



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



APLICACIÓN DE HXGN MINEPLAN 3D PARA MODELAMIENTO DE BLOQUES Y ESTIMACIÓN DE RESERVAS DE UN YACIMIENTO CUPRÍFERO.

EXAMEN DE SUFICIENCIA DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

EFRAIN ROLANDO CUNO AQUINO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO-PERÚ

2019



DEDICATORIA

A mis padres Teodocio y Juana. A mis hermanos, a mis sobrinos y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindaron. A todos Ustedes es una satisfacción y un privilegio dedicarles, con alegría y entusiasmo personal, profesional y también intelectual, los cientos de horas invertidas en este trabajo de investigación que no es más que la evidencia de la muestra de mi amor y cariño hacia ustedes.



AGRADECIMIENTO

A mis padres, por el apoyo y amor incondicional, que me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos y mucho de los logros se los debo a Ustedes

A la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos en mi formación profesional.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ACRÓNIMOS

RESUMEN	8
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUCCIÓN	9
2 MATERIALES Y MÉTODOS	11
2.1 Materiales	11
2.2 Métodos	11
2.2.1 Modelamiento Geológico.....	11
2.2.2 Modelo de Bloques	11
2.2.3 Software minero HxGN MinePlan 3D.....	12
2.3 diagrama de flujo.....	14
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	14
3.1 Estudio exploratorio de datos y creación de cuerpos solidos	14
3.2 Creación del modelo de bloques.....	15
3.3 Estimación de leyes del mineral	16
3.4 Determinación del grafico tonelaje – ley.....	17
3.5 Zonas de mayor concentración de Cu de alta ley.	18
3.6 Estimación de reservas con MSReserves	19
4 CONCLUSIONES	20
5 AGRADECIMIENTOS.....	21
6 BIBLIOGRAFÍAS	21

TEMA: Modelamiento de bloques y estimación de reservas.

ÁREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 de diciembre del 2019



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Ventana principal HxGN MinePlan 3D.	12
Fig. 2. Modelo lógico MStorque.	13
Fig. 3. MineSight Data Analyst.....	13
Fig. 3. MSReserves.....	14
Fig. 6. Compositos de leyes de Cu del depósito.	15
Fig. 7. Sólidos del depósito.	15
Fig. 8. Bloque mayor generado a partir de los sondeos desplegados.	15
Fig. 9. Discretización del depósito representado por los sólidos.....	15
Fig. 10. Gráfico de un Semivariograma.....	16
Fig. 11. Semivariograma ajustado el modelo teórico esférico.....	17
Fig. 12. Modelo de bloques.....	17
Fig. 14. Curvas de Tonelaje vs Ley del depósito.	18
Fig. 15. Profundidad a la que se encuentra una parte del depósito cuyas leyes se encuentran por encima de la ley de corte.	19
Fig. 16. Reporte de reservas en MSReserve.	19
Fig. 17. Gráfica de reservas de yacimiento.....	20
Fig. 14. Grafica reservas de cobre fino.	20



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ley de corte, porcentaje de tonelaje de mineral y ley media.	18
Tabla 2. Reservas del yacimiento.	19
Tabla 3. Reservas de cobre fino.	20
Tabla 4. Reservas por bancos.	20



ACRÓNIMOS

PCF	Proyect Control File
HxGN	Hexágon
DXF	Drawing Exchange Format
CAD	Computer Aided Design
MSDA	MineSight Data Analyst
MS3D	MineSight 3D
MSIP	MineSight Interactive Planner
KRG	Kriging
IDW	Inverse Distance Weighting
Tn	Tonelada
SQL	Structured Query Language



Aplicación de HxGN MinePlan 3D para modelamiento de bloques y estimación de reservas de un yacimiento cuprífero.

HxGN MinePlan 3D application for block modeling and reserve estimation of a copper deposit.

Efraín Rolando, Cuno-Aquino

Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Perú.

Av. Floral N° 1153

efraincuno10@gmail.com , Cel. 968963696.

RESUMEN

Uno de los grandes retos en la minería consiste en estimar con gran precisión las reservas minerales de un yacimiento tanto en cantidad como en calidad. Por tanto, es necesario contar con el modelamiento del yacimiento, antes de realizar las inversiones para las diferentes fases de desarrollo. Los objetivos corresponden a definir el modelo de bloques, determinar las zonas de mayor concentración de mineral cupríferos de alta ley y realizar la estimación de las reservas del yacimiento que constituyen un paso indispensable para la toma de decisiones en cuanto a la explotación minera. A través del modelamiento de bloques, discretización del yacimiento en bloques con una ley estimada, es posible estimar las reservas del yacimiento. Con la aplicación del software HxGN MinePlan 3D y mediante la técnica diseño y modelamiento bloques, se obtiene los siguientes resultados de las reservas del yacimiento de cobre mediante el MSReserves son de 758 876 054 Tn de mineral y la reserva de cobre fino para una ley de corte de 0.20 % Cu se obtiene 2 107 722.77 Tn, con una ley media de 0.39 % Cu. que es superior a la ley mínima de corte, por lo que se justifica la explotación del depósito. Y en conclusión el software minero HxGN MinePlan 3D es una herramienta de trabajo, que permite realizar con gran precisión diseño y modelamiento del yacimiento.

Palabras Clave: modelo geológico, yacimiento, minería, geoestadística, bloques.

ABSTRACT

One of the great challenges in mining is to estimate with great precision the mineral reserves of a deposit both in quantity and quality. Therefore, it is necessary to have the modeling of the deposit, before making the investments for the different phases of



development. The objectives correspond to defining the block model, determining the areas with the highest concentration of high-grade copper minerals and making the modification of the reservoir reserves that have an essential step for decision-making regarding mining. Through block modeling, the discretization of the deposit in blocks with an estimated law, it is possible to estimate the reservoir reserves. With the application of the HxGN MinePlan 3D software and using the block design and modeling technique, obtain the following results the reserves of the copper deposit through the MSReserves are 758,876,054 tons of ore and the fine copper reserve for a law of 0.2% Cu cut is obtained 2 107 722.77 tons, with an average grade of 0.39% Cu. which is higher than the minimum court law, so the exploitation of the deposit is justified. And in conclusion the mining software HxGN MinePlan 3D is a work tool, which allows the design and modeling of the deposit with great precision.

Keywords: geological model, deposit, mining, geostatistics, blocks.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las actividades mineras requieren de herramientas informáticas que permitan disminuir la incertidumbre del negocio minero.

Con la aplicación de software HxGN MinePlan 3D, se realizan simulaciones de modelamiento de bloques y estimaciones de reservas para mejorar la interpretación del yacimiento minero.

HxGN MinePlan, es el programa fundamental para visualización, diseño, modelado y cálculo de reservas. Se integra plenamente con todos los aspectos de nuestro conjunto general para planeamiento de mina. Es una solución

gráfica a medida para el diseño CAD de minas, que aplica métodos innovadores, como la realidad virtual y con todas las técnicas de presentación estándar (HxGN Mineplan, 2019).

En toda actividad minera, uno de los primeros pasos a realizar consiste en la cuantificación de los procesos de los recursos minerales y la estimación de los valores de concentración del mineral de interés. (Gongwen Wang, 2012) (Howard L. Hartman, 2002)

En base a las estimaciones, las características del depósito y los factores geométricos, técnicos, operativos y económicos es posible determinar zonas



cuyo contenido en el mineral de interés es considerable (Liang feng ZHU, 2006).

El empleo de los modelos y las simulaciones mejoran la interpretación que se tiene del depósito para delimitar las zonas de interés minero y escoger el sistema de explotación adecuado (Mory, 2004).

Las herramientas informáticas plantean una solución viable para disminuir la incertidumbre, además sintetizan en tiempo las actividades que se desarrollan en casi todas las etapas en una mina, desde la prospección geológica hasta el diseño, programación y explotación del yacimiento, asimismo facilita cálculos muy complejos, permite la visualización en 3D de las gráficas, y fundamentalmente ayuda a la toma de decisiones (Franco Sepulveda & Gallo Sierra, 2011).

Típicamente, un bloque para un modelo 3-D contendrá los ítems de ley, los códigos geológicos y un por ciento topográfico. Los datos de calidad se ingresan mediante una técnica de interpolación por lo regular, tal como el Kriging o la ponderación del inverso a la distancia. Una vez construido el modelo, éste puede ser actualizado, resumido estadísticamente, ploteado en planta o sección y contornado en planta o sección. El modelo es un requisito necesario en cualquier diseño de pit o

proceso de evaluación de pit (Franco Sepulveda & Gallo Sierra, 2011).

La mayoría de los problemas que surgen al realizar una estimación de recurso ocurren por la aplicación incorrecta de los principios geológicos. Para realizar una interpretación geológica se requieren principalmente construcciones de planos y secciones que representen las dimensiones, propiedades y morfología del depósito (Kaufmann, 2008).

El empleo de los modelos y las simulaciones mejoran la interpretación que se tiene del depósito para determinar las zonas de interés minero y escoger el sistema de explotación más adecuado. Además, permite la optimización de procesos respecto al tratamiento de mena, al consumo energético y a la planificación de actividades mineras a corto, mediano y largo plazo (Tituana Barén , 2014).

Además cabe indicar que se realizaron estudios, como en la tesis titulada “Modelo de Bloques de Cobre ESPOL-X para la selección del Método de explotación Minera Utilizando Herramientas Informáticas”, en donde se obtuvieron los siguientes resultados: Para la ley de corte establecida de 2.5 %Cu se obtiene un tonelaje de 29.9 Mt con una ley media de 3.2%Cu, que es superior a la ley mínima de



corte, por lo que se justifica la explotación del depósito (Tituana Barén , 2014).

El alcance del estudio es el empleo del software HxGN MinePlan 3D que permite una solución informática para el modelamiento de bloques y la estimación de reservas.

Además, se tiene como **hipótesis**: si con la aplicación HxGN MinePlan 3D, se obtendrá el modelamiento de bloques y estimación de reservas de un yacimiento cuprífero.

También se planteó como **objetivos**: corresponden a definir el modelo de bloques, determinar las zonas de mayor concentración de mineral cupríferos de alta ley y realizar la estimación de las reservas del yacimiento.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Los materiales que se utilizaron para el siguiente trabajo de investigación fueron los siguientes:

- Laptop.
- Disco duro externo.
- Muebles de escritorio.
- Software minero, HxGN MinePlan 3D.

2.2 Métodos

2.2.1 Modelamiento Geológico

El punto de partida para la elaboración de un modelo geológico es la recopilación de datos topográficos e información obtenida en las campañas de exploración avanzada. Cuando los yacimientos no afloran en la superficie, es necesario tomar muestras utilizando sondajes, que consisten en perforaciones de poco diámetro, pero grandes longitudes y de esta manera alcanzar zonas inaccesibles desde la superficie.

Una de las técnicas más utilizadas es la perforación con recuperación de testigo, los cuales son llevados a diferentes laboratorios en donde un grupo de expertos analizan e interpretan la litología, alteraciones, leyes de minerales, impurezas, densidades, entre otras. A partir de estas variables se elabora el modelo geológico.

2.2.2 Modelo de Bloques

Al tener una variable regionalizada (ley, potencia, densidad, etc.) que presenta variabilidad en el depósito mineral existirá cierta incertidumbre en cuanto a sus valores en sitios que no han sido muestreados. Esa falta de información producto del limitado número de sondeos o muestras tomadas, se compensa en cierta forma utilizando métodos de estimación.

Existen métodos clásicos y geoestadísticos para evaluar las reservas de un depósito mineral. El krigage es una técnica Geoestadística utilizada para estimar el valor de una variable regionalizada en un punto o en un bloque, a partir de factores de ponderación que se determinan de tal forma que la varianza de la estimación sea mínima; los factores de ponderación se calculan a partir de un sistema de ecuaciones en donde las incógnitas para resolver el sistema se obtienen del semivariograma modelizado. Para realizar el kriging de bloques es necesario discretizar el depósito en cubos de determinadas dimensiones y estimar los valores de la variable para cada bloque que forma parte del yacimiento.

Para realizar el modelo de bloques y la estimación mediante la técnica del krigage, es necesario realizar previamente un análisis variográfico de los datos, con la finalidad de conocer sus principales propiedades de distribución espacial y de esta manera saber qué tan continua es la variable dentro del depósito.

2.2.3 Software minero HxGN MinePlan 3D

El software minero HxGN MinePlan 3D aplicado al diseño, planificación y explotación de minas, cuenta con herramientas completas e interactivas

necesarias para determinar con confianza las reservas explotables. A continuación, se tiene las siguientes herramientas: MS3D, MSTorque, MSDA y MSReserves.

a. **MS3D**, MineSight 3D es un componente importante del paquete integral de software de diseño y evaluación de minas tridimensionales de MineSight, que incorpora la interfaz gráfica MS3D y la interfaz de administración del programa MineSight Compass (MSCompass) fig. 1.

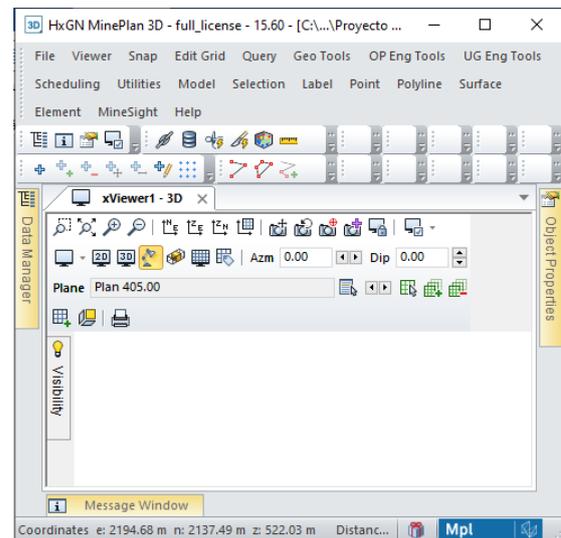


Fig. 1. Ventana principal HxGN MinePlan 3D.

b. **MSTorque**, es una herramienta que nos permite cargar, los archivos collar, survey, assay y lito, elaborar compositos y creación de solidos a través de una base de datos SQL (Structured Query Language) server.

En la siguiente fig. 2 se presenta un modelo lógico muy simplificado de MSTorque.

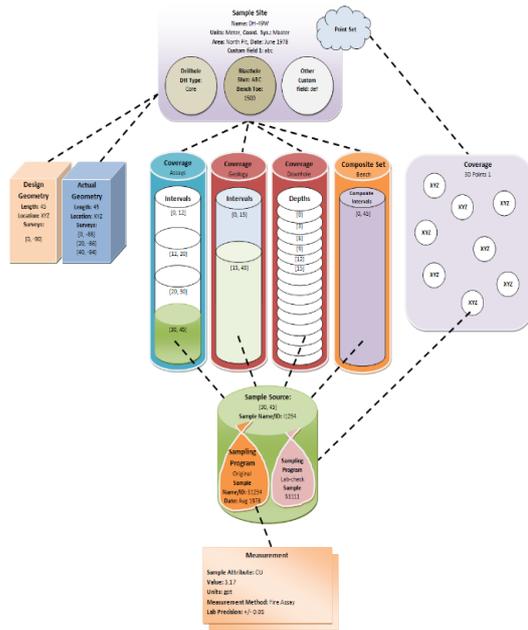


Fig. 2. Modelo lógico MSTorque.

Comenzando en la parte superior del dibujo, vemos que un sitio de muestra puede contener geometría real o de diseño como polilínea o puntos topográficos, y cualquier número de intervalos, o puntos.

Un sitio de muestra puede contener varios conjuntos de intervalos o puntos, uno para cada cobertura. Por ejemplo, un conjunto de intervalos para la cobertura del ensayo y un conjunto de intervalos para la cobertura geológica.

Un intervalo o un punto puede contener cualquier cantidad de Muestras. Por ejemplo, se puede enviar una muestra al laboratorio como parte del programa de muestreo original; posteriormente, se puede obtener una segunda muestra del mismo intervalo como parte de un programa de análisis de verificación.

Finalmente, hacia la parte inferior del dibujo, vemos que un atributo de muestra dado asociado con una muestra dada tiene una medición que incluye el valor, así como datos auxiliares como Unidades, Método de medición, Precisión y Fecha de muestra.

c. MSDA, MineSight Data Analyst es un paquete de programas estadísticos y geoestadísticos que es aproximadamente un superconjunto de los antiguos programas de las series MineSight® m300 y m400. Incluye histogramas, diagramas de dispersión, diagramas de probabilidad acumulativa, variogramas, modelado de variogramas en 3D e informes personalizados fig. 3.

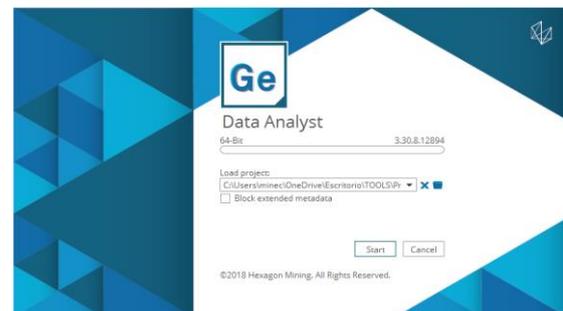


Fig. 3. MineSight Data Analyst.

d. MSReserves, es una herramienta de cálculo que se utiliza para generar tablas, gráficas e informes de reservas de Polígonos y Sólidos, bases de datos de Minesight Interactive Planner (MSIP), entre superficies GSF (archivo 13) o un rango de coordenadas de un modelo de bloques (archivo 15), todo

basado en un modelo de bloques (archivo 15).

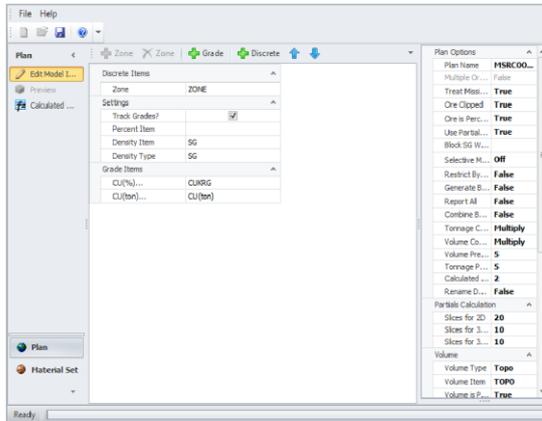


Fig. 3. MSReserves.

2.3 diagrama de flujo.

En la fig. 4, se muestra el diagrama de flujo para modelamiento de bloques y estimación de reservas

Administración de datos como los archivos collar, survey, assay y lito y creación de un proyecto PCF (proyect control file) en HxGN MinePlan 3D, cargar los archivos a minesight compass (collar, survey, assay y lito), inicializar assay archivos 11,12.

La composición de sondajes y la elaboración de varias secciones que permitan crear solidos que representen las zonas con leyes bajas, medias y altas del yacimiento. Se realiza también un análisis variografico de los lados, la construcción del modelo de bloques, la estimación de leyes mediante la técnica de krigeage y la construcción de las curvas tonelaje vs ley para el depósito discretizado.

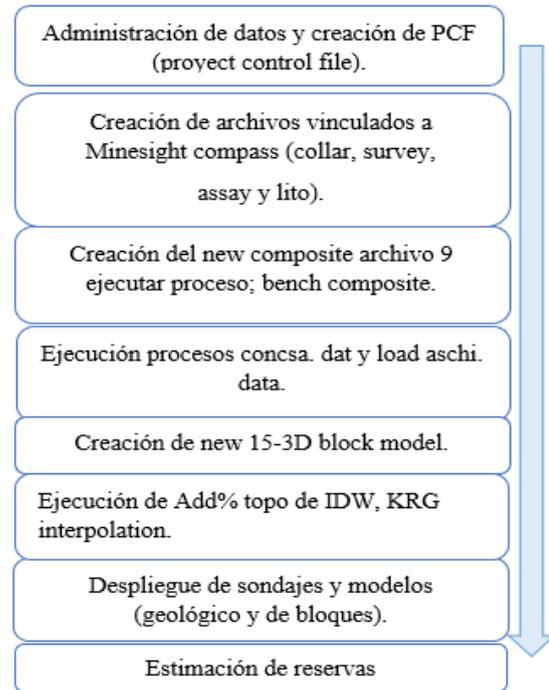


Fig. 4. Diagrama de flujo.

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Estudio exploratorio de datos y creación de cuerpos solidos

La información de los análisis químicos y geológicos de los sondajes realizados en la zona de estudio, son sometidos a un análisis estadístico a fin de determinar la distribución de sus datos fig.5.

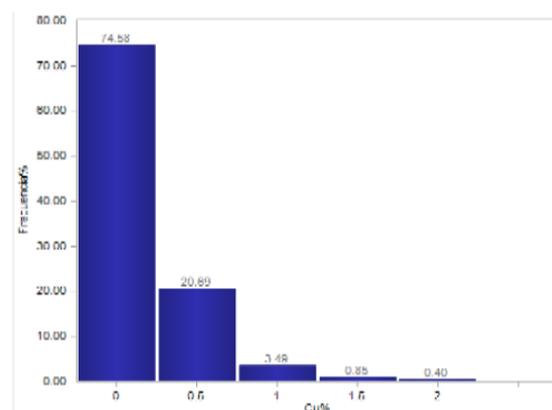


Fig. 5. Histograma de datos.

Los datos son compositados a 15 m e interpretados fig. 6, a fin de construir secciones que permitan elaborar los sólidos que representan las zonas con mayor concentración en cobre (Cu), a fin de ser utilizados en la estimación de leyes.

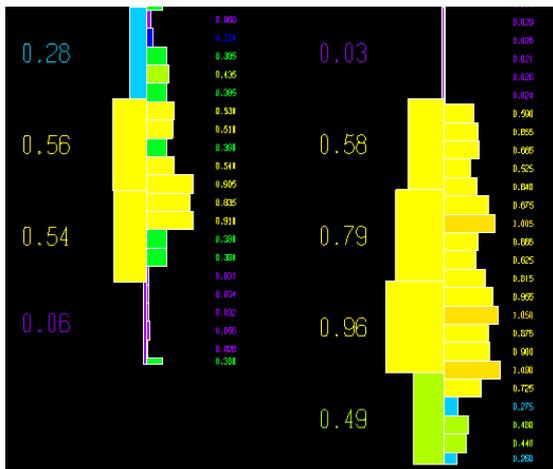


Fig. 6. Compositos de leyes de Cu del depósito.

Generación de sólidos con la herramienta MS Torque a partir de las rocas como: óxidos (LZ) de color magenta, Sulfuro secundario (SZ) de color azul, sulfuro primario (PZ) de color verde, dique (DYKE) de color rojo y sill (SILL) de color amarillo Fig. 7.

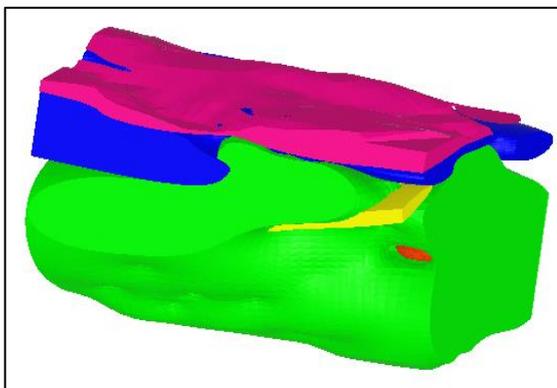


Fig. 7. Sólidos del depósito.

3.2 Creación del modelo de bloques

El modelo de bloques de yacimiento se ha realizado a partir de los datos obtenidos de los taladros diamantinos, en donde se perforaron alrededor de 28797 metros. Se han realizado 128 sondeos con longitudes que oscilan entre los 65 y 527 metros de profundidad, en un área de estudio de 2550*2550 m (Fig. 8).

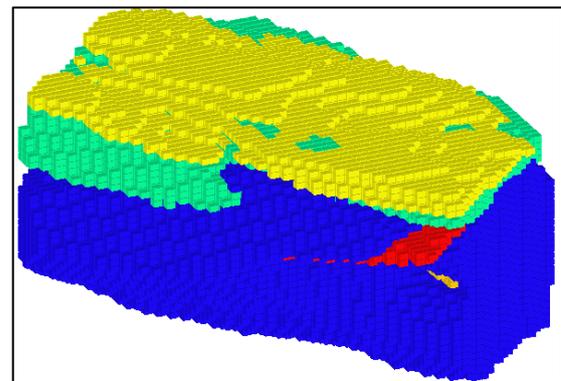


Fig. 8. Bloque mayor generado a partir de los sondeos desplegados.

Se ha considerado discretizar el depósito en bloques de 25*25*15 metros con la finalidad de estimar variables de interés para cada elemento (Fig. 9).

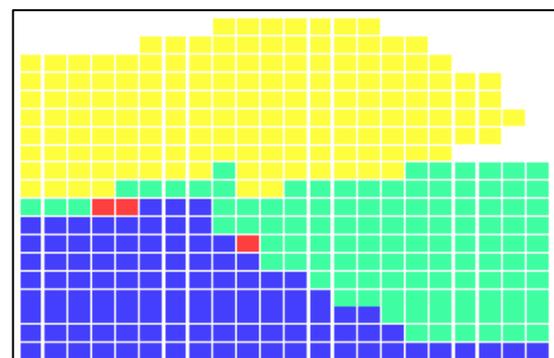


Fig. 9. Discretización del depósito representado por los sólidos.

Para determinar las dimensiones de los bloques se ha considerado los resultados obtenidos de una semivariograma, de modo que las muestras que se utilicen para la estimación tengan relación y sean influyentes para el elemento o bloque (Franco, 2011). Otros parámetros de gran influencia corresponden al número de sondeos, distribución de muestras, números de muestras, estructura geológica, geométrica del depósito, entre otra.

3.3 Estimación de leyes del mineral

Para llevar a cabo la estimación de leyes se ha utilizado el método del krigeage de bloques, para lo que fue necesario realizar un análisis variográfico que se basa en la construcción de un semivariograma experimental.

Un semivariograma experimental permite analizar el comportamiento de una variable regionalizada; en este caso se trata de la concentración o ley en Cu. Para su elaboración es necesario definir una distancia entre pares y muestras (h), la dirección que siguen dichas distancias y calcular la varianza entre todos los pares de puntos. La expresión matemática de la semivarianza es la siguiente:

$$\gamma(h) = \frac{N_h}{2} * \sum (Z_x - Z_{x+h})^2; \quad (1)$$

Donde,
 $\gamma(h)$: Semivarianza
 N_h : Número total de pares de muestras separadas por una distancia h
 Z_x : Valor de una muestra en la posición x

La fig. 10, muestra la representación gráfica de las varianzas en función de h , en donde la C es el valor de la meseta, C_0 es el efecto pepita y a es el alcance. La velocidad de incremento de $\gamma(h)$ con el lag es un reflejo de la velocidad a la cual la influencia de una muestra disminuye con la distancia y proporciona información adecuada respecto a la zona de influencia.

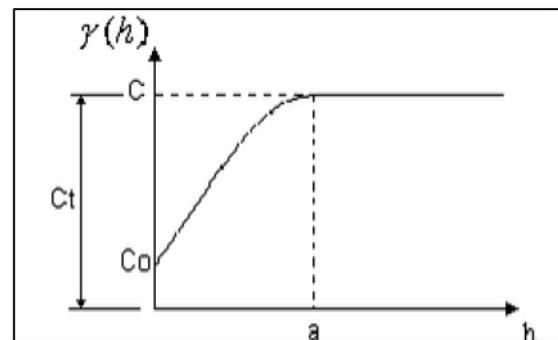


Fig. 10. Gráfico de un Semivariograma experimental (Tituana Barén , 2014).

El semivariograma experimental presento un comportamiento parecido al del modelo esférico o de Matheron por lo que se le realizo el ajuste. La expresión matemática para este modelo corresponde a la ecuación 2 y 3.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left(1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) \text{ para } h < a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \text{ para } h > a \quad (3)$$

Donde C_0+C es el valor de la meseta, a es el alcance o rango, C_0 es el efecto de la pepita y h es el valor correspondiente al Lag.

Los parámetros de ajuste quedan definidos de la siguiente manera (Fig.11)

Alcance (a): 150

Meseta (C): 0.125

Efecto pepita (C_0): 0.07

En base a los parámetros definidos en el apartado anterior, el número de muestras máximas y mínimas, el modelo de bloques, la anisotropía del depósito, los cuerpos sólidos, entre otros, se realiza la estimación de la variable ley mediante la técnica del kriging del bloque.

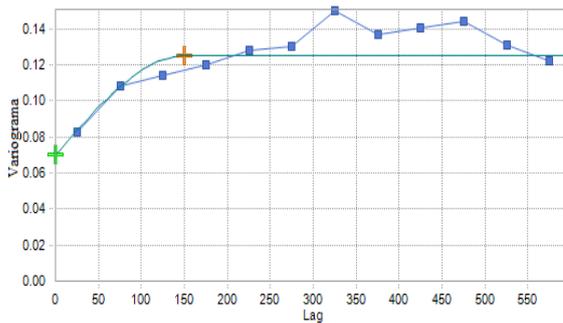


Fig. 11. Semivariograma ajustado el modelo teórico esférico.

La técnica del kriging de bloques es utilizada para estimar el valor de una variable regionalizada en un bloque a partir de unos factores de ponderación. El proceso que implica utilizar dicha técnica lleva a la resolución de decenas o centenares miles de ecuaciones, lo cual resulta inviable de no ser por el empleo de herramientas informáticas.

En la Fig. 12 se observa el depósito discretizado en bloques cuyos valores

representan las distancias leyes que posee el depósito siendo el color fucsia, verde y rojo bloques con intervalos de concentración de Cu que van desde (0-0.5), (0.5-1) (1-100) %Cu.

En la fig. 13 se muestra las leyes de Cu por el método kriging (KRG).

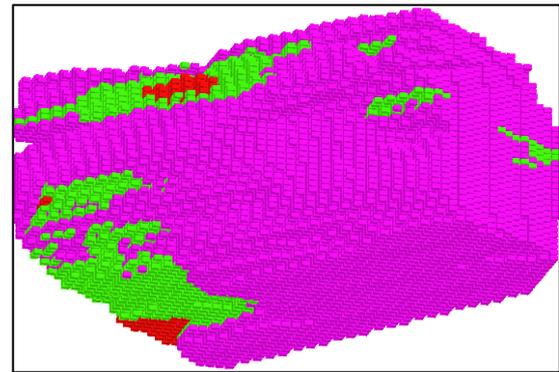


Fig. 12. Modelo de bloques.

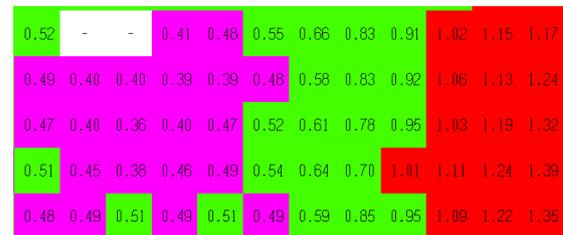


Fig. 13. Ley de Cu por el método de kriging.

3.4 Determinación del gráfico tonelaje – ley

Calculadas las leyes y junto a valores de densidad de la roca para cada bloque es posible determinar el tonelaje y la ley media de cada bloque para una ley de corte establecida. El rango de la ley de corte utilizado esta entre cero y veinte (0-2%), dicha variable es dividida en intervalos de

0.2%, la fig. 14 muestra las curvas de tonelaje vs ley media y ley de corte, en donde puede apreciarse que, para una ley de corte, 0.2% Cu se tiene aproximadamente 83.70 %Tn de mineral con una ley media de 0.39 % Cu.

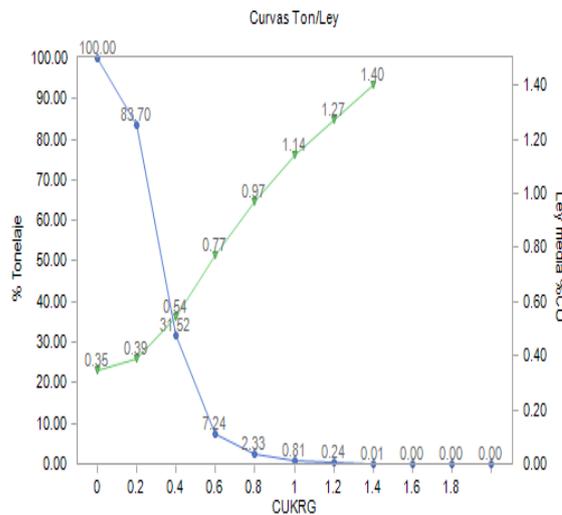


Fig. 14. Curvas de Tonelaje vs Ley del depósito.

De acuerdo a la gráfica de tonelaje-ley se construye la siguiente tabla.

Tabla 1. Ley de corte, porcentaje de tonelaje de mineral y ley media.

Ley de corte Cu	Tonelaje de mineral (%)	Ley media Cu
0	100	0.35
0.1	97.31	0.36
0.2	83.7	0.39
0.3	56.8	0.45
0.4	31.52	0.54
0.5	15.6	0.65
0.6	7.24	0.77

3.5 Zonas de mayor concentración de Cu de alta ley.

Mediante el modelamiento geológico de leyes, el reporte de los valores obtenidos en la estimación y cubicación de las reservas geológicas de Cu y la visualización de dichos resultados es posible determinar zonas cuyas concentraciones en Cu son las más altas del depósito (Kaufmann, 2008).

A partir de la información generada, la topografía de la zona y la información referente al tipo de depósito que se estudia es posible sugerir zonas de interés a las cuales pueda aplicarse un método de explotación minera, una vez evaluada la viabilidad y rentabilidad del proyecto minero (Bustillo Revuelta, 1997).

La topografía de la zona de estudio es relativamente plana, existiendo cotas máximas y mínimas de 573.23 y 443.21 m.s.n.m. respectivamente, en un área de 2550*2550 m el tipo de yacimiento es un pórfido de cobre.

En cuanto a la geometría del depósito, se tiene que las zonas con mayor concentración de cobre se encuentran en la zona de sulfuro secundario (SZ) y sulfuro primario (PZ), que se encuentran a una profundidad de aproximada 50 y 380 metros respectivamente, medidos desde la superficie del terreno. (Fig. 15).

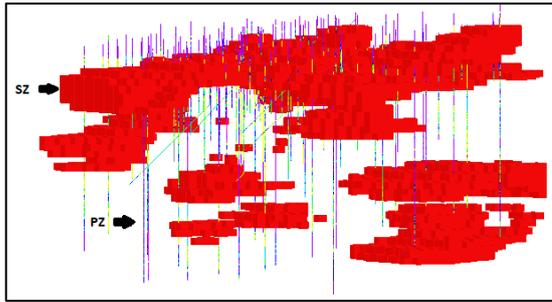


Fig. 15. Profundidad a la que se encuentra una parte del depósito cuyas leyes se encuentran por encima de la ley de corte.

El modelo de bloques indica que las reservas geológicas con mayor concentración en Cu están distribuidas en las zonas de sulfuro primario (PZ) y sulfuro secundario (SZ), con leyes mayores a 0.5 % Cu.

3.6 Estimación de reservas con MSReserves

Las reservas se calculan según el modelo de bloques (archivo 15) que se especifica en la configuración de la lógica de reservas. El 3DBM o GSM especificado se puede girar. Desde el menú Modelo dentro de MS3D, puede calcular las reservas del modelo dentro de sólidos o polígonos, entre superficies cuadrículadas y dentro de un rango de coordenadas.

Los factores críticos en los cálculos de reservas incluyen la determinación de la contabilidad adecuada del material con respecto a parciales, topografía y porcentajes de material. Los informes de MSReserves proporcionan una vista previa

fig. 16, que le permite ver exactamente cómo se tratarán las diferentes situaciones cuando se calculan las reservas.

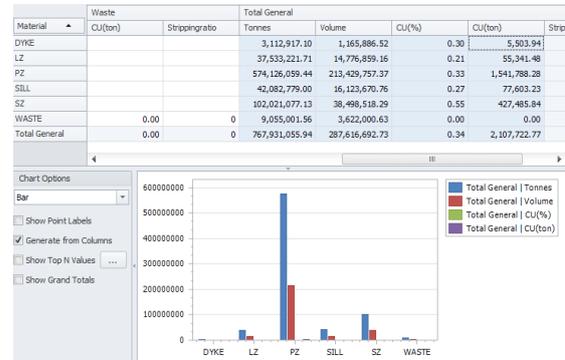


Fig. 16. Reporte de reservas en MSReserve.

Una vez cargados los datos al MSReserves, nos generó la siguiente tabla, en donde tenemos un reporte general de todas las reservas del yacimiento.

Tabla 2. Reservas del yacimiento.

Ítem	Tipo de Roca	Volumen (m3)	Tonelaje (Tn)
1	DYKE	1 165 886.52	3 112 917.1
2	LZ	14 776 859.2	37 533 221.7
3	PZ	213 429 757.0	574 126 059.0
4	SILL	16 123 670.8	42 082 779.0
5	SZ	38 498 518.3	102 021 077.0
	TOTAL	283 994 692.0	758 876 054.0

También se obtuvo reportes en donde se encuentran el tipo de roca, con su ley promedio de cobre y el tonelaje de cobre fino que se encuentra en esa zona.

Grafica de la tabla 2.

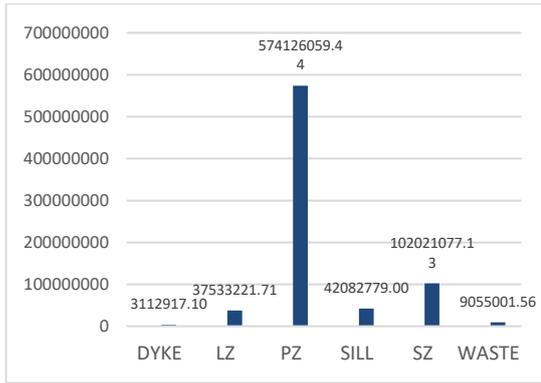


Fig. 17. Gráfica de reservas de yacimiento.

Tabla 3. Reservas de cobre fino.

Item	Tipo de Roca	Cu (%)	Cu (ton)
1	DYKE	0.33	5 503.94
2	LZ	0.33	55 341.48
3	PZ	0.44	1 541 788.28
4	SILL	0.37	77 603.23
5	SZ	0.59	427 485.84
Total		0.40	2 107 722.77

Grafica de la tabla 3.

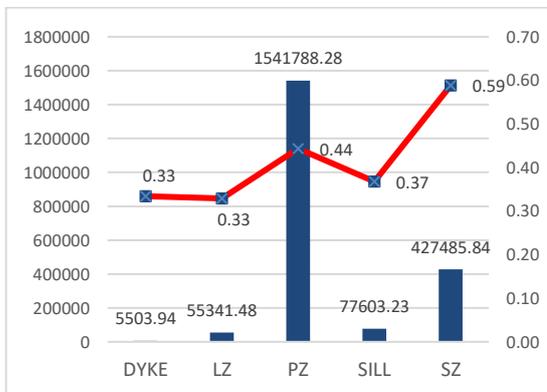


Fig. 14. Grafica reservas de cobre fino.

Y por último se obtuvo un reporte de todo el yacimiento discretizado por bancos en donde para el yacimiento se obtuvieron 37 bancos, en donde cada banco tiene una altura de 15 m y además contiene información de tonelaje de mineral y desmante.

Tabla 4. Reservas por bancos.

Bancos	Mineral	Desmante	Total	% Cu
0	11000707.03	346532.4053	11347239.44	0.20
15	14186150.8	332525.2833	14518676.09	0.10
30	16946646.04	243684.9174	17190330.96	0.50
45	18832413.68	205398.6815	19037812.36	0.40
60	19874742.77	149209.1959	20023951.97	0.30
75	20456082.09	150206.8169	20606288.9	0.30
90	20975920.31	192264.8545	21168185.16	0.20
105	21647991.08	175662.1256	21823653.21	0.30
120	22444506.08	200544.8282	22645050.91	0.30
135	23171151.05	161259.4842	23332410.53	0.20
150	23667315.57	177689.5193	23845005.09	0.30
165	24104606.44	165142.2506	24269748.69	0.40
180	24508016.51	166068.825	24674085.34	0.60
195	24919903.41	162215.2643	25082118.68	0.50
210	25163582.88	192822.9269	25356405.8	0.29
225	25262738.9	174415.9824	25437154.89	0.18
240	25244794.38	195845.5588	25440639.94	0.16
255	25344614.04	199484.5882	25544098.63	0.15
270	25777565.92	189030.9949	25966596.91	0.15
285	25859839.29	223789.8777	26083629.17	0.18
300	26112436.33	264324.0511	26376760.38	0.22
315	27071399.73	203058.0069	27274457.74	0.29
330	26840519.91	262905.3663	27103425.27	0.25
345	26109034.91	303739.2596	26412774.17	0.27
360	25151849.94	350879.555	25502729.49	0.32
375	24170347.42	404295.0677	24574642.48	0.40
390	23800682.15	384215.2759	24184897.42	0.51
405	23814292.24	391136.0539	24205428.3	0.56
420	23602551.61	373684.7947	23976236.4	0.60
435	21648262.81	382935.5516	22031198.36	0.42
450	19631245.1	303946.6265	19935191.72	0.38
465	18188441.65	335674.0127	18524115.66	0.33
480	15025695.72	408826.122	15434521.84	0.27
495	9481064.12	190212.8569	9671276.977	0.30
510	6006837.061	287768.5101	6294605.571	0.27
525	1969565.286	116179.1237	2085744.41	0.22
540	862540.1386	87426.94891	949967.0875	0.10
Total	758876054.4	9055001.564	767931055.9	

4 CONCLUSIONES

El modelo geológico de leyes obtenido, muestra que las mayores concentraciones



de cobre se encuentran en las zonas de sulfuro primario y sulfuro secundario que se encuentran a una profundidad de 50 y 380 metros respectivamente, medidos desde la superficie del terreno.

Las reservas del yacimiento de cobre mediante el MSReserves son de 758 876 054 Tn de mineral y la reserva de cobre fino para una ley de corte de 0.2 % Cu se obtiene 2 107 722.77 Tn, con una ley media de 0.39 %Cu.

En síntesis, el software minero HxGN MinePlan 3D, es un programa fundamental para visualización, diseño, modelado y cálculo de reservas. Es así que mediante las simulaciones mejora la interpretación del yacimiento.

5 AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo.

A mis amigos, con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas, gracias por todo su apoyo y diversión.

A la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

6 BIBLIOGRAFÍAS

- Bustillo Revuelta, L. J. (1997). *Manual de evaluación y Diseño de Explotación Mineras*. Madrid: Entorno Grafico.
- Datamine. (2019). *Datamine*. Obtenido de <http://www.dataminesoftware.com/resource-modelling/>
- Franco Sepulveda, G., & Gallo Sierra, F. (2011). *Modelo de bloques para un yacimiento de sulfuros masivos utilizando el software Minesight*. Medellin: Ciencias de la Tierra .
- Gongwen Wang, L. H. (2012). *3D geological modeling for mineral resource assessment of the Tongshan Cu deposit, Heilongjiang Province, China*. China: Geoscience Frontiers.
- Howard L. Hartman, J. M. (2002). *Introductory Mining Engineering* . New Jersey: Jon Wiley.
- HxGN Mineplan, 3. (2019). *Hexagon Mining*. Obtenido de <https://hexagonmining.com/es-mx/solutions/planning-portfolio/standalone-products/hxgn-mineplan-3d>
- Kaufmann, O. (2008). 3D geological modelling from boreholes. cross-



- sections and geological maps, applications over former natural gas storages in coal mines. *Computers & Geosciences* , 278 - 290.
- Liang feng ZHU, Z. (2006). An Approach to Computer Modeling of Geological Faults in 3D and an Application Journal of China. *University of Mining and Technology*, 461-465.
- Mory, D. (2004). *uso de tecnicas de modelado tridimensional y geoestadistica en Cia minera. Atacocha*. Huancay Peru: V Congreso Nacional de Minería.
- Surpac, G. (2019). *GEOVIA Surpac*. Obtenido de <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/geovia/productos/surpac/>
- Tituana Barén , K. (2014). Modelo de Bloques del Depósito de Cobre ESPOL-X para la Selección del Método de Explotación Minera Utilizando Herramientas Informáticas.
- Vulcan. (2019). *Maptek Vulcan*. Obtenido de https://www.maptek.com/cl/acerca_de_maptek/index.html