

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA EN LA  
APLICACIÓN DEL SOFTWARE RECMIN COMO  
HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO EN  
UNA ZONA DEL DISTRITO MINERO EL CALLAO**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. José G. Hernández G.  
Para optar al título  
de Ingeniero de Minas

Caracas, mayo de 2018

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA EN LA  
APLICACIÓN DEL SOFTWARE RECMIN COMO  
HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO EN  
UNA ZONA DEL DISTRITO MINERO EL CALLAO**

Tutora Académica: Prof. Aurora Piña

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. José G. Hernández G.  
Para optar al título  
de Ingeniero de Minas

Caracas, mayo de 2018

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida y haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A mis padres Sixto Hernández y Mirtha Gutiérrez, por haberme apoyado en todo momento sin importar las circunstancias, por demostrarme constantemente que con sacrificios y confianza en Dios el equipo siempre gana.

A Sixto Ramón Hernández Rizzo (Ruco), por todas las llamadas después de cada parcial.

A mis abuelas Marina Torres y Rene Lara, por ser en mi vida otras madres más, por ese consejo que nunca faltó en los momentos difíciles y por ese dulce para consentirme.

A mis hermanos Sixto José Hernández y Edgar Hernández, por brindarme ese amor puro y recibirme con los brazos abiertos cada vez que regresaba a casa.

A mi equipo Ángel Bolívar, Rony Osuna y Juan Marín, por todo el aguante, por enseñarme que no se trata de lanzar un juego perfecto sino de ganarlo.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por protegerme durante toda mi carrera y darme fuerzas para superar todos obstáculos y dificultades que se me presentaron.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por brindarme la oportunidad de cumplir una de mis metas, por haberme dado la formación como Ingeniero de Minas y contribuir con mi educación personal abriéndome nuevos horizontes y caminos para siempre seguir venciendo la sombra.

A todos los profesores del departamento de minas por el aporte de sus conocimientos en mi formación profesional; Alba Castillo, Sasha Casal, Katherine Silva, Aurora Piña, Omar Márquez, Spic Limo, José Contreras, Isidro Barboza, Alonso Azocar, José Duque, María Artigas, Miguel Castillejo, Gladys Martínez, Luis Araya.

A mis Padres Sixto Hernández y Mirtha Gutiérrez sin el apoyo de ustedes este logro no hubiera sido posible, gracias por siempre confiar en mí.

Agradezco especialmente a mis tíos Gustavo Hernández y Alexandra Osorio quienes con su ayuda, cariño, confianza y comprensión han sido parte fundamental de este logro.

A mi amiga Fernanda Gracia, por todo el amor, cariño, comprensión, apoyo, regaño y ayuda que me has brindado durante este largo camino, gracias por cada uno de los consejos que me has regalado.

A todos mis familiares Sixto José, Edgar, Ariana, Alexander, Gustavo, Diego, Amanda, Rodrigo, Andres, Darielys, Milagros, Keilysmirth, Melani, Sixmar, Hugo, Adolfo, Nurkys, Yenny, Rafael, Jorge, Keyla, Carmen, Jonathan, Carlos, Rene, Marina, Sixto Ramon, muchas gracias por estar siempre pendientes de mis avances durante mi carrera.

A mi familia universitaria Arturo, Juan, Rony, Raicelys, Libia, Reinaldo, Magda, Geraldine, Roger, Henry, Jermahia, gracias a ustedes el camino fue mucho más interesante.

A mi amigo Willdave Brandt, por el apoyo durante la realización de este trabajo, por esa palabra de ánimo cada vez que la necesitaba y por hacer entretenida las clases.

**Hernández G., José G.**

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA EN LA  
APLICACIÓN DEL SOFTWARE RECMIN COMO HERRAMIENTA  
DE PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO EN UNA ZONA DEL  
DISTRITO MINERO EL CALLAO**

**Tutora académica: Profesora Aurora Piña.**

**Tesis. Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería.  
Escuela de geología, Minas y Geofísica. Departamento de Minas. Año 2018**

**Palabras clave:** Planificación a Largo Plazo, Software RecMin, Factibilidad técnica,  
Minería a Cielo Abierto.

**RESUMEN**

La problemática investigada, radica en la evaluación de la factibilidad técnica en la implementación del software RecMin como herramienta de planificación a largo plazo en una zona del Distrito Minero El Callao. La metodología implementada se circunscribió en el tipo de estudio evaluativo, con un diseño no experimental transaccional, lo cual permitió la recolección de los datos en un solo momento. El sujeto de estudio es constituido por el software RecMin. Se emplearon técnicas y procedimientos propios de la metodología y el tipo de estudio asumido. Los aportes e importancia del proyecto vienen dados por el hecho que se establece la factibilidad y beneficios de la utilización del software RecMin como una herramienta de planificación a largo plazo para la explotación minera a cielo abierto, resaltando su eficiencia y beneficios en costo de adquisición y mantenimiento. Como complemento de la realización del trabajo se diseñaron tablas comparativas, listas de cotejo, gráficos circulares y flujogramas que permitieron comprobar la factibilidad técnica del software. Llegándose con este trabajo a la conclusión de que el software RecMin, puede administrar los datos de sondeos y muestras, construir modelos geológicos, desarrollar el sistema de vías, realizar secuencias de explotación, así como también el diseño de una escombrera, demostrándose así su factibilidad y utilidad como herramienta de planificación a largo plazo. Se recomienda a los operadores mineros: implementar RecMin como herramienta de planificación a largo plazo, puesto que se ha demostrado que cumple con las fases de planificación sin incurrir en los altos costos del software comercial o en la piratería.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>X</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>12</b>
<b>GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>12</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	13
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	13
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>16</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
2.2 BASES TEÓRICAS.....	18
2.2.1 <i>Glosario de términos técnicos</i> .....	18
2.2.2 <i>Distrito minero el Callao</i> .....	22
2.2.3 <i>Ubicación geográfica de la zona de estudio</i> .....	23
2.2.4 <i>Geología Regional</i> .....	23
2.2.5 <i>Geología Local</i> .....	27
2.2.6 <i>Morfología de los cuerpos minerales</i> .....	30
2.2.7 <i>Clasificación de reservas</i> .....	33
2.2.8 <i>Planificación minera</i> .....	37
2.2.9 <i>Métodos de minería a cielo abierto</i> .....	43
2.2.10 <i>Secuencia de explotación</i> .....	50
2.2.11 <i>Criterios para el diseño de una explotación a cielo abierto</i> .....	50
2.2.12 <i>Software</i> .....	52
2.2.13 <i>Programas con aplicaciones mineras</i> .....	55
2.2.14 <i>Hojas de cálculo</i> .....	55

2.2.15 <i>Programas de dominio público</i> .....	56
2.2.16 <i>Programas parciales de minería libres o de bajo costo</i> .....	56
2.2.17 <i>Programas específicamente mineros</i> .....	56
2.2.18 <i>Software minero RecMin</i> .....	57
2.2.19 <i>Jerarquía de datos y ficheros del Software RecMin</i> .....	64
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>67</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>67</b>
3.1 TIPO DE LA INVESTIGACIÓN .....	68
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	68
3.3 SUJETO DE ESTUDIO.....	68
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	68
3.4.1 <i>Instrumentos</i> .....	68
3.4.2 <i>Técnicas</i> .....	69
3.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS .....	69
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>83</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	<b>83</b>
4.1 MODELACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO EN 3D PARTIENDO DE LOS SONDEOS DE PERFORACIÓN.....	84
4.2 CÁLCULO DE RESERVAS MINERALES SEGÚN EL MÉTODO INVERSO DE LA DISTANCIA.....	88
4.3 ELABORACIÓN DE LA SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN EN UN PERIODO DE CINCO AÑOS MEDIANTE LA ACTUALIZACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA. ....	92
4.4 SISTEMA DE LAS PRINCIPALES VÍAS DE TRANSPORTE SEGÚN CRITERIOS DE DISEÑO GEOMÉTRICOS. ....	95
4.5 APLICACIÓN DE CRITERIOS GEOMÉTRICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESCOMBRERAS CON SOFTWARE RECMIN.....	97
4.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SOFTWARE RECMIN CON RESPECTO A LAS HERRAMIENTAS DE DIBUJO NO ESPECIALIZADAS. ....	99
4.7 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL SOFTWARE RECMIN APLICANDO UN ALGORITMO LÓGICO DE PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO.....	102
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>108</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>111</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>113</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Plano de Ubicación .....	23
Figura N° 2: Provincias geológicas del escudo de Guyana .....	24
Figura N° 3: Zona de estudio .....	27
Figura N° 4: Representación esquemática ideal de los cuerpos minerales isométricos: 1-arcillas; 2-granitoides; 3-calizas; 4-fallas; 5-mineralización compacta; 6- mineralización diseminada; 7-vetas; A-stock; B-bolsones; C-stockworks.....	31
Figura N° 5: Método de las secciones verticales .....	37
Figura N° 6: Parámetros geométricos que configuran el diseño de una explotación a cielo abierto.....	51
Figura N° 7: Módulo de yacimientos de RecMin .....	60
Figura N° 8: Módulo de edición de sondeos RecMin.....	61
Figura N° 9: Módulo de dibujo de RecMin .....	62
Figura N° 10: Módulo 3D de RecMin .....	63
Figura N° 11: Módulo de copias de seguridad.....	64
Figura N° 12: Proceso metodológico .....	70
Figura N° 13: Etapa N°1. Acondicionamiento de los datos para el desarrollo del proyecto.....	71
Figura N° 14: Botón orden ascendente .....	71
Figura N° 15: Archivos en formato *TXT .....	72
Figura N° 16: Detalles de los sondeos .....	73
Figura N° 17: Atributos de los sondeos .....	74
Figura N° 18: Etapa N°2. Proceso para el cálculo del material aprovechable y diseño geométrico de la explotación a cielo abierto.....	74
Figura N° 19: Pestaña para realizar secciones paralelas .....	75
Figura N° 20: Perfil geológico .....	76
Figura N° 21: Perfiles geológicos .....	77
Figura N° 22: Crear un base de datos BLK .....	77

Figura N° 23: Tabla para agregar los atributos a los bloques .....	78
Figura N° 24: Total de bloques creados .....	79
Figura N° 25: Modelo de bloques .....	79
Figura N° 26: Tabla de cálculos con bloques .....	80
Figura N 27: En la parte superior se encuentra el proceso para realizar una secuencia de explotación. En la parte inferior se encuentra la topografía modificada.....	81
Figura N° 28: Etapa N°3. Interpretación de los datos arrojados.....	82
Figura N° 29:Pestañas para importar sondeos .....	84
Figura N° 30: Modelo geológico del yacimiento en 3D mediante el procedimiento denominado triangulación.....	85
Figura N° 31: Tenores de cada sondeo .....	86
Figura N° 32: Sondeos de perforación que muestran los diferentes tenores .....	87
Figura N° 33: Modelo de bloques generado de 10x10x10 metros que permite calcular los recursos aprovechables del yacimiento .....	89
Figura N° 34: Gráfico de los resultados pertenecientes a la lista de exploración y evaluación de recursos .....	91
Figura N° 35: Vista de perfil de la secuencia de explotación .....	93
Figura N° 36: Topografía modificada para un periodo de 5 años.....	94
Figura N° 37: Ventana para crear las vías con RecMin.....	95
Figura N° 38: Sistema de las vías para el acceso a la mina .....	96
Figura N° 39: Ventana para dibujar una escombrera.....	98
Figura N° 40: Diseño final de una escombrera .....	99
Figura N° 41: Flujograma para la planificación de largo plazo con el software RecMin.....	103
Figura N° 42: Gráficos de los resultados pertenecientes al diseño y desarrollo minero .....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Estratigrafía del Distrito de El Callao .....	28
Tabla N° 2: Cantidad de material presente en el yacimiento .....	89
Tabla N° 3: Lista de cotejo referente a la exploración y evaluación de recursos .....	90
Tabla N° 4: Cantidad de material a extraer en un periodo de cinco años .....	93
Tabla N° 5: Tabla comparativa de RecMin con respecto a herramientas para dibujo no especializadas en minería.....	100
Tabla N° 6: Lista de cotejo referente al diseño y desarrollo minero.....	105

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de sistemas informáticos para la elaboración de planificación a largo plazo representa una alternativa de trabajo más eficiente. A partir de estas estructuras digitales el planificador de minas ve facilitada su labor. RecMin es un software geológico minero libre, diseñado para gestionar proyectos de investigación y explotación de recursos minerales. Es de resaltar, que la adquisición de la licencia no tiene costo alguno, se encuentra disponible para todo tipo de empresas mineras, consultores, universidades y en forma general para cualquier usuario por tiempo ilimitado. Es de hacer notar que, en su mayor proporción los potenciales usuarios mineros desconocen de la utilidad de dicho software; quienes en la mayoría de los casos utilizan herramientas computacionales no especializadas en minería para realizar los cálculos necesarios pertinentes a la planificación de unidades productivas mineras.

En tal sentido, con el objeto de obtener mejores resultados, cálculos más exactos y precisos al momento de realizar una planificación minera a largo plazo, se ha planteado la siguiente investigación acerca de evaluar la factibilidad técnica en la aplicación del software RecMin como herramienta de planificación a largo plazo en una zona de estudio a cielo abierto ubicada en El Callao, Venezuela.

Con respecto a la conformación del trabajo investigativo, el mismo se estructura de la siguiente manera: el Capítulo I, corresponde a las Generalidades de la Investigación, donde se describe el planteamiento de problema, los objetivos de la investigación y justificación. En el Capítulo II, se encuentran plasmados los Antecedentes y las Bases Teóricas que sustentan la investigación. En el Capítulo III, se muestra el Marco Metodológico conformado por el Tipo y Diseño de la Investigación, Sujeto de estudio, Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos, así como, el Análisis e interpretación de datos. El Capítulo IV, contiene los Resultados y Análisis.

**CAPÍTULO I**  
**GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.**

## **1.1 Planteamiento del problema**

En minería a partir de la planificación a largo plazo, se toman decisiones muy importantes que pueden involucrar altas cantidades de dinero, decisiones no siempre reversibles y que son tomadas bajo cierto porcentaje de incertidumbre. Una mala planificación llevaría al fracaso a cualquier empresa, las personas tienden a enfocarse sobre los defectos o las dificultades, aumentando el malestar interno.

En la actualidad el uso de sistemas informáticos para la elaboración de una planificación a largo plazo representa una alternativa de trabajo más eficiente. A partir de estas estructuras digitales el planificador de minas ve facilitada su labor. El software RecMin ha presentado problemas para demostrar su factibilidad en la aplicación-resolución de problemas minero, debido al desconocimiento de su potencialidad por parte los posibles usuarios la cual ha sido su principal inconveniente. Los cálculos mineros resueltos de forma manual tienden a ser menos exactos y requieren de mucho más tiempo en su elaboración.

Si se lograra demostrar la factibilidad técnica en la aplicación del software RecMin para la planificación a largo plazo, facilitaría la obtención de cálculos muchos más exactos y precisos; se resolverían las dudas y los dobles criterios, así como, canalizaría los limitados recursos hacia un fin común, se brindaría a los usuarios mineros otras herramientas alternativas para la planificación, sustituyendo aquellas no especializadas de amplia utilización.

## **1.2. Objetivos de la Investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar la factibilidad técnica en la aplicación del software RecMin como herramienta de planificación a largo plazo en una zona del Distrito Minero El Callao.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Modelar geológicamente el yacimiento en 3D a partir de los datos de perforación para obtener una mejor visión de la zona mineralizada.

- Efectuar la evaluación de las reservas minerales, empleando el método inverso de la distancia con el fin de producir un registro que indique la probable cantidad de mineral presente en el yacimiento.
- Establecer una secuencia de explotación lógica que muestre los avances mediante la topografía modificada anual para un periodo de cinco años.
- Diseñar el sistema de las principales vías de transporte utilizando como referencia los criterios de diseño geométricos.
- Determinar los criterios geométricos para la construcción de una escombrera con RecMin.
- Establecer las ventajas y desventajas del software RecMin con respecto a otras herramientas de dibujo no especializadas.
- Comprobar la factibilidad técnica en la implementación del software creando un algoritmo que permita alcanzar una planificación a largo plazo.

### **1.3 Justificación de la Investigación**

La evaluación de la factibilidad técnica del software RecMin como herramienta de planificación a largo plazo para la explotación minera a cielo abierto, pretende en primera instancia, mostrar los comandos necesarios que sirven de ayuda al momento de realizar una planificación, al mismo tiempo, ofrecer un programa de dominio público especializado a los usuarios mineros que utilizan el sistema de explotación a cielo abierto, puesto que la gran mayoría de dichos programas son privativos con un costo de licencia muy elevado. Por otra parte, también las empresas serán favorecidas si se logra comprobar su eficiencia en el desarrollo de las actividades, optimizando el tiempo y aumentando la productividad en las labores de estudio, por lo tanto, redundaría en un mayor beneficio económico. Además, la parte académica de igual manera puede beneficiarse a partir de la generación de conocimientos y nuevas categorías de investigación que permite el avance en materia y empleo tecnológico.

Otro aspecto importante que se consideraron en este proyecto, son la implementación de medidas ambientales que faciliten la restauración del terreno y la reducción de ciertos impactos ambientales, contribuyendo a una extracción minera más racional, eficiente y óptima.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1 Antecedentes de la investigación

- **Yhonny Ruiz (S.F.)** “Aplicación de software libre para la estimación de recursos y para la evaluación técnica económica de las reservas minerales”. **Objetivo:** Demostrar la viabilidad del análisis de datos de sondajes (muestras), para obtener un modelo geológico y luego un modelo numérico (Bloques) que nos permita cuantificar y categorizar los resultados en recursos y reservas minerales, de cualesquier deposito mineral, con las herramientas que ofrecen los Software propuestos (RecMin y SGeMS).
- **Bladimir Castillo (2002)** “Análisis y evaluación técnica de la implementación del software Drill & Blast de MINCOM a las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo municipio Páez, estado Zulia”. **Objetivo:** Analizar y evaluar los beneficios técnicos derivados de la implementación del software Drill & Blast de MINCOM a las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo municipio Páez, estado Zulia.
- **Berardo Gómez (2013)** “Selección del diseño óptimo en función de parámetros operativos empleando herramientas informáticas para una cantera de metacaliza de uso industrial”. **Objetivo:** Determinar el Diseño Óptimo de Producción a corto plazo y fosa o pit de una Cantera de metacaliza empleando herramientas informáticas y considerando parámetros técnicos y operativos para el mejoramiento del rendimiento, producción y seguridad de las operaciones.
- **Enyerberth Bolívar (2014)** “Diseño de la secuencia de explotación de los yacimientos que conforman el grupo redondo del distrito ferrífero piar para un periodo de largo plazo, C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., Estado Bolívar”. **Objetivo:** Diseñar la secuencia de explotación para los yacimientos que conforman el grupo Redondo del Distrito Ferrífero Piar para un periodo de largo plazo, utilizando el Software MineSight.

- **Yoel Gómez (2017)** “Planificación a largo plazo de la unión de las canteras el Samán y agua viva ii, ubicado en San Sebastián de los Reyes, estado Aragua”. **Objetivo:** Proponer la Planificación a Largo Plazo para la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II, ubicadas en San Sebastián de Los Reyes, estado Aragua.
- **Yusbelys Méndez (2017)** “Planificación a largo plazo de la explotación de frente 04, cantera Carayaca, ubicada en Tacagua, Distrito Capital”. **Objetivo:** Elaborar la Planificación a Largo Plazo de la Explotación de Frente 04, Cantera Carayaca, ubicada en Tacagua, Distrito Capital.
- **Jose Statzewitch (2017)** “Propuesta de planificación a largo plazo para la mina choco 10, en el bloque Guasipati – El Callao municipio El Callao estado Bolívar periodo 2017-2021”. **Objetivo:** Generar una propuesta de planificación a largo plazo para la mina Choco 10 Bloque Guasipati-El Callao, para el periodo 2017-2021.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Glosario de términos técnicos

- **Acondicionamiento de los datos:** Es el proceso mediante el cual los archivos de las tablas de sondeos son acondicionados en formato estándar (\*TXT) sin alterar o modificar algún dato de manera que puedan ser importados al software RecMin.
- **Altura de banco:** Es la distancia vertical entre dos niveles; se mide desde el pie del banco hasta la parte más alta del mismo, denomina cresta. De acuerdo con Hassan (2016) la altura de banco se determina por: las características físicas del yacimiento, la altura del equipo de excavación, la seguridad de las operaciones.
- **Archivos de sondeos:** Son tablas que contienen de forma detalladas todos los datos y cálculos obtenidos en la campaña de exploración, para realizar una

planificación minera RecMin necesita de cuatro archivos: Collar: Es una tabla con las coordenadas norte, este y la cota del punto ubicado en la superficie. Desviaciones: Esta tabla contiene la posición espacial de cada sondeo (azimut, inclinación y profundidad). Litología: Es una tabla que posee los tipos de litologías presente en el yacimiento. Muestras: Esta tabla contiene los datos de concentración de cada sondeo.

- Atributos de sondeos: Son todas las propiedades que posee cada uno de los sondeos como, por ejemplo: litología, concentración del mineral, posición espacial, entre otras. Sirven de guía para que el usuario del software RecMin tenga una comprensión detallada de lo que se encuentra debajo de la superficie.
- Bases de datos: Es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso.
- Bases de datos BLK: Es una base de datos que el software RecMin utiliza para almacenar cada información generada perteneciente al modelo de bloques.
- Bermas: Son plataformas horizontales que se dejan de forma permanente en la pared final del pit, con el fin de mejorar la estabilidad del mismo y las condiciones de seguridad frente a deslizamientos de rocas (López, 2000 citado por Moya, 2015).
- Cono flotante: Es un método que consiste en el estudio económico de los bloques mineralizados y estériles que caen dentro de un cono invertido, el cual se mueve sistemáticamente a través de una matriz de bloques, con el vértice del cono ocupando, sucesivamente, los centros de los bloques.
- Datos incorrectos: Son aquellos datos que poseen un error con el uso de separador de decimales, así como también pueden presentar valores anómalos.
- Despliegue de los sondeos: Es una de las herramientas que posee el software RecMin para que el usuario pueda visualizar en cualquiera de los planos cartesianos e incluso en 3D los sondeos.

- Dimensiones de los bloques: Las dimensiones de los bloques dependen de los criterios del diseño de minas, el primer valor corresponde a la coordenada “X”, el segundo a la coordenada “Y” y por último la coordenada “Z” (X, Y, Z).
- Enlaces a bases de datos externas: RecMin cuenta con la herramienta de exportar los archivos en formato estándar para poder utilizar los datos en otros softwares de dibujos y análisis, así también, permite importar datos provenientes de otros softwares.
- Factibilidad técnica: Indica si se dispone de los conocimientos y habilidades en el manejo de métodos, procedimientos y funciones requeridas para el desarrollo e implantación del proyecto. Además, indica si se dispone del equipo y herramientas para llevarlo a cabo.
- Gradación de colores: La gradación en color ocurre cuando se muestra en pasos como los tonos de un color cambian hasta llegar a ser otro color por completo.
- Importación de datos: Esta es la herramienta que posee el software para cargar los datos a la interfaz y poder trabajar con ellos. Esta pestaña se encuentra en el módulo de yacimientos del software Recmin.
- Lista de cotejo: Es un instrumento que permite identificar comportamiento con respecto a actitudes, habilidades y destrezas. Contiene un listado de indicadores de logro en el que se constata, ciertas actividades.
- Método geoestadístico: En términos mineros, se define la geoestadística como la aplicación de la teoría de las variables regionalizadas a la estimación de los recursos mineros. Una variable regionalizada es una función que representa la variación en el espacio de cierta magnitud asociada a un fenómeno natural (Alfaro, 2007).
- Métodos clásicos: Los métodos clásicos son los que se han utilizado tradicionalmente en la evaluación de recursos. Alfaro (2007) señala que, para

el desarrollo de estos métodos, se realiza una estimación general de la ley media, densidad media y tonelaje de una zona.

- Modelo geológico: consiste en la representación bidimensional o tridimensional de un volumen de rocas. Este puede representar la litología, mineralización, alteración u otro tipo de característica geológica del yacimiento.
- Normalización del yacimiento: Este proceso se realiza para ajustar las dimensiones del yacimiento con la intención de aplicar el método inverso de la distancia para calcular los recursos minerales del yacimiento.
- Pestaña: Es un elemento de la interfaz de un programa que permite cambiar rápidamente lo que se está viendo sin cambiar de ventana que se usa en un programa o menú.
- Pit: Es una fosa en minería a cielo abierto, en el cual se realiza un banqueo descendente, y se forma una pirámide circular hacia profundidad. Se utiliza en yacimientos masivos o de capas inclinadas. La profundidad de estas explotaciones suele ser grande, y en algunos casos se llega a superar los 300 m.
- Roca caja: Es la roca que rodea al depósito.
- Saprolita: es una roca erosionada químicamente, la cual se forma en las zonas inferiores de los perfiles del suelo y representan profunda erosión de la superficie de la roca caja.
- Sondeos de exploración: La exploración por sondeos tiene por objeto fundamental determinar la presencia o ausencia de zonas mineralizadas y obtener una idea preliminar de qué ley y tamaño tienen dichas zonas.
- Triangulación: Una triangulación en dos dimensiones sobre un conjunto de puntos, se define como una subdivisión del plano en caras triangulares cuyos vértices corresponden a los puntos del conjunto inicial. En tres dimensiones,

una triangulación es un conjunto de triángulos que aproximan una superficie en el espacio a partir de un conjunto de puntos sobre esa superficie. Ambos tipos de triangulación se construyen formando caras planas triangulares, uniendo pares de puntos mediante aristas que nunca se cruzan entre sí.

- **Unidades litológicas:** Una unidad litológica es un cuerpo rocoso que presenta características de composición química y mineralógica más o menos homogéneas, tiene límites definidos con otras unidades y una edad de formación determinada.
- **Unir perfiles:** Es la actividad que debe realizar el usuario para unir los perfiles geológicos y poder obtener como resultado una triangulación del yacimiento, de esta forma se puede generar superficie y volúmenes.

### **2.2.2 Distrito minero el Callao**

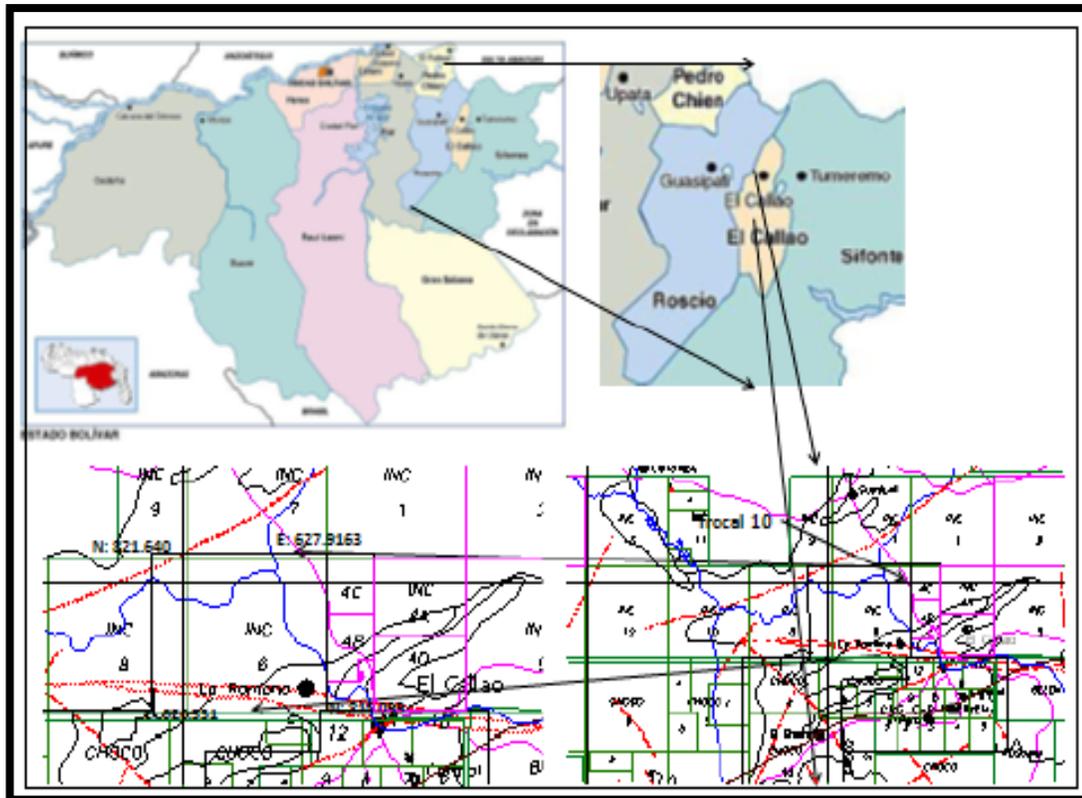
La región de El Callao situada en la sección noroccidental del distrito Roscio del Estado Bolívar, comprende los municipios El Callao, Guasipati y El Míamo, dentro de la hoya hidrográfica del río Yuruari, cubre un área de unos 9.000 kilómetros cuadrados aproximadamente. El Callao es el distrito aurífero más rico y famoso de Guayana con más de 300 vetas de cuarzo aurífero que han producido en su historia una cantidad mayor a 250 toneladas de oro.

Las mayores concentraciones de oro se producen en vetas de tipo hipotermiales de cuarzo aurífero con bajo contenido de sulfuros (<5% en promedio) estas vetas en su mayoría están asociadas a zonas de cizalla y fallas. Tales zonas de cizalla en o próximas a la mineralización se caracterizan por la presencia de cherts, carbonatos magnesianos (más cercanos al depósito) y carbonatos ricos en FeO (en el depósito).

### 2.2.3 Ubicación geográfica de la zona de estudio

El acceso principal a la zona se realiza por vía terrestre a través de una carretera asfaltada de aproximadamente 4 Km, que comunica El Callao con el sector La Ramona, en el Municipio El Callao, Estado Bolívar.

A continuación, se presenta en la figura N° 1 el plano de ubicación.

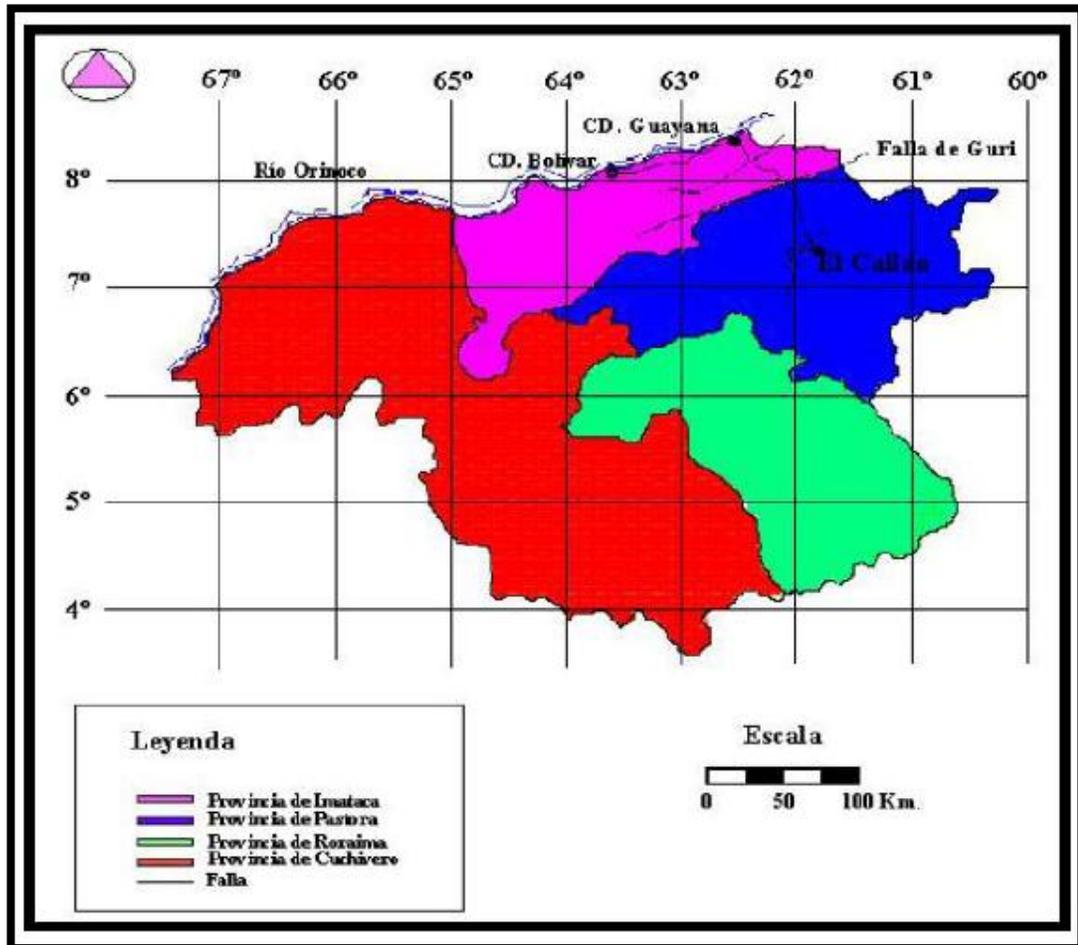


*Figura N° 1: Plano de Ubicación*  
*Fuente: Estudio de competitividad minera en el estado Bolívar*

### 2.2.4 Geología Regional

El escudo de Guayana se encuentra al sur del río Orinoco y ocupa aproximadamente 50 % de la superficie de Venezuela con rocas antiguas (granulitas y charnockitas del complejo de imataca) y tan jóvenes como las kimberlitas y eclogitas de guaniamo, que se registran en buena parte de la evolución geotectónica similar a la de otros escudos precámbricos en el mundo.

El escudo de Guayana se divide en cuatro provincias geológicas, Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima (figura N° 2), estas forman parte del Cratón Amazónico el cual se extiende por las Guayanas, Colombia, el Norte de Brasil y Bolivia.



*Figura N° 2: Provincias geológicas del escudo de Guyana*  
*Fuente: C.V.G. Minerven división de planificación de minas 1998.*

El área estudiada está ubicada dentro del escudo de Guayana, el cual está relacionado con el escudo brasileño o Amazonia que hasta ahora se ha definido como la estructura geológica más antigua de Sur América. El Escudo de Guayana está formado por diversas litologías arqueozoicas y proterozoicas modificadas en mayor o menor escala, durante una serie de episodios geotectónicos clasificados por Martín B (1974) y Mendoza (1977).

### ***Provincia Geológica de Imataca.***

La Provincia Geológica de Imataca se extiende en dirección SW-NE desde las proximidades del Río Caura hasta el Delta del Orinoco por unos 550 Km., y en dirección NW-SE aflora desde el curso del Río Orinoco hasta la falla de Gurí por unos 80 Km. Este es un bloque de 44.000 km<sup>2</sup>, que tiene sobre él remanentes de CRV (como La Esperanza y Real Corona) y gneises tipo Complejo de Supamo, de 2.24 GA (Sidder y otros, 1991).

Litológicamente se constituye de gneises graníticos y granulitas félsicas (60 % a 70 %), anfibolitas y granulitas máficas y hasta ultramáficas, y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro (BIF), dolomitas, charnoskitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales de menos metamorfismo. Las rocas más jóvenes se presentan como Cinturones de Rocas Verdes (CRV). Estas rocas de alto grado metamórfico se interpretan (Mendoza 1974) como evolucionados primitivos CRV y complejos graníticos potásicos y sódicos, varias veces tectonizados y metamorfizados hasta alcanzar la fase anfibolita y granulitas.

### ***Provincia Geológica de Cuchivero.***

Esta provincia de edad Paleoproterozoico tardío a Mesoproterozoico, se compone de rocas intrusivas a volcánicas calcoalcalinas félsicas, y rocas sedimentarias que intrusieron y se depositaron sobre un basamento de CRV granitos sódicos asociados, en las partes sur, centro y occidente, y probablemente del Complejo de Imataca en la parte Norte-Noreste del escudo de Guayana en Venezuela. Los afloramientos pertenecientes a esta provincia se extienden desde la región de Caicara en el Noroeste del Escudo, pasando por El Chiguao y La Vergareña al oeste del Río Paragua, y continúa en la parte sur oriental hacia Santa Elena de Uairén, en el territorio venezolano, donde se le asigna el nombre de Pacaraima.

Mendoza (1974), en el área del Río Suapure, definió la sección más completa de la provincia Cuchivero con el nombre de Supergrupo Cedeño (SC) formado por el

Grupo Cuchivero (Formación Caicara, Granito de Santa Rosalía, Granito de San Pedro y Granito de Guaniamito), Metabasitas y el Grupo Suapure (Granito de Pijigüao y Granito Rapakivi de Parguaza). Discordantemente al Supergrupo Cedeño yacen rocas sedimentarias del Grupo Roraima.

### ***Provincia Geológica de Roraima***

Esta provincia compone de rocas del Grupo Roraima con diabasas y rocas gabronoríticas cuarcíferas a dioríticas cuarcíferas de la Asociación Avanadero. Se extiende desde los límites del Parque Nacional Canaima, hacia el Km. 95 cerca de la Piedra de la Virgen, hasta Santa Elena de Uairén en dirección norte-sur y desde el Río Venamo hasta las proximidades del Río Paragua. Carece de marcado tectonismo (sinclinales suaves muy abiertos y de muy bajo buzamiento) con algún fajamiento, incluso fallas de arrastre como el Tepuy de Perú. No muestran metamorfismo regional. Solo se registran metamorfismo de contacto de rocas de Roraima con granitos intrusivos, y de rocas máficas de la asociación Avanadero.

### ***Provincia Geológica de Pastora***

Se extiende desde la falla de Gurí al Norte hasta las proximidades del Parque Nacional Canaima al Sur (Km. 95) por el Este hasta los límites con la zona en Reclamación del Esequibo y al Oeste hasta el Río Caura. También conocida como la Provincia del Oro, está formada por Cinturones de Rocas Verdes (CRV) delgados, más antiguos y tectonizados, tipo Carichapo y CRV, más anchos, jóvenes y menos tectonizados tipo Botanamo, y por complejos graníticos sódico, como el Complejo de Supamo. Siendo toda la secuencia intrusionada por granitos potásicos, dioritas y rocas gabroides con escasos y no bien definidos complejos máficos-ultra máficos, además de intrusiones y sills de diabasas y rocas asociadas norítico-gabroides con algo de cuarzo.

Los cinturones de rocas verdes más antiguos tienen tendencias estructurales próximas a N-S (N100E a N200O), mientras que los más jóvenes casi siempre muestran pendedencias en ángulos rectos con las anteriores, próximas a E-O (N700-800E). Pudiéndose observar el choque de estas dos tendencias y de ambos tipos de CRV en

las imágenes de radar que cubren la zona del Río Marwani, quedando detallado de los estudios de C.V.G. Tecmin CA-USGS (Salazar y otros, 1989). La zona ubicada en la región de Guasipati-El Callao, donde aflora una buena sección del Supergrupo Pastora, antiguo CRV, compuesto por el Grupo Carichapo y la Formación Yuruarí.

### 2.2.5 Geología Local

El área de estudio no posee una geología local detallada. En consecuencia, por su cercanía a la concesión minera, El Choco 10, como se muestran en la siguiente figura N°3, se procederá a correlacionar con los estudios geológicos de la concesión antes nombrada.



*Figura N° 3: Zona de estudio*  
*Fuente: Elaboración propia*

La zona de interés se encuentra ubicada geológicamente entre una secuencia estratigráfica supra-crustal, de edad Proterozoica inferior a media, con tendencia este-noreste constituida predominantemente por las Formaciones El Callao y Cicapra; estas últimas interesadas por intrusiones de sills gabricos. La relación estratigráfica entre estas Formaciones no está clara; pueden ser contemporáneas o tal vez Cicapra está un poco más tardía de El Callao. La estratigrafía generalmente aceptada para el Distrito

de El Callao, desde la formación más vieja hasta la más joven, o desde la más primitiva hasta la más evolucionada es como lo muestra la Tabla N° 1.

**Tabla N° 1: Estratigrafía del Distrito de El Callao**

<b>Estratigrafía del Distrito de El Callao</b>	
<b>Formación El Callao</b>	Flujos y almohadillas basálticas - andesíticos, tobas, chart, jaspe y anfibolitas de grano fino.
<b>Formación Cicpra</b>	Tobas y brechas metamórficas andesíticas (posiblemente calco alcalinas) y epiclástitas asociadas, local anfibolitas y chert.
<b>Formación Yuruari</b>	Filitas, esquitos cloriticos y sericiticos, meta-sedimentos feldespaticos, flujos andesíticos- dacíticos, tobas, brechas y chert
<b>Formación Caballaje</b>	Greywacke y conglomerados volvánicos, tobas andesíticas dactíticas y brechas.

*Fuente: Unidad Geológica C.V.G Minerven (2002).*

Sobre dichas unidades hay intrusiones graníticas, cuarzo, monzoníticas y trondjemíticas del Complejo Supamo, además de sills y diques diabasicos y diques gabricos. Los tipos de roca representativos comprende generalmente vulcanitas (flujos masivos y basaltos almohadillados) máficas tholeíticas metamorfoseadas en facies a Prenita – Pumpellita (metamorfismo de grado muy bajo) hasta raramente Esquistos Verde, vulcanitas y vulcanoclástitas (tobas y aglomerados andesíticos y dacíticos) calco-alcalinas de composición intermedia hasta félsica, y sedimentos químicos (chert) y epiclástico (greywacke, limonitas y filitas).

Estas rocas cajas han sido interesadas por intrusiones de diques máficos (diabasa y gabro) y secundariamente félsicos (pórfidos cuarzo-feldespáticos). Unas rocas intrusivas máficas pueden ser contemporánea de las formaciones supra-crustales; otras parecen ser, desde observaciones de campo, de edad claramente más joven.

### ***Supergrupo Pastora***

El Supergrupo Pastora constituye la secuencia supracortical en el CRV de Guasipati-El Callao, está representada por una unidad de rocas volcánicas

esencialmente máficas en su parte inferior y por una unidad de rocas volcánicas félsicas y sedimentarias asociadas, en su parte superior. La unidad máfica se definió como Grupo Carichapo (formaciones Cicapra, Florinda y El Callao) y la félsica como Formación Yuruari.

***a. Formación Florinda***

Corresponde a las rocas volcánicas ultramáficas de afinidad komatítica compuesta de basaltos almohadillados tholeítico-magnesianos a normales, intercaladas con rocas talco-carbonáticas, las cuales se identifican como peridotitos komatíticas. Algunas lavas magnesianas muestran textura espinifex. La Formación Florinda definida por Menéndez (1994) en Mendoza (2005) “como equivalente a la parte inferior de la Formación El Callao y cuando esta última está ausente se localiza infrayacente a la Formación Cicapra.

***b. Formación Cicapra.***

Suprayace localmente a la Formación Florinda y presenta una litología de esquistos anfíbolíticos derivados de brechas y alternancia de niveles submarinos de basaltos komatíticos, tobas andesíticas, grauvacas, areniscas lodolíticas y areniscas conglomeráticas. Localmente se intercalan basaltos komatíticos y jasperoides recristalizados tipo chert, con óxidos de hierro y de manganeso, se encuentran tobas líticas, tobas brechadas y, aglomerados volcánicos. Geomorfológicamente ocupan áreas bajas y sus suelos son lateritas arcillosas color vino tinto.

***c. Formación El Callao***

Se desarrolla en la región de El Callao, presenta más de 3000 metros de espesor y está litológicamente formada por casi exclusivamente lavas basálticas almohadilladas, bajas en potasio y altas en hierro, flujo de lavas andesíticas con un

predominio transicional entre ambas basandesitas, con estructuras almohadilladas altamente espilitizada, con cantidades menores de brechas de flujo al tope levemente metamorfizadas, geomorfológicamente ocupa las colinas y montes más altos (300 a 800 m.s.n.m) que meteorizan a suelos lateríticos muy arcillosos de color rojo intenso.

#### ***d. Formación Yuruari***

La Formación Yuruari suprayace concordantemente a las formaciones El Callao y Cicapra. Corresponde a un volcanismo dacítico a riódacítico con lavas, brechas y tobas félsicas, derivados de epiclásticas y turbiditas, además de areniscas y limonitas feldespáticas de estratificación delgada. En la parte inferior contiene filitas manganesíferas y grafiticas, lentejones alargados de cherts y niveles interlaminados de limolitas feldespáticas con filitas cloríticas, en esta formación se pueden observar diques y existencias de pórfidos de cuarzo y feldespatos en forma de intrusiones de emplazamiento posterior recortando al Grupo Carichapo, geomorfológicamente ocupa colinas bajas y sabanas con vegetación tipo chaparros, con suelos lateríticos de colores amarillentos a algo rojizos.

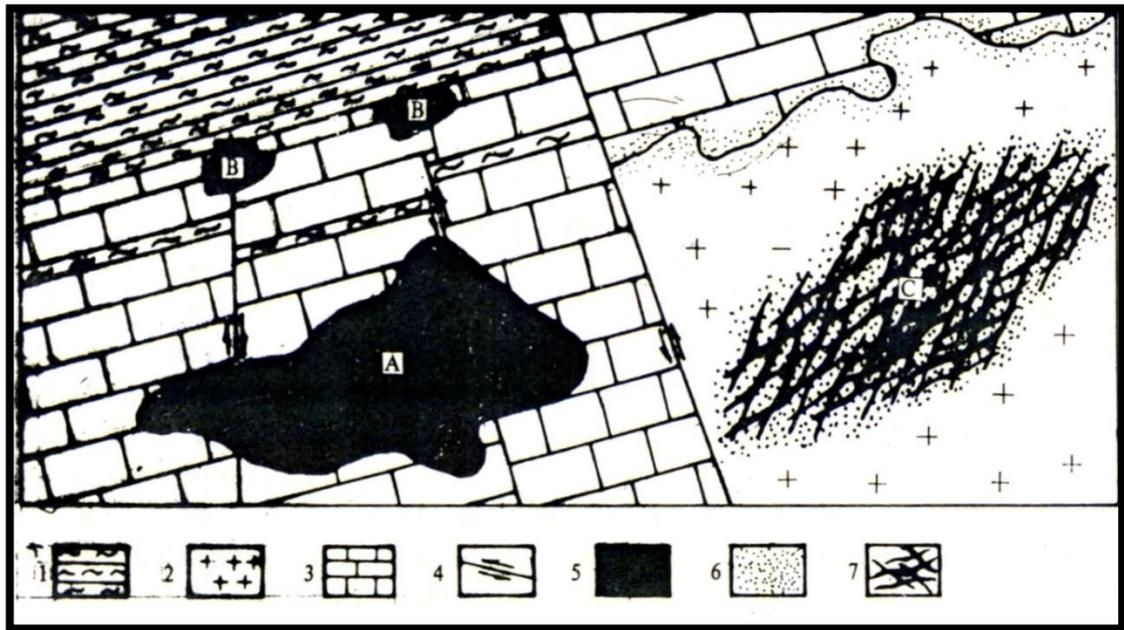
#### **2.2.6 Morfología de los cuerpos minerales.**

El conocimiento de la forma de los cuerpos minerales es fundamental para el estudio de los yacimientos minerales y tiene gran importancia al aplicar los métodos para el cálculo de las reservas y otros trabajos. El cuerpo mineral constituye la unidad estructural del yacimiento; su morfología está íntimamente ligada con la génesis y con los procesos sufridos durante su desarrollo.

V.I. Simirnov (1980), considera que un cuerpo o depósito mineral es la acumulación local de materia prima mineral natural asociada a un elemento geológico estructural determinado o a una combinación de tales elementos. Se distinguen tres tipos morfológicos de cuerpos minerales, atendiendo a las relaciones que existen entre sus

tres dimensiones básicas: cuerpos isométricos, tabulares y columnares. Se llaman cuerpos isométricos aquellas acumulaciones minerales que aproximadamente poseen las mismas dimensiones, en cualquier dirección en que se corte. Dentro de este tipo morfológico aparecen los stocks, stockworks y los bolsones.

Los stocks son grandes acumulaciones equidimensionales de mineralización compacta, que alcanzan varias decenas de metros, y pueden ser notablemente grandes (ver figura N°4). Son características para varios tipos genéticos de yacimientos, entre ellos los sedimentarios, hidrotermales, entre otros.



*Figura N° 4: Representación esquemática ideal de los cuerpos minerales isométricos: 1-arcillas; 2-granitoides; 3-calizas; 4-fallas; 5-mineralización compacta; 6-mineralización diseminada; 7-vetas; A-stock; B-bolsones; C-stockworks*

*Fuente: Simirnov (1980)*

Acumulaciones isométricas semejantes a los stocks, pero de solo algunas decenas de metros, se denominan bolsas, bolsones o nidos. Su distribución es de carácter local, y son típicos para algunos yacimientos de oro, zinc, cromo, entre otros. Tanto los stocks como los bolsones pueden tener en el plano una forma irregular, pero se caracterizan porque ninguna de las medidas en cualesquiera direcciones predomina

sobre otra. A veces estos cuerpos aparecen comprimidos en una dirección los cuales se denominan cuerpos lenticulares o simplemente lentes. Los lentes se consideran como cuerpos intermedios entre los tipos morfológicos isométricos y tabulares. Los stockworks, también llamados vetas entrecruzadas, corresponden a cuerpos muy complejos formados por una masa isométrica de rocas con mineralización diseminada, atravesadas por un sistema complicados de vetas o venillas que se interceptan en direcciones variadas.

El otro tipo morfológico, los cuerpos tabulares, como su nombre indica, agrupan los cuerpos minerales de forma aplanada, en los cuales predominan dos direcciones sobre una tercera más corta. Dentro de este tipo se encuentran las vetas y los filones. Se llama filón o veta a una masa mineral más o menos compacta que relleno el espacio abierto de una grieta. La potencia del filón es raramente constante y por lo general cambia por su dirección o por su buzamiento, y se hace estrecho hasta el acuñaamiento o se ensancha formando abultamientos. Las capas o estratos son también cuerpos de tipo tabular, cuya formación más corriente es la sedimentaria, aunque ocasionalmente se forman cuerpos estratiformes con carácter endógeno. La diferencia más marcada entre los estratos y los filones es que los primeros son singenéticos, o sea, se han formado al mismo tiempo que las rocas que los rodean.

El tercer y último tipo morfológico es el de los cuerpos columnares, en los que una dirección predomina ampliamente sobre los otros dos restantes. En este tipo solo se encuentran las llamadas chimeneas, los que tienen una sección elíptica o circular más o menos regular de 100 a 1000 m de diámetro y se puede extender en la dirección axial algunos kilómetros. El ángulo de buzamiento de las chimeneas, formado entre el eje y el plano horizontal, puede variar dentro de un límite muy amplio, desde 90° para los cuerpos verticales de más amplia distribución hasta 0° para las chimeneas horizontales.

### **2.2.7 Clasificación de reservas**

#### ***Clasificación De Recursos y Reservas Mineras Según Canadian Institute Of Mining (CIM)***

Deposito: definido por el CIM, significa: “Un fenómeno natural de los minerales o agregados minerales, en tal cantidad y calidad para invitar a la explotación”. Un depósito de mineral puede ser subdividido dentro de dos Clases, Recursos Mineros y Reservas Mineras (González, 2012)

#### ***– El Recurso Minero***

Es una concentración u ocurrencia de material natural, sólido, inorgánico, u orgánico fosilizado terrestre de tal forma, cantidad, y calidad que existe una razonable apreciación acerca de su potencial técnico- económico. La localización, tonelajes, contenidos, características geológicas, y el grado de continuidad de la mineralización es estimada, conocida, o interpretada a partir de específicas evidencias geológicas, metalúrgicas, y tecnológicas. El Recurso Minero se puede subdividir en; inferido, indicado y medido.

- a. Recurso Mineral Inferido; es aquel donde se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume, pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley que podría existir en el lugar.
- b. Recurso Mineral Indicado; es aquel donde puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en ubicaciones demasiado distanciadas o con un espaciamiento inapropiado.
- c. Recurso Mineral Medido; es aquel donde puede estimarse con un alto nivel de confianza el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido

de mineral. Se basa en la exploración detallada e información confiable en ubicaciones que están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y/o de la ley.

– ***Reserva Minera***

Es la porción económicamente explotable de un recurso mineral medido o recurso mineral Indicado demostrado por al menos un Estudio de Prefactibilidad. Este estudio debe incluir una adecuada información sobre la Minería, procesamiento, metalurgia, factores económicos, y otros factores relevantes que demuestren, al momento de la presentación del informe, que la extracción económica puede ser justificada. Una reserva minera incluye materiales diluyentes y provisiones por pérdidas que pueden ocurrir cuando el material es extraído.

- a) Reserva Probable; es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral indicado donde se han realizado evaluaciones apropiadas para la fecha y así justificar razonablemente que la extracción puede efectuarse.
- b) Reserva Probada; es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral medido donde se han realizado evaluaciones apropiadas para la fecha y así justificar razonablemente que la extracción puede efectuarse.

***Método de estimación de recursos***

– ***Método inverso de la distancia***

Este método aplica un factor de ponderación a cada muestra que rodea el punto central de un bloque mineralizado. Dicho factor de ponderación es el inverso de la distancia entre cada muestra y el centro del bloque, elevado a una potencia  $n$ , que suele tomar un valor entre 1 y 3. Sólo las muestras que entran dentro de una determinada zona de búsqueda son ponderadas de la citada forma. Puesto que el método es laborioso

y repetitivo, la presencia de un ordenador simplifica notablemente su elaboración. De hecho, fue una de las primeras técnicas de evaluación que se incorporó a los ordenadores (Weaver, 1964).

Bustillo & López (1997) indican que el inverso de la distancia es una técnica de suavizado y, por tanto, no es aconsejable en yacimientos con límites de la mineralización muy definidos y con caídas de leyes importantes, pues suelen producir mayores tonelajes y menores leyes, lo que puede comprometer seriamente los estudios de viabilidad económica del proyecto minero. Por el contrario, si es aplicable a yacimientos con transito mineralización-estéril graduales, tratándose, en este caso, del método de evaluación clásico más recomendable. Conceptualmente podría considerarse un método de estimación más parecido a los métodos geoestadísticos que a los clásicos.

El método en sí opera de forma semejante a todos los restantes, es decir, se establecen unos bloques de evaluación, se evalúan en ellos el valor de variables como el espesor y la ley y, a partir del volumen, se obtienen las reservas de la materia prima y/o del componente útil. Los aspectos específicos a considerar son los siguientes:

- a) Definición de los bloques de evaluación
- b) Establecimiento del factor de ponderación
- c) Definición del área de búsqueda

Definición de los bloques de evaluación. El tamaño y forma de los bloques sobre los cuales se va a llevar a cabo el proceso de evaluación es un tema que, en gran medida, se aleja del proceso evaluador en sí, pues son otros factores, principalmente de carácter minero, los que van a definir qué medidas deben tener los bloques. Por tanto, el técnico recibirá las instrucciones pertinentes sobre este aspecto.

Establecimiento del factor de ponderación. El establecer el valor del índice de ponderación que va a afectar al inverso de la distancia es uno de los factores claves del proceso. Además, su selección es arbitraria, pues no existen métodos que permitan

conocer que valor es el más adecuado, tanto a nivel particular como en general. Como se comentó anteriormente, se suelen utilizar valores que oscilen entre 1 y 3, aunque, en realidad, cualquier valor es posible.

Definición del área de búsqueda. Dos factores inciden en la selección del área de búsqueda: el tamaño y la forma. En cuanto al primer factor, el tamaño, de nuevo aparecen los criterios arbitrarios, pues tampoco existe un método concreto que permita conocer el valor más adecuado. Áreas de búsquedas de gran tamaño pueden incluir un número exagerado de datos que hagan el proceso muy extenso y, a la vez, generen un suavizado muy fuerte. Por el contrario, una zona de búsqueda muy pequeña puede producir un número de datos insuficiente. Por ello, siempre es recomendable que se establezcan áreas de búsquedas que incluyan un número de sondeos que oscilen, en sentido amplio, entre 6 y 12.

Una vez seleccionada la zona de búsqueda, por ejemplo, un círculo, todos los sondeos incluidos en el entran a formar parte del proceso de estimación, a través de la fórmula:

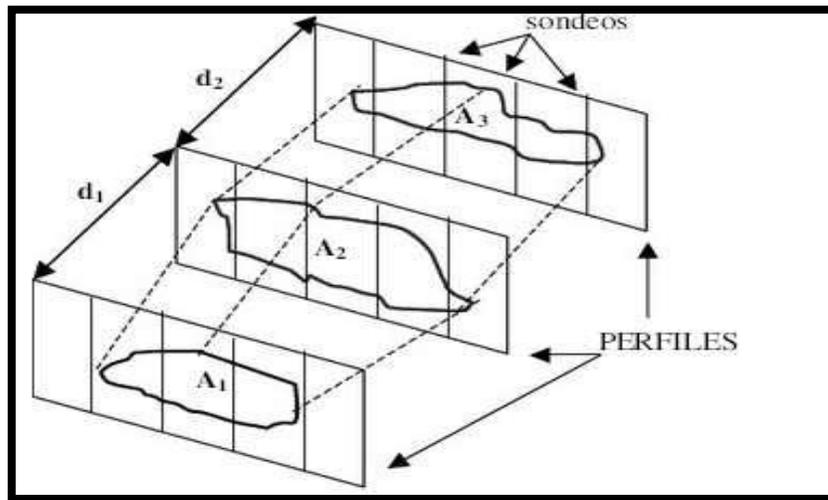
$$Z = \frac{\sum \frac{Z_e}{d^n}}{\sum \frac{1}{d^n}}$$

Donde  $Z$  es la estimación de la variable en el bloque basada en los valores de ésta ( $Z_e$ ) en cada punto incluido en el área de búsqueda y separados una distancia  $d$ . El exponente  $n$ , como ya se comentó, suele tomar el valor de 2.

– *Método de los perfiles*

Según Chacón (1991), este método tiene su uso en cuerpos mineralizados de desarrollo irregular, estudiados mediante sondeos distribuidos regularmente de manera que se puedan establecer secciones o perfiles donde se delimite el área de la zona

mineralizada. Cada sección genera un bloque cuyo volumen se puede obtener multiplicando el área mineralizada por las distancias medias a los perfiles contiguos de ambos lados (Figura N°5).



*Figura N° 5: Método de las secciones verticales*  
*Fuente: Geofredo (s/f)*

### **2.2.8 Planificación minera**

Rubio (2006), define la Planificación Minera, como el proceso de Ingeniería de Minas que transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo, alineado con los objetivos estratégicos de la corporación, sean estos maximizar el valor presente neto, el volumen total de reserva, maximizar el tiempo de explotación, minimizar el riesgo de la inversión, entre otras. En este orden de ideas, Newman (2010), afirma que es posible separar en niveles el proceso de planificación de acuerdo a las características de las decisiones tomadas. Entre estos niveles o procesos se indican los siguientes:

Estratégicas: Se refieren a la elección de los métodos de explotación, capacidad de la mina, procesamiento en general y las estimaciones de reservas mineras. El principal objetivo de la planificación estratégica es sincronizar el mercado con los recursos disponibles y la misión de la empresa.

Tácticas: Corresponden a la especificación de los procesos a realizar a lo largo de la vida de la mina, como los programas de producción de largo plazo y los modelos de programación para la utilización de equipos y plantas de procesamiento. La planificación táctica o conceptual determina la forma de alcanzar el objetivo establecido previamente por la planificación estratégica. Su resultado es el plan que define el cómo y el cuándo se extraerán los recursos, estableciendo los recursos humanos y materiales a utilizar.

Operativas: Se realizan con frecuencia diaria, por ejemplo, dirección de despacho de un camión. Dentro de la planificación operativa se incluyen los procesos e índices operativos resultantes del plan de mina. Es aquí, cuando se produce la retroalimentación con la planificación conceptual. Finalmente, en función del nivel de precisión de los datos y de la escala espacial de los períodos de duración del plan de mina, este se descompone en diferentes etapas de planificación minera, las cuales constituyen una herramienta para tratar la incertidumbre dentro del proceso minero. Estas son:

- a) Largo Plazo: La planificación a largo plazo define una envolvente económica en función de las reservas mineras disponibles, sobre la cual se trabajará para establecer un plan de mina anual, estableciendo el tamaño de la mina, el método, capacidad de producción, secuencia de explotación, y el perfil de leyes de corte. Se Incorpora variables más bien promedio y generales, debido a que el tamaño del problema a resolver no permite un mayor nivel de detalle.
- b) Mediano Plazo: La planificación de mediano plazo, por lo general, abarca un periodo de tiempo trianual y anual, y produce planes de producción orientados a obtener las metas productivas en el corto plazo definidas en el largo plazo. Permite asegurar el presupuesto de operaciones y retroalimentar la planificación de largo plazo.
- c) Planificación de Corto Plazo: El periodo de tiempo de esta planificación es diario, semanal, mensual y trimestral. Es en esta instancia de planificación donde se debe analizar los recursos utilizados en la operación de la mina. Debe

recopilar la información operacional de modo de retroalimentar la planificación de mediano plazo.

### ***Etapas del proceso de planificación.***

La planificación debe ser una herramienta para tomar decisiones. Las etapas o pasos que se deben seguir son básicamente.

- a. Determinación de los objetivos mineros a conseguir.
- b. Desglose de los objetivos en sub-objetivos específicos en tiempo y dimensión.
- c. Desarrollo de las alternativas posibles.
- d. Comparación entre las diferentes alternativas.
- e. Valoración de las alternativas en tiempo.
- f. Valoración de las alternativas en presupuesto.
- g. Elección provisional de la alternativa más conveniente.
- h. Medición de las consecuencias adversas de esta alternativa.
- i. Toma de la decisión final.

Entre las alternativas posibles no se debe confundir lo que debe ser con lo que se quiere que sea, esto significa claramente no confundir el deseo con la realidad. En lugar de interpretarse la planificación como una herramienta o simplemente como una técnica, es mejor comprenderla como un modo de dirigir y conseguir la realización de un proyecto, así se trata más de un estilo de trabajo que se refleja en todo el ambiente del trabajo y en la propia organización de la empresa. Como tal, este estilo debe ser compartido por todos los miembros de la dirección como un equipo y no solamente como una imposición personal del director, y a ser posible este debe recoger las aspiraciones del equipo y hacerlas suyas.

### ***La planificación como un proceso***

Planificación es el proceso de formular los objetivos y los sub-objetivos, así como el desarrollo y evaluación de las alternativas de actuación para alcanzar aquellos objetivos, haciéndolo sobre la base de saber identificar las oportunidades, disminuir las resistencias externas y fortalecer los puntos débiles internos de la empresa. El proceso de planificación puede ser llevado a cabo para las diferentes áreas o grupos de decisión y también para los diferentes horizontes de tiempo, especialmente cuando se trata de grandes empresas o grupos financieros multinacionales, aun cuando al final se consoliden los resultados globales. Los resultados de este proceso deben ser unas decisiones, que en forma de planes o programas constituyen las bases para actuar y así serán unas decisiones de hoy que producirán los resultados que a la Dirección le gustaría obtener en el futuro.

### ***Los resultados de la planificación***

Los resultados del proceso de planificación deben ser unos documentos formales, que pueden tomar la forma de unos programas parciales o globales, que cubran unos plazos cortos o largos y que pueden afectar a la compañía como un conjunto o a una parte de ella como una división. Un ejemplo muy antiguo y minero será el Plan de Labores anual como un programa temporal del proyecto minero, que es, al fin y al cabo, otro plan a mayor largo plazo y con un carácter más estratégico.

### ***Razones para hacer planificación en las compañías.***

- a. Cambios en el medio ambiente.
- b. Incremento en las presiones de la competencia.
- c. Desarrollo del mercado o de la demanda.
- d. Ciclos de los productos más cortos.

- e. Nuevas actitudes del gobierno, como un factor político.
- f. Fluctuaciones de las cotizaciones de precios y monedas.
- g. Importancia de poder anticipar y resolver los problemas en avance.
- h. Dificultades de comunicación entre los niveles de mando.

### ***Ventajas y desventajas de la planificación***

- a. Existe una mayor libertad, se reducen las dudas y los dobles pensamientos.
- b. Se canalizan los limitados recursos hacia un fin común.
- c. Se puede prevenir contra las desviaciones y permite tomar medidas correctoras.
- d. Existe una mayor moral.
- e. Se tiene una base para una motivación participada del equipo.
- f. Se consigue que el equipo sea atraído y trabaje más de acuerdo hacia los objetivos.
- g. Sin planificación la gente tiende a enfocarse sobre los defectos o las dificultades, aumentando el malestar interno.

### ***Los inconvenientes con la Planificación***

- a. Puede crearse una fuente de conflictos internos.
- b. Coloca algunos "secretos" en manos que podrían llegar a ser peligrosas.
- c. Es difícil formular los objetivos y las alternativas por escrito y consume tiempo y dinero, además de, posiblemente, tener que emplear los mejores cerebros.

### *Técnicas de planificación*

Las técnicas más importantes o procesos para efectuar la planificación minera son:

- La dirección por objetivos.
- La toma de decisiones.
- Utilización del ordenador.
- La técnica de simulación.
- La optimización o mejoramiento.

El proceso de dirección por objetivos, en líneas generales, consiste en que: la alta dirección define los objetivos y las limitaciones generales. También debe establecer los propósitos y los valores fundamentales de la empresa. La toma de decisiones básicamente se puede decir que se planifica para tomar decisiones. La sustitución del método, más o menos intuitivo, de la dirección por experiencia, que podrá ser calificado como un arte, por una técnica de dirección basada en cálculos y valoraciones, ha permitido el avance, tanto en tiempo como en calidad, de las técnicas más jóvenes de dirección por objetivos. El proceso de tomar una decisión debe ser dividido en un número de pasos consecutivos para su más riguroso análisis. Estos pasos normalmente deben ser:

- a. Establecer los objetivos.
- b. Clasificar los objetivos de acuerdo a su importancia. (priorización).
- c. Establecer las alternativas entre las que elegir.
- d. Evaluar las alternativas contra los objetivos.
- e. Elegir la alternativa menos mala como una decisión tentativa.
- f. Valorar las consecuencias adversas que pueda crear la decisión tentativa.

- g. Tomar la decisión final.

### **2.2.9 Métodos de minería a cielo abierto**

La minería es considerada por muchos autores como un arte, esto se debe a que cada mina y cada extracción minera es diferente a cualquier otra, ya que cada yacimiento posee características propias y diferentes a los demás, las características más notables, son el grado de mineralización, la topografía, el tipo de roca, el espesor y forma del yacimiento, entre otras, dicho esto para poder extraer con el mayor beneficio y facilidad el mineral de interés se han desarrollado varios métodos de minería a cielo abierto donde cada uno de ellos se adapta a las exigencias y características que presenta el yacimiento, a continuación se presentan algunos de estos métodos, esta información fue recolectada de Villanueva A. Alex, (s.f.), Herrera, (2006).

#### ***Fosa Abierta (Open Pit)***

Este método es tradicional en la minería metálica, se realiza mediante un avance tridimensional efectuando un banqueo descendente con secciones verticales en forma troncocónica, para la aplicación de este método se requiere una alta tecnología de planificación, diseño, operación y control, ya que, generalmente este tipo de excavación alcanza profundidades importantes. La extracción en cada nivel se realiza en un banco con uno o varios tajos dependiendo de la altura del banco. Debe existir un desfase entre los bancos a fin de disponer de unas plataformas de trabajo para que operen los equipos a su máximo rendimiento y en condiciones de seguridad adecuadas, mientras que las vías o carreteras se adaptan a los taludes finales o en actividad, permitiendo así el acceso a diferentes niveles y cotas.

Generalmente la profundidad de estas excavaciones suele ser grande, llegando en algunos casos superar los cuatrocientos (400) metros y por ello la vida de estas

explotaciones suele ser larga, por lo general superior a los 20 años, en especial en la minería metálica.

Ventajas del método:

- a. Alta productividad. Caracterizado por métodos de manejo de materiales que son altamente mecanizados y de baja ocupación de mano de obra.
- b. Alta tasa de producción. Esencialmente no tiene límites el volumen de producción, aunque también el método es aplicable a pequeños depósitos.
- c. Producción temprana. El desarrollo del yacimiento puede ser programado a fin de permitir un arranque temprano de la producción.
- d. Bajos requerimientos de mano de obra. Requiere bajo número de trabajadores y en algunos casos con poco entrenamiento, excepto para las operaciones claves tales como perforadores, operadores de equipo pesado, mecánicos, entre otros.
- e. Operación flexible. La operación puede adaptarse con relativa facilidad a los cambios de la demanda, en volumen y calidad.
- f. Bajo costo de arranque. En relación con la minería subterránea el costo de arranque es mucho menor.
- g. Accesos y desarrollos simples. Requiere mínimas labores de apertura y accesos.
- h. Buena recuperación. Generalmente es muy buena la recuperación del depósito hasta los límites finales de excavación.
- i. Desventajas del método:**
- j. Limitada profundidad. Las limitaciones tecnológicas impuestas por los equipos restringen la excavación generalmente a menos de los cuatrocientos (400) metros de profundidad, más allá de esos límites la explotación puede continuar mediante métodos subterráneos o simplemente el depósito se dejan en sitio sin recuperar.

- k. Alta inversión de capital. Generalmente son proyectos de capital intensivo asociados con grandes equipos de operación.
- l. Alta sensibilidad ambiental. La actividad minera afecta amplias áreas que involucran importantes impactos ambientales y obligan a adoptar medidas de prevención, mitigación y control de los mismos, durante la explotación y posteriormente realizar trabajos de recuperación ambiental.
- m. Requiere grandes depósitos. Para permitir la obtención de altos niveles de productividad y consecuentemente bajos costos de producción se requieren grandes depósitos minerales, o yacimientos con altos tenores.
- n. Estabilidad de taludes. Es esencial el apropiado diseño y mantenimiento de taludes y bancos, para evitar riesgos en las operaciones mineras, y realizar un adecuado drenaje de la mina.

### ***Rajo Abierto (Open Cut)***

Es una variante del método Open Pit, se aplica específicamente para yacimientos que se encuentran en laderas de modo que el sistema de bancos queda abierto a lo largo de la ladera, al igual que el método anterior este se efectúa realizando un banqueo descendiente y debe existir un desfase entre los bancos a fin de disponer de unas plataformas de trabajo para que operen los equipos a su máximo rendimiento y en condiciones de seguridad adecuadas.

### ***Descubierta (Open Cast)***

Este método se aplica a yacimientos horizontales o parcialmente inclinados se utiliza primordialmente en yacimientos sedimentarios de poca profundidad, de minerales blandos, en forma de capas y de fácil separación entre el mineral y el estéril, con un recubrimiento de estéril inferior a los cincuenta (50) metros. Consiste en un avance unidireccional de un módulo o hueco con un solo banco desde el que se efectúa

el arranque del estéril y este es vertido al hueco o módulo de las fases anteriores, de ahí que sea, por naturaleza, el más representativo de los métodos mineros de transferencia.

La maquinaria que se utiliza en este método depende del volumen de reservas extraíbles con las que se cuenta, siendo la dragalina la maquinaria que frecuentemente se utiliza en las grandes minas, mientras que en las pequeñas se utilizan los equipos convencionales como los cargadores frontales, tractor de orugas, excavadoras hidráulicas, entre otras.

### ***Terrazas***

Es un caso particular del método Rajo Abierto (Open Cut), en laderas de montaña con un escalonamiento descendente hasta el valle y al igual que sucede con el método de Descubierta (Open Cast) y tal como se ha indicado, se efectúa un autorrelleno del hueco creado, por lo que, desde el punto de vista de impacto visual y restauración de los terrenos, las posibilidades de actuación son grandes. Este método se basa en una minería de banqueo con un avance unidireccional, es decir, en una sola dirección, se aplica en yacimientos horizontales o con poca inclinación, de uno o varios niveles mineralizados y con recubrimientos potentes, pero que permiten depositar el estéril en el hueco creado, transportándolo alrededor de la explotación.

Las profundidades que se alcanzan con este método son importantes, existiendo casi exclusivamente una limitación de tipo económico para determinar cuál es el último nivel mineralizado que se explotara. Los equipos y sistemas mineros que se utilizan en este método son muy variados, se pueden utilizar equipos convencionales de carga y acarreo discontinuos como camiones, excavadoras, tractores, entre otros; pero también se pueden utilizar sistemas continuos de carga y acarreo, como cintas transportadoras.

### ***Contorno***

Consiste en la excavación de mineral y estéril en sentido transversal al afloramiento, es decir, el avance va bordeando al yacimiento y profundizando de afuera hacia adentro, hasta alcanzar el límite económico, es decir, la máxima relación estéril-minera. Se aplica en yacimientos de capas inclinadas, donde la topografía y la potencia del mismo son desfavorables, dado el gran desarrollo de estas explotaciones y la escasa profundidad de los huecos, es posible realizar una transferencia de los estériles para la posterior recuperación de los terrenos.

### ***Cantera***

Es una explotación del tipo Fosa Abierta (Open Pit) pero de menores dimensiones, su nombre es referido a explotaciones de yacimientos donde se extraen materiales para la construcción y rocas ornamentales. El método de explotación suele ser el de banqueo con uno o varios niveles, sin embargo, la extracción de mineral suele ser más cuidadosa en especial en la extracción de rocas ornamentales, como el mármol y el grafito, donde es importante extraer bloques de rocas de grandes dimensiones para su posterior tratamiento, dicho esto las canteras se pueden dividir en dos grupos, ellos son;

- a. El primero: donde se desea obtener rocas fragmentadas con una granulometría apta para alimentar a las plantas de tratamiento y así obtener un producto destinado a la industria de la construcción en forma de áridos. En este tipo de explotación la extracción del mineral no es tan cuidadosa y se dan grandes alturas de banco.
- b. El segundo: es donde se desea obtener grandes bloques paralelepípedos que posteriormente se cortan y elaboran, esta explotación como se describió antes debe ser muy cuidadosa. Estas explotaciones se caracterizan por poseer un gran número de bancos que se abren para arrancar los bloques.

### ***Minería de Placeres***

Geológicamente un placer es un depósito formado por una concentración mecánica de minerales pesados con una concentración suficiente para otorgarle valor económico. Las ocurrencias comunes de minerales en placeres son el oro, diamante, estaño (casiterita), titanio (rutilo), tungsteno, cromita, entre otros. Según el agente se clasifican: aluvial, eólico, marino y glacial. Las características distintivas de los depósitos de placer permiten la aplicación de dos métodos, los cuales se describen a continuación:

#### ***Hidráulico***

Este método como se mencionó anteriormente se aplica a yacimientos de placeres donde se utiliza el agua como elemento disgregador del material, básicamente consiste en aplicar un flujo de agua de alta presión contra el banco de explotación para de esta manera lograr la remoción del material por disgregación de sus partículas, luego el material del manto mineralizado es escurrido hacia algún sistema de beneficio de mineral. Dentro de las ventajas de este método están los bajos costos de producción lo que induce a que se realice una baja inversión de capital, por otro lado, este método produce severos impactos ambientales, es necesario contar con una gran cantidad de agua y está limitado solo a yacimientos de placeres, es decir, que los depósitos se deben encontrar en suelos para que la presión de agua aplicada surja efecto.

#### ***Dragado***

El dragado es una excavación mecánica que se realiza bajo el agua de un depósito tipo placer, el nombre de este método deriva de la maquinaria que se utiliza para realizar la excavación es conocida dragalina o draga. Para realizar este método es necesario que el área donde se encuentra el yacimiento este bajo el agua, es decir inundada para que pueda operar la dragalina, que no es más que un sistema de extracción del material blando que se encuentra en el fondo de la inundación, río o

laguna, y está sobre un bote para poder flotar, además utiliza un balde y un sistema de cuerdas para arrancar, acarrear y sacar a superficie el material de interés.

### ***Lixiviación***

Consiste en la extracción química de los metales o minerales contenidos en un depósito utilizando para tal fin un proceso fundamentalmente químico, pero también puede ser bacteriológico, ya que, existen ciertas bacterias que aceleran las reacciones de lixiviación de metales sulfurosos. Cuando se aplica este método sin extraer el mineral, se habla entonces de lixiviación in situ, mientras que si el mineral se extrae, transporta y deposita en un lugar adecuado, el método se denomina lixiviación en pilas.

Básicamente el método se refiere a la extracción de sustancias solubles mediante el agua o de un reactivo solvente y se emplea básicamente en la extracción de oro y plata por cianuración, de uranio y cobre por ataque con ácido y de varias sales evaporíticas por disolución con agua.

### ***Open Auger.***

Es un método de explotación para recuperación secundaria de mineral, particularmente es aplicado en yacimientos de carbón después de una minería convencional, se realiza mediante la perforación en las capas o mantos

### ***Mixtos***

Se considera un método mixto a aquellas labores que se llevan a cabo combinando varios métodos.

### **2.2.10 Secuencia de explotación**

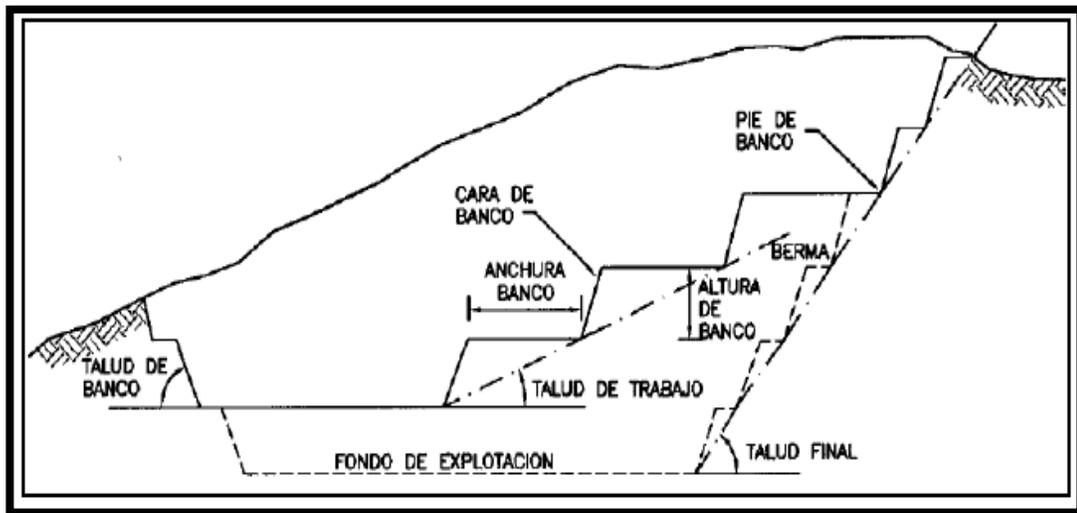
La secuencia de explotación también es conocida como estrategia de consumo de reservas, y es básicamente la forma en que se extraen los materiales desde el rajo, durante el período comprendido entre el inicio de la explotación hasta el final de ella (fosa final). La extracción del material se realiza en sucesivos Cortes intermedios, los que reciben el nombre de Fases o Expansiones. La secuencia de extracción de las distintas fases tiene una estrecha relación con la distribución de las variables geológicas, geomecánicas, topográficas, ambientales, metalúrgicas y económicas del yacimiento.

### **2.2.11 Criterios para el diseño de una explotación a cielo abierto**

Bustillo y López (1997) plantean que al momento de proyectar una mina a cielo abierto se deben tener en cuenta cuatro grupos de parámetros los cuales son:

- a. Geométricos: Función de la estructura y morfología del yacimiento, pendiente del terreno, límites de propiedad, entre otros.
- b. Geotécnicos: Dependientes de los ángulos máximos estables de los taludes en cada uno de los dominios estructurales en que se haya dividido el yacimiento.
- c. Operativos: Dimensiones necesarias para que la maquinaria empleada trabaje en condiciones adecuadas de eficiencia y seguridad: alturas de banco, anchuras de berma y pistas, anchuras de fondo.
- d. Medioambientales: Aquellos que permiten la ocultación a las vistas de los huecos o escombreras, faciliten la restauración de los terrenos o la reducción de ciertos impactos ambientales.

La figura N° 6 muestra los principales parámetros geométricos que configuran el diseño de una explotación a cielo abierto.



*Figura N° 6: Parámetros geométricos que configuran el diseño de una explotación a cielo abierto.*

*Fuente: Bustillo y López. (1997)*

A continuación, se definirán cada uno de los parámetros mostrado en la figura N°6.

- a. Banco: Es el módulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota ya sea de estéril o mineral.
- b. Altura de banco: Es la distancia vertical entre dos niveles; se mide desde el pie del banco hasta la parte más alta del mismo.
- c. Bermas: Son estructuras horizontales que se dejan de manera permanente en las paredes finales de la fosa final para mejorar la estabilidad y seguridad del mismo. A diferencia del banco, que es una terraza operativa y que varía con la vida de la mina, la berma es permanente y se establece en la fosa final.
- d. Ángulo de berma: Es el ángulo más pequeño, que se forma entre la horizontal y la pared de la berma.
- e. Ancho de berma: Se refiere al ancho de la berma. Considerando elementos de geotecnia y recuperación ambiental de mina, el ancho de berma normalmente mide lo suficiente para poder realizar ciertas actividades de recuperación

ambiental para el cierre de mina; por ejemplo, reforestación del talud, mejoramiento del drenaje de la fosa final entre otros.

- f. Talud de Banco: Es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco.
- g. Talud de Trabajo: Es el ángulo determinado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentra alguno de los tajos o plataformas de trabajo. Por lo tanto, es una pendiente provisional de la excavación.
- h. Pistas: Son estructuras a través de las cuales se extrae el mineral y el estéril, o se efectúan los movimientos de equipos y servicios entre diferentes puntos de la misma. Se caracterizan por su ancho y su pendiente en una disposición espacial determinada.
- i. Rampas de acceso: Constituyen las vías o caminos que se emplean para cumplir diversas actividades operativas de la mina, principalmente el acarreo de material desde los frentes de explotación a las plantas de procesamiento. Las anchuras son pequeñas, y las pendientes son superiores a las de las pistas.
- j. Talud final de la explotación: Es el ángulo del talud estable delimitado por la horizontal y la línea que une el pie del banco inferior y la cabeza del superior.
- k. Pit final: Se define como la extensión vertical y lateral en la cual el yacimiento es económicamente explotable bajo las condiciones tecnológicas y ambientales existentes. Uno de los parámetros principales que limitan los límites de la fosa es la relación de remoción.

### **2.2.12 Software**

Probablemente la definición más formal de software es la atribuida a la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), en su estándar 729: la suma total de los programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados

que forman parte de las operaciones de un sistema de cómputo. Bajo esta definición el concepto de software va más allá de los programas de cómputo en sus distintas formas: código fuente, binario o código ejecutable, además de su documentación. Es decir, el software es todo lo intangible. Software es también conocido como programático o equipamiento lógico, esto es el conjunto de programas que puede ejecutar el hardware para la realización de las tareas de computación a las que se destina. Se trata del conjunto de instrucciones que permite la utilización del ordenador o computador (pc, personal computer). El software es la parte intangible de la computadora, es decir, programas, aplicaciones, etc.

### ***Software Libre***

El software libre es aquel que puede ser distribuido, modificado, copiado y usado; por lo tanto, debe venir acompañado del código fuente para hacer efectivas las libertades que lo caracterizan. Dentro de software libre hay, a su vez, matices que es necesario tener en cuenta. Por ejemplo, el software de dominio público significa que no está protegido por el copyright, por lo tanto, podrían generarse versiones no libres del mismo, en cambio el software libre protegido con copyleft impide a los redistribuidores incluir algún tipo de restricción a las libertades propias del software así concebido, es decir, garantiza que las modificaciones seguirán siendo software libre.

También es conveniente no confundir el software libre con el software gratuito, este no cuesta nada, hecho que no lo convierte en software libre, porque no es una cuestión de precio, sino de libertad. Para Richard Stallman el software libre es una cuestión de libertad, no de precio. Para comprender este concepto, debemos pensar en la acepción de libre como en “libertad de expresión”. En términos del citado autor el software libre se refiere a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el software.

### ***Software Propietario***

El software no libre también es llamado software propietario, software privativo, software privado o software con propietario. Se refiere a cualquier programa informático en el que los usuarios tienen limitadas las posibilidades de usarlo, modificarlo o redistribuirlo (con o sin modificaciones), o que su código fuente no está disponible o el acceso a éste se encuentra restringido. En el software no libre una persona física o jurídica (por nombrar algunos: compañía, corporación, fundación) posee los derechos de autor sobre un software negando o no otorgando, al mismo tiempo, los derechos de usar el programa con cualquier propósito; de estudiar cómo funciona el programa y adaptarlo a las propias necesidades (donde el acceso al código fuente es una condición previa); de distribuir copias; o de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras (para esto el acceso al código fuente es un requisito previo).

De esta manera, un software sigue siendo no libre aún si el código fuente es hecho público, cuando se mantiene la reserva de derechos sobre el uso, modificación o distribución (por ejemplo, el programa de licencias shared source de Microsoft). No existe consenso sobre el término a utilizar para referirse al opuesto del software libre.

### ***Software Minero***

Las aplicaciones de la informática a la evaluación de recursos y reservas minerales son muchas y muy variadas. Si hubiese que establecer una primera jerarquización de los diferentes programas existentes en el mercado con aplicación a la citada temática, creemos que su aplicación parcial o total de sus herramientas y además el precio de adquirirlos sería el mejor parámetro a considerar. Así se podría hablar de dos grupos de programas:

### **2.2.13 Programas con aplicaciones mineras**

Son programas que no han sido desarrollados netamente para la minería como objetivo básico, aunque tiene módulos o aplicaciones que pueden ser utilizados, y mayormente con resultados muy interesantes. Sus costos son muy variados, desde gratis, libres, de dominio público hasta valores inferiores a los 1000 dólares.

### **2.2.14 Hojas de cálculo**

Una de la más conocida y utilizada por cualquier usuario tenemos a la hoja Excel, lo cual es imprescindible, que a su vez sirve para almacenar datos. En exploración minera se almacenan los datos que se reportan de los sondajes de exploración ya perforados.

Tales como:

- a. Posición (X, Y y Z) del sondeo efectuado.
- b. Distancia de la superficie al nivel de interés económico.
- c. Potencia de dicho nivel.
- d. Ley/calidad/etc. obtenida en el nivel
- e. Otros aspectos a considerar, según el tipo de yacimiento como la litología, alteración, etc.

La hoja de cálculo, una vez establecida de esta forma, podrá ser importada, por los diferentes programas mineros, los cuales llevaran a cabo las operaciones deseadas (si, por ejemplo, se trata de un paquete de software minero realizara, entre otras cosas la cubicación del yacimiento).

### **2.2.15 Programas de dominio público**

Por definición son los que se distribuyen libremente, sin ser necesario abonar un precio a ninguna persona o institución, pudiendo copiarse sin ninguna restricción. Existen programas de este tipo con diversas aplicaciones al estudio de recursos minerales y, en particular, a su evaluación. Todos ellos suelen estar distribuidos por organismos públicos de los estados unidos y otros países y su interés es variado, tal es el caso ejemplo de los softwares geoestadísticos GSLIB, GEOEAS, VARIOWIN, SPRING GIS, etc.

### **2.2.16 Programas parciales de minería libres o de bajo costo**

Se les conoce parcial porque solamente sirven para el desempeño de una parte de la minería y no abarca la extensión que ocupa todo el proceso minero, por ejemplo, solo están abocados a la Geoestadística, a la topografía, a la geología, etc. Algunos son libres o gratis y otros son de costo económico que muchas veces no superan los 1000 dólares o están al alcance de cualquier usuario, tal es el caso del SURFER, ROCKWARE, Autocad, WINGSLIB, y El software RecMin.

### **2.2.17 Programas específicamente mineros**

Son programas especialmente desarrollados para la actividad minera en sentido amplio (exploración, evaluación, diseño de explotación minera, etc.), por lo que ofrecen soluciones integrales. Sus costes son variados, según el programa, pero el precio siempre se mide en miles de dólares (por ejemplo, DATAMINE, MINCOM, GEMCOM, VULCAN 3D, MINE SITGH, SURPAC, LEAPFROG, AMINE, PROMINE, ETC) en general su complejidad, a la hora de la utilización es de alta a muy alta.

Este tipo de programas, como se comentó anteriormente, están diseñados específicamente para el entorno minero, caracterizándose por su alto precio y también su alta complejidad de manejo. Tiene un carácter modular (módulos), lo que permite un menor coste, pero de todas maneras siguen estando fuera del alcance de las pequeñas

empresas mineras, las junior, universidades, consultores independientes y profesionales del sector.

Este tipo de programas, por su citado alto coste económico, se suelen utilizar en explotaciones de tamaño mediano a grande, donde gracias a su uso obtienen un manejo de los recursos que implica llevar a cabo el desarrollo de la mina, no obstante, no es extraño entonces que muchas compañías mineras, fundamentalmente por razones económicas, suplan su utilización con otras alternativas como pueden ser la combinación de programas de CAD con programas geoestadísticos.

### **2.2.18 Software minero RecMin**

Por sus siglas en español Recursos Mineros. Es un software gratuito que se puede descargar libremente de internet que ha sido desarrollado precisamente para la gestión de recursos minerales, ha sido patentado por su autor Cesar Castañón Fernández, profesor principal de Ing. De minas la Universidad de Oviedo y fundador también de la empresa RPTec (servicios y consultoría minera). Para demostrar el método pentaédrico que ha sido sustentado en su tesis doctoral. Se fundamenta en la experiencia de su autor a lo largo de más 24 años, de experiencia en el campo de la minería.

Se creó a partir del año 1992 como software privado para las operaciones mineras en España de la empresa minera canadiense Rio Narcea Gold Mines S.A. Su autor (Dr. César Castañón Fernández) agrego las opciones de gestión de información topográfica, edición de sondajes, modelamiento geológico, modelo de bloques y estimación de leyes por el método del inverso de la distancia.

#### ***Ventajas y Desventajas***

##### ***Ventajas***

- a. Gratuito, libre.
- b. Está en idioma español,

- c. Contiene herramientas para:
- d. Importación de muestras de sondajes, producto de campaña de exploración.
- e. Herramientas para validar los datos producto de la campaña de exploración.
- f. Herramientas para gestionar superficies topográficas (Importar coordenadas de puntos y generar curvas de nivel o importar superficies en formato \*.DXF, que hayan sido elaboradas en otros paquetes de software minero como el CAD.
- g. Herramientas para visualizar gráficamente en 3D los objetos diseñados.
- h. Herramientas para integrar y realizar la interpretación geológica.
- i. Herramientas para realizar un modelo geométrico, de bloques al modelo geológico.
- j. Herramientas para interpolar las leyes de cada bloque, usando el algoritmo del inverso de la distancia.
- k. Herramientas para exportar, datos de muestras y tablas de bloques.
- l. Optimizador de PIT (cono flotante).
- m. Y más herramientas diversas personalizadas.

### ***Desventajas***

No contiene herramientas geoestadísticas, para estimar por kriging un modelo de bloques

### ***Estructura del programa RecMin***

El programa RecMin está desarrollado en lenguaje +C, Visual Basic, con una interfaz familiarizada con el entorno Windows de Microsoft, lo cual hace fácil su manipulación. Los datos importados en formato de texto son almacenados en una base de datos del tipo Access que se genera automáticamente con todas las tablas por defecto

con sus campos definidos y preparados para alojar la información, cuando se genera un nuevo yacimiento. Genera una base de datos tanto para la base de datos sondeos y para el modelo de bloques que se realice. El programa RecMin está compuesto por 5 módulos de aplicación:

1. Módulo de yacimientos = RMYac.exe
2. Módulo de edición = RMEdit.exe
3. Módulo de dibujo = RMDraw.exe
4. Módulo 3D = RM3D.exe
5. Módulo de seguridad = RMSeg.exe

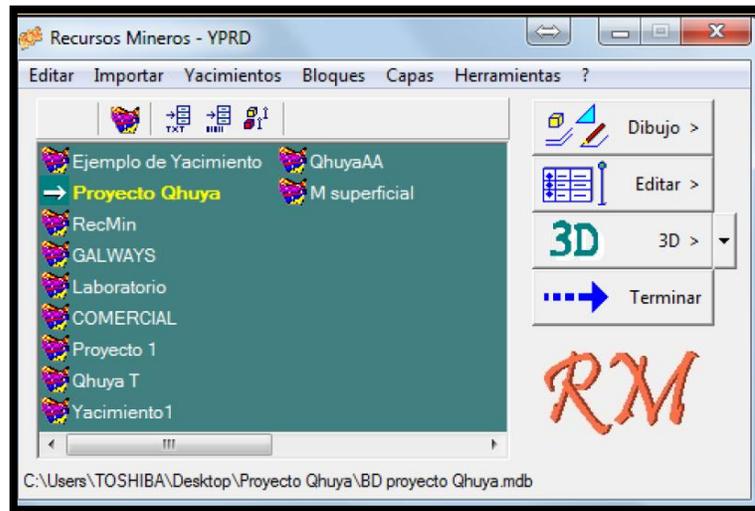
Siendo el módulo de arranque o inicio de la aplicación el módulo de yacimientos (RMYac.exe).

### ***Módulo de Yacimientos***

Este es el módulo (Figura N°7) que se inicia al arrancar en el escritorio el icono de RecMin, en esta ventana se crea o se añade los yacimientos o proyectos a estudiar.

En este módulo se puede:

- Crear, borrar y editar bases de datos de yacimientos.
- Importar datos de sondeos, DXF de superficies, bases de datos de bloques, etc.
- Crear, borrar y editar bases datos de bloques.
- Realizar distintas funciones como definir permisos de acceso, cálculos, etc.

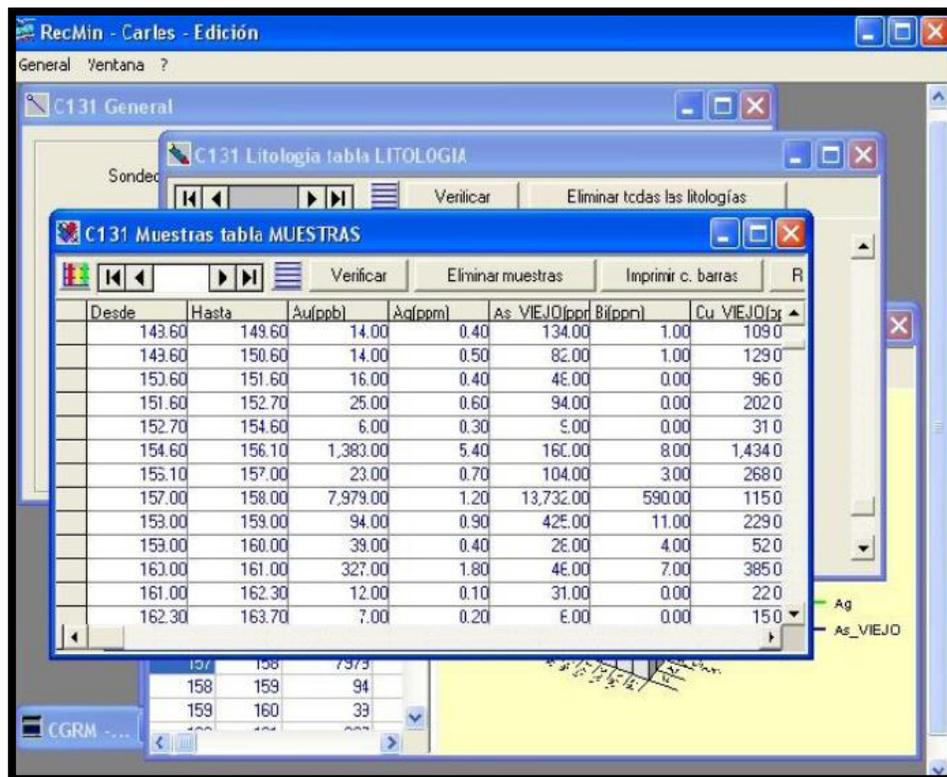


*Figura N° 7: Módulo de yacimientos de RecMin*  
*Fuente: Yhonny Ruiz*

### ***Módulo de Edición***

En el módulo de edición (figura N°8), se pueden borrar, añadir, ver y modificar las bases de datos de sondeos, así como todas las tablas asociadas como:

- Datos de los sondeos, coordenadas del collar, fechas, etc.
- Medidas de desviaciones.
- Datos litológicos.
- Datos de muestras.
- Intersección con zonas minerales.
- Representaciones gráficas.



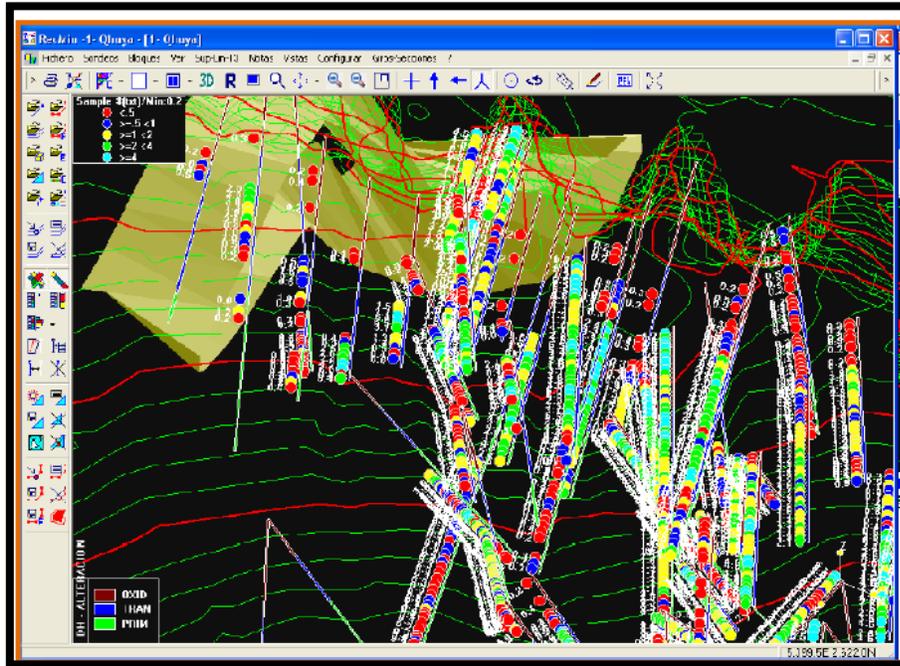
*Figura N° 8: Módulo de edición de sondeos RecMin  
Fuente: Yhonny Ruiz*

### ***Módulo de dibujo***

En el módulo de dibujo (ver figura N°9) se puede:

- Ver gráficamente en el espacio toda la información relativa a un yacimiento, incluyendo sondeos, superficies, bloques, líneas, notas, etc.
- Activar y desactivar los elementos que se quieran ver.
- Modificar las bases de datos.
- Imprimir las vistas.
- Hacer secciones en cualquier dirección.
- Vistas tridimensionales.

- Renderizados
- Generar ficheros DXF.

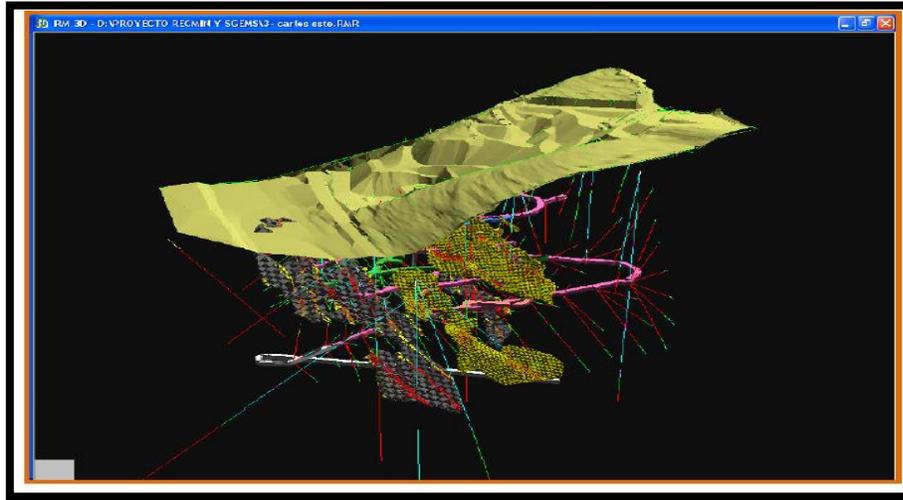


*Figura N° 9: Módulo de dibujo de RecMin  
Fuente: Yhonny Ruiz*

### ***Módulo Render 3D***

El módulo render 3D (figura N°10) permite ver los objetos en una vista tridimensional, en la cual se puede fácilmente, mediante movimientos de ratón, girar, hacer zoom, cambiar la iluminación, hacer transparencias, volar sobre los objetos, etc. La vista se genera por combinación de una luz de ambiente y otra direccional que sería la del sol, ambas se pueden modificar. El módulo de renderizado se puede arrancar desde el módulo de dibujo, para ver los objetos activos o bien separadamente para ver los ficheros que se guarden en formato \*.RMR. Se puede colocar el ejecutable RM3d.exe en una carpeta con los ficheros \*.RMR generados en el módulo de dibujo, así al arrancar el fichero, podemos ir seleccionando el resto de las vistas preparadas e

incluyo ir añadiéndolas, permitiendo de una forma fácil preparar una presentación en 3D.



*Figura N° 10: Módulo 3D de RecMin  
Fuente: Yhonny Ruiz*

#### ***Módulo de Seguridad del Software RecMin.***

Es una gran ventaja del programa que permite programar las copias de seguridad de ficheros y/o carpetas en periodos, diarios, semanales, etc. de tal forma que se realicen estas durante la noche o en las horas de descanso. El programa permite también compactar las bases de datos a la vez que se hacen las copias y apagar el ordenador cuando termine si se desea (ver figura N°11).



*Figura N° 11: Módulo de copias de seguridad  
Fuente: Yhonny Ruiz*

### 2.2.19 Jerarquía de datos y ficheros del Software RecMin

Para crear un proyecto yacimiento en RecMin, es necesario antes de iniciar el programa crear una carpeta de trabajo en cualquiera de los discos del ordenador a elección del usuario, es aquí donde se almacenará todas las bases de datos que se generen en el trabajo y evaluación de ese yacimiento. Además, aquí se guardarán todos los objetos y sus respectivos formatos, para poder ser desplegados en el programa cuando se les solicite.

Una vez creada la carpeta en cualquiera de los discos, se crea el proyecto o yacimiento en RecMin, y esto se hace en el módulo de yacimientos. Si no existe aún una base de datos para ese proyecto el programa la creara automáticamente, creando todas las tablas y sus respectivos campos donde almacenara lo datos que se creen o se importen en el RecMin. Los objetos creados en el módulo de dibujo se irán guardando con sus respectivas extensiones o formatos, para cuando se les quiera abrir o solicitar se ubiquen en los respectivos ficheros del módulo de dibujo, y es como sigue:

### ***Líneas***

Son un conjunto de segmentos, normalmente unidos entre sí y que nos sirven para separar zonas, rellenar con colores, para recortar otros objetos, etc. Las líneas se pueden guardar en la BD del yacimiento o en ficheros texto \*.LIN, y en un mismo fichero podemos tener varias líneas.

### ***Superficies***

Tienen un formato parecido al de las líneas, pero nos sirven más bien para trabajar con isolíneas de superficie, normalmente son ficheros grandes y con ellos podremos trabajar para hacer secciones y dibujar la línea de superficie, para renderizar, etc. Las superficies se guardan en ficheros texto \*.SUP, y en un mismo fichero podemos tener varias superficies.

### ***Mallados T3***

Los T3 son conjuntos de caras triangulares que tiene un color asociado y que nos va a permitir, definiendo la dirección del sol, tener una vista tridimensional de la zona de trabajo. Los T3 en el módulo de renderizado nos ayudarán a mejorar la vista. Los T3 también sirven para definir volúmenes, galerías y huecos de interior, etc. Los T3 se guardan en ficheros texto \*.T3, y en un mismo fichero podemos tener varios T3.

### ***Notas***

Las notas son objetos de texto que se pueden añadir a un dibujo para dar información. Pueden ser de varias líneas, tener contorno y relleno y estar giradas. Se guardan en las mismas bases de datos del Yacimiento o en fichero texto \*.TX0.

### ***Escenas***

Las escenas son un conjunto de objetos que se guardan en un fichero texto \*.TOT y que nos va a permitir recuperar el estado en el que estábamos en el momento de guardarlo.

### ***Bloques (BLK).***

Son conjuntos de paralelepípedos que nos dividen lo que tenemos debajo de la superficie y que nos sirve para darle unas propiedades litológicas y analíticas.

**CAPÍTULO III**  
**MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Tipo de la investigación**

El tipo de investigación es evaluativo. Sabino (2014), lo define como un tipo de estudio “que tiene como objetivo evaluar los resultados de uno o más programas, métodos, equipos, que hayan sido o estén aplicados. En este caso, se empleó para evaluar la factibilidad técnica en la aplicación del software RecMin como herramienta de planificación a largo plazo en una zona del Distrito minero El Callao.

### **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación empleado fue el no experimental transaccional exploratorio, el cual según, Hernández, Fernández y Baptista (2010) “se trata de la exploración de un problema inicial en un momento específico”. Es decir, la información se recolecto en un momento determinado, explorando la situación o problema a los fines de obtener una visión más completa de la misma, siendo sus resultados exclusivamente válidos para el tiempo y lugar en que se efectuó el estudio. En tal sentido, este tipo de diseño permitió al investigador realizar la evaluación la factibilidad técnica en la aplicación del software RecMin como herramienta de planificación a largo plazo en una zona del Distrito Minero El Callao.

### **3.3 Sujeto de estudio**

Para esta investigación se tiene como sujeto de estudio el software libre RecMin, creado por el Dr. César Castañón Fernández, para gestionar proyectos de investigación y explotación de recursos minerales. El programa será aplicado a una base de datos producto de una campaña de exploración en El Callao, estado Bolívar.

### **3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.4.1 Instrumentos**

Los instrumentos utilizados para la recolección y procesamiento de los datos son los siguientes:

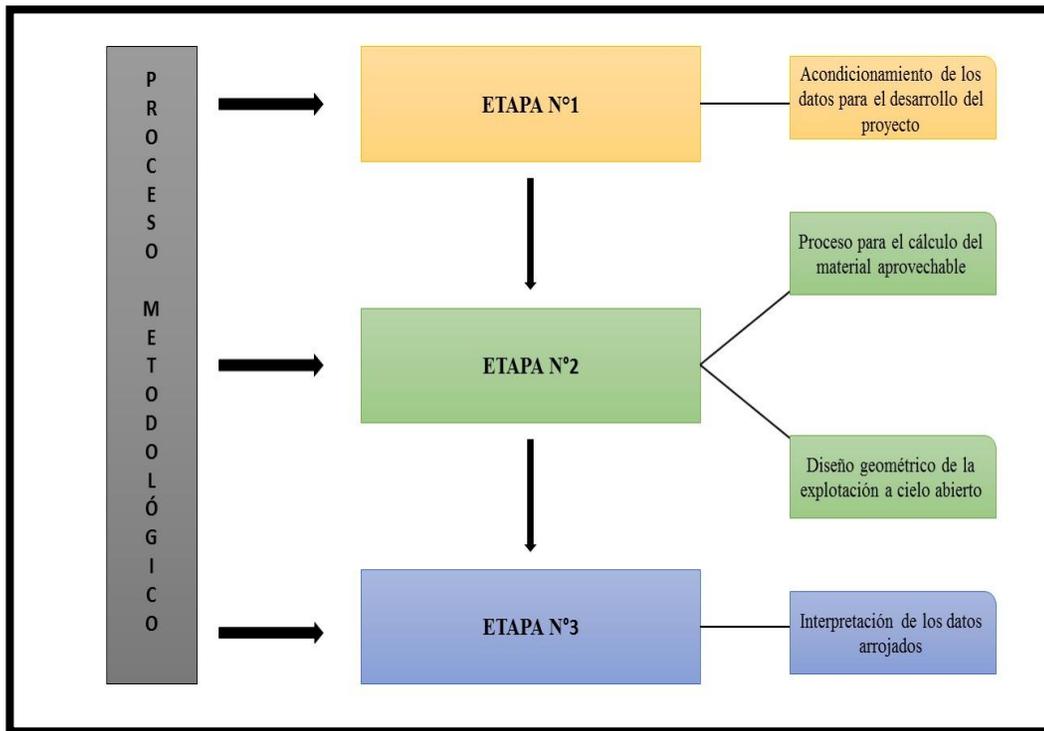
- a. Mapa topográfico digital de la zona.
- b. Hojas de cálculos.
- c. Programa de dibujo asistido por computador.
- d. Base de datos producto de una campaña de exploración.

#### **3.4.2 Técnicas**

- a. Revisión bibliográfica referente a las bondades y limitaciones del software.
- b. Revisión bibliográfica referente a la planificación a largo plazo.
- c. Validación de los datos e interpretación geológica mediante secciones verticales.
- d. Construcción de una lista de cotejo para evaluar las herramientas que posee el software en el área de exploración y evaluación de recursos.
- e. Construcción de una lista de cotejo para evaluar las herramientas que posee el software en el área de diseño y desarrollo minero.
- f. Establecimiento de una tabla comparativa con las ventajas y desventajas de RecMin con respecto a otro software no especializado.
- g. Construcción de un diagrama de flujos que permitiera al usuario conocer en qué fase de la planificación se encuentra.

#### **3.5 Análisis e interpretación de datos**

Con respecto al análisis e interpretación de los datos, se procedió a efectuar una serie de pasos y procesos metodológicos, establecidos en la etapa general, descrita de la siguiente manera (ver figura N°12):



*Figura N° 12: Proceso metodológico*  
*Fuente: Elaboración Propia*

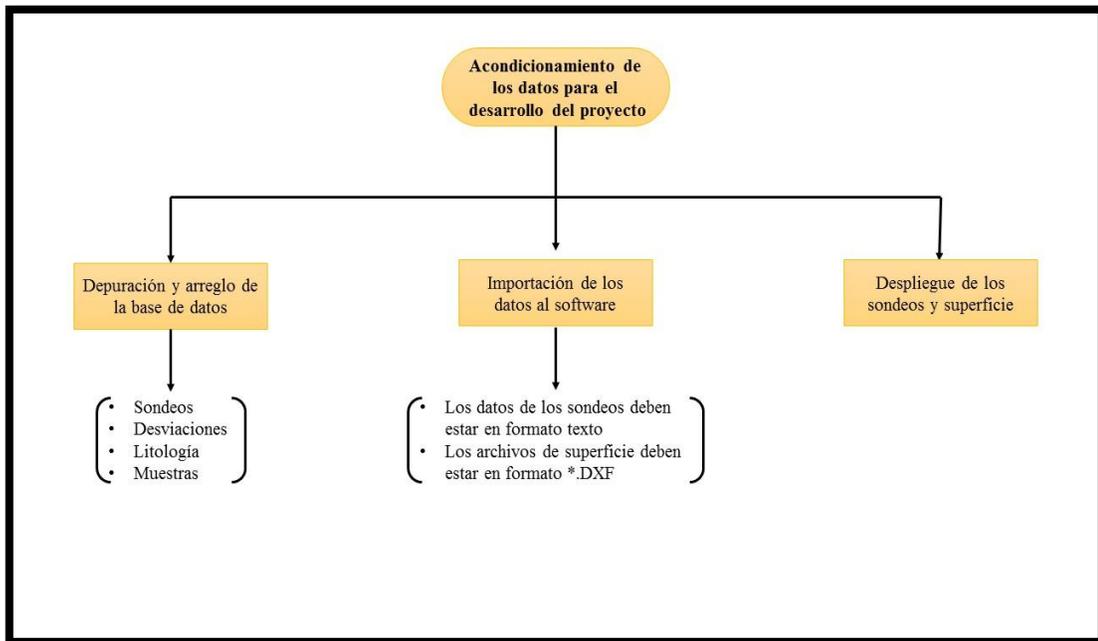
Derivado de la figura N°12, se establece el proceso metodológico el cual se llevó a cabo mediante tres etapas, descritas de la siguiente forma:

Etapa 1. Referida al Acondicionamiento de los datos para el desarrollo del proyecto

Etapa 2. Proceso para el Cálculo del Material Aprovechable y Diseño Geométrico de la explotación a Cielo Abierto

Etapa 3. Interpretación de los datos arrojados

En la figura N°13 se describe la etapa número uno del proceso metodológico indicado anteriormente:



**Figura N° 13: Etapa N°1. Acondicionamiento de los datos para el desarrollo del proyecto**  
**Fuente: Elaboración propia**

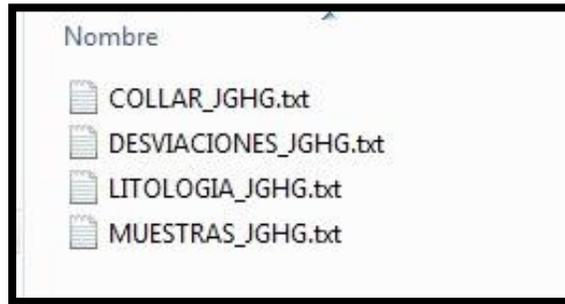
La primera etapa consistió en preparar los datos provenientes de la campaña exploratoria para desarrollar el proyecto. Se inicia este procedimiento con la depuración de los datos considerados incorrectos, incompletos, inexactos o irrelevantes, mediante el uso de una hoja de cálculo, primero se ordena los sondeos de forma ascendente o descendente a partir del campo “SONDEO”, colocamos el cursor en cualquier celda del criterio sondeos y hacemos clic en el botón “orden ascendente” como se muestra en la figura N° 14.



**Figura N° 14: Botón orden ascendente**  
**Fuente: Elaboración propia**

Luego se debe activar los autofiltros que posee la hoja de cálculo de la siguiente manera: ponemos el cursor sobre cualquier celda de la base, tomamos las opciones “**Datos/filtro/autofiltro**”, una vez realizado este paso aparecen unas flechitas junto a cada nombre de campo. Esas flechitas son los autofiltros. Funcionan como listas descolgables que sirven para verificar cada dato que contienen los campos, de esta forma finaliza la fase de depuración optimizando el proceso para la importación de los registros.

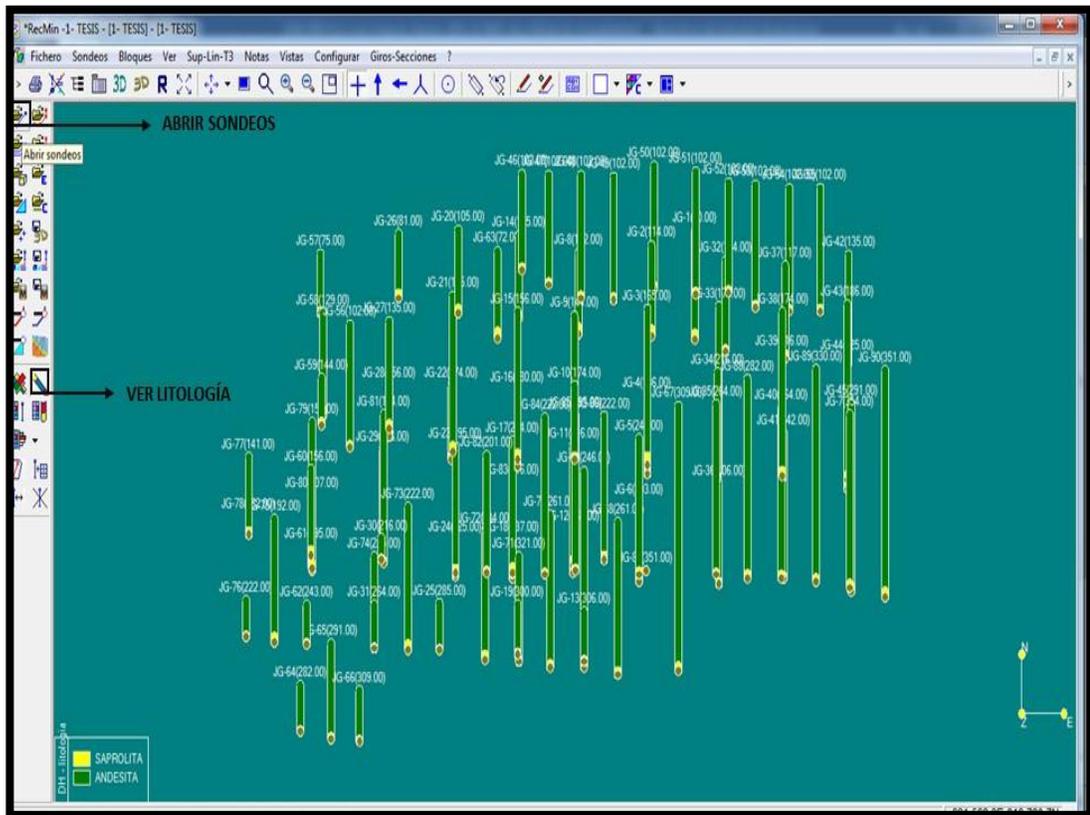
Una vez organizada la base de datos se procede a la creación de cuatro archivos (ver figura N°15) con formato de texto (\*.TXT, \*.CSV), para ser posteriormente admitidos por el software.



*Figura N° 15: Archivos en formato \*TXT  
Fuente: Elaboración Propia*

Respecto al contenido de los archivos, poseen las siguientes características. Por su parte el fichero “*collar*” comprende la coordenada norte, coordenada este y la cota del punto ubicado en la superficie de perforación, por otra parte, organizados en el fichero “*desviación*” se encuentra la orientación y longitud de cada sondeo, y por último en los archivos de “*muestras*” y “*litología*” se desglosa la información detallada por intervalos de longitud constante, el grado de concentración del mineral y tipo de roca respectivamente.

Por último, se procede a la visualización de los sondeos exploratorios correspondientes al área de estudio pulsando el botón “**abrir sondeos**” y luego “**ver litología**” como se muestra en la siguiente figura N°16.



**Figura N° 16: Detalles de los sondeos**  
**Fuente: Elaboración Propia**

De este modo se puede desplegar de manera detallada las características de los sondeos, teniendo la posibilidad de añadir atributos como, por ejemplo: Color, este representa la litología que posee el sondeo, si es verde indica la roca andesita mientras que el color amarillo sirve para mostrar la longitud que posee la saprolita, siguiendo mismo orden de ideas, el color que tienen los círculos al lado de cada sondeo indica el tenor que se esperar obtener en ese segmento. Nombre del sondeo, este se encuentra ubicado en la parte superior del sondeo ejerciendo la función de identificar el mismo. Longitud, se posiciona al igual que el nombre en la parte superior del sondeo. En la figura N°17 se muestra los atributos mencionados anteriormente. Brindando claras herramientas que facilitan las tareas del encargado de planificación.

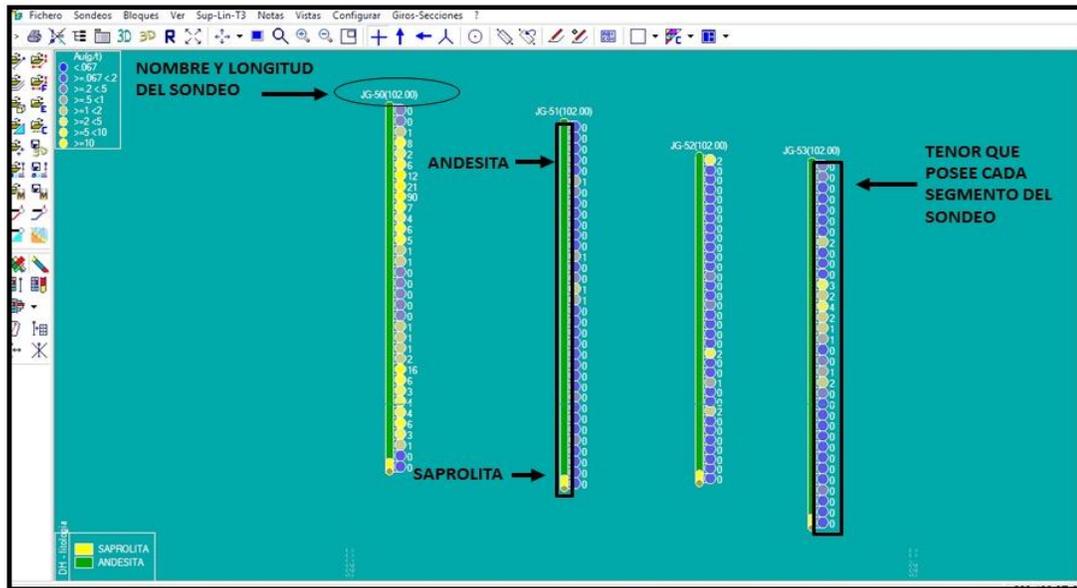


Figura N° 17: Atributos de los sondeos  
Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura N°18 muestra la segunda etapa del proceso metodológico.

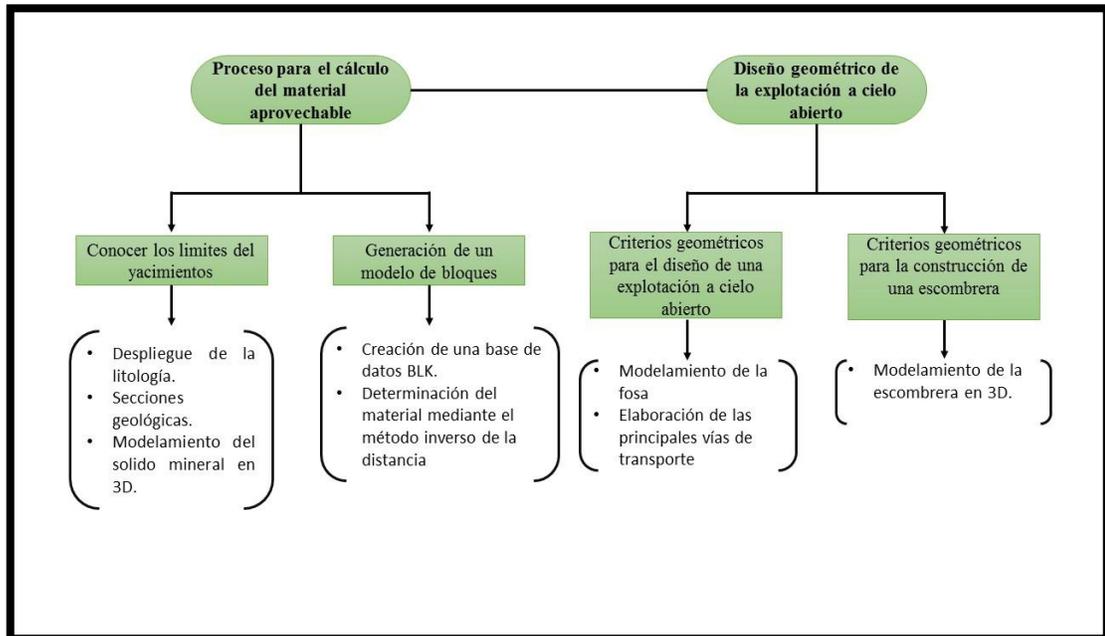
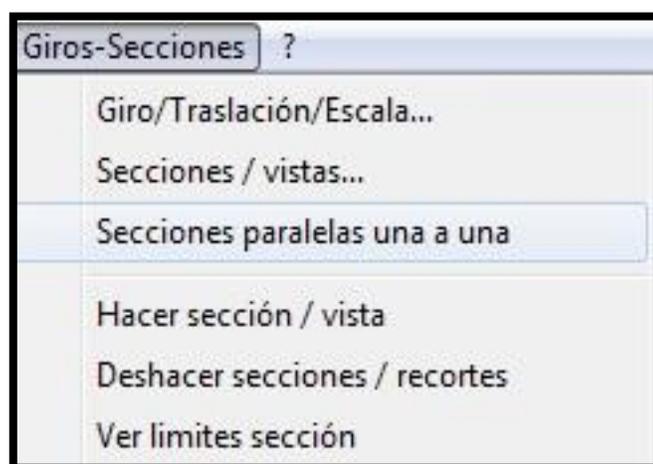


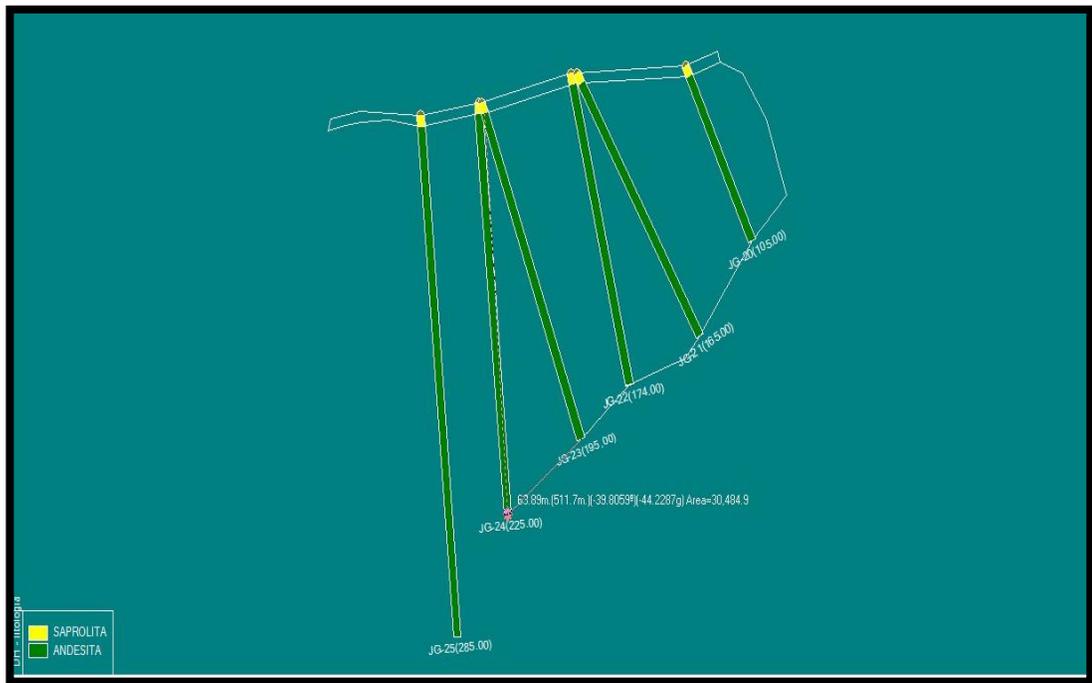
Figura N° 18: Etapa N°2. Proceso para el cálculo del material aprovechable y diseño geométrico de la explotación a cielo abierto  
Fuente: Elaboración propia

La etapa N° 2, consta de dos fases: la primera, procesamiento para el cálculo del material aprovechable, la cual se subdivide a su vez en el conocimiento de los límites del yacimiento y en la generación de un modelo de bloques. Para conocer los límites del yacimiento es necesario desplegar los sondeos y la litología asociada a cada uno de ellos siguiendo el procedimiento indicado anteriormente en la figura N°16. El despliegue de los sondeos nos ayudará a realizar las secciones verticales teniendo en cuenta los dominios geológicos para una mejor interpretación al momento de dibujar los perfiles geológicos. Para empezar con las secciones se hizo clic en “**Giro Secciones/Secciones paralelas una a una**” (ver figura N°19).



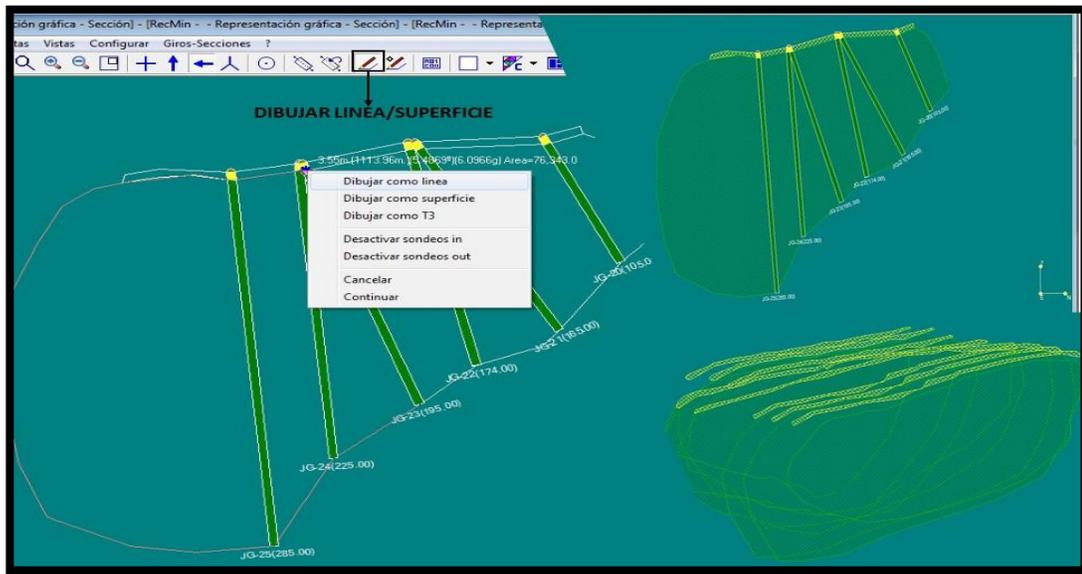
*Figura N 19: Pestaña para realizar secciones paralelas  
Fuente: Elaboración propia*

De esta forma se comenzó a generar cada una de las secciones paralelas, en dirección norte y en el plano ZE, luego en “**dibujar línea/superficie**” se procedió a dibujar cada uno de los perfiles geológicos uniendo cada segmento de sondeo de acuerdo a la litología que presentan como se puede visualizar en la siguiente figura N°20.



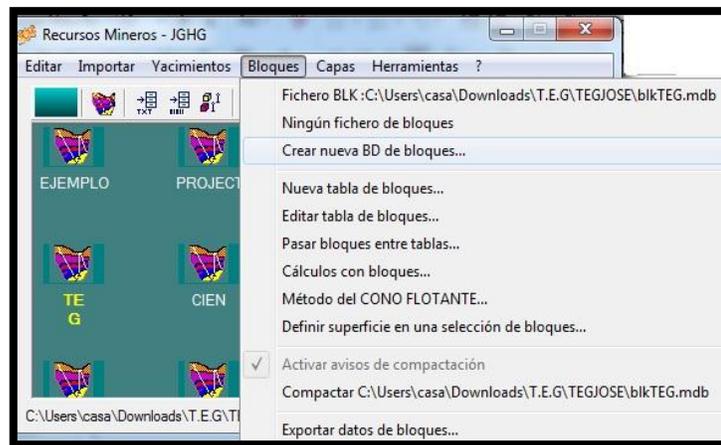
**Figura N° 20: Perfil geológico**  
**Fuente: Elaboración propia**

La figura N°21 muestra en su parte izquierda la unión de cada sondeo mediante una línea y según criterio del usuario respetando los límites litológicos, mientras que en la parte derecha superior se puede apreciar el perfil geológico luego de ser dibujado, es importante resaltar que por falta de sondeos, el usuario debe asumir la continuidad del perfil geológico y por último en la parte derecha inferior se encuentran todos los perfiles que servirán para crear el modelo geológico del yacimiento una vez unidos.



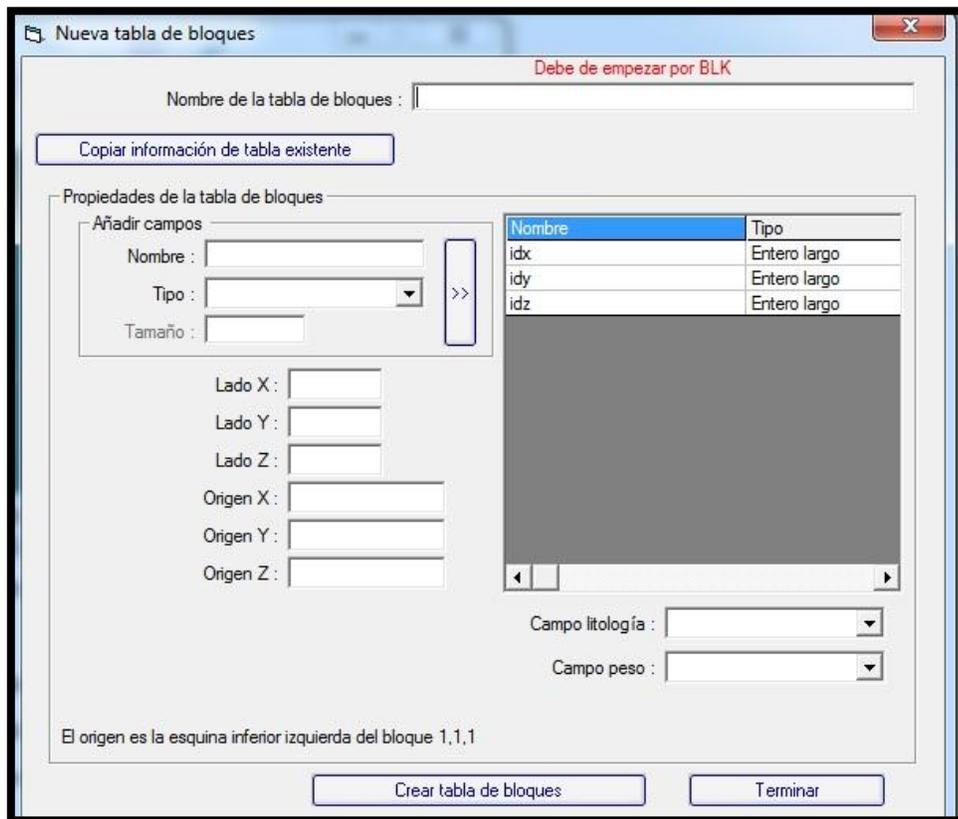
*Figura N° 21: Perfiles geológicos  
Fuente: Elaboración propia*

Con respecto a la subetapa relacionada con la generación de un modelo de bloque, es necesario la creación de una base de datos exclusivamente para los bloques (BLK) en donde todos los resultados serán guardados automáticamente allí, esta se crea en el módulo de yacimiento “**bloques / crear nueva BD de bloques**” como se muestra en la siguiente figura N°22.



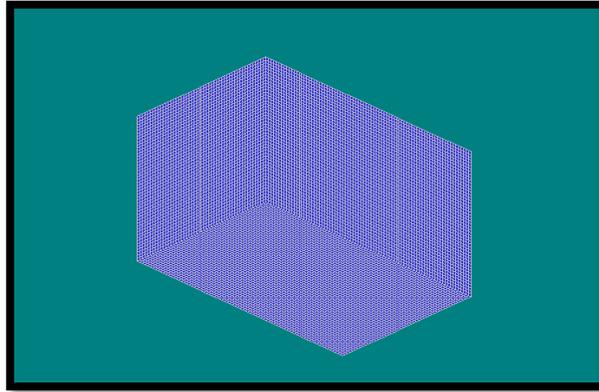
*Figura N° 22: Crear un base de datos BLK  
Fuente: Elaboración propia*

Una vez creada la base de datos se procedió a elaborar una tabla de bloques haciendo clic en “**bloques/Nueva tabla de bloques**”. La figura N°23 muestra la ventana donde se pueden agregar las variables necesarias para la construcción del modelo. Las variables utilizadas en este proyecto fueron: la densidad, el peso, la posición geográfica del bloque, la litología, las dimensiones del bloque, el tenor de cada bloque, entre otras. Las dimensiones del bloque para este modelo se tomaron 10\*10\*10 metros recordando que el tamaño óptimo del bloque para el cálculo de los recursos mediante el método inverso de la distancia, no tienen un criterio establecido, dependen en mayor parte a los parámetros geométricos de explotación.



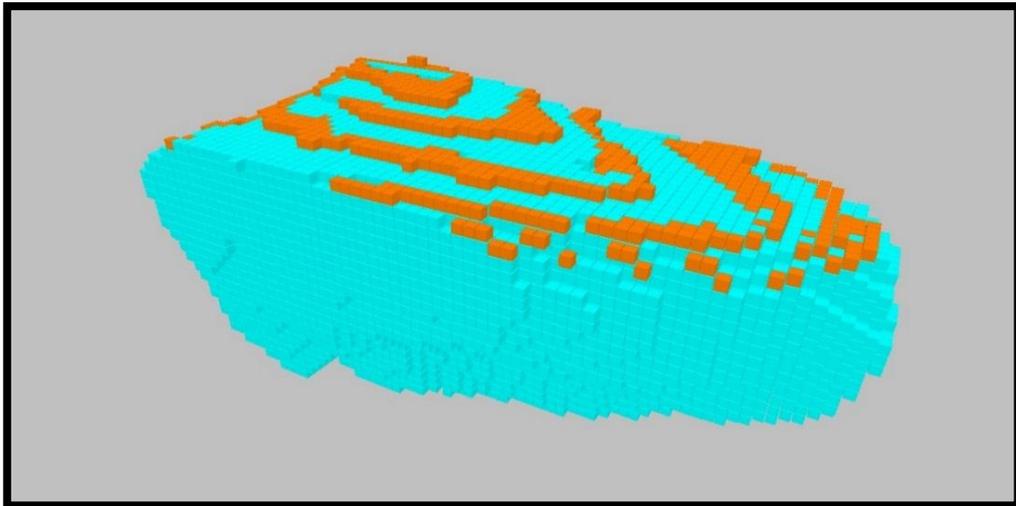
**Figura N° 23: Tabla para agregar los atributos a los bloques**  
**Fuente: Elaboración propia**

Luego de haber creado la tabla de bloques, en el módulo de dibujo se procede a visualizar los bloques pulsando las pestañas **“bloques / abrir bloques”** (ver figura N°24)



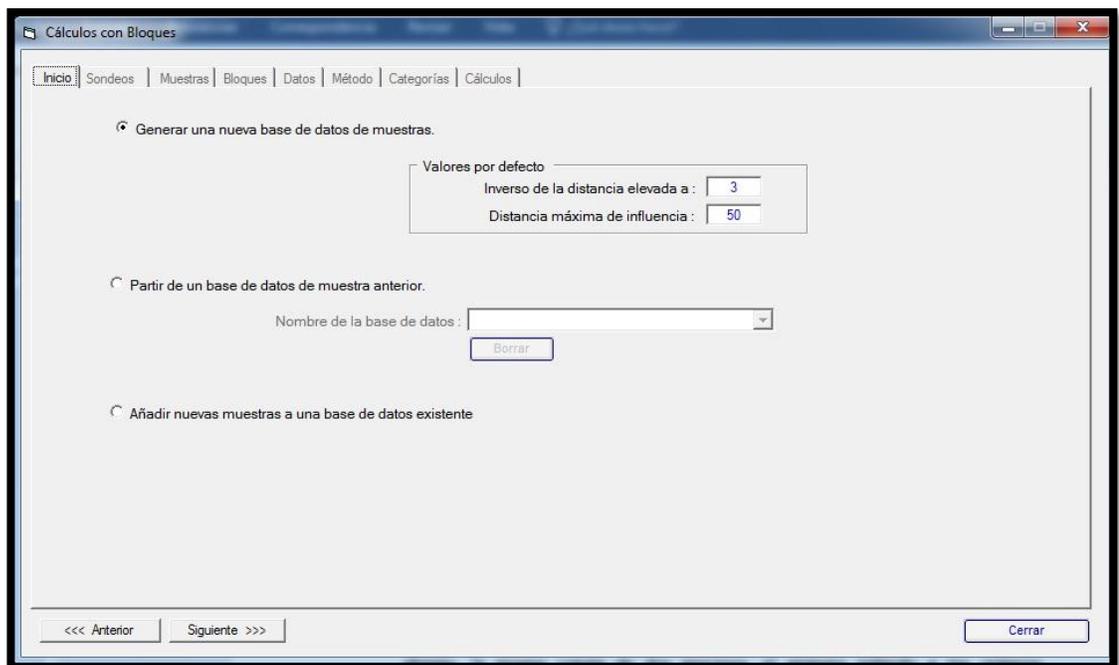
*Figura N° 24: Total de bloques creados*  
*Fuente: Elaboración Propia*

Para obtener el modelo final de bloques y calcular los recursos es necesario desactivar todos los bloques que no se encuentren dentro del modelo geológico, para eso debe hacer clic en **“bloques/activos <> desactivos”** alcanzando como resultado final un modelo como el que se muestra en la siguiente figura N°25.



*Figura N° 25: Modelo de bloques*  
*Fuente: Elaboración Propia*

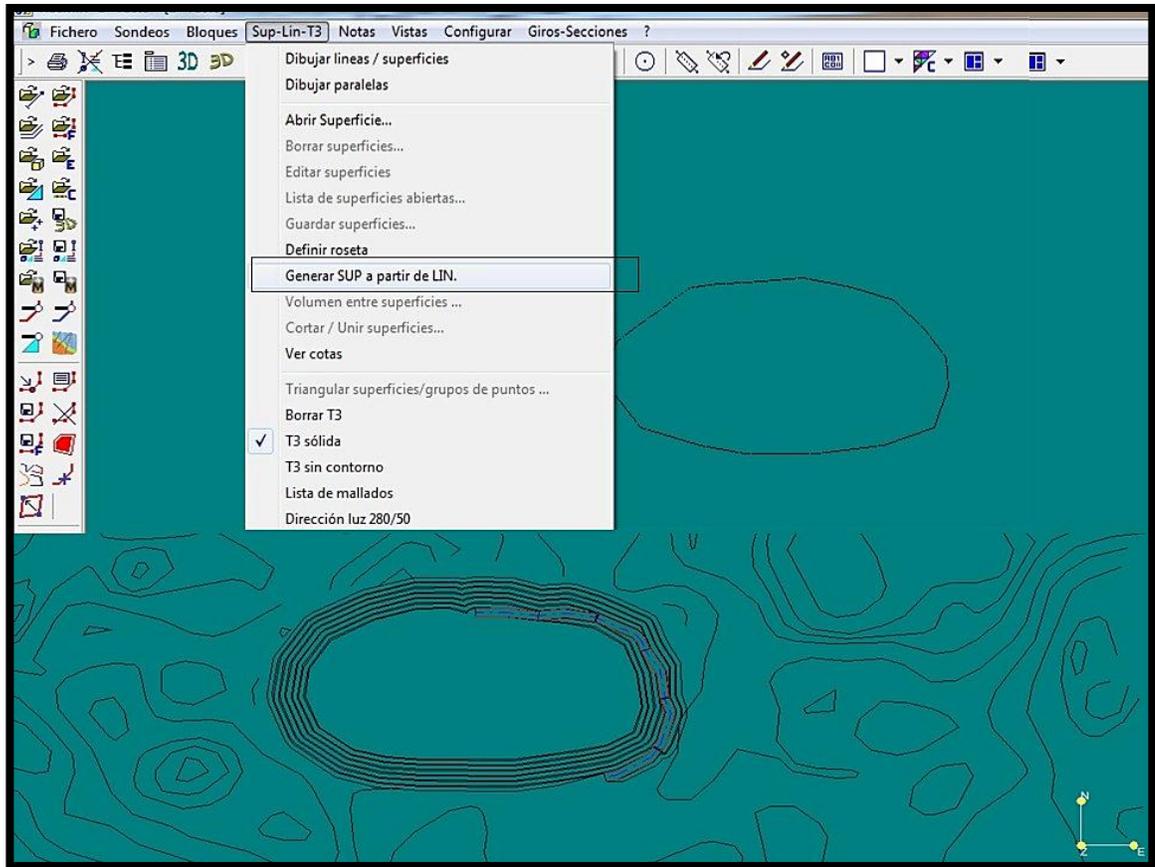
Software consta de tres métodos para el cálculo del material, a saber: el método de los perfiles, el de los polígonos y el inverso de la distancia, este último fue el utilizado para la generación del cálculo. Después de tener el modelo de bloques, en el módulo de yacimientos se pulsa el botón “**bloques / cálculos con bloques**” abriendo una ventana como la que se muestra a continuación en la figura N°26. En donde se puede agregar cada uno de los parámetros necesarios para el cálculo de recursos mediante el inverso de la distancia.



*Figura N° 26: Tabla de cálculos con bloques  
Fuente: Elaboración propia*

En cuanto a la segunda fase dirigida al diseño geométrico de la explotación a cielo abierto, la misma consta de dos procesos, el primero referido a los criterios geométricos para el diseño de una explotación a cielo abierto, a través de este se efectuó el modelamiento de la fosa. y la elaboración de las principales vías de transporte. Primero se inicia el módulo de dibujo y se procede a realizar una línea con forma de elipse haciendo clic en “**dibujar línea/superficie**”, luego se pulsa la pestaña “**SUP-LIN-T3/Generar SUP a partir de LIN**” de esta forma abre una ventana donde se

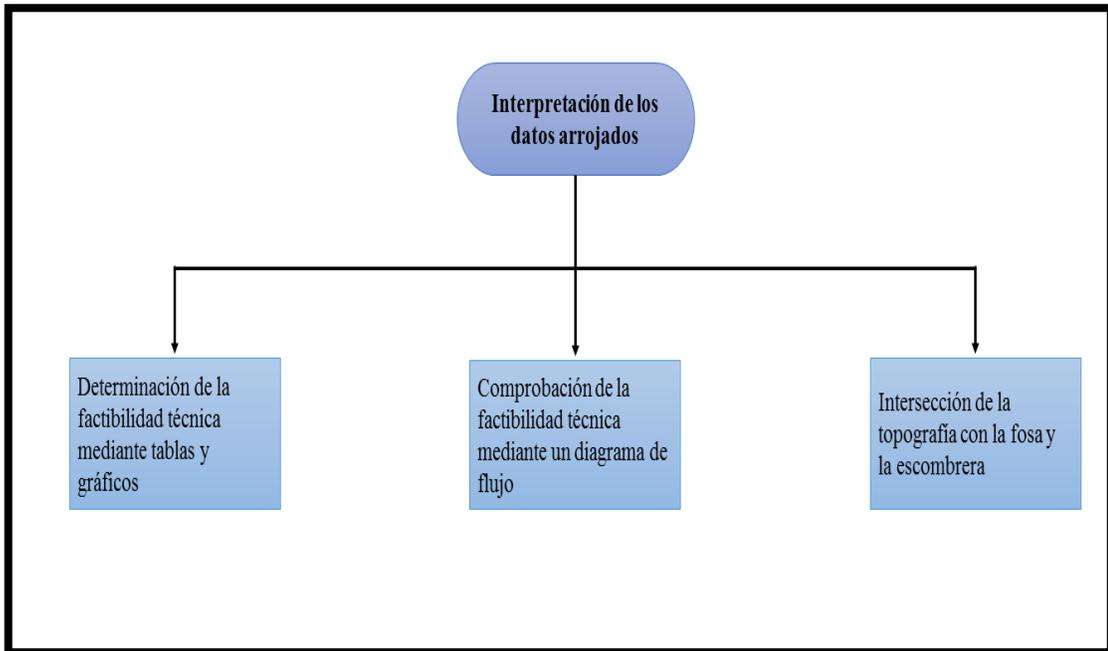
puede introducir parámetros geométricos para la construcción de la fosa y de igual manera se puede incluir los valores de los criterios para el diseño de las principales vías de transporte. La siguiente figura N°27 muestra en la parte superior el procedimiento antes mencionado y en la inferior una vez terminado.



**Figura N 27:** En la parte superior se encuentra el proceso para realizar una secuencia de explotación. En la parte inferior se encuentra la topografía modificada  
*Fuente: Elaboración propia*

De igual manera, se realizó el proceso de identificación de los criterios geométricos para la construcción de una escombrera, a través del software RecMin que como resultado final generó el modelamiento de la escombrera en 3D.

La figura N°28 muestra la tercera etapa, la cual tuvo que ver con la interpretación de los datos arrojados. En esta etapa se determinó la factibilidad técnica del software RecMin como herramienta de planificación a largo plazo, mediante tablas (comparativas y listas de cotejo) y gráficos. De igual forma, se realizó la comprobación de dicha factibilidad técnica mediante un diagrama de flujo. Posteriormente, se incorporó la intersección de la topografía original con la fosa y la escombrera como resultado final.

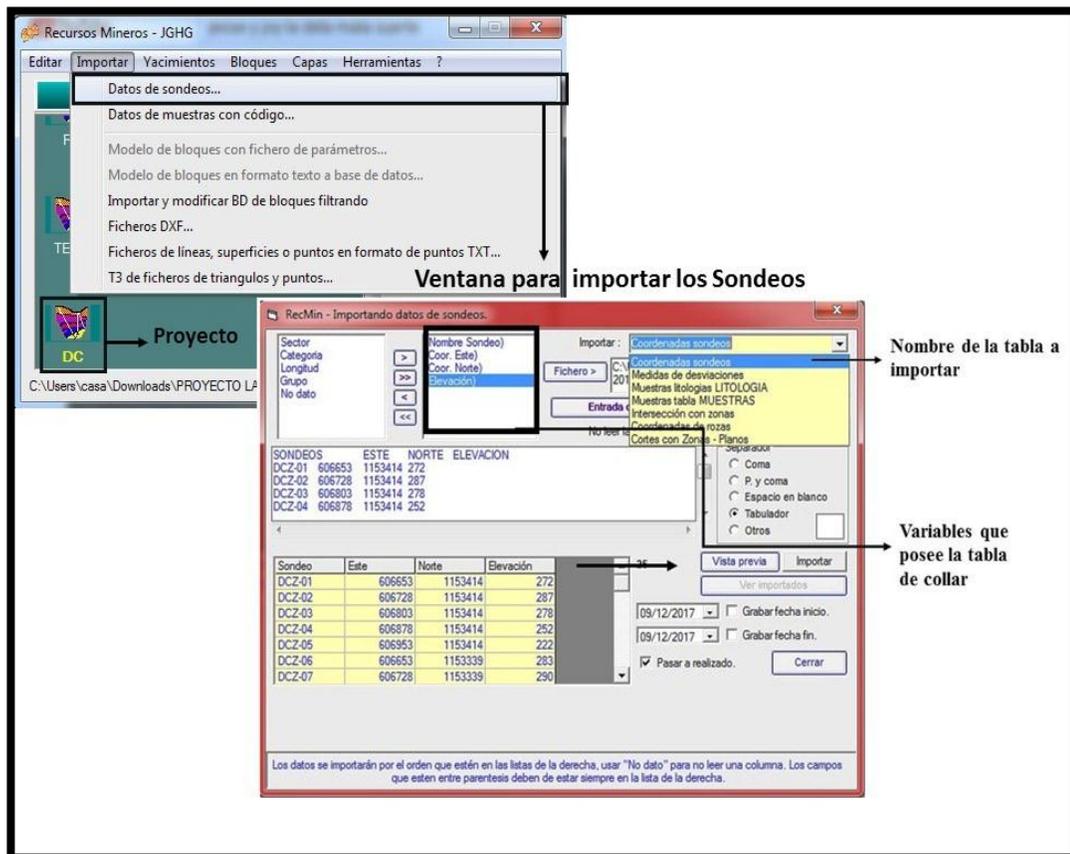


**Figura N° 28: Etapa N°3. Interpretación de los datos arrojados**  
**Fuente: Propia**

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y ANÁLISIS**

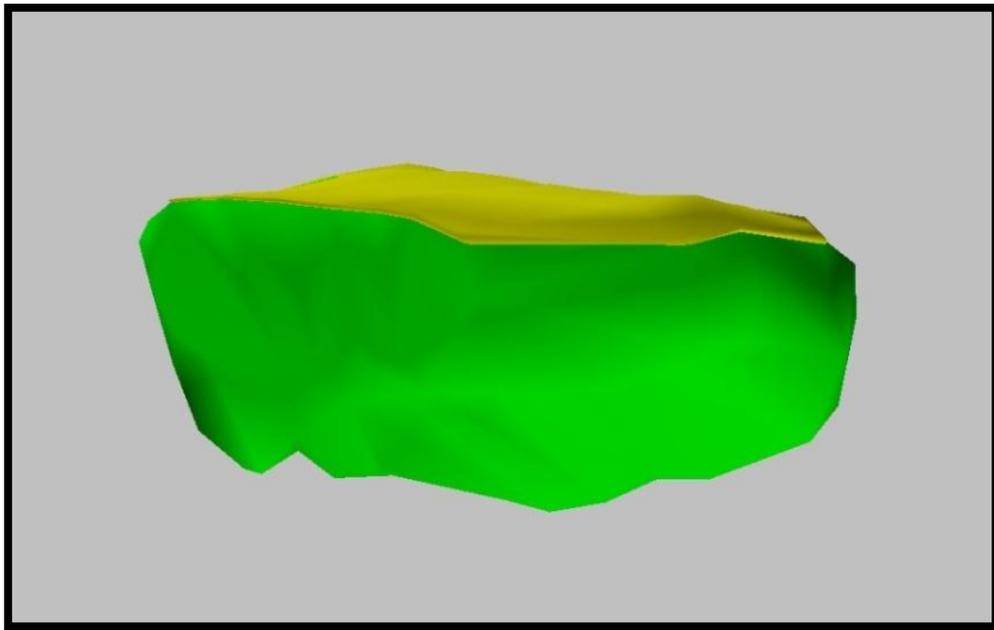
## 4.1 Modelación geológica del yacimiento en 3D partiendo de los sondeos de perforación

Para la obtención de la Modelación geológica del yacimiento en 3D, partiendo de los sondeos de perforación, en primer lugar, se comienza creando un nuevo proyecto en RecMin, es necesario un previo acondicionamiento de los datos para posteriormente ser introducidos al software. Para importar los datos requeridos se pulsa o marca el proyecto creado en el paso anterior, seguidamente en la pestaña de “importar” se seleccionó “datos de sondeos”, y por último se procede a cargar cada uno de los ficheros (sondeos, desviaciones, litologías y muestras). La figura N°29 muestra los pasos que se necesitan para importar los archivos pertenecientes a los sondeos.



**Figura N° 29: Pestañas para importar sondeos**  
**Fuente: Elaboración Propia**

Una vez cargados los datos se verificaron los mismos, desplegando el archivo con todos los sondeos y sus atributos. Seguidamente, se realizan secciones verticales paralelas entre sí, las cuales sirven para dibujar perfiles geológicos que luego serán unidos mediante el comando: “**listas de objetos/unir con T3**”. Esta es la forma en que el programa se encarga de generar un conjunto de caras triangulares que tienen un color asociado y que permitió obtener una vista tridimensional de la zona de trabajo, tal como se muestra en la siguiente figura N° 30, la cual se denomina como triangulación.



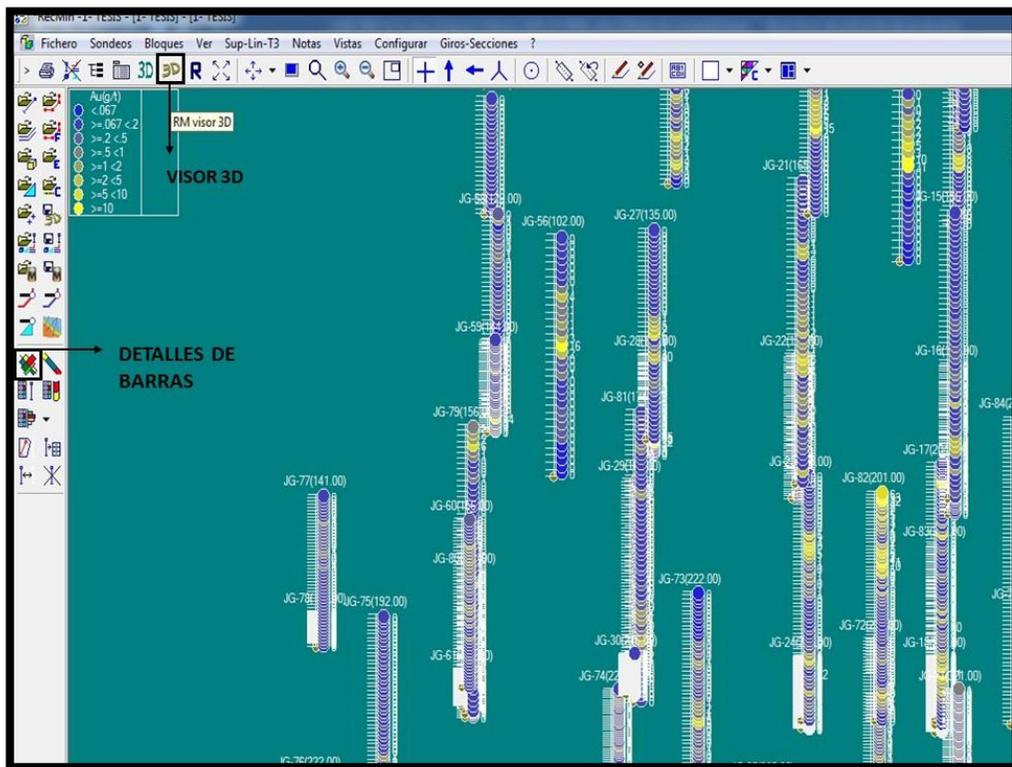
*Figura N° 30: Modelo geológico del yacimiento en 3D mediante el procedimiento denominado triangulación*

*Fuente: Elaboración Propia*

La figura N°30, es la representación del modelado geológico del yacimiento, el cual consiste en una representación tridimensional de un volumen, en este caso de material rocoso. Se considera fundamental en el análisis, el paso mencionado anteriormente, debido a que en ésta se pueden observar las especies litológicas presentes. En este yacimiento están presentes dos tipos de litologías, la primera es una saprolita (identificada con el color amarillo), con un espesor de 3 a 8 metros; y la segunda, es una andesita cuya profundidad promedio son 300 metros (identificada con

el color verde). Es importante resaltar que, para cualquier planificación minera, son fundamentales los modelos geológicos, dado que éstos son aproximaciones de la realidad siendo su principal utilidad: el cálculo del volumen del material y la simulación de modelos que permitan tomar decisiones acerca de la secuencia de extracción del material.

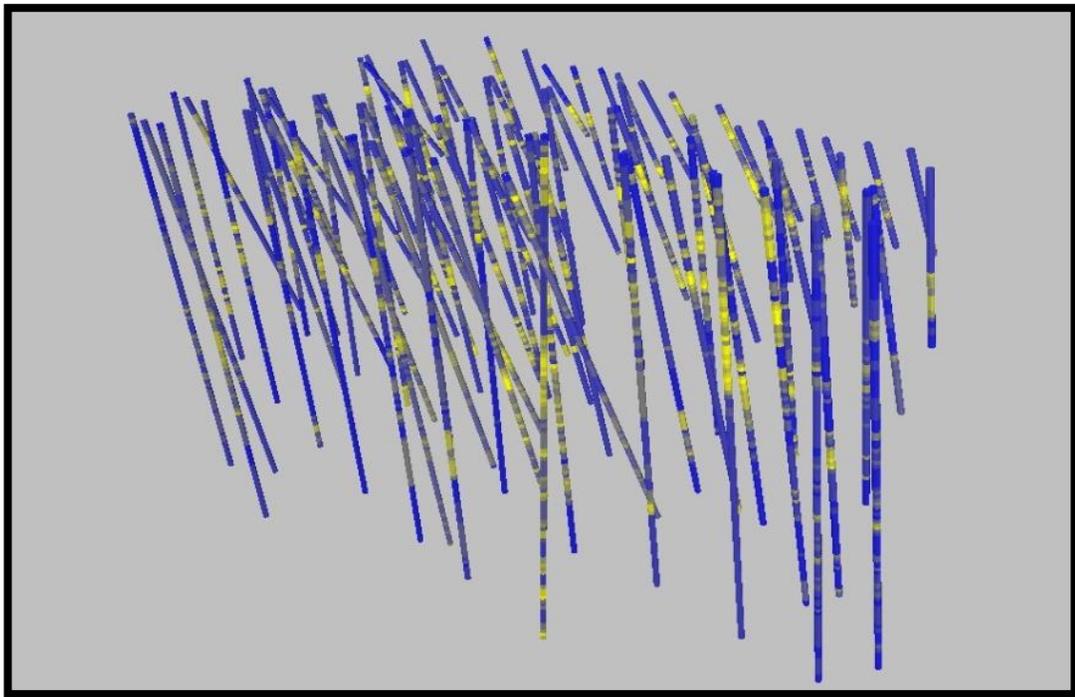
La mineralización del yacimiento se puede visualizar mediante el despliegue de los sondeos, una vez hecho clic en “**abrir sondeos / detalles de barras**” se dibujan los sondeos y sus respectivas concentraciones, como se muestran en la figura N°31.



*Figura N° 31: Tenores de cada sondeo  
Fuente: Elaboración Propia*

Para tener una mejor visión de las concentraciones se pulsa el icono del “**visor 3D**”, mostrando una ventada como la que se visualiza en la figura N°32 la cual se puede

detallar la mineralización que posee el yacimiento y llegándose a observar, que el yacimiento es de tipo **Stockworks**, el cual corresponde a cuerpos mineralizados muy complejos formados por una masa isométricas de rocas, con mineralización diseminada, como se observa en la figura N°32, en la cual se muestran los sondeos y su concentración de oro con una gradación de color que va de azul a amarillo atribuyendo este último color a aquellos que poseen mayor tenor. Este tipo de yacimientos son atravesados por un sistema intrincado de vetas que se interceptan en direcciones variadas.



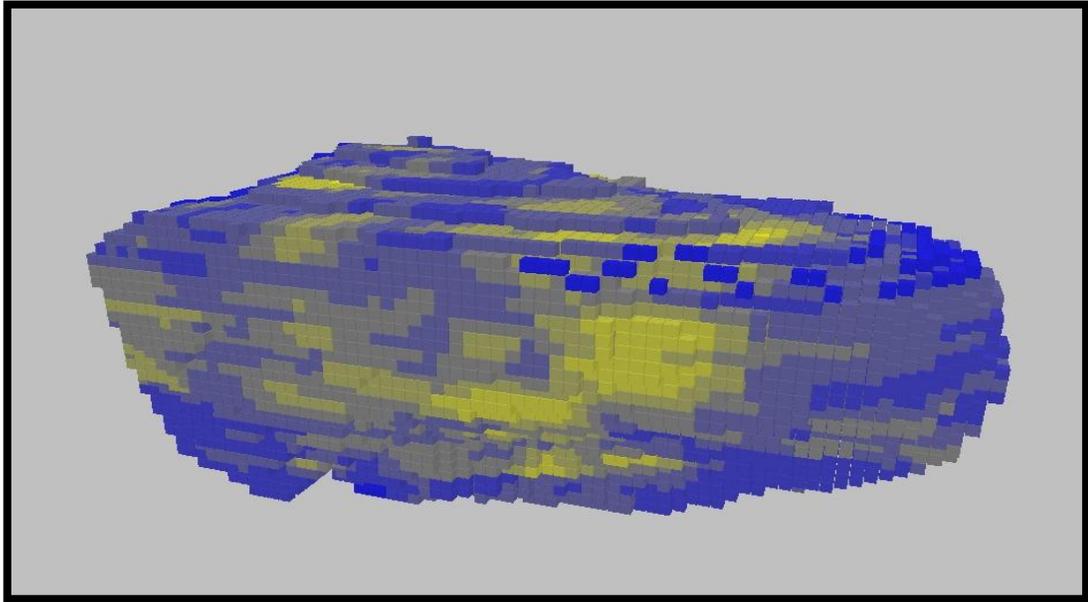
*Figura N° 32: Sondeos de perforación que muestran los diferentes tenores  
Fuente: Elaboración propia*

En este aporte del modelo geológico, se puede decir que el software RecMin permite incrementar el conocimiento de la forma, continuidad y delimitación del depósito, lo cual se realiza considerando la posibilidad que este modelo esté representado lo más cercano a la realidad.

## 4.2 Cálculo de reservas minerales según el método inverso de la distancia

Partiendo del hecho de que el mineral de interés es metálico (oro), el cálculo de volumen se inicia con la creación de un modelo de bloques (10 x 10 x 10 metros) para normalizar el yacimiento, esto debido a que se necesita conocer la concentración que presenta el depósito. En caso de que el yacimiento no sea metálico, se puede aplicar el método clásico de cálculo de reservas denominado de los perfiles, para calcular el volumen total del yacimiento. Cuando un yacimiento es de un mineral metálico, se inicia con la creación de una base de datos, dónde se almacenarán aquellas informaciones de los bloques. Éstas variables son atributos del modelo, siendo las siguientes: peso, litología (tipo), niveles (cota), concentración (calidad), densidad, entre otras. Luego de realizados estos pasos, se procede a aplicar el método de cálculo de reservas del inverso de la distancia con el fin de calcular el volumen del material aprovechable. En la aplicación de esta metodología se aplica un factor de ponderación a cada muestra que rodea el punto central de un bloque mineralizado. El factor de ponderación considerado es el inverso de la distancia entre cada muestra y el centro del bloque elevado a una potencia  $N$  que suele tomar un valor entre 1 y 3, pero en este caso se consideró en 2, a pesar de que el programa RecMin permite escoger cualquier valor, que se encuentre dentro del rango anteriormente indicado. Es importante señalar que esta elección fue arbitraria, pues no existe métodos que permitan conocer qué valor es el más adecuado.

Entonces, mediante el procedimiento anteriormente descrito se genera como resultado un modelo de bloque, tal como se observa en la siguiente figura N°32.



**Figura N° 33: Modelo de bloques generado de 10x10x10 metros que permite calcular los recursos aprovechables del yacimiento**  
**Fuente: Elaboración Propia**

Este modelo cuenta con 27.787 bloques, con una gradación de colores que va desde azul representando una concentración menor 0,067 g/T a amarillo, siendo este último color el de mayor tenor simbolizando la cantidad mayor a 10 g/T. Una vez obtenido el modelo de bloque final, se descargó una aplicación de prueba válida por 60 días perteneciente al software RecMin, que permite generar reportes del modelo de bloques, cuyos resultados se muestran en la siguiente Tabla N° 2

**Tabla N° 2: Cantidad de material presente en el yacimiento**

	Total =	27.787.000	74.533.900	0,78
LITOLOGIA	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (T)	Ley (g/T)	
<b>ANDESITA</b>	27.296.000	73.699.200	0,79	
<b>SAPROLITA</b>	491.000	834.700	0,19	

**Fuente: Elaboración Propia**

Este yacimiento consta de 2 litologías, la primera es la roca caja (Andesita) la cual presenta un volumen de 27.296.000 m<sup>3</sup>, un peso aproximado de 73.699.200 T y una ley de 0,79 g/T. Por otro lado, la segunda litología es una Saprolita con un volumen

de 491.000 m<sup>3</sup>, un peso de 834.700 T y una ley de 0,19 g/T. Esta información indica la cantidad total del material presente (o calculado) en el yacimiento, la misma permite para que el planificador de mina realice una envolvente económica, en función de aquellos recursos disponibles y de las condiciones de mercado, sobre la cual se podrá trabajar y establecer un plan minero anual. A largo plazo, se puede establecer un plan minero anual, el tamaño de la mina y la capacidad de producción de la misma.

Con relación a la exploración y evaluación de recursos, se procede a la recopilación de información acerca de las cualidades que se espera (el autor) que deben poseer software mineros especializados, para lo cual se realiza una lista de cotejo, que incluye esta exploración una serie de actividades necesarias para el cálculo de recursos minerales, la cual se le ha otorgado una ponderación en una escala del 1 al 3, cuya actividades están destinadas en verificar si el software RecMin, cumple con las expectativas en el área de planificación minera.

. Dicha encuesta, se expresa a través de la tabla N°3 siguiente:

**Tabla N° 3: Lista de cotejo referente a la exploración y evaluación de recursos**

<b>Exploración y evaluación de recursos</b>		<b>Leyenda</b>	
<b>Actividades</b>	<b>Ponderación</b>		
Administrar los datos de sondajes y muestras	3	1	Deficiente
Enlaces a bases de datos externas	3	2	Bueno
Visualiza los sondajes en 3D	3	3	Muy Bueno
Genera secciones y utiliza cortes dinámicos	2		
Análisis geoestadísticos	1		
Cálculo de reservas mediante métodos clásicos	2		
Modelado geológico interactivo en 3D	3		
Modelado para una geología compleja	2		
Genera modelos de bloques	3		

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura N°34, se muestran los resultados obtenidos en el ámbito de la exploración y posteriormente evaluación de recursos, empleando el software RecMin,

se decidió graficarla de forma circular, porque permite una buena visualización. Se obtuvo como resultado que un 56 % el software RecMin es muy bueno, un 33 % es bueno y apenas un 11 % deficiente (Ver figura N°34) con respecto a las actividades señaladas en la tabla N°3. Como aspecto resaltante, el software no permite el análisis geoestadístico de las muestras con fines del cálculo de volumen, puesto que la ponderación se ubicó en un rango de 1, es decir, deficiente, con respecto a los criterios y parámetros del programa. Sin embargo, se puede asumir que el software en su aplicación es factible en el área de exploración y evaluación de recursos, por lo que el planificador puede empleando la información obtenida reorientar o formular objetivos estratégicos que permitan continuar con la planificación previamente establecida.



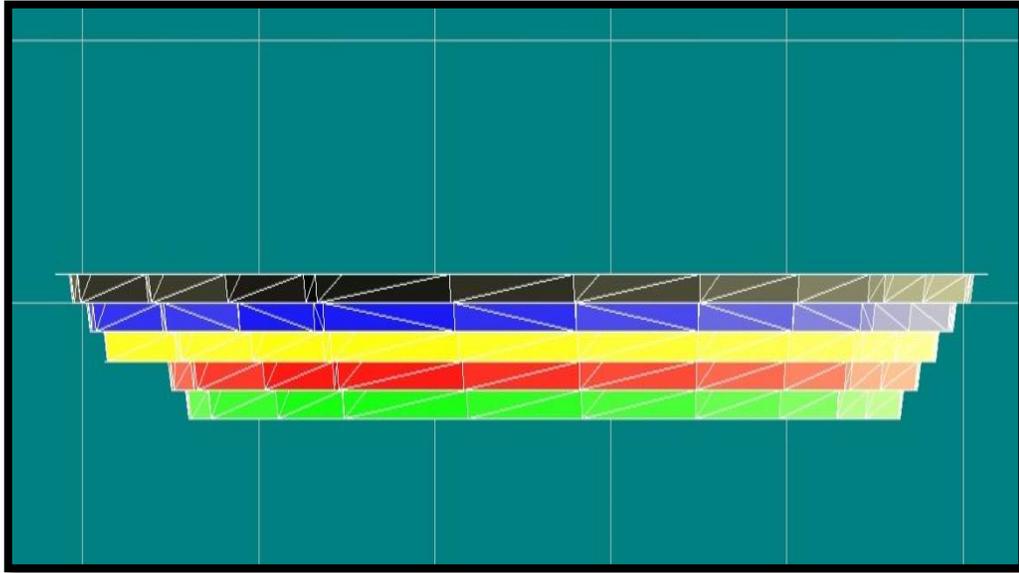
**Figura N° 34:** Gráfico de los resultados pertenecientes a la lista de exploración y evaluación de recursos

**Fuente:** Elaboración Propia

### **4.3 Elaboración de la secuencia de explotación en un periodo de cinco años mediante la actualización de la topografía.**

Como siguiente paso se desarrolló una secuencia de explotación a cielo abierto para un periodo de cinco años, mediante un banqueo descendente desde la cota 190 hasta la 140 cumpliendo de este modo una producción promedio de 10.000 T/día.

Es notable que el software RecMin establece para realizar la secuencia de explotación ciertos criterios geométricos y sus valores pueden ser introducidos según criterio del usuario (planificador). Para el caso específico de esta investigación se consideraron los siguientes criterios de diseño: altura de banco 10 metros, ancho de berma 8 metros, ángulo de talud 80°, ángulo de pit final 45°. Para ello, se dibujó una línea cerrada a la cual se le atribuye todos los parámetros descritos con anterioridad, se hace clic en la pestaña “**SUP-LIN-T3**” pulsando la opción generar “**SUP a partir de LIN**”, de esta manera se generan cada uno de los niveles pertenecientes a la secuencia de explotación, la etapa N°2 de la metodología en la fase dirigida al diseño geométrico de la explotación a cielo abierto (página 77) se explica de forma detallada este proceso. Se recomienda que el usuario del software RecMin debe poseer el siguiente perfil: ser estudiante o profesional en el área de ciencias de la tierra, dominar conceptos geológicos de exploración, así como, la metodología para el cálculo de recursos minerales. Es importante resaltar que debe conocer cada aspecto relacionado con la minería como, por ejemplo: los parámetros geométricos para el diseño de un pit, criterios para la construcción del sistema de vías de transporte y acarreo, además de los criterios para la construcción de escombreras, con la finalidad de que el usuario pueda tener unos criterios para evaluar los resultados obtenidos después de cada proceso. La figura N°35 muestra cada uno de los niveles que representa la extracción del material para un periodo de cinco años.



**Figura N° 35: Vista de perfil de la secuencia de explotación**  
**Fuente: Elaboración propia**

En este modelo, el primer nivel identificado con color negro, el cual representa el material que hemos decidido extraer el primer año y cuyo volumen será de 980.000m<sup>3</sup>, (unas 2.864.000 toneladas). La ley de este material es de 1,32 g/ton, marcada en color azul. Para el segundo año, el material a extraer estaría entre las cotas 190 y 180. La tabla N°4 muestra el material a extraer por año para completar la secuencia de explotación.

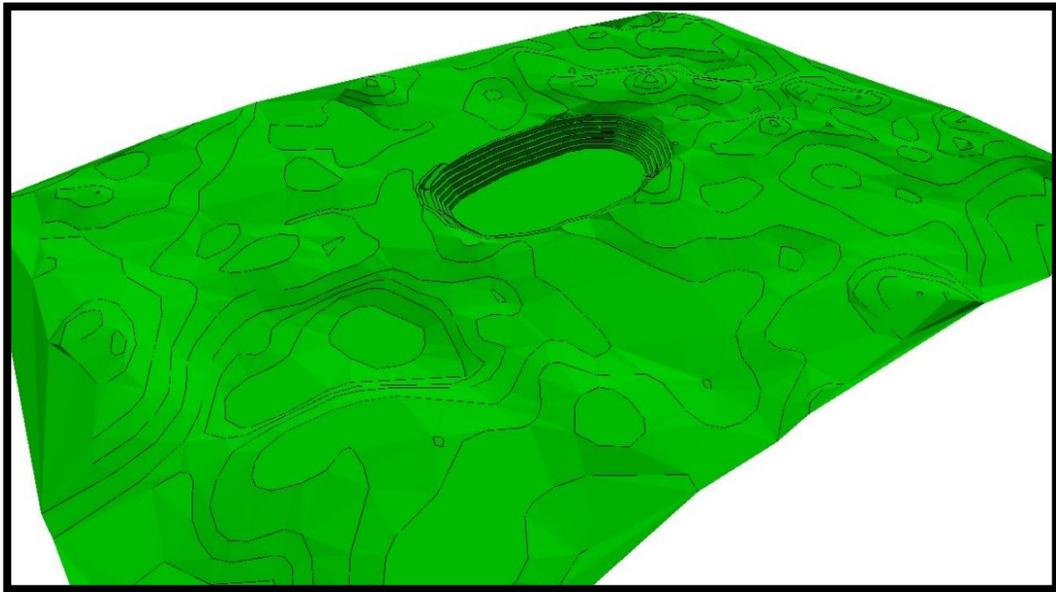
**Tabla N° 4: Cantidad de material a extraer en un periodo de cinco años**

<b>Secuencia de explotación</b>					
<b>Año</b>	<b>Color</b>	<b>MCB</b>	<b>T</b>	<b>Ley g/T</b>	<b>Cotas</b>
1	Negro	978000	2780100	1.83	190
2	Azul	784000	2116800	1.27	190 y 180
3	Amarillo	751000	2027700	1.41	170
4	Rojo	980000	2864000	1.32	160 y 150
5	Verde	917000	2475900	1.31	150 y 140

**Fuente: Elaboración propia**

Es importante mencionar que RecMin también permite la obtención de una secuencia de explotación mediante el método del cono flotante. Este método sirve para determinar los límites económicos de la explotación, el software le permite al usuario ingresar los valores de las diferentes variables: costos de explotación, costos de beneficio mineral, modelo de bloques (valor económico) y ángulo de pit final. RecMin aplica automáticamente el algoritmo y devuelve como resultado final la cantidad total de niveles esperados en la mina. Esta segunda forma o método no se desarrolla en este trabajo debido a que se requiere más información cuyos datos no estaban disponibles o se desconocían

En este orden de ideas, se muestra el resultado final de la topografía modificada para un periodo de cinco años, a través de la figura N° 36, siguiente:



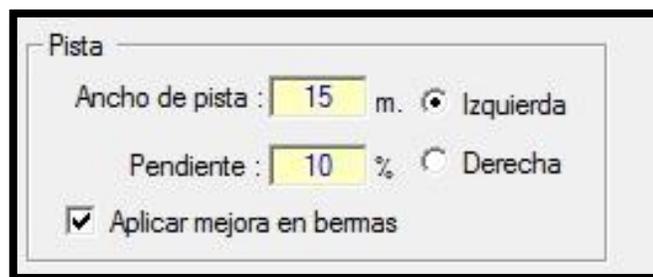
*Figura N° 36: Topografía modificada para un periodo de 5 años  
Fuente: Elaboración propia*

En la figura N°36 se puede visualizar la intersección de la topografía original con el dibujo del Pit final esperado luego de haber realizado la extracción de material durante un periodo de cinco años. Para realizar la intersección de la superficie de la

fosa final con la topografía original se utiliza la pestaña “**Sup-lin-T3**” y la opción “**Cortar/Unir superficies**”. El resultado de esta acción es la representación visual de la topografía modificada con las siguientes características: 50 metros de profundidad y una percepción elíptica con un radio mayor 500 m y un radio menor de 250m. Es importante que el planificador de minas conozca la topografía original debido a que está íntimamente ligada al centro de las operaciones mineras, operaciones auxiliares y soporte de minas. Una vez interceptados los avances con la topografía se podrá visualizar el área afectada por la explotación y a su vez la cantidad de material extraído durante el periodo establecido.

#### **4.4 Sistema de las principales vías de transporte según criterios de diseño geométricos.**

Para el planificador de Minas, el diseño de las principales vías de transporte se debe construir procurando cumplir con los criterios geométricos los cuales vienen dados por las dimensiones de los equipos que trabajaran en las operaciones mineras, en este caso se especifican de la siguiente manera: ancho de vía, pendiente de la vía, peralte, ancho de curvatura, visibilidad, pendiente transversal, sobreechanos y bermas mineras. El cumplimiento de todos estos criterios le garantiza al planificador la seguridad laboral para las personas y equipos que laboran en estas operaciones. El software RecMin para la creación de la vialidad necesita de tres parámetros geométricos: ancho de vía, la pendiente de la pista y la trayectoria hacia dónde se dirige (izquierda o derecha), como se evidencia en la figura N°37:



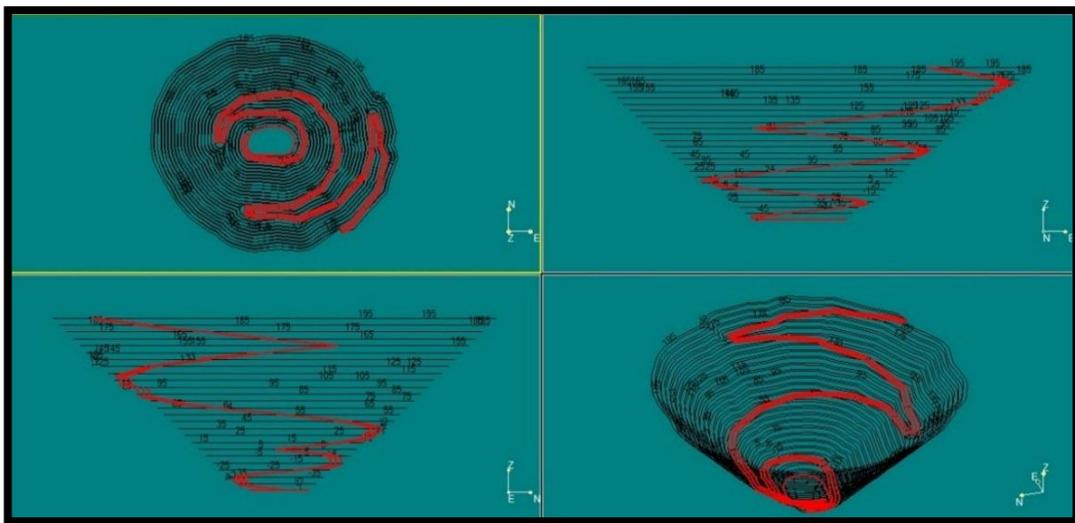
The image shows a software window titled "Pista" with the following controls:

- Input field: Ancho de pista : 15 m.
- Radio button:  Izquierda
- Input field: Pendiente : 10 %
- Radio button:  Derecha
- Checkbox:  Aplicar mejora en bermas

*Figura N° 37: Ventana para crear las vías con RecMin  
Fuente: Elaboración propia*

Las vías son creadas de manera simultánea con el pit, los parámetros como: el peralte, la visibilidad y ancho de curvatura son incorporados automáticamente por el software RecMin, mientras que otros criterios como: sobreeanchos, bermas mineras y pendiente transversal, no son considerados por RecMin, viéndose en la obligación el planificador que efectuarlos de forma manual.

Como resultado del proceso anteriormente descrito, se muestra en la siguiente figura N° 38 el sistema de vías propuesto para el acceso a este modelo de mina.



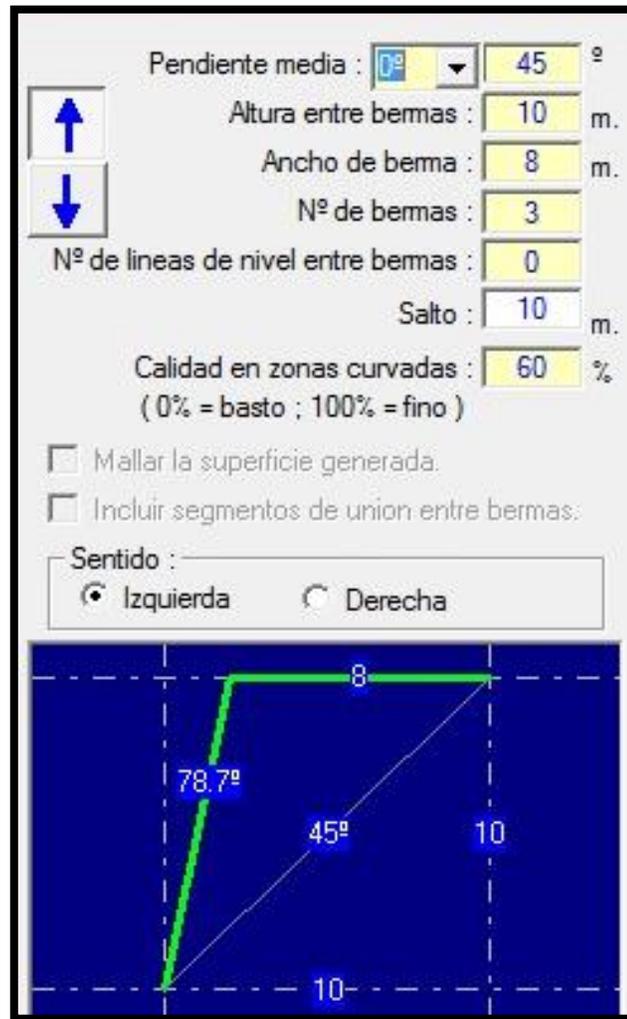
*Figura N° 38: Sistema de las vías para el acceso a la mina  
Fuente: Elaboración propia*

En ella se observa una vista panorámica de los planos: NE, ZE, ZN, y una percepción visual 3D. Ahora bien, la trayectoria demarcada con la línea de color rojo simboliza la vía de acceso a la mina la cual posee ciertos atributos a saber: ancho de la vía 15 m, pendiente de la misma 10 % y longitud de la vía 2.500 m. Las líneas de color negro representan los 29 niveles de la fosa, para un total de 290 m de profundidad. RecMin, también puede incorporar etiquetas que sirven como punto de observaciones a diferentes tramos de las vías, permitiendo de esta manera al planificador tener un control más detallado del sistema de vialidad. Esto puede facilitar una mejor gestión de los equipos mineros y que permitan planificar para garantizar un desgaste menor

durante proceso de explotación y que a su vez repercute positivamente minimizando los costos por concepto de repuestos de los equipos. Así como también, puede disminuir el tiempo de parada de dichos equipos por concepto de reparación debido a este control desde la planificación minera asistida por computadora con software minero especializado.

#### **4.5 Aplicación de criterios geométricos para la construcción de escombreras con software RecMin.**

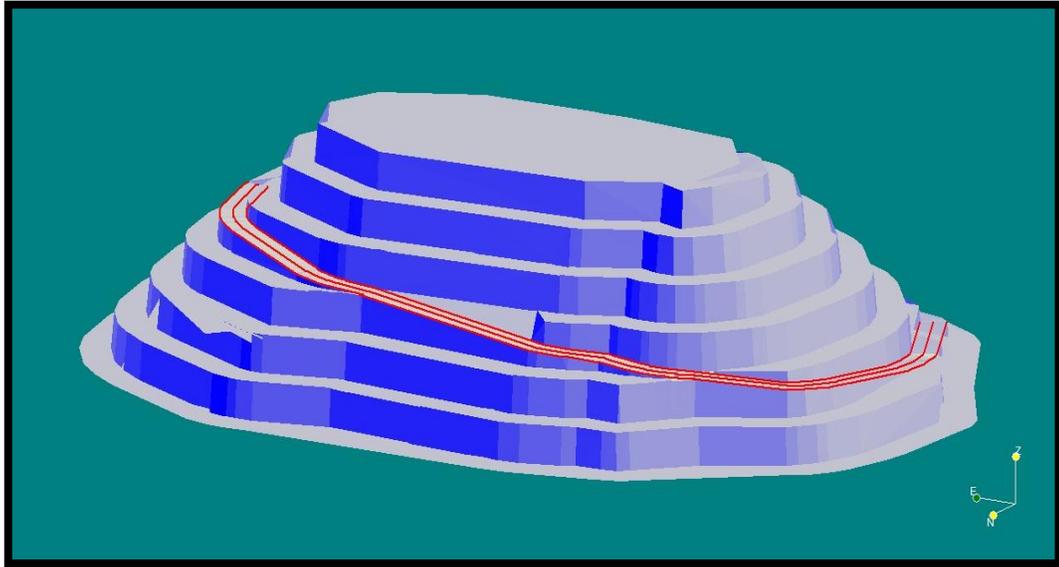
Las escombreras por lo general se construyen mediante una serie de elevaciones o plataformas ya sea en secuencia ascendente o descendente. El software RecMin para la construcción de una escombrera, permite el diseño con una serie de parámetros a considerar: altura de banco, ancho de bermas, número de bermas a crear, ángulo general de la escombrera, número de líneas de nivel entre bermas (subniveles), secuencia ascendente o descendente. Es importante mencionar que el parámetro **“salto”** (distancia entre subniveles) es un valor que el software no le permite establecer al usuario, RecMin automáticamente lo modifica al momento que el usuario ingresa la cantidad de subniveles que desea tener en cada banco. Además, se puede incluir las pistas de acceso a la escombrera solo requiriendo los siguientes parámetros: ancho y pendiente de la pista. Para obtener la escombrera con RecMin es necesario dibujar una línea cerrada la cual se le aplicará en la pestaña **“sup-lin-t3”** la opción **“Generar SUP a partir de LIN”**. Una vez realizado este paso, el software abrirá una ventana como la que se Muestra a través de la figura N°39 en donde el planificador puede ingresar cada uno de los valores que corresponde a los parámetros anteriormente mencionados.



**Figura N° 39: Ventana para dibujar una escombrera**  
**Fuente: Elaboración propia**

En la figura N°39, se pueden ingresar los valores necesarios para la construcción, la cantidad de material a depositar y la ubicación de dicha escombrera. Estos criterios son criterios del planificador y a través del software se permite visualizar la topografía de manera que el usuario establezca una idea de la morfología (forma) del lugar. Taylor y Greenwood (1981) afirman que “la configuración y el tamaño de la escombrera de mina tienen una relación directa con su estabilidad”. El software RecMin permite al usuario ingresar tres variables consideradas primarias para la creación de la escombrera: altura, volumen y ángulo general de la escombrera. Una vez

ingresado los datos correspondientes se obtiene el diseño final de la escombrera la cual es mostrada en la figura N°40.



*Figura N° 40: Diseño final de una escombrera  
Fuente: Elaboración propia*

A través de dicha figura, se observa que la escombrera cuenta con siete bancos, con una altura de 20 m y un sistema de vía de acceso (demarcada con la línea roja) con una pendiente de 10 %, y un ancho de 15 m. El volumen total de la escombrera diseñada es de 9.800.000 m<sup>3</sup>. Por otro lado, la incorporación de la escombrera ofrece el beneficio de identificar tempranamente en la planificación minera la distancia de acarreo de material estéril proveniente de las áreas de explotación, así como el establecimiento de los sectores dónde es pertinente la rehabilitación y reforestación para el cierre de mina.

#### **4.6 Ventajas y desventajas del software RecMin con respecto a las herramientas de dibujo no especializadas.**

Los softwares mineros actualmente ofrecen solucionar los requerimientos de las actividades que debe desarrollar un planificador de mina. En este caso, se decide comparar al software RecMin con las herramientas de dibujo no especializada

ampliamente empleadas en unidades productivas mineras. Para tal efecto, se establece una tabla comparativa conformada por doce (12) ítems o reactivos de actividades que se consideran inherentes a la planificación minera a largo plazo. Los resultados se muestran en la siguiente tabla N°5:

**Tabla N° 5: Tabla comparativa de RecMin con respecto a herramientas para dibujo no especializadas en minería**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>RECMIN</b>	<b>HERRAMIENTAS DE DIBUJOS NO ESPECIALIZADAS</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Herramienta para realización de interpretación geológica.	✓	×	RecMin posee herramientas para interpretar secciones geológicas, construcción de perfiles geológicos.
Cálculos de volúmenes.	✓	✓	De acuerdo al tipo de material RecMin puede utilizar el método de los polígonos o el inverso de la distancia.
Creación e importación de puntos y superficies topográficas.	✓	✓	Ambos softwares son compatibles con otros programas de dibujos asistido por computador.
Creación e importación de datos de una campaña de perforaciones.	✓	×	Las herramientas de dibujo no especializadas no permiten agregar atributos de tipo geológicos.
Optimizador de pit.	✓	×	RecMin cuenta con el método del cono flotante.
Herramientas para el diseño de vías de acarreo y transporte.	✓	✓	RecMin puede realizar las vías en simultaneo con el pit.
Herramienta para el diseño de patrones de voladura.	×	×	El módulo de RecMin para realizar patrones de voladura es privativo.

Herramientas para el diseño y construcción de escombreras.	✓	✓	Ambos softwares poseen excelentes herramientas para el diseño de una escombrera.
Herramientas para la construcción de un modelo de bloques.	✓	×	Los cómputos del modelo de bloques pueden ser exportados a softwares geoestadísticos.
Herramientas para el diseño de explotación.	✓	✓	Ambos softwares permiten realizar secuencias de explotación.
Visor 3D.	✓	✓	Permite una mejor visión espacial del proyecto.
Software gratuito.	✓	×	Algunos módulos de RecMin son privativos.

✓ : *Cumple con la actividad*

× : *No cumple con la actividad*

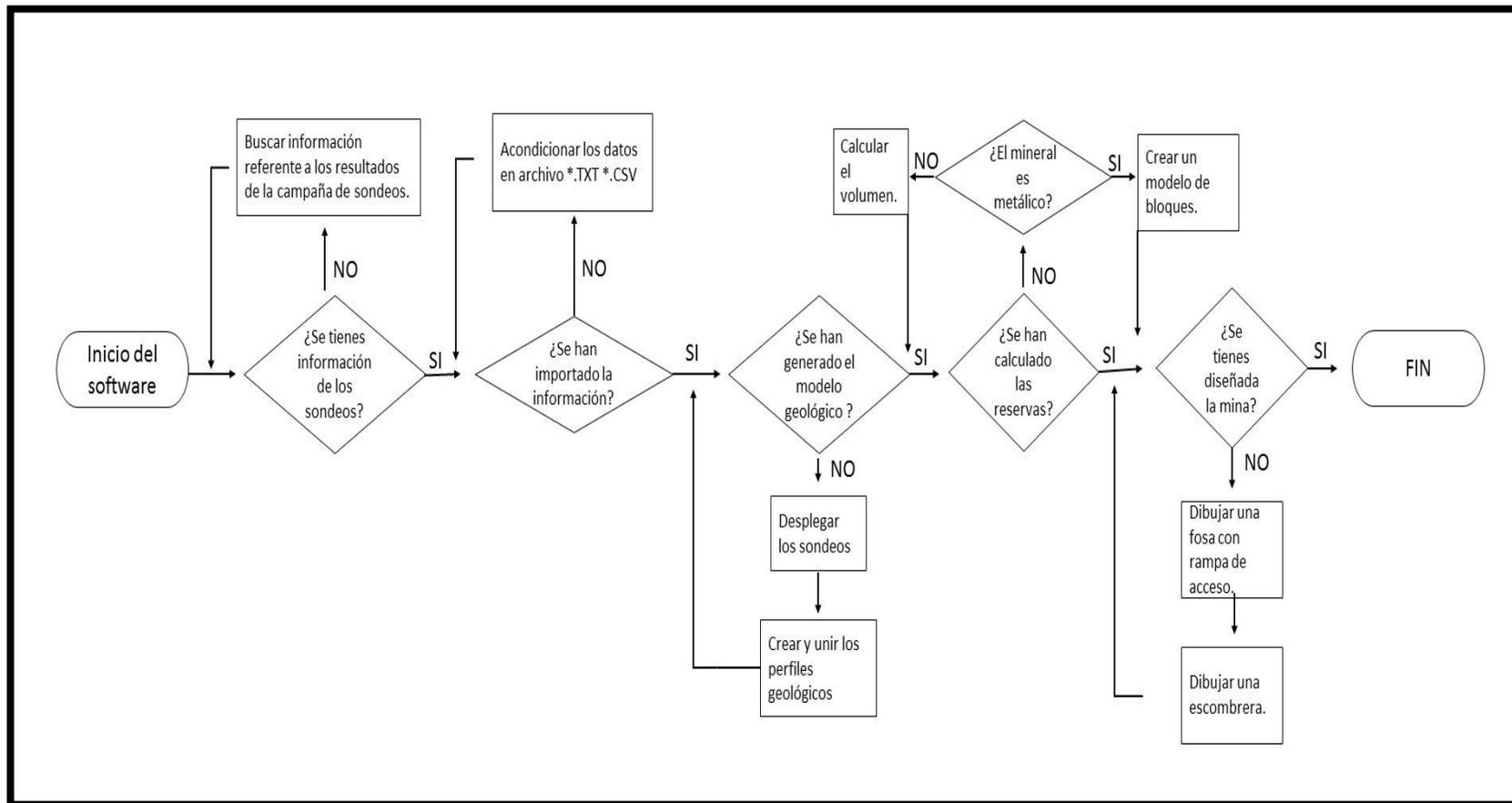
Del análisis se deriva que, el Software RecMin, cumple con un 92 % de las actividades consideradas necesarias para la planificación minera, mientras que las herramientas de dibujo no especializadas apenas cumplen en un 50 %. Se resalta que el software RecMin, incumple con las herramientas para el diseño del patrón de voladura, siendo este lineamiento de gran importancia para el arranque de material en el proceso de producción. Esta falta o carencia puede repercutir en el proceso de planificación Minera a largo plazo. El software RecMin abarca desde las fases de exploración, evaluación de recursos, diseño de minado, optimización hasta el control de leyes de producción. El abordaje de estas actividades las carece las herramientas de dibujo no especializadas en minería.

Es de creciente interés para los planificadores mineros contar con un software que permita convertir complejos datos de campos en información visual de imágenes interactivas y dinámicas en 3D que puedan facilitar su comprensión de análisis y

entendimiento, siendo esta una ventaja del software RecMin en comparación con otros softwares no especializados.

#### **4.7 Evaluación de la factibilidad técnica del software RecMin aplicando un algoritmo lógico de planificación a largo plazo.**

Posterior a ser verificadas la totalidad de las variables que se consideran conforman el proceso de planificación minera a largo plazo, se procede a continuación a evaluar la factibilidad técnica del software RecMin, mediante el chequeo sistemático del cumplimiento de las actividades requeridas para consolidar una planificación de largo plazo. En virtud de esto, se elabora el siguiente flujograma (figura N°41) dónde se muestra el perfil de las actividades necesarias para la planificación a largo plazo, empleando el software RecMin como herramienta.



**Figura N° 41: Flujograma para la planificación de largo plazo con el software RecMin**  
**Fuente: Elaboración propia**

Para comenzar un nuevo proyecto, el planificador requiere la información de los sondeos provenientes de la campaña de la campaña de exploración. Seguidamente, se procede a la importación de los datos en formatos compatibles con el software RecMin: \*txt, CSV o ASCII. Es importante que antes de comenzar el usuario garantice que los datos se encuentran en algunos de estos formatos, puesto que, de lo contrario, el software no lo reconocerá arrojando un error.

En tercer lugar, se crea el modelo geológico del yacimiento, mediante el despliegue de los sondeos, realizando y uniendo los perfiles geológicos, lo cual debe obtenerse como resultado la triangulación del yacimiento. Este procedimiento conlleva al cálculo de los recursos, siendo esta información de gran importancia para conocer el tipo y cantidad de material a extraer, si el material es un no metálico, el volumen se calcula empleando el método de los perfiles, en caso contrario, si el material es metálico se necesita crear un modelo de bloques (con valores económicos para cada uno) que permita normalizar el yacimiento y proceder al cálculo de los recursos mediante el método inverso de la distancia.

El último y no más importante paso en la planificación de largo plazo es el diseño de la mina, creando también sus respectivas rampas de acceso (vías). Al mismo tiempo, el planificador de soporte de minas está en proceso de creación de la escombrera, dónde se depositará aquel material que no cumple con la ley de corte o que está dentro de la relación de remoción promedio del yacimiento.

La suma de todos los procedimientos y procesos necesarios para ejecutar una planificación minera de largo plazo ha demostrado que el software RecMin tiene factibilidad necesaria para ser empleado como herramienta en estas actividades.

Por otro lado, en los trabajos de diseño y desarrollo minero, se pudo establecer mediante una lista de cotejo, acerca de la factibilidad del software RecMin con estos fines. Para ello, se evaluarían aspectos denominadas actividades que se consideran deben llevarse a cabo en las tareas propias de la planificación como es diseño y desarrollo minero, empleando el criterio: efectividad de la acción y adjudicándole una

valoración del 1 al 3 (1 deficiente, 2 bueno y 3 muy bueno), en términos de aplicabilidad del software. Dicha lista de cotejo estima ocho (8) ítems que se consideran necesarios en la planificación de largo plazo, en el diseño y desarrollo minero y permite la verificación de los criterios o actividades mediante la ponderación o escala de medición anteriormente señalada. En la tabla N°6 se puede visualizar la lista de cotejo utilizada para verificar las actividades para el diseño y desarrollo minero

**Tabla N° 6: Lista de cotejo referente al diseño y desarrollo minero**

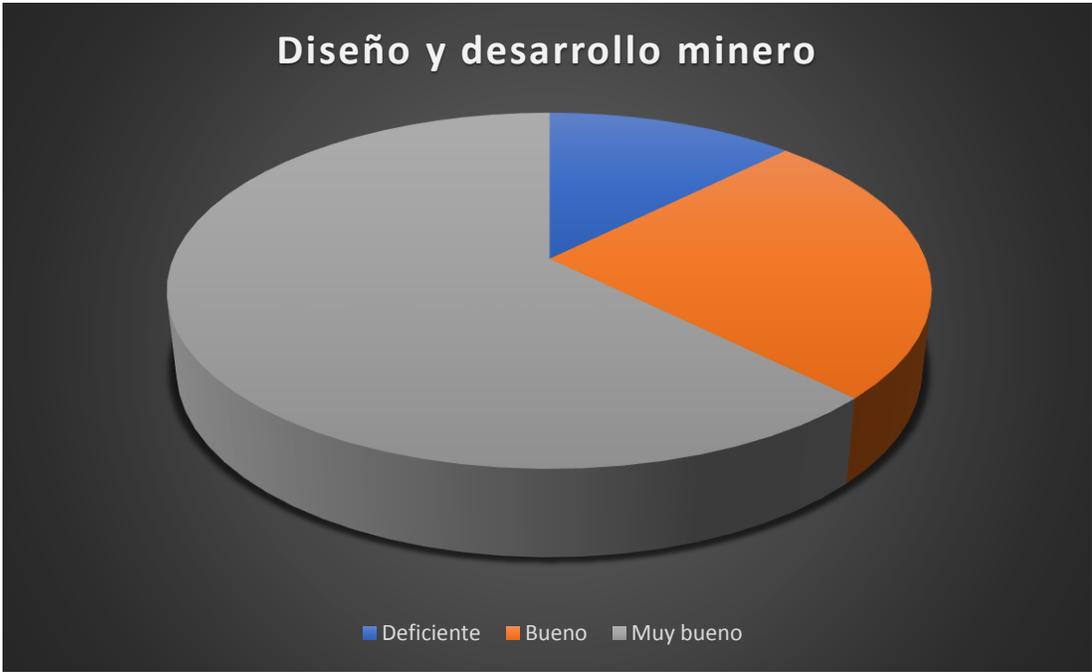
<b>Diseño y desarrollo minero</b>	
<b>Actividad</b>	<b>Ponderación</b>
Aplica múltiples ángulos de talud, altura de banco y ancho de berma	3
Diseño de las principales vías de transporte	3
Herramientas a la medida del diseño de escombreras incluyendo el diseño de la rampa	3
Ejecuta la optimización del cono flotante	3
Herramientas para criterios geotécnico	1
Ejecuta secuencia de explotación de forma manual	2
Ejecuta secuencia de explotación de forma automática	2
Utiliza la topografía original para el diseño y genera nueva superficie que muestren los avances de la explotación	3

<b>Leyenda</b>	
1	Deficiente
2	Bueno
3	Muy bueno

En la figura N°42 se pretende mostrar los resultados del cumplimiento y utilidad del software RecMin al momento de que el usuario requiera trabajar en el área de diseño y desarrollo minero. Los resultados obtenidos para esta área son los siguientes: el software RecMin es 63 % muy bueno, 25 % bueno y 13 % deficiente, ofreciéndole al planificador de minas a cielo abierto características que le confiere: integralidad,

potencialidad y confiabilidad para el manejo y usos de datos, lo que permite la realización de un trabajo eficiente y eficaz, generando resultados que pueden ser reproducibles, repetibles, y auditables a lo largo del tiempo. Con esto, podemos decir que el software RecMin cumple con los requerimientos de herramientas necesarias para trabajar en los objetivos planteados en una planificación de largo plazo.



**Figura N° 42: Gráficos de los resultados pertenecientes al diseño y desarrollo minero**  
**Fuente: Elaboración propia**

**CONCLUSIONES  
Y RECOMENDACIONES**

## **CONCLUSIONES**

### **Exploración y construcción del modelo geológico**

- En cuanto a lo necesario para la construcción del modelo geológico, con el módulo de edición se puede administrar (modificar, eliminar y/o editar) los datos de sondajes y muestras, permite el enlace con bases de datos externas, igualmente el software posee la capacidad de visualizar los sondajes en 3D. Basados en los datos pertenecientes a los sondeos de exploración se puede construir el modelo geológico del yacimiento en 3D, donde se logra corroborar dos litologías y conocer las dimensiones de este cuerpo mineral.

### **Evaluación de recursos y reservas minerales**

- Una vez obtenido el modelo del yacimiento, se efectúa el cálculo del material aprovechable mediante el método clásico del inverso de la distancia, pero el software permite utilizar otros dos métodos clásicos más: el método de los perfiles y de los polígonos. El software carece de los módulos necesarios para realizar un análisis geoestadístico. En cuando al desempeño del software RecMin en el área de exploración y cálculo de recursos: es 56 % muy bueno, 33 % bueno y apenas un 11 % deficiente, de este modo se pudo verificar que el software cumple con la etapa inicial de la planificación a largo plazo.

### **Implementación de variables para el Diseño y Planificación Minera**

- Soporta el establecimiento de una o más secuencias de explotación lógica, pudiendo visualizar múltiples escenarios. Para esta investigación se estableció una secuencia modelo para un periodo de cinco años, con una modificación por niveles de la topografía. Asimismo, se puede crear una tabla que muestra la cantidad de material a extraer con su respectiva ley.

- El Software permite el diseño de las vías de transporte, controlando la mayor cantidad de variables que intervienen en éste e incluyendo el enfoque a que sean flexibles a cambios, se editen ampliando ciertos sectores y realizando conexiones con otras vías. Dentro de los criterios geométricos que RecMin ofrece para el diseño de una escombrera se encuentran: altura de los niveles, números de niveles, ángulo general, ancho de berma, entre otros. Por otro lado, la incorporación de la escombrera ofrece el beneficio de identificar tempranamente en la planificación minera la distancia de acarreo de material estéril proveniente de las áreas de explotación, así como el establecimiento de los sectores dónde es pertinente la rehabilitación y reforestación para el cierre de mina.
- El usuario del software debe poseer un perfil con las siguientes características: profesional en minería si se trata de planificación minera y experto de ciencias de la tierra con conocimientos en minería, si se trata de evaluación de reservas minerales, debe poseer criterios profesionales al momento de ingresar los posibles valores que requiere la actividad de planificación y ser crítico-analíticos con los resultados arrojados por el software.
- El software RecMin admite ingresar valores geotécnicos como ángulos de *pit* final, inclinación del talud de trabajo; pero, no permite evaluar criterios geotécnicos como, por ejemplo: sistemas de discontinuidades, fuerzas actuantes en el talud, sistemas de fallas, diaclasas, entre otros. Entonces, es necesario realizar estos estudios previos con otros softwares.
- Partiendo desde el cálculo de reservas minerales, RecMin proporciona las herramientas necesarias para cumplir con cada uno de los aspectos de la planificación a largo plazo.

- Para el diseño y desarrollo minero, RecMin presenta el siguiente desempeño: 63 % muy bueno, 25 % bueno y 13 % deficiente, lo cual indica que el software cumple con otra de las etapas de planificación a largo plazo.

### **Ventajas y desventajas del software RecMin con respecto a otros softwares no especializados**

- RecMin posee una ventaja de 42 % con respecto a las herramientas de dibujo no especializadas, esto se debe al desempeño del mismo a las actividades inherentes a la planificación a largo plazo.

### **A modo general**

- Para llevar a cabo una planificación a largo plazo con RecMin se establece un diagrama de flujo que persigue facilitar la tarea del usuario-planificador, generando un esquema secuencial en la cual están presentes cada una de las etapas de la planificación y se puede comprobar la factibilidad técnica en la implementación del software.
- Se obtuvo la vista final de la topografía modificada (con curvas de niveles y/o triangulación) una vez desarrolladas todas las etapas de la planificación minera, de modo tal que el planificador pueda observar el estado final de la topografía una vez finalizado el proyecto.

## **RECOMENDACIONES**

### **Exploración y construcción del modelo geológico**

- Al momento de la ejecución del modelo geológico, se debe tener el cuidado de tener información geológica suficiente que permita acercarnos a una interpretación más precisa de las estructuras mineralizadas de las que no se tenga información actualizada.
- Se exhorta a establecer una distancia límite de influencia en la cual se hará la interpretación del material cercano a los sondeos presentes, evitando el advenimiento de recursos o estéril.

### **Evaluación de recursos y reservas minerales**

- Es necesario un análisis geoestadístico a los datos perteneciente al cálculo de volúmenes con el fin de categorizar los recursos, esto debido al que el software no cuenta con un módulo para la interpretación de histogramas, variogramas y realizar estimaciones mediante kriging.
- Se recomienda a los profesionales de las ciencias geológicas, usuarios del software completar la información geológica de la zona con otros atributos característicos del yacimiento: geoquímica, calidad de la roca, tenor, geología estructural, entre otros. De este modo, garantizar el modelo del yacimiento lo más cercano posible a la realidad, para mejorar el ámbito de evaluación y obtener resultados mucho más confiables.

### **Implementación de variables para el Diseño y Planificación Minera**

- Si se cuenta con una previa evaluación económica del yacimiento se recomienda aplicar el método del cono flotante con la intención de obtener de forma automática una posible secuencia de explotación que incluye los valores económicos.

- Desde el inicio de la planificación minera se sugiere elaborar el diseño de un sistema de vías integral (tomando en cuenta los parámetros de diseño y drenaje), de forma simultánea con la creación de la fosa ya que, incluirlas una vez terminado el pit es un poco más laborioso.

### **A modo general**

- El usuario del software debe trabajar de forma ordenada al momento de manipular los datos con la herramienta informática, de modo de garantizar el éxito y la confiabilidad de los resultados, debido a que más que a dominar el programa, la credibilidad de los resultados depende de los conocimientos en el área que posea el usuario.
- A los operadores mineros: implementar RecMin como herramienta de planificación a largo plazo, puesto que se ha demostrado que cumple con las fases de planificación sin incurrir en los altos costos del software comercial o en la piratería.
- Implementar la continuidad de la línea de investigación, agregando valores económicos al yacimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, M. (2007). Estimación de recursos mineros. Recuperado el 17 de septiembre de 2016
- Berardo Gómez (2013) “Selección del diseño óptimo en función de parámetros operativos empleando herramientas informáticas para una cantera de metacaliza de uso industrial”. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Bladimir Castillo (2002) “Análisis y evaluación técnica de la implementación del software Drill & Blast de MINCOM a las operaciones de perforación y voladura de la mina paso diablo municipio Páez, estado Zulia”. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Bustillo, M. y López, C. (1997) “Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras”. Madrid.
- Enyerberth Bolívar (2014) “Diseño de la secuencia de explotación de los yacimientos que conforman el grupo redondo del Distrito Ferreiro Piar para un periodo de largo plazo, C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., Estado Bolívar”. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela.
- Freddy Moya (2015) “Verificación de la opción de producción más favorable a partir de diseños de explotación a largo plazo del Frente 02, Cantera Carayaca ubicada en Tacagua, Distrito Capital”. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Hernández, Fernández y Baptistas (2010) “Metodología de la investigación” Quinta edición. Mc Graw Gill. México D.F.
- Herrera, F. (2001). Curso de evaluación y planificación minera. Universidad Politécnica de Madrid.

- Instituto Tecnológico Geominero de España (1995). Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo a abierto. Madrid.
- María Artigas (2011) “Diseño de patrones de perforación y voladura, para normalizar la fragmentación del material resultante de la mina Choco 10 empresa PMG S. A. El Callao, estado Bolívar”. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- MineSight (2009). “Long Term Planning for Open Pit Mines”.
- Sepúlveda, G. y Gallo, A. (2011) “Modelo de bloques para un yacimiento de sulfuro masivos utilizando el software MineSight”. Universidad Nacional de Colombia.
- Statzewitch José (2017) “Propuesta de Planificación a Largo Plazo para la mina choco 10, en el bloque Guasipati – El Callao municipio El Callao estado Bolívar periodo 2017 – 2021”. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Yhonny Ruiz (S.F.) “Aplicación de software libre para la estimación de recursos y para la evaluación técnica económica de las reservas minerales”. Trabajo especial de grado. Universidad Nacional de Piura. Piura – Perú.
- Yoel Gómez (2017) “Planificación a largo plazo de la unión de las canteras el Samán y Agua Viva II, ubicado en san Sebastián de los Reyes, estado Aragua”. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Yondert Melo (2016) “Propuesta Metodológica para la Planificación de soporte de mina, en canteras del Distrito Capital”. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.