

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica



**MODELAMIENTO GEOLOGICO TRIDIMENSIONAL DEL
CERRO CHICCHE UTILIZANDO EL SOFTWARE
MEDSYSTEM/MINESIGHT
MINA SIPAN**

**INFORME DE INGENIERIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO GEOLOGO**

**Presentado por:
JUAN JOSE BENAVIDES GONZALES**

Lima – Perú

1999



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
COMPAÑÍA MINERA SIPAN

**MODELAMIENTO GEOLÓGICO TRIDIMENSIONAL DEL
CERRO CHICCHE USANDO EL SOFTWARE
MEDSYSTEM/MINESIGHT**

MINA SIPAN

por Juan José Benavides Gonzales

Dedicatoria

Nunca he sido muy afecto a los sentimentalismos, sin embargo no puedo dejar de sentir la necesidad de dedicar este pequeño esfuerzo a los seres que amo.

Esto es por mis padres Alicia y Juan José, quienes siempre me quisieron tanto o más de lo que yo los amo.

A mis hermanos, Cecilia, Iván y Javier, independientes siempre uno del otro, pero también siempre juntos.

A mi esposa, mi compañera, mi amiga, Liz, a quien amo con toda mi alma y es la fuerza que me motiva a buscar siempre una próxima meta que alcanzar.

A mis hijos, José Enrique y Andrés Arturo, quienes son la adoración de mi vida y cuyos juegos y gestos de cariño alegran mi corazón en todo momento.

Agradecimientos

Hay mucha gente a la que tengo que agradecer las facilidades y ayuda en la realización de este trabajo, entre ellas quiero mencionar solo a algunas

Al Ing. Enrique Figueroa R. quien me apoyó desde el primer momento en lograr que esto salga a la luz y por las sugerencias y observaciones que tuvo a bien hacerme. Su apoyo no fue solamente en este tema, sino en muchos en los que por algún motivo hubo necesidad de ello.

A los Ings. Miguel Aramburú, Tomás Guerrero y Hugo Candiotti quienes no dudaron en dar luz verde para que este trabajo pueda ser publicado.

A Manuel Vera Acosta con quien aprendimos todo el proceso e inicialmente trabajó conmigo este proyecto, quien además siempre estuvo dispuesto a colaborar y sugerir cuando fue necesario. La parte interpretativa hubiera sido muy difícil sin su aporte y conocimiento del área en cuestión.

A todos los amigos que de alguna u otra forma me ayudaron o alentaron en el logro y conclusión de este trabajo.

A todos ellos, muchas gracias.

Sinceramente, Muchísimas Gracias.

Indice

Resumen

Introducción

Ubicación y Acceso

Antecedentes

Geología

Geología Regional

Geología Estructural

Geología Local

Alteración

Mineralización

¿Qué es Modelamiento Geológico?

Sobre el Software MedSystem/MineSight

Software Adicional y Hardware

Secuencia del Trabajo Realizado

Adopción de Convenciones

Preparación de Datos

*Ingreso de la Información a
MedSystem/MineSight*

Generación de Datos en MineSight

Cálculo de Reservas Geológicas

Bibliografía

Resumen

La intención del presente trabajo es presentar una secuencia de pasos a realizar cuando se desee efectuar el modelamiento geológico tridimensional de un yacimiento utilizando la computadora como recurso principal.

Lo primero es obviamente contar con el software adecuado, el cual se compone de un programa de diseño asistido por computadora, un editor de textos, una hoja de cálculo, un editor de gráficos, un paquete de aplicaciones mineras y de ser posible un manejador de bases de datos.

El hardware, que también es parte importante, debe constar de al menos un computador Pentium o superior, un tablero digitalizador, una impresora y un plotter.

El trabajo se inicia con el ordenamiento e ingreso de los datos geológicos a la computadora, es decir, topografía, mapeos, muestreo, leyes, registros de perforación, etc. Se continua con la verificación de los datos ingresado, la conversión de datos al formato necesario para su trabajo con el software de aplicaciones mineras, y la carga de los datos a dicho software.

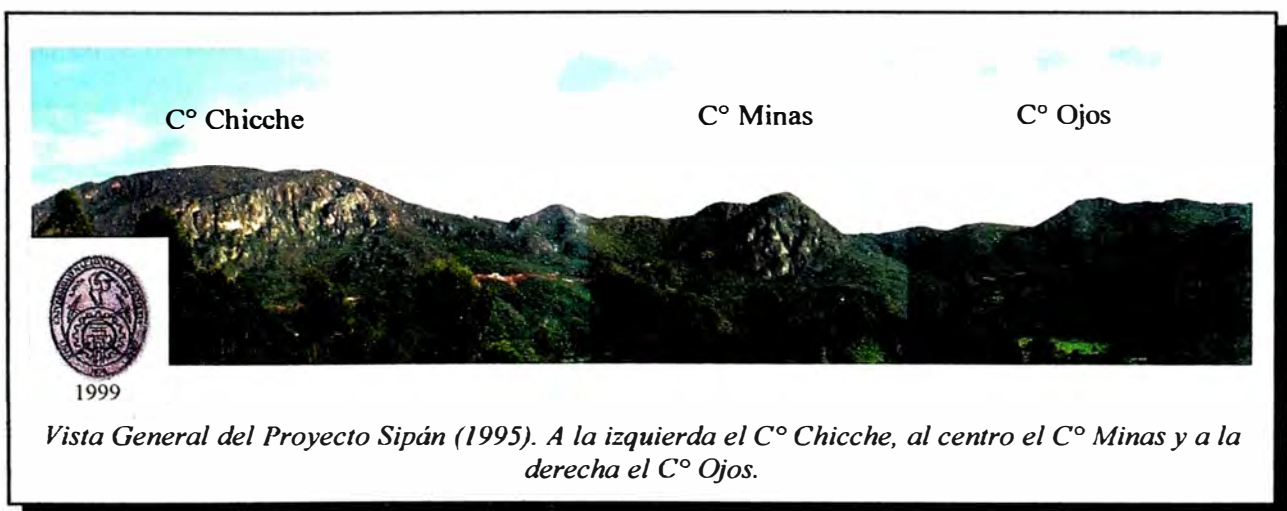
El siguiente paso es realizar los trabajos de creación e interpretación de secciones en papel y posteriormente en computadora, correlación de secciones, obtención de secciones en planta por banco y finalmente el cálculo de volúmenes.

Todos estos pasos son detallados en el transcurso del trabajo presentado y espero que sean aplicables a cualquier tipo de software independientemente del fabricante. Es fácil deducir que no todos los programas cumplirán con estas intenciones pero, creo yo, que con pequeños cambios se podrá efectuar un trabajo mucho más que satisfactorio.

Introducción

El yacimiento Sipán está ubicado en el Departamento de Cajamarca en el norte del Perú; está emplazado en rocas volcánicas del Terciario, en la parte noroeste de la Cordillera de los Andes Peruanos. Esta región, de gran potencial minero, alberga también a los yacimientos polimetálicos de Hualgayoc, al depósito de pórfido de cobre Michiquillay y a los yacimientos de oro diseminado de Yanacocha. La alteración hidrotermal es típica de un depósito epitermal de alta sulfuración así, se tiene silicificación, argílica avanzada (cuarzo-alunita) y argílica (caolín, arcillas). Dentro del yacimiento se ha reconocido tres depósitos: Ojos, Minas y Chicche, de los cuales, los dos primeros se hallan actualmente en explotación y el tercero es objeto del presente estudio.

La Mina Sipán produce como elemento principal oro, el cual se extrae en minería de tajo abierto tratando el mineral oxidado en pads de lixiviación por el método heap leaching - Meryll Crowe, produciendo en 1998, 187,000 Oz de doré. Inició sus operaciones en octubre de 1997, siendo en la actualidad el tercer productor de oro del Perú, detrás de Minera Yanacocha y Minera Barrick Misquichilca. Las reservas geológicas del yacimiento son de alrededor de 1 millón de onzas de oro con una ley promedio de 2.08 gr/Au y 0.72 gr/Ag en los cerros Minas y Ojos, estimándose para el Cerro Chicche un potencial adicional de 50,000 onzas.



Cabe indicar que por cuestiones operativas de planta, no se trata material que contenga más de 50% de sulfuros (principalmente pirita) como mineral visible.

El producto final son barras de doré con aproximadamente 80% de Au, 10% de Ag y 10% de impurezas como Cu, Pb y Zn; el peso aproximado es de 12 a 14 kg por barra.

La estimación de reservas de mineral es uno de los aspectos más importantes en la decisión de explotación de un prospecto minero. Esta se lleva a cabo en tres etapas claramente definidas que son:

- La Etapa de Exploración del Prospecto; donde mediante mapeo geológico a diferentes escalas, muestreo superficial, perforación de taladros diamantinos, etc. se hace un primer estudio geológico para determinar las características del yacimiento objeto del estudio.
- El Modelamiento Geológico del Prospecto; que se efectúa tomando como base los resultados y conocimientos adquiridos en la etapa anterior para interpretar y determinar los límites y tendencias de la zonas mineralizadas del prospecto. Esta es la etapa en la cual se desarrolla el presente trabajo.
- El Análisis Geoestadístico del Prospecto; que empleando las herramientas de la geoestadística y los resultados del modelamiento geológico, estima las reservas minerales económicas del prospecto.

Estas etapas se realizan en la secuencia indicada, sirviendo los resultados de una etapa en la realización de la etapa posterior.

En este trabajo se describirá los pasos seguidos para efectuar el modelamiento geológico del depósito Cerro Chicche, el resultado de esta labor será la base sobre la cual el área de planeamiento hará posteriormente el cálculo de reservas minables y su respectivo planeamiento.

Para este fin, la Compañía Minera Sipán utiliza como una de sus herramientas principales, el software MedSystem-MineSight elaborado por Mintec Inc. Este software está diseñado para realizar el modelamiento geológico, cálculo de reservas, planeamiento de mina a corto y largo plazo, manejo de taladros de disparo, etc.

Para la utilización de este software ha sido necesario el entrenamiento intensivo del personal encargado de su uso, etapa que se realizó en las instalaciones de la mina durante casi todo un mes, siendo dictados los cursos por personal de Mintec Chile.

En la actualidad el software Medsystem-Minesight ha sufrido y sigue sufriendo, cambios importantes en sus nuevas versiones, sin embargo para mantener la coherencia del trabajo se ha optado por continuar el trabajo con la misma version con la que se inició. Inclusive parte del software adicional utilizado, también ha sufrido ciertas mejoras que no se ha utilizado en este trabajo.

Ubicación y Acceso

La Mina Sipán se encuentra en el Departamento de Cajamarca, Provincia de San Miguel, Distrito de Llapa. Su altura fluctúa entre los 3,200 y 3,700 m.s.n.m. En línea recta se encuentra a 30 km al oeste de los yacimientos similares de Yanacocha; y en las cercanías de los prospectos Tantauatay (Southern Peru) y La Zanja (Newmont). Su área de influencia se encuentra en la sub-cuenca del río Yanahuanga, cuenca del Alto Jequetepeque que drena hacia el Océano Pacífico.

Se accede desde la ciudad de Cajamarca, a través de una carretera afirmada que conduce a Bambamarca, donde existe un desvío conocido como El Empalme a la altura del km 63; este desvío recorre aproximadamente 30 km hasta el ingreso a la unidad minera.

Puede accederse también desde el poblado de Chilete, por la carretera afirmada que pasa por San Miguel de Pallaques, hasta el caserío de Pampa Cuyoc, y de ahí por la ruta construida por la compañía minera hasta sus instalaciones.

Sus coordenadas aproximadas son 78°47' de Longitud Oeste y 6°55' de Latitud Sur. En coordenadas UTM se ubica a 9'235,000 N y 745,000 E.

Cercanos al área de trabajo de Minera Sipán se encuentran los poblados de Pampa Cuyoc y San Antonio de Ojos. El pueblo de Llapa, capital del distrito, está ubicado a 30 minutos hacia el sur por la carretera afirmada que lleva a Chilete.



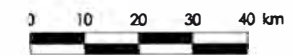
1999



COMPAÑIA MINERA
SIPAN
Dpto. de Geología

LEYENDA

- Uchumarca Poblado
- PACASMAYO Poblado Principal
- CHICLAYO Ciudad
- Carretera
- Ruta a Mina Sipán
- ✧ SAYAPULLO Mina en Actividad
- ✧ PAREDONES Mina Abandonada
- ✧ La Zanja Proyecto Minero
- SIPAN Mina Sipán



Escala Gráfica

**PLANO DE UBICACIÓN Y ACCESOS
MINA SIPAN**

PREPARACION Y DIBUJO	ESCALA	ARCHIVO
JJBG/MVA	Gráfica	UbcSipan.DWG

Antecedentes

En junio de 1992, como resultado de un programa de exploración realizado por la Compañía Minera Argento S.R.L. del Grupo Hochschild, cuyo objetivo era localizar yacimientos de oro minables a tajo abierto, fue identificado en las inmediaciones del denuncia Portachuelo N° 7, un posible yacimiento de oro diseminado, al que se denominó inicialmente prospecto Coris o prospecto María Porfiria. Posteriormente se le rebautizó como proyecto Sipán.

Debido a que el prospecto posee características geológicas similares a las del cercano yacimiento Yanacocha, se hizo la recomendación de denunciar el área de interés, pero lamentablemente esta se encontraba cubierta por los denuncios María Porfiria I, II y III de propiedad de los señores Carlos Nassi y Roger Chávez, a quienes se ubicó para realizar negociaciones de una opción de compra de dichos denuncios. Los primeros contactos se efectuaron en agosto de 1992 culminándose las negociaciones en el mes de octubre del mismo año. A raíz de esto, se realizó las inscripciones de las minutas de transferencia de participaciones a favor de la Compañía Minera Argento en los Registros Públicos de Minería de Lima y Trujillo.

De manera sucinta, podemos resumir la historia de la mina como sigue:

- En junio de 1992, se identifica como posible yacimiento de oro como resultado de un reconocimiento de campo realizado por la Cía Argento.
- En abril de 1993, se efectúa el primer muestreo geoquímico de afloramientos de roca en los cerros Chicche, Minas y Ojos.
- En agosto de 1993, se inicia la exploración sistemática del yacimiento con un levantamiento geológico a una escala de 1:5,000.
- En julio de 1994, se realiza un segundo levantamiento geológico más detallado a escala 1:2,000.

- Entre noviembre de 1994 y octubre de 1996 se llevó a cabo un programa de perforación diamantina en los cerros Minas y Ojos.
- Entre agosto y noviembre de 1995 se realiza la construcción de una galería exploratoria de 200 m en la parte central del cerro Minas.
- Entre octubre de 1996 y mayo de 1997 se lleva a cabo un programa preliminar de perforación diamantina en el Cerro Chicche.
- En octubre de 1997 se inicia las operaciones de producción en el cerro Minas.
- En mayo de 1998 se inicia las operaciones de producción en el cerro Ojos.
- En junio de 1998 se producen las primeras 100,000 onzas de oro.
- En junio de 1998 se inicia el remodelamiento de los cerros Minas y Ojos.
- En agosto de 1998 se inicia el modelamiento geológico del cerro Chicche.
- En noviembre de 1998 entra en operaciones el segundo pad de lixiviación.

Geología

GEOLOGÍA REGIONAL

En un área de más de 800 km², donde afloran secuencias volcánicas en forma bastante amplia se ubica la zona que ocupa nuestro estudio. Esta secuencia corresponde a los volcánicos Llama, pertenecientes a la unidad inferior del Grupo Calipuy del Terciario Inferior.

El Grupo Calipuy está formado por dos unidades volcánicas, las que se hallan separadas por una discordancia, sin embargo, en algunos sectores no se manifiestan diferencias litológicas marcadas entre ambas unidades. El volcánico Llama que corresponde a la unidad inferior consiste, por lo general de andesitas con algunas intercalaciones dacíticas; mientras que el volcánico Porculla, que constituye la unidad superior, se compone de dacitas y andesitas.

Según Wilson (1984), el volcánico Llama tiene un espesor que varía entre 1,200 y 500 m, siendo conformado principalmente por rocas piroclásticas y derrames volcánicos y en menor proporción, por volcánicos ácidos dacíticos y riocacitas que sobreyacen a un conglomerado basal estratificado en capas medianas a gruesas o macizas sin manifestar evidencias de estratificación.

En la mayoría de los casos, el volcánico Llama está conformado por brechas andesíticas bien compactas, macizas y probablemente estratificadas en bancos gruesos, de color morado oscuro cuando están frescas y marrón negruzco cuando se hallan intemperizadas. Los derrames andesíticos porfíricos o equigranulares son de color gris verdoso y gris azulado cuando están frescos. También se encuentran horizontes de tobas andesíticas de varios colores. Generalmente la roca es resistente a la erosión y forma escarpados y farallones, sin embargo, donde ha habido suficiente humedad como para permitir un intemperismo profundo en la roca, la unidad ha generado colinas suaves sin mayores afloramientos. Al volcánico Llama se le considera perteneciente al Terciario Inferior.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Según el estudio de Wilson (1984) mencionado anteriormente, la zona del Proyecto está situada en la provincia tectónica de Santa Cruz, delimitada por las provincias de Chimú al suroeste y la de Cutervo al noreste.

La provincia Chimú se caracteriza por presentar estructuras de plegamiento de orientación WNW-ESE, las que ocurrieron con anterioridad al depósito de los volcánicos Llama y la provincia de Cutervo, la cual presenta estructuras de rumbo NW-SE.

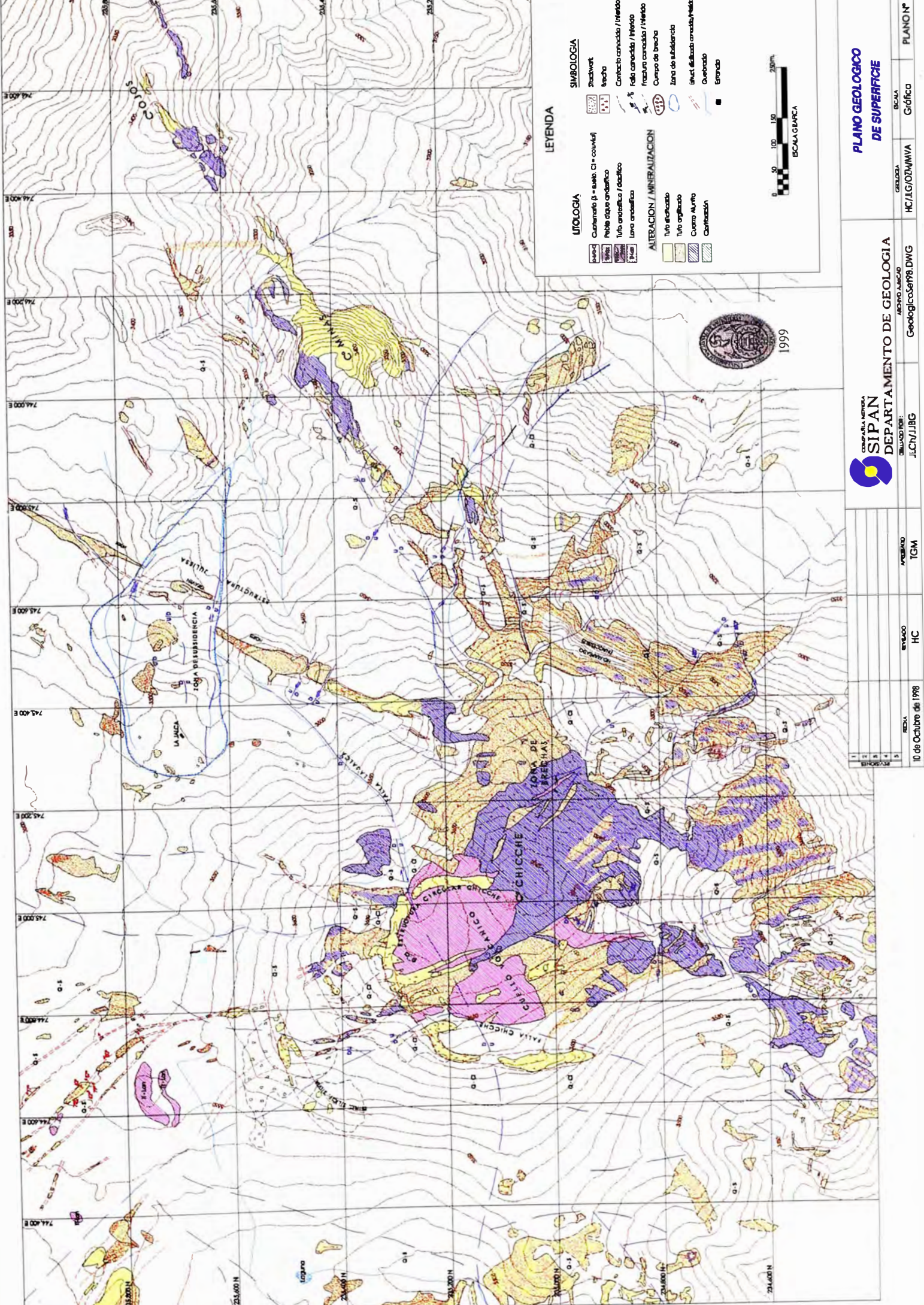
En cuanto a la provincia tectónica de Santa Cruz, se supone que estuvo en buena parte tectónicamente neutral durante las distintas fases de la orogénesis andina, mostrando algunas estructuras aisladas. Esta provincia se caracteriza por tener pliegues pequeños o relativamente suaves con áreas extensas de estratos subhorizontales. Existen indicios de que no ha habido deformación importante ni antes ni después del vulcanismo del Terciario.

GEOLOGÍA LOCAL

El yacimiento de Sipán se encuentra espacial y temporalmente asociado a la formación de un estrato-volcán en el cerro Chicche, originado como parte del vulcanismo cordillerano que afectó la región noroeste del país. La base de esta estructura volcánica mide aproximadamente 3 km de diámetro y su cráter se eleva a 3,700 m, midiendo 300 m de diámetro.

El cono volcánico Chicche se encuentra conformado por una secuencia de tufos poco a moderadamente compactados y con buzamientos radiales. Estas rocas se encuentran afectadas por diferentes grados de alteración (que varía desde una intensa silicificación a una argilitización) y mineralización, controlados estructuralmente por fracturas fallas que cruzan radialmente el cerro Chicche. No se ha encontrado roca fresca; además a unos 250-350 m al este de la cumbre del cerro Chicche se ha reconocido brecha hidrotermal.

Los cerros Minas y Ojos, con alturas de 3,430 y 3,420 m respectivamente, que forman parte del yacimiento Sipán, se encuentran localizados inmediatamente al noroeste del cerro Chicche alineados a lo largo de una de las fallas radiales de rumbo NE/SW que cruza



LEYENDA

LITOLOGIA	ALTERACION / MINERALIZACION
<ul style="list-style-type: none"> Gravita (s = suelo, CI = coque) Peblo otico granitico Tufo andesitico / dacitico Lava andesitica 	<ul style="list-style-type: none"> Tufo dacitico Tufo andesitico Cuenco Alto Quartzita
SIMBOLOGIA	
<ul style="list-style-type: none"> Fractura brecha Contacto concavo / convexo Falla concava / convexa Fractura concava / convexa Campo de brecha Zona de subsidencia Sect. fallada concava/convexa Quiebrado Entrada 	

la falda sur de este cerro. Esta falla y otras, que cortan el cerro Chicche, al parecer, fueron los canales que favorecieron la circulación de las soluciones hidrotermales que originaron la intensa silicificación con oro disseminado de los tufos volcánicos que afloran en estos cerros.

Como resultado de la última etapa de la actividad magmática en el área, el cuello volcánico y las rocas piroclásticas de los flancos del cerro Chicche, se encuentran intruidos por diques post-minerales de dacita porfirítica que exhibe una disyunción esferoidal y una alteración argílica débil a moderada. Esta roca, que al parecer se encuentra genéticamente relacionada con las rocas de la misma composición que conforman el cuello volcánico y alrededores del cerro El Toro, distante a 3 km al noreste de Sipán, ha originado una segunda etapa de alteración hidrotermal tardía y restringida que se superpone a la primera etapa de alteración relacionada con la mineralización de la mena.

Existe un fallamiento transversal post mineral de rumbo NW cuyo desplazamiento dextral es de poca longitud. Algunas de estas fallas presentan un desplazamiento secundario gravitacional.

Las estructuras silicificadas en el área estudiada tienen longitudes de 400 a 1200 m. Los anchos de los afloramientos silicificados varían de 10 a 40 m, sin embargo, en el cerro Minas, la estructura silicificada es más potente alcanzando en la base del afloramiento un ancho aproximado de 210 m.

ALTERACIÓN HIDROTERMAL

Las rocas piroclásticas de caja del yacimiento se encuentran afectadas por diferentes grados de alteración hidrotermal a lo largo de fallas y fracturas radiales que convergen y cruzan el cerro Chicche.

Los diferentes grados de alteración se encuentran distribuidos espacialmente formando aureolas de alteración de diferente intensidad, constituidos por agregados mineralógicos e tables en un ambiente epitermal ácido.

La parte interna de estas aureolas está constituida por tufos intensamente lixiviados y silicificados y al parecer coinciden con los paleocanales por donde circularon las soluciones hidrotermales mineralizantes. En esta aureola de alteración hidrotermal más intensa, conocida como silicificación porosa (vuggy silica), ocurre la mayor concentración de valores de oro, acompañado por diseminaciones de pirita, rutilo y ocurrencia de brechas hidrotermales (pebble brecha). Es notable la ausencia de venillas de cuarzo.

El núcleo de alteración intensamente silicificado, se encuentra rodeado por una aureola más estrecha de alteración argílica avanzada (advanced argillic), constituida por un fino agregado de cuarzo-alunita y menor cantidad de caolinita, acompañado con una disminución gradual de los valores de oro. Finalmente, esta aureola intermedia de alteración hidrotermal, gradada hacia la periferie a una alteración argílica estéril, constituida principalmente por caolinita acompañada localmente por cantidades menores de clorita y calcita.

En la parte central del cerro Chicche, la alteración hidrotermal genéticamente relacionada con la formación de mena arriba descrita, se encuentra afectada por una segunda etapa de alteración originada por la intrusión de diques dacíticos. Esta etapa de alteración, ha producido mayormente una alunitización fina a lo largo de fracturas que cortan cuerpos silicificados y que al parecer también han ocasionado cierta removilización y dispersión de los valores de oro.

MINERALIZACIÓN

La revisión de los datos geológicos y geoquímicos obtenidos con los trabajos de exploración, indican que Sipán es un yacimiento epitermal de oro diseminado del tipo ácido sulfato (acid sulphate).

La mineralización de oro de tamaño sub-microscópico ($<10 \mu$), ocurre en forma diseminada acompañada de valores de plata y minerales de óxidos e hidróxidos de fierro, rellenando mayormente los poros de los tufos intensamente silicificados y lixiviados y en la

matriz de las brechas hidrotermales tabulares, que afloran mayormente en la falda oriental del cerro Chicche, y en los cerros Minas y Ojos.

En el cerro Chicche, la mineralización de oro ocurre dentro de franjas silicificadas porosas de diferentes anchos que se intercalan con franjas de alteración argílica avanzada y alteración argílica. La localización de las franjas silicificadas se encuentra estructuralmente controlada por fallas y fracturas sub-paralelas.

En los cerros Minas y Ojos, localizados a lo largo de una de las falla que cruza la falda sur del cerro Chicche, los mayores valores de oro y plata ocurren dentro de cuerpos silicificados porosos, bordeados por una franja angosta de alteración argílica avanzada (ensamble cz-aln). En el cerro Minas, la parte más ancha del cuerpo silicificado mide aproximadamente 200 m, profundiza hasta 220 m y se prolonga a lo largo de 500 m, disminuyendo gradualmente en potencia hacia los cerros Chicche y Ojos. En este último cerro, la franja silicificada continúa siguiendo el mismo rumbo de la falla por otros 350 m y con anchos variables de 20 a 50 m. En las faldas sur de los cerros Minas y Ojos ocurren además, depósitos coluviales o de pie de monte, constituidos por bloques silicificados porosos con altos valores de oro que provienen de las partes altas silicificadas de estos dos cerros.

Debido a la alta permeabilidad de las rocas silicificadas porosas, el yacimiento se encuentra intensamente oxidado, observándose solamente algunos remanentes de minerales primarios en los niveles más profundos. Localmente estas rocas (tufos) silicificadas contienen alunita y más escasamente, disseminaciones de rutilo.

La parte superior oxidada del yacimiento, está constituida mayormente por óxidos e hidróxidos de fierro, seguido de pirita que rellena los poros de las rocas silicificadas. La goethita botroidal es el hidróxido de fierro que más predomina y está acompañada por jarosita y hematita ultrafina. La mineralización primaria remanente, esta constituida mayormente por pirita, que puede alcanzar localmente hasta 5% de volumen y por menor cantidad de marcasita. Cantidades menores de enargita, algunas veces reemplazando pirita, ocurre juntamente con covelita y azufre nativo. Se ha identificado también cantidades trazas de molibdenita, acantita y estibnita.

Existe una relación directa, entre la presencia de un mayor número de valores altos de oro y un grado mayor de silicificación de las rocas encajonantes.

GEOQUÍMICA

Con la finalidad de determinar la distribución de oro y plata, y delimitar áreas con mayores valores de estos elementos en el prospecto, se realizó un muestreo geoquímico orientado que consistió en la obtención de 344 muestras de fragmentos de afloramientos de rocas alteradas en los cerros Chicche, Minas y Ojos.

Considerando 0.04g/t Au como un valor mínimo, por encima del cual, todos los valores de oro son geoquímicamente anómalos en este tipo de yacimientos, se llegó a la conclusión de que los ensayos del 81% de las muestras recogidas se encuentran por encima de este valor.

Se observó además que los valores de oro mayores de 0.04g/t, se encuentran agrupados principalmente dentro de áreas silicificadas, mientras que los ensayos menores de 0.04g/t se localizan fuera de estas, en áreas con alteración argílica. Los valores económicos de oro mayores de 1g/t se encuentran localizados en mayor número en los cerros Minas y Ojos, que a su vez exhiben un alto grado de silicificación. Así mismo, se observó que en los valores de plata, la tendencia de distribución espacial es bastante similar a la del oro.

¿Qué es Modelamiento Geológico?

Establecidos los parámetros geológicos importantes en un proyecto geológico, el modelamiento geológico es la representación gráfica y espacial de estos parámetros (roca, alteraciones, leyes, límites de óxidos/sulfuros, etc.) teniendo como límites, la extensión inferida del yacimiento. El objetivo de este trabajo es casi siempre con fines económicos (este trabajo puede ayudar a decidir si se continua o no con un determinado proyecto).

El modelamiento geológico se constituye en la base de todo proceso de minado, sin importar el mineral (metálico o no) al cual está ligado el estudio, siempre que se trate de un minado a gran escala.

En realidad, los parámetros geométricos (forma, tamaño, volumen) reales de un yacimiento, se conocerán (y no por completo) solamente cuando se finalice la explotación del mismo; sin embargo, es labor de los geólogos interpretar toda la información disponible y definir un modelo aproximado del yacimiento. Este modelo estará sujeto a continua revisión y actualización, ya que conforme se avance en los trabajos de exploración y explotación se contará con nueva información que permitirá ajustar con mayor precisión la interpretación realizada y por ende, la geometría del depósito. Este modelo tridimensional deberá en lo posible ser capaz de guiar la optimización del plan de minado.

Entre las fuentes de información geológica de mayor importancia tenemos aquellas provenientes de las perforaciones efectuadas en la fase exploratoria del proyecto, además del el muestreo superficial de afloramiento, los muestreos geoquímicos, el mapeo geológico o de alteraciones, etc.

Superficialmente, la información disponible puede provenir de cateos realizados en afloramiento, contactos litológicos, límites de alteración, estructuras geológicas (como diques, fallas, etc.), controles topográficos, muestras para estudios petrográficos; mientras que la información “subterránea” la proporcionan las calicatas, galerías de exploración, etc. y sobre todo los taladros de perforación (DDH, RCD, etc.).

Toda esta información está ligada a la interpretación geológica que va a ayudar a definir el valor económico del yacimiento, además de servir como base de otros cálculos tales como las reservas minables, el plan de minado (y por ende, el tiempo de explotación), etc.

El geólogo que estudia el yacimiento es el encargado de seleccionar el nivel de detalle necesario de los datos y los rasgos que son importantes para el proceso de minado (densidades, alteraciones, tipos de desmonte, etc.). Su conocimiento del depósito (o la experiencia en otros similares) facilitan la esquematización preliminar de acuerdo a su tipo de mineralización y alteraciones hidrotermales presentes, controles de carácter estructural que pueden haber influido en la formación del yacimiento y otros componentes geológicos. (John Espinoza Miranda, 1998)

Paso previo al modelamiento geológico tridimensional (que es nuestro objetivo) es la realización de secciones en una dirección determinada de tal manera que la información obtenida de las perforaciones diamantinas ofrezcan la mejor perspectiva. Estas secciones se realizan en papel y sobre ellas se procede con una primera interpretación. Este procedimiento permite al geólogo una mejor familiarización con el conjunto de datos disponibles además de ir otorgando una visión bidimensional del depósito, lo que ayudará posteriormente en la comprensión del modelo tridimensional.

Esta etapa reviste gran importancia, porque además de familiarizarse con los datos y la posterior interpretación geológica permite la detección de errores, es por esto que es conveniente que el supervisor del proyecto sea una persona que tenga un buen conocimiento de la zona de estudio, así como de las características propias del tipo de yacimiento al cual pertenece el proyecto.

El paso de dos a tres dimensiones se realiza cuando se inicia el cruce de información de un juego de secciones con otro juego en una dirección distinta. Es decir, se crea un nuevo juego de secciones donde además de los datos recolectados y utilizados en la sección anterior, se considera como datos válidos, la interpretación realizada en el primer juego. Si se ve por conveniente se sigue el mismo procedimiento con la cantidad de juegos de secciones que fuesen necesarios.

Finalmente, se realiza un último juego de secciones por bancos donde se utiliza la información obtenida de los juegos de secciones anteriores. Es a partir de estas secciones por bancos, donde se va a obtener la información necesaria para efectuar los cálculos de volúmenes y reservas geológicas, que son el objetivo final del trabajo.

Otra alternativa a este último paso, es generar sólidos a partir de las secciones interpretadas y con ello realizar cortes en cada banco. Este paso alternativo, según la complejidad del yacimiento puede agilizar o demorar la realización del trabajo, es por ello que debe utilizarse con mucho criterio. Una de las desventajas de generar sólidos es que en la generación de las secciones por bancos no se permite la interpretación por parte del geólogo, ya que considera que esta fase culminó con la interpretación de las secciones utilizadas en la generación del sólido.

El objetivo principal de la aplicación de la informática es simplificar el proceso de colección de datos, recuperación, análisis y modelado. Además, el modelado por computadora reduce la posibilidad de error no detectado en el cálculo y permite evaluar más alternativas en un periodo de tiempo más corto, lo que no es posible con un enfoque manual (Dario Zegarra, Leopoldo Monzón, 1997).

Sobre el Software MedSystem/MineSight

MedSystem/MineSight es un conjunto de programas complementarios entre sí, creado por Mintec Inc., compañía con base en Tucson, Arizona (EE.UU.). La versión que utilizamos en el presente trabajo es la correspondiente a junio de 1998, MedSystem 2.1.3 y MineSight 1.7.0-03, ambas preparadas para trabajar con el sistema operativo Windows NT.

MEDSYSTEM¹

MedSystem se ha diseñado para tomar datos crudos de origen estándar (sondajes, muestreos subterráneos, barrenos de voladura, etc.) y extender esta información hasta el punto de derivarse un programa de producción. Los datos y las operaciones sobre los mismos, pueden ser clasificados en los siguientes grupos lógicos:

- Operaciones con datos de sondajes : Se puede almacenar ensayos, códigos litológicos, códigos geológicos, información del collar y datos de levantamiento a lo largo del sondaje.
- Operaciones con datos digitalizados : Se usan para definir información geológica en plano o en sección, para definir contornos topográficos, información estructural, diseños de mina y otra información que puede ser importante para la evaluación del cuerpo mineral.
- Operaciones con compósitos : Estos son calculados por bancos o por mantos, para mostrar el valor de interés a base minera.
- Operaciones de modelamiento : Los yacimientos pueden ser representados por un modelo en computadora de uno o dos tipos. Generalmente se usa un modelo tridimensional para modelar yacimientos de metal base tal como un pórfido de cobre u otro yacimiento no mantiforme. Para yacimientos mantiformes, si bien se obtiene también

¹ Tomado en versión libre de "MedSystem - Manual de Capacitación General"

una visualización tridimensional, el programa no los considera dentro del tipo de modelo 3D ya que recibe un tratamiento distinto a los depósitos porfiríticos o diseminados.

- Límites económicos de un tajo : Este conjunto de rutinas trabaja en bloques enteros desde el modelo de bloques tridimensional y usa ya sea la técnica del cono flotante o de Lerchs-Grossmann para encontrar los límites económicos de los tajos para distintas asunciones económicas.
- Diseño de tajo interactivo : Estas rutinas se usan para el diseño geométrico de tajos, lo que incluye rampas, expansiones y taludes de pared variable, para así mostrar con más exactitud una geometría de tajo más real.
- Programación de la producción : Este grupo de programas se usa para calcular los programas de planificación a largo plazo, que se basan en los diseños o fases de repliegues y cálculos de reserva mediante los programas de planificación de mina.

MINESIGHT²

MineSight es un sistema de visualización y modelamiento de datos en 3D diseñado para usarse en aplicaciones de ingeniería, geología y minería.

Con MineSight, el usuario puede construir un proyecto que contenga representaciones tridimensionales de datos de sondajes, superficies en mallas y trianguladas, interpretaciones de secciones geológicas, información de registros (survey), modelos de bloques tridimensionales vistas con secciones o como isosuperficies, objetos geométricos tridimensionales (como sólidos, polígonos, líneas, puntos). La interface gráfica del usuario de MineSight permite el acceso rápido e intuitivo a todos los aspectos del proyecto.

MineSight contiene también un amplio rango de herramientas que asisten en muchas de las etapas del modelamiento geológico o del planeamiento de mina.

A continuación se presenta un resumen de las funciones disponibles en MineSight

² Tomado y traducido libremente de "MineSight - User's Guide" en formato digital.

- Visualización de conjuntos de datos MedSystem : Los que incluyen sondajes, compósitos, superficies DTM, superficies en malla, GSM y modelo de bloques, datos VBM y datos de registros (survey) MedSystem.
- Definición de intervalos geológicos para datos de sondajes.
- Construcción de sólidos tridimensionales de geología entre secciones.
- Cálculo de contornos isosuperficiales tridimensionales a partir de modelos de bloque de MedSystem.
- Edición gráfica de datos en dos y tres dimensiones, incluyendo puntos, cadenas de puntos, sólidos y superficies.
- Diseño de trabajos subterráneos.
- Cortes de sólidos tridimensionales en conjuntos de planos especificados por el usuario.
- Visualización de datos tridimensionales en de una vista específica.
- Anotaciones en imágenes usando cadenas de texto tridimensionales.
- Intersección de sólidos y superficies.

Software Adicional y Hardware

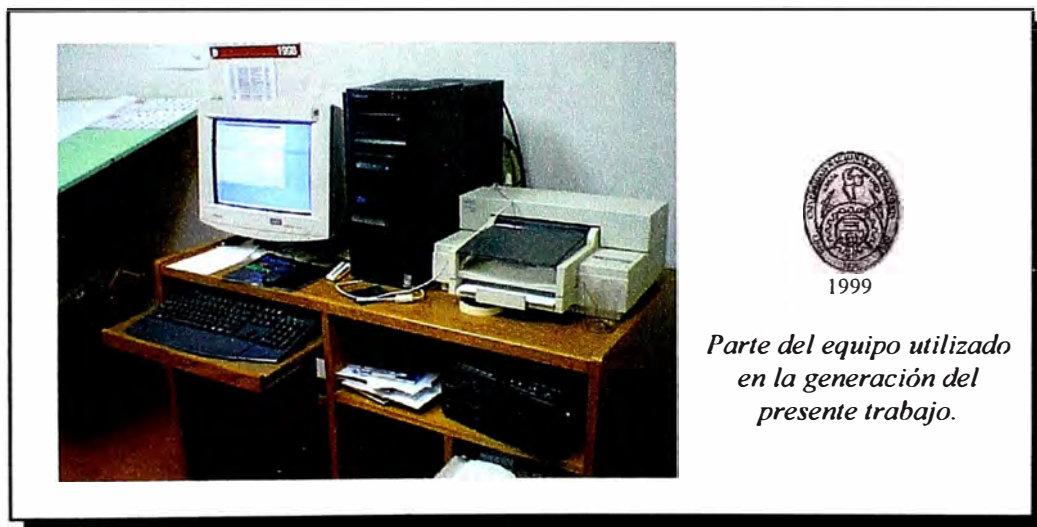
Adicionalmente a los programas MedSystem-MineSight, se utilizó los siguientes:

- Windows NT 4.0 .- Sistema operativo necesario para el funcionamiento de MedSystem-MineSight. Actualmente MedSystem-MineSight pueden funcionar con Windows 95/98 como sistema operativo.
- AutoCAD r13 y r14 .- Programa de dibujo vectorizado en el cual se realizó la digitalización de planos geológicos, topográficos, cálculo gráfico de cotas, dibujo de secciones geológicas, exportación de archivos, etc. Este programa exporta los dibujos a formato DXF, los que son reconocidos por MedSystem-MineSight.
- Lotus 123 97 .- En este programa de hojas de cálculo se digitó los ensayos de laboratorio, códigos de alteración, intervalos de muestreo y todos aquellos datos numéricos necesarios para realizar el modelamiento geológico. Además, la exportación de estos datos en archivos de texto.
- Approach 97 .- Este es el programa manejador de bases de datos de Lotus SmartSuite. Se incluye aquí como una alternativa al uso de las hojas de cálculo. Se utilizó este programa no en el presente trabajo, pero sí en otros similares realizados posteriormente.
- SnapShot/32v. 2.54 .- Este programa permite la captura de ventanas en Windows NT y guardarlas en formato de mapa de puntos (bitmap). Además, SnapShot permite cambiar el formato de los mapas de punto a otros tipos que utilizan compresión de gráficos, de manera de hacer más pequeños los archivos gráficos.
- MS-Paint .- Este programa es el editor de mapa de puntos de Windows NT, con el se realizó la edición de los gráficos capturados con SnapShot o con el portapapeles de Windows NT.
- KEdit for Windows NT v. 1.5 .- Este es un editor de textos muy poderoso que nos permitió dar el formato adecuado a los archivos de texto exportados desde Lotus 123.

- Notepad .- Editor de textos de Windows NT; se le utilizó como alternativa a KEdit para archivos pequeños de edición sencilla.

Respecto al hardware, se utilizó inicialmente una computadora IBM con procesador Pentium 133Mhz, 64 Mb de memoria RAM, disco duro de 2.1 Gb y tarjeta de video de 1 Mb de memoria, simultáneamente se trabajó con una laptop Toshiba Tecra 730CDT, Pentium MMX 133 Mhz, 48 Mb de memoria RAM, disco duro de 2.1 Gb, lectora de CD 12x y tarjeta de video de 4 Mb de memoria.

Posteriormente se utilizó una computadora IBM IntelliStation MPro, con procesador Pentium II MMX 233 Mhz, de 98 Mb de memoria RAM, un disco duro de 4 Gb, lectora de CD 24x y tarjeta de video de 8 Mb de memoria, adquirida especialmente para este trabajo y aquellos proyectos a efectuarse posteriormente con MedSystem-MineSight. Además, esta computadora se halla conectada directamente a un digitalizador (digitazer) Summagraphics Microgrid Ultra, una impresora de inyección a tinta HP DeskJet 520 y vía red a un plotter HPDesing Jet 750C.



Secuencia del Trabajo Realizado

ADOPCION DE CONVENCIONES

Para efectos de realizar el modelamiento geológico, se tiene que adoptar una serie de convenciones, necesarias para un mejor manejo de los datos obtenidos.

En el caso de las alteraciones y litología se utiliza la siguiente codificación:

<i>Silicificación con Oxidos</i>	<i>111</i>	<i>amarillo</i>
<i>Silicificación con Oxidos y Sulfuros</i>	<i>112</i>	<i>amarillo</i>
<i>Silicificación con Sulfuros</i>	<i>113</i>	<i>amarillo</i>
<i>Argilica Avanzada con Oxidos</i>	<i>121</i>	<i>azul</i>
<i>Argilica Avanzada con Oxidos y Sulfuros</i>	<i>122</i>	<i>azul</i>
<i>Argilica Avanzada con Sulfuros</i>	<i>123</i>	<i>azul</i>
<i>Argilica con Oxidos</i>	<i>131</i>	<i>naranjado</i>
<i>Argilica con Oxidos y Sulfuros</i>	<i>132</i>	<i>naranjado</i>
<i>Argilica con Sulfuros</i>	<i>133</i>	<i>naranjado</i>
<i>Cloritización</i>	<i>141</i>	<i>verde</i>
<i>Volcánico argilizado con Oxidos</i>	<i>151</i>	<i>morado</i>
<i>Material Coluvial</i>	<i>161</i>	<i>marrón</i>
<i>Material Orgánico (Top Soil)</i>	<i>181</i>	<i>marrón</i>

Para efectos del cálculo de reservas, tanto la alteración argílica, como la cloritización y el volcánico argilitizado son considerados desmonte, por lo que en el contorneo de alteraciones, para efectos del modelamiento, se les considera a todos estos como material argílico.

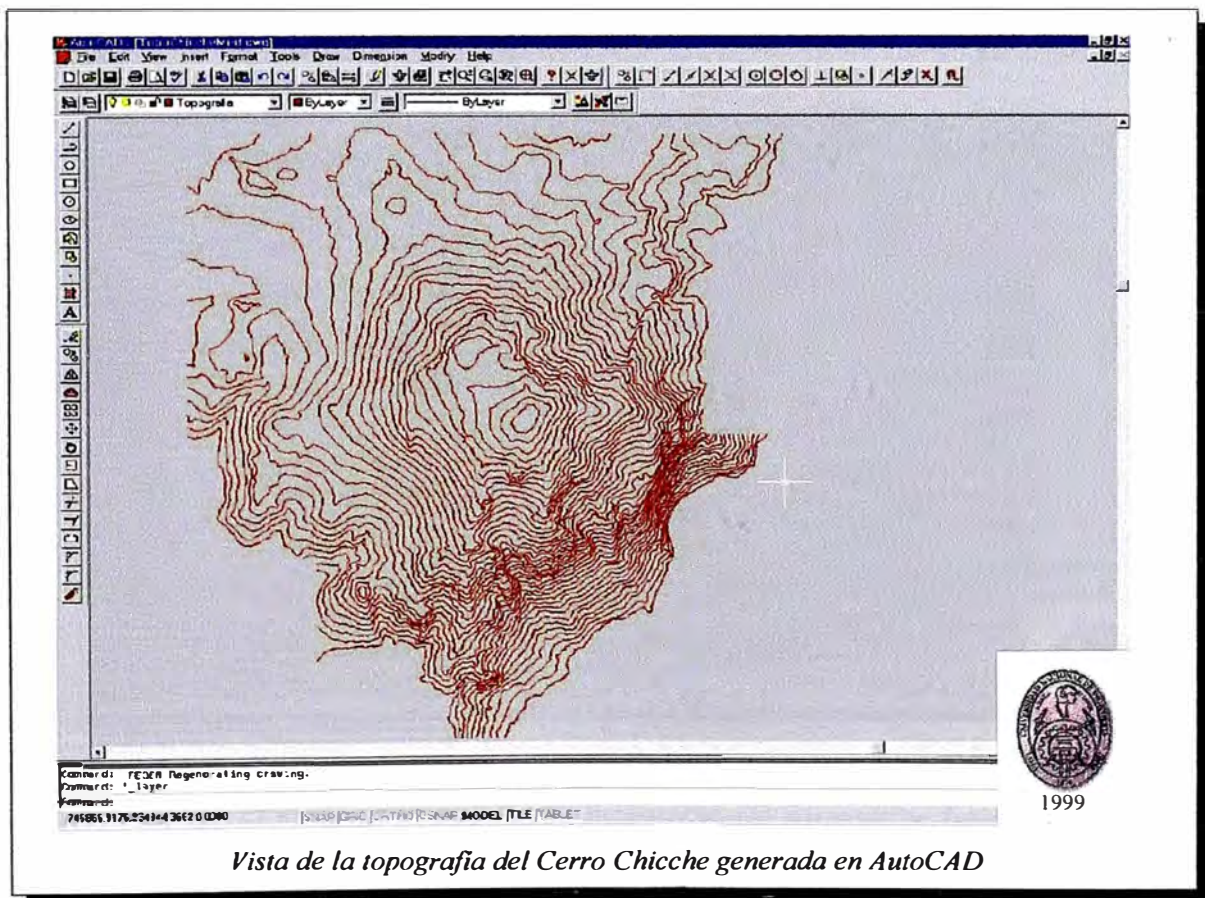
Operativamente, se consideran tres zonas a delimitar: Mineral que incluye las zonas de alteración silicia y argílica avanzada; Desmonte que contiene la alteración argílica, cloritización, y el volcánico argilitizado; y la zona Coluvial.

En el caso del Cerro Chicche, no se reporta presencia de silicificación con sulfuros, argílica avanzada con sulfuros, argilitización con sulfuros, ni cloritización.

PREPARACION DE DATOS

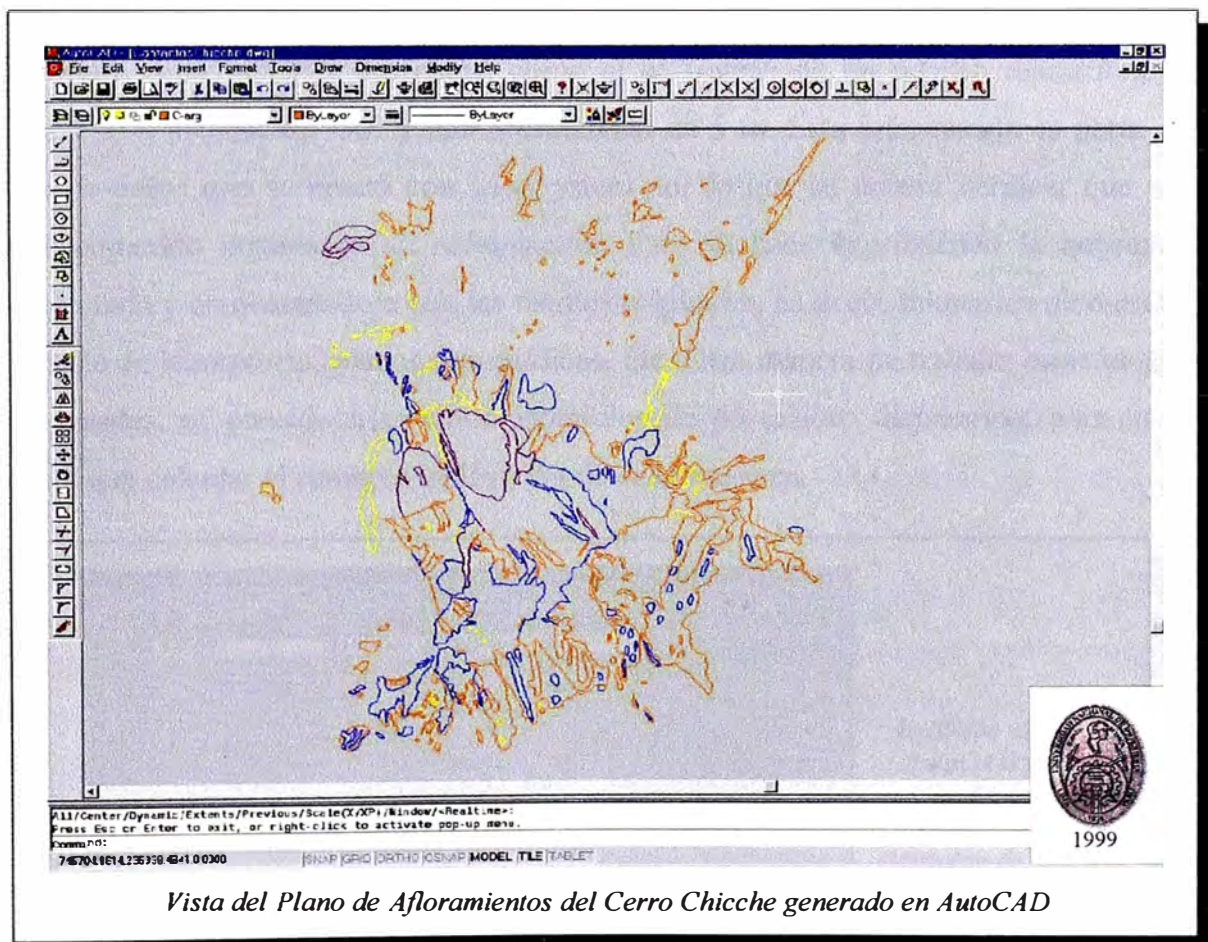
La recolección de información geológica de campo debe ser organizada de manera que pueda ser accesible al programa MedSystem-MineSight, así, cada tipo de trabajo tiene un tratamiento especial.

1. **Plano Topográfico del Area** : El plano topográfico deberá estar digitalizado en AutoCAD, con la particularidad de que cada curva de nivel debe tener su respectiva elevación en este dibujo, de manera que se pueda trabajar tridimensionalmente con este plano. Además debe estar libre de texto que indique la elevación o cualquier otra característica. En lo posible, cada curva de nivel debe ser contenida en un solo trazo (una sola polilínea) para evitar interpolaciones indeseadas al momento de generar el sólido de la topografía tridimensional. Esta información, debe estar toda en una sola capa (layer). Posteriormente se exporta en formato DXF versión 12.³



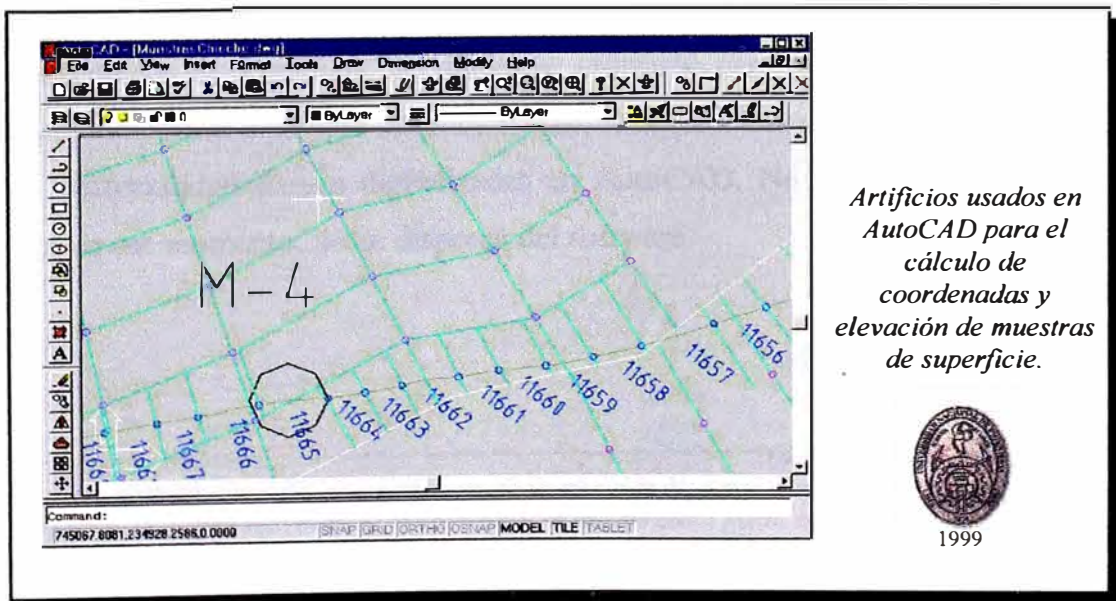
³ MedSystem soporta archivos DXF solamente de la versión 12 de AutoCAD, sin embargo MineSight soporta además los archivos DXF de la versión 13. La versión 14 de AutoCAD permite exportar sus gráficos en archivos DXF tanto de la versión 12 como de la versión 13 y obviamente de la versión 14.

2. **Mapeo Geológico Superficial** : Por lo general, en un plano geológico se mantienen zonas abiertas indicando que no se tiene más información respecto al afloramiento mapeado. Sin embargo, para efectos del trabajo en computadora, estos contactos deben cerrarse, lo cual obliga al geólogo a interpretar la proyección del afloramiento o por el contrario, cerrar el contorno del afloramiento. En nuestro caso, el mapeo se realiza considerando los tipos de alteración presentes en el depósito. Este plano de alteraciones, inicialmente en papel, deberá ser digitalizado, generando un archivo en AutoCAD. En este plano se deberá separar las alteraciones por capas (layers), es decir, cada alteración irá en una capa distinta. Además cada tipo de alteración deberá tener límites cerrados y unidos. Debe tenerse mucho cuidado de no dejar espacios abiertos entre los contactos de cada alteración. Una vez separadas las alteraciones y cerrados sus límites, se exporta esta información a formato DXF⁴ versión 12.³



⁴ DXF = Drawing eXchange File, archivo de intercambio de dibujos.

3. **Muestreo Geoquímico Superficial** : Las muestras geoquímicas de superficie suelen graficarse sobre un plano topográfico de la zona de estudio. En nuestro caso se realizó un muestreo por canales a lo largo de las carreteras de acceso. En dichas carreteras se levantó diversos puntos de referencia desde los cuales se medía la distancia a los puntos de inicio de cada muestra. Sobre el plano topográfico en AutoCAD se digitalizó las carreteras y ubicó los puntos topográficos de referencia. Con ayuda de las tarjetas de muestreo se ubicó cada muestra en el plano con cota cero y posteriormente, con la ayuda de las curvas de nivel se les asignó una cota de acuerdo a su posición. Culinada la ubicación espacial en el gráfico, se procedió a obtener las coordenadas tridimensionales de cada muestra y trasladar esta información a una hoja de calculo (en este caso, Lotus 123 97) donde se les añadió la información referente a su ley de oro, plata y código del tipo de alteración. Una vez completa la información se le da un formato especial y se exporta la información a formato TXT. Para efectos de facilitar el manejo de información se tratará cada muestra superficial como si se tratase de un taladro diamantino con azimut 0° e inclinación -90° y una profundidad de 5 m. Esta información es parte de la base de datos que se creará con MedSystem por lo que se deberá verificar que no se halla cometido errores en su recopilación. Esto se hace imprimiendo la información recolectada y confrontándola con las fuentes originales, es decir, talonarios de muestreo, reportes de laboratorio, planos topográficos, etc. Otra manera de trabajar estas muestras por canales, es considerarlas como intervalos de un taladro diamantino, para lo cual habría que calcular el rumbo e inclinación de cada muestra.



4. **Taladros Diamantinos** : Para cada taladro se deberá considerar la ubicación espacial del collar, su longitud total, asignación de leyes de Au y Ag por tramos de muestreo, asignación de códigos de alteraciones por tramo de muestreo, azimut e inclinación expresados en grados con formato decimal. Esta información inicialmente manejada en una hoja de cálculo (Lotus 123 97⁵) es convertida a un formato especial y exportado como archivo tipo TXT. Esta información es también parte de la base de datos que se creará con MedSystem por lo que se deberá verificar que no se halla cometido errores en su recopilación. Esto se hace imprimiendo la información recolectada y confrontándola con las fuentes originales, es decir, registros de logueo, reportes de perforación, reportes de laboratorio, planos topográficos, etc.

Se recomienda que la validación de datos sea hecha por lo menos sobre un 10% de la población total. La selección de las muestras a chequear debe ser aleatoria. El chequeo debe ser exhaustivo sobre coordenadas y leyes. La base de datos debe ser confrontada con los informes originales de laboratorio. Se debe crear un programa que permita chequear los valores anómalos y fuera de rango (Estela De la Cruz, 1998).

5. **Creación de Secciones Geológicas** : Con ayuda del mapeo superficial, las muestras de superficie, la geología de los taladros diamantinos, etc. se hace una interpretación de las diversas secciones. El dibujo de toda la información puede hacerse manualmente o aprovechando las herramientas que para este fin tiene MedSystem, sin embargo, la interpretación geológica se realiza manualmente sobre el papel. En nuestro caso se tiene dos direcciones de secciones, las cuales se utilizarán para efectuar el modelamiento en computadora. En el caso que estamos tratando, las secciones se realizaron manualmente y con posterioridad fueron digitalizadas en AutoCAD. No se utilizó MedSystem por cuanto, en ese momento, no se disponía del software.



⁵ Las hojas de Lotus 123 tienen una cantidad máxima de filas, por lo que toda la información no puede ser contenida en una sola hoja. En nuestro caso, se trabajó con 5 hojas, cada hoja se exportó con un archivo TXT y posteriormente se "sumó" los cinco archivos generados en uno solo. La suma se realizó desde DOS con la orden copy

copy arch01.txt + arch02.txt + arch03.txt + arch04.txt + arch05.txt archtot.txt.

INGRESO DE LA INFORMACIÓN A MEDSYSTEM

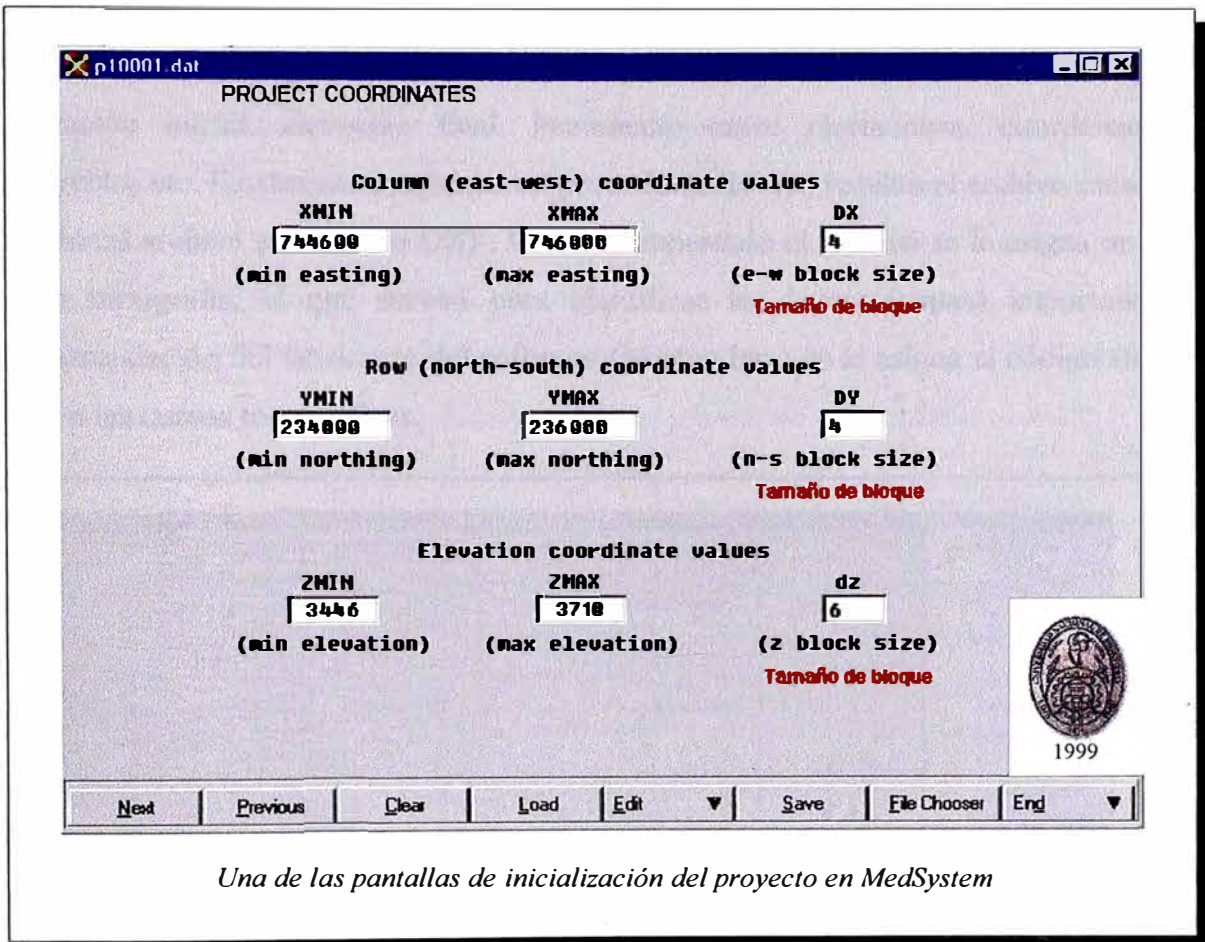
Una vez preparada toda la información necesaria para iniciar el modelamiento geológico, esta información debe ser ingresada al programa MedSystem para su uso, para ello se siguió los siguientes pasos:

1. **Inicialización del Proyecto** : Aquí se introducen los parámetros sobre los cuales se basa el trabajo a realizarse. Algunos parámetros son:

- Sistema de Unidades : Métrico. Existen además la opción de trabajar en el sistema imperial (pies).
- Tipo de Proyecto : Tridimensional (3D). Otras opciones al tipo de proyecto son el BHS (Blast Holes System), SRV y GSM que escapan al tema de este trabajo.
- Tipo de Mineral : Metálico. Podemos también trabajar con proyectos con minerales como carbón, uranio, fierro, bauxitas, talco, etc.
- Coordenada Este Mínima : 744,600
- Coordenada Este Máxima : 746,000
- Coordenada Norte Mínima : 234,000⁶
- Coordenada Norte Máxima : 236,000⁶
- Elevación Mínima : 3,446 m.s.n.m.
- Elevación Máxima : 3,710 m.s.n.m.

⁶ En nuestro país, las coordenadas norte están expresadas en millones. MedSystem-MineSight no permite el ingreso de coordenadas de mas de 6 dígitos además de los decimales; por esta razón se ha eliminado los millones de las coordenadas norte.

Estos parámetros quedan registrados en el archivo PCF⁷ que se genera al inicializar el proyecto. Este archivo será el enlace necesario para trabajar posteriormente con MineSight.



Una de las pantallas de inicialización del proyecto en MedSystem

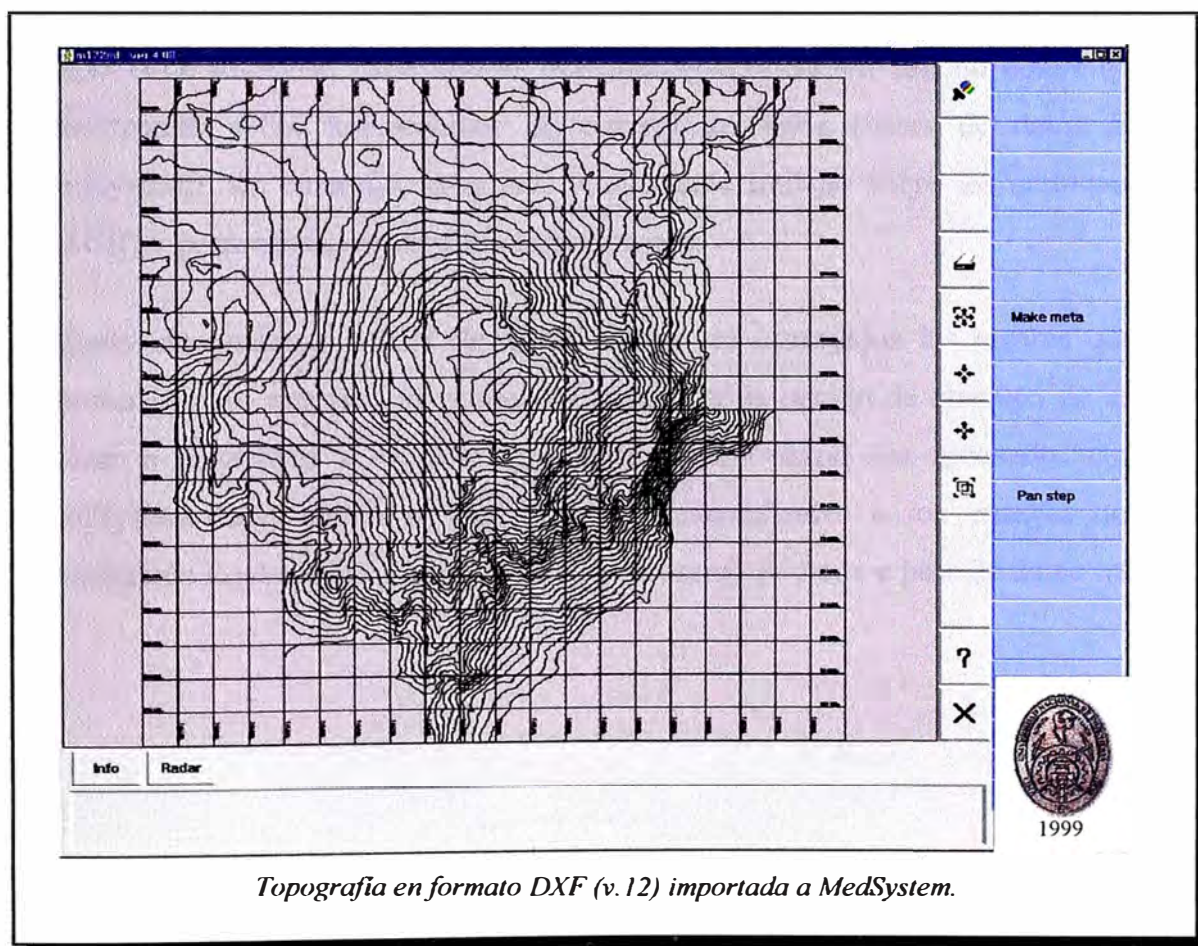
El concepto básico de modelamiento de un cuerpo mineral en computadora es dividir el volumen tridimensional en bloques de un tamaño apropiado para hacer una evaluación razonable del contenido mineral. Si cada bloque va a ser asignado a un solo tipo de geología, el tamaño del bloque debe ser lo suficientemente pequeño para dar una aproximación razonable de los límites interpretados existentes. (Mintec Inc., 1998).



Nota : Los textos en español que aparecen debajo de algunas de las opciones de la pantalla mostradas en la figura anterior, han sido añadidas por el autor, por lo que no aparecerán en la pantalla original.

⁷ Project Control File (Archivo de Control del Proyecto)

2. **Ingreso de topografía DXF en MedSystem** : Para introducir la topografía del proyecto, esta debe estar preparada en formato DXF versión 12. Posteriormente se genera un archivo (llamado archivo 25) que va a recibir la topografía indicada. Seguidamente el archivo creado se inicializa dándole los parámetros de ingreso de datos que son elevación inicial, elevación final, incremento entre elevaciones, coordenadas del proyecto, etc. Finalmente se ejecuta un procedimiento que habilita el archivo creado para recibir el archivo en formato DXF. Una vez importado el archivo se le asigna un código a la topografía, el que servirá para identificar los layers (capas) importados; por recomendación del fabricante del software (Mintec Inc.) se le asigna el código (feature⁸) 901 a las curvas topográficas.



⁸ Un Feature en un conjunto de puntos coordenados que representa un área o límite que se guarda en un archivo VBM de MedSystem. (VBM = Variable Block Model, modelo variable de bloques).

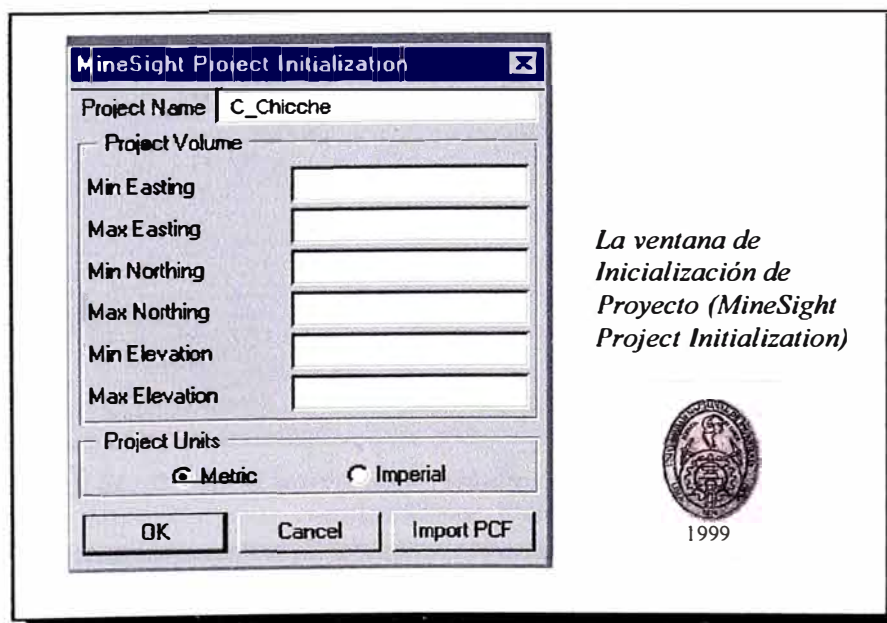
3. **Verificación de los archivos ASCII de DDH** : Además de la verificación de datos que se indica en páginas anteriores, el programa MedSystem tiene un procedimiento que verifica la congruencia de datos, por ejemplo que no existan intervalos duplicados o traslapados, la no existencia de nombres de taladros repetidos, la asignación de valores fuera de los rangos establecidos en la inicialización del proyecto, etc. De encontrar errores que pudiesen afectar el buen funcionamiento del programa, MedSystem emite un reporte indicando cuales fueron los errores encontrados, con lo que se facilita en gran medida, la corrección de los mismos en el archivo correspondiente. Obviamente, las correcciones se efectúan en los archivos ASCII preparados para este fin, utilizando un editor de texto (por ejemplo: KEdit). Finalmente, de no encontrarse errores, el reporte generado lo indica y MedSystem habilita la información para su trabajo posterior.
Como nota adicional, cabe indicar que MedSystem cuenta con un editor que trabaja directamente sobre los archivos de control de datos (bases de datos interna de MedSystem), sin embargo, creo más conveniente trabajar sobre los archivos de texto (ASCII) y posteriormente cargarlos nuevamente.
4. **Ingreso de archivos ASCII de DDH** : Una vez corregidos los errores que pudiese reportar el paso anterior, se procede a desactivar la opción de chequeo de errores y a activar o desactivar la opción agregar los datos según sea necesario, con lo cual MedSystem hace recibo de los datos correspondientes a los ensayos de taladros diamantinos ingresándolos a los archivos de control de datos o base de datos interna.

INGRESO DE LA INFORMACIÓN A MINESIGHT

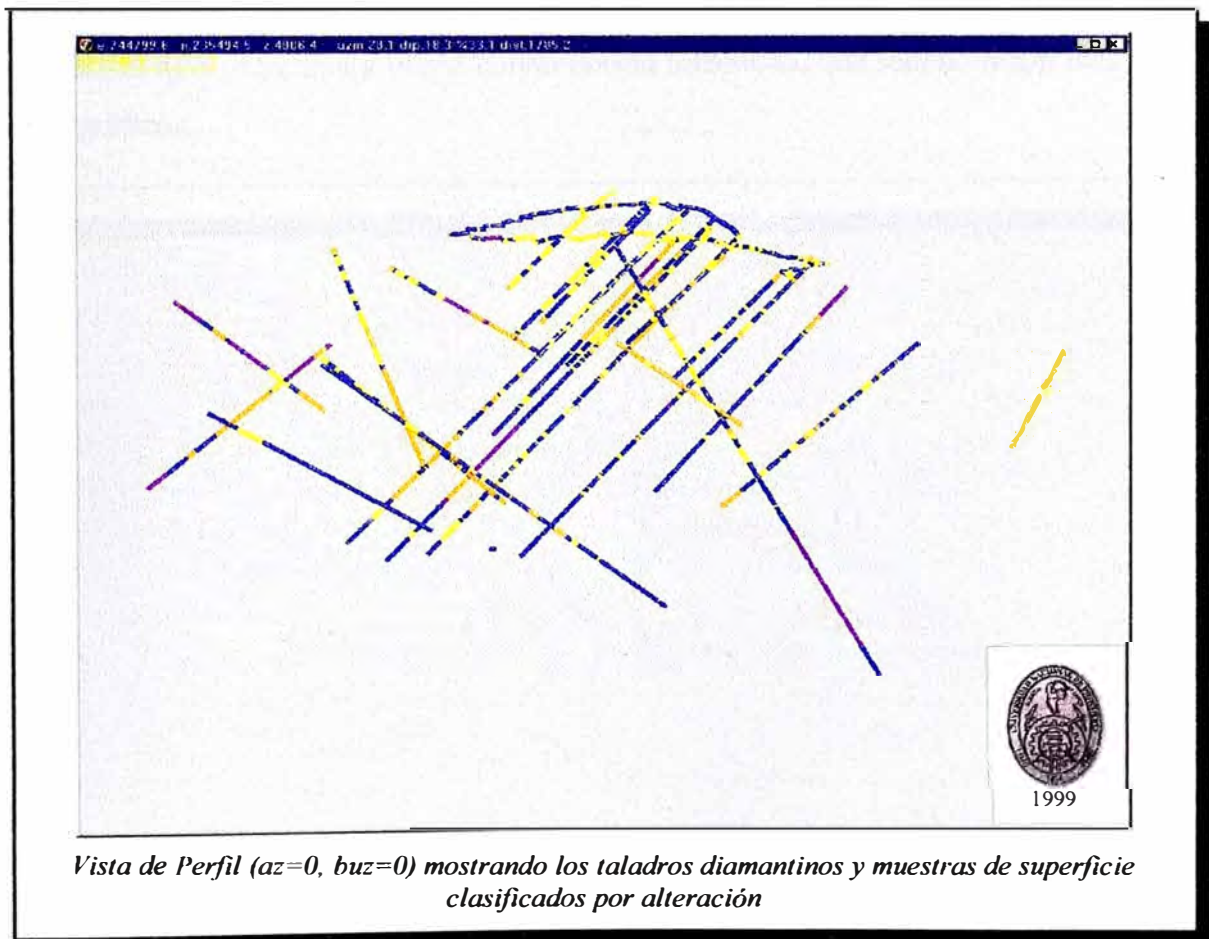
5. **Inicialización del Proyecto en MineSight** : Al igual que en MedSystem, cuando se inicia por primera vez un proyecto en MineSight, se debe hacer la inicialización del mismo. La ventaja que tenemos es que podemos decirle a MineSight que considere los mismos parámetros utilizados para el proyecto en MedSystem; para esto se usa la opción *Importar PCF*.

Un PCF (o según la nomenclatura de MedSystem, Archivo 10) es un archivo de control del proyecto (Project Control File), en donde se indican los parámetros principales de un proyecto MedSystem. En este archivo se guardan los datos de coordenadas mínimas y máximas del proyecto, el intervalo de cotas a utilizarse, el tamaño de los bloques (ancho, largo y altura), el tipo de modelo, el sistema de unidades, la identificación del proyecto, etc.

Debemos indicar que si bien MineSight recoge los parámetros establecidos en MedSystem, no se restringe a ellos pudiendo abarcar por ejemplo, mucha más área o datos que los limitados por el archivo PCF.



6. **Visualización de DDH** : De manera similar se procede al ingreso de datos correspondientes a taladros de perforación y muestras superficiales, aquí es posible diferenciar los intervalos de muestreo por leyes de Au, Ag, alteración, tipo de roca, gravedad específica, etc., para ello se crea un área de trabajo para cada tipo de información a mostrar. El software nos da posibilidades de restringir la muestra de información por intervalos de leyes, según determinados taladros, según determinada condición, etc. En el gráfico que sigue se muestra la totalidad de la información ingresada por colores de alteración según la tabla mostrada en la sección *Adopción de Convenciones*. La vista corresponde a un perfil con azimut de 0° y con una inclinación de 0° . Posteriormente podrá restringirse la visión del perfil a unos cuantos metros de ancho.

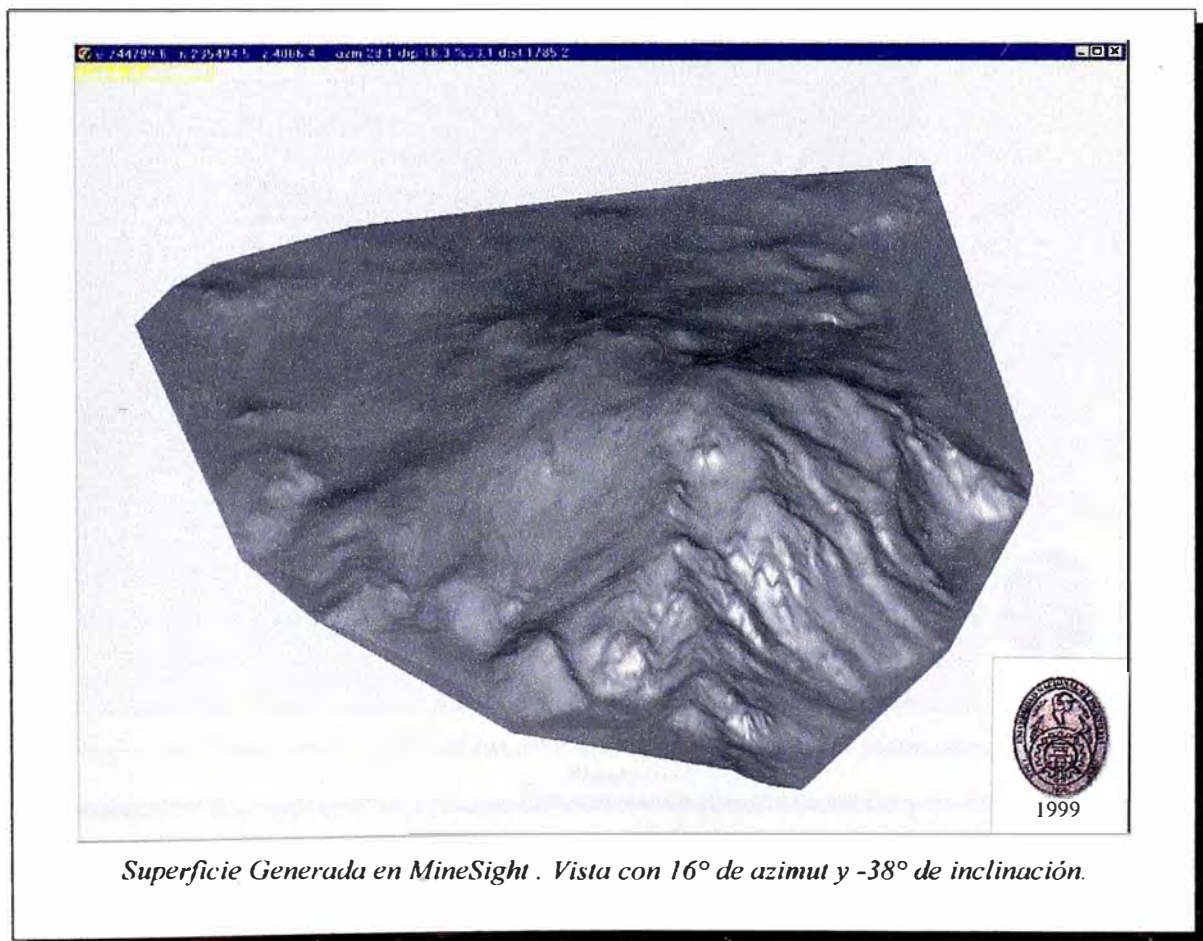


7. **Ingreso de topografía DXF en MineSight** : Además de ingresar la topografía generada en AutoCAD a MedSystem, se debe realizar igual tarea en MineSight; para esto se importa el archivo DXF versión 12 ó 13 que contiene las curvas de nivel preparadas tal como se indicó en la sección Preparación de Datos. Cuando se tiene ingresada la topografía es una buena práctica verificar que no haya errores en este gráfico, esto se hace girando la figura en diferentes direcciones y ángulos para detectar curvas de nivel que estén fuera de su correspondiente altura. De detectarse estos errores, se debe regresar al archivo original en AutoCAD, hacer las correcciones necesarias, volver a generar el archivo DXF correspondiente, e importar dicho archivo nuevamente a MineSight; previamente se habrá desechado la topografía donde se detectó los errores. Una vez que se tiene la topografía en MineSight, el programa tiene herramientas que nos permite reducir el número de puntos existentes en las curvas de nivel, lo cual se traduce en archivos más pequeños y como consecuencia inmediata, una regeneración más rápida de los gráficos.



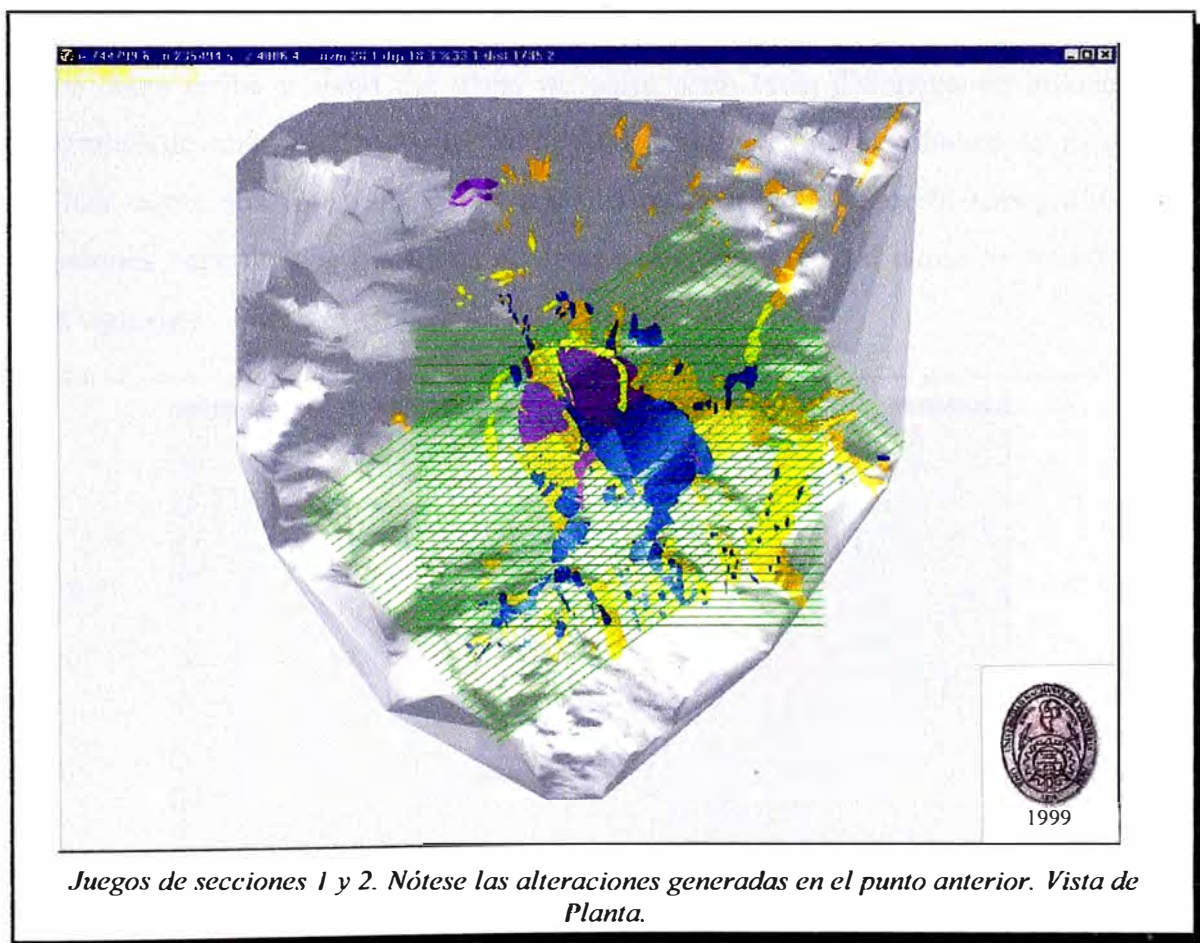
8. **Generación de Topografía Tridimensional** : Una vez que la topografía es importada desde el archivo DXF correspondiente, se procede a una triangulación de las curvas de nivel, para lo cual MineSight verifica previamente que no exista cruces entre las curvas involucradas en la triangulación, de encontrar estos cruces nos enviará un mensaje indicándolo y preguntando si de todas maneras se desea proceder con la generación de la triangulación. Es preferible responder negativamente y corregir los errores para evitar posteriormente problemas, por ejemplo, en el cálculo de volúmenes. Lo ideal es identificar los errores encontrados, corregirlos en AutoCAD, generar nuevamente el archivo DXF, eliminar la topografía ingresada en el paso anterior e importarla otra vez. La alternativa es corregir los errores en el mismo MineSight o incluso eliminar los tramos en conflicto.

Una vez generada la triangulación, es posible “cubrirla” y obtener como resultado la superficie que se muestra en la figura siguiente:



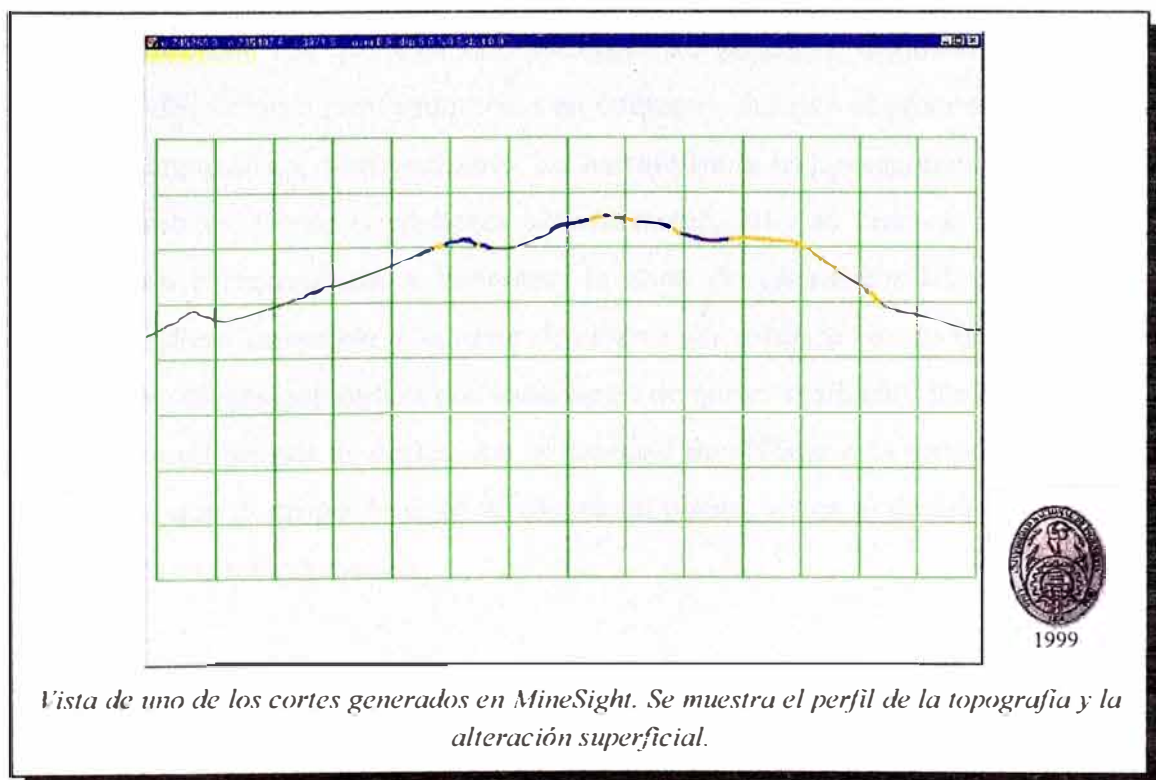
GENERACIÓN DE INFORMACIÓN EN MINESIGHT

12. *Creación de Conjuntos de Secciones* : El paso a seguir es la creación de los conjuntos de secciones que van a utilizarse en el trabajo. Para esto es necesario contar con al menos una coordenada de inicio, la elevación, el azimut de las secciones, su inclinación, la distancia entre líneas de sección y el número de planos a generar. En nuestro caso se ha generado tres juegos de secciones; el primero con un azimut de 52° y una inclinación de 90° ; el segundo juego tiene un azimut de 0° y 90° de inclinación y el tercer juego de secciones es horizontal. En el gráfico que sigue a continuación se muestra el primer y segundo juegos de secciones y su ubicación respecto a la topografía y alteraciones del proyecto.

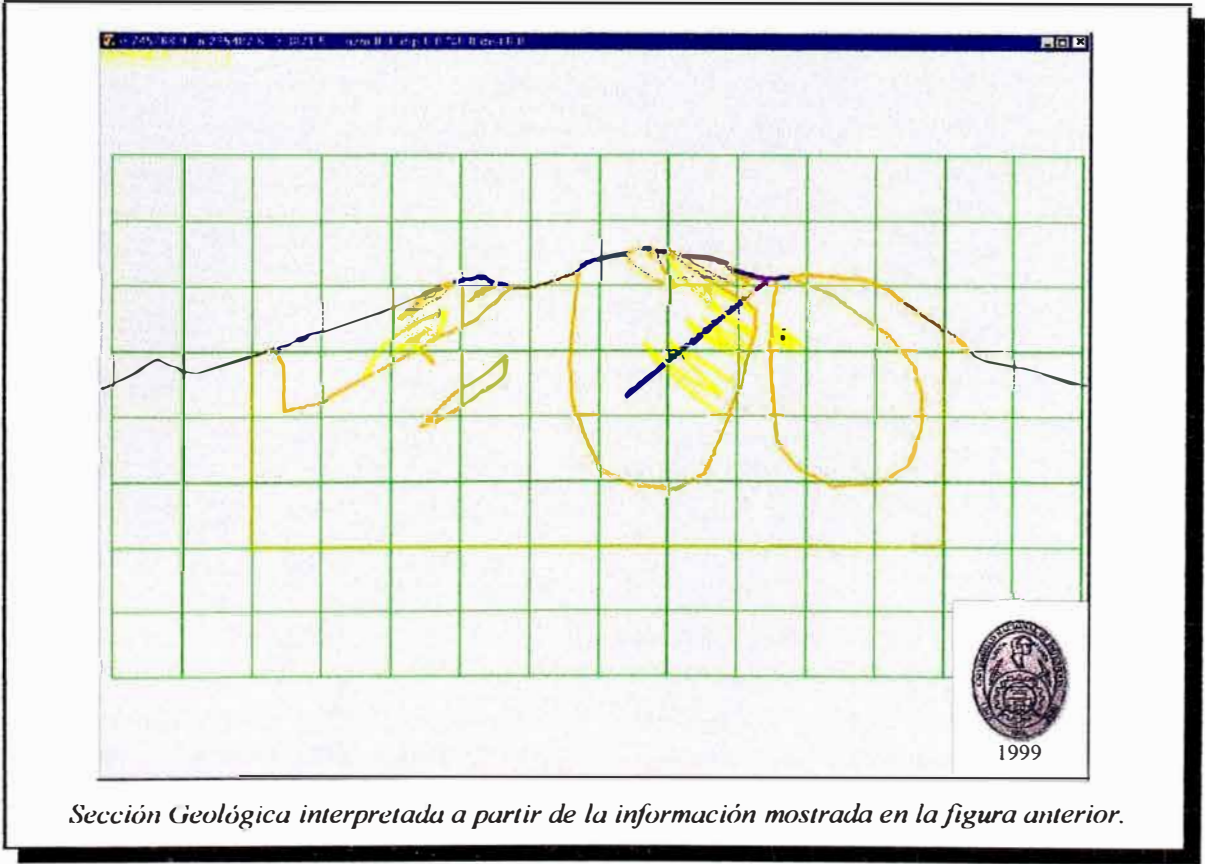
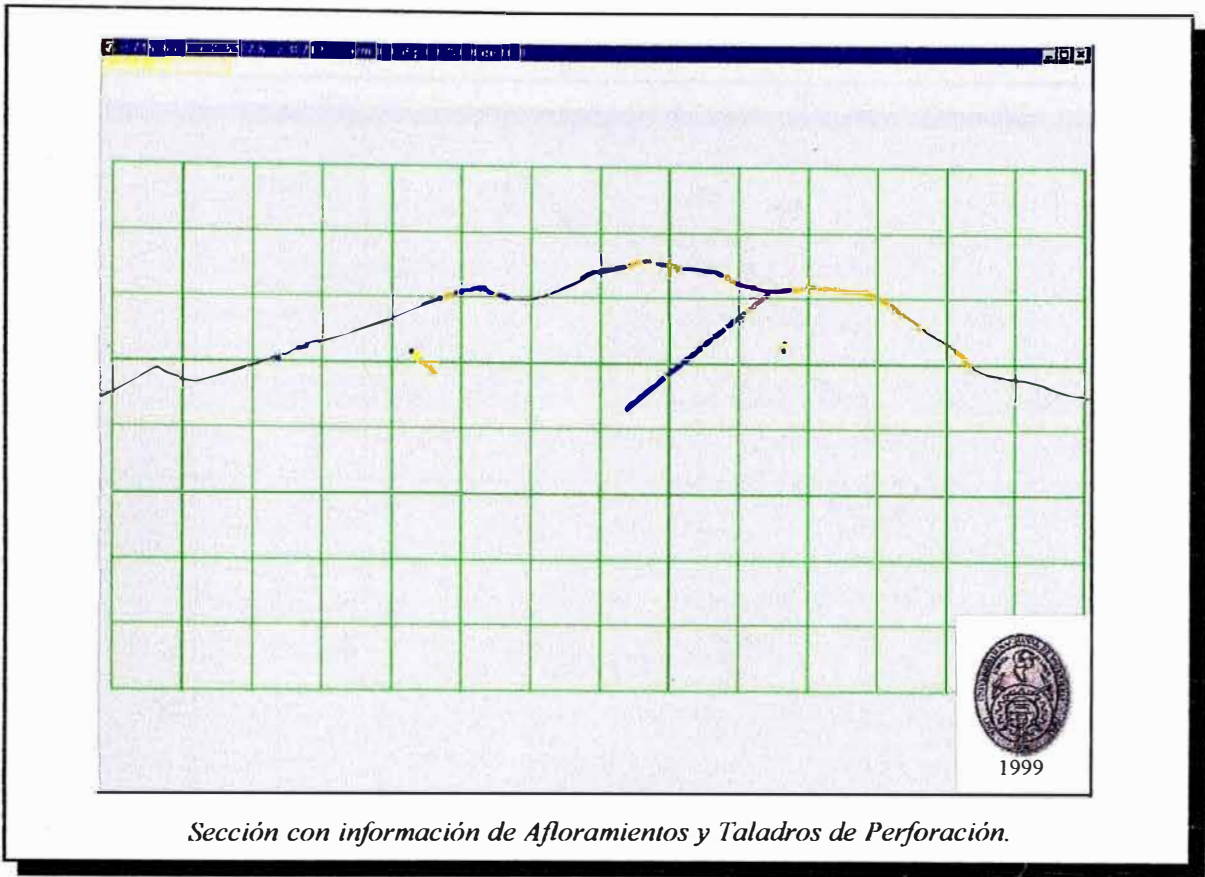


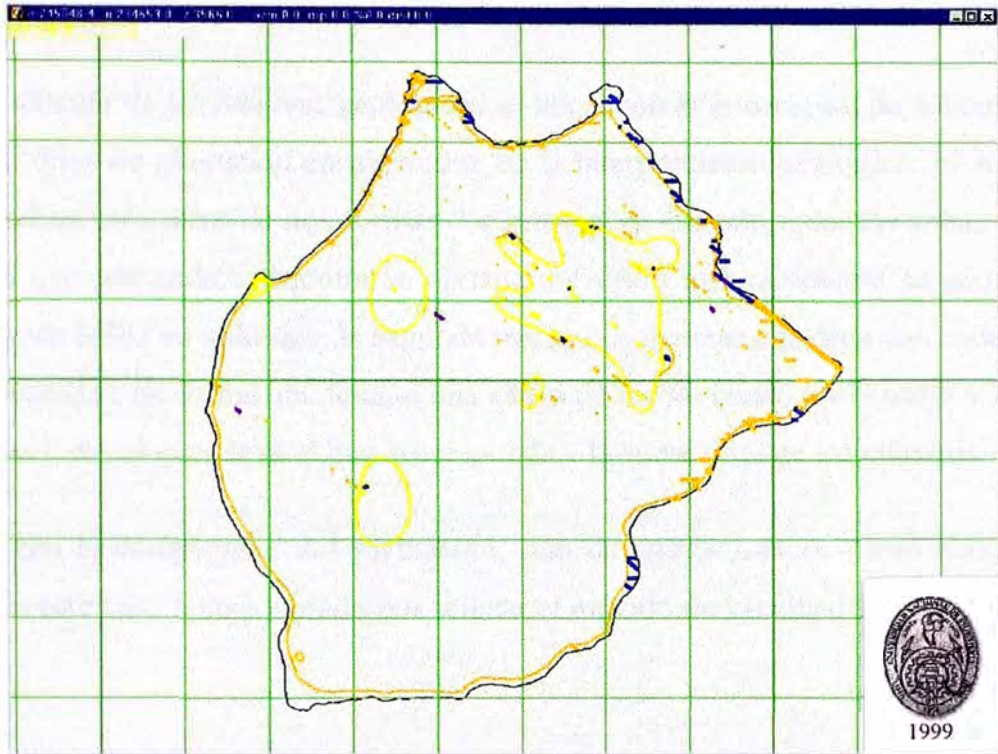
13. **Generación de Cortes de Superficie y Alteraciones** : Luego de haber generado la superficie tridimensional y las alteraciones superficiales, procedemos a crear los corte en las direcciones que van a utilizarse para generar las secciones geológicas. Para esto se apaga toda la información disponible al momento y se deja encendidas la superficie y las alteraciones superficiales. La dirección de los cortes son amarrados a las de los conjuntos de secciones generados en el punto anterior. Así, en nuestro caso, se utilizó tres juegos de cortes, el primero con dirección N52°W con 35 planos de corte y 25 metros entre plano y plano, el segundo juego con dirección EW con 35 planos de corte y 25 metros entre plano y plano y el tercer juego de dirección horizontal con 50 planos de corte y 6 metros entre planos. Estos cortes son posibles de ver individualmente, con un área de influencia a escoger. Para los juegos 1 y 2 se utilizó como área de influencia 12.5 metros a cada lado de la línea de corte, mientras que en el juego horizontal se consideró 3 metros hacia arriba y abajo del plano de corte. Con estas distancias de influencia nos aseguramos de considerar todos los datos recopilados en todo el volumen del proyecto.

Cada corte nos mostrará información correspondiente al perfil topográfico y las alteraciones superficiales presentes en cada plano de corte, tal como se muestra en la figura siguiente:



14. **Corrección de Cotas en las Muestras Geoquímicas Superficiales y Taladros de Perforación** : Aprovechando la generación de cortes del paso anterior, deberá corregirse las cotas para adecuarlas a la topografía tridimensional. Este paso evitará que algunas muestras se ubiquen por encima de la topografía y no sean tomadas en cuenta al momento de hacer cálculos con sus leyes respectivas. Si bien este es un paso algo tedioso, es uno de los más importantes. La corrección de cotas nos obliga a modificar el archivo ASCII inicial, a verificar e ingresar nuevamente la información en MedSystem sobrescribiendo los datos anteriores y finalmente a reiniciar MineSight para observar los cambios realizados. Cabe mencionar que estos cambios afectarán solamente la ubicación de los taladros, más no así todos los otros datos ingresados y generados.
15. **Generación de Secciones Geológicas** : A partir de los cortes realizados con la topografía y las alteraciones, además de la información mostrada por las muestras superficiales y los taladros de perforación, u alguna otra información representable que se tuviese a disposición, se inicia la interpretación geológica de cada una de estas secciones. En esta fase es de suma importancia el conocimiento adquirido por el geólogo respecto al modelo del yacimiento. Su interpretación se basará en sus observaciones de campo y en la percepción del modelo que este tenga. Es en este punto donde se recomienda efectuar una primera interpretación en papel, la discusión del mismo, e incluso la modificación e reinterpretación en conjunto, durante el proceso de ingreso de datos a la computadora, aprovechando las herramientas tridimensionales que ofrece el software a utilizar. Como se indicara anteriormente, en este caso se ha considerado solamente tres características a delimitar: la zona de *alteración silicea*, la zona de *alteración argílica avanzada* y la zona de *alteración argílica+desmonte*. Se efectuará un juego de secciones geológicas por cada juego de cortes realizado. De ser conveniente se efectuarán más grupos de cortes con la finalidad de obtener más grupos de secciones, de tal manera que el grupo final de secciones en planta, tenga el detalle necesario para realizar una buena interpretación.



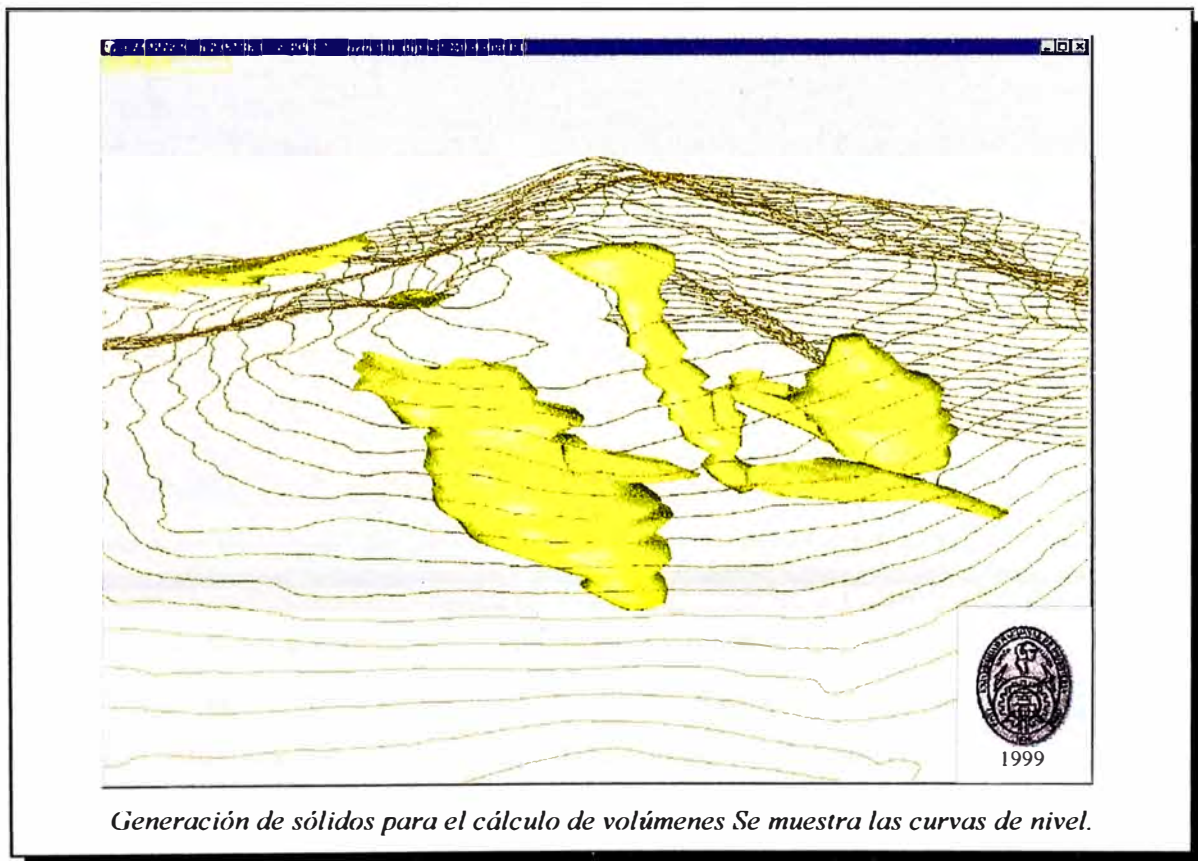


Sección Geológica interpretada en planta a partir de la información generada en los otros juegos de secciones.

Reservas Geológicas⁹

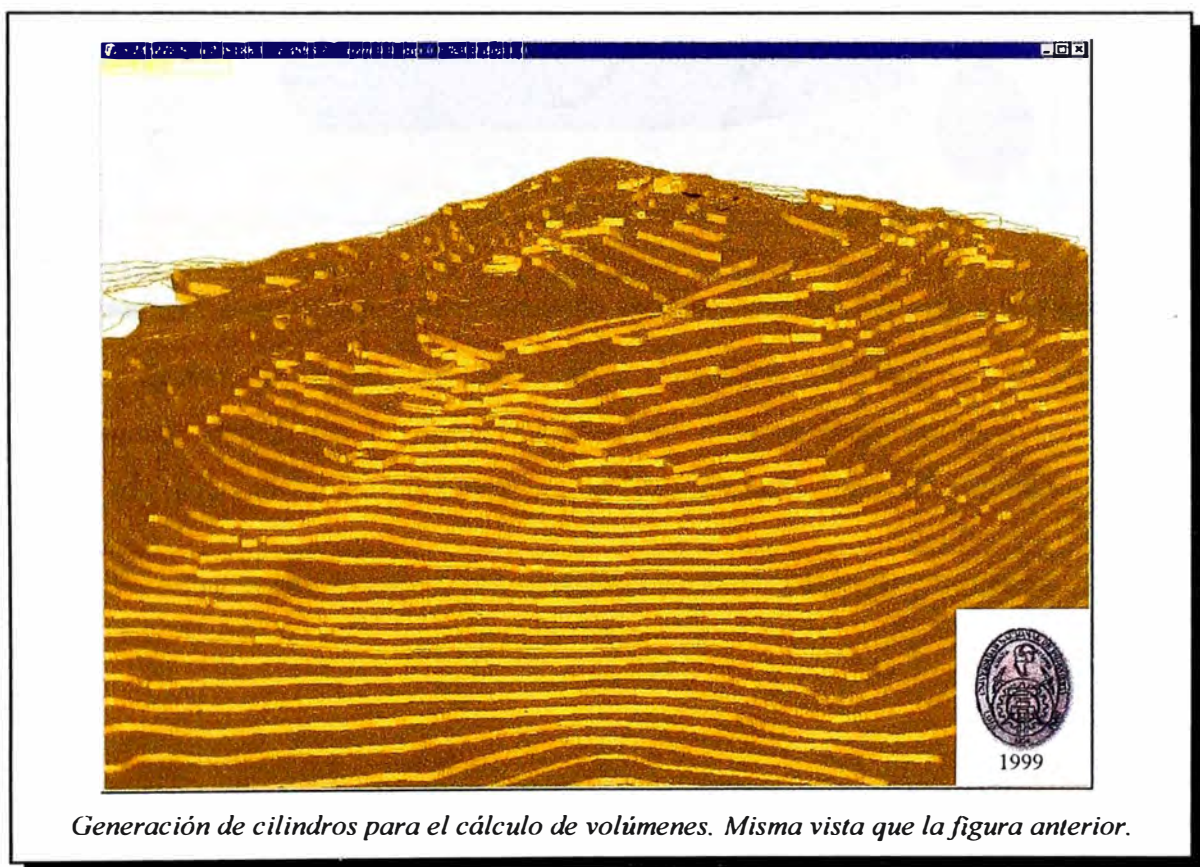
El cálculo de las reservas geológicas se inicia con la generación de sólidos para cada uno de los tipos de alteración considerados en la interpretación geológica. El software nos permite realizar esta tarea de dos formas. La primera es uniendo todas las zonas delimitadas de manera que por cada estructura se obtiene un sólido que representa su geometría y es susceptible de hallar su volumen; la segunda manera es generar cilindros con cada una de las zonas delimitadas, de forma que tengan una altura de medio banco hacia abajo y hacia arriba de cada nivel, el volumen será el que corresponda a la suma total de los cilindros.

Según la complejidad del yacimiento, uno de ambos métodos será más sencillo de realizar. En este caso hemos optado por utilizar el método de los cilindros.

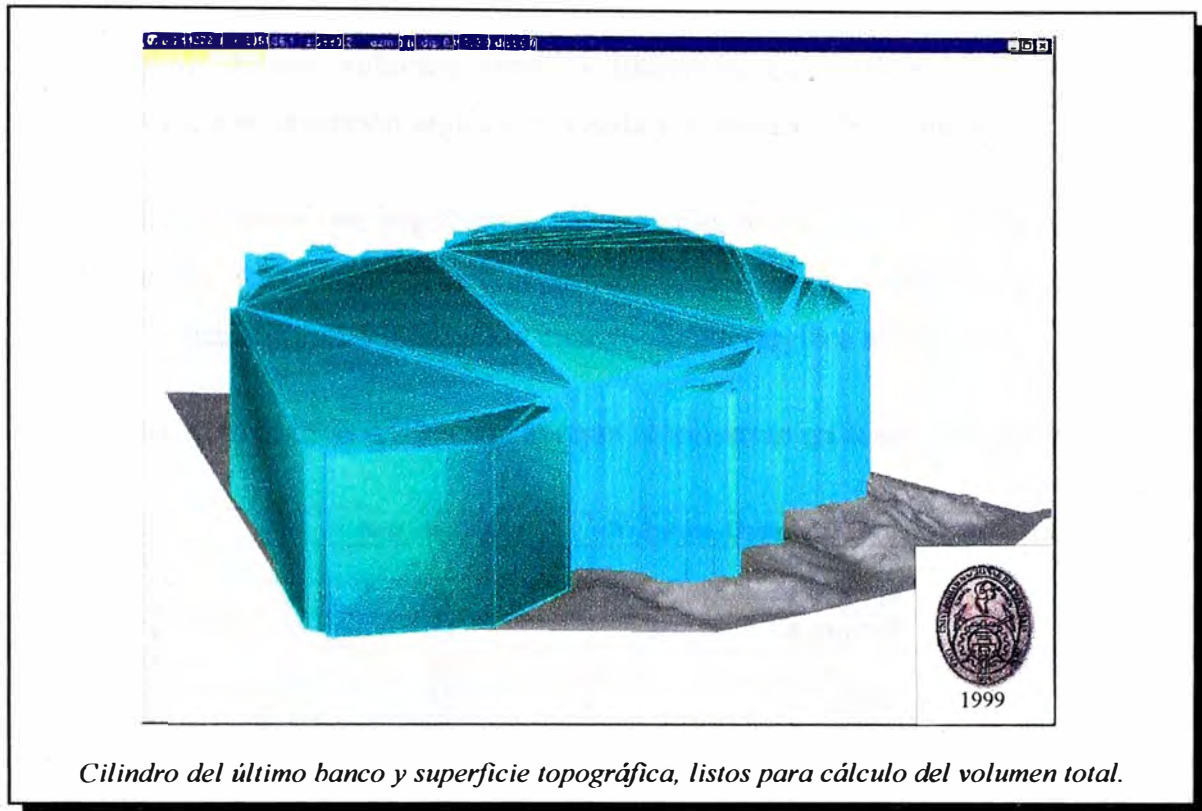


⁹ Por cuestiones de confidencialidad, los datos numéricos referentes a leyes y volúmenes han sido modificados.

En la figura anterior se muestra la topografía del proyecto y solo algunos de los sólidos generados a partir de los límites de alteración silicea, interpretados en el juego de secciones de planta también cada 6 metros. La vista tiene un azimuth de 101° y una inclinación de 22° . En la figura siguiente se muestra la generación de los cilindros de 6 metros a partir de los límites de la roca considerada como desmonte. Si bien aquí, se tiene un excedente en el volumen, al mismo tiempo se tiene un defecto que compensa el exceso. La vista es la misma de la figura anterior.

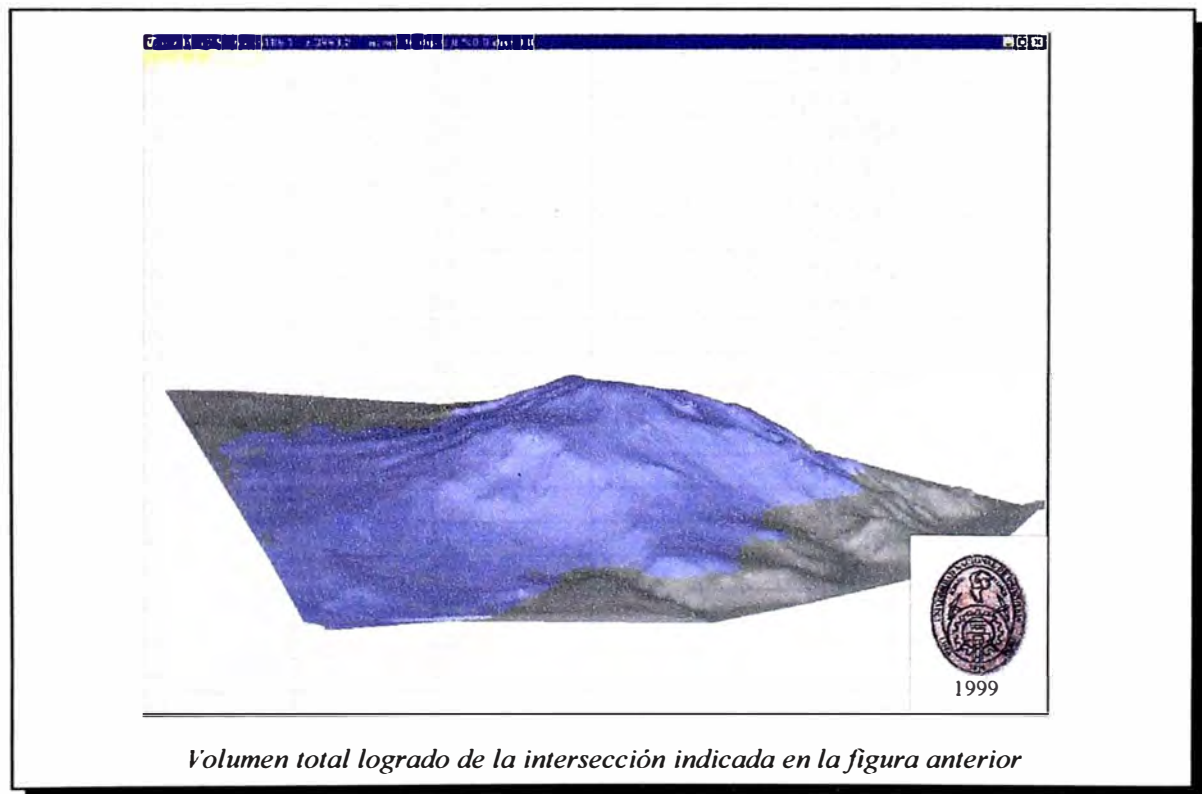


El primer paso a realizar es el cálculo del volumen total involucrado en el proyecto, para esto utilizaremos la curva de nivel del banco más bajo considerado y generamos un cilindro que sobrepase la topografía existente. Con las herramientas de intersección de sólidos que proporciona el software, el cilindro generado es interceptado con la superficie topográfica, dando como resultado un cilindro truncado cuyo volumen será el volumen total a considerar. Debemos asegurarnos que este cilindro con el volumen total este cerrado por sus dos extremos; de no ser así puede ocurrir que el cálculo del volumen no sea el real.



Cilindro del último banco y superficie topográfica, listos para cálculo del volumen total.

Las figuras mostradas en esta página muestran gráficamente el procedimiento indicado líneas arriba. En la figura superior, el color celeste corresponde al cilindro generado, mientras que en la figura superior, el color morado indica el volumen a considerar.



Volumen total logrado de la intersección indicada en la figura anterior

Haciendo el cálculo respectivo, hemos obtenido un volumen total de 99'754,680 m³ de roca. A partir de este volumen vamos a diferenciar que volúmenes corresponden a la alteración silicea, a la alteración argílica avanzada y al material de desmote.

El procedimiento que seguiremos en este caso será el cálculo de los volúmenes por banco del material de desmote y de la alteración silicea, luego por diferencia de volúmenes, hallaremos el volumen total de alteración cuarzo-alunita (argílica avanzada).

Así, los valores encontrados son los que se muestran en la siguiente tabla:

Nivel	Nro. de Banco	Volumen Desmote (m ³)	Volumen Silice (m ³)
3,506	11	9,678,696	130,896
3,512	12	8,928,720	172,512
3,518	13	8,146,080	178,728
3,524	14	7,261,416	156,816
3,530	15	6,516,960	136,464
3,536	16	5,832,576	149,784
3,542	17	5,139,360	158,280
3,548	18	4,572,888	177,672
3,554	19	4,117,632	196,512
3,560	20	3,699,960	193,272
3,566	21	3,406,320	231,672
3,572	22	3,169,824	232,104
3,578	23	2,928,528	233,472
3,584	24	2,705,736	241,224
3,590	25	2,478,216	214,488
3,596	26	2,266,344	231,792
3,602	27	2,064,120	225,888
3,608	28	1,870,224	213,048
3,614	29	1,698,024	216,552
3,620	30	1,523,376	221,136
3,626	31	1,339,056	230,064
3,632	32	1,060,152	188,592
3,638	33	917,760	182,472
3,644	34	808,872	173,496
3,650	35	645,456	159,120
3,656	36	533,760	155,976
3,662	37	407,856	146,472
3,668	38	216,312	141,696
3,674	39	138,600	87,000
3,680	40	47,448	75,912
3,686	41	7,080	47,688
3,692	42	3,072	34,344
3,698	43	384	24,552
3,704	44	0	24,192
3,710	45	0	11,688
TOTAL		94,130,808	5,595,576

Según el cuadro anterior se tiene 94'130,808 m³ de material de desmonte y 5'595,576 m³ de roca con alteración silicea, de donde se desprende que tenemos 28,296 m³ de material con alteración argílica avanzada.

El *cut off* considerado para realizar los cálculos que siguen es de 0.25 gr/TM. Para la alteración silicea, el 100% de los datos disponibles se encuentran por encima de dicho *cut off*, mientras que solamente el 0.46% de los datos provenientes de la alteración argílica avanzada están por debajo de este valor, por lo que, en este caso podemos homologar el contenido metálico con las reservas geológicas.

En el cuadro siguiente presentamos ciertos datos derivados de dichos volúmenes y otros hallados de otras fuentes, por métodos que no son tema del presente trabajo:

Roca	Volumen (m ³)	G.E. Prom.	TM ¹⁰	Ley Prom. (grAu/TM)	gr Au	oz Au
Desmonte	94'130,808	2.344	220'642,613.95	0.08		
Sil	5'595,576	2.299	12'864,229.22	0.42	5'402,976.27	173,715.18
Qz-Aln	28,296	2.390	67,627.44	0.31	20,964.51	674.05
TOTAL	99'754,680		(12'931,856.66)		5'423,940.78	174,389.22

Luego, las reservas geológicas del Proyecto Cerro Chicche son como sigue: 12'864,229 TM de roca de alteración silicea con una ley promedio de 0.42 gr Au/TM equivalente a 173,715.18 oz Au y 64,417 TM de roca de alteración argílica avanzada con una ley promedio de 0.31 gr Au/TM equivalente a 674.05 oz Au.

La proporción promedio de Desmonte/Mineral es de 17 partes de desmonte por 1 parte de mineral. Para efectos de una posterior explotación, esta proporción es demasiado alta, así que vamos a restringir las reservas hasta el banco en que la proporción Desmonte/Mineral sea igual o menor a 10/1. Esto se muestra en el cuadro siguiente:

¹⁰ La cifra indicada entre paréntesis indica únicamente el tonelaje de mineral, es decir sílice+qz-aln.

Nivel	Nro. de Banco	Volumen Desmonte (m ³)	Volumen Sílice (m ³)	Volumen Qz-Aln (m ³)	Desmonte/Mineral
3,596	26	2,266,344	231,792	1,069.37	9.73
3,602	27	2,064,120	225,888	1,166.58	9.09
3,608	28	1,870,224	213,048	1,045.07	8.74
3,614	29	1,698,024	216,552	534.68	7.82
3,620	30	1,523,376	221,136	1,263.8	6.85
3,626	31	1,339,056	230,064	1,409.62	5.79
3,632	32	1,060,152	188,592	1,676.96	5.57
3,638	33	917,760	182,472	558.99	5.01
3,644	34	808,872	173,496	1,458.23	4.62
3,650	35	645,456	159,120	170.13	4.05
3,656	36	533,760	155,976	8,919.51	3.24
3,662	37	407,856	146,472	0	2.78
3,668	38	216,312	141,696	0	1.53
3,674	39	138,600	87,000	0	1.59
3,680	40	47,448	75,912	3,645.58	0.6
3,686	41	7,080	47,688	0	0.15
3,692	42	3,072	34,344	4,447.6	0.08
3,698	43	384	24,552	0	0.02
3,704	44	0	24,192	0	0
3,710	45	0	11,688	0	0
TOTAL.		15,547,896	2,791,680	27,366.12	

A partir de estos datos recalcularemos las reservas geológicas, lo cual se indica en el cuadro presentado a continuación:

Roca	Volumen (m ³)	G.E. Prom.	TM ¹¹	Ley Prom. (grAu/TM)	gr Au	oz Au
Desmonte	15'547,896	2.344	36'444,268.22	0.08		
Sil	2'791,680	2.299	6'418,072.32	0.42	2'695,590.37	86,667.96
Qz-Aln	27,024	2.390	64,587.36	0.31	20,022.08	643.75
TOTAL	18'366,600		(6'482,659.68)		2'715,612.46	87,311.71

Finalmente las reservas geológicas del Proyecto Cerro Chicche son como sigue: 6'418,072.32 TM de roca de alteración silicea con una ley promedio de 0.42 gr Au/TM equivalente a 86,667.96 oz Au y 64,587.36 TM de roca de alteración argílica avanzada con una ley promedio de 0.31 gr Au/TM equivalente a 643.75 oz Au.

La proporción de Desmonte/Mineral es de 5.5 partes de desmonte por 1 parte de mineral.

¹¹ La cifra indicada entre paréntesis indica únicamente el tonelaje de mineral, es decir sílice+qz-aln.

Conclusiones y Recomendaciones

CONCLUSIONES

El uso de la computadora en esta clase de trabajos nos permite tener una visión tridimensional más amplia al tiempo que nos permite efectuar más interpretaciones en un tiempo más corto.

Es muy importante la preparación de los datos en formato digital para un correcto reconocimiento del software minero a utilizarse.

Es aún de mayor importancia la verificación de los datos ingresados, ya que esta clase de errores puede llevar a interpretaciones erróneas.

Es necesario tratar de cuantificar cada parámetro geológico, de forma que pueda ser reconocido por el programa a utilizarse. Las observaciones no cuantificables, no son susceptibles de ser utilizadas.

RECOMENDACIONES

La parte interpretativa del trabajo debe ser realizada con la participación activa del geólogo de campo.

Es una buena práctica hacer una primera interpretación en secciones en papel, esto permite una familiarización con la geometría del depósito.

Tratar en lo posible de hacer las correcciones en los archivos primarios y volver a efectuar la introducción de la totalidad de datos involucrados en la corrección.

Se aconseja llevar un registro de todos los parámetros usados en cada proyecto a inicial, así como de todos los archivos creados y su contenido.

Bibliografía

Aramburú, Miguel : *El Proyecto Sipán - Cajamarca - Perú*. En: III Simposium Internacional del Oro. Mayo, 1998.

Candiotti, Hugo; Guerrero Tomás : *Descubrimiento y Geología del Yacimiento de Oro Diseminado Sipán-Cajamarca*. En: Congreso Geológico Peruano. Agosto, 1997.

Candiotti, Hugo : *Programa de Exploración del Prospecto de Oro Diseminado Coris (María Porfiria)-Cajamarca*. Informe Interno de la Cía. Minera Argento S.R.L. Abril, 1994.

Dupree, Paul; Lonergan, Jim : *Estudio de un caso en la Aplicación de MineSight MedSystem en la operación de Toquepala, Southern Peru Ltd*. En: II Simposium Internacional de Informática Aplicada a la Minería - Infomina 98. Mayo, 1998.

Espinoza Miranda, Jhon : *Modelamiento Geológico Tridimensional en Yanacocha*. En: II Simposium Internacional de Informática Aplicada a la Minería - Infomina 98. Mayo, 1998.

Estela De La Cruz, Sashir : *Sistema de Modelamiento Geológico para Estimación de Reservas Mineras*. En: II Simposium Internacional de Informática Aplicada a la Minería - Infomina 98. Mayo, 1998.

García, José Luis : *Programa de Exploraciones en los Cerros Minas y Ojos del Prospecto Sipán*. Informe Interno de la Cía. Minera Argento S.R.L. Agosto, 1994.

Jo, Gustavo; Ojeda, Carlos : *Importancia del Criterio y la Experiencia del Ingeniero en el Uso de las Computadoras*. En: II Simposium Internacional de Informática Aplicada a la Minería - Infomina 98. Mayo, 1998.

Klohn Crippen - SVS S.A. Ingenieros Consultores : *Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto Aurífero Sipán*. Informe Interno. Mayo, 1997.

Mintec Inc. : *MedSystem, Manual de Capacitación General*. Febrero, 1998.

Mintec Inc. : MineSight, Manual de Capacitación Versión 1.7. Noviembre, 1997.

Mintec Inc. : Handling Sample Data & Compositing. Mayo, 1998.

Mintec Inc. : Geologic Modeling & Resources Estimation Workbook. Febrero, 1998.

Núñez Pariahuamán, Walter : Modelamiento y Cubicación de Vetas empleando Vulcan.
En: II Simposium Internacional de Informática Aplicada a la Minería - Infomina 98. Mayo, 1998.

Wilson, J. : Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo y otros. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Boletín N° 38. 1984.

Zegarra, Darío; Monzón Leopoldo : Base de Datos para el Modelamiento Geológico, Diseño, Control y Planeamiento de la Producción de Operaciones Mineras. XXIII Convención de Ingenieros de Minas del Perú, 1997.