplicación en el análisis geomecánico (gráfica del análisis de estabilidad)**
- Fig.4.1D Aplicación en el diseño y ploteo de sondajes: ploteo de sondajes por modo polígono.**
- Fig.4.1E Aplicación en el proceso geoestadístico: Minimización en 3D de la varianza.**
- Fig.4.1F Aplicación en el modelo geológico y estimación de reservas: Modelamiento del Manto SVTT, Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.- Unidad San Vicente.**
- Fig.4.1G Aplicación en la Reconciliación (superficies post-minado).**
- Fig.4.1H Aplicación en medio ambiente (ubicación del nivel de agua contaminante)**
- Fig.4.2. Módulos del Vulcan.**
- Fig.4.3. Vulcan 4.0 Nueva Versión.**
- Fig.4.4. Hardware empleado.**
- Fig. 5.1. Ubicación de contornos (Total).**
- Fig.5.2. Ubicación de Contornos de Santa Bárbara.**

- Fig.5.3. Ubicación de contornos de Atacocha.
- Fig.5.4. Plano de Cartografiado Manual de Atacocha.
- Fig.5.5. Cada punto de una línea es una data que es el almacenada en base paralela al ser digitalizada.
- Fig.5.6. Contornos de los contactos entre los diferentes niveles y el Stock Atacocha. Fig.5.7. Presentación de triangulaciones por niveles del Stock Atacocha.
- Fig.5.8. Formatos de tablas empleadas para el levantamiento de sondajes en el Vulcan.
- Fig. 5.9. Obtención de tabla de verificación de datos reconocidos por el Vulcan.
- Fig.5.10. Despliegue de sondajes representados en el Vulcan.
- Fig.5.11. Modelo de geología superficial de la zona de Atacocha y Santa Bárbara.
- Fig.5.12. Modelo de Stocks modelados en la zona Atacocha y Santa Bárbara.
- Fig.5.13. Modelo de Arenisca en la zona Atacocha (Nv.33360-3600).
- Fig.5.14. Modelo de calizas frescas en la zona Atacocha y Santa Bárbara.
- Fig.5.15. Modelo de calizas alteradas en la zona Atacocha y Santa Bárbara.
- Fig.5.16. Modelo de calizas frescas y alteradas en la zona Santa Bárbara.
- Fig.5.17. Modelo de fallas principales de la zona de Atacocha.
- Fig.5.18. La falla Atacocha separa la zona de Santa Bárbara.
- Fig.5.19. La falla 13 se ubica en la zona Atacocha.
- Fig.5.20. La falla 1 es dislocada por la falla 13 en la zona Atacocha.
- Fig.5.21. Plano de principales estructuras de la zona Atacocha.
- Fig.6.1. Sondajes realizados en la zona Santa Bárbara.
- Fig.6.2. Proyecto 099: Diseño de infraestructura para el stope 877. Alt.1(Vista Isométrica), zona de Santa Bárbara.
- Fig.6.3. Stopes. Nv.3720-Nv.3780. Santa Bárbara.
- Fig.6.4.Estructura del Scheduling.
- Fig.6.5. Finalmente, las cubicaciones en una hoja de cálculos, que presentan una estructura sencilla de comprender
- Fig.6.6. Representación de modelo de bloques y su período de explotación del Ore Body La Pradera(Santa Bárbara).

INDICE

	Página
I. GENERALIDADES	7
1.1. Planeamiento del problema y objetivos del trabajo	7
1.2. Metodología	7
1.3. Trabajos previos	8
1.4. Generalidades de la zona de estudio	8
1.4.1 Ubicación y accesibilidad	8
1.4.2 Relieve y Topografía	10
1.4.3. Clima	10
1.4.4. Antecedentes Históricos	11
II. GEOLOGIA DEL DISTRITO MINERO MILPO-ATACOCHA	12
2.1. Introducción	12
2.2. Paragénesis	12
2.3. Estratigrafía	14
2.4. Rasgos Tectónicos	17
2.5. Depósitos Minerales	20
III. GEOLOGIA LOCAL	23
3.1. Introducción	23
3.2. Litología	23
3.3. Rocas Sub-volcánicas	25
3.4. Control Estructural de Ore bodies	26
3.5. Yacimientos	27
IV. SOBRE EL SOFTWARE VULCAN	31
4.1. Introducción	31
4.2. EL Software Vulcan y su relación con la Minería	32
4.3. Ingreso de la información básica al Vulcan 3.5.	42
4.4. Software Adicional y Hardware	49

	Página
V. SECUENCIA DEL TRABAJO REALIZADO	50
5.1. Códigos litológicos	50
5.2. Ubicación de archivos CAD	50
5.3. Ubicación y procedimientos de visualización de archivos Vulcan	52
5.4. Procedimiento de elaboración del modelo geológico	57
5.5. Procedimiento para el ingreso de datos de sondajes en el Vulcan	62
5.6 Desarrollo del modelo geológico	66
5.6.1. Del modelo superficial	66
5.6.2. De los intrusivos	66
5.6.3. De las areniscas	66
5.6.4. De las calizas	70
5.6.5 De las fallas	70
VI. APLICACIONES DEL MODELO GEOLOGICO EN EL PROCESO DE EXPLORACION Y EXPLOTACION	80
6.1. En el proceso de exploración	80
6.2. En la elaboración de proyectos mineros	81
6.3. En el control de avances	84
6.4. En el cálculo de reservas por cada ore body de la mina	86
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
7.1. Conclusiones	93
7.2. Recomendaciones	93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	
ANEXOS	

I. GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema y objetivos del trabajo

El área de trabajo del presente estudio, carece de una interpretación y de una base de datos que permita sustentar el potencial económico de sus yacimientos, con la finalidad de solicitar el apoyo financiero necesario para su exploración y explotación. Este trabajo se orienta a crear un modelo que pueda servir como una de estas herramientas geológicas más de interpretación y estudio de yacimientos poli metálicos en el Perú.

Los objetivos principales de este estudio son:

- Hacer una base de datos de las características geológicas del Yacimiento. Comenzando con los datos de las zonas en producción Atacocha y Santa Bárbara.
- Poner en funcionamiento el Software Vulcan 3.5, adaptarlo al funcionamiento dentro del tipo de yacimiento y hacer que su empleo sirva para implementar un sistema optimizado y controlado de la exploración, desarrollo, y producción de la Mina.
- Presentar el estudio y sus resultados como Informe Profesional para optar el título Profesional de Ingeniero Geólogo.

1.2. Metodología

Para realizar este estudio se contó con el apoyo del Departamento de Geología de la Mina, que proporcionó información sobre las posibles estructuras, tipo de mineralización y los diferentes trabajos realizados para la explotación del yacimiento. La metodología seguida fue la siguiente:

Primero; se recolectó esta información, se consultó con las personas directamente responsables del estudio y supervisión geológica de las dos zonas de trabajo, Atacocha y Santa Bárbara; y de esta manera tener una información más cercana posible a lo interpretado con los datos obtenidos hasta la fecha.

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Segundo; se procesó toda esta información con el Software Vulcan, se afinaron las zonas en las cuales no se tenga una interpretación clara. Se presentara un modelo del cual se podrán obtener vistas, secciones y modificaciones de acorde a la necesidad de la exploración y explotación de la mina.

1.3. Trabajos Previos

Los trabajos geológicos en el área de Atacocha se desarrollaron a través del tiempo de la siguiente manera:

Reconocimiento superficial por J.B. Stone, de la Cerro de Pasco Corp. , en 1928.

Estudios de la mina por Otto Welter en 1929 y David Vargas en 1948.

El área fue estudiada brevemente por Díaz (1909).

Los estudios hechos por Johnson, R. (1955)

Estudios Petrograficos realizados por Ulrich Petersen (1977).

Estudios mineralogicos realizados por Klaus Gunesh (1987-1988)

Recopilación de Información y experiencia personal durante una vida profesional por el Ing. H. Delgado (1999).

Todos estos estudios fueron tomados en cuenta durante el proceso de este trabajo.

1.4. Generalidades de la zona de estudio

1.4.1. Ubicación y accesibilidad

La Mina Atacocha se encuentra ubicada en el Departamento de Pasco, en el Perú Central, en línea recta en dirección NE a una distancia de 15 kilómetros de la ciudad de Cerro de Pasco. Atacocha se encuentra cerca del centro del distrito minero, extendido cerca de 10 km. desde Machcán en el Norte hasta Milpo que se encuentra al sur. (Fig. 1.1)

Esta situada exactamente entre las coordenadas (UTM), 8 830 758 – N y 367 400 – E y una altitud media de 4 000 msnm.

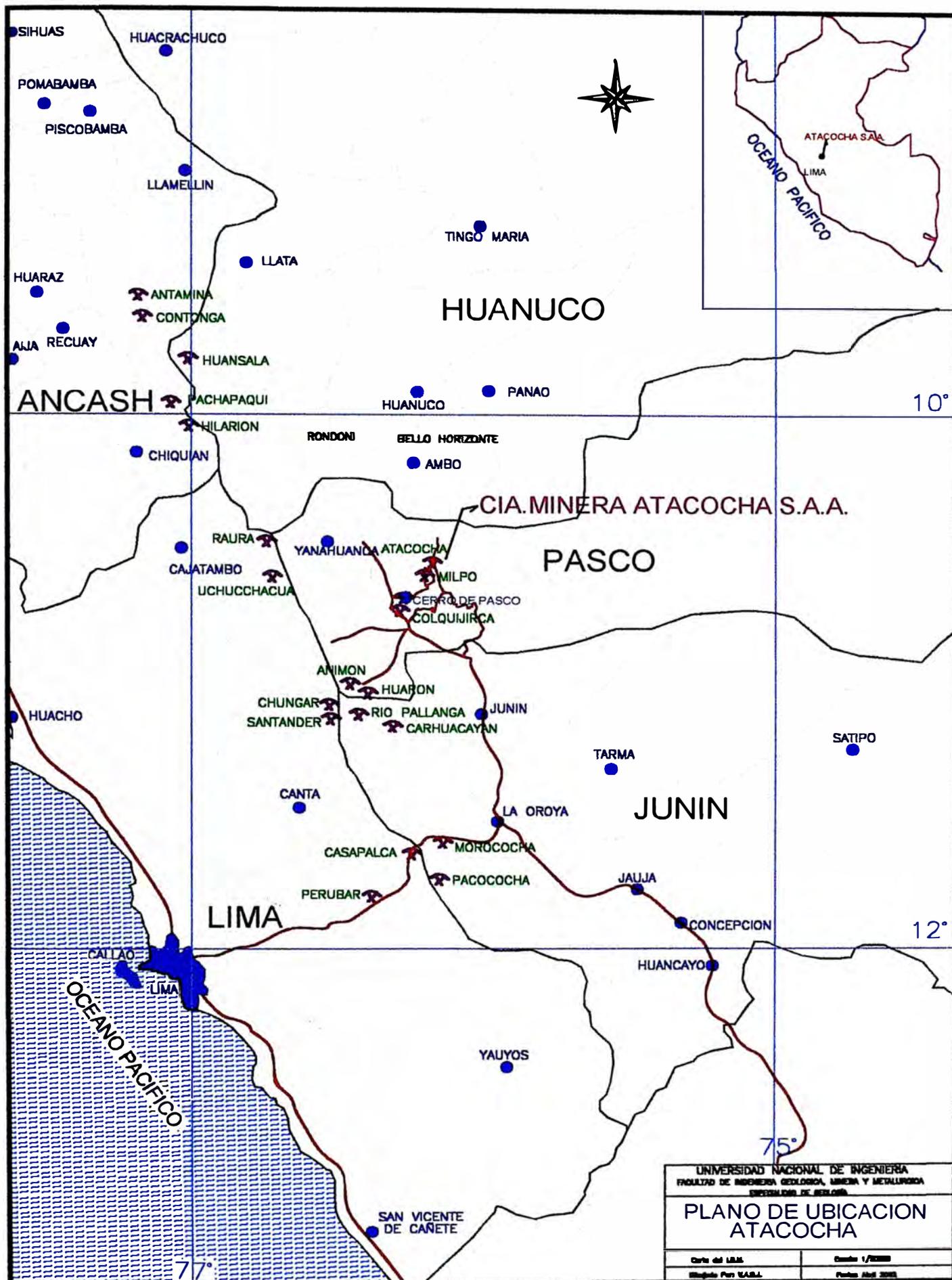


Fig. 1.1. Plano de Ubicación de la Mina Atacocha Villarroel (Octubre, 2000)

Es accesible a través de la Carretera Central en el km. 324 a la altura de la localidad de Chicrín, mediante un desvío de carretera afirmada de 7 km hasta la localidad de Atacocha. Cubriendo un desnivel de 45 metros. Otra vía, comprende un camino de herradura que une las unidades mineras de Milpo y Atacocha, que es transitado a pie aproximadamente durante una hora a paso ligero. También existe una carretera no afirmada que une esta Mina con el distrito de la Quinua y a partir de este desvío es accesible también la capital de la Provincia, Cerro de Pasco.

1.4.2. Relieve y Topografía

El área está al borde y al Este de la meseta más alta del Perú Central, y está caracterizada por una escarpada topografía; la pendiente de bajada de la Mina entre 4000 y 4300 metros es de 30°-35° grados.

La Quebrada Chicrín que se encuentra en la mitad de la Unidad es tributario del río Huallaga, que a la vez es un flujo tributario del Río Amazonas.

El campamento de Atacocha esta ubicada al del nivel 4000; la mina esta siendo trabajada desde el nivel 3300, aproximadamente al nivel de Chicrín, hasta el nivel 4300. Todo esto en la zona de Atacocha. La zona de Santa Bárbara se desarrolla desde el nivel 3600 hasta el nivel 4200.

1.4.3. Clima

El clima se caracteriza por estaciones húmedas y secas. La estación seca se manifiesta en los meses de Mayo a Octubre. El periodo de lluvias más continuas son los meses de Enero a Abril en los cuales cae lluvias en forma incesante. En las noches la temperatura puede llegar a niveles bajo cero, la mayoría de noches se presenta despejadas, salvo en época de lluvia.

1.4.4. Antecedentes Históricos

Se tiene conocimiento de que la Mina fue trabajada desde el año 1910 pero una explotación continua se hizo a partir del año 1936 cuando fue constituida la Compañía Minera Atacocha S.A.

En los 63 años de operación del yacimiento por la Cía. Minera Atacocha S.A.A., fueron descubiertos 26'046,417.00 T.M. de mineral, habiendo requerido hacer 245,036.00 metros de labores horizontales y verticales.

Hasta el año 1966 la ley de Plomo con respecto a la ley de Zinc era mayor en las áreas explotadas, después de este año las nuevas áreas explotadas reportaron una relación inversa.

II. GEOLOGÍA DEL DISTRITO MINERO DE MILPO - ATACOCHA.

2.1. Introducción

La geología de la parte central del Perú está dominada por una serie de fajas tectónicas que se orientan SE-NW, es decir, paralelas a la dirección de los Andes. La región donde se ubican los yacimientos comprende tres de estas fajas que de Oeste a Este son las siguientes: Faja Cenozoica Occidental, Faja Mesozoica Central y Faja Paleozoica Oriental. Los depósitos minerales se encuentran emplazados en la zona central.

2.2. Paragénesis

La Fig. 2.1 es el resumen de la información de la sucesión mineralógica obtenida en el campo y sustentadas por el estudio de secciones pulidas en el laboratorio.

Según Johnson (1955), existen tres secuencias mineralógicas en el Distrito Milpo-Atacocha, que son las siguientes: Cuarzo-pirita, sulfuros(py, cp, gn, ef y otros) y rejalgar-oropigmente.

La primera secuencia cuarzo-pirita, donde la pirita se encuentra como finas diseminaciones en cuarzo, la arsenopirita puede pertenecer a esta secuencia.

Asociado a la primera secuencia se encuentra asociada una intensa silicificación posiblemente originada por el metamorfismo de contacto entre las calizas Pucará y las rocas intrusivas, expuestas con mayor claridad a lo largo de la Falla N°1.

La segunda secuencia está constituida por sulfuros (py, cp, gn, ef y otros), y en menor proporción carbonatos y la fluorita. La pirita esta presente en toda la secuencia. La edad relativa de la calcopirita no es clara. La asociación de pirita-galena- esfalerita es una guía encontrada en esta secuencia. Los minerales de ganga,

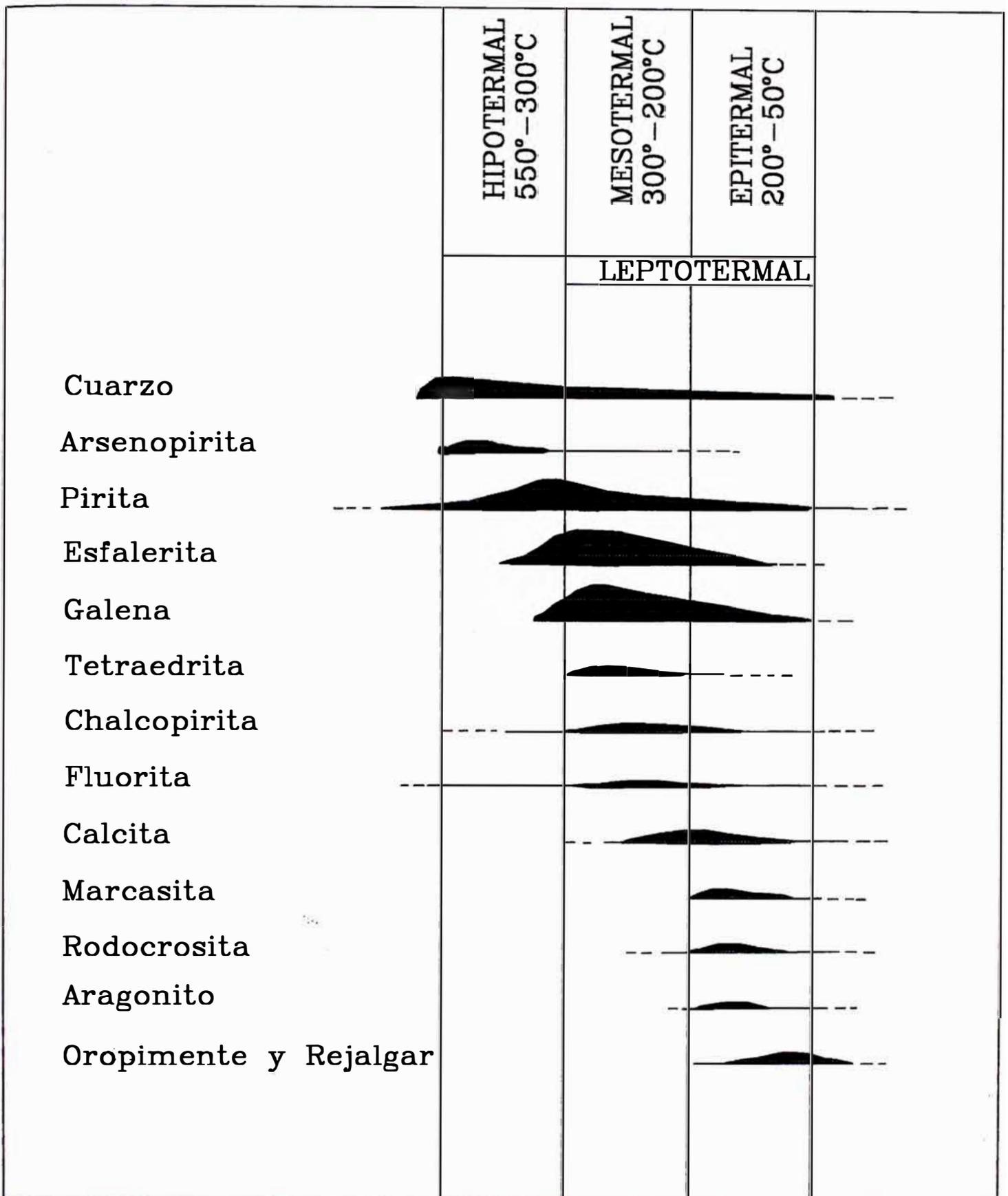


Fig. 2.1. Relación paragenética de los principales
Minerales de Atacocha
(Delgado, 2000)

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

los carbonatos y fluorita son tardíamente depositados rellenando los centros de las vetas y pueden encerrar fragmentos angulares de sulfuros originados desde las paredes adyacentes. La calcita puede tener un largo rango de deposición que otros como la rodocrosita o fluorita.

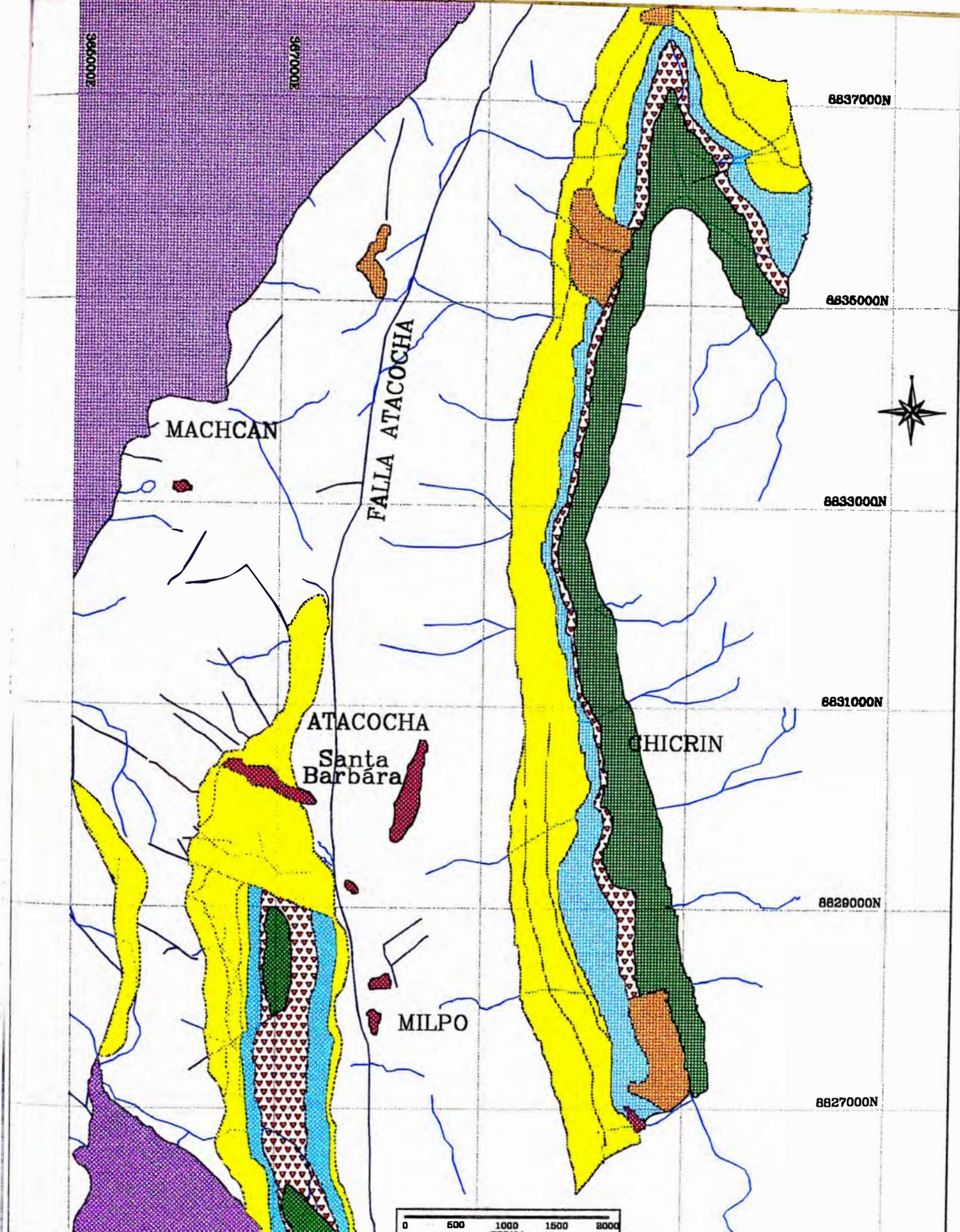
La tercera secuencia está constituida por rejalgar-oropigmente. Las vetas de rejalgar y oropigmente son encontradas en la sulfuración temprana. Su deposición puede también ser uno de los eventos finales de la secuencia segunda.

En Milpo se forma tempranamente la pirita, se identifica en las vetas que no han sufrido silicificación, como una pirita brillante. La Jamesonita y tetraédrica, mas tempranamente que pirita y pueden no ser definitivamente identificadas. La galena y la esfalerita son depositadas contemporáneamente después de la pirita. La fluorita es a veces una guía de la sulfuración. La calcita y rodocrosita rellenan fracturas formadas tardíamente y forman drusas.

Los minerales sulfurados no son bien expuestos en el Norte del Distrito pero siguen la determinación de la secuencia de deposición.

2.3.Estratigrafía

La unidad estratigráfica más antigua de la zona está representada por el Grupo Excélsior(Paleozoico Inferior), que consiste en filitas, cuarcitas y lutitas. Como siguiente unidad estratigráfica tenemos al Grupo Mitu (Paleozoico Superior), que aflora en el área minera de Machcán (Fig2.2), consiste en capas de conglomerados, areniscas, cuarcitas y lutitas rojas. Superyaciendo al Mitu encontramos a las calizas del Grupo Pucará (triásico Superior- Jurasico Inferior). En discordancia paralela sobre el grupo Pucará yace el Grupo Goyllarisquizga de edad Cretácico Inferior, formado por brechas de chert, areniscas cuarzosas y lentes de lutitas. Sobre esta secuencia se presentan afloramientos de calizas del Grupo Machay (Cretácico Medio) con intercalaciones de flujos basálticos. Finalmente, el material no consolidado de origen morrénico y depósitos fluvio-glaciares del Cuaternario cubren áreas de extensión considerable (Fig. 2.3).



LEYENDA			
Cuaternario Dep. Aluvial	Cretaceo Inf., Callzas	Cretacio Inf. Formación Goyllarisquisga	
Terciario, Intrusivos	Cretaceo Inferior, Basalto	Triásico Sup.-Jurásico Inferior	
Cretaceo Sup., Formación Casapalca	Cretaceo Inf., Callzas Machay	Permiáno, Grupo Mitu	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA DEPARTAMENTO DE GEOLÓGIA	
PLANO DE GEOLOGIA REGIONAL DISTRITO MINERO ATACOCHA	
Cto. Milpo Atacocha S.A.A.	Escala: 1/50000
Elaborado Por: VAGUA	Fecha: Abril 2003

Fig. 2.2. Plano Regional del Distrito Minero Milpo-Atacocha (Delgado, 2000)

EDAD	SIMBOLO	UNIDADES	DESCRIPCION	POTENCIA MAXIMA
CUATERNARIO	Qal	Material inconsolidado	Material de talús, aluvial y morrénico.	50 m.
TERCIARIO	Tc	Conglomerados	Guijarros de pedernal y caliza, Intercalaciones de arenisca y lutitas.	450 m.
CRETACICO	Kl	Calizas Superficiales	Caliza clástica, marga y lutita Pocos fósiles.	150 - 200 m.
	Kb	Flujos basálticos superiores	Flujos basálticos con lutita y arenisca. Conglomerados en la base.	?
	Kc	Calizas Chicrín ó Machay	Caliza marrón en capas delgadas, sin fósiles.	80 - 120 m.
	Kg	Grupo Goyllarisquizga	Arenisca cuarcífera con estratificación cruzada. Brecha de chert y lutitas en la base. Flujos basálticos en el techo.	100 - 150 m.
JURASICO INFERIOR TRIASICO SUPERIOR	JTrP	Grupo Pucará	Calizas; interestratificaciones de margas y lutitas al techo. Nódulos silíceos y fósiles.	1,000 - 2,100 m.
PERMICO	Pm	Grupo Mitu	Areniscas y lutitas rojas, conglomerados. Facies volcánicas extrusivas, no expuestas.	600 m.
DEVONICO SILURICO	Dc	Grupo Excélsior	Filitas, cuarcitas y lutitas gris a verde olivo. Venas de cuarzo lechoso.	?

Fig.2.3. Columna estratigráfica del distrito minero Milpo-Atacocha (Delgado, 2000)

2.4. Rasgos Tectónicos

Una visión de conjunto de los diferentes grupos estructurales que se presentan en las áreas mineras estudiadas, nos muestra que los sedimentos fueron plegados principalmente por esfuerzos de compresión orientados en dirección Este-Oeste que culminó con un fracturamiento paralelo a los ejes de dichos pliegues. Las estructuras mejor expuestas son: un anticlinal en las calizas Pucará que se observa a lo largo de varios kilómetros de Norte a Sur, con pliegues subsidiarios en su flanco oriental y un sinclinal asimétrico en el grupo Goyllarisquizga. Asociados a los pliegues se presentan tres sistemas de fracturamiento: longitudinal, con rumbo Norte-Sur; diagonal que se orienta al Noroeste y transversal asociado a la fase tectónica que originó el plegamiento subsidiario (Fig. 2.4).

Un Control principal es la Falla Milpo-Atacocha que presenta un rumbo aproximado Norte – Sur, controla rocas de los grupos Pucará y Goyllarisquizga. Megard (1968) considera que esta falla pertenece a un sistema de fracturamiento que estuvo activo desde el Triásico hasta el Cretáceo Superior. Durante la tectogénesis andina, estas fallas se activaron nuevamente debido al levantamiento andino, ocasionando grandes movimientos verticales que pusieron en contacto a los Grupos Pucará y Gollarisquizga en el distrito de Atacocha-Milpo. A esta estructura se relacionan los yacimientos polimetálicos de Milpo y Atacocha, se considera un probable movimiento sinestral.

Las intrusiones de Atacocha se encuentran dentro del área de afloramiento del cinturón magmático cenozoico situado al este del Batolito de la Costa (Pitcher & Cobbing, 1985). En dicho cinturón ocurren el Batolito de la Cordillera Blanca y los numerosos stocks hipabisales asociados a un sistema de fallas profundas que sigue la dirección andina (Fig. 2.5.).

Toda la secuencia sedimentaria está intruido por stocks de rocas hipabisales de composición principalmente cuarzodiorita.

MAPA ESTRUCTURAL DE LOS CUADRANGULOS DE AMBO Y CERRO DE PASCO

SIMBOLOGIA:

-  FALLA CONOCIDA
-  FALLA INFERIDA
-  FALLA NORMAL U= Levantado D= Hundido
-  FALLA INVERSA
-  FALLA DE RUMBO (SINEXTRAL)
-  EJE DE PLIEGUE SINCLINAL
-  EJE DE PLIEGUE ANTICLINAL
-  EJE DE PLIEGUE SINCLINAL (Inferido)
-  RIO
-  LAGUNA
-  POBLADO

0 10 20 30km.

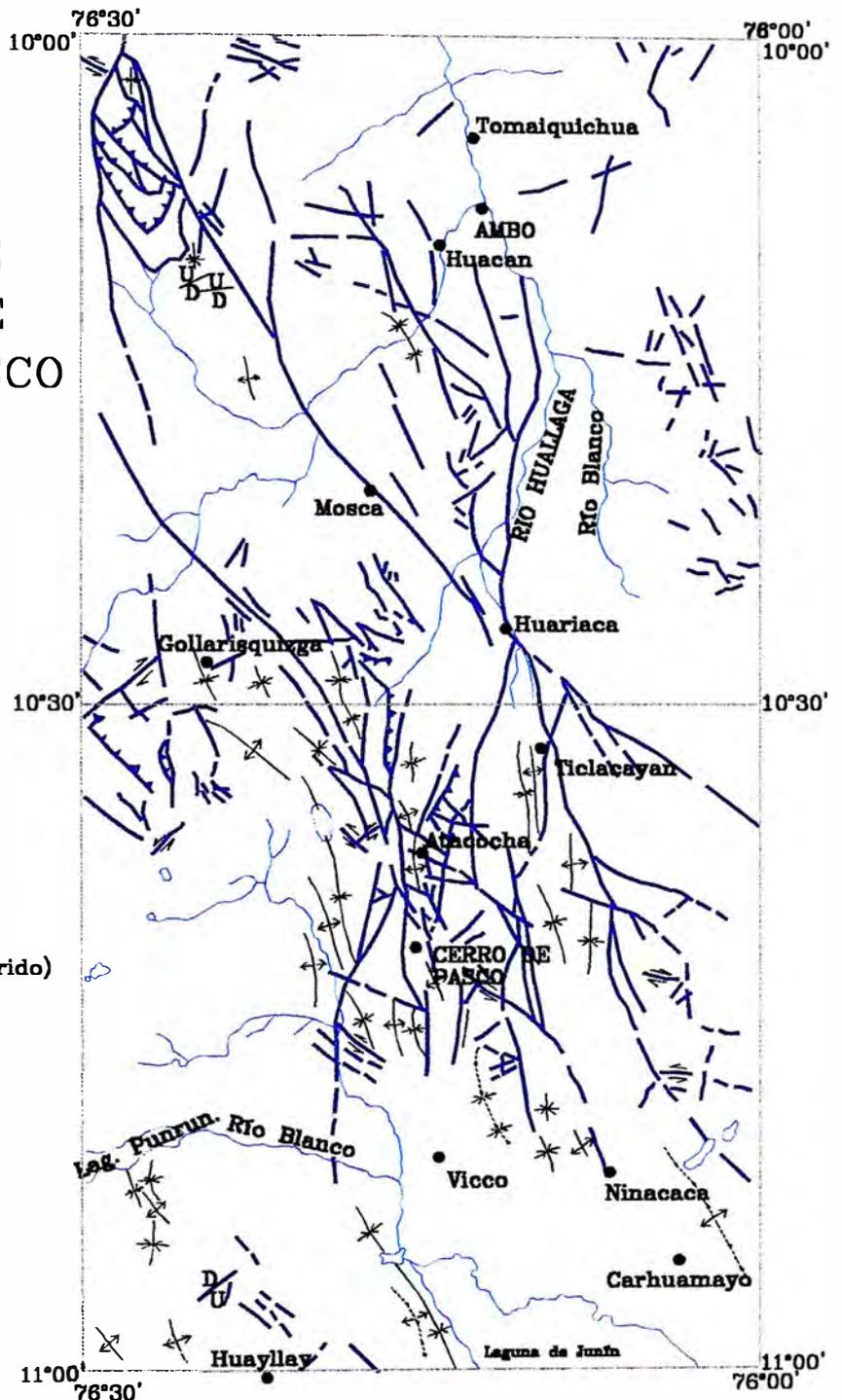


Fig. 2.4. Mapa tectónico regional de los cuadrángulos de Cerro de Pasco y Ambo (Cobbing & Quispesivana, 1996).

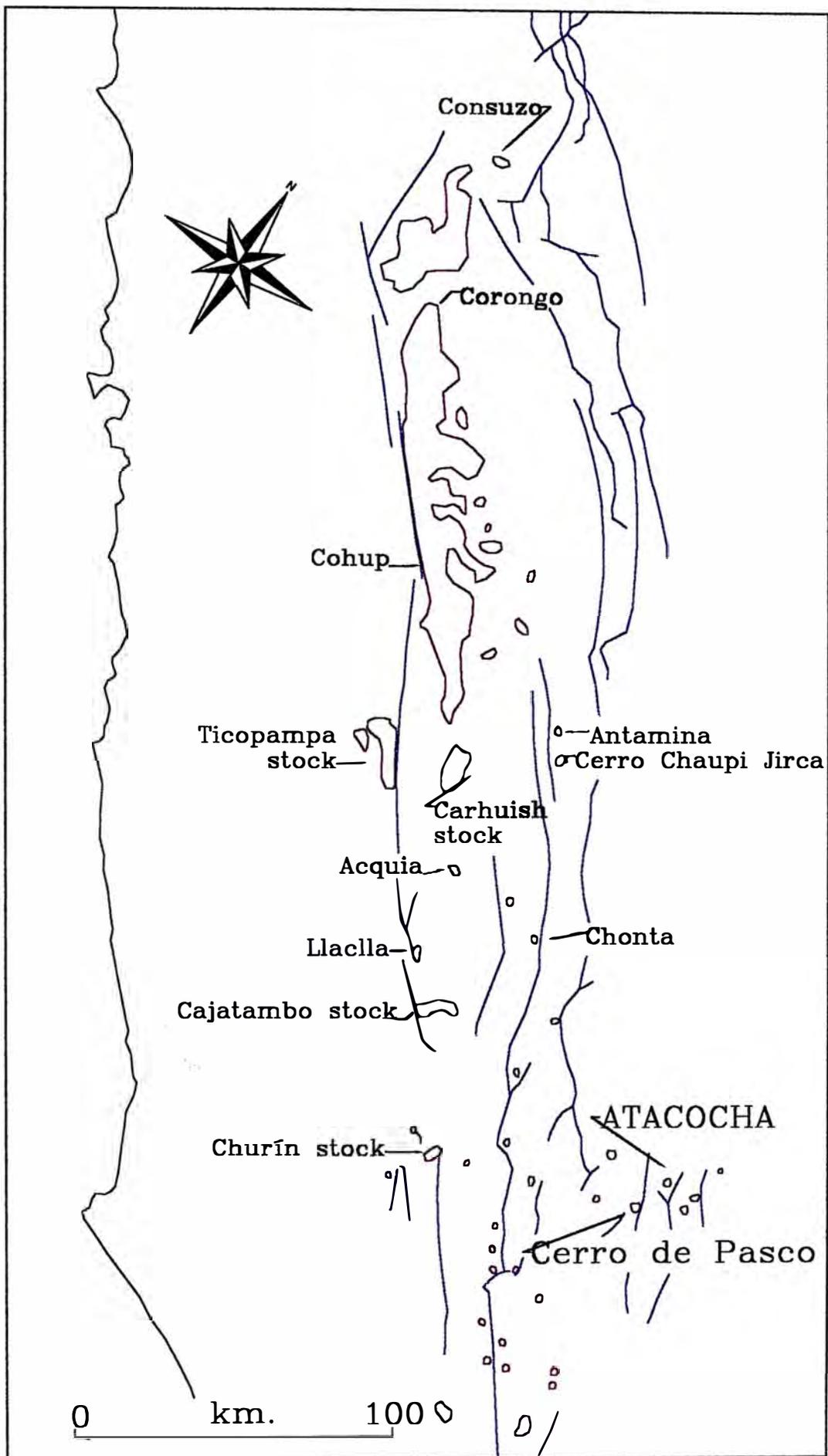


Fig.2.5. El Batolito de la Cordillera Blanca y los stocks hipabisales asociados y relacionados con las fallas mayores (según Cobbing et al.,1981)

2.5. Depósitos Minerales

La presencia de depósitos de mineral en el distrito de Atacocha es conocido desde comienzos de la colonia. Estos depósitos son principalmente polimetalicos. Por su cercanía a este distrito podemos encontrar yacimientos como: Atacocha, Milpo, San Miguel, El Lucero y Evita I. Estos yacimientos se caracterizan principalmente por su mineralización asociada a stocks o diques.

Los yacimientos Atacocha, Milpo, San Miguel, El Lucero y Evita I se ubican en una zona estructural compleja, que se manifiesta por el cruce de fallas regionales a manera de mosaico (Fig. 2.6).

Los yacimientos Milpo y Atacocha son Metasomáticos de Contacto y considerados de mediana escala, los yacimientos San Miguel, el Lucero y Evita I a diferencia son Filoneanos que se desarrolla a pequeña escala.

Así mismo la mayoría de mineral económico de Atacocha se encuentra en la zona de calizas alteradas y las areniscas como los yacimientos el Lucero y Evita I. De la misma forma en el yacimiento Milpo el mineral económico se encuentra en calizas del mismo modo que el yacimiento San Miguel que además tiene una parte de mineral en Intrusivos.

Otra característica que relaciona todos estos yacimientos es la presencia de Pb en porcentajes representativos, menos en el yacimiento de El Lucero. El Cu y la Ag también tiene porcentajes importantes en todos los yacimientos exceptuando el yacimiento Evita I. EL oro tiene un porcentaje representativo en el yacimiento de Atacocha (Fig. 2.7).

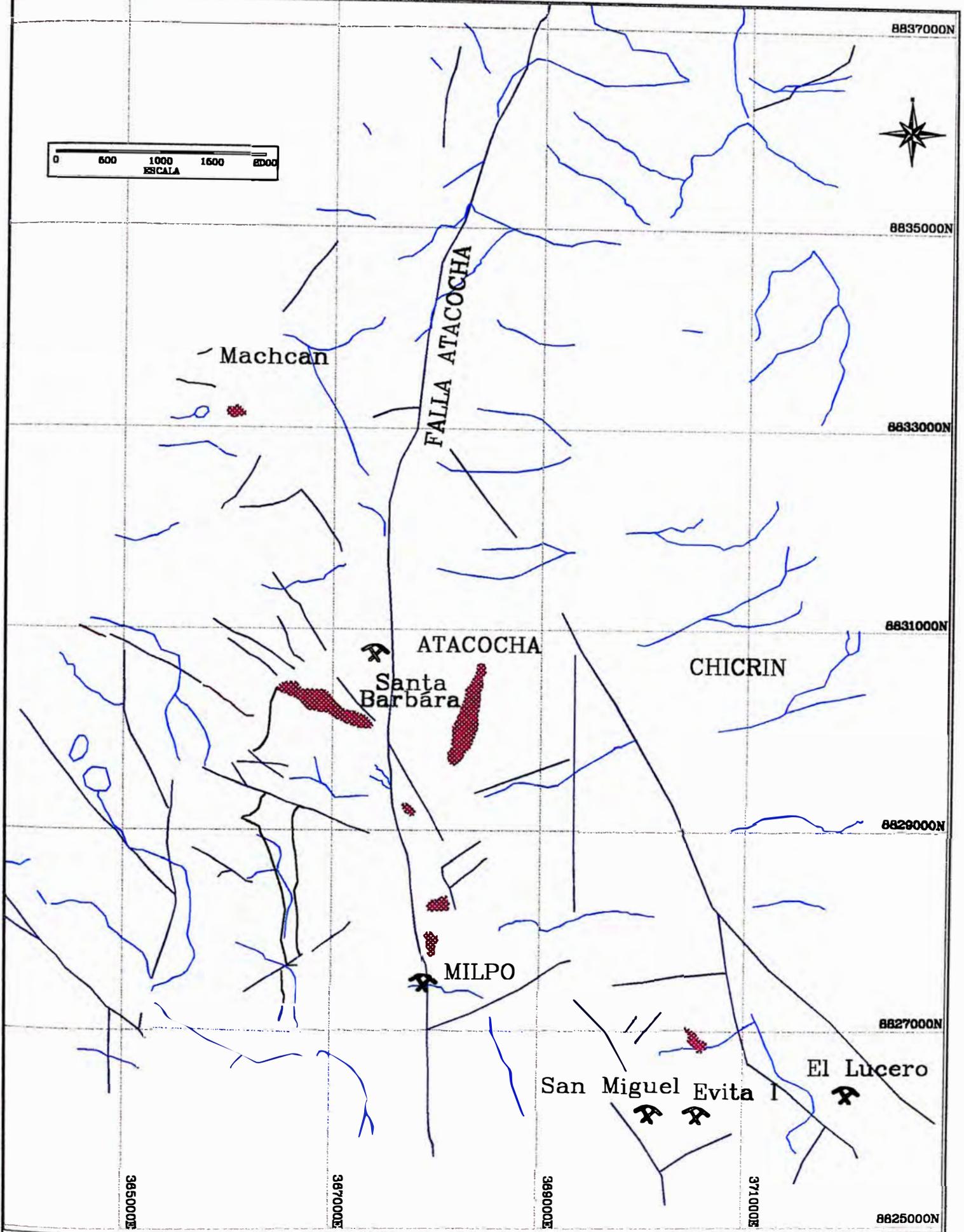


Fig. 2.6. Plano de yacimientos del distrito minero Milpo-Atacocha..

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA	
ESPECIALIDAD DE GEOLOGIA	
PLANO DE YACIMIENTOS DEL	
DISTRITO MINERO ATACOCHA	
Dr. Mario Alvarado S.A.A.	Escala: 1/50000
Diseño Por: KASA	Folio: No. 2022

Fig.2.7. MINAS Y PROSPECTOS DEL DISTRITO MINERO MILPO- ATACOCHA(Cobbing & Quispesivana, 1996)

NOMBRE	COORDENADAS U.T.M.	ROCA CAJA	TIPO DE YACIM.	MINERALES DE		ALTERACION	ELEMENTOS	DIMENSION DE MINADO
				MENA	GANGA			
Atacocha (Mina)	8'830,758-N 367,400- E	Caliza	Metasomát.	Galena Arg. Esfalerita	Py, qz, Calcita	Silicificación Piritización	Pb, Zn, Ag Au	Mediano
San Miguel (Mina)	8'826,153-N 370,090-E	Caliza Intrusivo	Filoneano Estratiforme	Esfalerita, gl. Tetraedrita	Fluorita Pirita	Silicificación Caolinización	Cu, Pb, Zn, Ag	Pequeño
Milpo (Mina)	8'827,462-N 367,888-E	Caliza	Metasomát. (Skarn)	Galena, esfl. Chalcopita	Py., Calcita Fluorita	Silicificación Argilitización	Ag, Pb Zn	Mediano
El Lucero (Mina)	8'826,349-N 372,013-E	Cuarcita	Filoneano	Pirita Auríf. Calcopirita	Cuarzo	Silicificación	Cu, Ag, Au	Pequeño
Evita I (Mina)	8'826,139-N 370,555-E	Caliza Lutita Arenisca	Filoneano	Galena Esfalerita Tetrahedrita	Pirita Calcita Rodocrosita	?	Pb, Zn	Pequeño

III. GEOLOGÍA LOCAL

3.1. Introducción

Los estudios geológicos de este yacimiento se refieren principalmente a dos unidades en explotación de la Cía. Minera Atacocha. Estas unidades son: Atacocha y Santa Bárbara (Fig. 3.1.). Además en proceso de exploración, se tiene a las zonas de San Gerardo y Machcán.

3.2. Litología

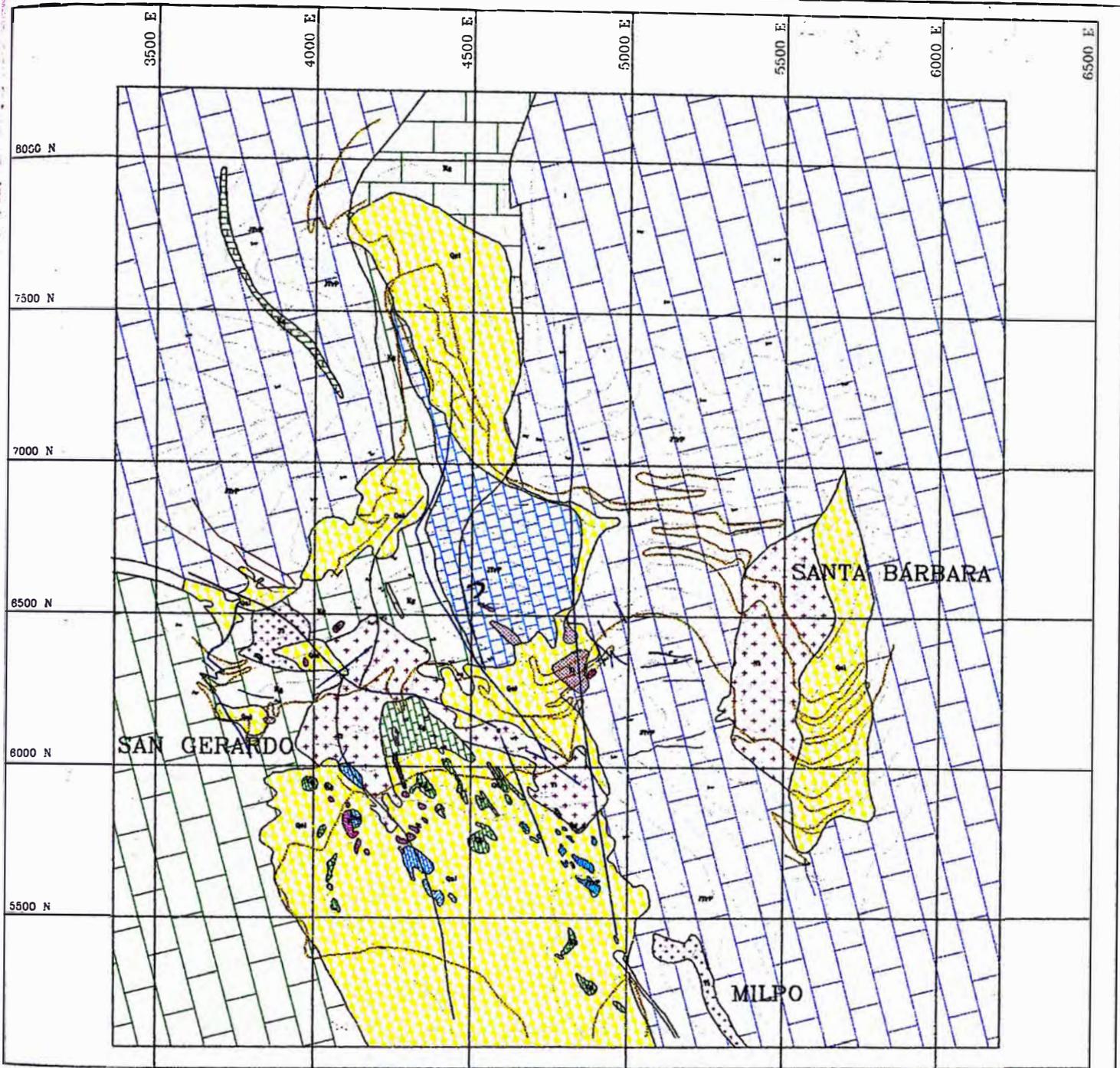
La zona se encuentra cubierta por una extensa área de depósitos cuaternarios aluvial-coluvial, que sobreyace sobre el paquete de calizas Machay o Chicrín del Cretáceo Medio. A la vez este paquete sobreyace a una secuencia compacta de areniscas – cuarcitas y chert (Gpo. Goyllarisquizga), y estas sobreyacen al Grupo Pucará.

En la zona de estudio el Grupo Pucará por unas delgadas capas a cuerpos de color gris a color gris oscuro con intercalaciones de lutitas oscuras, material silicio, en nódulos y vetas, que son abundantes en mas de dos horizontes.

En la parte baja del yacimiento se distinguen cuatro secuencias calcáreas, distinguibles por el mayor y menor contenido de chert y areniscas.

La posición de una brecha de chert es una característica local del contacto del Grupo Pucará y el Grupo Goyllarisquizga al Oeste de Atacocha. La roca consiste en un chert angular oscuro fragmentado en una gran masa de sílice. Un chert rojizo brechado intercalado con caliza clástica es encontrada en el área Este de la mina Atacocha en el contacto de la falla con las areniscas de la Grupo Goyllarisquizga.

Son pocos los lugares altamente fosilíferos en cuerpos de calizas, pero existen fósiles raros, Imlay & Lewis (1955) identificaron en la parte baja de la del Grupo Pucará, los siguientes fósiles: *Spondylospira acrotamboensis* Steinmann, *Pseudomonotis ochotica* Keyserling, *Nuculana oxyrhynchia*



LEYENDA

CUATERNARIO		Aluvial, Coluvial
TERCIARIO		Intrusivo-Volcánico
CRETACICO F. MACHAY		Calizas
CRETACICO F. GOYLLARISQUIZGA		Areniscas-cuarcitas-chert
TRIASICO-JURASICO F. FUCARA		Calizas-lutitas

SIMBOLOGÍA

Brecha		Carretera	
Catec		Rios y Quebradas	
Eje de Anticlinal		Contacto definido	
Eje de Sinclinal		Contacto inferido	
Estratos verticales		Cancha de desmonte	
Rumbo y Buz. de Estratos		Barreno de Triangulación	
Bocamina			

1110

Fig. 3.1. Plano geológico local de Atacocha (Dpto. Geología, 2001)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA
ESPECIALIDAD DE GEOLOGIA

PLANO DE GEOLOGIA LOCAL DISTRITO MINERO ATACOCCHA

Cfa. Minera Atacocha S.A.A

Escala: 1/20000

Dibujado Por: V.A.Q.J.

Fecha: Abril 2002

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

(Jaworski), *Nucula cf. Nucula carantana* Bittner, *Myophoria multicosata* Korner, *Astarte inca* Jaworski, *Promathildia bittneri* Kittl, *Promathildia cf. P. subornata* Mstr., Crinoid columnals, Echinid spines.

Imlay (1955) relaciona estos fósiles en el Triásico Superior.

El Ammonites encontrado cerca de Chicrín en la parte alta del cierre de la sección del contacto con el Grupo Goyllarisquizga fue identificado por Dra. Rosalvinda Rivera del Instituto Geológico como *Arietites*, de un Temprano Jurásico. El Crinoideo Pentagonal encontrado en la parte baja de la sección cerca de Chicrín, es también probablemente de un Jurásico inferior. Las calizas con tallos de crinoideo fueron encontradas e identificados con cuerpos de caliza triásica.

Las calizas del Grupo Pucará descansan en discordancia angular sobre las rocas del Grupo Mitu.

3.3.Rocas Sub-volcánicas

En el distrito minero de Atacocha, afloran rocas sub-volcánicas a manera de pequeños stocks denominados Santa Bárbara, San Gerardo, Milpo y algunos diques que cortan la secuencia sedimentaria (Fig. 3.1.).

La actividad magmática tuvo lugar en varios pulsos utilizando los mismos canales para lograr su emplazamiento final en el nivel subvolcánico. En este caso, la falla Atacocha y sus fallas adyacentes han servido como conductos de acceso.

Las rocas subvolcánicas están constituidos por: monzogabros, dioritas, monzodioritas y granodioritas. Estas rocas se caracterizan por sus texturas porfiríticas bien marcadas. Los fenocristales consisten de plagioclasas + hornblendas + biotita + cuarzo beta. Los piroxenos (diópsido) ocurren en la matriz de las monzodioritas y se forman a costa de la hornblenda y biotita en la zona de contacto difuso entre monzodiorita y granodiorita (Gunnesh & Gunnesh, 1988).

3.4. Control Estructural de Ore bodies

Los Ore Bodies pueden ser clasificados como cuerpos de reemplazamiento y vetas. Ambos tipos son encontrados en el yacimiento Atacocha.

La mayoría de Ore Bodies son cuerpos de reemplazamiento de generación mineral en las calizas del Grupo Pucará . Muchos de estos cuerpos son encontrados en una secuencia de caliza de 50 a 60 metros de espesor cerca de la Falla N° 1; también cerca del contacto de las brechas de chert al oeste del sinclinal de la falla Atacocha.

Los ore bodies fueron formados por remplazamientos incompletos de calizas por sulfuros y minerales arcillosos.

Estos son variables en tamaño, uno de ellos ubicado cerca a la superficie, tiene una longitud inclinada de cerca 250 metros.

La vetas en Atacocha se encuentran principalmente: una en caliza y otra en cuarzo – arenisca. Perforaciones diamantinas indican posiblemente la existencia de una veta minable en el stock porfirítico de Santa Bárbara. Muchas de las vetas tienen una dirección N50°W, con fuerte buzamiento. Las vetas en caliza son concentradas cerca del eje de un pequeño pliegue cruzado cerca de la falla Atacocha y es solamente encontrada en la parte alta de la explotación de la Mina; ellas pueden ser rellenadas en fracturas de tensión abiertas durante la formación del pliegue cruzado. Las vetas en arenisca cuarzosa y brecha de chert son encontrados en todos los niveles y son el principal recurso de mineral en los niveles profundos de explotación, tanto en la zona de Atacocha como en Santa Bárbara.

El ancho de las vetas varia desde 1 m hasta 4m. La más persistente esta siendo minada por una longitud de 150 metros y sobre una extensión vertical de 300 metros. El ratio plomo / zinc en vetas en areniscas o brechas de chert es de 5:1; en contraste del ratio de 1:1 en vetas en caliza.

3.5. Yacimientos

En las zonas mineralizadas del área de estudio, existen diferentes tipos de alteración hidrotermal; pudiendo constituirse en algunos casos como guías en la exploración de yacimientos metálicos.

Atacocha y Santa Bárbara son yacimientos polimetálicos de origen hidrotermal y epigenético con mineralización primaria constituida principalmente por sulfuros de plomo, zinc, plata y cobre, y sulfosales de plata con pequeñas cantidades de oro y bismuto.

La mineralización de importancia se ubica en las calizas del Grupo Pucará (Triásico – Jurásico), areniscas de la Gpo. Goyllarisquizga (Cretácico inferior), y en el intrusivo dacítico de Atacocha y Santa Bárbara (Terciario).

En el yacimiento se puede considerar dos unidades con marcadas diferencias tanto en la génesis como en la mineralización: Unidad Atacocha y Unidad Santa Bárbara, la distancia entre ambas es aproximadamente de un kilómetro.

La Unidad Atacocha comprende estructuras formadas por relleno y reemplazamiento metasomático en zonas de falla y contactos litológicos. La mineralización de mena está formada por: galena argentífera, esfalerita con algo de calcopirita y oro en solución sólida dentro de los sulfuros. Los minerales de ganga están constituidas por pirita, cuarzo, calcita, rodocrosita y flourita. En la unidad Santa Bárbara se tienen cuerpos formados por metasomatismo de contacto intruidos por el intrusivo de Ayarragán (Santa Bárbara) de composición dacítica, en la aureola mármol – skarn. Los cuerpos contienen esfalerita con algo de calcopirita y muy poca cantidad de galena argentífera. Los minerales de la ganga lo forman calcosilicatos de la zona de skarn, abundante pirita, calcita y en menor proporción oropigmente, rejalgar, arsenopirita y marcasita. (Fig.3.2 & Fig.3.3).

Estructuras importantes que se explotan en esta unidad son los ore bodies 9, 13, 13 “B”, 13 “C”, 15, 17, La Pradera, Santa Bárbara, Veta “D”, Veta “Anita”, Prolongación “Cristina”, Don Felipe, Pradera, R.V. “P”, RAMAL 1 V.”R”, Sta. Bárbara N, Sta. Bárbara S, Veta “L”, Veta “P”.(Fig.3.4).

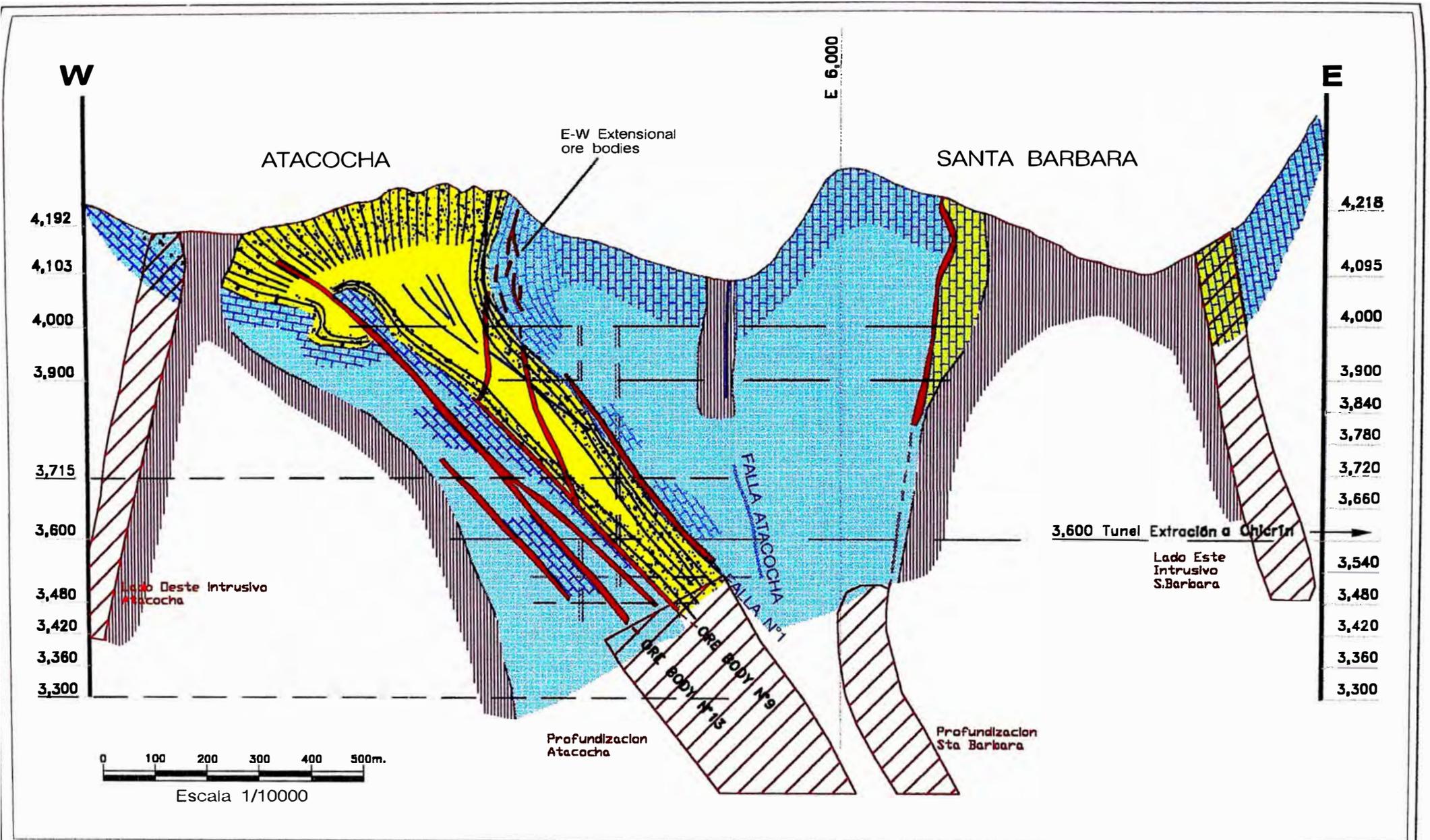


Fig.3.2. Sección geológica de la zona Atacocha

LEYENDA	
	ZONAS PROSPECTIVAS
	TERCIARIO INTRUSIVO-DACITICO
	CRETACIO INFERIOR FORMACION GUTLARIZQUIZA
	JURASICO INF. GRUPO PUCARA
	ZONA MINERALIZADA
	FALLA

Area de Geologia	COMPAÑIA MINERA ATACOCHA S.A.A.		
Revisado: Ing° Z. Jalsovec	Descripción Sección Geológica Zona Atacocha		
Aprobado: Ing° E. Salas			
Geólogo: Ing° Z. Jalsovec			
Topógrafo: Dpto. Topografía			
Dibujo CAD: Dpto. de Geología	Fecha:	Escala:	N° Plano:
File: Sección	Mayo 2001	1:10000	

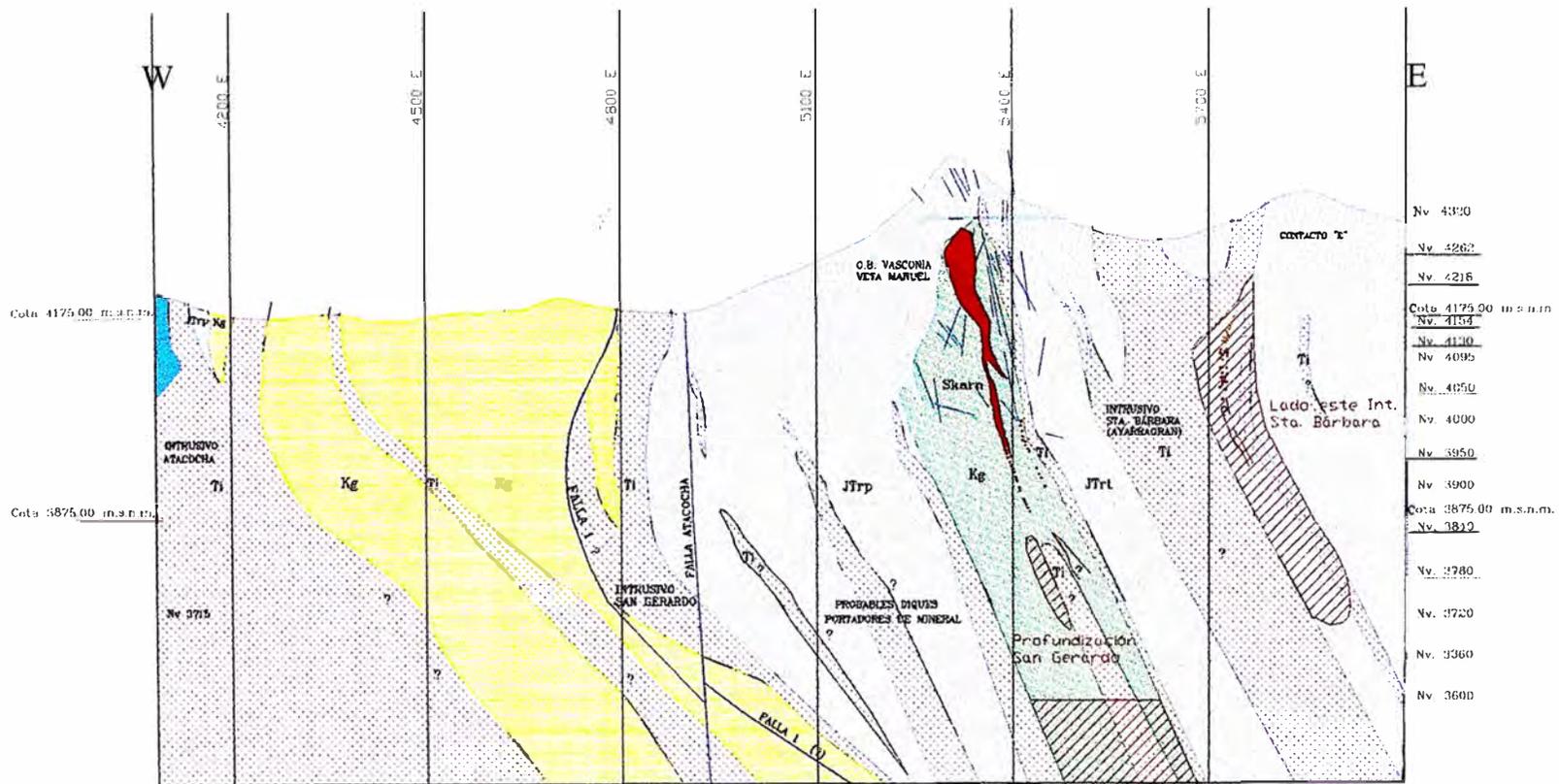


Fig.3.3. Sección geológica de la zona Santa Bárbara

IV. SOBRE EL SOFTWARE VULCAN

4.1. Introducción

Maptek, es la empresa desarrolladora y distribuidora del Software del Vulcan versión 3.5, esta empresa tiene más de 25 años de experiencia en el mercado mundial de software geológico-minero de aplicación. La empresa se dedica a investigar y desarrollar productos de software que directa y sostenidamente aumenten el valor actualizado neto de la compañía que los utilice. Su principal producto VULCAN, es ampliamente reconocido como uno de los principales paquetes de programas 3D que actualmente existe. Sus continuos desarrollos y constantes mejoras de sus usuarios y los nuevos desafíos tecnológicos y de optimización, planteados por industria minera del Siglo XXI.

El software VULCAN se caracteriza por lo siguiente:

Es aplicable a todos los aspectos geológicos y de planificación minera.

Posee todas las herramientas necesarias para el diseño minero de tajo abierto y de minería subterránea.

Los datos ingresados se procesan directamente en 3D y sobre una sola interfase de diseño y visualización de tiempo real.

Permite el modelamiento de yacimientos metálicos y no-metálicos.

Provee de herramientas para una completa actualización y diseño topográfico y de geomensura.

Además, VULCAN es ampliamente utilizado en:

Manejo y Control Medio Ambiental.

Planificación Urbana.

Proyectos de Ingeniería Civil.

Diseño de Carreteras y Caminos.

Industria Petrolera y de Gas. Área de defensa.

3D GIS.

La figura 4.1 muestra esquemáticamente las diversas aplicaciones del Software Vulcan.

4.2.El Software Vulcan y su relación con la Minería

Desde la Exploración hasta la Reconciliación

El tratamiento de la información desde el inicio debe ser con mucho cuidado. Todos los datos y antecedentes son obtenidos y modelados desde distintas fuentes, tales como:

Sondajes de exploración.

Ensayos (muestras de suelo o testigos de perforación).

Instrumentos topográficos y de geomensura (GPS, Sistemas Láser Isite).

Prospección geofísica y geoquímica.

Modelos digitalizados de terreno.

Mapas de rastreo satelital.

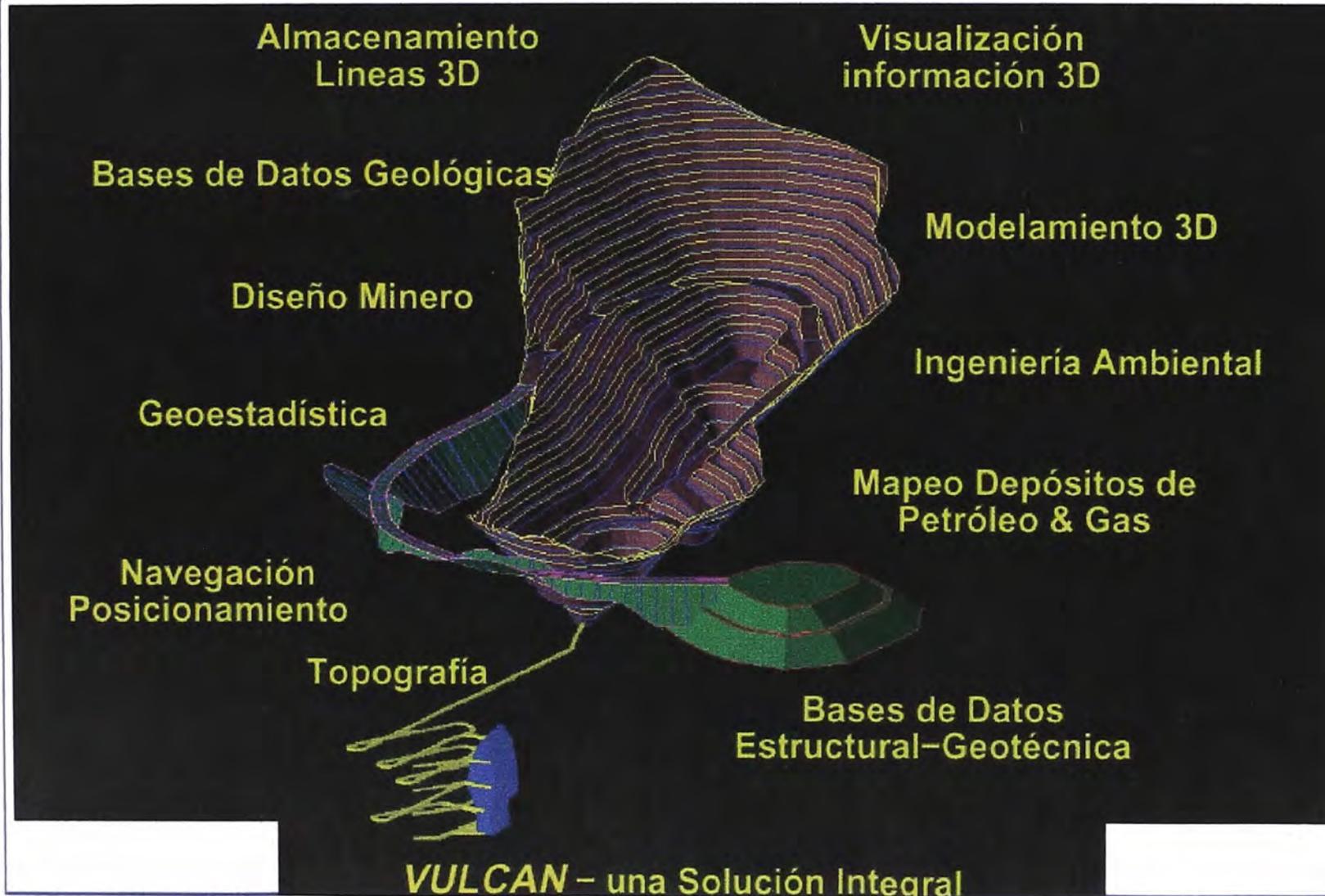
Fotogrametría.

Fotografías aéreas y terrestres.

El software VULCAN ofrece poderosas herramientas para construir triangulaciones y modelos de bloques. Ambas alternativas son desarrolladas con las mejores técnicas disponibles en gráficas 3D, transformándose de esta manera en una solución de gran utilidad en la planificación minera. Otras aplicaciones son: Visualización gráfica de los pozos de perforación, mapeos, análisis de ensayos, control de leyes y planes de producción. Poder visualizar integralmente la topografía, la geología, la geofísica, la geoquímica y la información que se obtiene desde las imágenes, sin duda, le permiten al usuario del VULCAN definir mas claramente anomalías u otros objetivos de exploración. (Fig.4.1, 4.1A, 4.1 B, 4.1C, 4.1 D, 4.1 E, 4.1F y 4.1G).

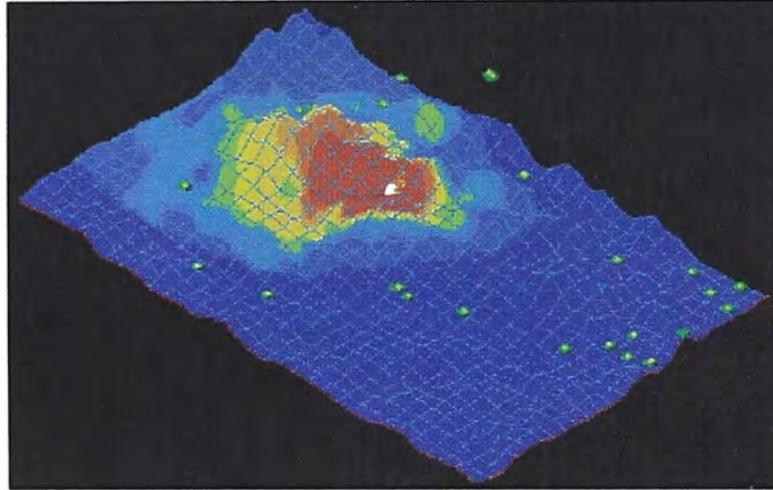
El modelamiento y la visualización de un cuerpo mineralizado permiten evaluar la viabilidad económica del eventual recurso. VULCAN dispone de las herramientas efectivas para la creación de modelos geológicos, para diseños de minas a tajo abierto y subterráneo, y para el control, planificación y optimización de la producción. El diseño de una mina se basa en modelos geológicos y mineros, los cuales pueden ser actualizados fácilmente al cargar los nuevos datos de topografía 3 D ó de la perforación en forma rápida y dinámica (Fig.4.2.).

VULCAN Areas Aplicación de Software



**Fig.4.1 Principales aplicaciones del Software Vulcan en la Minería.
En las figuras 4.1A, 4.1B, 4.1C, 4.1D, 4.1E se detalla algunas de estas aplicaciones.**

Simulando los efectos del ruido



Niveles de ruido para el viento a 0 grados

La distribución del sonido a lo largo del terreno puede ser modelada usando paquetes de simulaciones tales como ENM for Windows de RTA Technology Pty. Ltd.

Las fuentes de sonido, intensidades de ruido y la topografía pueden ser colectadas dentro de VULCAN y transferidas a dicho paquete.

El resultado de la simulación puede ser cargado dentro de ENVISAGE para visualización y análisis.

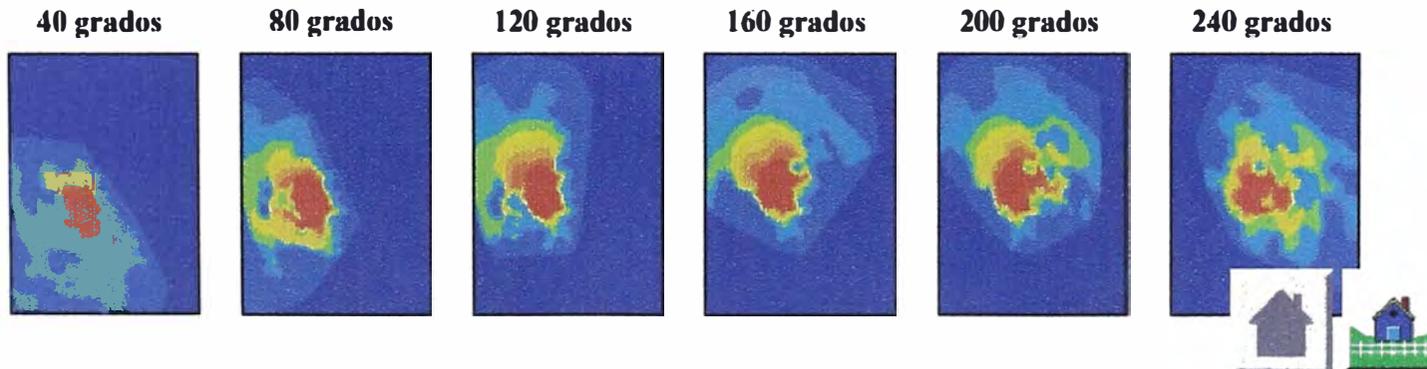


Fig 4.1.A Aplicación en la seguridad minera (distribución del ruido)

Geofísica en Vulcan

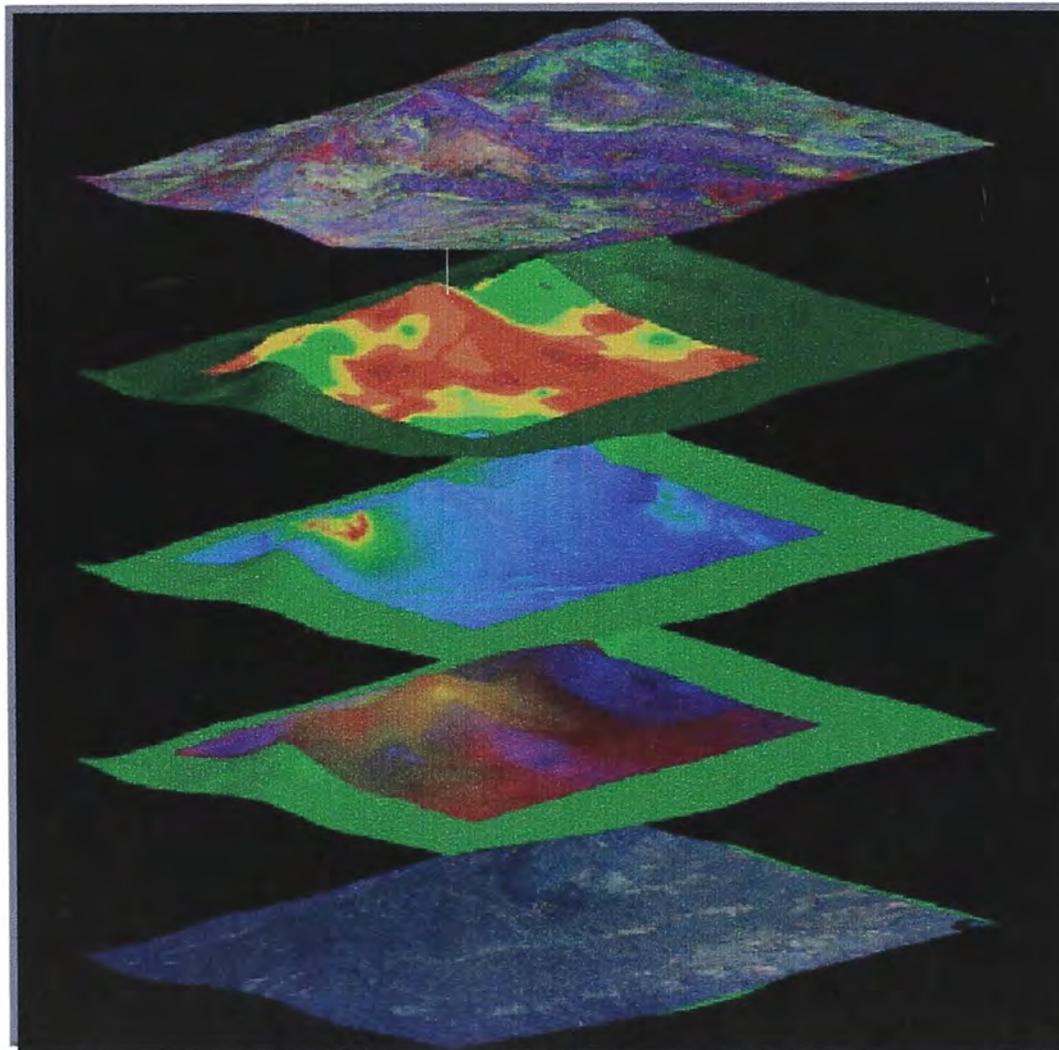


Fig. 4.1.B Aplicación en Geofísica o Geoquímica: delimitación de áreas de alteración.

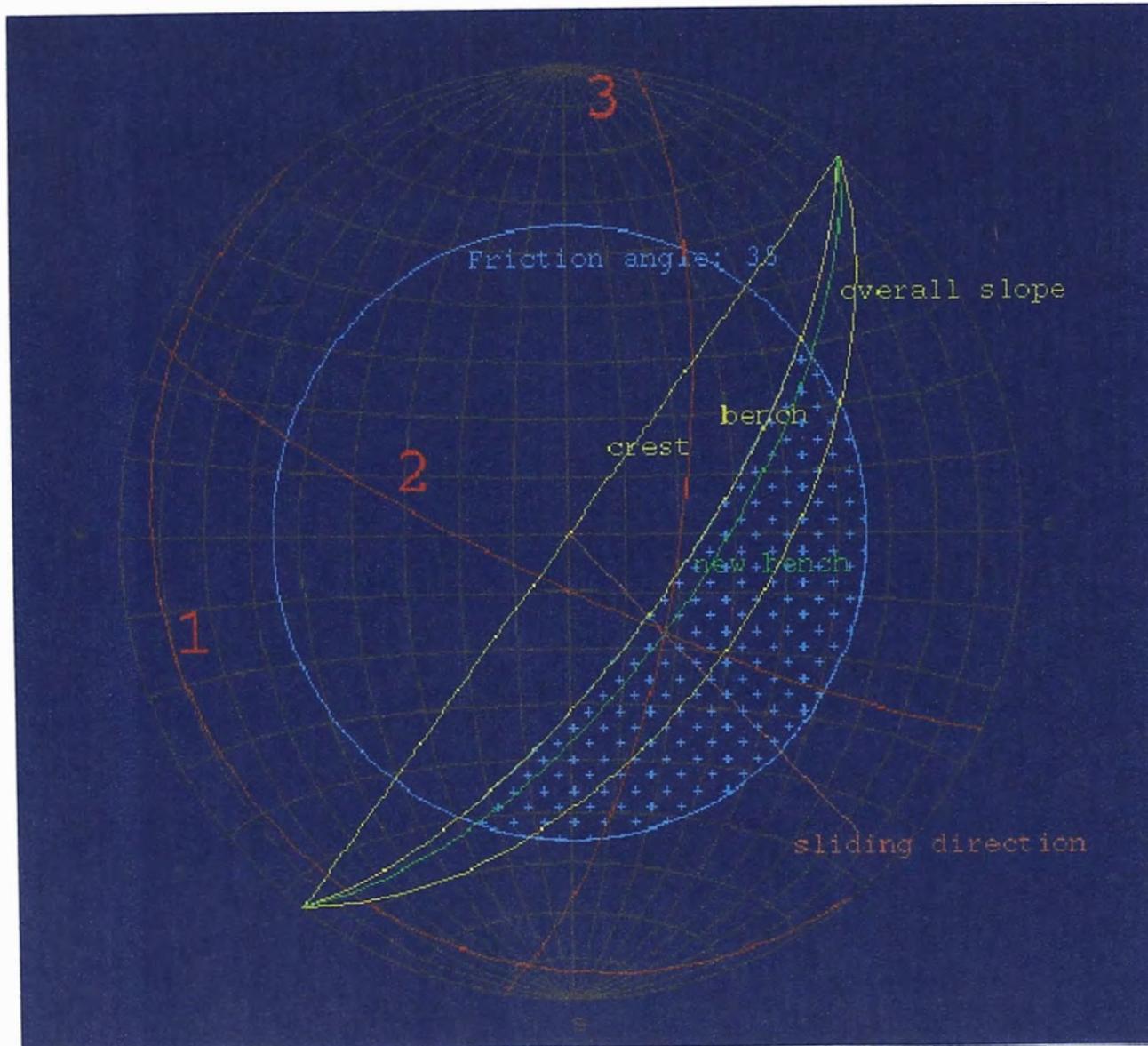
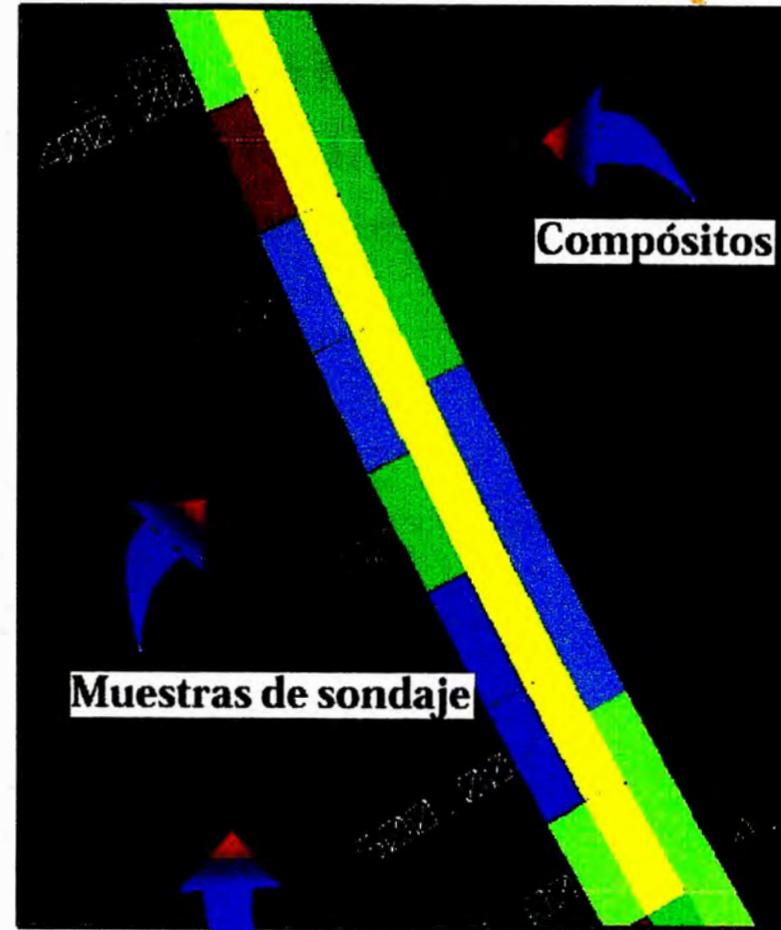
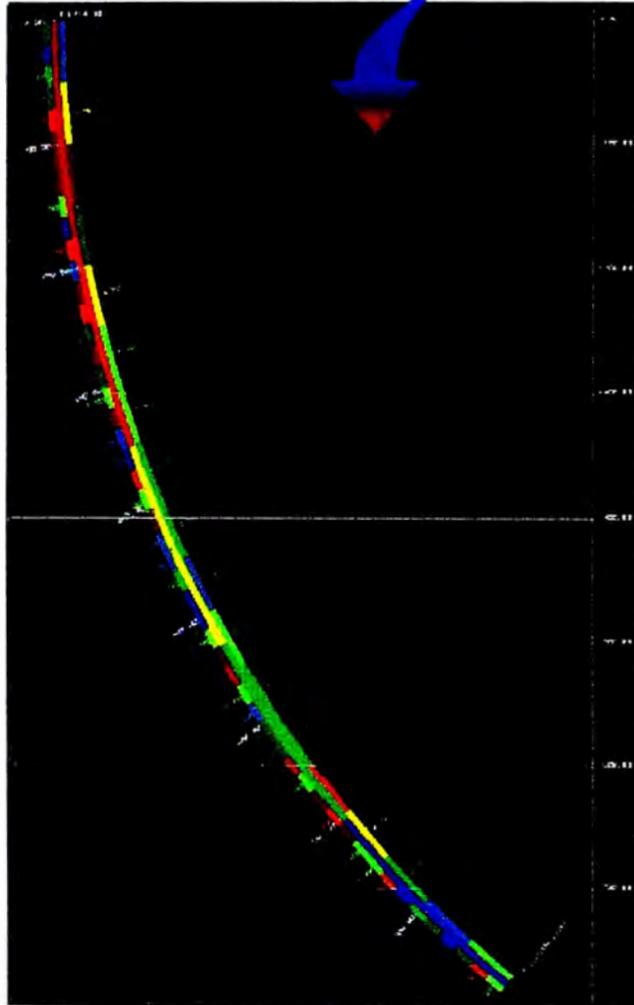


Fig. 4.1C Aplicación en el analisis geomecanico (gráfica del análisis de estabilidad)

Resultados

Sondaje planteado en modo polígono



Acercamiento del sondaje

Fig.4.1D Aplicación en el diseño y ploteo de sondajes: ploteo de sondajes por modo polígono

MINIMIZACION EN 3D DE LA VARIANZA, SEGUN KRIGING SIMPLE Y ORDINARIO

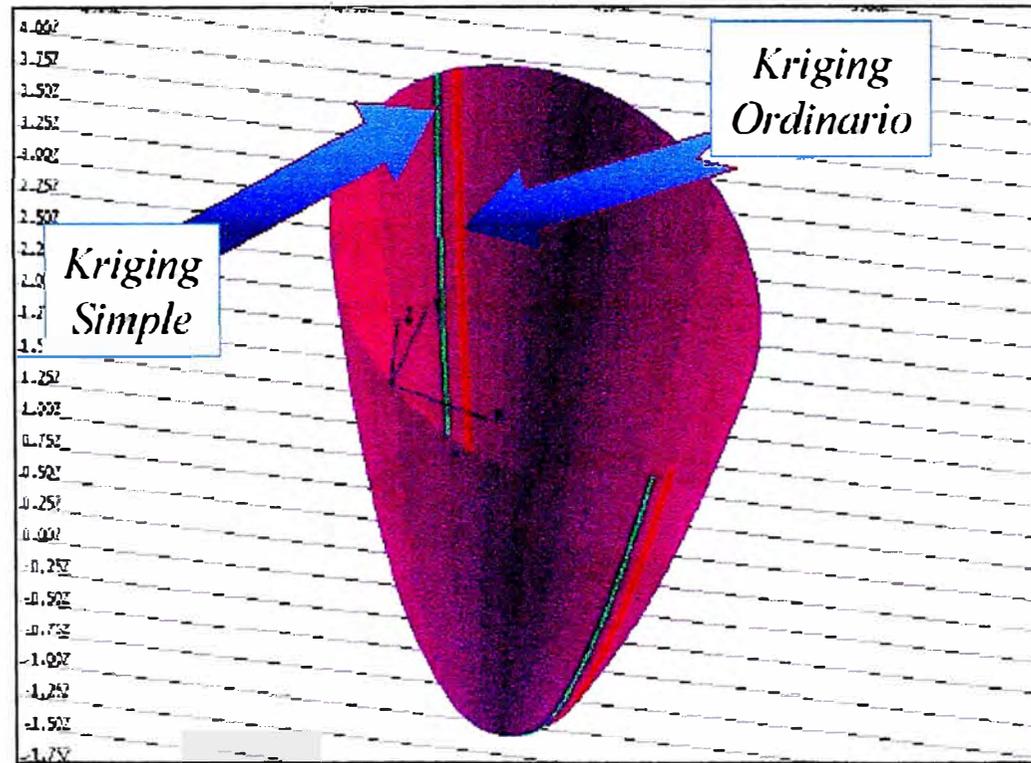
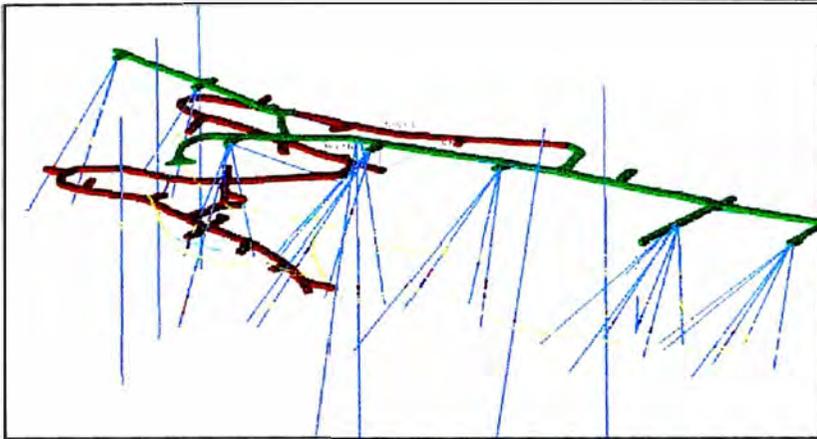
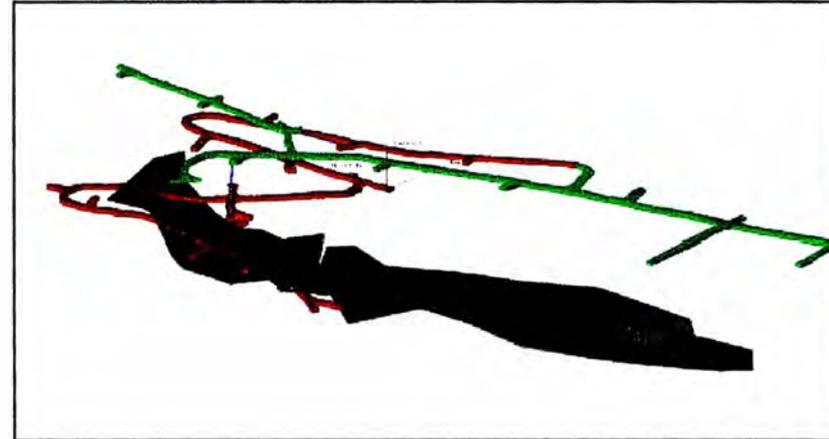


Fig.4.1E Aplicación en el proceso geoestadístico: Minimización en 3D de la varianza.

INTERPRETACION DE SONDAJES



MODELAMIENTO DEL MANTO SVTT



MODELO DE BLOQUES

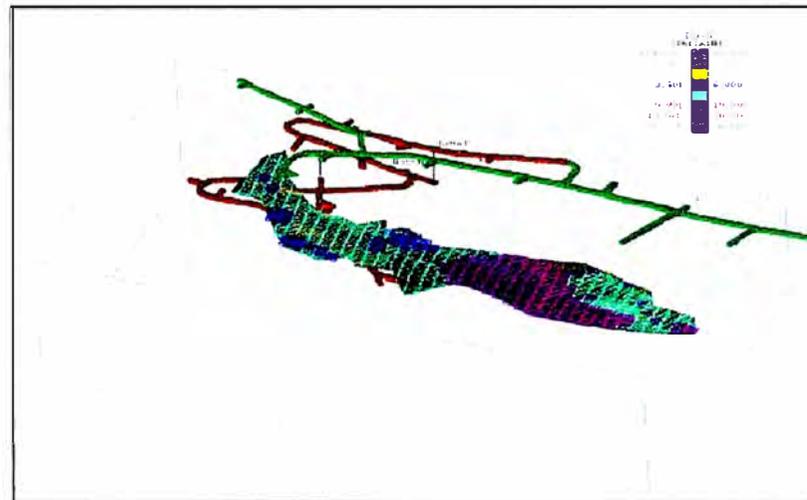
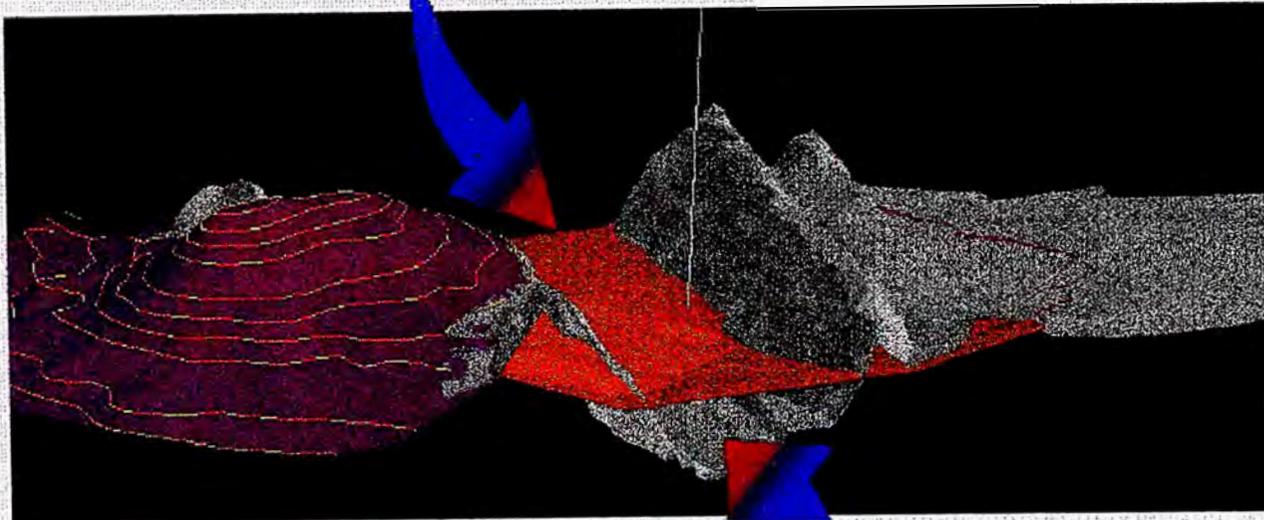


Fig.4.1F Aplicación en el modelamiento geologico y estimación de reservas: Modelamiento del Manto SVTT. Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.- Unidad San Vicente

Hay una variedad de técnicas en VULCAN para generar una topografía Post-minado. Una de las más usadas se encuentra en SECTION DESIGN de ENVISAGE.

Este documento describe el uso de la opción SECTION DESIGN para crear una superficie nivelada desde una topografía de minado.

Superficie Post-minado renivelada



Superficie Pre-Minado desequilibrada

Fig 4.1G Aplicación en la Reconciliación(superficies post-minado).

MODELAMIENTO ESTRATIGRAFICO DEL RELLENO DE TIERRA CONTAMINADO EN UN LUGAR

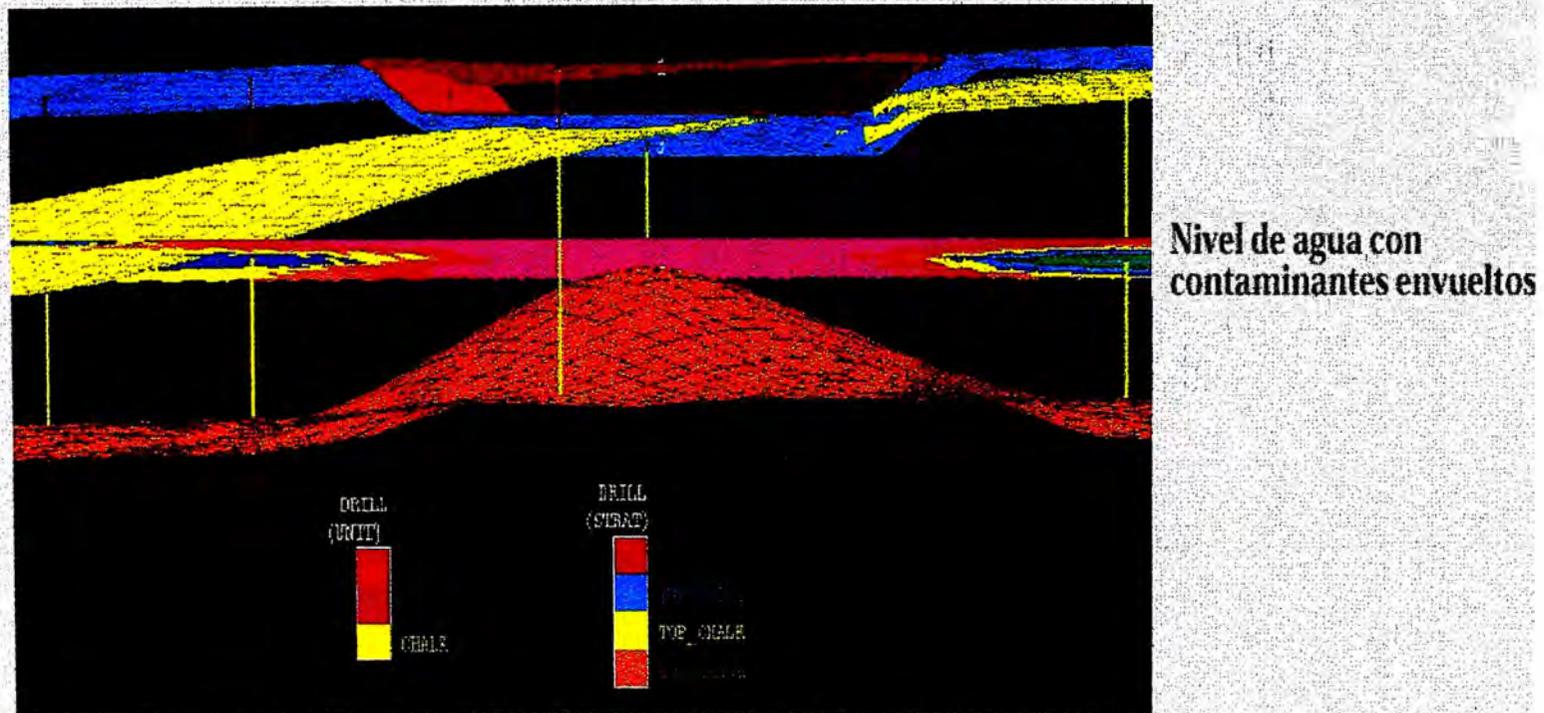


Fig 4.1.H Aplicación en medio ambiente (ubicación del nivel de agua contaminante)

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

La gran amplitud de opciones para topografía permite al usuario alimentar, descargar, editar, unir, modelar y analizar la información. A medida que se dispone de nueva información topográfica, automáticamente se actualiza el modelo geológico-minero.

La facilidad de uso de las herramientas de diseño 3D ayudan a determinar la mejor alternativa de desarrollo desde el punto de vista minero según el tipo de escenario que se presente. Además, con VULCAN se pueden desarrollar completos estudios de factibilidad y de impacto ambiental.

El módulo de planificación Chomos permite crear planes mineros optimizados multiperíodos, maximizando el valor actualizado neto de su proyecto o considerando razones de entre expansiones, período de mineral expuesto, restricciones de capacidades de mina, planta y pilas de acopio, distintos ordenes de procedencia de bloques de explotación, tanto en minería de tajo abierto como subterránea. La planificación es automáticamente actualizada, reflejando cualquier alteración al diseño de la Mina.

Las restricciones ambientales, de acceso y económicas forman parte del diseño de reconciliación que pueden ser analizadas y manipuladas de manera fácil por el usuario de VULCAN.

La versión del software VULCAN que actualmente se usa en el Perú es la versión 3.5.. La versión 4.0, es una modificación que llegara al mercado peruano este año, permite trabajar toda la información a través de una opción de ventanas e iconos(Fig.4.3).

4.3.Ingreso de la Información Básica al Vulcan 3.5

Iniciando un Proyecto

Para mantener más ordenada el área de trabajo, se recomienda crear un directorio destinado específicamente a ser almacén de la información del proyecto.

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

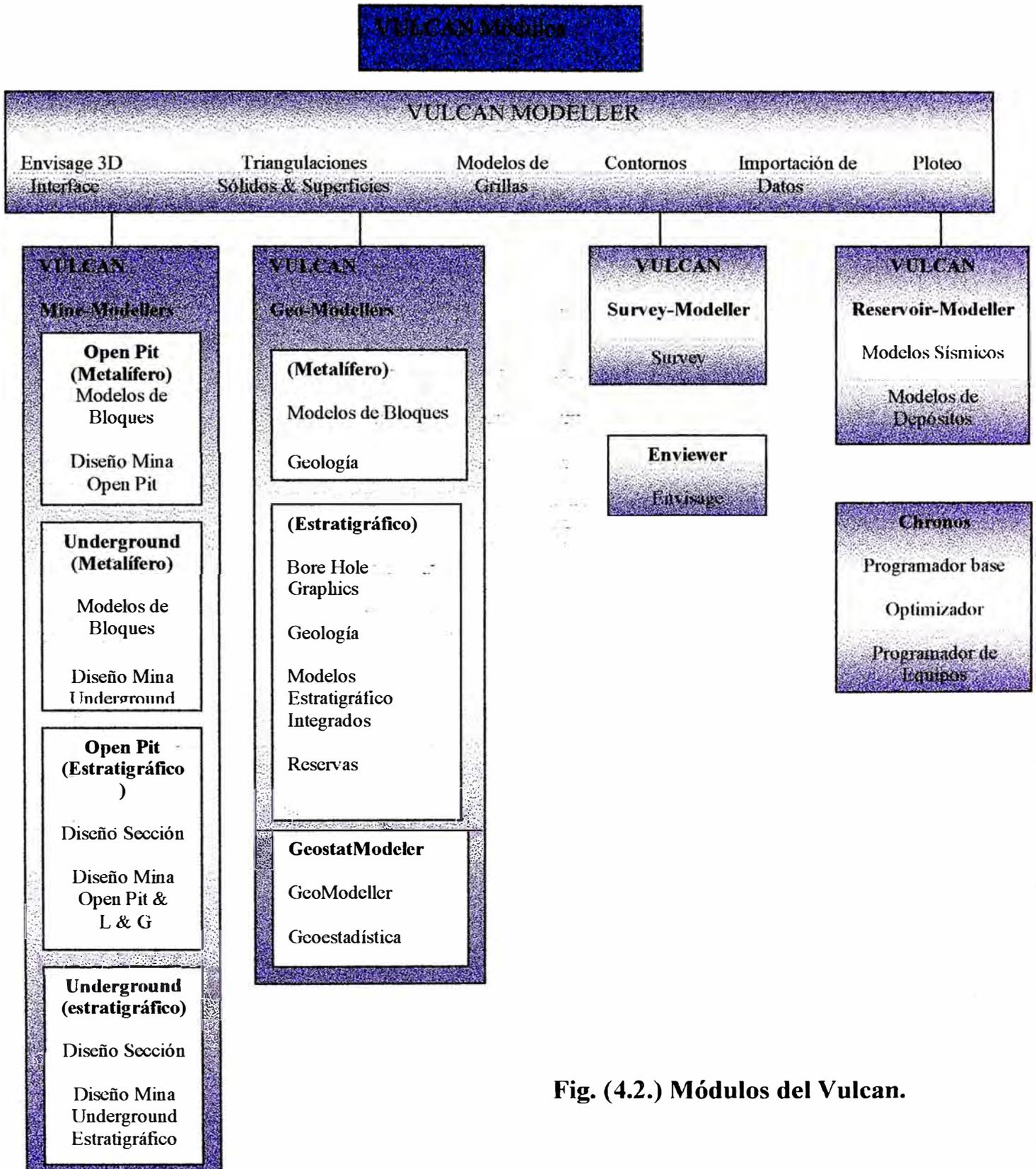


Fig. (4.2.) Módulos del Vulcan.

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

A continuación se especifican los pasos a seguir para el inicio de un proyecto(ver anexo 1).

- **Crea un directorio y un shortcut de este, para este nuevo proyecto.**
El shortcut de su directorio deberá estar en el desthop. En adelante supondremos que el nombre de dicho directorio es proyect 1.
- **Cargue VULCAN**
 - En menú principal del sistema seleccionar **Vulcan** y dar **Go**.
 - Aparecerá el menú principal de VULCAN. Elija la opción 6.-
Change Environment or project.
 - Seleccione 8 (Change Environment or Proyect)
 - Escriba los nuevos nombres, de cuatro caracteres como máximo, para Environment y para project. En este caso se utilizará como ejemplo RAJO y PRY1, respectivamente.
 - Escriba rajo como nombre de su environment y presione la tecla TAB.
 - Escriba pry1 como nombre de su project.
 - Si se equivocó reingrese el nombre. Si se encuentra nuevamente en el menú inicial, vuelva a seleccionar 8.
 - Cuando termine presione Enter.

Ahora crearemos el archivo de diseño (con extensión dg1).

- Desde el menú principal nuevamente, ingrese el menú 4, Design and digitising.
- Seleccione la primera opción (ENVISAGE).
 - Aparecerá la pantalla titulada PARAMETERS FRO NAMING FILES. En la primera opción aparece el nombre que Ud. Ingresó para el código de su proyecto y una opción *Map sheet for window name <CWI>*. Si cambia este segundo item, el nombre de los archivos de diseño que se cree será: <nombre del proyecto> + <nombre del *Map sheet*> + . dg1. Esto permite que Ud. Pueda tener diferentes zonas dentro de un mismo proyecto puesto que

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

cada nombre de *Map sheet* puede estar asociado a un área específica del proyecto.

- Acepte las opciones por defecto de esta pantalla presionando Enter.
-La pantalla que será estará titulada JOB ACTION.
- Seleccione 2. (Review or edit the specification data for this job).
-El título de esta pantalla es SETTING UP INPUT SPECIFICATION FILE.
- Presione Enter para aceptar los parámetros. A continuación aparecerá la pantalla “DEFAULT MAPPING WINDOW”

Nota: A partir de este momento y hasta terminar la definición del proyecto, en la parte baja de la pantalla se muestra una línea en la que se puede seleccionar cualquiera de los cuatro comandos que allí aparecen. El valor por defecto es F(Avanzar), pero si Ud. Ha cometido algún error, puede volver al menú anterior seleccionando B(Retroceder). Si seleccionar E (Salir), se llega al fin del proceso y ya no se puede volver de otra forma que no sea repitiendo el proceso que aquí se indicó a partir del punto anterior.

- **IMPORTANTE:** Para desplazarse en esta pantalla no debe utilizar Enter. Use las flechas o la tecla TAB. Si comete algún error, recuerde que puede retroceder con los comandos en la parte baja de la pantalla.

En esta pantalla debe definir la zona que abarcará su proyecto, la exageración vertical, el tipo de grilla y las unidades de ingreso de las coordenadas. Tenga cuidado de usar valores adecuados para las coordenadas de tal forma que cubran toda el área del proyecto y expansiones futuras. Sin embargo no es conveniente sobrepasarse en la holgura con que se definirá la zona.

- Una vez ingresados todos los valores en forma correcta, **presione Enter** (con el comando F seleccionado) para ir a la siguiente pantalla titulada STARTUP DEFAULTS.

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Ingrese el identificador de diseño espacial(sdi). Este identificador definirá la base de datos en la que se almacenará el posterior diseño que Ud. Desarrolle. El nombre de dicha base de datos será: <Nombre del proyecto>+<sdi>.dgd. En nuestro ejemplo, si nombramos **dise** al sdi, el nombre de la base de datos será **pry1dise.dgd**. Si no ingresa un nombre, necesitará abrir una base de datos de diseño cuando ejecute ENVISAGE.

El nombre del Design layer es el que se usa por defecto en la base de datos anterior. Si no se ingresa ninguno, se abrirá una cuando ejecute ENVISAGE.

- **Ingrese un nombre para el SDI y, si lo desea, un nombre para Design Layer, Presione Enter para ir a la siguiente pantalla. Esta estará subtitulada Grid Mesh Models.**

Puede omitir el ingreso de cualquiera de estos parámetros, pero es recomendable crear en este momento su base de datos de diseño. El Model Name se refiere al nombre del algún modelo para la grilla parara cargar cuando ejecute ENVISAGE. Colour es el color en que se mostrará dicho modelo. Directions indica en que direcciones se mostrará la grilla (X, Y o ambas).

- **Si tiene un Modelo de grilla ingrese el valor de los parámetros o presione Enter para ir a la pantalla titulada SCREEN AND TABLE CONFIGURATION.**

En este menú Ud. Puede ingresar:

La tecla de quiebre para la mesa: .

El formato(tipo FORTRAN) de cómo VULCAN va a recibir los datos de la mesa digitalizadora. El formato contiene un carácter para la tecla presionada, 2 números de punto flotante(reales) que corresponden a las coordenadas X e Y de la mesa y un espacio como delimitador, todo esto de acuerdo a su propia mesa.

La tolerancia para marcar puntos próximos en la pantalla. Es conveniente que ésta no sea cero para poder utilizar la opción de marcar puntos próximos con ENVISAGE.

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Nota: Esta es la última pantalla con la posibilidad de volver atrás en forma directa. Si se equivoca no se preocupe, en la siguiente pantalla hay una opción que le permite volver a revisar los parámetros ingresados recientemente.

- **Cambie Screen snap tolerance a 1 y, si lo desea, las especificaciones para la mesa y presione Enter. Podrá observar en la parte superior el título END PF USER INPUT.**

Ud. Ha terminado de crear / modificar su archivo de especificación. Aparece un resumen de lo que ha hecho (en cuanto a archivos). Ahora necesita almacenar su archivo en su directorio de trabajo. En este menú aparecen 5 opciones.

- **Seleccione 1 (guardar y salir) y presione Enter.**
- **Seleccione 0 (Main Menu).**
- **Seleccione 0 (Exit VULCAN).**

Ahora está listo para realizar los diseños con su nueva definición de proyecto. Si usó los nombres del ejemplo, debería tener en su directorio el archivo de especificaciones (pry1.dg1) y el archivo de diseño (pry1dise.dgd)

- **Para trabajar con su nuevo proyecto Cargue VULCAN**
 - Para cargar Vulcan deberá arrastrar con el Mouse el shortcut de su directorio de proyecto y dejarlo en icono de Vulcan Software. Se desplegará el menú principal del sistema.
 - En el menú principal del sistema seleccionar **Envisage 3D Editor** y dar **GO**.
 - Ahora Ud. Esta en Envisage 3D Editor.(Complementar Anexo 01).

4.4. Software Adicional y Hardware

En el proceso de construcción del modelo litológico se empleo los siguientes softwares adicionales:

Window 2000: Esta versión es una de las más actuales existentes en el Mercado que tiene una versión mejorada del Window NT.

AUTOCAD 2000: Es un modulo de dibujo avanzado. Principalmente se uso este versión para extraer la información de la delimitación de los contactos. Para poder usar esta delimitación de contactos y ser transferida al VULCAN se uso la extensión DXF.

Kedit 3.2: Es un modulo de dibujo avanzado que nos permite dar el formato adecuado a los archivos de texto exportados, también borrar archivos de patrones de texto de las extensiones DXF.

Se empleo como Hardware de trabajo lo siguiente:

HP Kayak XM600 (2 procesadores)

Monitor 21”

Teclado Español S/N 3598

Mouse Logitech 3 Botones S/N 7921.

Fig.4.4. hardware empleado



VULCAN

V. SECUENCIA DEL TRABAJO REALIZADO

5.1. Códigos Litológicos

Los codigos litologicos usados durante la elaboración del modelo geologico tridimensional han sido tomados de la tabla general empleada en la definición de los tipos de rocas de la geologia local usado por el departamento de Geologia de la Cía. Minera Atacocha. Para la zona de aplicación (Atacocha y Santa Bárbara) los colores usados son los siguientes :

Tipo de Roca	Color	Código Cad
INTRUSIVO		6
CALIZA SILICATADA		94
CALIZA NEGRA		4
ARENISCA		2
CUATERNARIO		8
Falla		
FALLA ATACOCHA		5
FALLA 1		161
FALLA 13		191

5.2. Ubicación de Archivos CAD

Los archivos para la construcción del modelo geológico tanto de la Zona de Atacocha y la Zona de Santa Bárbara, se encuentran ubicados en la siguiente ruta en la Red en: \\CMASAA\ atacocha1\geol\3D\contornos. (Fig.5.1)

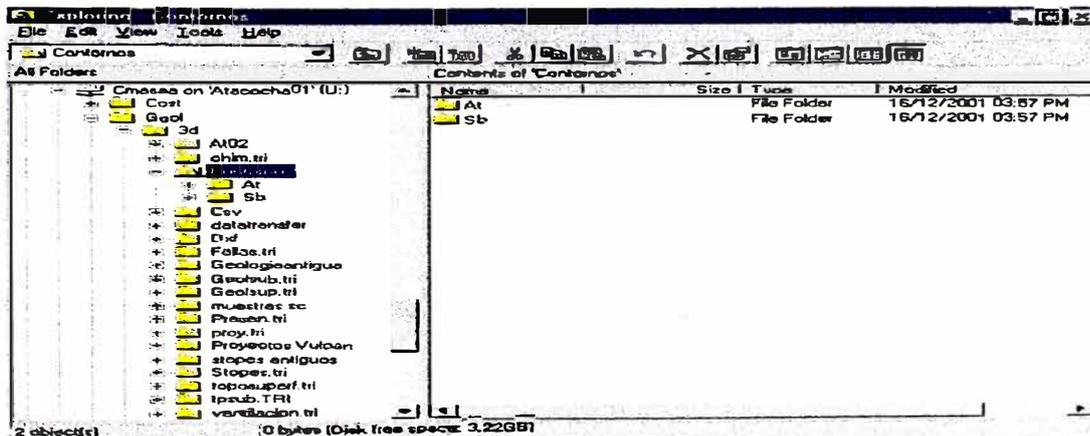


Fig.5.1
Ubicación
de contornos
(Total)

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Para ingresar a los datos de la zona de Santa Bárbara se toma la siguiente ruta:
\\CMASAA\atacocha1\geol\3D\contornos\Sb(Fig.5.2)

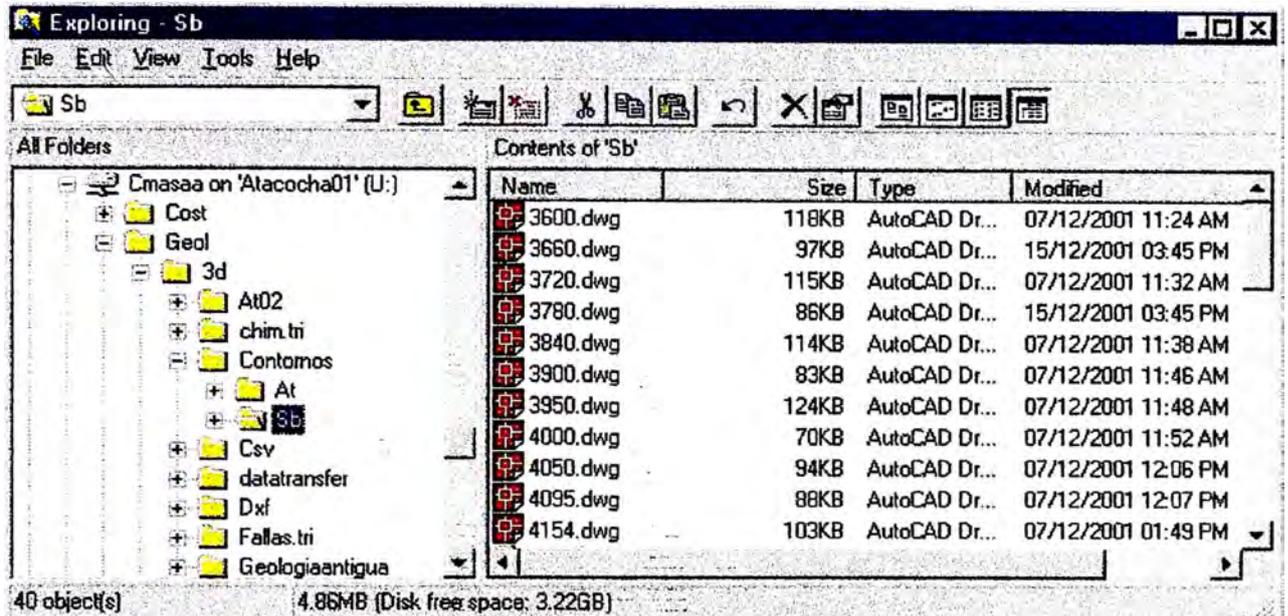


Fig.5.2. Ubicación de contornos de Santa Bárbara

Para ingresar a los datos de la zona de Atacocha se toma la siguiente ruta:
\\CMASAA\atacocha1\geol\3D\contornos\At(Fig.5.3)

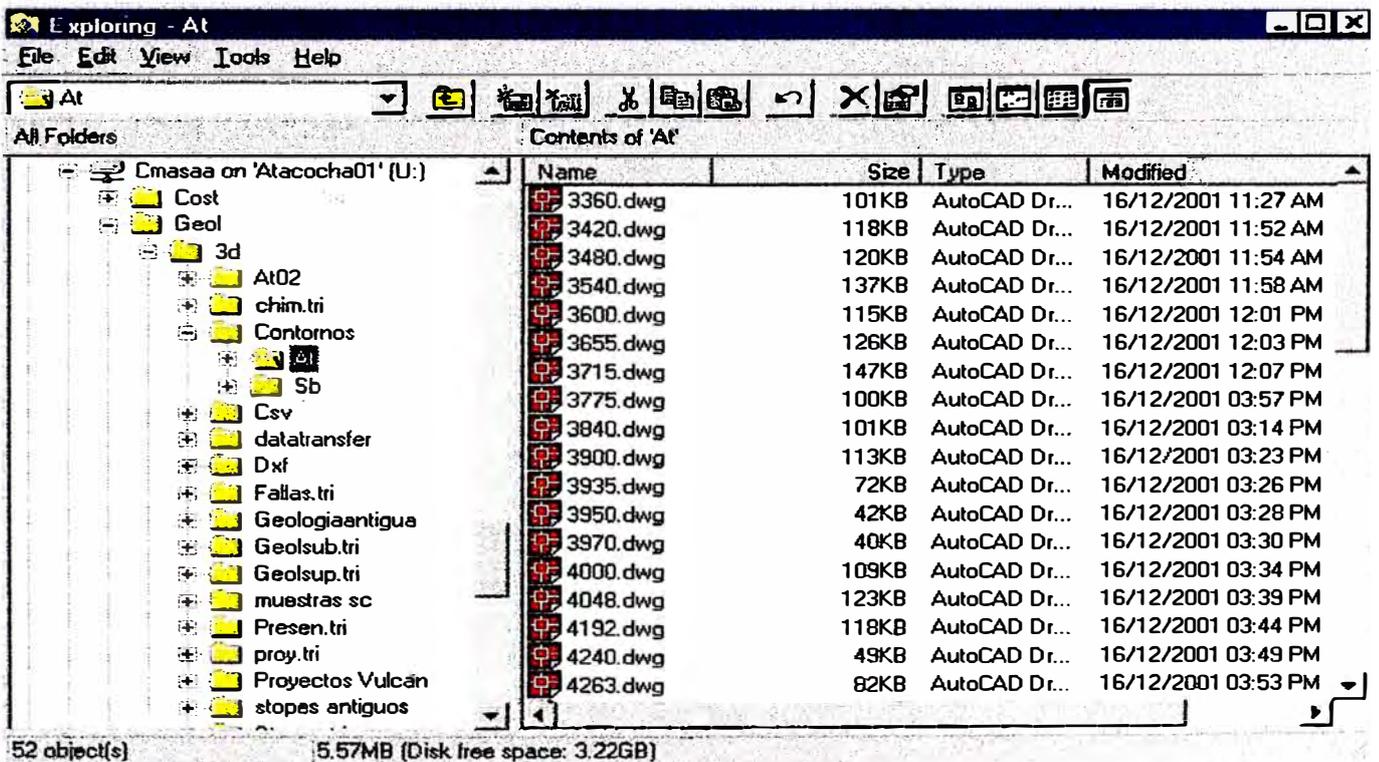
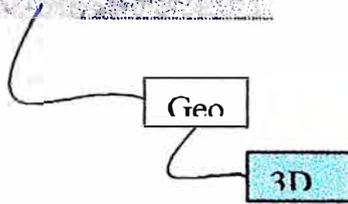


Fig.5.3. Ubicación de contornos Atacocha

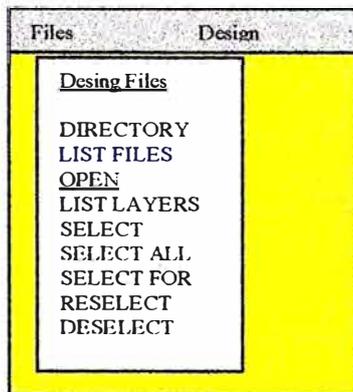
5.3. Ubicación y Procedimientos de visualización de archivos Vulcan



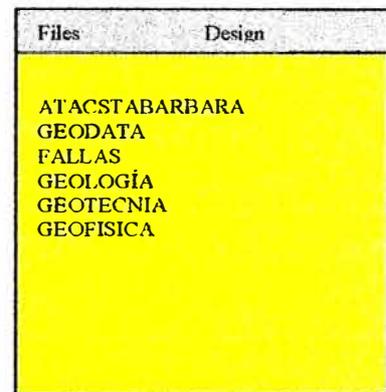
Seleccionar el icono de Vulcan del escritorio, ubicarse en el servidor en Geol/3d, click en OK. Luego en la siguiente ventana click en GO.



Archivos de data en uso para el modelo litológico Atacocha



Seleccionar archivos de la Barra de tools
FILES/Design Files/LIST FILES
click en OK

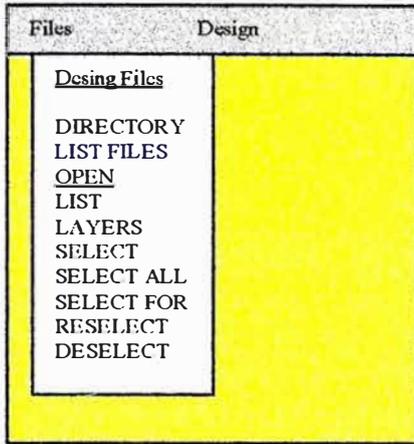


Seleccionar el archivo GEODATA
Click en el botón derecho del mouse
Para salir de ventana de selección.

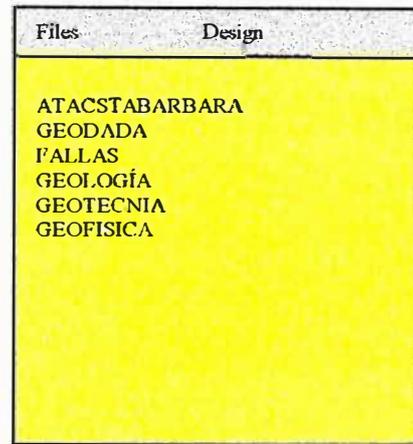
Seleccionar capas de la Barra de tools
FILES/Design Files/LIST LAYERS
click en OK.

En la ventana para seleccionar todas
Las capas digitar *, luego click en él
botón derecho del mouse para salir de
ventana de selección.

**Archivos de data en uso para el modelo litológico
Santa Bàrbara**



Seleccionar archivos de la Barra de tools
FILES/Design Files/LIST FILES
click en OK.

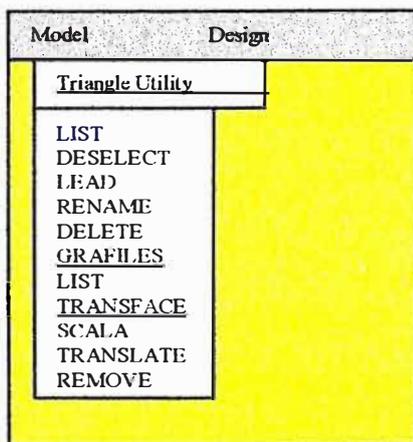


Seleccionar el archivo
ATACSTABARBARA
Click en el botón derecho del mouse
Para salir de ventana de selección.

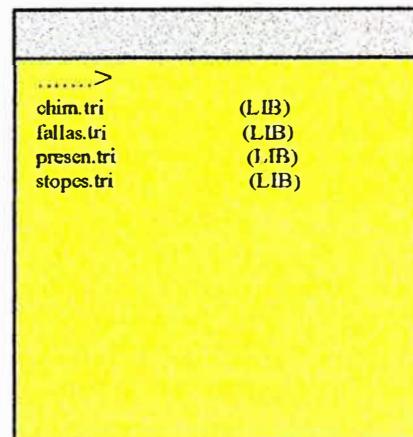
Seleccionar capas de la Barra de tools
FILES/Design Files/LIST LAYERS
click en OK.

En la ventana para seleccionar todas
Las capas digitar *, luego click en el
botón derecho del mouse para salir de
ventana de selección.

**Procedimiento para visualizar modelo
litológico superficie**

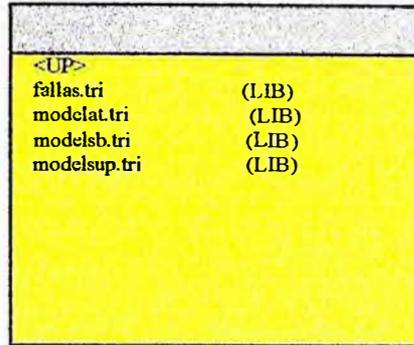


Seleccionar de la Barra de Tools
MODEL/Triangle Utility/LIST
Click en OK



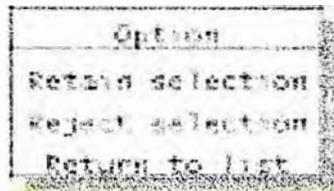
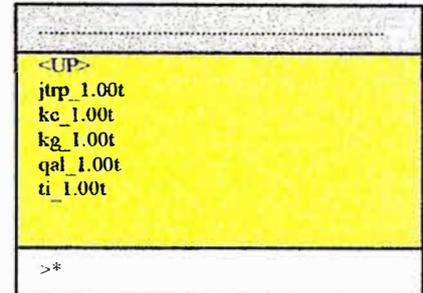
Seleccionar la carpeta presen.tri
Click OPEN LIBRARY

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO



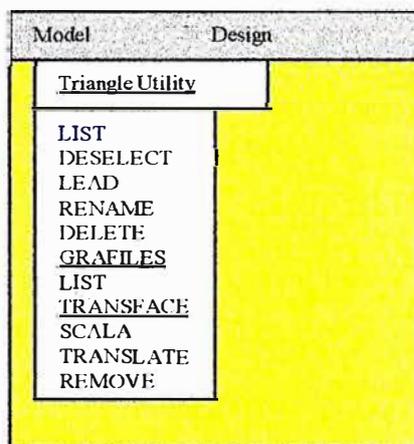
Seleccionar la carpeta modelsup.tri
Click OPEN LIBRARY

En la ventana para seleccionar todas las capas digitar *, luego click en el botón derecho del mouse para salir de la ventana de selección.

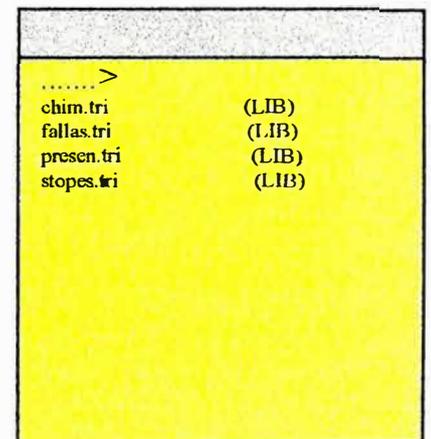


En la siguiente ventana seleccionar Retain selection, en la siguiente OK y En la siguiente OK.

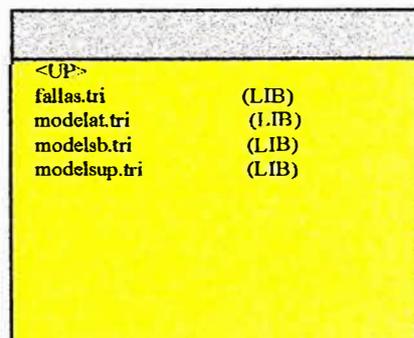
Procedimiento para visualizar modelo subterráneo litológico Atacocha



Seleccionar de la Barra de Tools MODEL/Triangle Utility/LIST
Click en OK

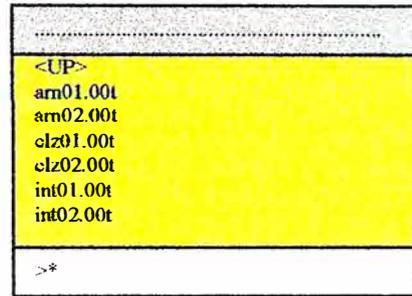


Seleccionar la carpeta nresen.tri



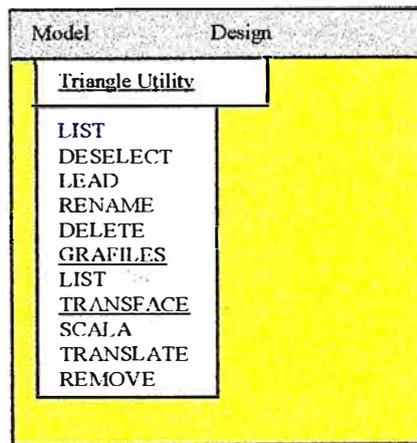
Seleccionar la carpeta modelat.tri
Click OPEN LIBRARY

En la ventana para seleccionar todas las capas digitar *, luego click en el botón derecho del mouse para salir de la ventana de selección.

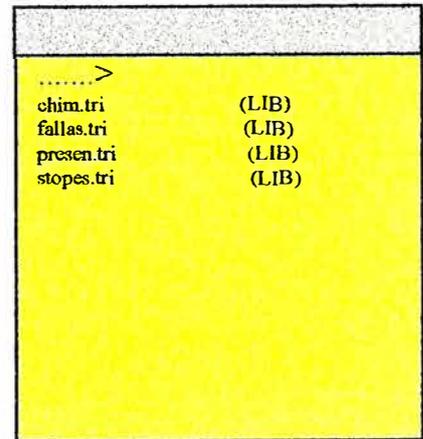


En la siguiente ventana seleccionar Retain selection, en la siguiente OK y En la siguiente OK.

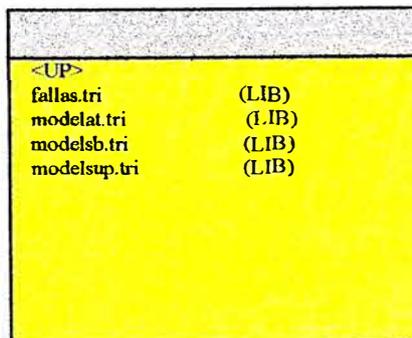
Procedimiento para visualizar modelo Subterráneo litologico Santa Bárbara



Seleccionar de la Barra de Tools MODEL/Triangle Utility/LIST
Click en OK

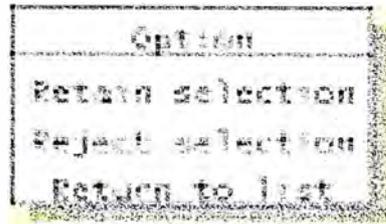
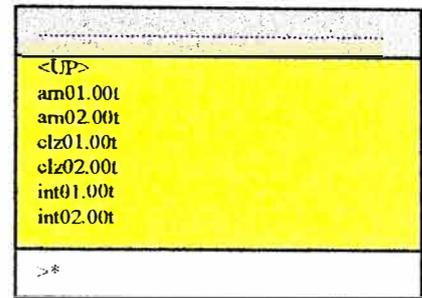


Seleccionar la carpeta presen.tri
Click OPEN LIBRARY



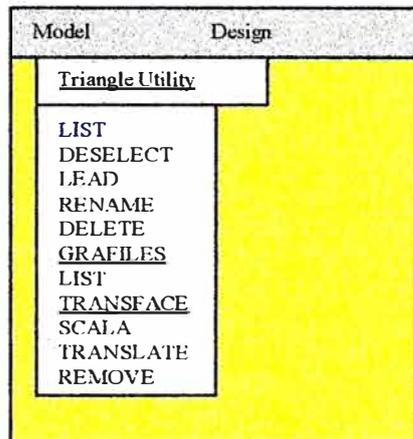
Seleccionar la carpeta modelsb.tri
Click OPEN LIBRARY

En la ventana para seleccionar todas las capas digitar *, luego click en el botón derecho del mouse para salir de la ventana de selección.

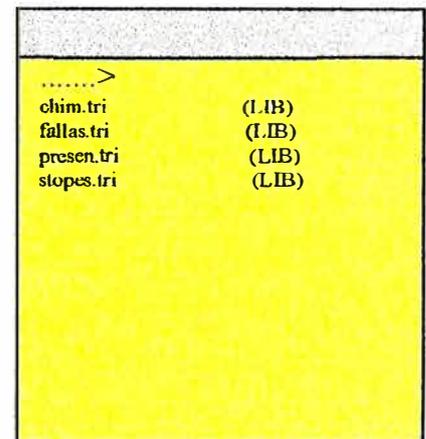


En la siguiente ventana seleccionar Retain selection, en la siguiente OK y En la siguiente OK.

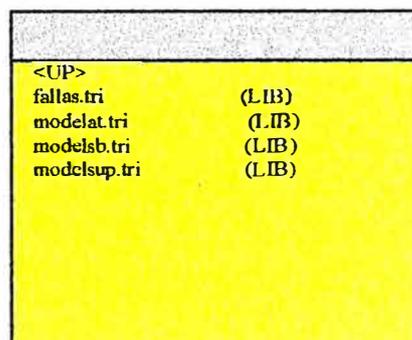
Procedimiento para visualizar el modelo fallas



Seleccionar de la Barra de Tools MODEL/Triangle Utility/LIST Click en OK

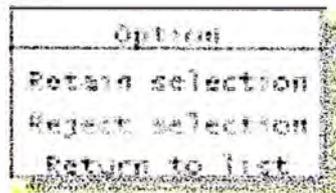
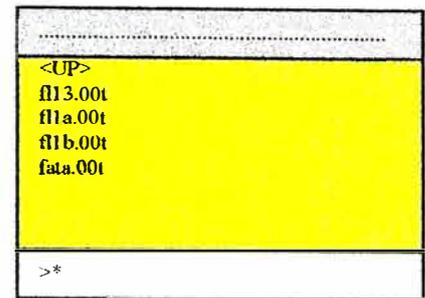


Seleccionar la carpeta presen.tri Click OPEN I.LIBRARY



Seleccionar la carpeta fallas.tri Click OPEN I.LIBRARY

En la ventana para seleccionar todas las capas digitar *, luego click en el botón derecho del mouse para salir de la ventana de selección.



En la siguiente ventana seleccionar Retain selection, en la siguiente OK y En la siguiente OK.

5.4. Procedimiento de la elaboración del modelo geológico de la zona de Atacocha y Santa Bárbara.

- Cartografiado Geológico de la Mina (manual) (Fig. 5.4)

Este es el elemento principal del Modelamiento geológico, porque es el origen de datos geológicos tomados insitu en cada labor y de acuerdo a su acertada. Descripción permite tener datos óptimos. Es un plano hecho a mano sobre una base topográfica.

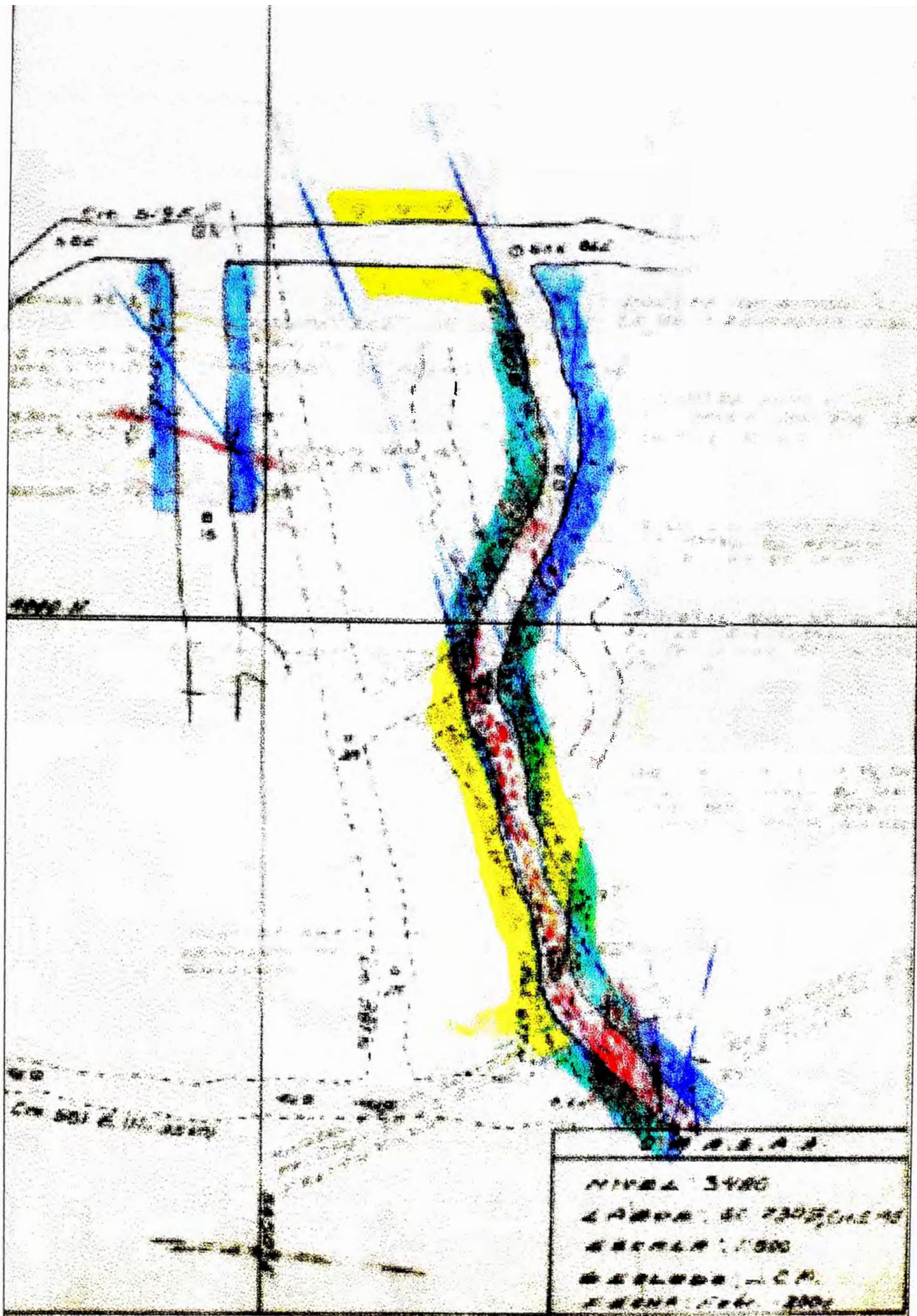


Fig. 5.4. Plano de cartografiado manual de Atacocha

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

- Cartografiado Geológico de la Mina (Digital) (Plano 1)

Herramienta principal del Modelamiento Litológico ya que te permite los datos necesarios para hacer interpretaciones locales de la Mina o correlaciones. Es posible ser procesada esta data tanto en Autocad como en Vulcan.

- Contorno Litológico (Por tipo de Roca) (Plano 2)

Estos contornos Litológicos son del resultado de la interpretación de parte del Dpto. del Geología, estos contornos contienen la definición de los contactos entre los tipos de roca presentes. (Estos también pueden ser obtenidos a la manera inversa del modelo final mediante secciones horizontales).

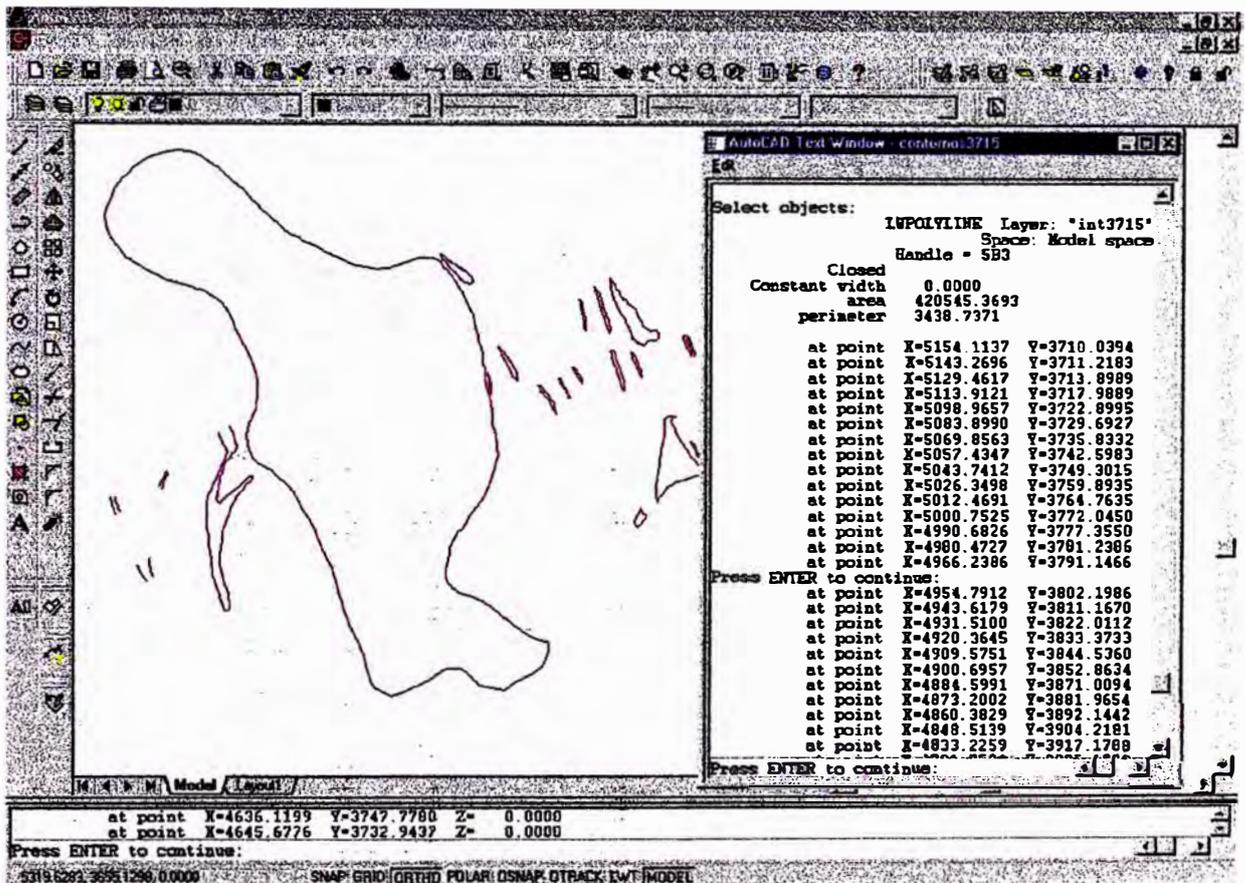


Fig. 5.5. Cada punto de una línea es una data que es almacenada en una base paralela al ser digitalizada.

- Importación al Vulcan, localizando los mapeos en el techo de las labores

Luego de la revisión de los contornos y la verificación de contactos, se lleva los contornos en extensión *.dxf al VULCAN y son registrados en el plano de techo de las labores respectivas. La ubicación se debe ha que en el campo es la posición de referencia en la cual trabaja el geólogo.

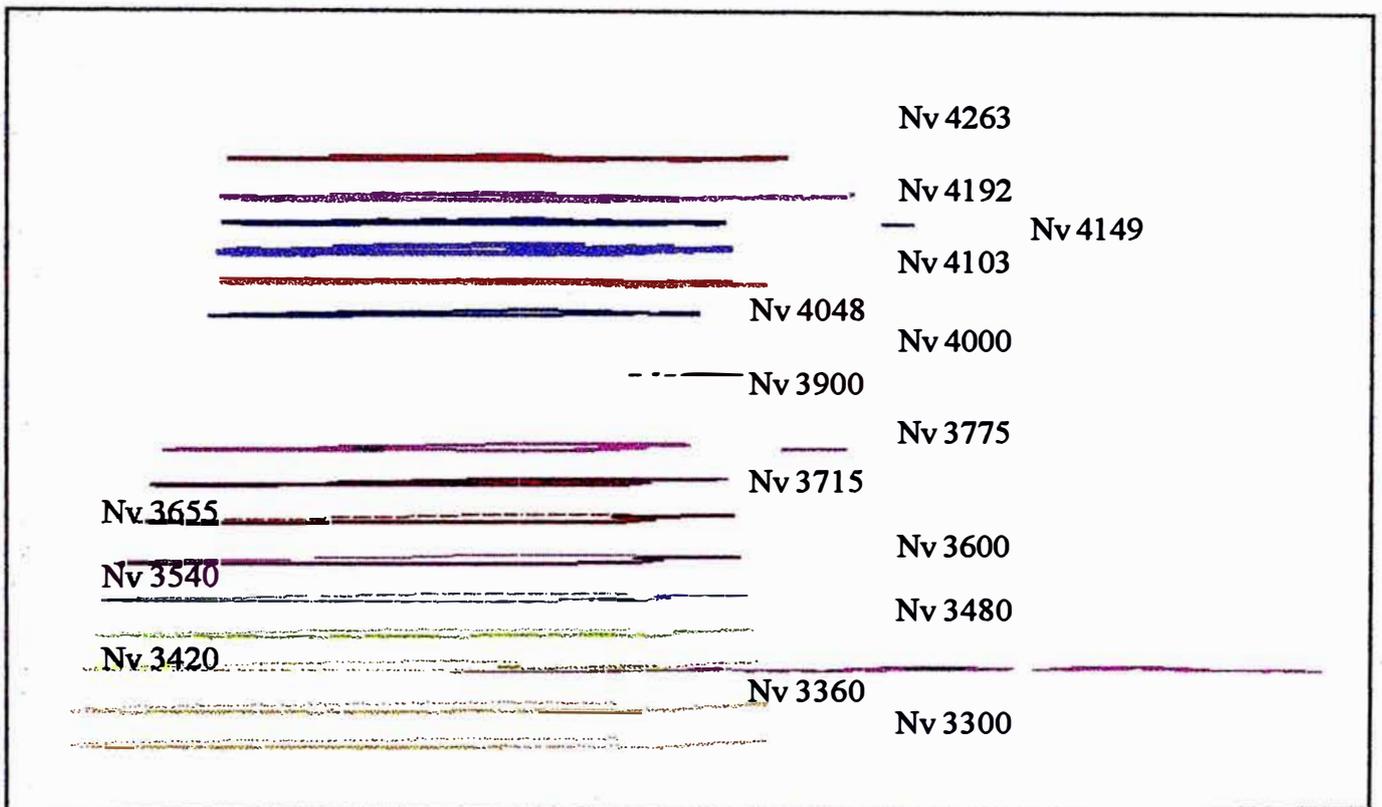


Fig.5.6. Contornos de los contactos entre los diferentes niveles y el Stock Atacocha. Los diferentes colores representan los distintos niveles en los cuales sé intersectan este Stock.

En la Fig. 5.6. se presentan los contornos de los contactos entre los niveles de desarrollo y el Stock Atacocha. Del mismo modo, se elaboro los contornos de los contactos entre los niveles y las areniscas, calizas y calizas alteradas. Como también las proyecciones de las fallas.

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

- En el Vulcan, se hace triangulaciones entre cada nivel, haciendo líneas suavizado cada 20 m aprox. (Fig.5.7.)

Estos contornos Litológicos son triangulados nivel por nivel, de este modo se forma un sólido que representa al tipo de roca que tendrá una interpretación espacial. Este proceso es similar para los contornos de arenisca, caliza, caliza alterada v fallas.

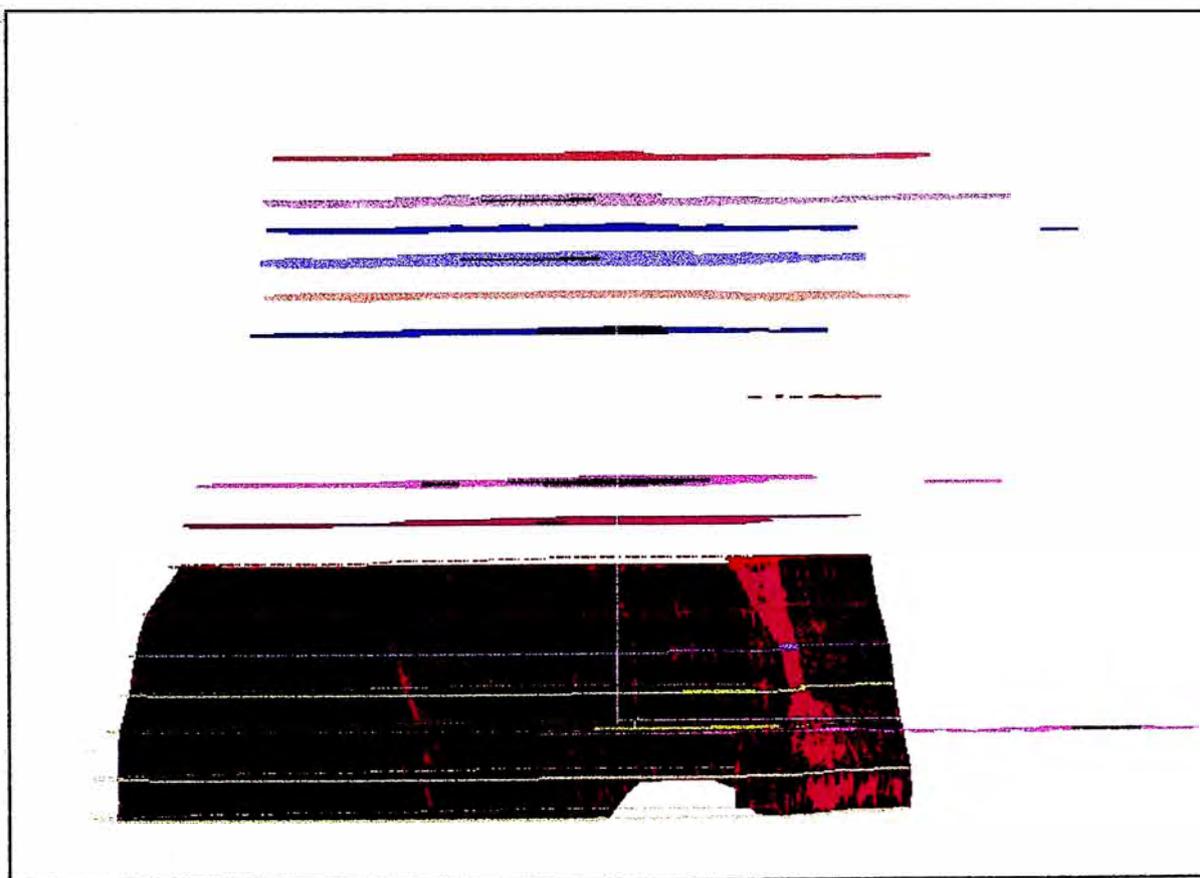


Fig. 5.7. Presentación de triangulaciones por niveles del Stock Atacocha. Los colores de los contornos de los contactos son aleatorios y solo diferencian los diferentes niveles de intersección.

5.5. Procedimiento para el ingreso de datos de sondajes en el Vulcan

Para ingresar data de taladros hay que tener en cuenta el formato de los datos que deben tener una extensión compatible y ordenada de acuerdo al formato que se diseña en la data sheet del Vulcan. La extensión más simple y adecuada es *.csv, la Fig.5.8 muestra el formato de las tablas usadas para diseñar data de sondajes .

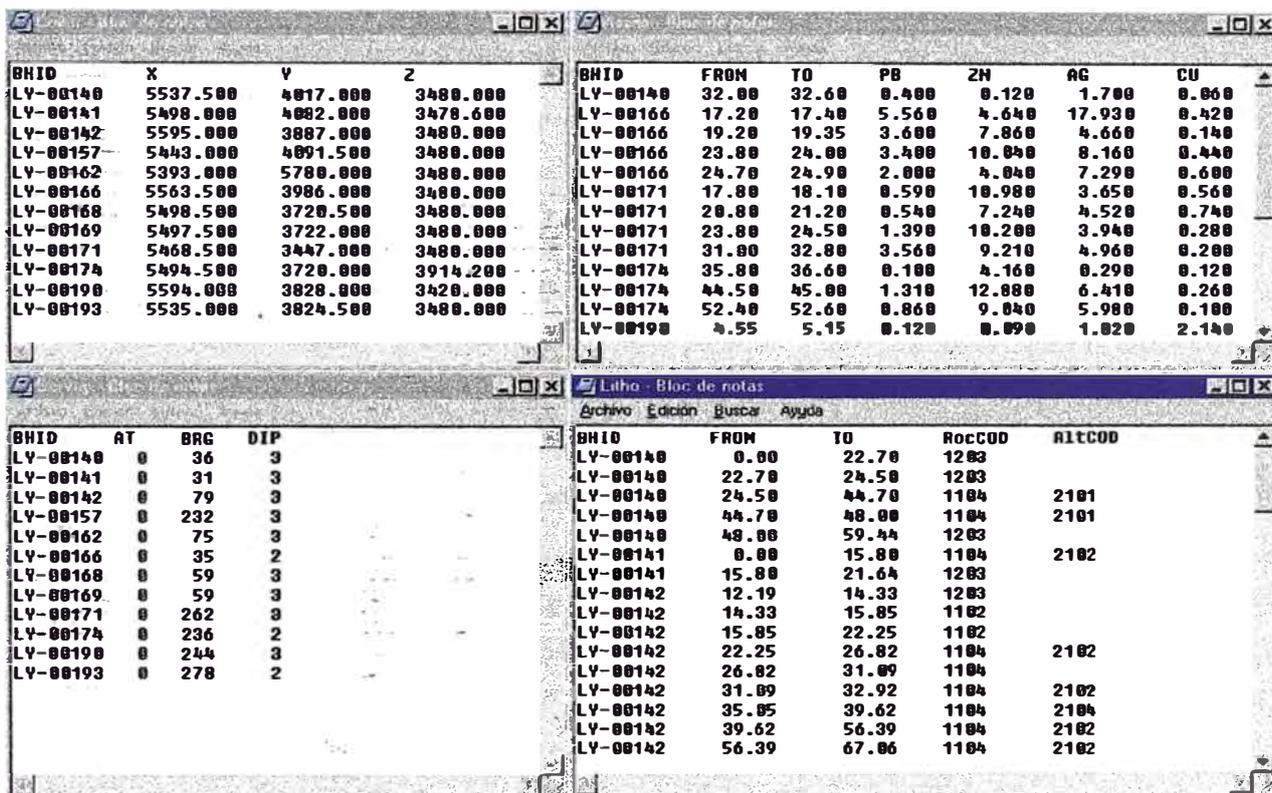
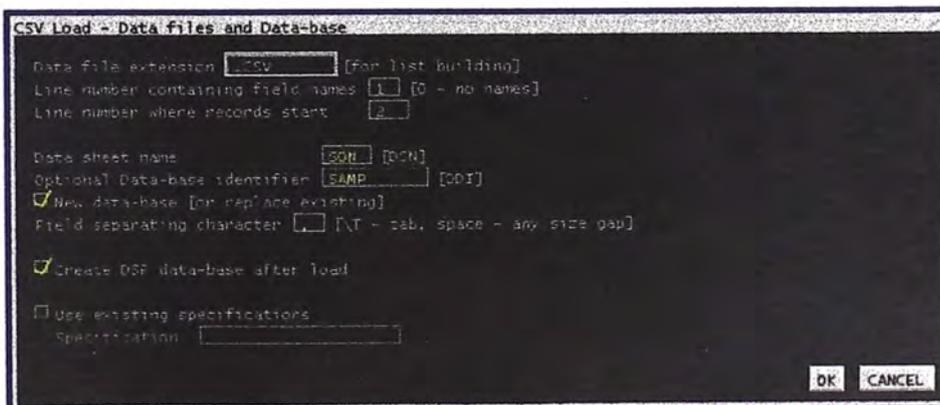


Fig. 5.8. Formatos de tablas empleadas para el levantamiento de sondajes en el Vulcan.

A continuación se detalla paso a paso el procedimiento de ingreso:

Load csv



EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Conexiones:

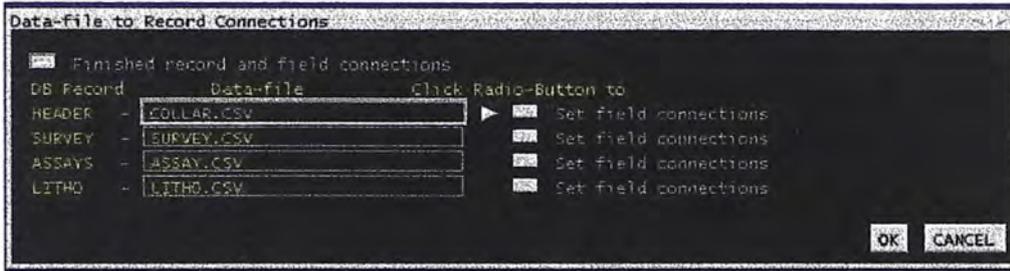


Tabla Header:

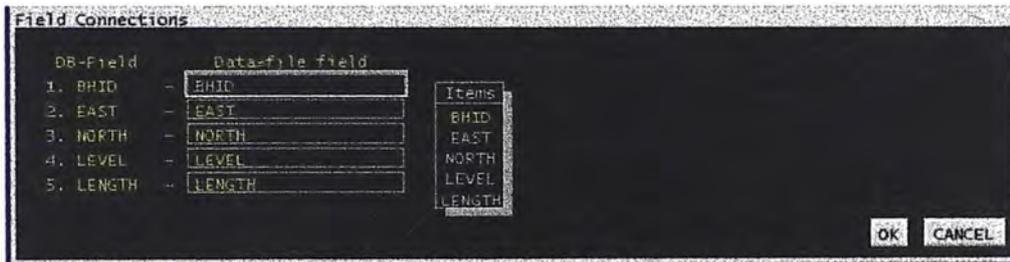


Tabla Survey:

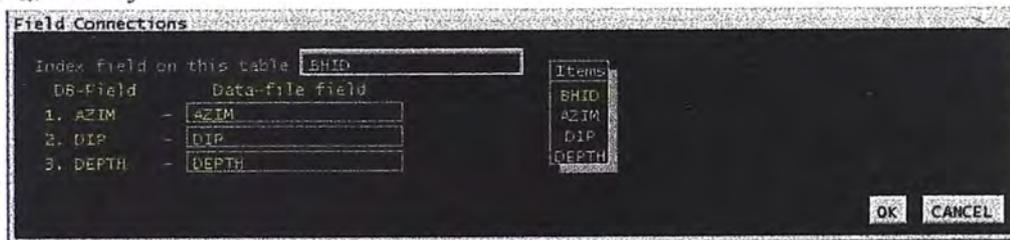


Tabla Assay:

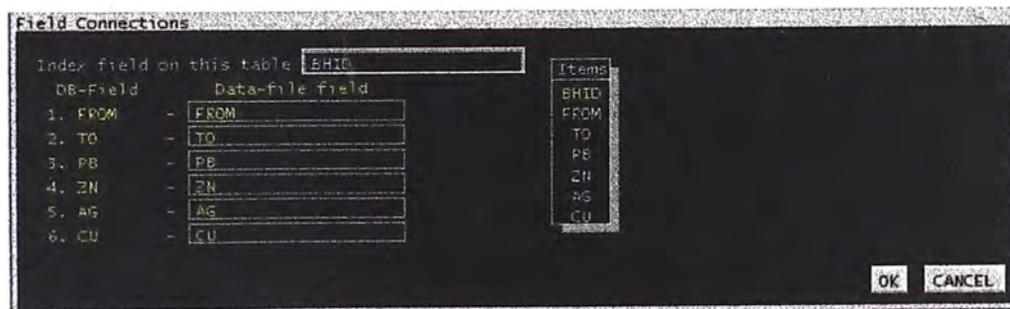
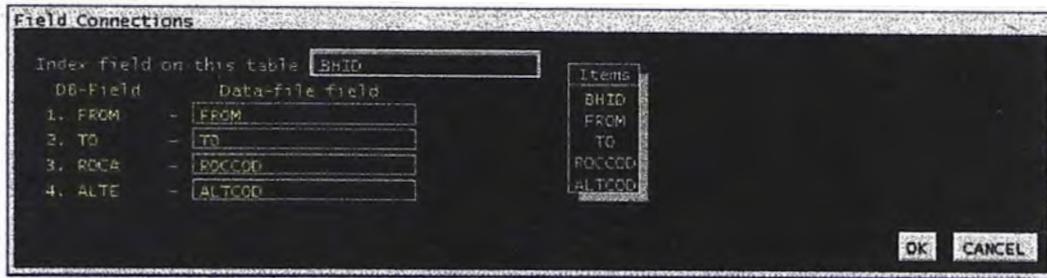


Tabla Litho:



Pantalla con creación de Base de datos de taladros y generación de desviaciones:

Adjunto el archivo de sinónimos que deberías tener en tu directorio

([environment]DD.SYN)

En la Fig. 5.9. se muestra la ventana en la cual se verifica que los archivos que estás utilizando sean los mismos con los que iniciaste el proyecto, y que las tablas no presentan traslapes o datos no ingresados.

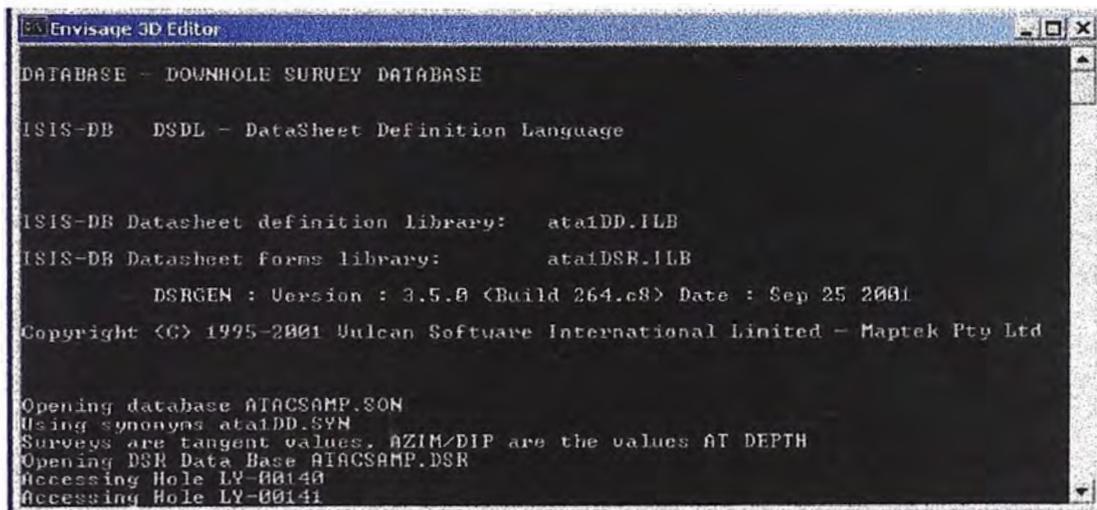
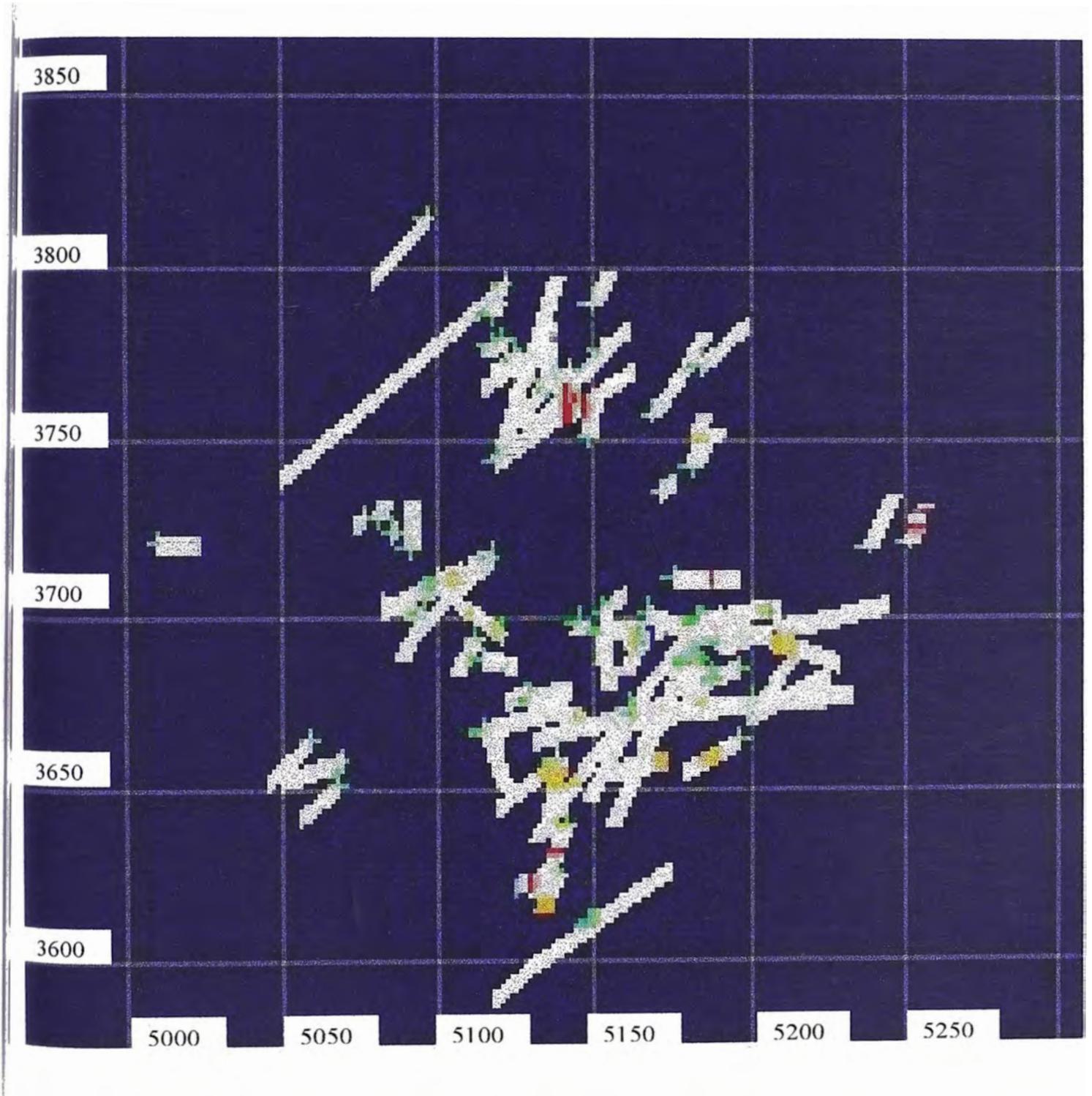


Fig. 5.9. Obtención de ventana de verificación de datos reconocidos por el Vulcan.



La Fig. 5.10. Despliegue de sondajes representados en el Vulcan.

5.6. Desarrollo del modelo geológico

5.6.1. Del modelo superficial.

El modelo geológico superficial fue obtenido del cartografiado superficial (Fig.3.1, Cáp. III) llevado a cabo en el yacimiento. De este plano se tomo los datos de los puntos topográficos y sus respectivas cotas que se representan en las curvas de nivel. El relieve que se obtiene con estos puntos del área de estudio es el que sé observar en la Fig.5.11, también se puede observar los respectivos afloramientos de la zona, como las áreas que se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios..

5.6.2 De los intrusivos

Los principales stocks modelados son: el intrusivo Atacocha y el intrusivo Santa Bárbara (Fig.5.12). Pero en el área del yacimiento existen además intrusiones accesorias que también ocasionaron mineralización. El registro de datos durante mas de 60 años de exploración y explotación nos indica la necesidad de reinterpretar la geología de los intrusivos.

Los intrusivos han sido modelados y están sujetos a los datos de la dacita cartografiada , en las labores de explotación, galerías o rampas. No han sido considerados los datos cartografiados en los stopes debido a la carencia de puntos topográficos adecuadamente ubicados.

5.6.3. De las areniscas

Las areniscas existentes en la zona de estudio corresponden al grupo Gollarisquizga y han sido encontrados principalmente en la zona de Atacocha (Fig.5.13). Dichas areniscas están delimitadas por las falla principal Atacocha, falla 13 y falla 1. Estas areniscas desde el nivel 3360 hasta 3600 fueron modeladas presentando un cuerpo homogéneo, a partir de este nivel presenta unas ramificaciones que se proyectan hasta la superficie.

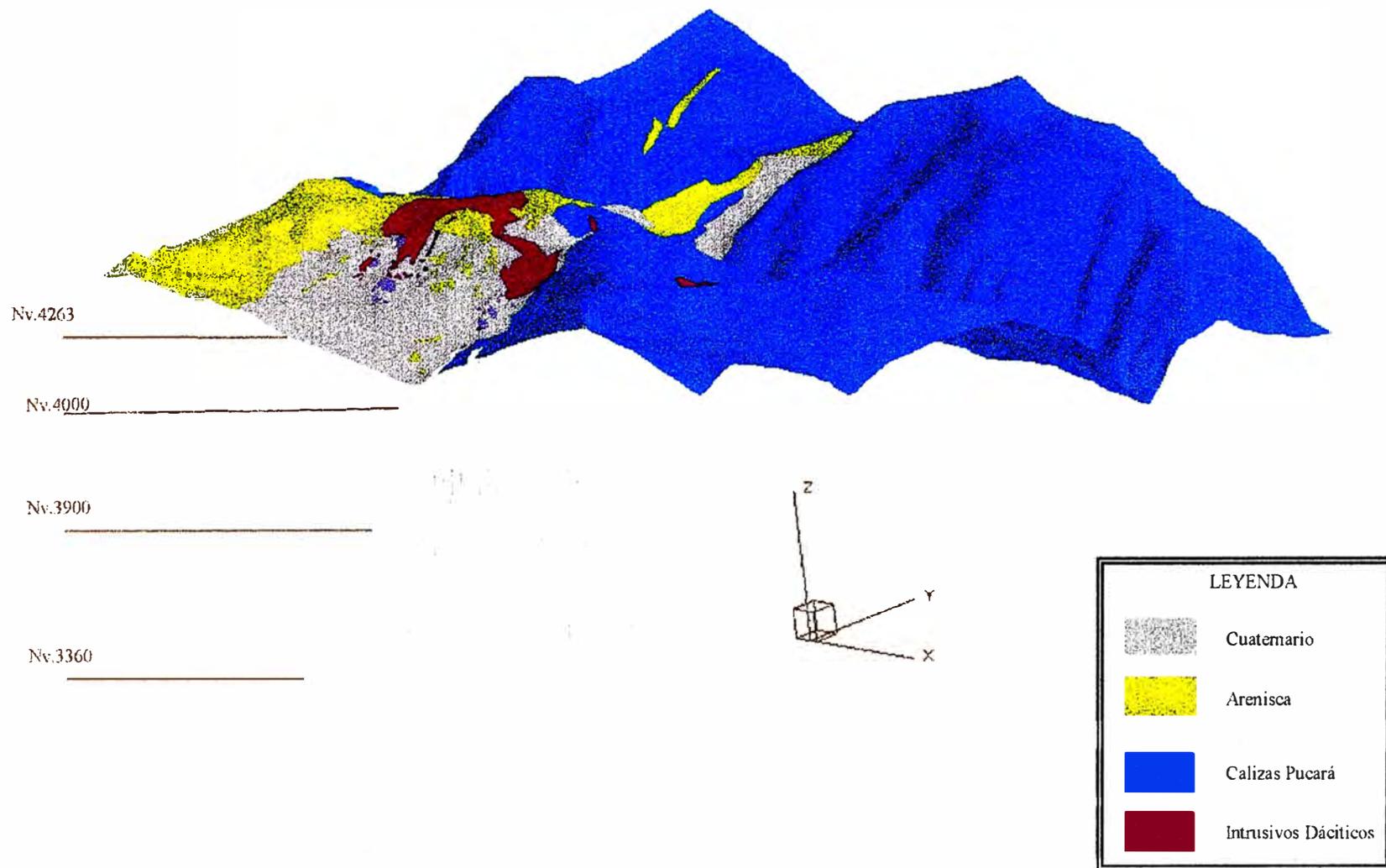


Fig.5.11. Modelo de geología superficial de la zona de Atacocha y Santa Bárbara.

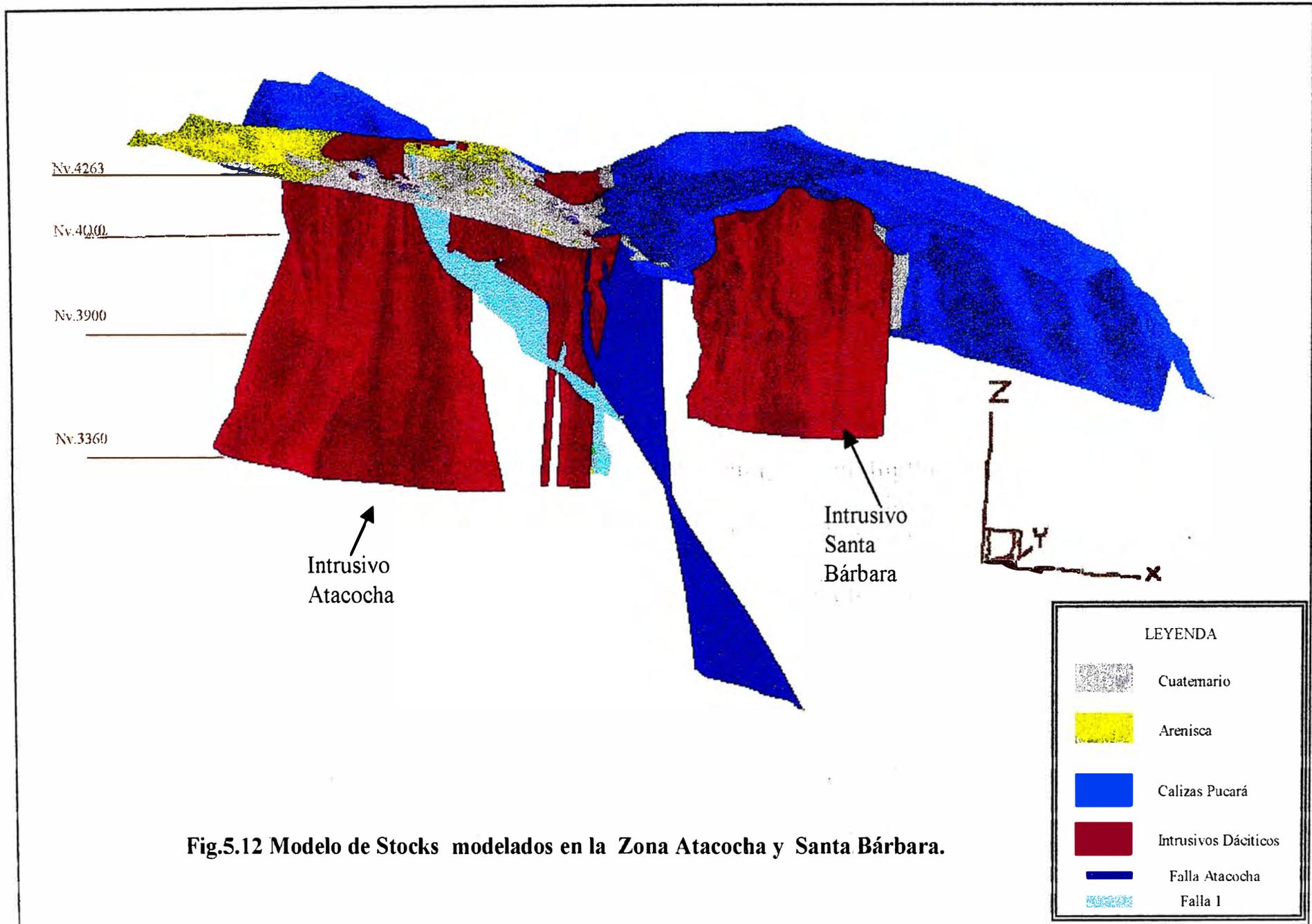


Fig.5.12 Modelo de Stocks modelados en la Zona Atacocha y Santa Bárbara.

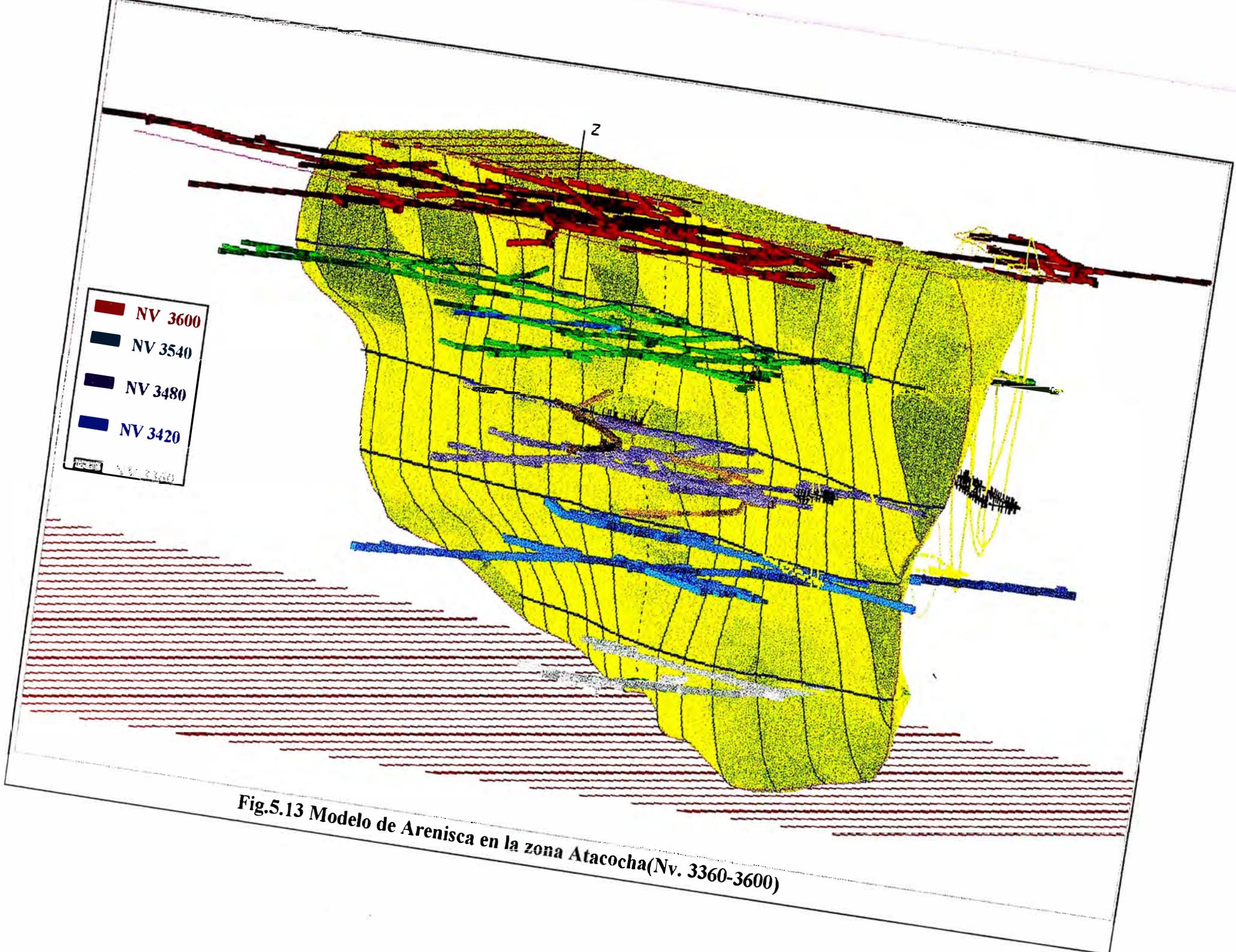


Fig.5.13 Modelo de Arenisca en la zona Atacocha(Nv. 3360-3600)

5.6.4. De las calizas

Las calizas de la zona de estudio pertenecen al Grupo Pucará y estas presentan grandes extensiones y algunas ellas se encuentran cubiertas por material cuaternario. Las calizas modeladas solo representan las cartografiadas al lo largo de las labores de explotación(Fig. 5.14). Las calizas al ser cortadas por los intrusivos forman zonas de alteración que han sido representadas en los planos de cartografiado como posibles guías de mineralización. Estas zonas de alteración también han sido modeladas, viéndose en gran extensión representadas en a zona de Santa Bárbara y en niveles inferiores en Atacocha (Fig.5.15).

En la Fig.5.16 se muestra el modelo geológico de las calizas tanto alteradas como frescas, en la Zona de Santa Bárbara.

5.6.5. De las fallas

Las fallas modeladas son representaciones de las familias de fallas modeladas en las labores de avance de la mina, pero en este estudio no-se a considera las familias de fallas cartografiados de stocks debido a la inconsistencia de datos. Las fallas Atacocha, falla 1 y falla 13 son las principales en la zona de estudio(Fig.5.17) . No se descarta que en estudios detallados posteriores, se agrupen nuevas familias de fallas que darían nuevas luces sobre el comportamiento estructural de la zona.

Por su alcance regional la **falla Atacocha** (Milpo-Atacocha) presenta un gran desplazamiento y es considerada la más reciente. Su rumbo es NS y buzamiento subvertical. Esta falla divide la zona de Atacocha y la zona de Santa Bárbara (Fig. 5.18).

La **falla 13**, presenta rumbo EW y movimiento sinextral (Fig.5.19) . En la zona de Atacocha es la principal estructura mineralizada. Las labores de los niveles (3655, 3715, 3775, 3840, 4048) se extienden a lo largo de esta falla. Dichos niveles constituyen la fuente de información para el modelamiento de la falla 13.

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

La Falla 1 presenta un rumbo NW-SE (Fig. 5.20). En la zona de Atacocha hay una dislocación por la falla 13 con un desplazamiento horizontal de aprox. de 500 m.

El resto sur de la falla 13 forma un bloque triangular con la falla 1 y la falla regional Atacocha. (Fig. 5.21).

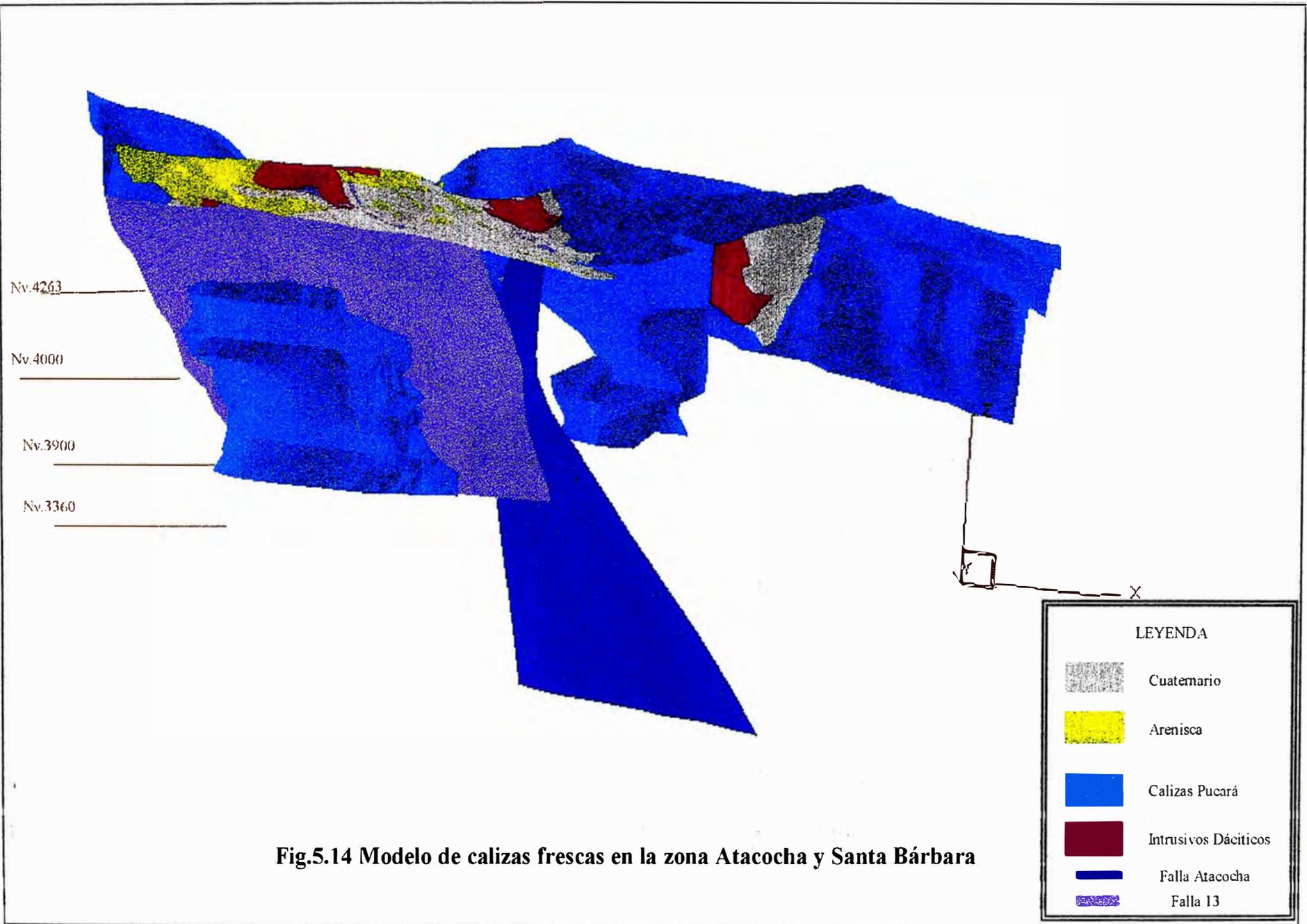


Fig.5.14 Modelo de calizas frescas en la zona Atacocha y Santa Bárbara

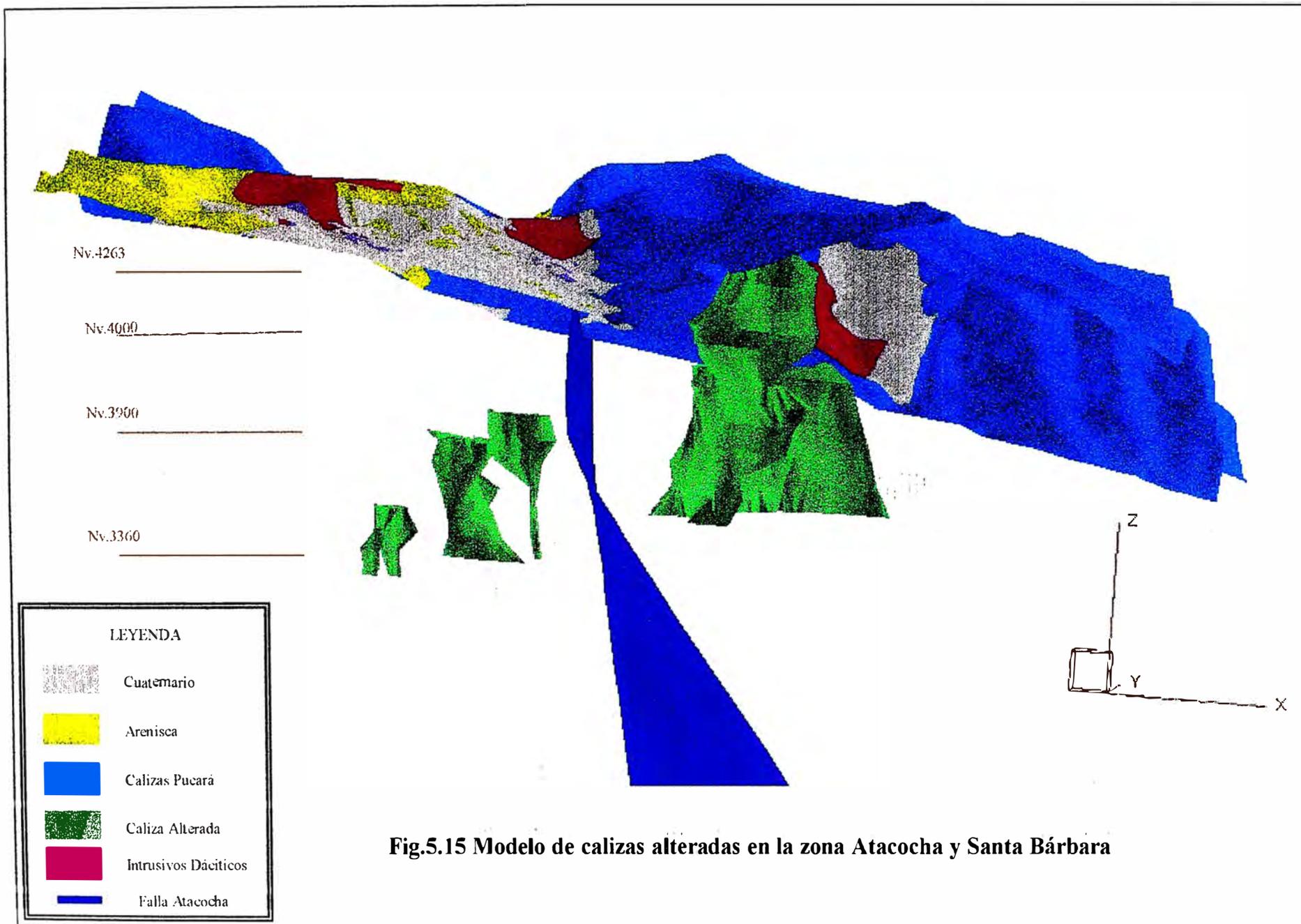


Fig.5.15 Modelo de calizas alteradas en la zona Atacocha y Santa Bárbara

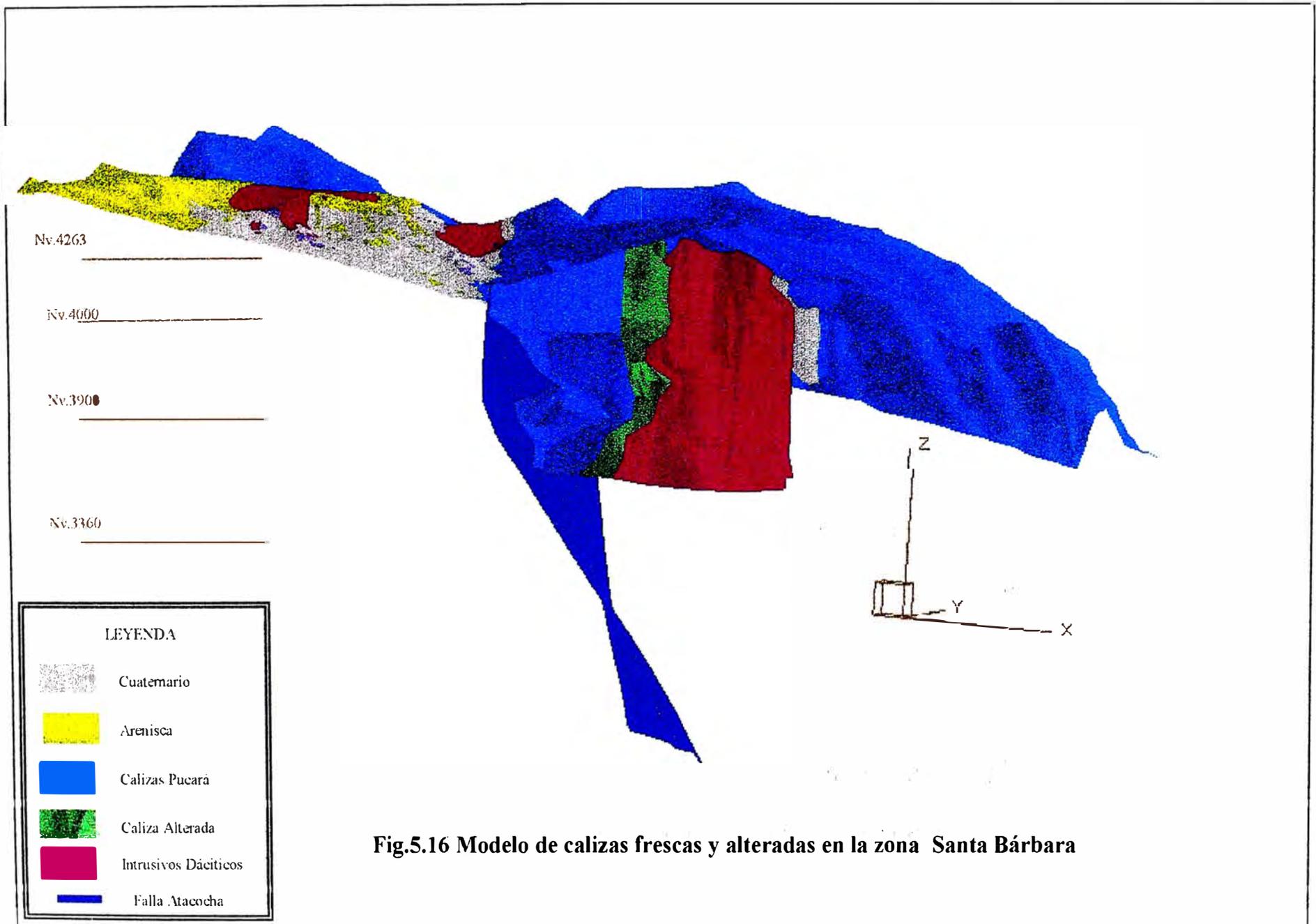


Fig.5.16 Modelo de calizas frescas y alteradas en la zona Santa Bárbara

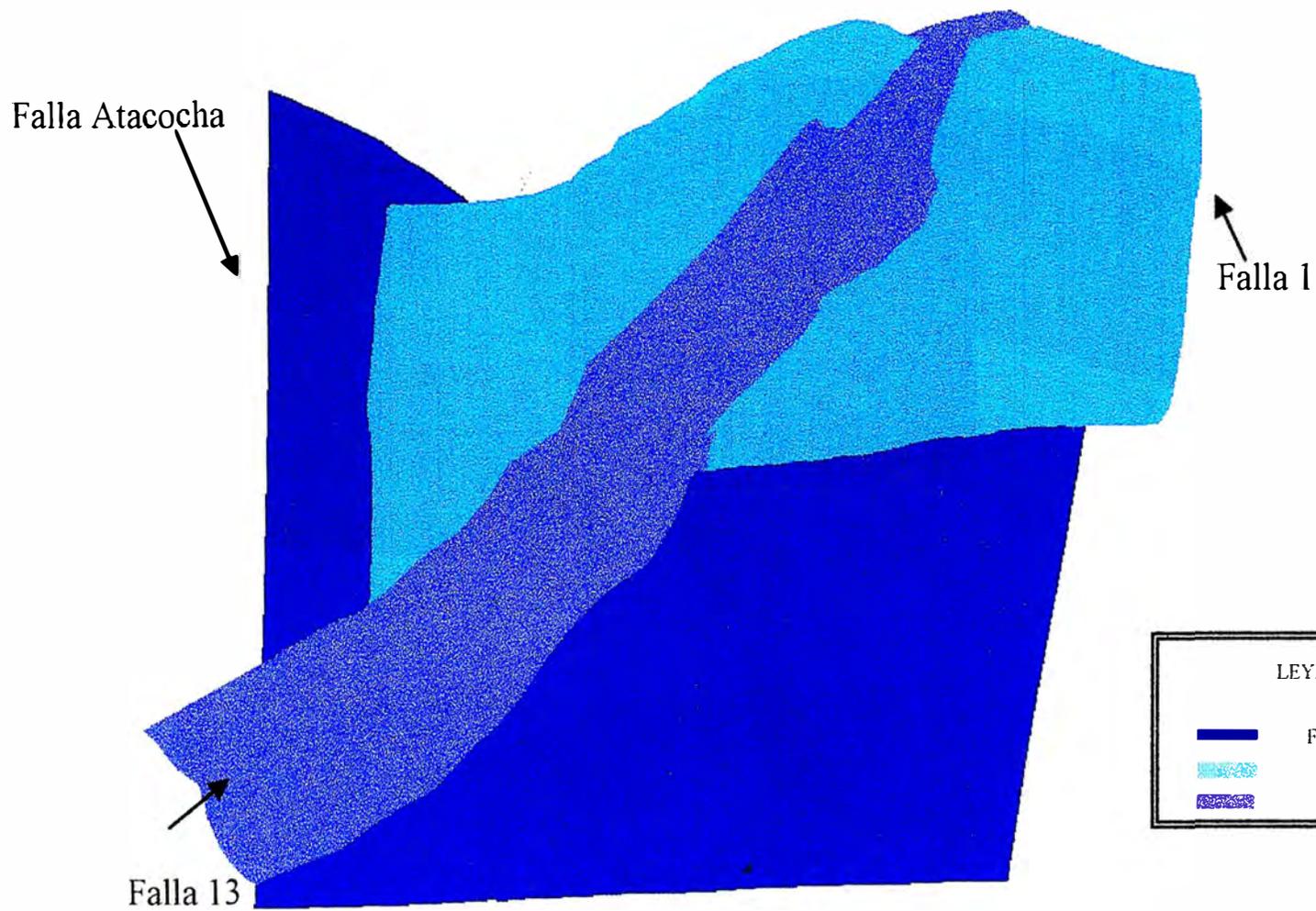


Fig.5.17 Modelo de fallas principales de la zona de Atacocha

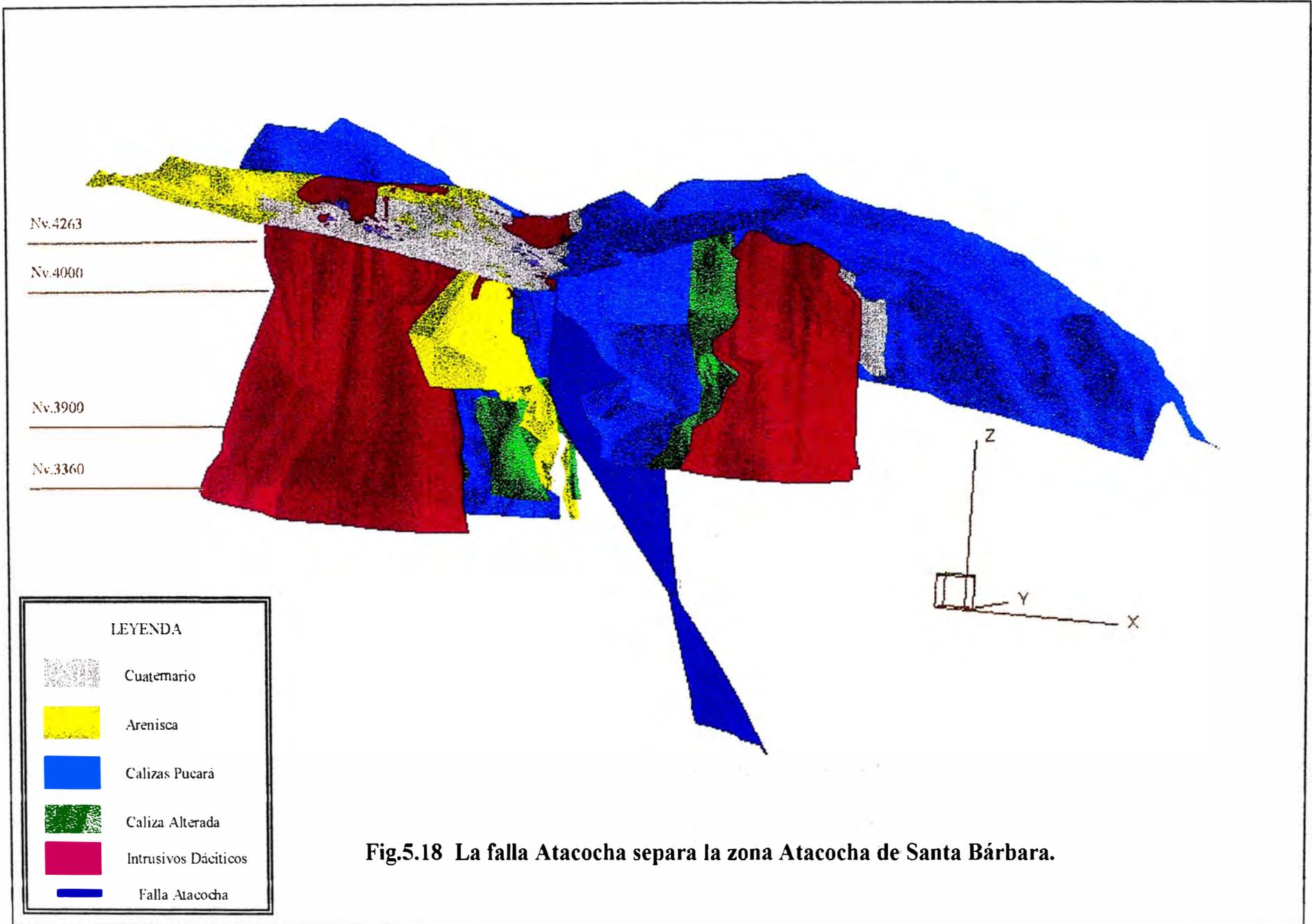


Fig.5.18 La falla Atacocha separa la zona Atacocha de Santa Bárbara.

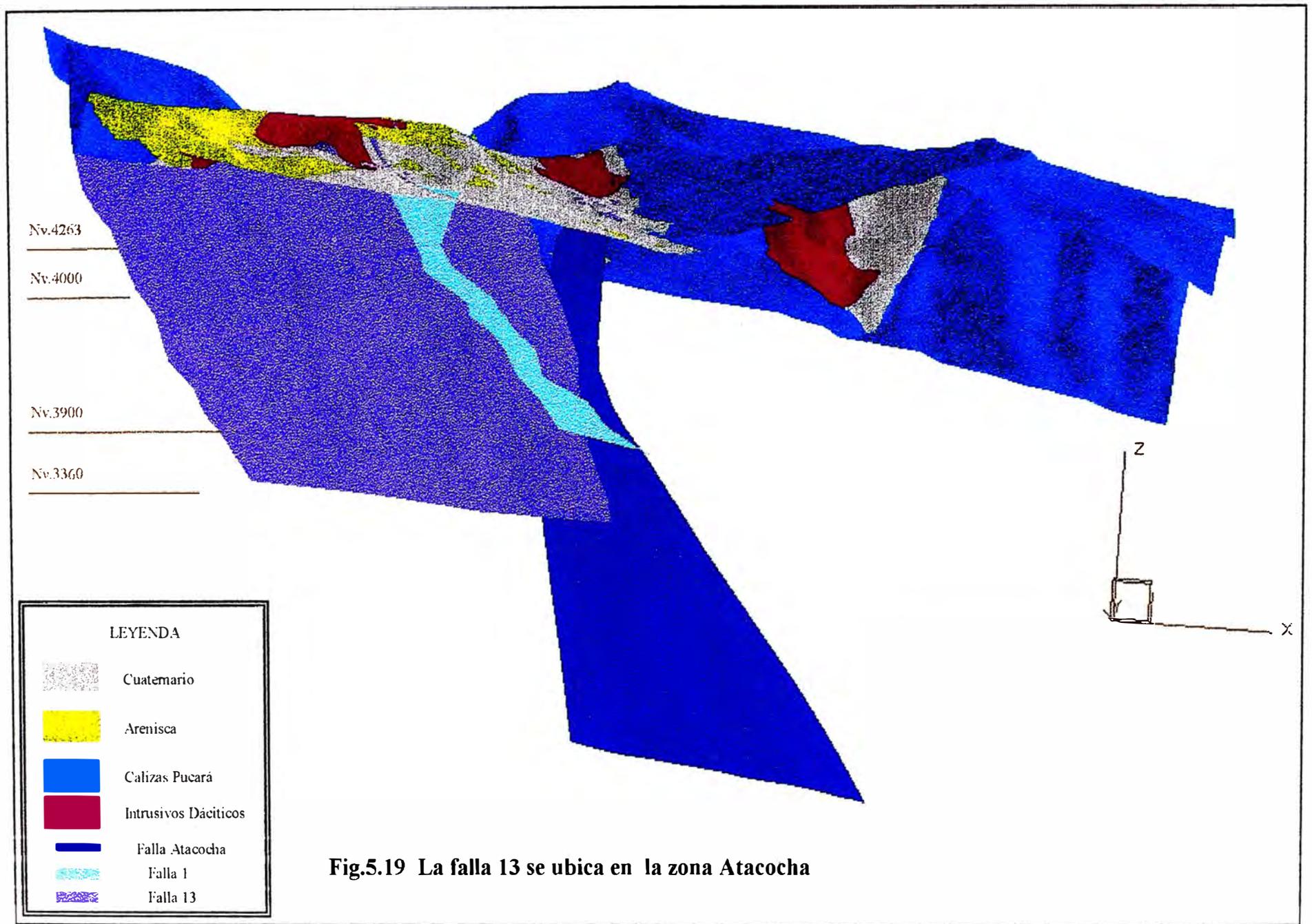


Fig.5.19 La falla 13 se ubica en la zona Atacocha

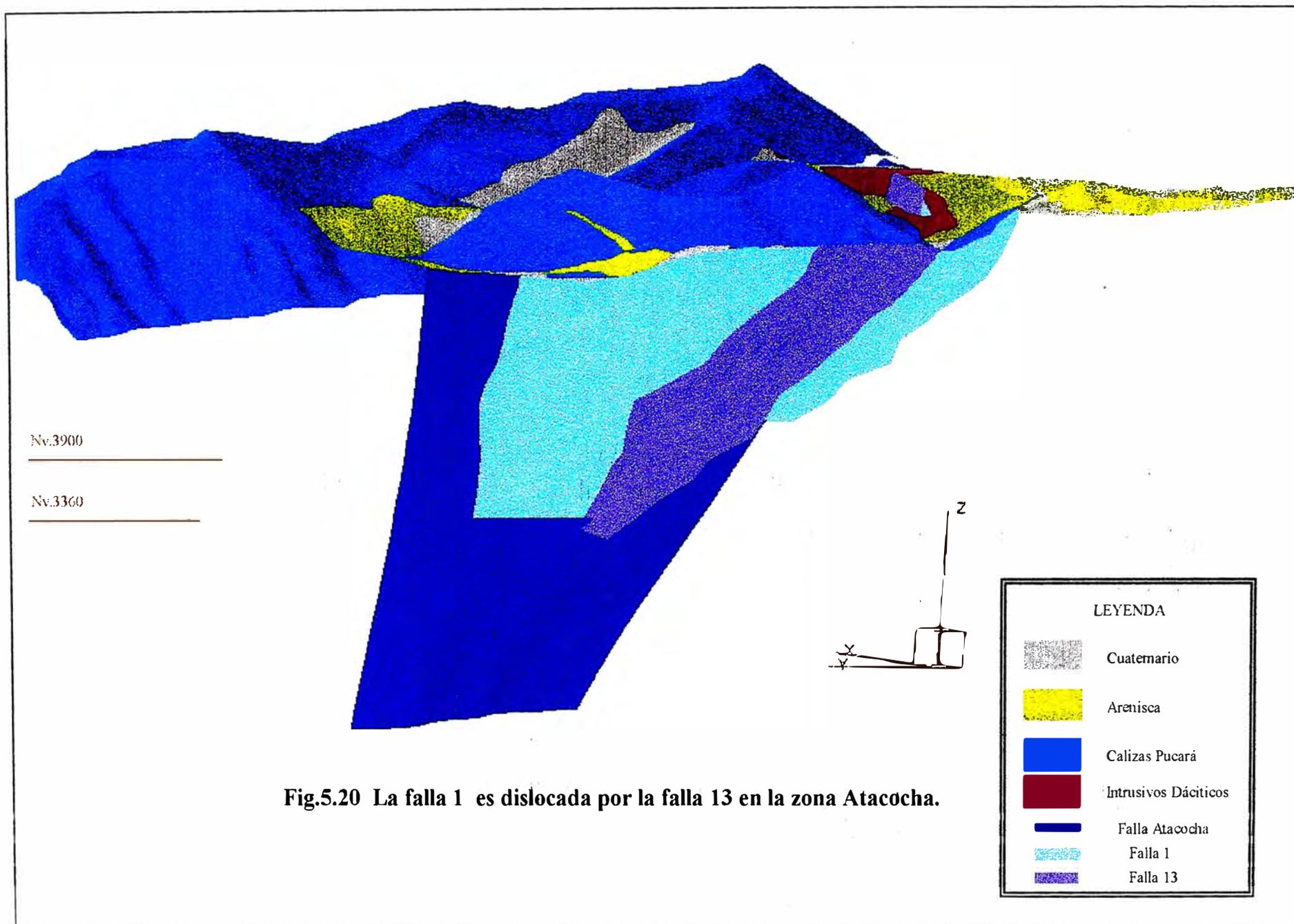


Fig.5.20 La falla 1 es dislocada por la falla 13 en la zona Atacocha.

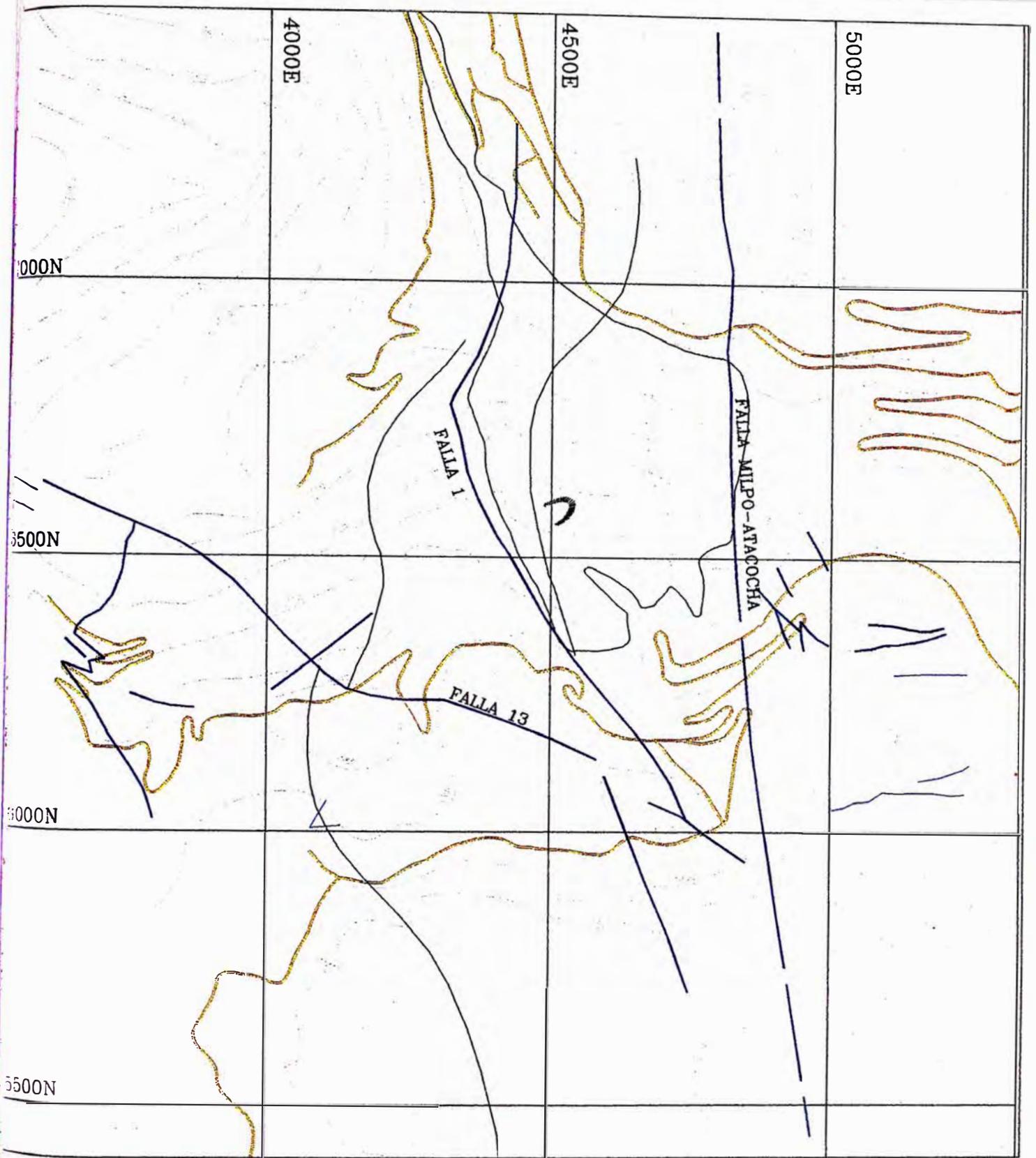


Fig. 5.21. Plano de principales estructuras de la zona Atacocha

SIMBOLOGÍA	
Firecha	▬▬▬▬ Carretera
Caño	× Rios y Quebradas
Eje de Anticlinal	— — Contacto definido
Eje de Sinclinal	- - - Contacto inferido
Estratos verticales	▬▬▬ Cancha de desmonte
Rumbo y Buz. de Estratos	— — Barreno de Triangulación
Bocamina	— —

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA ESPECIALIDAD DE GEOLOGIA	
<h2 style="margin: 0;">PLANO DE PRINCIPALES ESTRUCTURAS DE LA ZONA ATACOCHA</h2>	
Cía Minera Atacocha S.A.	Escala 1:50000
Dibujado Por: V.A.Q.I	Fecha Abril 2002

VI. APLICACIONES DEL MODELO GEOLÓGICO EN EL PROCESO DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN

El objetivo principal de la elaboración del modelo geológico tridimensional es tener una herramienta para el planeamiento y diseño del proceso de explotación de la mina. Esta meta es necesaria para que la mina alcance un nivel tecnológico y potencial con estándares de producción, seguridad y cuidado ambiental de acorde al desarrollo progresivo de la empresa.

El modelo tridimensional se emplea concretamente en el proceso de exploración, en la elaboración de proyectos mineros, en el control de avances y en el cálculo de reservas de cada ore body de la mina en las zonas de Atacocha y Santa Bárbara.

6.1 En el proceso de exploración

Muchos de los sondajes “históricos” de la mina corresponden aun programa de exploraciones muy austero carente de proyección prospectiva o con un radio de prospección menor a 200 m.

Hasta diciembre del 2001 se procesaron cerca de 3000 sondajes “históricos”, pero solo 1000 de ellos contaban con datos de coordenadas (x,y,z) y fueron considerados en el modelo tridimensional. Los otros 2000 fueron desechados.

Al ingresar los sondajes al modelo tridimensional , se pudo verificar la poca información que estos pueden aportar en la interpretación y modelamiento de más áreas. Estos sondajes solo verifican las zonas ya modeladas.

Por ello, se recomienda considerar no solo la realización de sondajes , sino quizás el empleo de métodos geofísicos para una futura programación de exploración. Preferentemente en las áreas de continuidad de cuerpos y estructuras rellenadas.

Los sondajes son muy necesarios no solo en la exploración, también lo son para realizar una cubicación. De ellos podemos obtener datos del muestreo de

lamas. Estos datos nos darían nuevas luces sobre las prolongaciones los cuerpos mineralizados.

En la Fig. 6.1. se presentan los sondajes ubicados y realizados en la zona de Santa Bárbara.

6.2 En la elaboración de proyectos mineros .

La realización de proyectos mineros esta a cargo del departamento de planeamiento de la mina. Estos proyectos consideran la realización de labores mineras necesarias para la explotación de un cuerpo mineralizado. También se realiza proyectos para las construcciones de labores adicionales, tales como labores de comunicación, transporte, ventilación y exploración, es decir , todo lo que comprende rampas, galerías, ventanas y chimeneas.

El departamento de planeamiento de la mina cuenta con el apoyo logístico y de personal de la consultora T-Matrix S.A.C. para la elaboración de estos proyectos. Para el cumplimiento de este propósito se utiliza el software Datamine. Este software es usado ya que la mina posee 3 licencias compradas, y esto permite trabajos simultáneos. La mina actualmente tiene 56 stopes en proceso de explotación con diferentes características de avance.

El modelo geológico es usado en la evaluación del método de explotación r, en determinados stopes, por ello se toman en cuenta ciertos criterios como tipo de roca a explotar, cercanía a una o varias fallas (locales o regionales) y posible contacto entre 2 tipos de rocas.

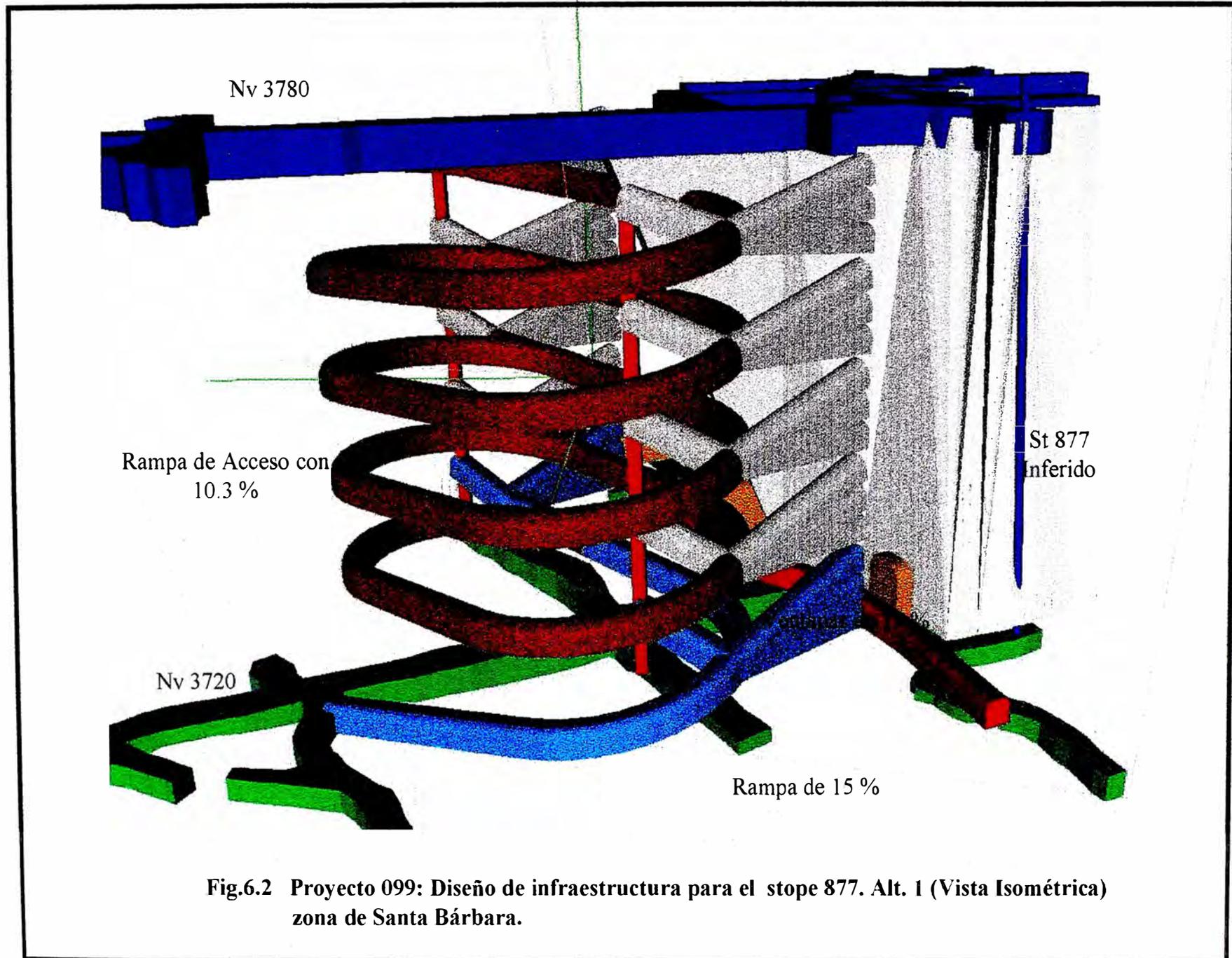


Fig.6.2 Proyecto 099: Diseño de infraestructura para el stope 877. Alt. 1 (Vista Isométrica) zona de Santa Bárbara.

En la Fig.6.2 se muestra el proyecto minero del stope 877 que se ubica entre los niveles 3720 y 3780 en Santa Bárbara. Este proyecto consiste en construir una rampa de 15 % de pendiente con ventanas también de 15%, para la explotación del ore body proyectado. Como labor de acceso se construirá una rampa de 10 % de pendiente.

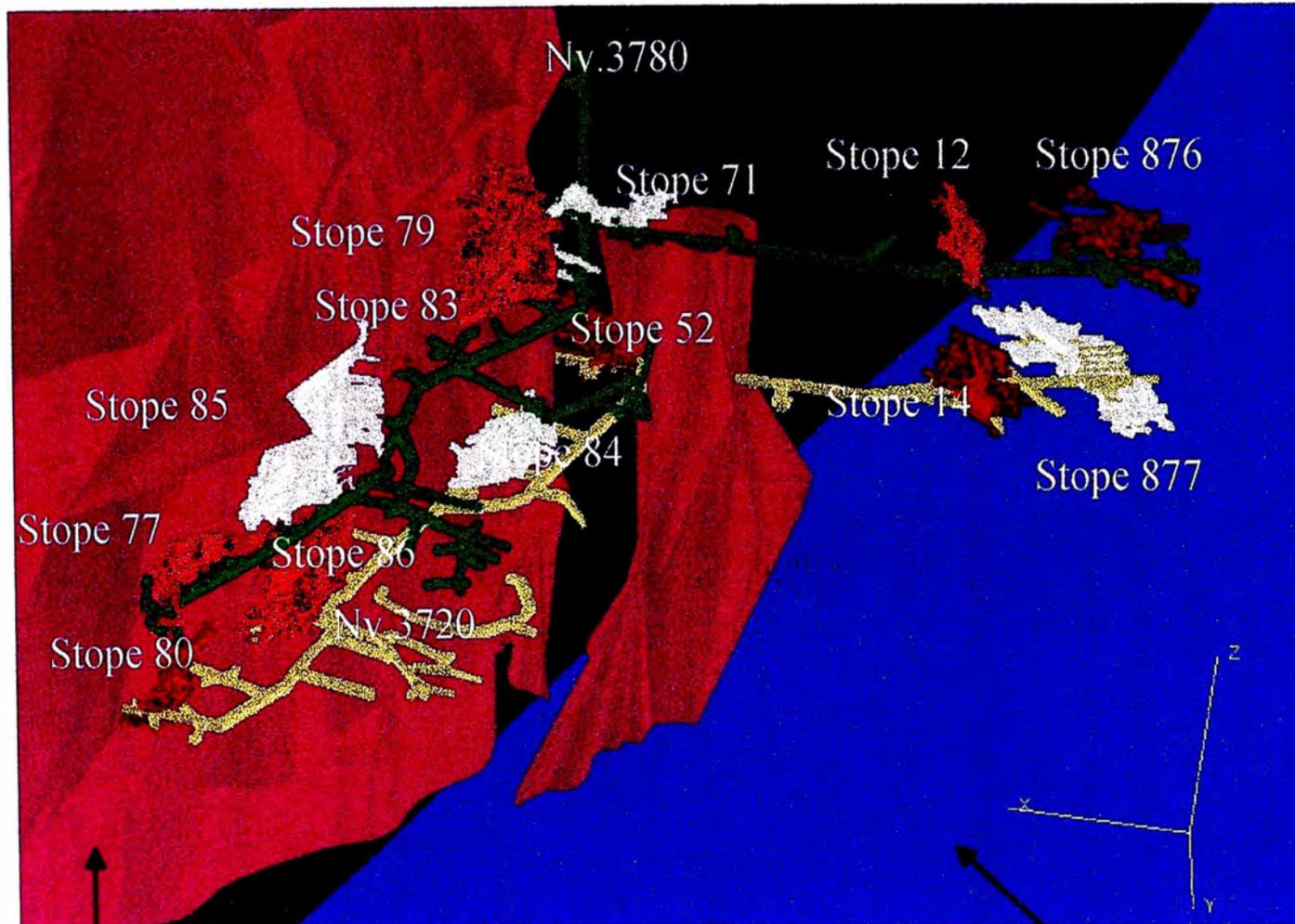
6.3 En el control de avances.

El proceso de control de avances consiste en mantener las longitudes explotadas por pisos de los ore bodies registradas en la base de datos. Esto permite registrar los pisos explotados por cada mes, a si como las leyes presentes en cada piso. De este modo, verificar todas las proyecciones planificadas previamente.

Si tenemos el modelo litológico y el control de avance podemos verificar las rocas cajas en las cuales este cuerpo se ha desplazado y su extensión. Del mismo modo, si hay una estructura que corta a este cuerpo, podemos postular el desplazamiento aparente de este a lo largo de esta estructura en forma inmediata.

Es esencial para mantener este control, la colocación de puntos topográficos en cada piso y su cartografiado sistemático para delimitar adecuadamente el cuerpo mineralizado y el material de caja extraído.

En la Fig.6.3 se tiene los stopes explotados en los niveles 3720y 3780 de Santa Bárbara. Mas de uno de ellos pertenecen a un solo ore bodie, pero por su explotación han sido considerados como estructuras mineralizadas independientes. Los colores de los stopes y niveles no obedecen a características de porcentajes de leyes , únicamente cumplen una elección aleatoria.



Intrusivo
Sta. Bárbara

Fig.6.3. Stopes. Nv. 3720-Nv.3780 Sta. Bárbara.

Los colores de los stopes son aleatorios no se rigen de ninguna clasificación

Falla Atacocha

6.4 En el cálculo de reservas por cada ore body de la mina.

El cálculo de reservas es el proceso de mas importancia en una mina, ya que de este depende sus fases de producción y expansión. La evaluación de sus reservas permite estimar el tiempo de explotación del yacimiento.

Durante todo el tiempo de vida de la mina este proceso de calculo de reservas fue llevado a cabo usando el método tradicional, realizado en 2 dimensiones. Para la evaluación de reservas se considero la recomendación del departamento de metalurgia, la cual consiste en diferenciar los tipos de rocas por el tratamiento metalúrgico que se les adecue.

El fundamento utilizado para esta clasificación es el contenido de Bi:

% Bi	Tipo de Mineral
< 5	Común
≥ 5	Especial

El cálculo de reservas se quiere reestructurar y para ello se planifica el uso de tecnología actual. Se programa los siguientes pasos a seguir:

Primero, se planea el cálculo por stope de la densidad del cuerpo , ya que este factor es variable en toda la mina.

Segundo, el empleo del software minero, para tener un soporte técnico que respete estándares.

Para darnos una idea como seria el cálculo de reservas de toda la mina, se plantea el siguiente ejercicio experimental realizado en el ore body La Pradera.

Caso experimental Ore Body La Pradera (Santa Bárbara)

En este ore body se extrajo datos del los 7 sondajes realizados en el área y también el muestreo sistemático llevado a cabo en labores que se desarrollan a lo largo de este ore body, haciendo un total de 453 muestras. Estos datos son mostrados en los siguientes cuadros:

Avances en labores principales de exploración
desarrollo y preparación

NIVEL	LABOR	LONG. TOTAL	# de muestras
3780	Cr. 5294 S Cte. E-11	7.00	3
3720	Cr. 5297 S Cr. 5297 S Cte. N-1 Cr. 5297 S Cte. S-2	772.50 5.00 7.30	250
3660	Cr. 5041 S	447.10	180
3600	Cr. 5220 S Cr. 5220 S Cte. W Cr. 5220 S Cte. W-1	47.90 5.40 7.30	20

Sondajes del Area de Pradera (Santa Bárbara)

SONDAJE	LABOR	INCL.	LONG.	RUMBO	COTA	FECHA	
						Inicio	Final
LYD-300-270	Rp. 990 S	3	144.20	N 22° E	3300	19/12/01	22/12/01
LYD-300-272	Rp. 990 S	-5	75.00	N 11° E	3300	23/12/01	25/01/02
ACD-780-264	Cr. 5294 E	-65	35.50	N 32° E	3780	29/11/01	07/12/01
ACD-780-265	Cr. 5294 E	-55	75.10	S 87° W	3780	02/12/01	06/12/01
ACD-840-267	St. 927 S	2	120.20	S 10° E	3840	09/12/01	12/12/01
ACD-840-269	St. 927 S	2	120.20	S 54° W	3840	13/12/01	21/12/01
ACD-840-271	Cr. 5294 E	-20	100.00	S 10° E	3840	21/12/01	24/01/02

El ingreso de data se hace a través de un proceso similar de ingreso de sondajes, explicado en el capítulo V (5.5); luego todos los datos se procesan, ha esta opción se puede acceder mediante la opción del Scheduling en la barra de comandos. En la Fig. 6.4 se explican las partes de la ventana del Scheduling.

Target Specifications

Field	Summation	Weight Field
ptvolume	sum	
tkvolume	sum	
tonnage	sum	

Period: 1
 4207

Chronos

Workbook: E:\101.chronos
 Reserve sheet current count: 1
 Target sheet current count: 1

Hoja de Objetivos 

	A	B	C	D	E	F
202				ptvolume	tkvolume	tonnage
203						

Reserve

Locate: Top Bottom Reserve: RESERVE

Row	Col	Area	ptvolume	tkvolume	tonnage
1	BLOCK 0.0	40000.000	94859.558	2.371	0.000
4	BLOCK 0.1	40000.000	94859.558	2.371	0.000
5	BLOCK 0.2	40000.000	94859.558	2.371	0.000
6	BLOCK 0.3	40000.000	94859.558	2.371	0.000
7	BLOCK 0.4	40000.000	94859.558	2.371	0.000

Function: @hidroservios.dbo Parameters: k:absl,urr:1:absl,efg

Don't send rows to target Send to target

Panel Maestro de Control 

Hoja de Reservas 

Fig. 6.4. Estructura del Scheduling.

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Luego de esto los datos están listos para su procesamiento, para ello también se ingresa información adicional y específica en el módulo, que a continuación se detalla:

- Para efectos del análisis experimental de este ore body se considera de densidad igual a 3.
- Para la obtención de la ley promedio, se tiene en cuenta que en la mina se ha clasificado como dos tipos principales de mineral; para ello se calculo por separado el volumen de mineral común y especial.
- Para el cálculo del radio de estimación y parámetros geoestadísticos se aproxima una simulación de variograma conceptual acorde con las características del yacimiento.

En la Fig. 6.5 podemos ver los formatos de los reportes finales del calculo experimental realizado.

Del calculo de reservas experimental para el ore body La Pradera tenemos los siguientes resultados, presentados el siguiente cuadro:

% Pb	%Zn	Oz. Ag	Oz. Au	%Cu	Volum. Parcial	Toneladas Parciales	Tipo de Mineral	Ore Body
4,26	4,21	6,44	0,0020	0,49	758.03	2079.084	Común	Pradera
1,00	4,75	4,48	0,0310	0,38	102.54	700.783	Especial	Pradera

Del cuadro podemos apreciar lo siguiente:

- El porcentaje de plomo es mayor en el mineral común que en el mineral especial.
- EL contenido de plata es ligeramente mayor en el mineral común que en el especial.
- El volumen total roto sería 860.57 m^3 y con 2779.867 toneladas totales a tratar en diferentes procesos.

VIEW3

	Block Name	CU	PRODUCT	TOTAL MASS
2	Accumulation	0.017		12164411.948
3	FASE1_2000_ESTERIL	0.024	ESTERIL	85704.278
4	FASE1_2030_ESTERIL	0.018	ESTERIL	170675.702
5	FASE1_2040_ESTERIL	0.032	ESTERIL	383974.004
6	FASE1_2050_ESTERIL	0.023	ESTERIL	192095.141

VIEW4

	Block Name	CU	PRODUCT	TOTAL MASS
2	Accumulation	1.023		62057926.450
3	FASE1_2000_MINERAL	0.710	MINERAL	195505.110
4	FASE1_2030_MINERAL	0.714	MINERAL	281960.476
5	FASE1_2040_MINERAL	0.772	MINERAL	444226.547
6	FASE1_2050_MINERAL	0.796	MINERAL	602715.939
7	FASE1_2060_MINERAL	0.857	MINERAL	856526.629
8	FASE1_2070_MINERAL	0.904	MINERAL	1025483.332

Clasificación de la información, condicionando los datos por un campo de la hoja de reservas

Adición de campo de acumulación predefinido automático

Parcelización de la información de la hoja de reservas para mayor simplicidad a la vista

Chronos Reporting

Fig. 6.5. Finalmente, las cubicaciones se encuentran en una hoja de calculos, que presentan una estructura sencilla de comprender.

Con estos datos podrían realizar una programación posterior, de explotación de acuerdo a la capacidad y proyección de avance de la mina. Para ello cada bloque o piso a explotar estaría sujeto a un período de tiempo. Estos periodos serían diferenciados con colores diferentes.(Fig.6.6).

Sabiendo que la reservas estimadas para toda la mina en Junio del 2000 fueron 4'505,290 TM con leyes de 2.95% Pb, 6.01%Zn y 3.61 Oz/Ag (H. Delgado). Podemos proyectarnos a estudios detallados posteriores que nos reafirmen estos datos.

Estas reservas son un tanto esperanzadoras para el futuro de la mina. Pero si la estimación contara con mas datos o con procesos mas detallados, esta estimación podía ser considerada con mucho mas sustento tecnológico y estratégico.

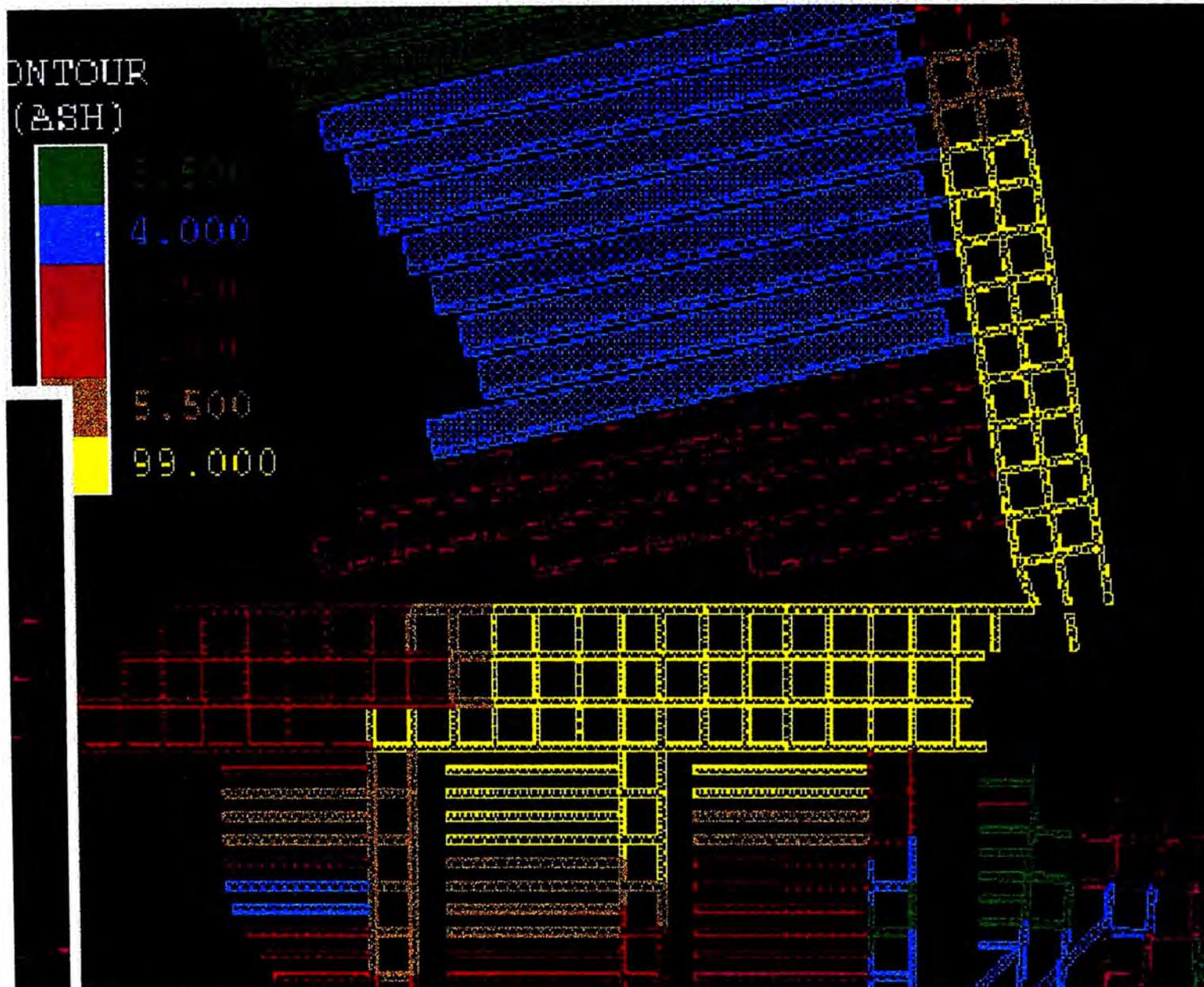


Fig.6.6. Representación de modelo de bloques y su periodo de explotación del Ore Body La Pradera (Santa Bárbara)

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

La utilización de procedimientos claros y precisos para la elaboración del modelo geológico contribuye a minimizar los errores.

La creación de todos los componentes del Modelo en forma conjunta permite guardar coherencia en nuestro trabajo, y detectar cualquier incongruencia.

La interpretación geológica aplicada adecuadamente en las secciones disponibles previamente al modelaje litológico permitirá establecer una concordancia durante la construcción del modelo.

El conocimiento de la geología y las interpretaciones locales hechas por personas de experiencia en la zona nos permite la elaboración de modelos conjuntos que se verificarán en el proceso y cada vez nos acercaran mas a la realidad.

Los modelos geológicos nos permiten tener conocimiento tentativo de un yacimiento, pero no son 100 % representaciones de realidad. Estos modelos se modifican y verifican en el transcurso de las fases de exploración y explotación.

7.2 RECOMENDACIONES

Es urgente elaborar programas de exploración en áreas posibles de ubicación de mas reservas. En algunos casos es necesario la verificación datos en áreas donde los datos no tengan una consistencia necesaria.

Cuando se toma la determinación de construir un modelo tridimensional se debe tener en cuenta reunir toda la información posible. Esto incluye base de datos con coordenadas exactas de ubicación muestras o ubicación de taladros, interpretaciones geológicas en secciones, planos de campo, etc.

Es esencial tener toda la información en un solo sistema de coordenadas, para el desarrollo del presente trabajo se tuvo que trabajar con dos sistemas de coordenadas independientes uno de otro, tanto en la zona de Atacocha como Santa

EMPLEO DEL SOFTWARE VULCAN EN EL MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Bárbara. Al hacer la transformación de un sistema a otro se genera un error decimal, que al realizarse constantemente altera los datos.

Para el trabajo con secciones geológicas o planos geológicos deben escogerse los de mayor información y luego las informaciones complementarias serán aplicadas para la verificación de datos y mejoramiento de zonas de difícil interpretación.

Al escogerse del mercado un software para el procesamiento de datos, modelamiento geológico, estimación de reservas, etc, debe de tomarse en cuenta lo siguiente: el área del yacimiento, la cantidad de datos a procesar, las características de almacenamiento de datos, definir los trabajos específicos del inicio y fin del proyecto, la actualización constante de los datos, la compatibilidad del software con otros software, la compatibilidad del software con el hardware. Lo más importante de estas características es la factibilidad de que el software se adapte al tipo de yacimiento y sistema de producción de la mina.

BIBLIOGRAFÍA

- Arancibia, M.(1995) Modelamiento Geológico Usando ENVISAGE - Mina Ok Tedi. Conferencia de Usuarios del Vulcan
- Arancibia, M.(2001) Maptek Australia, Vulcan 3D Software.
- Arias, A.(1953) Compañía Minera Atacocha S.A.
- Cobbing, J.; Quispesivana, L.; Paz, M.(1996) Geología de los Cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores. Boletín N° 77. Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Evans, M.(1995) Monitoreo en VULCAN. Conferencia de Usuarios del Vulcan.
- Galaz, C. (1999) Muestreo de Canales. Conferencia de Usuarios del Vulcan
- Gunesh, K.; Gunnesh, M.(1988) Evolución Magmática en el Distrito de Atacocha; Morfología de Crecimiento y composición Química de las Plagioclasas. Boletín N° 78. Sociedad Geológica del Perú. Pág. 225-235.
- Gunnesh, K. (1986) Role of Growth Morphology and chemistry of the Plagioclases as interpretation tool for the magmatic evolution in the Atacocha District (Central Peru); Coloquio Latino-Americano de ciencias de la Tierra. Pág.1-16.
- Husbands, M. (1999) Mejoras en Base de Datos. Congreso de Usuarios del Vulcan.
- Johnson , R.; Lewis, R.; Abele G.(1955) Geology and ore deposits of Atacocha Distric, Department of Pasco, Perú .Pág. 343-372.
- Ramírez, A.(1998). Sistema de Monitoreo. Conferencia de Usuarios del Vulcan .
- Smon, N.(1998) CHRONOS, Descripción, Nuevos desarrollos. Conferencia de Usuarios del Vulcan.

ANEXO 1

Inicio de un Proyecto en el Vulcan

```
VULCAN 2          * PARAMETERS FOR NAMING FILES *          IGSPRM

Please complete/check the following details:

Project Code <PROJ>          ABC
Map sheet or window name <CWI>  TEST  
```

```
VULCAN 2          * JOB ACTION *          IGSJOB

Project code name is      : ABC
Envisage.

This job may now be run if the specifications
are correct. You may :

0. Quit - Return to menu, job is not run.
1. Run the job using the current specification data.
2. Review or edit the specification data for this job.
3. Save job for later batch processing.

Select an option : 2

-----
Press the HELP key for further information.
```

Job Specification - Panel 1

VULCAN 2

** SETTING UP INPUT SPECIFICATION FILE **

IGSFIL

The new input specification file will be called : **ABCTEST.DG1**

The specifications may be copied from a similar existing file

Name an existing file if you want to copy from it : **XYZ.DG1**

Press the HELP key for further information

Job Specification - Panel 2

VULCAN 2

** DEFAULT MAPPING WINDOW **

Easting Minimum	563000.000
Easting Maximum	565500.000
Northing Minimum	3746000.000
Northing Maximum	3748500.000
Level Minimum	-100.000
Level Maximum	400.000
Vertical Exaggeration	5.0
Display grid	AMG
Coordinate unit	METRE

F=Forward, B=Backward, P=Print, E=Exit **F**

Job Specification - Panel 3

VULCAN

** STARTUP DEFAULTS **

Spatial design identifier TOTAL

Design Layer

Load Screen

F=Forward, B=Backward, P=Print, E=Exit

Job Specification - Panel 4

VULCAN 2

** STARTUP DEFAULTS **

Grid Mesh Models

Model name TOP.TP

Colour (1 to 32) 5

Directions (X, Y or B for Both) B

F=Forward, B=Backward, P=Print, E=Exit

Job Specification - Panel 5

VULCAN 2 ** SCREEN AND TABLE CONFIGURATION **

Table Break Key F

Table Format (A1,2(F5.0,1X))

Screen Snap tolerance 0.0

F=Forward, B=Backward, P=Print, E=Exit

Job Specification - Panel 6

VULCAN 2

** END OF USER INPUT **

IGSDST

Project code name is : ABC
Old input file copied was : XYZ.DG1
New input file created is : ABCTEST.DG1

The job is now ready to run.

- 0. Quit - new specification file is not updated.
- 1. Exit - new specification file is updated.
- 2. Review or edit your new specification options.
- 3. Run the job at this terminal using the new input file.
- 4. Save the job for later batch processing.

Select an option : 3

Press the HELP key for further information.

Anexo II

GLOSARIO

Stocks.- Estructura geológica masiva de material magmático, generalmente plutónico, cuyo afloramiento en la superficie terrestre abarca extensiones mayores de 10 km² y menores de 100 km².

Ore bodies.- Los cuerpos mineralizados que se forman por la intrusión de rocas sub-volcánicas en calizas y areniscas.

Pit.- Método de explotación superficial aplicada en la explotación de yacimientos de gran producción y de factibilidad inmediata.

Nivel.- (Nv.) Labor de desarrollo que se emplaza en las cercanías de una cota determinada.

Stope.- Método de explotación subterráneo, a manera de cámaras que se desarrollo en grandes cuerpos emplazados en el interior de la Mina. Típicamente, labores en proceso de explotación.

ABREVIATURAS

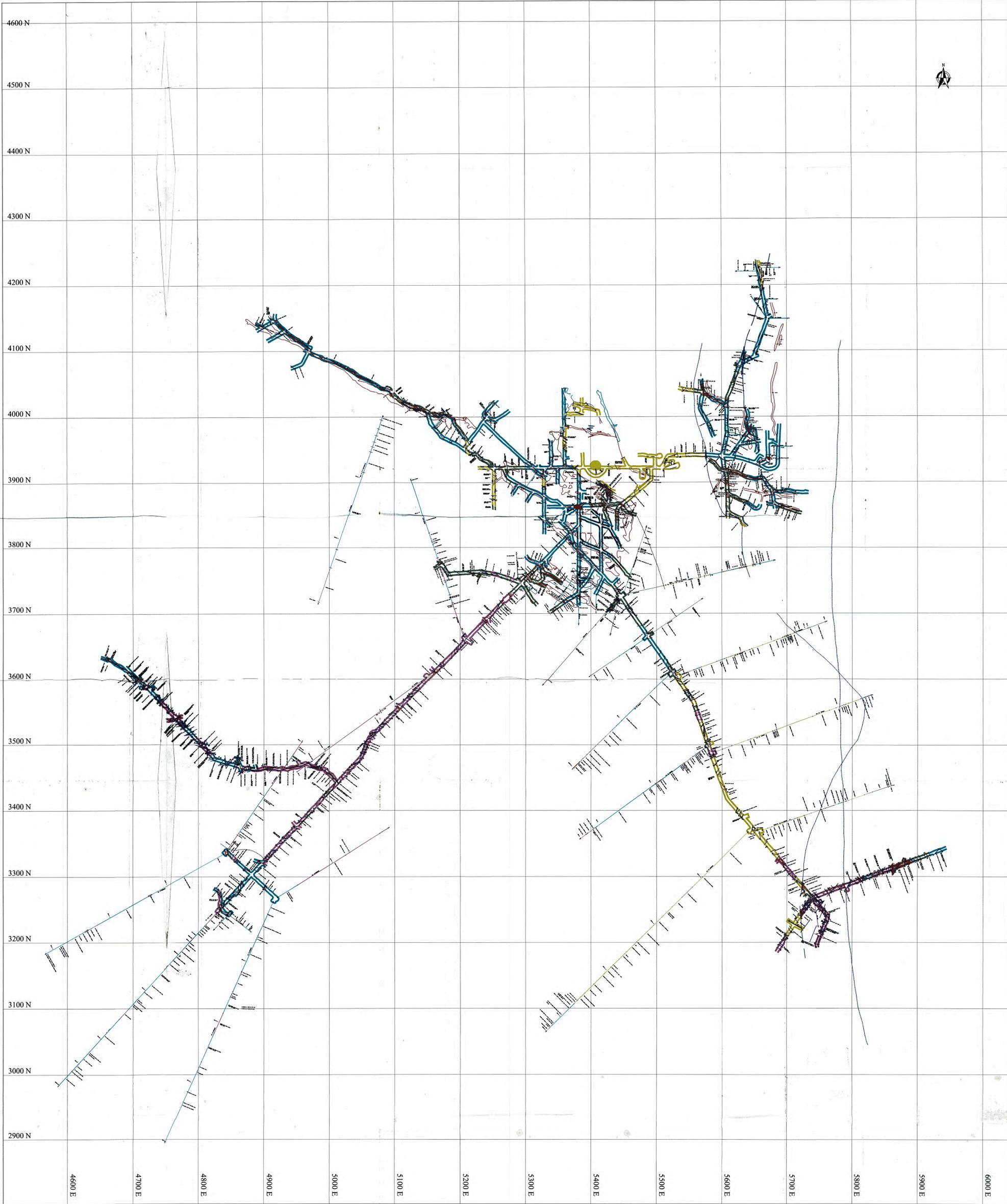
gn –galena

ef- esfalerita

cp- calcopirita

py-pirita

PLANO 01

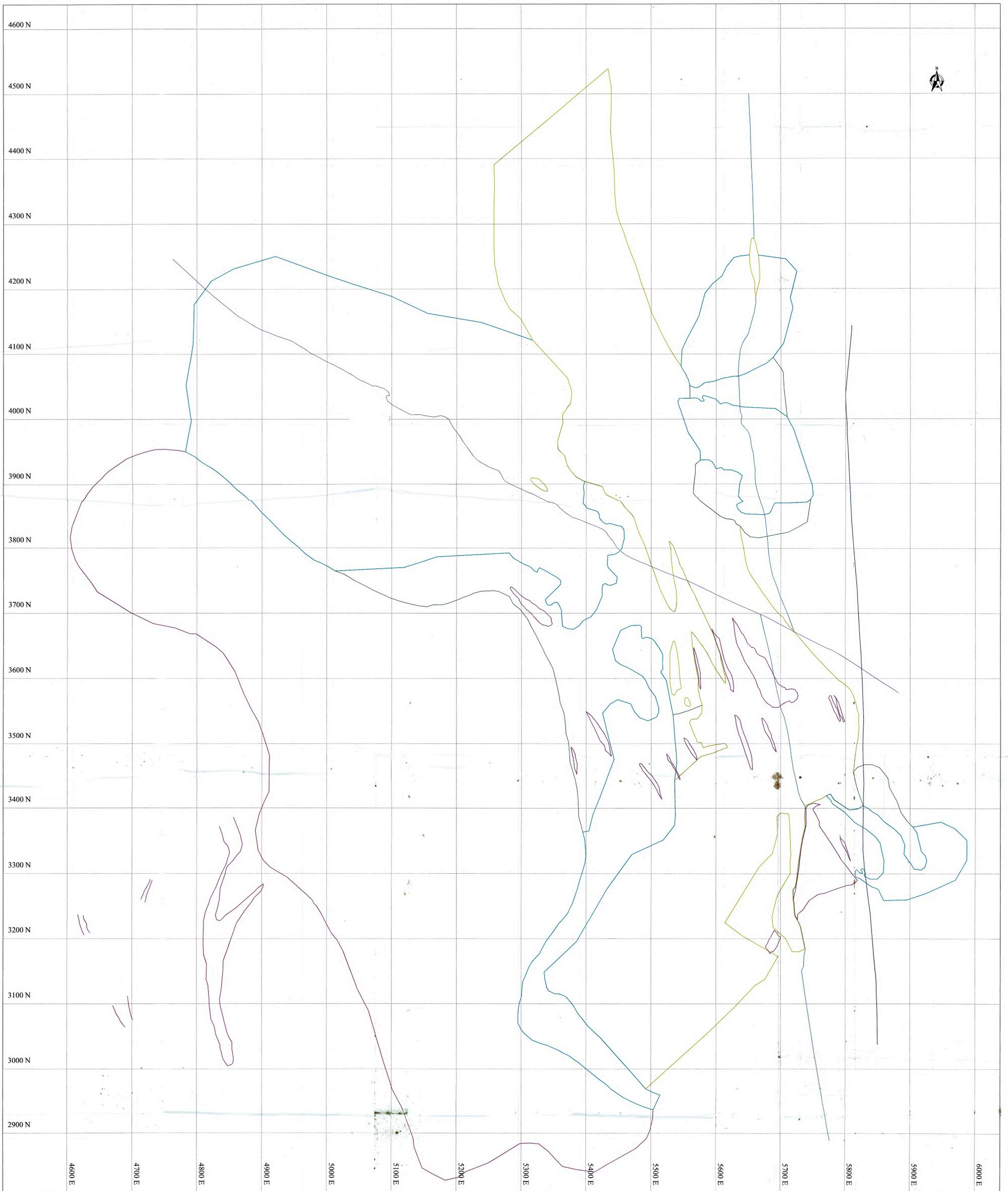


LEYENDA

— Falla Definida	▣ Caliza Negra
- - - Falla Inferida	▣ Caliza Silicatada
— Contacto Definido	▣ Arenisca
- - - Contacto Inferido	▣ Dacita
— Veta	▣ Brecha Silicea
75° 45° Buzamiento	▣ Lutita
— Diacclasas y/o juntas	
— Lente u "ojo" de mineral económico	
— Lente u ojo de mineral no económico	

Area de Geología		 COMPAÑIA MINERA ATACOCHA S.A.A.	
Revisado:	Descripción		
Aprobado:	Plano de Geológico Atacocha Nv 3715		
Geólogo:			
Topógrafo:			
Dibujo CAD:			
File:	G-At-Nv-3715	Fecha:	05/01/2002
		Escala:	1 / 2000
		Nº Plano:	1

PLANO 02



LEYENDA	
CONTORNO INTRUSIVO	
CONTORNO CALIZA SILICATADA	
CONTORNO CALIZA NEGRA	
CONTORNO ARENISCA	
FALLA ATACOCHA	
FALLA 1	
FALLA 13	

Area de Geología		 COMPAÑIA MINERA ATACOCHA S.A.A.	
Revisado:	Descripción		
Aprobado:	Plano de Contornos Atacocha Nv 3715		
Geólogo:			
Topógrafo:			
Dibujo CAD:			
File:	Fecha:	Escala:	Nº Plano:
G-At-Nv-3715	05/01/2002	1 / 2000	2