



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“CÁLCULO DE RESERVAS Y DISEÑO DE PIT, MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DE DATA DE PERFORACIÓN DIAMANTINA EN UN DEPÓSITO EPITERMAL DE ALTA SULFURACIÓN, HUALGAYOC 2019”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera de Minas

Autores:

Jambo Gallardo, Sara Iliana

Tasilla Llanos, Nancy

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2019

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a Dios por guiar mis pasos, a mi padre Manuel Jambo Gonzales y a mi madre Lucila Gallardo Marín por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes que con su apoyo incondicional y confianza me permiten seguir y cumplir cada una de mis metas, a mi hijo Richard Sebastián que es mi razón de superación para seguir adelante y ser mejor cada día.

**Sara I. Jambo Gallardo**

Esta tesis la dedico a Dios todo poderoso, por cuidar de mi vida, por darme las fuerzas para seguir adelante. A mis padres por su amor incomparable, por sus consejos para llegar al camino del éxito y su apoyo incondicional haciendo posible con sacrificio y esfuerzo mi formación profesional.

**Nancy Tasilla Llanos**

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos y guiarnos a lo largo de nuestra existencia, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A nuestras familias que con su apoyo incondicional nos incentivan a cumplir nuestras metas, gracias por confiar en nosotras, por sus consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte, por compartir con nosotras sus conocimientos y experiencias a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

De manera especial al Ingeniero Daniel Alejandro Alva Huamán, por su apoyo para el desarrollo del presente Trabajo de Investigación.

## Tabla de contenidos

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE PLANOS.....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad problemática .....	12
1.2. Formulación del problema .....	25
1.3. Objetivos .....	25
1.4. Hipótesis .....	25
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>27</b>
2.1. Tipo de investigación.....	27
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) .....	27
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	27
2.4. Procedimiento .....	28
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
3.1. Ubicación del depósito epitermal de alta sulfuración .....	30
3.2. Accesibilidad al depósito mineral .....	30
3.3. Geología.....	31
3.4. Generación de vista de taladros con la data de perforación diamantina .....	33
3.5. Construcción de secciones litológicas y mineralógicas del depósito epitermal.....	35
3.6. Construcción de los sólidos de alteraciones del depósito mineral .....	37

3.7.	Cálculo de la ley promedio del mineral de oro. ....	40
3.8.	Creación del Modelo de bloques para el cálculo y reservas .....	40
3.9.	Cálculo de reservas de oro (Au).....	42
3.10.	Construcción de la sección de intersección de la topografía del terreno con el modelo de bloques creado. ....	43
3.11.	Diseño de rampa .....	44
3.12.	Diseño de pit. ....	45
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>		<b>46</b>
4.1.	Discusión .....	46
4.2.	Conclusiones.....	46
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>48</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>50</b>
<b>FOTOS .....</b>		<b>54</b>
<b>PLANOS.....</b>		<b>56</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Coordenadas UTM-WGS84 de los vértices de la zona de Investigación.</i> .....	30
Tabla 2. <i>Accesibilidad a la zona de estudio.</i> .....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Composición de muestras de testigos a lo largo de un sondaje (Alfaro, 2007). .....	18
<i>Figura 2.</i> Sección N-S Modelo de Leyes – Mina Toquepala.....	21
<i>Figura 3.</i> Flujo del cálculo de las reservas geológicas (Gonzales, 2010). .....	21
<i>Figura 4.</i> Vista 3D Modelo Geológico – Tipo de Roca – Mina Toquepala.....	22
<i>Figura 5.</i> Variación del tonelaje extraído al variar el ángulo de talud (Ruiz 2010).....	23
<i>Figura 6.</i> Parámetros a tener en cuenta en el diseño de un PIT (Ruiz, 2010). .....	23
<i>Figura 7.</i> Ubicación del depósito epitermal de alta sulfuración. ....	30
<i>Figura 8.</i> Acceso y delimitación de la zona de estudio. (Google Earth 2019).....	31
<i>Figura 9.</i> Plano geológico de la zona de estudio .....	32
<i>Figura 10.</i> Taladros mineralizados de Au, en donde se observa de color rosado las leyes mínimas y de color rojo las leyes máximas. ....	34
<i>Figura 11.</i> Taladros con tramos de zonificación, óxidos en la parte superior, al centro la zona de transición y en la parte inferior se encuentran la zona de sulfuros. ....	34
<i>Figura 12.</i> Representación de una sección mineralógica a partir de taladros con tramos de Au.....	35
<i>Figura 13.</i> Vista de la totalidad de secciones mineralógicas que contienen oro (Au). ....	35
<i>Figura 14.</i> Vista E-W de la sección mineralógica de la zona de óxidos.....	36
<i>Figura 15.</i> Vista E-W de la sección mineralógica de la zona de transición sulfuros-óxidos.....	36
<i>Figura 16.</i> Vista E-W de la sección mineralógica de la zona de sulfuros.....	36
<i>Figura 17.</i> Vista del sólido de mineralización el cual tiene un volumen de 5866185.10 metros cúbicos.....	37
<i>Figura 18.</i> Vista del sólido final de la zona de óxidos.....	38
<i>Figura 19.</i> Vista del sólido final de la zona de transición.....	38
<i>Figura 20.</i> Vista del sólido de la zona de sulfuros. ....	39
<i>Figura 21.</i> Construcción de todos los Sólidos de alteraciones (Óxidos, Zona de transición y sulfuros). .....	39

<i>Figura 22.</i> Intersección de los Sólidos de alteración con el sólido de Mineralización .....	40
<i>Figura 23.</i> Modelo de bloques en 3D de cuerpo mineralizado. ....	41
<i>Figura 24.</i> Modelo de bloques vista 2D con información completa de la roca y mineral. (Plano 16). .....	41
<i>Figura 25.</i> Cálculo de reservas de oro en el Software minero Minesight. ....	42
<i>Figura 26.</i> Sección de superficie topográfica con modelo de bloques.....	43
<i>Figura 27.</i> Superficie topográfica y curvas de nivel del futuro pit .....	43
<i>Figura 28.</i> Vista en planta del pit antes de extracción del mineral .....	44
<i>Figura 29.</i> Vista en planta de la rampa para el pit final. ....	44
<i>Figura 30.</i> Sección del diseño de pit final con material estéril y mineral rentable. ....	45
<i>Figura 31.</i> Diseño final de pit luego de haber extraído el mineral. ....	45



## ÍNDICE DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
<i>Foto 1.</i> Afloramiento de rocas de composición dacítica, donde se observa que las rocas han sufrido un proceso de argilización, que es una característica de los depósitos de alta sulfuración. Ubicación (E:765608; N:9251951).....	32
<i>Foto 2.</i> A la izquierda se observa una muestra de mano de roca de composición dacítica con un 70% de plagioclasas, 20% de cuarzo y un 10% de feldespatos según el análisis macroscópico además de minerales máficos de hornblenda y biotita. A la derecha se observa la muestra vista a la lupa de 30x donde se observa cristales de pirita (FeS <sub>2</sub> ). Ubicación (E:765460; N:9251901). ....	33
<i>Foto 3.</i> Afloramiento de roca de composición dacítica, donde se observa que los cristales están sufriendo un proceso de Oxidación y Argilización, que son características de un yacimiento de alta sulfuración. Ubicación (E:765697 N:9252079). ....	54
<i>Foto 4.</i> Afloramiento de óxidos hierro con habito botroidal (Goethita de color marron oscuro y Jarosita de color anaranjado). Ubicación (E:765563 N:9251858). ....	54
<i>Foto 5.</i> Toma de datos de puntos de control en la zona de estudio haciendo uso de los materiales de estudio como es le GPS y la libreta. Ubicación (E:765797 N:9252014). ....	55
<i>Foto 6.</i> Toma de muestras de mano de las rocas que afloran en la zona para luego realizar una clasificación macroscópica e identificar el tipo de litología. Ubicación (E:765553 N:9252030). ...	55

## ÍNDICE DE PLANOS

	<b>Pág.</b>
Plano 1. Taladros mineralizados .....	57
Plano 2. Taladros con tramos de zonificación.....	58
Plano 3. Secciones mineralógicas .....	59
Plano 4. Secciones mineralógicas de oro .....	60
Plano 5. Zona de óxidos .....	61
Plano 6. Zona de transición.....	62
Plano 7. Zona de sulfuros.....	63
Plano 8. Sólido mineralizado .....	64
Plano 9. Sólido de óxidos.....	65
Plano 10. Sólido de transición.....	66
Plano 11. Sólido de sulfuros.....	67
Plano 12. Sólido de alteraciones .....	68
Plano 13. Sólido de alteraciones y mineralización.....	69
Plano 14. Compósitos de mineralización (Ley promedio) .....	70
Plano 15. Modelo de bloques .....	71
Plano 16. Vista 2D del modelo de bloques .....	72
Plano 17. Superficie topográfica y modelo de bloques .....	73
Plano 18. Superficie topográfica y curvas del nivel del pit.....	74
Plano 19. Curvas de nivel del pit.....	75
Plano 20. Modelo de bloques, superficie topográfica y diseño de pit vista en planta.....	76
Plano 21. Diseño de rampa del pit.....	77
Plano 22. Diseño de pit y superficie topográfica final .....	78
Plano 23. Diseño final del pit.....	79

## RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo realizar el cálculo de reservas y diseño de pit, mediante el procesamiento de data de perforación diamantina en un depósito epitermal de alta sulfuración, El procedimiento consiste en analizar y procesar la data de campo y de taladros en gabinete y en softwares especializados como el Minesight. Donde se realizan las secciones litológicas y mineralógicas para categorizar el material estéril del material económicamente rentable obteniendo vista con los códigos de las zonas de alteración 1=óxidos, 2=transición y 3=sulfuros. Se calculó a través de compósitos el promedio de la ley mineral del cuerpo mineralizado con 1.096gr/Tn de Au, luego se interpretó la geología mediante secciones transversales y se determinó la geometría y el volumen del depósito que es de 5,866185.10 metros cúbicos y tonelaje 15,838700.04 toneladas. El modelamiento de bloques permitió determinar que las reservas de oro son de 16. 46 toneladas.

Se diseñó la rampa y el pit final para la extracción del mineral del depósito epitermal de alta sulfuración con un promedio de 63 bancos de explotación.

**Palabras clave:** perforación diamantina, ley promedio, reservas, pit.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En el mundo minero son muy importantes los Recursos Minerales y su posterior conversión en Reservas Minerales. El cálculo confiable es fundamental para la seguridad en un estudio de factibilidad y para las operaciones diarias de una mina.

Los recursos y reservas son la base en el negocio minero, ya que, la cantidad y la calidad de estas definirán la vida de la mina y con esto estimar los flujos de caja futuros que se tendrá, por ello es necesario realizar el cálculo de reservas del depósito de alta sulfuración ubicada en las siguientes coordenadas V1(E:766000 N:9252500); V2(E:766000 N:9251500); V3(E:765000 N:9251500); V4(E:765000 N:9252500) en la provincia de Hualgayoc, ya que a la actualidad se sabe que existe mineralización, pero se desconoce la cantidad de mineral con el que se cuenta, esto se logra con el procesamiento de data de la perforación diamantina realizada en dicha zona, que también servirá para diseñar el pit con ayuda del software minero Minesight.

Esta investigación es importante porque permitirá conocer la cantidad de minerales existente en el depósito y cuál de ellos es explotable. Además, servirá como antecedente para investigaciones posteriores.

Ruiz (2010) menciona que el factor más directo que afecta a la reserva mineral son las fluctuaciones de las cotizaciones de los metales. Por ejemplo, en un contexto de precios bajos el volumen de reservas se reduciría, ya que se extraerá únicamente aquel material por encima de la ley de corte. La paradoja es que esto se da sin que el yacimiento sufra modificación alguna. El volumen de mineral sigue siendo el mismo, la diferencia está en su valor económico. Por el contrario, si se vislumbra un escenario internacional con mejores precios, no solo las reservas probadas entrarían a operar con

mayores volúmenes de producción, sino que además se justificaría el trabajo en las zonas de reservas probables.

La tecnología es un factor que influye en la operación de una reserva minera. Del mismo modo, los avances en métodos de producción y procesamiento han permitido una constante reducción en los costos y tiempos, lo que lleva a que las empresas operen, de manera más eficiente y limpia, mayores volúmenes de reservas mineras (Ruiz, 2010).

Vega (2013), Cálculo de reservas de la Veta Paraíso –Mina Paraíso- Distrito Ponce Enríquez, Guayaquil- Ecuador, Con la información existente de muestreo en el departamento geológico y el tratamiento geométrico y geoestadístico determinó que la veta Paraíso tiene 23817.15 TM de recurso mineral con una ley media de 10.7 grAu/tn. Ruiz (2010), Aplicación de Software libre para la Estimación de Recursos y para la Evaluación técnica económica de las reservas Minerales, determinó la viabilidad del análisis de datos de sondajes (muestras), para obtener un modelo geológico y luego un modelo número (Bloques) que permita cuantificar y categorizar los resultados y reservas minerales, de cualquier depósito mineral, con las herramientas que ofrecen los softwares RecMin y SGeMS.

Sepúlveda y Gallo. (2011), el objetivo de su trabajo es fue definir un modelo de bloques de un yacimiento hipotético de sulfuros masivos utilizando MineSight®, basado en la interpretación geológica, la viabilidad, planificación estratégica y la programación de los procesos a largo y corto plazo de las alternativas de producción y la capacidad requerida de la mina. Determinan que la recuperación: Para el Cu es de 85% y para el Molibdeno (Mo) es de 50%, (Se debe a que el Cu es el mineral de mayor interés y posee una mayor recuperación). Precios de extracción del mineral: Para el Cu es de US\$ 7.521,54/t (UPME, 2011) y para el Mo de US\$32.752/t (LME

Molybdenum, 2011). El costo de extracción de las menas (Cu y Mo): US\$1.5/Ton. El costo de procesamiento de menas (Cu y Mo): US\$4.0/Ton. Costos de mineral estéril extraído (Cu y Mo): US\$1.5/Ton. Costo de procesamiento de estéril: US\$0/ton. Tenor de corte: 0.5 gr/ton.

El recurso mineral viene a ser una concentración u ocurrencia de interés económico dentro y fuera de la corteza terrestre en su forma y cantidad tal como para demostrar que es razonable una eventual extracción económica (Alfaro, 2007)

La reserva mineral es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido o Indicado. Es la parte económicamente minable de un Recurso Medido. Ella incluye los minerales de dilución y considera las pérdidas que pueden ocurrir cuando el mineral es minado (Vega, 2013).

El Código JORC provee una relación directa entre Recursos Minerales Indicados y reservas Probables Minerales y entre Recursos Minerales Medidos y Reservas Probadas Minerales. El nivel de confianza geo-científica de Reservas Probables Minerales es el mismo que se requiere para la determinación in situ de Recursos Minerales Indicados y para Reservas Probadas Minerales es el mismo que se requiere para la determinación in situ de Recursos Minerales Medidos (Ruiz, 2010).

El depósito del mineral es considerado como la acumulación del mismo; solo aquellos que pueden ser extraídos con una determinada ganancia económica, pueden ser adscritos a la categoría de depósito. A efectos de estos apuntes, se denominará yacimiento mineral a la suma de mineral de depósito más la mena del depósito. (Oyarzun, 2011).

Una vez localizado el yacimiento y efectuada la correspondiente modelización, apoyándose en los datos de la etapa de investigación, se procede a su evaluación. Dicha evaluación comprende, generalmente dos etapas: una primera que consiste en la

definición de la morfología de las mineralizaciones y de los contenidos de cada una de ellas y una segunda en la que se estiman, con criterios técnicos y económicos, la cantidad de reservas recuperables y su valor actual y futuro con vistas a estudiar la rentabilidad de su extracción y comercialización (Oyarzun, 2011).

Un yacimiento epitermal según Lindgren (1922) se halla a poca profundidad en referencia a la superficie terrestre y, en concreto, define la parte superior de los sistemas hidrotermales naturales.

Lindgren (1936) Definió el término “Epitermal”, caracterizando este tipo de depósitos minerales en función de la mineralogía de las menas y de sus características texturales, así como en sus propias reconstrucciones geológicas. En la definición que estableció para estos depósitos, incluyó numerosos yacimientos minerales de metales preciosos (con presencia o no de telurios o seleniuros), metales básicos, mercurio y antimonio (con estibina como mineral principal).

Sillitoe (1988) Así, en la actualidad, se considera que las condiciones de formación de la mayoría de yacimientos epitermales comprenden temperaturas entre  $<150$  y  $\sim 300^{\circ}\text{C}$  (y eventualmente mayores), y a profundidades desde la superficie hasta 1 ó 2 km, con presiones de hasta varios centenares de bares (Berger et al, 1983 – 1990).

En tajos abierto y en otro tipo de yacimiento se pueden hacer perforaciones Churn Drill, Perforación Diamantina y Circulación Reversa, la información que proveen estas perforaciones nos dan las herramientas necesarias para poder determinar la calidad y cantidad del yacimiento, el espaciamiento de las perforaciones pueden responder a una malla predeterminada y los taladros en general son verticales, pero las dificultades topográficas o la necesidad de interceptar algún cuerpo pueden hacer que la perforación tenga algún grado de inclinación; El logueo de los taladros se realiza generalmente a medida que avanza la perforación, durante el logueo se levanta toda la

información posible: Nivel, Nro. Muestra, Diámetro del núcleo, Tope de Yeso, Mineralización, Roca, Alteración, RQD, Densidad, Presencia de minerales (py, cpy, mo, cc, bn, cv), intensidad de alteración, etc. La información proveniente del logueo, se lleva en diferentes formatos a una base de datos para su fácil procesamiento, en el mercado existen diferentes softwares que permiten guardar toda esta información de manera sencilla, es aún común ver que se usan planillas en Excel para guardar esta información, pero definitivamente es mejor tener esta información en un manejador de base de datos (Gonzales, 2010).

La base de datos perforación tiene un tipo de confección casi estándar, donde obligadamente se nos presenta una tabla con las coordenadas de todos los sondeos realizados (COLLAR), otra tabla que especifique las inclinaciones y direcciones de cada sondeo (SURVEY), otra tabla que detalla los tramos de litología y/o alteración de la roca a medida que profundiza el sondeo, esto se presenta en intervalos de logueo (LITOLOGIA). Y la última tabla obligada que detalla los intervalos de análisis de muestras y leyes de elementos contenidos en el área estudiada, que es lo que más importa (ASSAYS), adicional se suele registrar tablas con zonas de fallas.

Datos topográficos y de identificación: Coordenadas X, Y, Z del sondeo. Número de identificación, código malla y zona. Concesión minera en que se ubica, cotas de principio y fin de sondeo. Angulo de azimut e inclinación (caso de sondeos no verticales). Leyes de los distintos elementos valorizables. Descripción geológica. Código geológico. Recuperación de testigo (Gonzales, 2010).

El cálculo de los compósitos es un procedimiento mediante el cual las muestras de los análisis se combinan en intervalos regulares (igual longitud), que no coincidan con el tamaño inicial de las muestras. La ley del nuevo intervalo se calcula usando la media



ponderada por la longitud de los testigos que contribuyen a cada compósitos y la masa volumétrica en caso de ser variable (Alfaro, 2007).

Básicamente existen 3 tipos principales de compósitos y se usan en dependencia de la naturaleza de la mineralización y el método de explotación:

Compósito de Banco (bench composite): Las muestras se regularizan a intervalos que coinciden con la altura de los bancos o una fracción de esta. Se emplea para modelar los recursos de yacimientos grandes, diseminados de baja ley que se explotan con minería a cielo abierto (Yacimiento de Cobre porfídico).

Compósito de Pozo (downhole composite): Las muestras se combinan a intervalos regulares comenzando desde la boca del pozo.

Compósito Geológico (geological composite): Las muestras se combinan a intervalos regulares, pero respetando los contactos geológicos entre las distintas unidades. Este método se emplea para prevenir la dilución del compósito en el contacto estéril mineral y donde se logra mayor control sobre el proceso de regularización. El empleo de compósito de banco o de pozo en estos casos provoca una distorsión de la distribución de la ley que se puede adicionar mineral de baja ley a la zona mineral o mineral de alta ley de estéril. El tamaño del compósito se selecciona entre la longitud media de las muestras y el tamaño del banco. Para el caso de los cuerpos en los que su análisis se hace en forma bidimensional, es necesario computar por pozos una media ponderada de los valores de todas las variables de interés que abarque todas las muestras positivas del intervalo analizado. No se deben regularizar muestras grandes en intervalos más pequeños pues se introduce una falsa idea de continuidad espacial.

Pozos A- Muestras originales Muestras compósitas

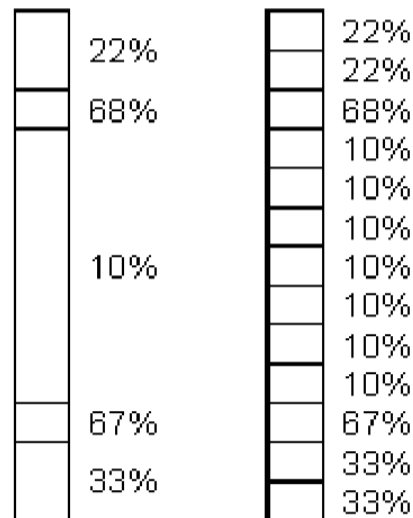


Figura 1. Composición de muestras de testigos a lo largo de un sondaje (Alfaro, 2007).

El Análisis Exploratorio de Datos es un conjunto de técnicas estadísticas cuya finalidad es conseguir un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas. Para conseguir este objetivo el estudio exploratorio proporciona métodos sistemáticos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallos en el diseño y recogida de los mismos, tratamiento y evaluación de datos ausentes (missing), identificación de casos atípicos (outliers) y comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas multivariantes (normalidad, linealidad, etc.). Se debe realizar un análisis estadístico de los datos disponibles o los generados a partir de cálculos de los compósitos con el objetivo de caracterizar el comportamiento estadístico de las distintas variables en el depósito y en las unidades geológicas (dominios) que la integran (Alfaro, 2007).

Posteriormente se hace la determinación de leyes de mineral.

En el Modelamiento de bloques para cálculo de reservas el depósito mineral está compuesto por una serie de cuerpos mineralizados de geometrías más o menos irregulares.

Para poder pasar del modelo geológico ya establecido, al modelo numérico, es necesario recurrir a una referencia intermedia, que denominamos modelo geométrico del yacimiento. Dicho, en otros términos, establecer el modelo geométrico, es configurar y delimitar espacialmente una matriz de bloques comportando a los cuerpos mineralizados (a los que posteriormente se asignaran los correspondientes valores, para constituir así el modelo numérico). En esta etapa, en el caso más general, comprende dos procesos: Regularización geométrica o contorneo y Discretización que tiene por finalidad dar solución numérica al modelo diferencial, se hace necesario el yacimiento como un sistema compuesto de un conjunto de bloques o celdas individuales adyacentes entre sí es decir es una división del cuerpo mineralizado, previamente regularizado, en bloques de forma y dimensiones previamente definidas y adecuadas a la geometría y estructura del yacimiento, y a la malla de sondeos existentes (Alfaro, 2007).

Regularización Geométrica o Contorneo, consiste en asimilar la geometría irregular de los cuerpos mineralizados, a cuerpos geométricos regulares, fácilmente discretizables, posteriormente se delimitará sobre cada estructura mineralizada, el volumen rocoso. En otras palabras, el contorno o limitación se hará teniendo en cuenta que se comprometerá parte de la roca caja y también se omitirá parte de la estructura mineralizada. Esto debido a que los bloques son cubos geométricos que no calzaran con los límites o zonas duras de la estructura mineralizada que representaran.

Se aplica el método del inverso a la distancia donde se le asigna mayor peso a las muestras cercanas y menor peso a las muestras alejadas del bloque. Esto se consigue al ponderar las leyes por el inverso de la distancia al cuadrado  $1/d^2$ .

En principio se adopta la hipótesis de que importancia de un dato aislado responde a una función inversa de la distancia. El objetivo del método es asignar un valor a un

punto o bloque mediante la combinación lineal de los valores de las muestras próximas.

$$Z_s = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{d_i^\alpha}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^\alpha}} \quad \alpha > 0$$

Ecuación 1: Ecuación para calcular la ley media de un bloque (Alfaro, 2007).

Una vez establecido el método que mejor se adapte al yacimiento en cuestión, se tendrá definido todo el conjunto de bloques con sus leyes correspondientes.

La ley media es la concentración que presenta el elemento químico de interés minero en el yacimiento. Se expresa como tantos por ciento, o como gramos por tonelada (g/t) u onzas por tonelada (oz/t) (Alfaro, 2007).

La ley de corte o cut off (LC) es aquella ley de mineral, cuyo valor es igual al costo de producción (Cp): es decir, corresponde a la ley de mineral en que no da pérdidas ni ganancias. la ley de mineral es expresada en términos de porcentaje en casos de cobre, plomo, o estaño; en términos de Oz/tc o g/t en casos de plata y oro; mientras que el valor del mineral (Vm) y el costo de producción (Cp) son expresados en \$/t de mineral.

La estimación de las leyes a asignar a cada bloque se puede llevar a cabo por cualquiera de los métodos descritos anteriormente: Métodos clásicos (polígonos), por el inverso de la distancia o métodos geoestadísticos. Una vez establecido el método que mejor se adapte al yacimiento en cuestión, se tendrá definido todo el conjunto de bloques con sus leyes correspondientes.

Conocidas la Leyes para los diferentes bloques, se calcula el valor para cada uno de ellos, con lo que, a cada bloque, se le asigna un valor (expresado, por ejemplo, en dólares) a partir del cual se establece la optimización de la explotación. Así pues, el problema del diseño de la corta se convierte en encontrar aquel conjunto de bloques

que den el máximo valor posible, conjunto por supuesto, sujeto a las restricciones mineras que puntualmente puedan aparecer. El modelo de Leyes está en función a los compósitos de ensayos de perforación diamantina, los ambientes geológicos (tipo de roca y tipo de alteración) y la variografía. De acuerdo al método Geoestadístico adecuado se realiza la asignación de leyes al Modelo de Bloques, en esta etapa de Modelamiento no se considera parámetros económicos, ni geotécnicos.

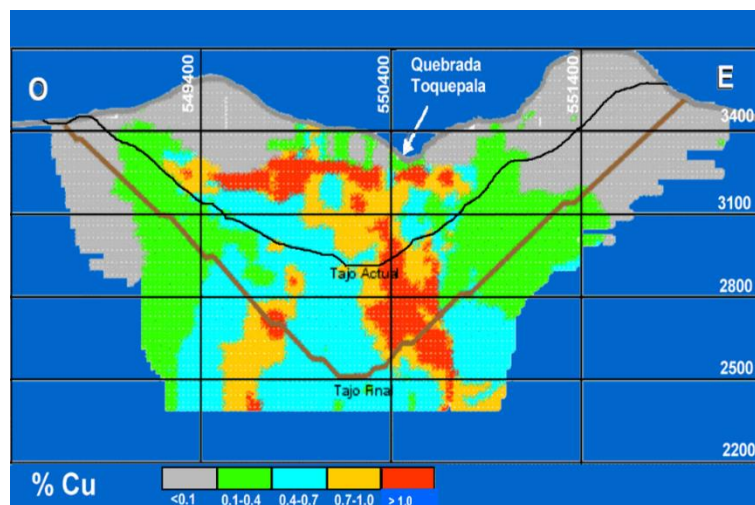


Figura 2. Sección N-S Modelo de Leyes – Mina Toquepala

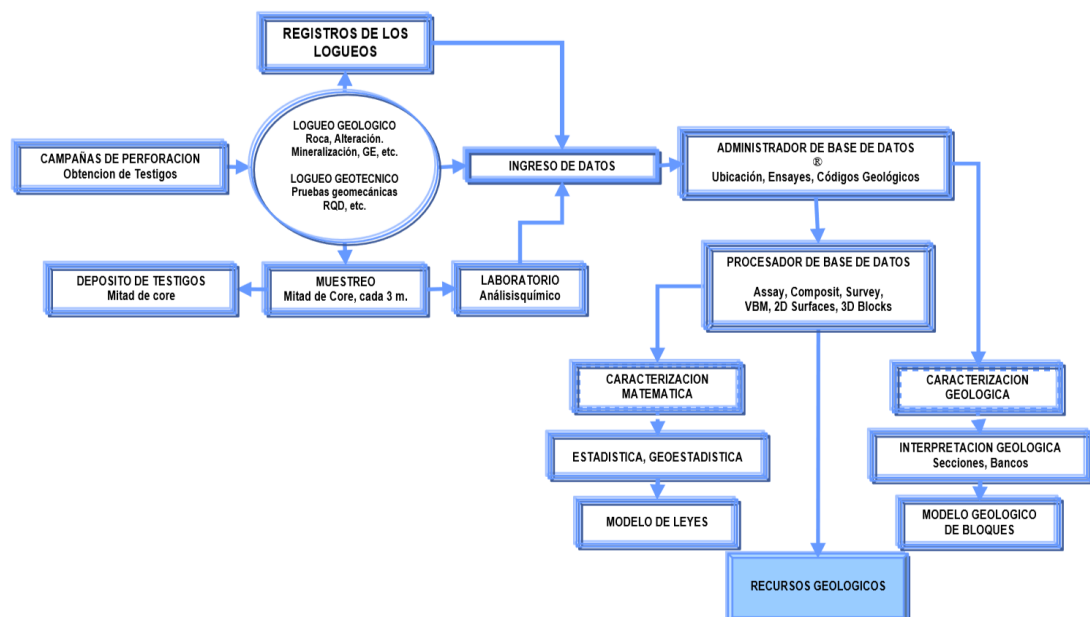


Figura 3. Flujo del cálculo de las reservas geológicas (Gonzales, 2010).

Los primeros intentos de estimación de recursos asistido por computadoras estuvieron dirigidos a informatizar los métodos clásicos o geométricos (método de los polígonos y de los perfiles).

Gonzales (2010), nos dice que la información geológica para el diseño de la mina es necesaria y fundamental, sin ella solo se podría hacer intentos y con seguridad el resultado no sería exacto, lo mismo puede suceder si es que la información geológica no es correcta o esta errada, esto suele suceder con los taladros o una gran variación o errada interpretación de los límites geológicos. Es importante reiterar que todo el trabajo posterior al del geológico, como el Diseño de una Mina o en el cálculo de reservas depende de este, a nivel mundial se han dado muchos casos de cálculo de reservas errados, como consecuencia de una mala colección y/o interpretación de los datos. Es importante el modelamiento geológico y tenerlo en un sistema electrónico porque es la base para determinar las reservas geológicas y económicas, para el plan de minado a corto, mediano y largo plazo.

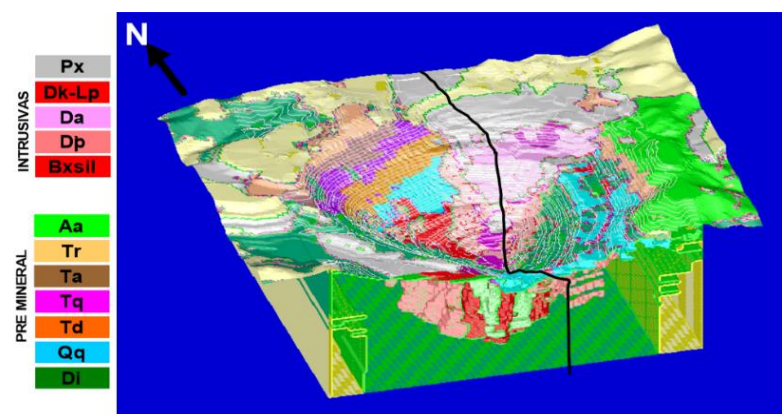


Figura 4. Vista 3D Modelo Geológico – Tipo de Roca – Mina Toquepala

Los métodos de estimación de recursos asistido por computadoras se han desarrollado ampliamente en los últimos años. Los primeros intentos estuvieron dirigidos a informatizar los métodos clásicos o geométricos (método de los polígonos y de los

perfiles) posteriormente con el desarrollo de la geoestadística aparecieron métodos más potentes y con una filosofía totalmente diferente de trabajo.

Los softwares que existen en el mercado ofrecen los dos algoritmos de optimización más conocidos El Lerches-Grossman (LG) y el Cono Flotante.

En minería a cielo abierto, en general, el ángulo medio de los taludes usados en la excavación debe ser el máximo posible dentro de las condiciones de estabilidad, es habitual utilizar un ángulo medio de talud de 45 grados, que posteriormente se ajustará con el conocimiento geotécnico de los diferentes dominios estructurales (Ruiz, 2010).

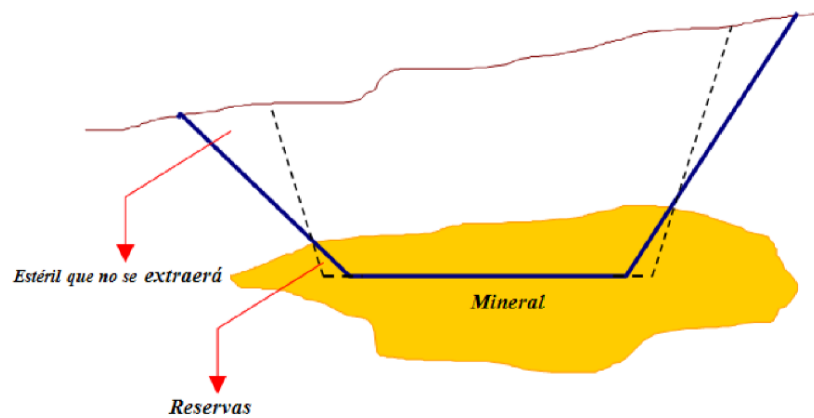


Figura 5. Variación del tonelaje extraído al variar el ángulo de talud (Ruiz 2010).

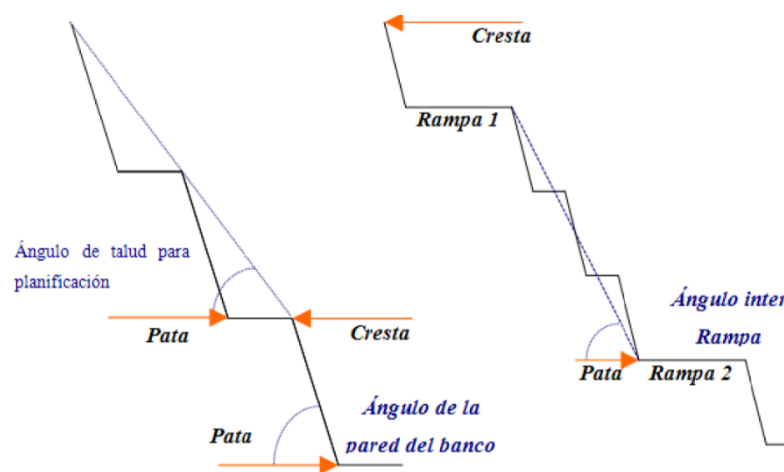


Figura 6. Parámetros a tener en cuenta en el diseño de un PIT (Ruiz, 2010).

El resultado es el diseño que permitirá maximizar la utilidad total del tajo, sobre la base de los parámetros físicos y económicos empleados. A medida que estos parámetros vayan cambiando en el futuro, también lo hará el diseño del tajo. Dado que los valores de los parámetros no son conocidos únicamente al momento del diseño, el ingeniero podría diseñar el tajo para un rango de valores, a fin de determinar los factores más importantes y su efecto en el límite de PIT final.

Por tal motivo esta investigación busca aplicar estas herramientas tecnológicas geológico-mineras para poder procesar la data de taladros de perforación diamantina que permitan realizar el cálculo de reservas y el diseño de pit reduciendo así estas problemáticas. Así mismo este trabajo busca generar nuevos conocimientos sobre esta técnica, además de aportar una secuencia de uso de los diferentes softwares para el procesamiento de taladros de exploración en depósitos epitermales de alta sulfuración. El concepto básico del modelamiento de un yacimiento en una computadora es la división del volumen 3D en bloques de un tamaño apropiado para dar una razonable evaluación del contenido de mineral.

Se determina el dimensionamiento del tamaño de los bloques que serán desde el modelamiento hasta el cálculo de reservas, se tienen generalmente dos objetivos para el uso de los optimizadores el primero, es la determinación de los límites económicos y segundo es la determinación de la secuencia de minado. El término Optimización del Pit sugiere que el resultado de este proceso es óptimo. Sin embargo, el resultado no es exactamente el pit operativo, de hecho, el más detallado diseño de un pit, de alguna manera es modificado durante su operación.

Por tal motivo el presente trabajo permitirá ser una guía para la aplicación de las herramientas tecnológicas en minería, como es el caso del uso del programa Minesight,



el cual permite realizar el cálculo de reservas y elaborar el diseño del tajo final de explotación, siempre y cuando se tenga una data de perforación diamantina.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son las reservas y diseño de pit, mediante el procesamiento de data de perforación diamantina en un depósito epitermal de alta sulfuración, Hualgayoc 2019?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar el cálculo de reservas y el diseño del Pit, mediante el procesamiento de data de perforación diamantina en un depósito epitermal de alta sulfuración, Hualgayoc 2019.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Generar la vista de taladros con la data de perforación de un depósito epitermal de alta sulfuración en Hualgayoc.
- Realizar secciones litológicas y mineralógicas del depósito mineral.
- Determinar la geometría y volumen del material estéril y del cuerpo mineralizado.
- Calcular la ley promedio de mineral
- Realizar el modelo de bloques para el cálculo de reservas y diseño de pit del cuerpo mineralizado.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Mediante el procesamiento de data de perforación diamantina se realizará el cálculo de reservas y diseño de pit de un depósito epitermal de alta sulfuración en Hualgayoc 2019.

#### **1.4.2. Hipótesis Específica**

Generar la vista de taladros con la data de perforación de un depósito epitermal de alta sulfuración en Hualgayoc permitirá realizar secciones mineralógicas, la cual servirá para determinar la geometría y el volumen del cuerpo mineralizado. Asimismo, conocer la ley promedio del mineral permitirá realizar el modelo de bloques el cual servirá para calcular las reservas de mineral y el diseño del pit.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo Aplicada. Este tipo de investigación hace uso de los conocimientos o teorías o de investigación básica para resolver un problema existente, tiene por objetivo resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico. (Crai, 2018).

El diseño de la investigación es No Experimental Descriptivo, Correlacional, porque no se controla la variable independiente, dado que el estudio se basa en analizar eventos ya ocurridos de manera natural. (Link Metodología 2).

El método de análisis es de carácter descriptivo porque describe la data de los taladros de perforación diamantina para la estimación de reservas mineras de un depósito epitermal de alta sulfuración.

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

La población es toda la data de perforación en Hualgayoc

La muestra es la data de perforación en un depósito epitermal en Hualgayoc.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### Las técnicas utilizadas son:

- Observación directa, análisis documental, análisis de los datos de taladros de perforación.

#### Instrumentos

- Software Minesight: Utilizado para realizar el procesamiento de datos de taladros de perforación, calcular las reservas y realizar el diseño del pit.
- GPS: Utilizado para la ubicación de puntos de control en la zona de estudio.

- Picota: Utilizado para adquirir algunas muestras de campo.
- Lupa 30x: Utilizado para una mejor visualización de los minerales existentes en las rocas, para luego hacer una clasificación macroscópica de estas.
- Rayador: utilizado para medir la dureza de las rocas que afloran en la zona de estudio.
- Libreta: Utilizada para anotar los datos extraídos de campo.

## 2.4. Procedimiento

### **Etapa pre-campo:**

Se realizó una recopilación de la información geológica de la zona de investigación utilizando como fuente principal la página web del INGEMMET.

Se adquirió los datos de taladros de perforación de la empresa GEODA SAC.

### **Etapa de campo:**

Se realizaron visitas a la zona de investigación para corroborar la información geológica. Como materiales se utilizó, GPS, brújula, picota, lupa y rayador.

### **Etapa de gabinete:**

Los resultados son entregados en Excel después del estudio geoquímico de las muestras de los testigos enviados al laboratorio, estos se introducen al software Minesight, siendo almacenados en un fichero base.

Para el cálculo de los compósitos las muestras de los análisis se combinan en intervalos regulares (igual longitud), que no coincidan con el tamaño inicial de las muestras. La ley del nuevo intervalo se calcula usando la media ponderada por la longitud de los testigos que contribuyen a cada compósito y la masa volumétrica en caso de ser variable.

Se realiza un análisis estadístico de los datos disponibles o los generados a partir de cálculos de los compósitos y posteriormente se hace la determinación de leyes de mineral. Para calcular las reservas del depósito, primero se realiza el modelo de

bloques, para los cuales la ley de cada uno de ellos se obtiene aplicando el método del inverso a la distancia donde se le asigna mayor peso a las muestras cercanas y menor peso a las muestras alejadas del bloque. Conocidas las Leyes para los diferentes bloques, se calcula el valor para cada uno de ellos, con lo que, a cada bloque, se le asigna un valor (expresado, por ejemplo, en dólares) a partir del cual se establece la optimización de la explotación. Finalmente se procede a diseñar el pit de explotación.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Ubicación del depósito epitermal de alta sulfuración

El depósito se encuentra ubicado a 1.5 km al NE de la ciudad de Hualgayoc.

La zona de investigación tiene las siguientes coordenadas UTM WGS 84

Tabla 1. *Coordenadas UTM-WGS84 de los vértices de la zona de Investigación.*

VÉRTICE	ESTE	NORTE
1	766000	9252500
2	766000	9251500
3	765000	9251500
4	765000	9252500

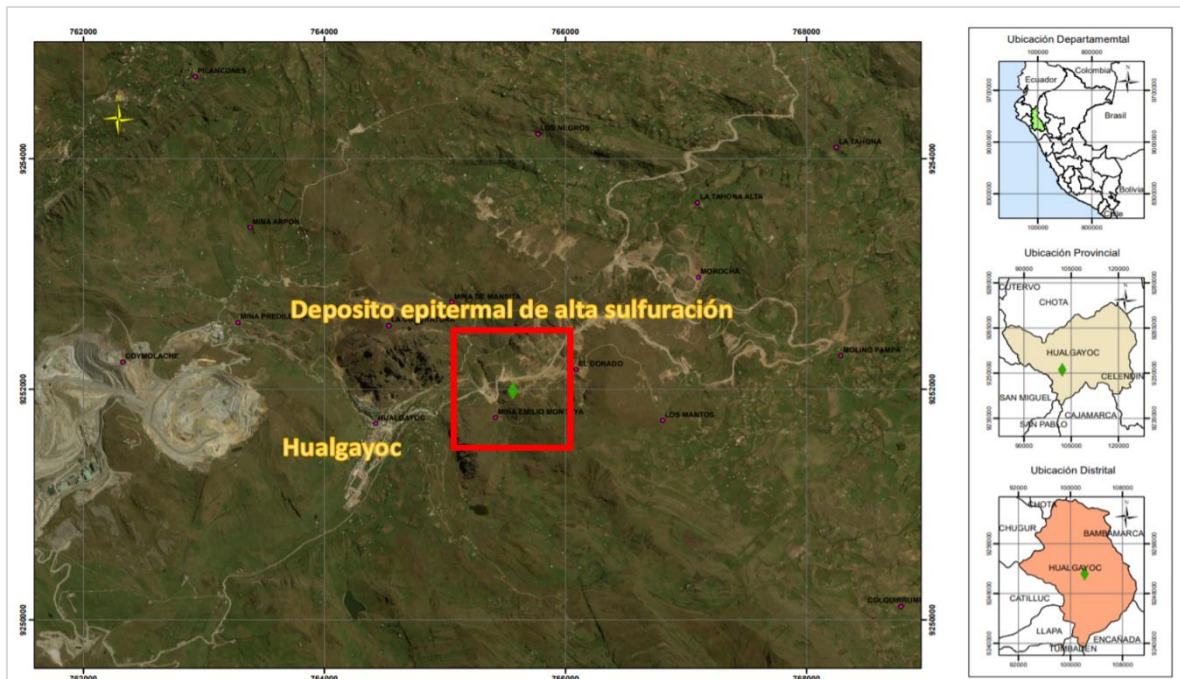


Figura 7. Ubicación del depósito epitermal de alta sulfuración.

### 3.2. Accesibilidad al depósito mineral

La zona de estudio se encuentra a 88.6 km. de la ciudad de Cajamarca, Para llegar a la zona de estudio, tomamos la carretera asfaltada Cajamarca-Bambamarca hasta el distrito de Hualgayoc (87.1km), la zona de estudio se encuentra a aproximadamente a 1.5km al NE de este distrito, como se detalla en la siguiente tabla.



Tabla 2. Accesibilidad a la zona de estudio.

TRAMO	DISTANCIA	TIPO DE VIA
Cajamarca - Distrito Hualgayoc	87.1 km	Asfaltada
Distrito Hualgayoc - Zona de Estudio	1.5 km	Asfaltada

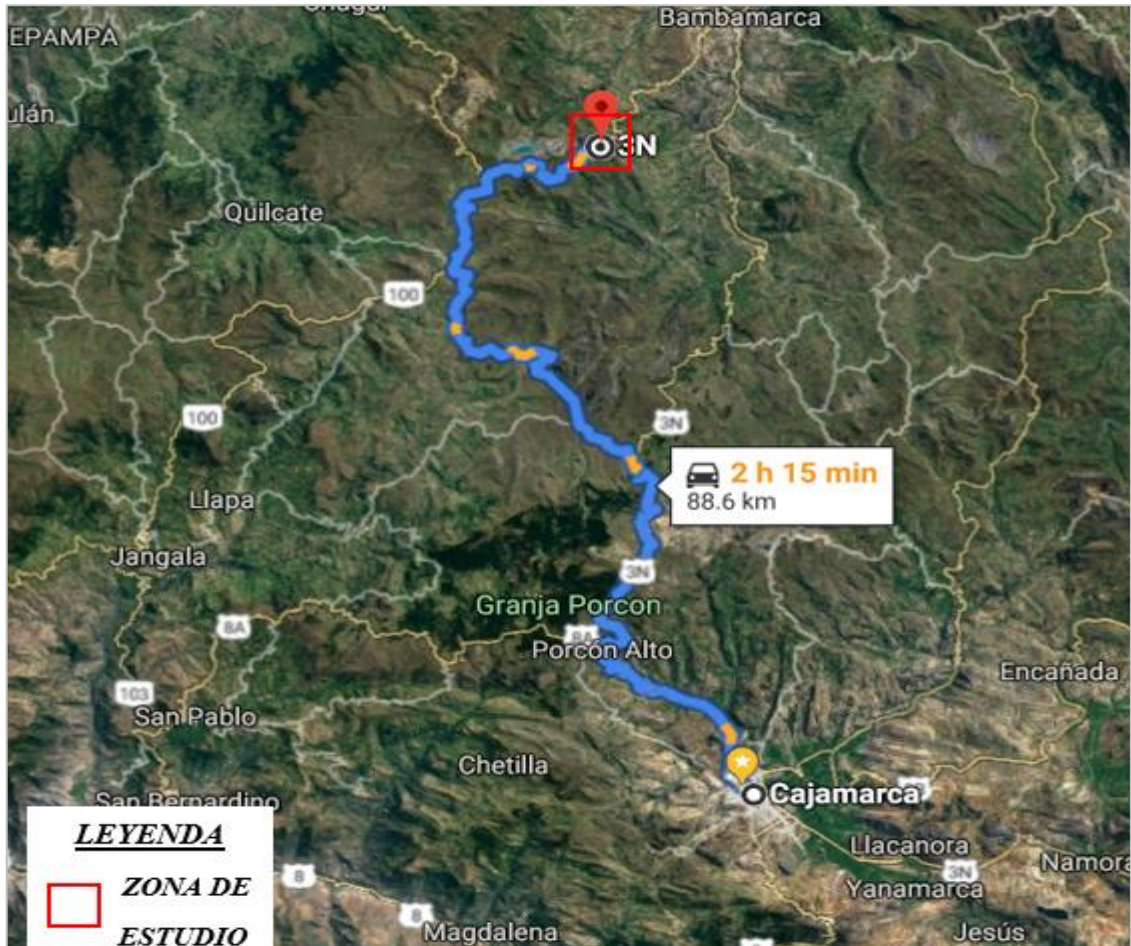


Figura 8. Acceso y delimitación de la zona de estudio. (Google Earth 2019).

### 3.3. Geología

El contexto geológico del depósito está conformado por brechas dacíticas, con fragmentos de pómez, presenta niveles de tobas andesíticas rojizas. Estratos medios a gruesos bien estratificados del volcánico Huambos del Mioceno, y del cretácico a las formaciones Farrat, compuesta por areniscas, Formación Inca con calizas masivas arenosas, brechas calcáreas, areniscas y lutitas ferruginosas en capas delgadas

intercaladas con caliza impura, Formación Chúlec con Lutitas grises, margas amarillentas y calizas lutáceas delgadas y nodulares marrón crema y Formación Pariatambo con Calizas negras, bituminosas, con olor fétido intercaladas con delgados niveles de lutitas negras, Grupo PuyLucana con Intercalación de calizas grises, lutitas friables gris oscuras a negras y niveles de margas. mientras que la mineralización está relacionada con Dacita.

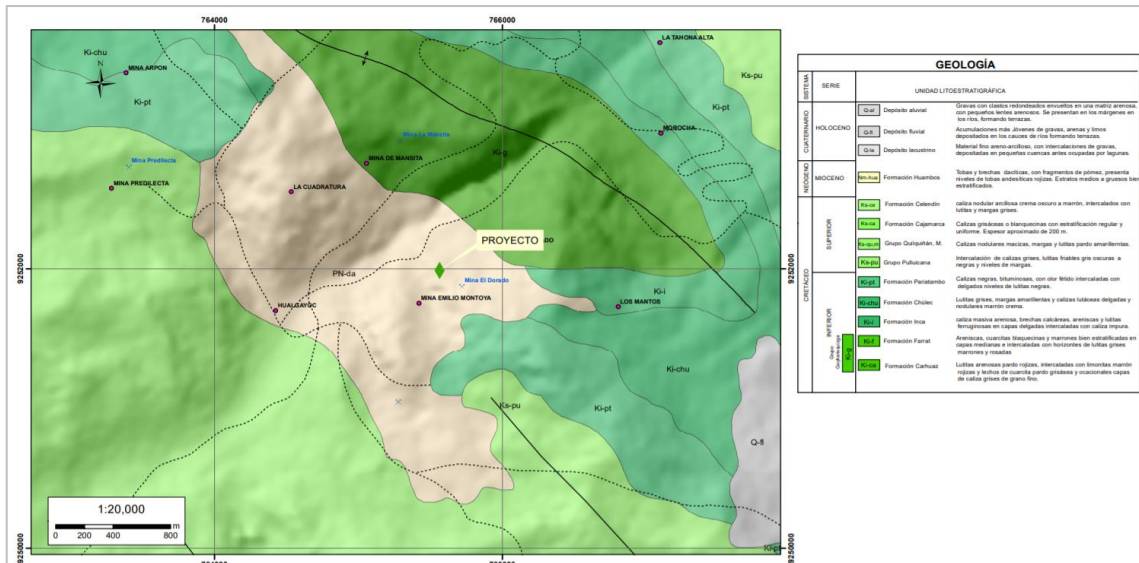


Figura 9. Plano geológico de la zona de estudio



Foto 1. Afloramiento de rocas de composición dacítica, donde se observa que las rocas han sufrido un proceso de argilización, que es una característica de los depósitos de alta sulfuración. Ubicación (E:765608; N:9251951).





Foto 2. A la izquierda se observa una muestra de mano de roca de composición dacítica con un 70% de plagioclasas, 20% de cuarzo y un 10% de feldespatos según el análisis macroscópico además de minerales máficos de hornblenda y biotita. A la derecha se observa la muestra vista a la lupa de 30x donde se observa cristales de pirita ( $\text{FeS}_2$ ). Ubicación (E:765460; N:9251901).

### 3.4. Generación de vista de taladros con la data de perforación diamantina

En la Figura 10 se observa la construcción de la vista E-W de la totalidad de los taladros del yacimiento de alta sulfuración con tramos mineralizados de Au. El color morado representa los intervalos de leyes entre 0.0 a 0.3 de oro el azul leyes entre 0.3 y 0.8, el color cian leyes entre 0.8 y 1.1 de oro, verde de 1.2 a 1.5 amarillo de 1.6 a 2.2 de oro, naranja de 2.3 a 2.8 de oro los y el rojo de 2.9 a 3 de oro (Plano 1).

En la figura 11 se tiene la vista E-W de la totalidad de taladros con los códigos de las zonas de alteración 1 de óxidos de color cian, genéticamente relacionada a la formación de la zona lixiviada y se ha desarrollado hacia los bordes de esta, la zona 2 de transición óxidos-sulfuros, y la zona 3 de sulfuros (rojo), corresponde a los minerales primigenios (Plano 2).

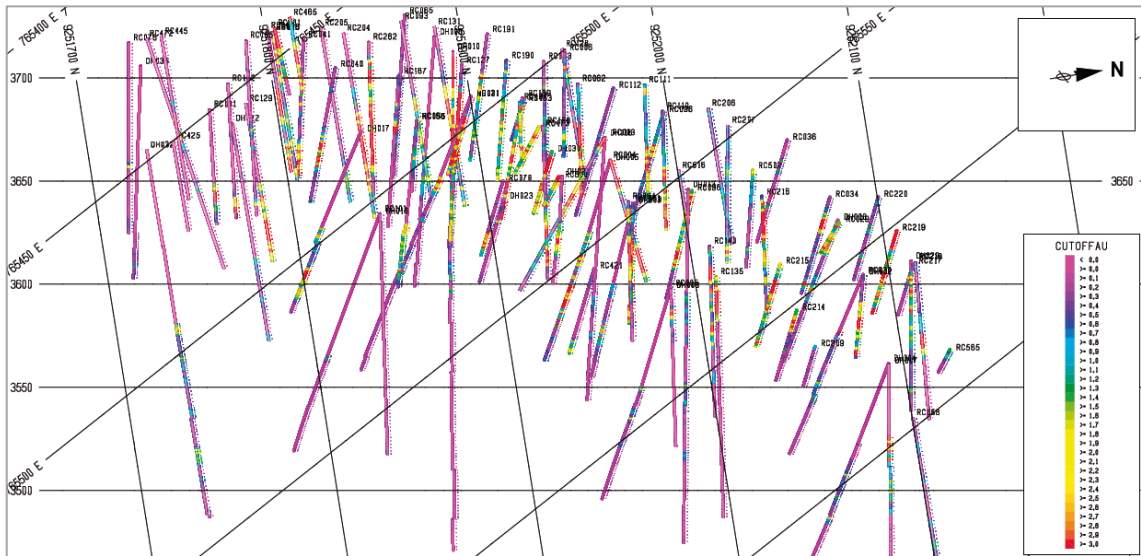


Figura 10. Taladros mineralizados de Au, en donde se observa de color rosado las leyes mínimas y de color rojo las leyes máximas.

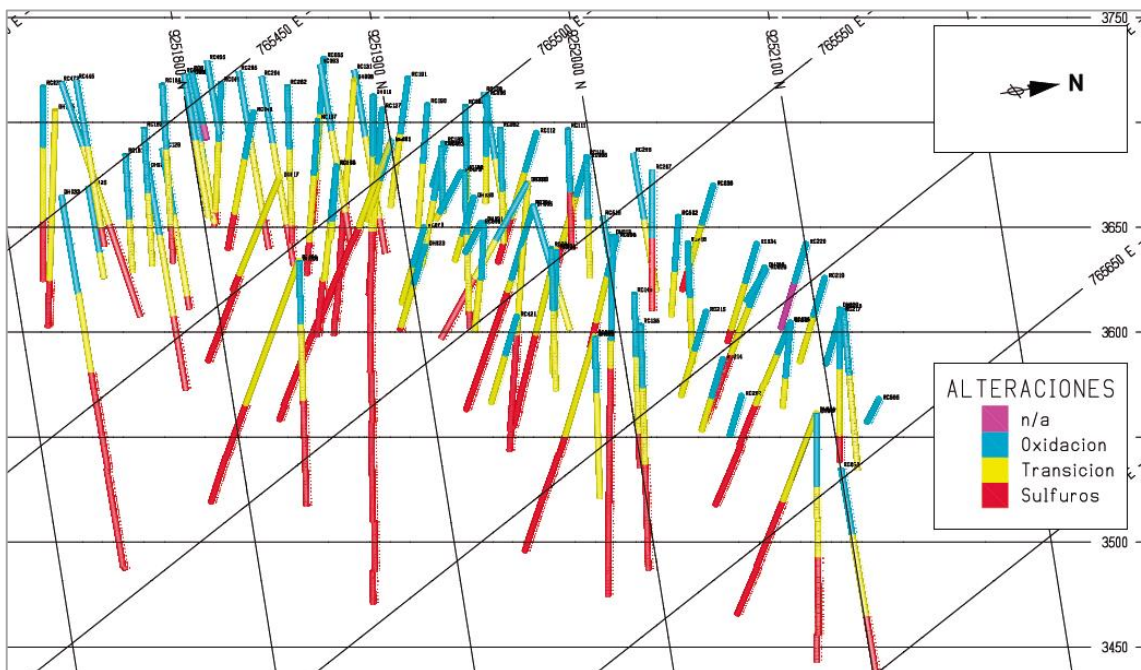


Figura 11. Taladros con tramos de zonificación, óxidos en la parte superior, al centro la zona de transición y en la parte inferior se encuentran la zona de sulfuros.



enriquecidos y minerales primarios (zona transicional propiamente dicha) según sea el caso. (Plano 6) y la zona de sulfuros (Plano 7).

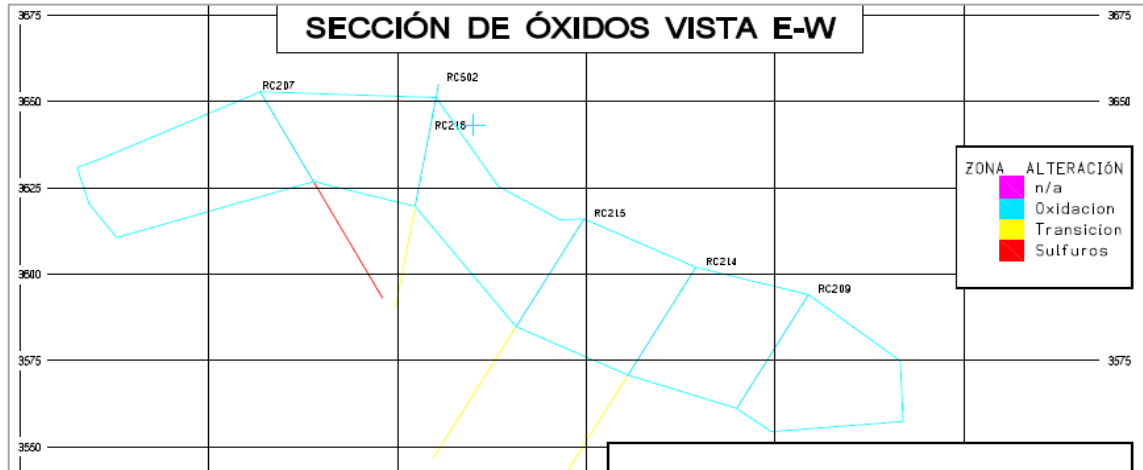


Figura 14. Vista E-W de la sección mineralógica de la zona de óxidos

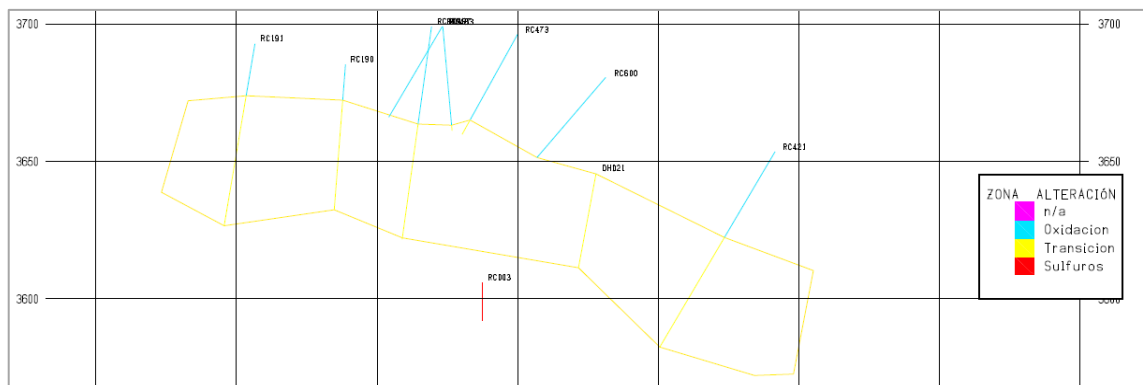


Figura 15. Vista E-W de la sección mineralógica de la zona de transición sulfuros-óxidos

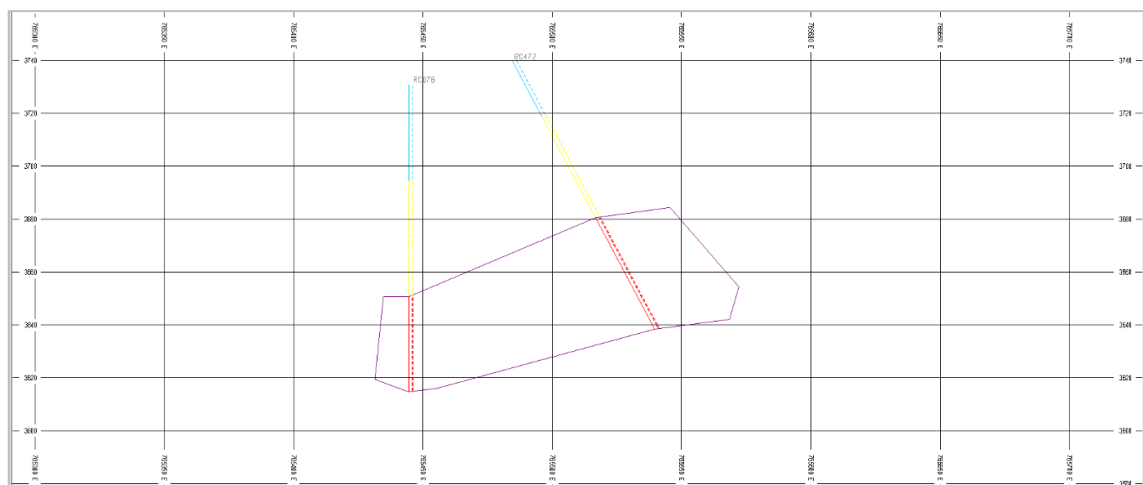


Figura 16. Vista E-W de la sección mineralógica de la zona de sulfuros

### 3.6. Construcción de los sólidos de alteraciones del depósito mineral

Después de crear las secciones mineralógicas mediante la triangulación de todas ellas se generan el sólido de mineralización que contiene la información de todos los minerales del yacimiento Au, Cu, As y el volumen del sólido 5,866185.10 metros cúbicos y tonelaje 15,838700.04 toneladas (Plano 08).

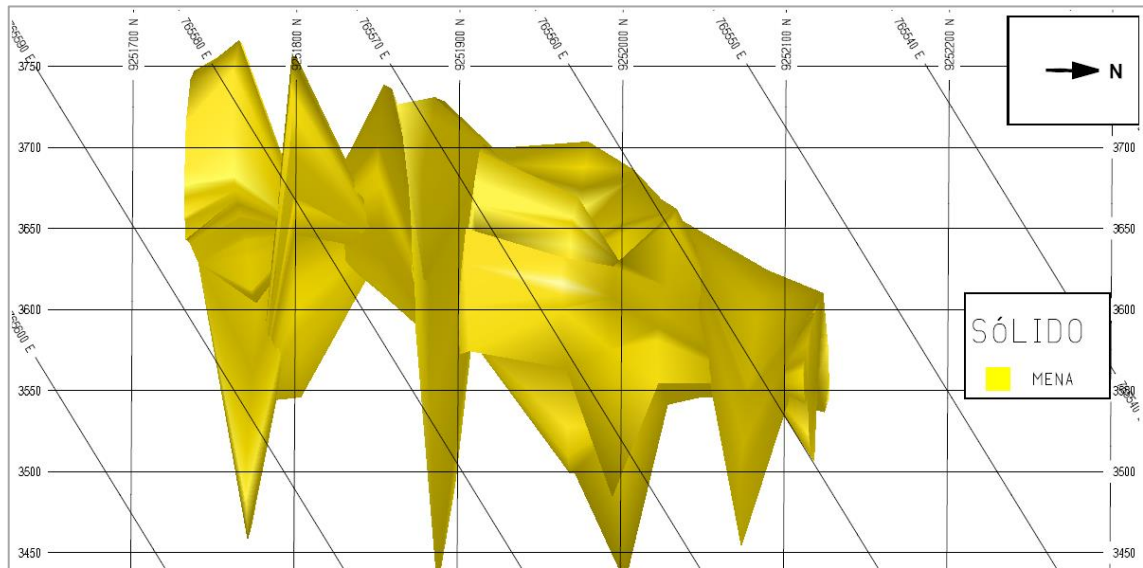


Figura 17. Vista del sólido de mineralización el cual tiene un volumen de 5866185.10 metros cúbicos.

En la figura 18 se observa el sólido final de la zona de óxidos del yacimiento. Se caracteriza por la presencia de óxidos y sulfuros de cobre con valores económicos. los principales minerales son la brocantita, acompañada por calcedonia, alunita, jarosita, melanterita, crisocola y cuprita; ocasionalmente también ocurren: malaquita, neotosita y silomelano; Considerado como sólido 1 con un volumen de 2,320803.37 metros cúbicos y tonelaje 6,266169.21 toneladas (Plano 09).

En la figura 19 se observa el sólido de transición óxidos-sulfuros cuya mineralogía está constituida por una mezcla de minerales de zona lixiviada y minerales de zona enriquecida (conocida también como “zona de mixtos”) o minerales enriquecidos y minerales primarios (zona transicional propiamente dicha) según sea el caso;



considerado como sólido 2 con un volumen de 2,888832.51 metros cubico y 7,799847.91 toneladas. (Plano 10).

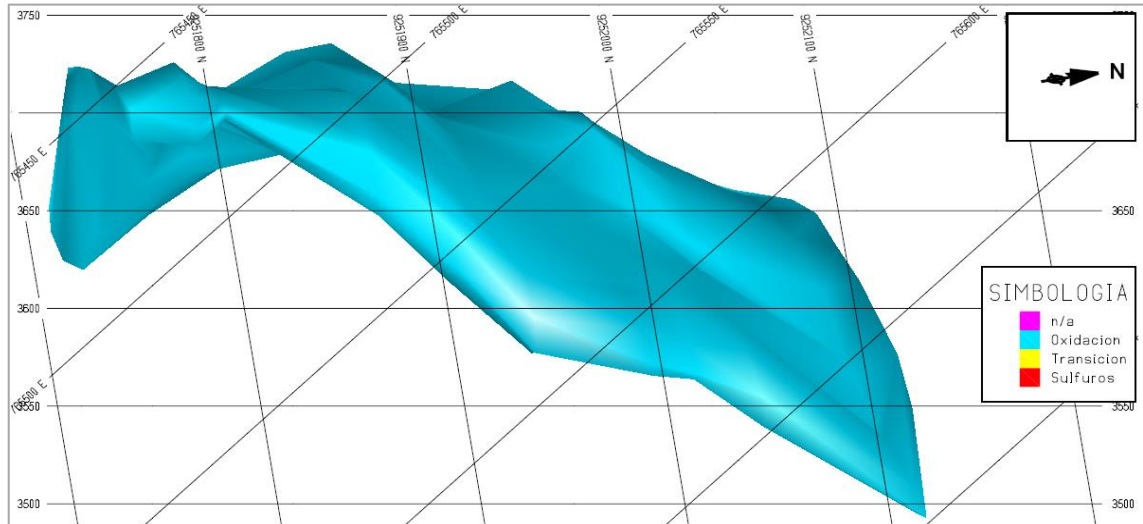


Figura 18. Vista del sólido final de la zona de óxidos

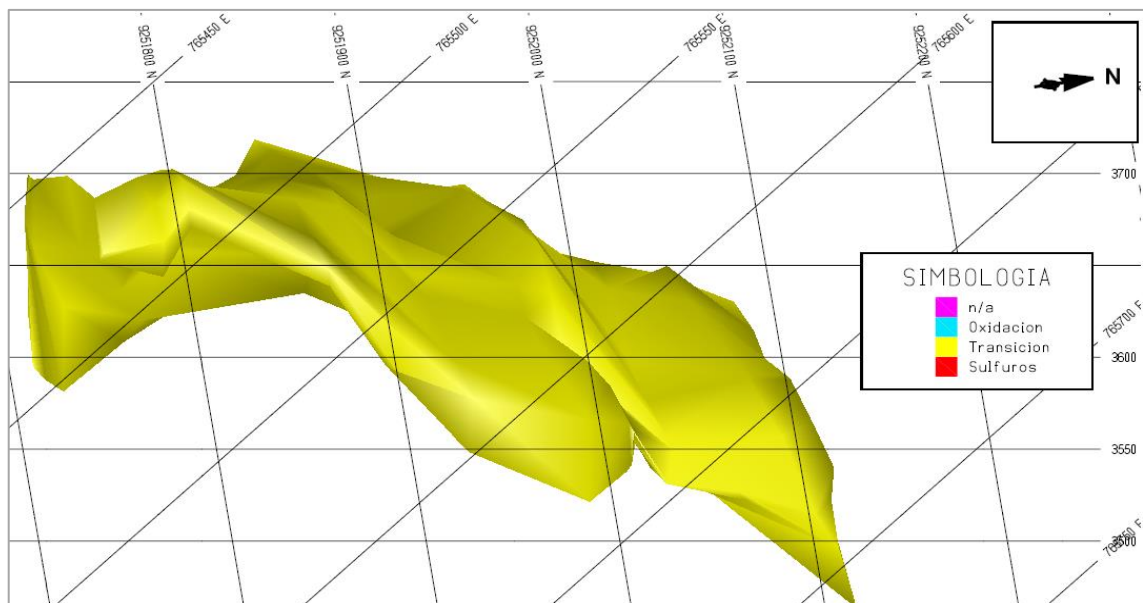


Figura 19. Vista del sólido final de la zona de transición

En la figura 20 se aprecia la construcción del sólido de la zona de sulfuros donde los más importantes son pirita y calcopirita, en menor proporción ocurren: molibdenita, enargita, cobres grises, como también bornita y covelita primarias; otros sulfuros primarios como la esfalerita y galena tienen una ocurrencia esporádica. Otros sulfuros primarios presentes en esta zona son molibdenita, bornita, tetraedrita, galena, esfalerita

y calcosina mayormente diseminados, donde se enriquecen sulfuros minerales ya existentes (pirita y calcopirita), formando nuevos sulfuros con mayor contenido de cobre (calcosita y covelita). La pirita ha sido reemplazada en diversos grados por calcosita denominado sólido 3 con un volumen de 5,905459.24 metros cúbicos y 15,994740.22 toneladas. (Plano 11).

En la figura 21 tenemos la construcción de todos los sólidos de alteración aún sin intersectar con el sólido de mineralización (Plano 12).

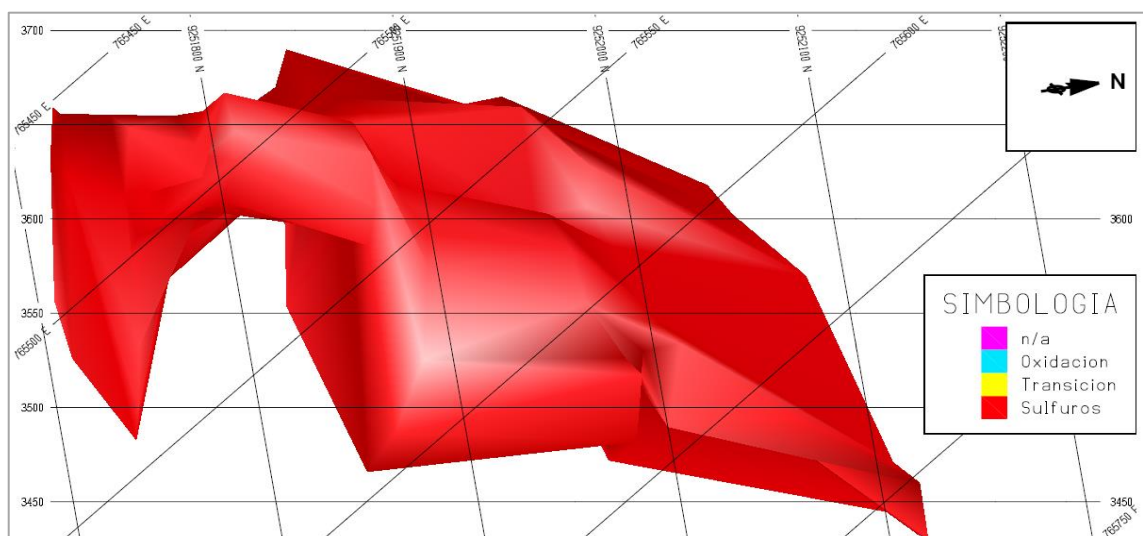


Figura 20. Vista del sólido de la zona de sulfuros.

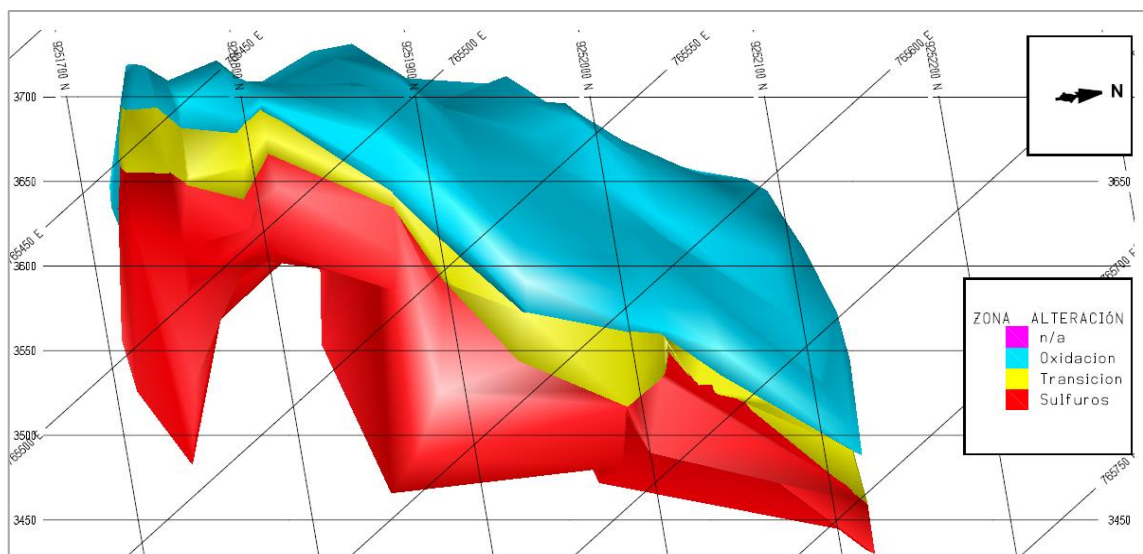


Figura 21. Construcción de todos los Sólidos de alteraciones (Óxidos, Zona de transición y sulfuros).

En la figura 22 se observa con vista al Este, el sólido de intersección de las zonas de sulfuros en la parte inferior, con color rojo, zona de transición en la parte intermedia de color amarillo, la zona óxidos en la parte superior de color celeste, y por último la zona de mineralización de color dorado, la cual intercepta a las otras tres zonas (Plano 13).

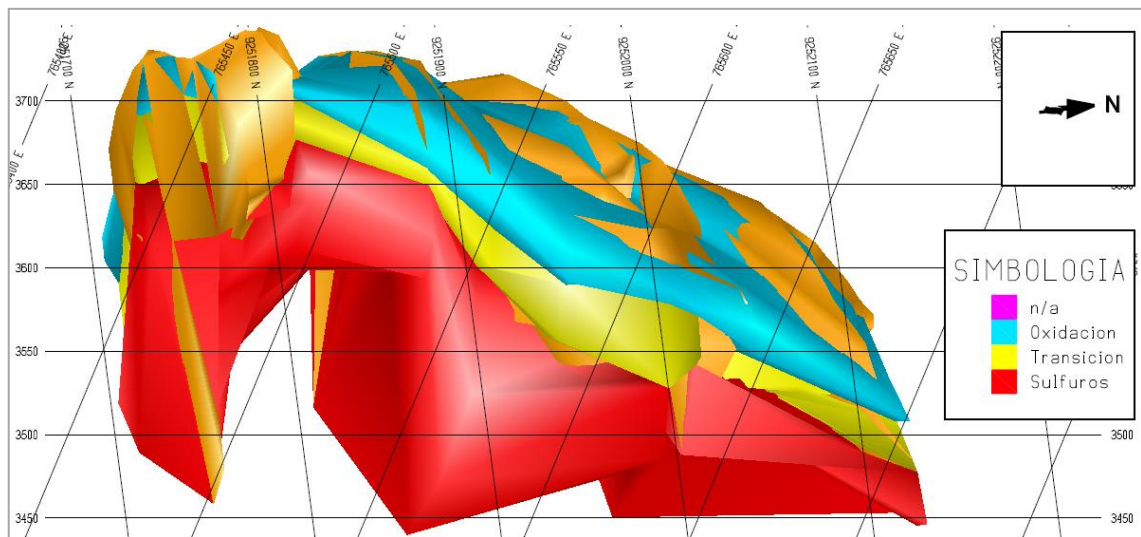


Figura 22. Intersección de los Sólidos de alteración con el sólido de Mineralización

### 3.7. Cálculo de la ley promedio del mineral de oro.

Se insertó los tramos de mineralización de cada taladro los que contienen minerales de Au, Cu, y As, Cada tramo es trabajado por el Software con un parámetro el cual ha sido calculado al inicio del proyecto, este parámetro es la altura del Banco de Pit, cuyo valor es 10 metros. Se estandarizan los tramos mineralizados en un tramo promedio para poder optimizar la ley de mineral (Anexo 2).

Haciendo esto se tiene una ley promedio de 1.096 gr/Tn de oro.

### 3.8. Creación del Modelo de bloques para el cálculo y reservas

En la figura 23 se observa el modelo de bloques en3D del cuerpo mineralizado (Plano 15). En la figura 24 encontraremos la información de tipo de roca la ley de mineralización de Au, Cu, As calculado por el inverso de la distancia y el cálculo de



confidencial que categoriza a los bloques como zona de mineral probable =1 zona de mineral probado = 2 y zonas de mineral posible=3. (Plano 16).

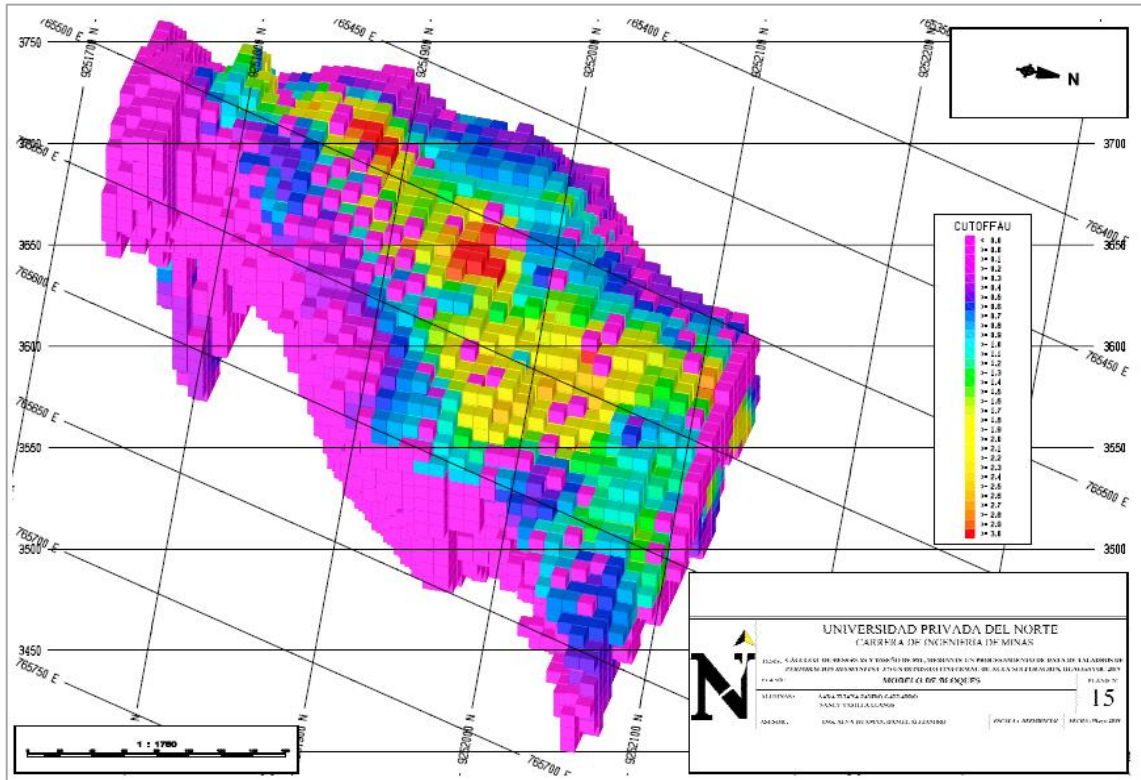


Figura 23. Modelo de bloques en 3D de cuerpo mineralizado.

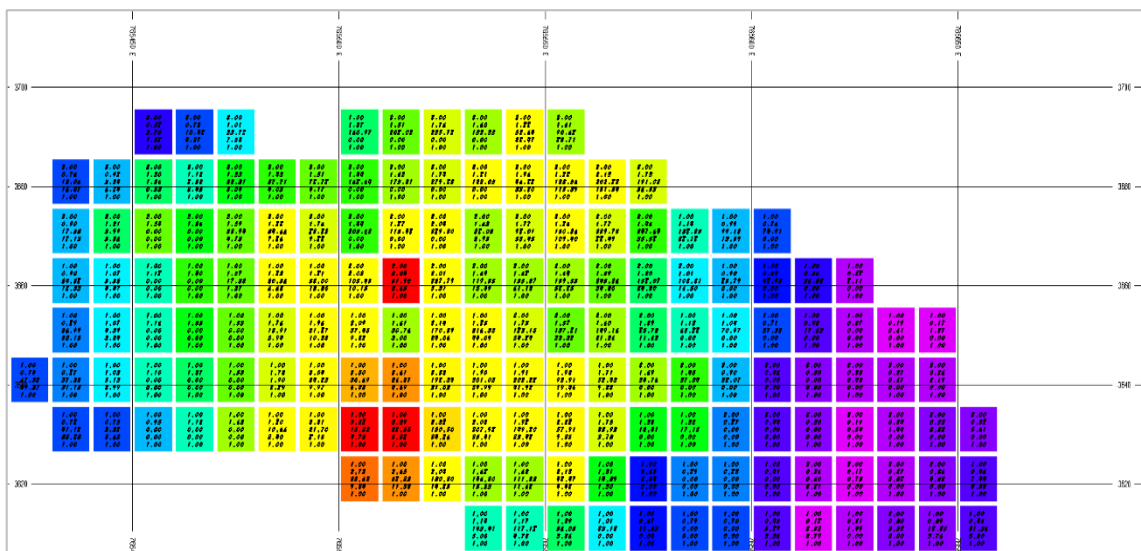


Figura 24. Modelo de bloques vista 2D con información completa de la roca y mineral. (Plano 16).

### 3.9. Cálculo de reservas de oro (Au)

Después de procesar la data de mineralización de los taladros para generar los sólidos mineralizados se aplica la fórmula del inverso de la distancia obteniendo los modelos de bloques y su ley promedio. El reporte del cálculo de reservas se muestra a continuación. Obteniendo una reserva de 16.46 toneladas de oro.

OPTIMIZACION DE PIT 1200 \$ ONZA DE ORO			
Prices are multiplied by factor : 1.00000 for Pit design			
Reserves are for base case economics			
Summary by Material and Destination for Pit 1			
		MILL	DUMP
1 ROCK1	Value	303471350.	-17686498.
	Tons	10.964050	8843249.
	AUIDW	1.0948	0.0006
	Value/ton	27.6788	-2.0000
2 ROCK2	Value	196945104.	-227750.
	Tons	5.501300	113875.
	AUIDW	1.2895	0.0722
	Value/ton	35.7997	-2.0000
3 Total	Value	500416454.	-17914248.
	Tons	16.465350	8957124.
	AUIDW	1.1599	0.0015
	Value/ton	30.3921	-2.0000
Total value of Pit =		482502206.	
Total tons in Pit =		25422474.	
Total blocks in Pit =		10850.	

Figura 25. Cálculo de reservas de oro en el Software minero Minesight.

### 3.10. Construcción de la sección de intersección de la topografía del terreno con el modelo de bloques creado.

En la figura 26 se creó la sección de la superficie topográfica abarcando el modelo de bloques creado (Plano 17). En la figura 27 se observa la vista en 3D de la superficie topográfica y curvas de nivel del futuro tajo (Plano 18).

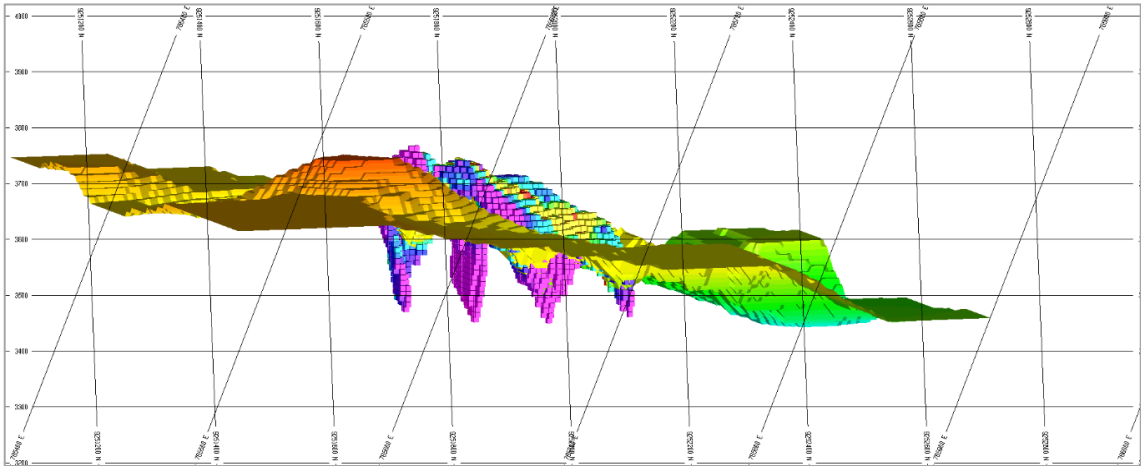


Figura 26. Sección de superficie topográfica con modelo de bloques.

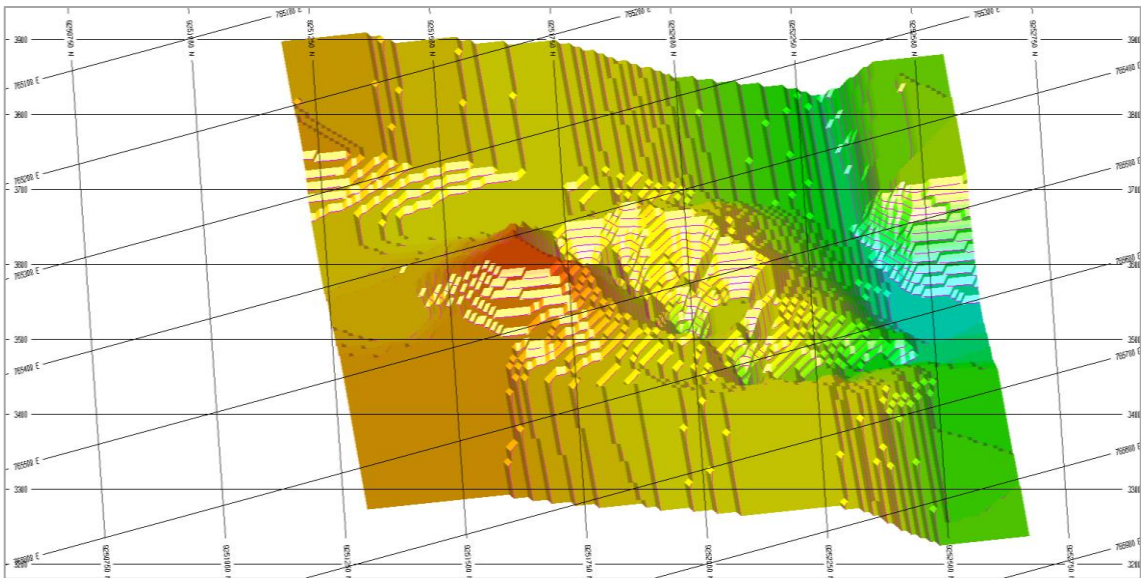


Figura 27. Superficie topográfica y curvas de nivel del futuro pit

### 3.11. Diseño de rampa

En la figura 28 se observa el Modelo de bloques con superficie topográfica y un primer diseño de pit en planta sin la rampa (Plano 20). En la figura 29 se observa la vista en planta del diseño de rampa para el pit final además se aprecia al centro el modelo de bloques creado (Plano 21).

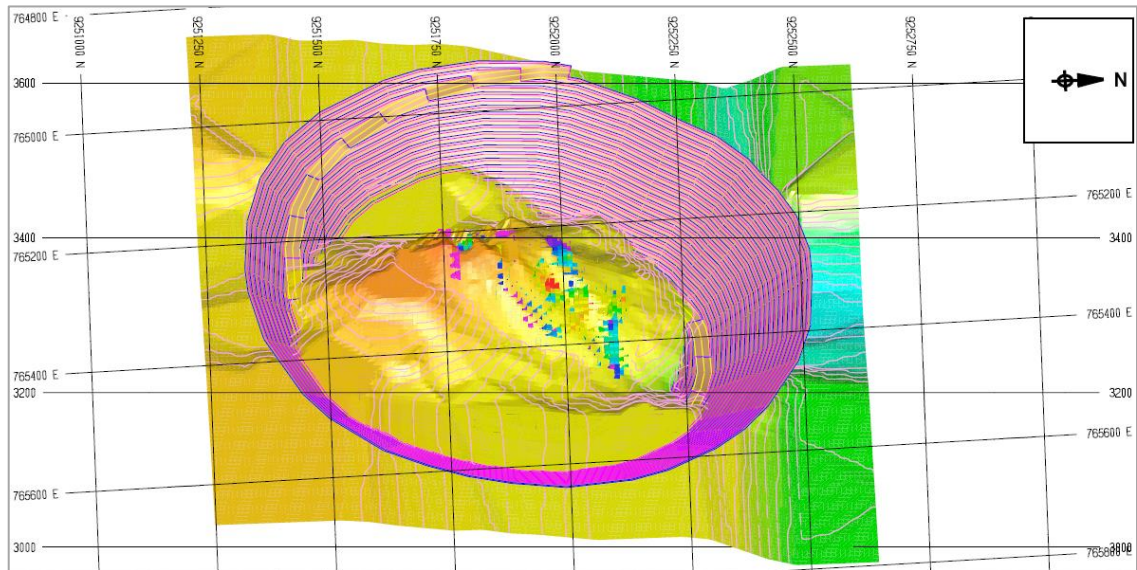


Figura 28. Vista en planta del pit antes de extracción del mineral

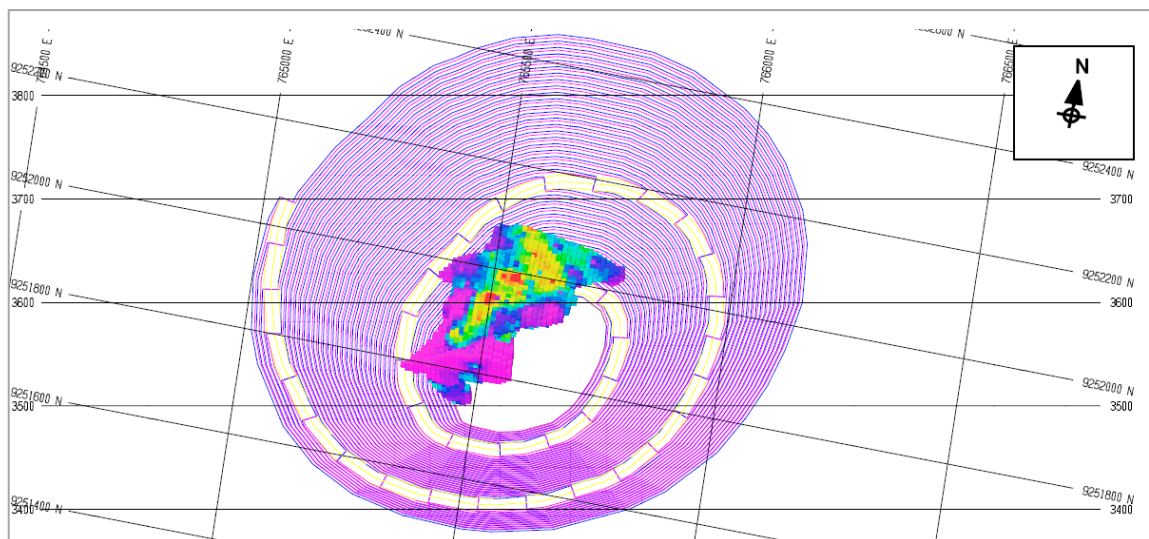


Figura 29. Vista en planta de la rampa para el pit final.



### 3.12. Diseño de pit.

En la figura 30 se observa la Sección del diseño de pit final aún sin la extracción de material estéril ni de mineral rentable (Plano 22). En la figura 31 se graficó el diseño de pit final, luego de la extracción del recurso mineral. El cálculo y reporte de los bancos realizado por el inverso de la distancia nos dio como resultado construir 63 bancos de explotación (Plano 23).

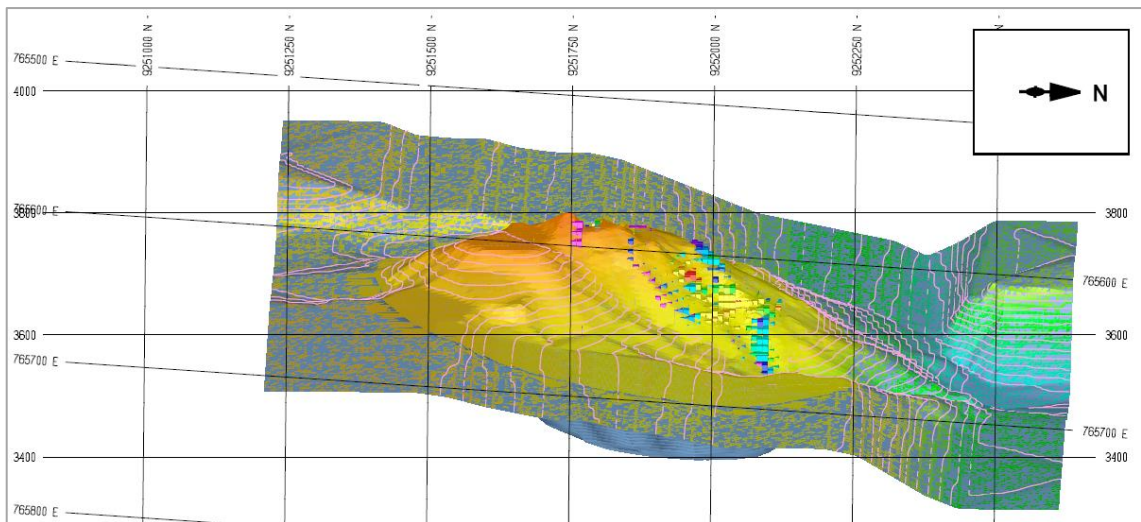


Figura 30. Sección del diseño de pit final con material estéril y mineral rentable.

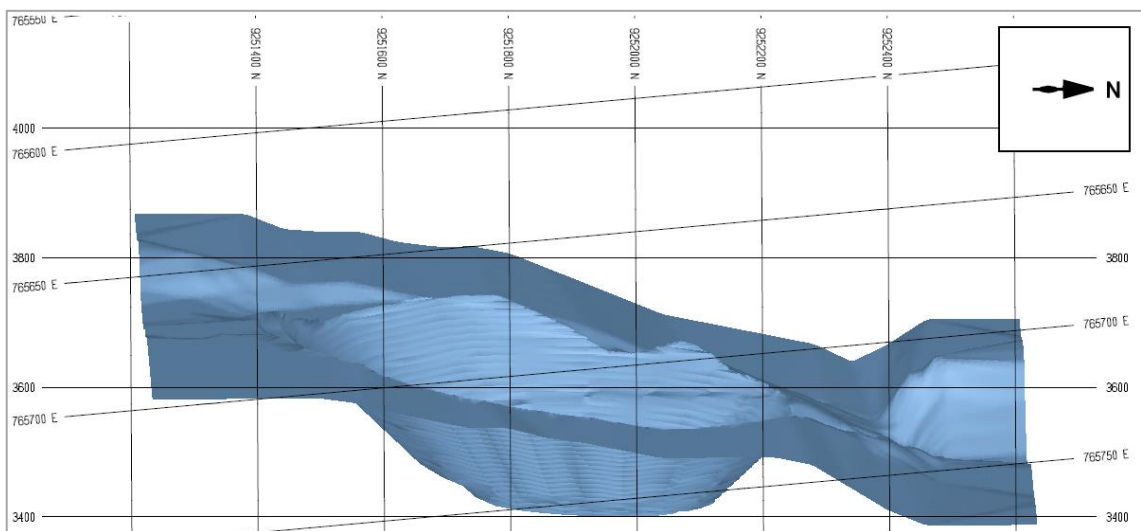


Figura 31. Diseño final de pit luego de haber extraído el mineral.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Vega (2013), determinó que la veta Paraíso tiene 23817.15 TM de recurso mineral con una ley media de 10.7 grAu/tn. El depósito epitermal de alta sulfuración ubicado en Hualgayoc al procesar la información de taladros de perforación diamantina tiene un tonelaje de 15,838700.04 y con una ley promedio de mineral de 1.096 gr/Tn de Au.

Ruiz (2010) demuestra la viabilidad del análisis de datos de sondajes (muestras), para obtener un modelo geológico y luego un modelo número (Bloques) con las herramientas que ofrecen los softwares RecMin y SGeMS, de igual manera en la investigación se demuestra es factible usar el software Minesight para cuantificar y categorizar los resultados y reservas minerales de un depósito epitermal de alta sulfuración.

Mientras más data geológica se tenga más preciso es el modelamiento y cálculo de reservas que nos permitió diseñar el pit de explotación. Esto es corroborado por (Torres 2015) donde la estimación de reservas minerales es robusta, auditable y nos entrega una buena calidad de información para la elaboración de los planes a corto, mediano y largo plazo donde tener un modelo de bloques de reservas nos permite una visualización en 3D y en consecuencia su ubicación en el espacio, en donde se puede realizar el secuenciamiento para los planes. Aquí se usó el software Datamine, mencionando que se debe de ser muy cuidadoso al momento de insertar la información, ya que, una información errada insertada en el software no siempre es reconocido como un error por este, pudiendo procesar la información y emitir reportes erróneos; el presente trabajo uso el software Minesight.

### 4.2. Conclusiones

Se generó la vista E-W de la totalidad de los taladros del yacimiento de alta sulfuración con tramos mineralizados de Au además de la vista con los códigos de las zonas de

alteración 1 de óxidos y 2 de sulfuros y de las secciones litológicas y mineralógicas (plano 1, 2, 3, 4)

Se construyó el sólido de la zona mineralizada (plano 9), con un volumen de 5,866185.10 m<sup>3</sup> y 15,838700.04 toneladas, la zona de óxidos (plano 10) que tiene un volumen de 2,320803.37 metros cúbicos y 6,266169.21 toneladas; el sólido de transición (plano 11), con 2,888832.51 m<sup>3</sup> y 7,799847.91 toneladas y el sólido de sulfuros (plano 12) con un volumen de 5,905459.24 m<sup>3</sup> y 15,994740.22 toneladas.

La ley promedio es 1.096 gr/Tn de Au.

El modelo de bloques para el cálculo de reservas categorizó las zonas en zona de mineral probado =1 zona de mineral probable = 2 y zonas de mineral posible=3.

Se diseñó la rampa (planos 20 y 21) y el pit final para la extracción del mineral del depósito epitermal de alta sulfuración (planos 22 y 23)

Después de haber realizado el modelo de bloques se determinó que las reservas de oro son de 16,46 Toneladas.

## REFERENCIAS

- ALFARO, M. A (2007). *Apuntes de estimación de recursos mineros*, profesor de recursos mineros Universidad Católica Valparaíso. 124 pp.
- ALVA Y RODRIGUEZ. (2018). *Modelamiento geológico para el cálculo de recursos mineros de la veta murciélago de la mina paredones, Chilete 2018*. Universidad privada del Norte. Cajamarca.
- BUSTILLO y LOPEZ C. (1997). *Manual de evaluación y diseño DE EXPLOTACIONES MINERAS*. Editorial: Entorno Gráfico S.L. Madrid, 705 pp.
- CISNEROS, J. (2003) *diseño de explotación a cielo abierto*. Asociación de ingenieros de minas del Ecuador.  
[www.aimecuador.org/...pdf/Diseño\\_%20de\\_%20explot\\_CA.pdf](http://www.aimecuador.org/...pdf/Diseño_%20de_%20explot_CA.pdf). Archivo pdf.  
Capturado diciembre 2007. 58 pp.
- DELGADO J. (2007) *apuntes del curso planificación de minas*, Maestría internacional Ing. de Minas, Universidad de Antofagasta, 491 pp.
- ESTEVEZ, E (*evaluación geólogo-económica de yacimientos minerales*).
- GONZALES T. (2010). *Diseño de minas de tajo abierto*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas. UNI.
- HUAYANCA, (2015). *Modelamiento geológico-estructural y evaluación de reservas y recursos de la estructura aurífera candelaria en el yacimiento Parcoy del batolito de pataz*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- OYARZUN, R. (2011). *Geología de Minas, Exploración y Evaluación*, pág. 30 – 31
- RUIZ (2010). *Aplicación de software libre para la estimación de recursos y para la evaluación técnica económica de las reservas minerales*. Universidad Nacional de Piura.



- VEGA, A.G. (2003). *Cálculo de reservas de la veta Paraíso Mina Paraíso – Distrito Ponce Enríquez*. Tesis Ing. Geol. Guayaquil, Ecuador. ESPOL. Pág. 70 – 71
- TORRES (2015). *Metodología para la estimación de reservas minerales en minera bateas*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas. UNI.
- ARONII. (2009). *Cálculo de reservas de pit y programación anual en minesight*” Tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas, universidad nacional de puno.
- Mintec Inc. Minesight®. Programs Manuals
- Maza, Y. (2016). *Estimación de reservas minerales de oro y plata en la veta karina - los pircos, Santa Cruz – Cajamarca*. Universidad Nacional De Cajamarca.
- SEPÚLVEDA Y GALLO. (2011). *Modelo de bloques para un yacimiento de sulfuros masivos utilizando el software minesight*.
- GUY, SAUCIER, E. (2005). *Resources Estimation Shahuindo project*. Project, Informe Interno N° 2005. Montreal, Quebec. [s.n.]
- YNOCENTE (2014). *Metodología de estimación de recursos minerales, prospecto Shahuindo, Cajamarca-Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

## ANEXOS

### Anexo 1. Data de perforación diamantina

DH006	765577.30	9252082.20	3625.20	262.50	-60.00	145.95	
DH006	61.00	96.00	35.00	264.50	-60.00		
DH006	96.00	131.00	35.00	264.50	-60.00		
DH006	131.00	145.95	14.95	264.50	-60.00		
DH006							
DH006	0.00	2.00	2.00	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0000 Oxido
DH006	2.00	4.00	2.00	1.6000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	4.00	6.00	2.00	0.7000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	6.00	8.00	2.00	1.5000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	8.00	10.00	2.00	2.1000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	10.00	12.00	2.00	2.0000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	12.00	12.10	0.10	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0000 Oxido
DH006	12.10	14.00	1.90	2.3000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	14.00	15.35	1.35	1.8000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	15.35	17.55	2.20	1.9000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	17.55	18.20	0.65	2.5000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	18.20	20.60	2.40	3.1000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	20.60	21.85	1.25	1.5000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	21.85	22.95	1.10	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0000 Oxido
DH006	22.95	24.05	1.10	1.4000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	24.05	24.60	0.55	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0000 Oxido
DH006	24.60	26.40	1.80	2.5000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	26.40	28.00	1.60	2.6000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	28.00	30.00	2.00	2.0000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	30.00	32.00	2.00	0.9000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	32.00	34.00	2.00	0.4000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	34.00	36.00	2.00	0.2000	0.0000	0.0000	1.0000 Oxido
DH006	36.00	37.45	1.45	0.2000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	37.45	37.80	0.35	0.8000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	37.80	40.95	3.15	0.2000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	40.95	41.95	1.00	0.2000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	41.95	43.10	1.15	0.2000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	43.10	46.00	2.90	0.3000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	46.00	48.00	2.00	0.2000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	48.00	50.00	2.00	0.4000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	50.00	51.20	1.20	0.4000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	51.20	52.45	1.25	0.6000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	52.45	54.35	1.90	1.1000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	54.35	55.40	1.05	0.8000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	55.40	58.00	2.60	0.7000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans
DH006	58.00	60.00	2.00	0.5000	0.0000	0.0000	2.0000 Trans

## Anexo 2. Cálculo y reporte de la ley promedio de la mineralización de cada taladro

\*\* COMPOSITE DRILLHOLE DATA FROM UPNT11.DAT TO UPNT09.DAT \*\*

HOLE#	UNIT#	EAST	NORTH	ELEV.	AU	CU	AS	LNTH	-TO-
DH001	1	765545.0	9251882.0	3716.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	3.3
DH001	2	765541.2	9251881.0	3706.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	14.9
DH001	3	765535.6	9251881.0	3696.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	26.4
DH001	4	765529.8	9251880.0	3686.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	38.0
DH001	5	765524.1	9251880.0	3676.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	49.5
DH001	6	765518.3	9251879.0	3666.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	61.1
DH001	7	765512.6	9251878.0	3656.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	72.6
DH001	8	765506.9	9251878.0	3646.0	3.6	255.94	204.06	7.8	84.2
DH001	9	765500.2	9251877.0	3636.0	2.0	195.71	135.70	9.2	96.4
DH001	10	765493.6	9251877.0	3626.0	0.2	350.46	29.51	10.0	108.4
DH001	11	765487.1	9251876.0	3616.0	0.3	261.13	70.80	10.0	120.4
DH001	12	765480.4	9251876.0	3606.0	0.4	265.62	154.28	10.0	132.5
DH001	13	765473.6	9251875.0	3596.0	0.1	324.25	66.69	10.0	144.5
DH001	14	765466.9	9251875.0	3586.0	0.4	384.12	54.85	10.0	156.6
DH001	15	765460.1	9251875.0	3576.0	0.3	256.85	47.63	10.0	168.7
DH001	16	765453.4	9251875.0	3566.0	0.4	141.17	62.50	10.0	180.7
DH001	17	765446.7	9251873.0	3556.0	0.2	123.81	146.14	10.0	192.8
DH001	18	765439.9	9251873.0	3546.0	0.1	335.34	76.89	10.0	204.8
DH001	19	765433.2	9251873.0	3536.0	0.1	137.40	91.59	10.0	216.9
DH001	20	765426.2	9251873.0	3526.0	0.1	72.11	58.29	10.0	229.2
DH001	21	765419.1	9251873.0	3516.0	0.1	89.96	27.00	10.0	241.4
DH001	22	765412.1	9251873.0	3506.0	0.1	376.08	84.01	10.0	253.6
DH001	23	765405.1	9251873.0	3496.0	0.1	379.74	92.88	10.0	265.8
DH001	24	765398.1	9251873.0	3486.0	0.1	85.09	38.23	10.0	278.0
DH001	25	765392.9	9251873.0	3481.1	0.1	49.92	29.92	4.9	284.0
DH002	26	765616.8	9252082.0	3606.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	6.7
DH002	27	765611.9	9252081.0	3596.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	18.5
DH002	28	765605.6	9252081.0	3586.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	30.3
DH002	29	765599.4	9252080.0	3576.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	42.1
DH002	30	765593.2	9252079.0	3566.0	-1.0	-1.00	-1.00	0.0	53.9
DH002	31	765587.0	9252079.0	3556.0	6.6	353.20	226.50	7.2	65.7
DH002	32	765580.8	9252078.0	3546.0	0.8	234.80	152.48	10.0	77.5
DH002	33	765574.6	9252077.0	3536.0	0.4	301.74	113.89	8.1	89.3

La ley promedio es 1.096 gr/Tn.

### Anexo 3. Cálculo y reporte del modelamiento digital del terreno

Data procesada para reportar el modelo de bloques.

```

FILE 15 ITEMS TO BE STORED      :      9      13
* AUIDW CUIDW ASIDW DIST NCOMP
COORDINATES OF MINE MODEL FILE  UPNT15.DAT
XMIN, XMAX, DX, NX= 764860.0 766190.0 10.0 133
YMIN, YMAX, DY, NY= 9251219.0 9252629.0 10.0 141
ZMIN, ZMAX, DZ, NZ= 3176.0 3806.0 10.0 63
  
```

End of BENCH	14	3666.0	22.2% Completed	
			# Blocks Considered	364
			# Blocks Calculated	364
			Success Rate	100.0%
End of BENCH	15	3656.0	23.8% Completed	
			# Blocks Considered	406
			# Blocks Calculated	406
			Success Rate	100.0%
End of BENCH	16	3646.0	25.4% Completed	
			# Blocks Considered	440
			# Blocks Calculated	440
			Success Rate	100.0%
End of BENCH	17	3636.0	27.0% Completed	
			# Blocks Considered	467
			# Blocks Calculated	467
			Success Rate	100.0%
End of BENCH	18	3626.0	28.6% Completed	
			# Blocks Considered	496
			# Blocks Calculated	496
			Success Rate	100.0%
End of BENCH	19	3616.0	30.2% Completed	
			# Blocks Considered	505
			# Blocks Calculated	505
			Success Rate	100.0%
End of BENCH	20	3606.0	31.7% Completed	
			# Blocks Considered	498
			# Blocks Calculated	498
			Success Rate	100.0%
End of BENCH	21	3596.0	33.3% Completed	
			# Blocks Considered	473
			# Blocks Calculated	473
			Success Rate	100.0%

#### Anexo 4. Cálculo de reservas de Au del depósito epitermal de alta sulfuración

OPTIMIZACION DE PIT 1200 \$ ONZA DE ORO			
Prices are multiplied by factor : 1.00000 for Pit design			
Reserves are for base case economics			
Summary by Material and Destination for Pit 1			
		MILL	DUMP
1 ROCK1	Value	303471350.	-17686498.
	Tons	10.964050	8843249.
	AUIDW	1.0948	0.0006
	Value/ton	27.6788	-2.0000
2 ROCK2	Value	196945104.	-227750.
	Tons	5.501300	113875.
	AUIDW	1.2895	0.0722
	Value/ton	35.7997	-2.0000
3 Total	Value	500416454.	-17914248.
	Tons	16.465350	8957124.
	AUIDW	1.1599	0.0015
	Value/ton	30.3921	-2.0000
Total value of Pit =	482502206.		
Total tons in Pit =	25422474.		
Total blocks in Pit =	10850.		



## FOTOS



*Foto 3.* Afloramiento de roca de composición dacítica, donde se observa que los cristales están sufriendo un proceso de Oxidación y Argilización, que son características de un yacimiento de alta sulfuración. Ubicación (E:765697 N:9252079).



*Foto 4.* Afloramiento de óxidos de hierro con hábito botroidal (Goethita de color marrón oscuro y Jarosita de color anaranjado). Ubicación (E:765563 N:9251858).





*Foto 5.* Toma de datos de puntos de control en la zona de estudio haciendo uso de los materiales de estudio como es el GPS y la libreta. Ubicación (E:765797 N:9252014).



*Foto 6.* Toma de muestras de mano de las rocas que afloran en la zona para luego realizar una clasificación macroscópica e identificar el tipo de litología. Ubicación (E:765553 N:9252030).

## PLANOS