



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias de la Tierra

**“Planificación de la producción de una mina de oro, mediante la
utilización de un modelo matemático en la concesión minera San Jorge
2, Camilo Ponce Enríquez – Ecuador”**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero de Minas

Presentado por:

Kevin Joel Loor Figueroa

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

A las personas más importantes en mi vida mis padres, quienes me enseñaron que con esfuerzo y motivación se logra cualquier obstáculo.

Kevin Loor

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la compañía minera San Jorge 2 por sus facilidades en la toma de datos y a mi amigo el Ing. Mario Ordoñez por haberme confiado este proyecto, siendo un guía y pilar fundamental para seguir con mi investigación.

A mis padres con mucho cariño que fueron parte del proceso.

A mis familiares que me han dado consejos y apoyo incondicional.

A los tutores MSc. José Moreno, MSc. Jesús Crespo y la Dra. Silvia Loaiza que estuvieron predispuesto a ayudar en todo momento.

Kevin Loor

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Kevin Joel Loor Figueroa y doy mi consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Kevin Joel Loor Figueroa

EVALUADORES

MSc. José Moreno
PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Jesús Crespo
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Se presenta una programación lineal entera mixta MILP binaria (0 - 1) y ordenamiento de actividades con el objetivo de establecer una secuencia de explotación de una mina de oro para maximizar utilidad y la explotación racional del recurso mineral. La mina consta de 3 vetas con 17 bloques de los cuales se trabaja en 3 bloques con 4 frentes de explotación utilizando todos los recursos limitados, las variables utilizadas son topografía, perforación, inventario de equipos con respectivas capacidades y muestreo de mineral. Para la interpretación de las bases de datos en Microsoft Excel se utilizó un enfoque cuantitativo donde se empezó por la validación del modelo, es decir ordenamiento de las actividades con el uso de la herramienta computacional PyCharm mediante programación matemática MILP, y, por último, el modelo de secuencia de explotación que recopila y procesa toda la información. La salida del programa mostró una tabla o matriz de datos donde los números representan la suma acumulativa de los costos que incurren por concepto de costo total por frente de explotación, estas son expresadas en coordenadas (x, y) y se comprobó que para un periodo de cinco semanas se obtiene un incremento de la utilidad en un cuarto de los costos actuales.

Palabras claves: programación matemática, restricciones, ramificación, planificación minera, heurística

ABSTRACT

A binary mixed int linear programming MILP (0 -1) and ordering of activities is presented with the objective of establishing a sequence of exploitation of a gold mine to maximize the usefulness and rational exploitation of the mineral resource. The mine consists of 3 streaks with 17 blocks which one works in 3 blocks with 4 operating fronts using all the limited resources, the variables used are topography, drilling, inventory of equipment with respective capacities and sampling of minerals. To the databases's interpretation in Microsoft Excel, it was used a quantitative focusing where it started with the model validation, it means, activities ordering with the use of a computing tool 'PyCharm' through MILP mathematical programming, and finally, the sequence model of exploitation that collects and processes all the information. The output of the program shows a table or matrix of data where the numbers represent the accumulative sum of the costs incurred by the concept of total cost in front of exploitation, these are expressed in coordinates (x, y) and it was checked that for a five-week period, a increase in profit is obtained by a quarter of current costs.

Keywords: mathematical scheduling, constraints, branch, mining planning, heuristics.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes Generales.....	2
1.2.1.Ubicación.....	2
1.2.2.Acceso	3
1.2.3.Clima y vegetación	3
1.2.4.Demografía	4
1.2.5.Geomorfología	4
1.2.6.Hidrografía.....	4
1.3. Descripción del problema.....	4
1.4. Justificación del problema	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1.Objetivo general.....	6
1.5.2.Objetivo específico	6
1.6. Marco Teórico.....	7
1.6.1.Geología.....	7
1.6.1.1.Geología Regional.....	7
1.6.1.2.Geología Local	7
1.6.2.Minería subterránea y procesos	8

1.6.3.Criterios de selección de métodos en minas subterráneas.	9
1.6.4.Planificación minera	9
1.6.4.1.Horizontes de planificación	10
1.6.5.Métodos de programación matemática.	10
CAPÍTULO 2	13
2. METODOLOGÍA	13
2.1. Fase I	14
2.1.1.Recopilación de datos y análisis de la información existente	14
2.1.1.1.Perforación	15
2.1.1.2.Datos Geológicos	15
2.1.1.3.Datos Topográficos	15
2.1.1.4.Muestreo	16
2.1.1.5.Inventario de equipos y sus capacidades	17
2.2. Fase II	18
2.2.1.Herramientas computacionales Microsoft Excel y PyCharm	18
2.2.1.1.Variables y datos de entrada	19
2.2.1.1.1. Validación del modelo: Horizonte de trabajo	19
2.2.1.1.2. Modelo de secuencia de explotación	21
2.3. Fase III	23
2.3.1.Aplicación MILP	23
2.3.2.Validación del modelo: Horizonte de trabajo	25
2.3.2.1.Restricciones	26
2.3.3.Función Objetivo: Modelo de secuencia de explotación	26
2.3.3.1.Restricciones del modelo	27
CAPÍTULO 3	29
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	29
3.1. Topografía	29
3.2. Muestreo	29

3.3.	Análisis de costos Actual -----	31
3.3.1.	Egresos-----	31
3.3.1.1.	Costos de insumos por frente de explotación-----	31
3.3.1.2.	Costos de personal-----	32
3.3.1.3.	Impuestos-----	33
3.3.2.	Ingresos -----	33
3.3.2.1.	Valorización del bloque -----	33
3.3.3.	Presupuesto de caja -----	34
3.4.	Validación del modelo: Horizonte de trabajo -----	34
3.4.1.	Datos de salida -----	34
3.5.	Modelo de secuencia de explotación -----	35
3.5.1.	Datos de salida -----	35
3.6.	Análisis de alternativas -----	36
CAPÍTULO 4 -----		38
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	38
4.1.	Conclusiones-----	38
4.2.	Recomendaciones -----	40
5.	REFERENCIAS -----	42
ANEXOS -----		44
Anexo A: Recopilación de datos-----		44
Anexo B: Procesamiento de datos-----		50
Anexo C: Perfiles topográficos-----		52

ABREVIATURAS

MILP Programación lineal entera mixta

LP Programación Lineal

ARCOM Agencia de Regulación y Control Minero

VAN Valor Actual Neto

TIR Tasa Interna de Retorno

SIMBOLOGÍA

J conjunto de trabajos

R conjunto de recursos renovables (r_1, r_2)

i número de frentes de explotación

S conjunto de precedencia entre trabajos $(i, j) \in J \times J$

T Horizonte de planificación: conjunto de posibles tiempos de procesamiento para trabajos

p_j tiempo de procesamiento del trabajo j [h]

$u(j, r)$ cantidad de recursos r requerida para procesar el trabajo j

cr capacidad de recursos renovables

C costo por frente de explotación \$/t

P Producción por frente de explotación t

L Ley del bloque g/t

Q_t dilución entre bloques g/t

d Descuento semanal %

g gramo

Kg Kilogramo

T tonelada

\$ dólar estadounidense

m metro

m^3 metro cúbico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación del sector minero Bella Rica. Fuente: (esri, 2019)	3
Figura 1.2. Procesos de la minería subterránea. Fuente: (Herrera & Gómez, 2007)	8
Figura 2.1. Metodología del modelo de secuencia de explotación. Fuente: Autor.....	13
Figura 2.2. Topografía de la mina vista en planta. Fuente: (revista Bella Rica, 2005).....	16
Figura 2.3. Base de datos utilizadas en el modelo. Fuente: Autor.....	19
Figura 2.4. Esquema de precedencia de actividades. Fuente : Autor	20
Figura 2.5. Branch and Bound. Fuente: (Gurobi, 2019).....	24
Figura 2.6. Cooperador Paralelo-Branch and Bound. Fuente: (Gurobi, 2019)	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Dimensión media de las labores en interior mina. Fuente: Autor	14
Tabla 2.2. Lista de bloques en la concesión minera. Fuente: Autor	17
Tabla 2.3. Tabulación de datos de entrada. Fuente: Autor	20
Tabla 2.4. Costos de explotación por frente. Fuente: Autor	21
Tabla 2.5. Producción por frente de explotación . Fuente: Autor	21
Tabla 2.6. Ley del bloque [g/t]. Fuente: Autor	22
Tabla 2.7. Dilución esperada. Fuente: Autor	22
Tabla 2.8. Parámetros de entrada del modelado MILP. Fuente: Autor	22
Tabla 3.1. Reservas de los bloques de la veta Úrsula. Fuente: Autor	29
Tabla 3.2. Reservas de los bloques de la veta Dominga. Fuente: Autor	30
Tabla 3.3. Reservas de los bloques de la veta Teresa. Fuente: Autor	30
Tabla 3.4. Resumen de reservas. Fuente: Autor	31
Tabla 3.5. Número de taladros de acuerdo con el frente de explotación. Fuente: (Bernaola, Castilla, & Herrera, 2013).....	32
Tabla 3.6. Tonelaje volado y costo por metro lineal. Fuente: Autor	32
Tabla 3.7. Costos totales de mano de obra. Fuente: Autor	33
Tabla 3.8. Valorización de los bloques. Fuente: Autor	34
Tabla 3.9. Línea final del flujo de caja anual. Fuente: Autor	34
Tabla 3.10. Indicadores económicos. Fuente: Autor	34
Tabla 3.11. <i>Scheduling</i> del Horizonte de trabajo en día laboral. Fuente: Autor	35
Tabla 3.12. Propuesta de explotación de frentes. Fuente: Autor	35
Tabla 3.13. Producción esperada por cada frente de explotación por semana. Fuente: Autor	36
Tabla 3.14. Acumulación de mineral mezclado por semana de trabajo. Fuente: Autor	36

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

En el Ecuador desde tiempos remotos se ha llevado la explotación minera de forma antitécnica, el oro como principal elemento de riqueza y valor potencial en el mercado internacional. Los desafíos en el negocio minero son cada vez más complejos debido al avance tecnológico, por lo tanto, la planificación requiere la mejor atención posible.

La planificación según Alcaide; Gonzalez; Sedeño, (2002) “es fundamental en un sin número de actividades económicas, políticas y organizacionales, etc”. El análisis y resolución de una variedad de problemas del mundo real tiene una conexión con la ciencia Matemática, tal que favorece el desarrollo de la planificación como un proceso esencial en la industria. La planificación minera como investigación operativa comprende la toma de decisiones mediante el uso de modelos matemáticos.

La complejidad de extraer, la búsqueda incansable de la veta en el macizo rocoso, y además la dilución entre el material estéril con la mena, obliga a generar un adecuado plan de trabajo que a su vez genera altos costos, debido a la falta de variables de diseño que no se toman en cuenta.

Las actividades de explotación del yacimiento mineral no son las adecuadas puesto que el trabajo de planificar lo realiza una persona, sin considerar la gran cantidad de variables, por ejemplo: la ley mineral g/t. La optimización matemática busca reducir estos tiempos tomando en cuenta las demás variables que de alguna forma son de gran importancia en los resultados (Barbaro & Ramani, 1986).

Para empezar, se pretende seguir unos lineamientos tan válidos de forma que la estrategia sea la clave principal de extracción, siempre que sea socializado

con los gerentes y dueños. Luego, dependiendo de los periodos operacionales, ante todo, desde el horizonte de planificación a corto plazo se garantiza que las extremas soluciones y alternativas tenga los resultados más precisos para el proyecto.

1.2. Antecedentes Generales

En lo que concierne a la aplicación de la planificación minera en Ecuador especialmente en la zona minera Camilo Ponce Enríquez es muy limitada, tanto es así que unas de las empresas más relevantes del sector realizan una planificación manual. No obstante, existen estudios sobre la aplicación del *scheduling* de la producción mediante el uso de modelos matemáticos, estos tienen como propósito atacar a la inmensa cantidad de variables y el tiempo de espera de la solución. El presente proyecto sigue la metodología propuesta de trabajos como la tesis de la Universidad de Chile, donde se analiza el “Secuenciamiento multicriterio para minería subterránea selectiva” (Gómez, 2015) y “ *scheduling* de la producción con el uso de programación matemática en la mina Kiruna” (Kuchta, Newman & Topal, 2003).

1.2.1. Ubicación

La concesión minera está situada aledaña a la población de Bella Rica, ubicada exactamente en la provincia de Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez, al Sur de la Cordillera Occidental. Como se muestra en Figura 1.1. Coordenada PSAD56 zona 17 sur (X= 643247,75; Y=9659666,19).

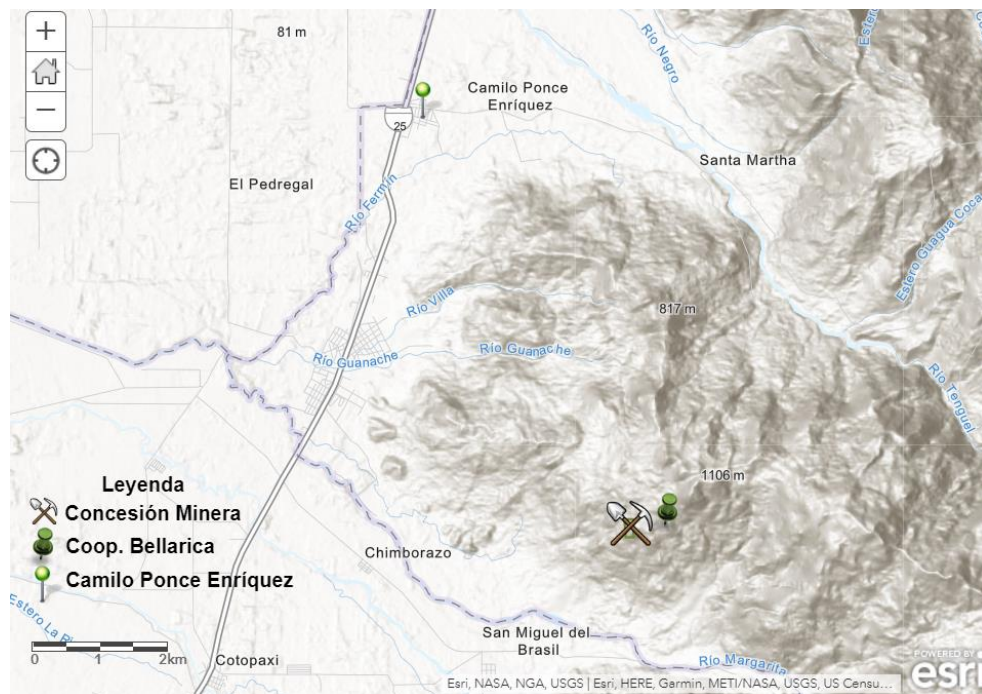


Figura 1.1. Ubicación del sector minero Bella Rica. Fuente: (esri, 2019)

1.2.2. Acceso

Para llegar al área de estudio se debe seguir como carretera principal la vía panamericana Guayaquil – Machala, aproximadamente 141 Km, luego se ingresa por una vía secundaria de tercer orden lastrada donde se asciende a la ciudad Bella Rica y sus concesiones aledañas.

1.2.3. Clima y vegetación

La zona de estudio presenta un clima tropical lluvioso a subtropical húmedo, con dos estaciones verano de junio a noviembre e invierno de diciembre a mayo. La vegetación es muy variada, aquí predominan las palmeras y helechos. La temperatura en la parte alta a 1300 metros sobre el nivel del mar (msnm) varía de 16°C a 20°C y en las partes bajas a 300 msnm varía de 23°C a 36°C (Narvaez, 2000).

1.2.4. Demografía

La ciudad tiene 2000 habitantes, quienes realizan actividades de comercio, agricultura y transporte, pero solo en minería hay 1270 habitantes (Vera, 2010).

1.2.5. Geomorfología

La concesión minera se encuentra a una altitud de aproximadamente 800 msnm según datos en campo. Sin embargo el autor Narvaez (2000), afirma que la altitud en el sector de Bella Rica varía de 140 msnm a 1130 msnm. El relieve abrupto es distinguido por la erosión de las rocas volcánicas que dificultan el acceso.

1.2.6. Hidrografía

La red de ríos principales que atraviesan la zona consta del río Tenguel al Norte y el río Siete al Sur, el sentido de la corriente es Este a Oeste desembocando en el canal de Jambelí.

Los principales afluentes son: Margarita, Guanache, Fermín, 9 de octubre y Villa.

1.3. Descripción del problema

De acuerdo con los datos de derechos mineros de la Agencia de Regulación y Control Minero el Ecuador cuenta en su mayoría con minas en régimen artesanal (59%), pequeña minería (33%), mediana minería (7%) y en la actualidad unas pocas en el régimen de gran minería (1%) (ARCOM, 2019). En la zona de estudio denominada Distrito Minero Ponce Enríquez se encuentra la Cooperativa Bella Rica, en donde se presentan factores como la falta de planificación operativa en la explotación de mineral, lo que no permite hacer una explotación selectiva, rentable y económica. Otro factor, es que la industria, no accede a herramientas computacionales de alta tecnología para la planificación, debido a sus elevados costos o por falta de capacitación o desconocimiento en el manejo de estos. Por último, la variabilidad de los precios de los metales

obliga a la dinamización de las metodologías de explotación, así como la selectividad de bloques para mantener los beneficios deseados.

Siendo los problemas por resolver: el desorden financiero, falta de inversión para crecimiento de operaciones, desinterés en mano de obra, *scheduling* de producción y la inadecuada infraestructura sobre mina. Lo antes mencionado conlleva a la falta de planificación, metodologías y aplicabilidad de las ciencias en los sistemas de explotación minero, por tal motivo, costos operativos ineficientes.

Respecto al proyecto, este afecta a la mayoría de las empresas de la zona, y abarca a los sectores productivos de la minería artesanal y pequeña minería que son 3217 y 1796 operaciones respectivamente (ARCOM, 2019).

1.4. Justificación del problema

En lo concerniente al proyecto, se toma en cuenta la operación realizada dentro de la concesión minera perteneciente a la cooperativa Bella Rica, dentro de esta cooperativa existen aproximadamente 60 operaciones, pero en Ecuador se encuentran 5300 operaciones de este mismo tipo según datos de derechos mineros ARCOM (2019). Por lo que, este sistema de trabajo y servicio es aplicable a 85 % de la industria minera en Ecuador. Sin embargo, los factores de planificación y modelado dependerán o variarán según la geometría de los yacimientos, tipo de explotación, recursos usados, avances y factores macroeconómicos.

El proyecto ayuda a este sector productivo con una fórmula matemática, simplificando los cálculos realizados por los encargados de las operaciones en mina. Este método consiste en realizar la automatización de la planificación, disminuyendo el tiempo de respuesta, aumentando la explotación del recurso mineral, todo esto dependiendo de la variabilidad de precios en el mercado.

En la cooperativa Bella Rica existen diversas minas beneficiarias, por lo que el presente proyecto procura realizar procedimientos y modelados similares en

operaciones mineras del mismo régimen y / o tipo de operación, es decir tiene un alto grado de posibilidad de comercialización al ser aplicable a todo tipo de condiciones.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Establecer la secuencia de explotación de una mina de oro mediante un modelo de programación lineal entera mixta (MILP) para maximizar la explotación racional del recurso mineral.

1.5.2. Objetivo específico

- Enlistar datos de perforación, geológicos, topográficos, resultados de exploración (leyes) y análisis estadísticos mediante la asistencia a campo, corroborando los resultados actuales con datos del pasado.
- Determinar una función objetivo sobre la cual realizar la maximización de beneficios o minimización de costos para la producción.
- Enunciar cada una de las restricciones de la operación mina, por ende, analizar las diferentes alternativas.
- Realizar el (MILP) con base en la función objetivo y restricciones mediante herramientas computacionales Microsoft Excel y PyCharm.

1.6. Marco Teórico

1.6.1. Geología

1.6.1.1. Geología Regional

En la zona de delimitada se encuentra fisiográficamente ubicada al Sur- Occidente de la Cordillera Andina, entre los 3° 20' de latitud Sur y desde los 80° 00' hasta los 80° 30' de longitud Este (Narvaez, 2000)

En la región se encuentra las rocas metamórficas {M}, unidad Pallatanga {kpa}, unidad Yunguilla {ky}, grupo Saraguro {E-Ms}: formación Las Trancas {Ost} y formación La Fortuna {Msf}, Intrusiones {Dg – Ggd} y finalmente los depósitos cuaternarios.

1.6.1.2. Geología Local

En el área local predominan las rocas volcánicas (Unidad Pallatanga) que viene a ser la roca encajante de la mineralización, y también cuerpos intrusivos de tipo diorítico y gabroideo, al Noroeste y Sureste del área, respectivamente (Narvaez, 2000). La unidad comprende basaltos toleíticos lávicos, masivos y almohadillas (“pillowed”) con intrusiones básicas y cantidades subordinadas de volcanoclasticas, sedimentos pelágicos y rebanadas tectónicas de rocas ultramáficas, hacia el este, está cubierta discordantemente por las rocas volcánicas subaéreas, de composición intermedia a silícea calcio alcalina de Grupo Saraguro ‘Eoceno Medio tardío a Mioceno Inferior’ (Carrión, 2010).

La unidad Pallatanga es considerada la roca encajante del yacimiento, constituida principalmente por lavas andesíticas y basálticas, de color gris verdoso y oscuro. Interestrificadas con tobas, areniscas y limolitas volcánicas. Cerca de las vetas mineralizadas existen brechas volcánicas. (Narvaez , 2000). Los Basaltos de Bella Rica tienen contactos a lo largo de la Falla Margarita con una secuencia de areniscas turbidíticas, limonitas y argilitas del Cretácico Superior (Maastrichtiense) que han sido descritas a la unidad Yunguilla. En la

zona de Bella Rica hay presencia de Brechas hialoclastitas de flujo y abundante presencia de unidades volcanoclasticas (Carrión, 2010).

1.6.2. Minería subterránea y procesos

En cuanto a minería subterránea, se utiliza para el acceso y explotación de yacimientos minerales que generalmente no son explotables a cielo abierto. Sin embargo para ser de carácter subterráneo se debe tener en cuenta una serie de factores técnicos y económicos, con una infraestructura más compleja que la del método de explotación a cielo abierto (Abzalov, 1984). Así pues, prevalece como característica principal dos labores de preparación una entrada y salida, respectivamente crucero y pozo o viceversa.

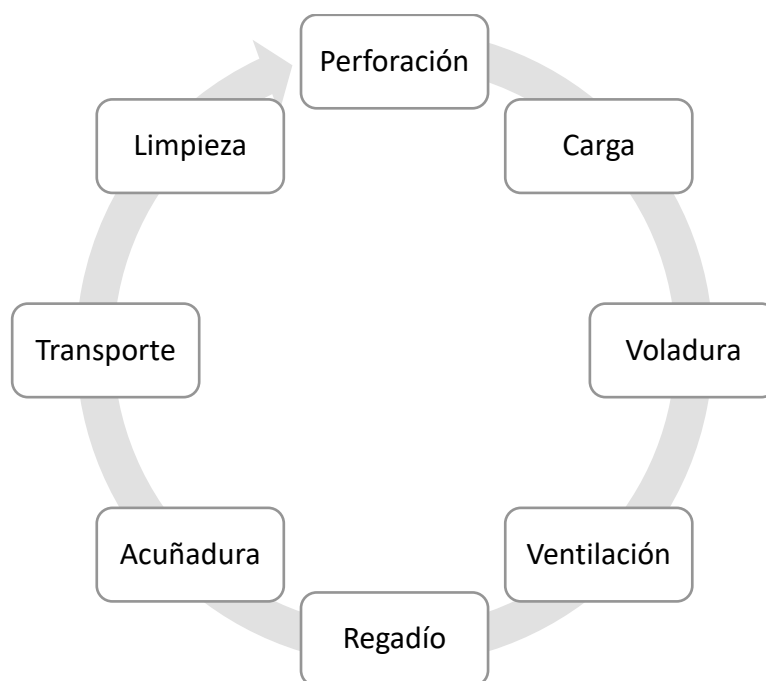


Figura 1.2. Procesos de la minería subterránea. Fuente: (Herrera & Gómez, 2007)

1.6.3. Criterios de selección de métodos en minas subterráneas.

Los criterios para la elección del método de explotación son la geometría del yacimiento, condiciones geológicas e hidrológicas, aspectos geotécnicos, aspectos económicos, factores tecnológicos y factores medio ambientales (Herrera & Gómez, 2007).

El sistema de explotación utilizado en la zona estudio es corte y relleno con circado de veta ascendente. Las principales características del sistema son su selectividad y poca dilución por residuos del material. Aplicable a yacimientos verticales o irregulares de gran tamaño (Abzalov, 1984). El sistema consiste en perforar la roca caja por encima de la veta a una distancia de 30 a 40 centímetros, tal que al ejecutarse la voladura quede colgada para luego remover en rebanadas horizontales desde el corte inferior avanzando hasta arriba hasta la base rellena. (Herrera & Gómez, 2007)

1.6.4. Planificación minera

La planificación minera es considerada hoy en día un proceso, donde efectivamente se da la maximización los beneficios teniendo en cuenta que el proyecto sea rentable. El negocio del descubrimiento y explotación del recurso mineral define el concepto de minería, sin embargo, la planificación minera es el negocio productivo que busca la mejor decisión de transformación de ese recurso mineral (Ordeñana, 2017).

Planificación operativa

Se encarga de la adquisición de maquinaria y productividad de la mina.

Planificación administrativa

Designada a la ejecución de proyectos, recursos humanos y al manejo de costos directos e indirectos.

Planificación estratégica

La parte gerencial recibe los proyectos de alto rango y se escoge la mejor opción para la ejecución del proyecto y beneficio de la empresa.

1.6.4.1. Horizontes de planificación

Es un instrumento o herramienta para tratar la incertidumbre dentro del proceso minero. Existen 3 tipos:

Planificación a largo plazo: Se realiza a nivel macro en la parte operacional y se determina el tamaño, vida de la mina, teniendo en consideración las reservas mineras.

Planificación a mediano plazo: Plan de producción dirigidas a metas específicas.

Planificación a corto plazo: Subsana las anteriores planificaciones donde se consideró los equipos y logística acercando a la condición realista proyectada, de esta manera cumpliendo con la meta definida de acuerdo con el presupuesto de las operaciones mina.

1.6.5. Métodos de programación matemática.

En el presente año existen referentes en las técnicas de optimización de minería a cielo abierto, pero sin duda la técnica “algoritmo fundamental del árbol” es fundamental, descrito en una programación lineal y tomando en consideración a la producción de bloques sin infringir la optimización. Consiste en un conjunto de bloques combinados llamado árbol fundamental donde se debe cumplir las siguientes propiedades; 1) es explotable sin infringir las restricciones, 2) el valor económico total dispuesto por los bloques presentes en el árbol fundamental es positivo. Deben cumplirse las dos propiedades antes mencionadas para que el algoritmo pueda ser segmentado en árboles más pequeños (Ramazan, 2007).

Los métodos de programación matemáticas con frecuencia son los problemas de optimización lineal aplicados al plan de producción, acerca del proyecto se utiliza una función objetivo lineal teniendo en consideración las restricciones, lo que garantiza al modelo como flexible y viable económicamente. Sin embargo, lo que se requiere en el proyecto es la mejor solución entera posible. Para un problema de programación lineal, la

diferencia radica en la restricción de alguna o todas de sus variables, puesto que deben ser enteras. Por esta razón se utiliza la programación entera lineal (IP) que es similar a la programación lineal (LP), con una complejidad superior debido a que utiliza un proceso de búsqueda ejecutado por línea en el que a cada paso se realiza la LP (Narro Ramírez, 1996).

Los diferentes tipos de variables y restricciones dificultan la repetición del proceso “limitantes”, debido que al momento de realizar la iteración el tiempo es un factor importante, por tal motivo existen licencias comerciales de programas (PyCharm y Excel, etc.) que facilitan el tiempo de iteración al momento de realizar la programación lineal entera mixta (MILP).

“Función Objetivo MILP general. Fuente: (Gómez, 2015)”

$$\text{Optimizar: } Z = \sum c_j x_j \quad (1.1)$$

Restricciones:

$$\sum_j a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (1.2)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (1.3)$$

$$x_j \geq 0 \vee 1, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (1.4)$$

Z = función objetivo ecuación (1.1)

c_j, b_i, a_{ij} = constantes

x_j = variable

Un modelo lineal (MILP) es , por tanto, una representación matemática de un modelo donde todas sus restricciones (1.2), (1.3) y (1.4) son lineales y las variables pueden ser continuas o enteras (Bárbaro and Ramani, 1986).

La realización de una secuencia de explotación es un proceso repetitivo, hay que recalcar que su complejidad depende del nivel de variables y detalle que se quiere lograr (Gómez, 2015). El proceso minero es un compendio de varias actividades, si alguna de esta actividad no se la involucra provoca daños irreversibles en el macizo rocoso, por lo que omitir es un error muy lamentable para los trabajadores y el propio negocio. Las herramientas computacionales por utilizar es Excel y PyCharm. El proyecto se evalúa por lo menos un mes, debido a la mediana extracción que favorece la actividad minera.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En lo que concierne al proyecto, ha sido llevado a cabo en el sector minero Bella Rica especialmente en el régimen de minería artesanal, se tiene como necesidad analizar el desorden financiero para lo cual se realizó un *scheduling* del plan de producción en el periodo de noviembre y diciembre 2019, debido a la dinamización de las actividades y la relevancia del tema.

El presente proyecto se diseñó considerando un enfoque cuantitativo con un diseño de investigación basado en el modelo de programación lineal de enteros mixtos (MILP), en el cual se modifica una variable de diseño y se ejecuta por medio de una herramienta computacional. La planificación comprende un problema de síntesis; (i) modelo, (ii) objetivo y (iii) restricciones. Para este estudio se utilizó las herramientas computacionales Microsoft Excel y PyCharm está utiliza el lenguaje de programación avanzado como lo es Python, todo realizado a un nivel de detalle donde las únicas limitantes dependen del número de variables, precedencia de las actividades, función objetivo y las condiciones basadas en la ley de corte del mineral.

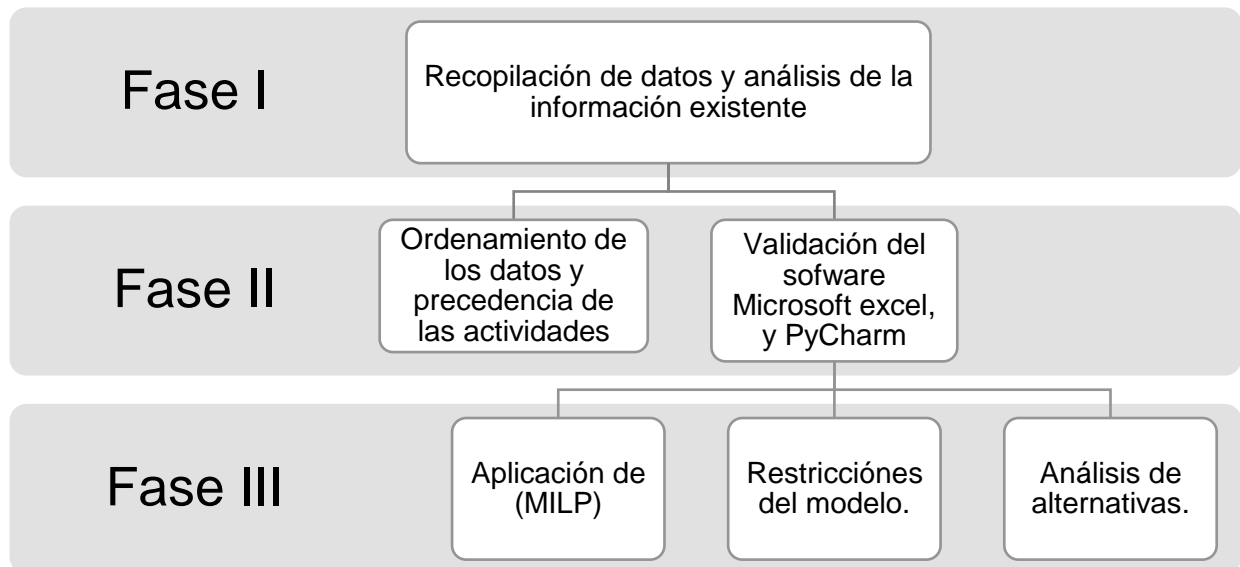


Figura 2.1. Metodología del modelo de secuencia de explotación. Fuente: Autor

Para efecto de la investigación se consideraron los bloques ciruelo, r2, nube y z2. De estos bloques se obtuvo toda la información de perforación, muestreo, financiera, geológica, y topográfica, tal que las variables y restricciones no permiten que todos los bloques sean explotables, por lo que el modelo analiza las variables y restricciones, obteniéndose como salida una secuencia de explotación con el máximo beneficio mineral.

2.1. Fase I

2.1.1. Recopilación de datos y análisis de la información existente

La mina consta de 3 vetas “Veta Úrsula, Veta Dominga, Veta Teresa” todas dispuesta en dirección Norte-Sur interceptadas por un crucero en dirección Oeste-Este. El sistema de explotación utilizado es corte y relleno con circado de veta ascendente con bloques de 50 metros. La operación en interior mina es en 2 turnos de 8 horas con aproximadamente 30 trabajadores por turno. El dimensionamiento de las labores de preparación, explotación y transporte es el siguiente:

Tabla 2.1. Dimensión media de las labores en interior mina. Fuente: Autor

Labores	Dimensión media de la excavación (A x H) [m]
Preparación	2.1 x 2.25
Explotación	1.52 x 2.13
Transporte	1.7 x 1.65

El transporte es por medio de una locomotora a gas de 20 hp con una capacidad de arrastre de 25 t. La producción de la mina es de alrededor 60 t/día, pero por avería de la locomotora se paralizó una semana, por lo que al mes extrajeron alrededor de 1800 t/mes.

2.1.1.1. Perforación

La principal actividad minera es la perforación, esta se la realizó dependiendo de la habilidad del perforista, en las galerías se utiliza varios tipos de cuñas como la forma en cruz y árbol. La disposición de los barrenos comerciales Atlas Copco o Epiroc son 1.20 m, 1.60 m, 1.80 m en comparación con los utilizados en los frentes de explotación difieren de la medida comercial, debido a que reutilizan el barreno, es decir moldean la punta.

En los subniveles se utiliza las mismas cuñas, pero con un número de huecos y un área de sección transversal acorde a la dimensión del subnivel. Los tajos son perforados de modo que el área de perforación se distribuye en pares y por consiguiente se perfora la cuña, que depende de la predicción de la voladura y la facilidad de acarreo del material volado.

2.1.1.2. Datos Geológicos

La veta Úrsula es la primera que se explotó el recurso mineral con aproximadamente 400 m de longitud y un ángulo de 52°. Se encuentran diferentes bloques extendiéndose en mayor cantidad en la zona Norte.

La veta Dominga es la que se trabaja actualmente con aproximadamente 2800 m de longitud y un ángulo de 45° a 60° consta de mayor acumulación de bloques en la Zona Sur.

La veta Teresa es la de mayor potencia con un ángulo aproximado de 40° buzando hacia el SE. Existen bloques la mayoría explotados.

2.1.1.3. Datos Topográficos

Se realizó el levantamiento topográfico subterráneo del túnel a cinta y brújula de las labores nuevas, Se obtuvo un mapa y se sobrescribió el levantamiento como se muestra en la figura para el presente proyecto se necesitó de las distancias y el esquema general de la mina.

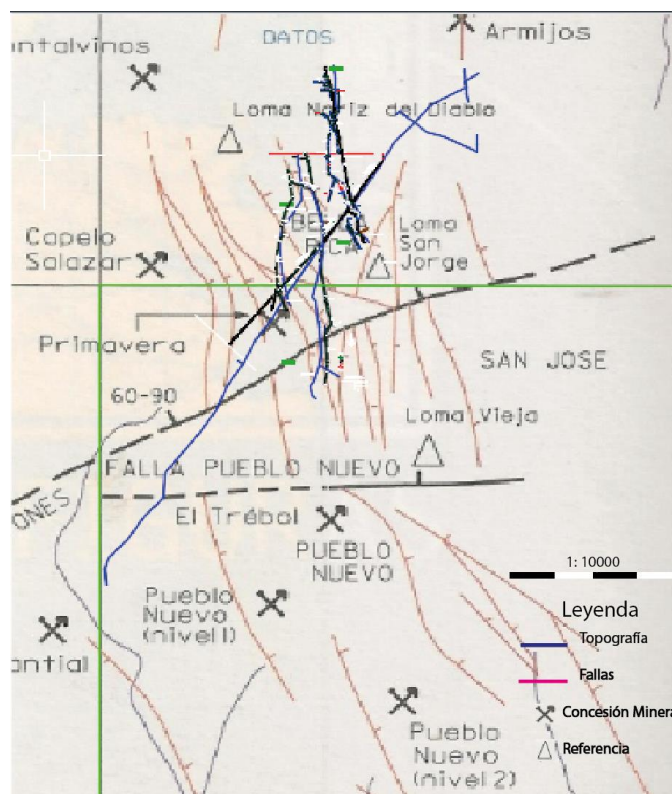


Figura 2.2. Topografía de la mina vista en planta. Fuente: (revista Bella Rica, 2005)

Se estableció la conversión a base de datos para facilitar el uso de las herramientas computacionales, cada marco de referencia empezó en la línea principal hacia la correspondiente veta, de ahí hacia al Norte, explorando todos los subniveles y luego hacia el Sur de acuerdo con el mismo proceso. Las complicaciones se dieron en los pozos, debido a que estas labores cumplen dos roles de camino y extracción.

2.1.1.4. Muestreo

Para estimar las reservas fue necesario llevar herramientas para la rotura “martillo geológico” y para la recolección “fundas transparentes o sacos”, también fue necesario considerar las reglas de muestreo: picar la zona mineralizada hasta una profundidad alrededor de 2.5 cm, enumerar las muestras según la veta y la distancia con respecto al punto anterior, el peso de la muestra debe ser por lo menos 1 kg y

según Abzalov (1984) las muestras se deben tomar cada 2 o 3 m de distancias, pero para fines del presente proyecto se categorizó los recursos de la siguiente manera; (1) inferidas, (2) indicadas y (3) medidas. Las inferidas se designó un bloque que tiene dos de sus lados muestreados. Las reservas indicadas cuando un bloque tiene 3 de sus lados muestreados y finalmente si tiene todos los lados del bloque muestreados puedo definirlo como una reserva medida.

Tabla 2.2. Lista de bloques en la concesión minera. Fuente: Autor

Veta Úrsula	Veta Dominga	Veta Teresa
bloque_ciruelo1	bloque_nube2	bloque_gloria2
bloque_ciruelo2	bloque_nube1	bloqueTrabajado_gloria1
bloque_ciruelo3	bloque_r1	bloque_nuevo1
bloque_ciruelo4	bloque _colonia	bloque_nuevo2
	bloque_r2	
	bloque_nube3	
	bloque_z1	
	bloque_z2	
	bloque_caramelo1	

2.1.1.5. Inventario de equipos y sus capacidades

Dentro de la concesión minera no se tiene un listado de los equipos por lo que se procedió a enlistar todos los equipos y accesorios con sus respectivas capacidades, marca y modelo como se muestra en el Anexo A.

Se observo que hay equipos en mal estado que requieren un mantenimiento preventivo para corregir riesgos a futuro, la presencia de bodegas de herramientas es necesaria para el debido control de su uso en interior mina. Las bombas, compresores y *winches* varían entre marcas comerciales FOROS, INGERSOLL, SEER y WEQ.

Los implementos se contabilizaron con la finalidad de renovarlos y ver la competitividad de las marcas, además si la utilización es obsoleta.

2.2. Fase II

2.2.1. Herramientas computacionales Microsoft Excel y PyCharm

Son herramientas de modelización algebraica utilizadas en el campo de la optimización, así pues, en este estudio se utilizó estas herramientas para el *scheduling* de la secuencia de explotación, puesto que el tiempo de resolución se reduce considerablemente.

La herramienta computacional PyCharm fue la primera opción para resolver el modelo matemático, primero se obtuvo la validación del modelo propuesto por Santos & Toffolo (2019) que se basa en minimizar el horizonte de trabajo y después, se resolvió el modelo de Williams (2013) que consiste en maximizar el beneficio, para terminar se aplicó el método de programación lineal entera mixta y se corroboró los resultados. Por último, la herramienta de Excel fue la encargada de la conversión de todos los datos de entrada, salida y la determinación de la valorización de bloques mediante técnicas de geoestadística.

2.2.1.1. Variables y datos de entrada

Al tener recopilada toda la información figura 2.4 de la concesión minera, fue relevante llevar los datos a un mismo tipo de formato o extensión de archivo, por ejemplo: “.xls” o “.csv”. Luego se debe tener en cuenta la precedencia de las actividades, porque un error en esta fase puede falsear los resultados.

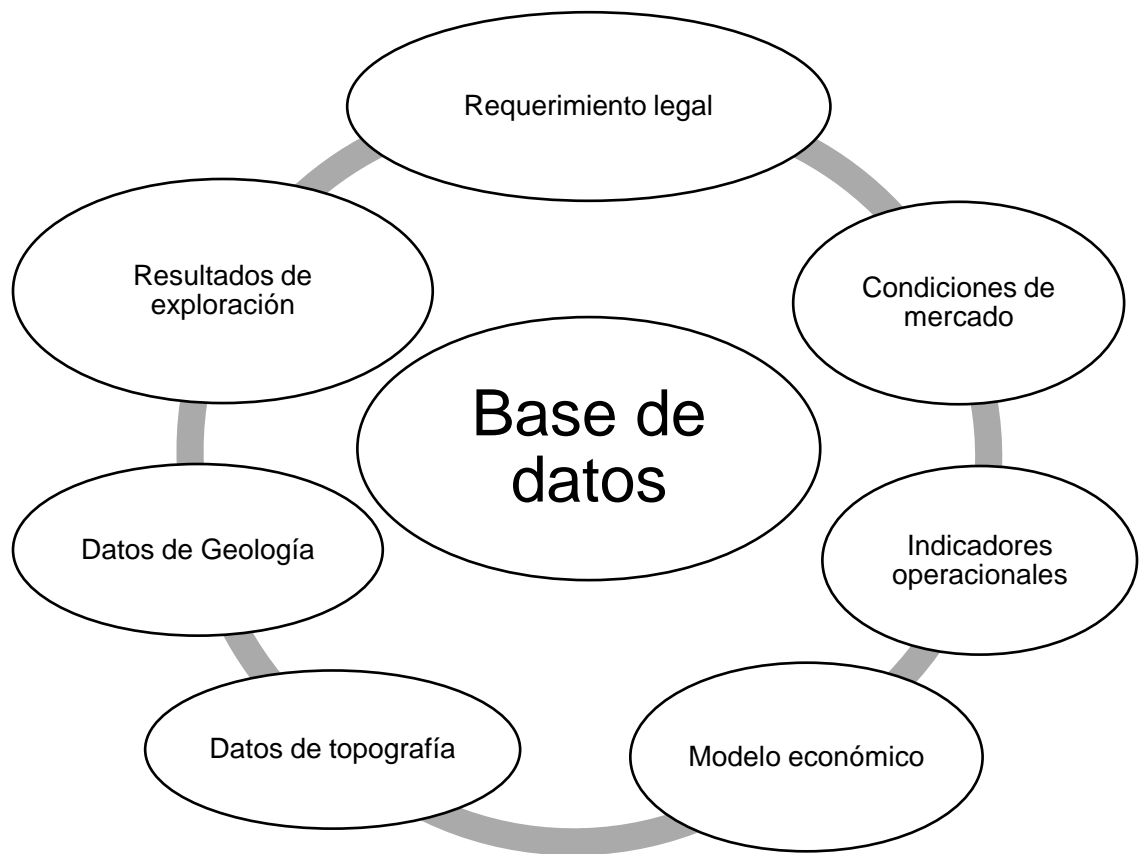


Figura 2.3. Base de datos utilizadas en el modelo. Fuente: Autor

2.2.1.1.1. Validación del modelo: Horizonte de trabajo

Consiste en dar como resultado el horizonte de trabajo con sustento en los recursos disponibles. El siguiente modelo tiene los siguientes datos de entrada:

- “J” conjunto de trabajos
- “R” conjunto de recursos renovables (r_1, r_2)
- “S” conjunto de precedencia entre trabajos $(i, j) \in J \times J$

- “T” Horizonte de planificación: conjunto de posibles tiempos de procesamiento para trabajos
- “ p_j ” tiempo de procesamiento del trabajo j [h]
- “ $u(j, r)$ ” cantidad de recursos r requerida para procesar el trabajo j
- “ cr ” capacidad de recursos renovables

La recaudación de los datos en función de las actividades, horas de trabajo y la cantidad de recursos renovables tabla 2.3 delimitan el horizonte de trabajo, con sus respectivas unidades.

Tabla 2.3. Tabulación de datos de entrada. Fuente: Autor

J	p_j [h]	$u(j,1)$	$u(j,2)$
1 : Perforación	3	2	1
2 : Carguío	2	2	0
3 : Voladura	1	1	0
4 : Ventilación	2	1	0
5 : Acuñadora	1	1	0
6 : Regadío	1	1	0
7 : Limpieza	2	3	2
8 : Transporte	2	2	12

A continuación, la importancia del orden de precedencia de actividades del modelo figura 2.5. Cabe recalcar que se considera 2 actividades simultaneas la 4 y 5, respectivamente acuñadura y regadío.

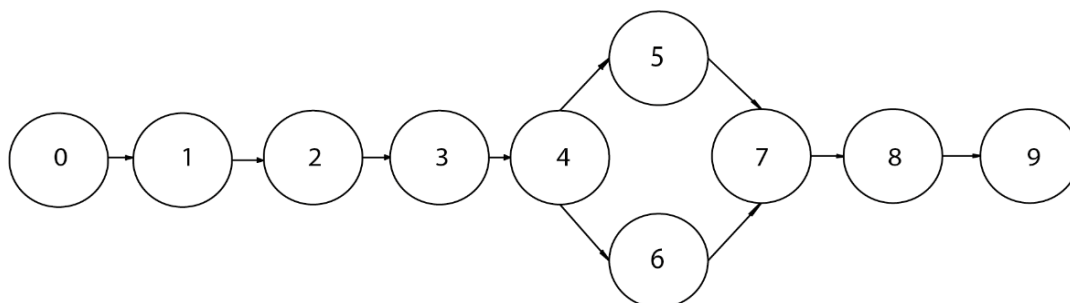


Figura 2.4. Esquema de precedencia de actividades. Fuente: Autor

2.2.1.1.2. Modelo de secuencia de explotación

Consiste en dar como resultado una matriz de secuencia de explotación con fundamento en la utilidad. El siguiente modelo tiene los siguientes datos de entrada:

- C, costo por frente de explotación [\$/t]
- P, Producción por frente de explotación [t]
- L, Ley del bloque [g/t]
- Q_t , dilución entre bloques [g/t]
- d, Descuento semanal 0.21 [%]

En cuanto a costos de explotación por cada frente, se empezó con el cálculo de perforación por metro lineal tabla 2.4 tomando en consideración las variables definidas en la fase I al inicio del capítulo 2. Luego se procedió a calcular la cantidad de material volado tabla 2.5 en función de la longitud de los barrenos, densidad de la roca, sección transversal y el factor de esponjamiento. Después se categorizo las reservas por bloques tabla 2.6 con se respectiva ley media según los resultados de los ensayos de ley de oro.

Tabla 2.4. Costos de explotación por frente. Fuente: Autor

	Costo (10^3) [\$/t]
FRENTE 1	600
FRENTE 2	640
FRENTE 3	700
FRENTE 4	680

Tabla 2.5. Producción por frente de explotación. Fuente: Autor

	Producción [t]
FRENTE 1	20.71
FRENTE 2	8.17
FRENTE 3	12
FRENTE 4	27.67

Tabla 2.6. Ley del bloque g/t. Fuente: Autor

	Ley [g/t]
FRENTE 1	15
FRENTE 2	7
FRENTE 3	9
FRENTE 4	16

Finalmente, la variabilidad de las leyes y los precios de oro en el mercado internacional, obligan a tomar medidas de dilución tabla 2.7 para no obtener leyes de bloques por debajo la ley de corte 10 g/t.

Tabla 2.7. Dilución esperada. Fuente: Autor

	D [g/t]
semana 1	11
semana 2	9
semana 3	10
semana 4	10
semana 5	12

Cabe añadir, que se comparó las actividades versus la simultaneidad de los parámetros tabla 2.8 y se marcó con “X” en las casillas que conllevan a la realización de la actividad.

Tabla 2.8. Parámetros de entrada del modelado MILP. Fuente: Autor

	Parámetros							
Actividad	Tonelaje [t]	Ley [g/t]	Volumen [m3]	Tasa máxima [%]	Metros perforados [m]	Costo Mina [\$ /t]	Costo perforación [\$ /t]	Costo total [\$ /t]
Dilución	X	X		X		X		X
Material explotado	X	X		X		X		X
Seco			X	X				X
Perforación				X	X		X	X

La dilución se enfoca a la actividad de construcción, es decir al desplazamiento de tonelaje considerando la dilución debido al sistema de explotación, para dejar limpio el acceso al bloque. El material explotado corresponde a la actividad de extracción del bloque en operación minera. El seco está constituido por material estéril. Por último, la perforación se asigna a los metros de perforación lineal del bloque para el *scheduling* del plan de producción.

El horizonte del proyecto es de un mes 35 días. “Por lo tanto las tasas de avance máximo es necesario ajustarlas por un factor ”(Gómez Jeria, 2015). Algo parecido ocurre con las tasas anuales 10% estas aumentan cada año, pero el presente estudio consta de 5 semanas, con una tasa calculada en semanas de 0.21%.

2.3. Fase III

2.3.1. Aplicación MILP

Para el presente proyecto se utilizó una variante de la programación entera mixta MIP, que es la programación lineal entera mixta (MILP), donde las restricciones son lineales, estas restricciones de integralidad permiten que los MILP capturen la naturaleza discreta de algunas decisiones. Por ejemplo: sea una variable cuyos valores están restringidos a 0 o 1, llamada variable binaria, y teniendo en consideración la fase II se construye la base de datos con todas las precedencias de actividades. Los parámetros que no aplican a la actividad toman el valor cero (por ejemplo, para una actividad definida como material explotado los metros perforados son cero). También se usó para decidir si se toman medidas o no, como decidir en qué bloque de las vetas explotar. A su vez se resolvió mediante el algoritmo Branch and Bound que es basado en la ramificación y la unión mediante resolución de problemas de programación lineal.

Se empieza por el MILP original, cumpliéndose las restricciones establecidas el LP resultante se denomina relajación de la programación lineal, esta segunda solución óptima se la analiza y se vuelve a establecer restricciones a partir de la segunda solución y así sucesivamente como se muestra en la figura 2.6, con la finalidad de generar un árbol de búsqueda,



Figura 2.5. Branch and Bound. Fuente: (Gurobi, 2019)

El campo de la programación de enteros mixtos ha sido testigo de mejoras notables hasta el presente año en las capacidades de los algoritmos MILP. Dos de los principales cooperadores que ayudaron a la resolución en la última década fueron la heurística y el paralelismo. Ahora se dan a conocer las descripciones generales de alto nivel de los dos componentes antes mencionados (Inc., 2014).

La heurística nos dio a conocer la discusión sobre cuál era la manera más rápida de encontrar una aproximación de la solución. Insertamos el concepto de titular en nuestra introducción a ramificar y vincular. Tener buenos titulares es decir información oficial y buscarlos en un óptimo tiempo puede ser muy favorable en la búsqueda de MILP por varias razones. Hay que tener en cuenta, que al momento de resolver la problemática no se optimiza, obteniéndose el siguiente caso. Por ejemplo: el MILP subyacente puede ser demasiado complejo o puede haber alguna restricción establecida por el usuario sobre la cantidad de tiempo que podemos permitir que se ejecute en el algoritmo planteado mediante el

modelo (MILP) (Inc., 2014). Con todas estas variantes, se requirió la mejor solución posible al ejecutar el programa. Obtener excelentes soluciones rentables nos ayuda al proceso de búsqueda antes de la culminación del modelo.

El paralelismo es otra contribuyente que señaló el inicio de la discusión, el solucionador MILP consideró una ejecución en paralelo como se muestra en la figura 2.6. La principal fuente de paralelismo es el hecho de que diferentes nodos en la búsqueda del árbol MILP se pueden procesar de forma independiente (Inc., 2014). A menudo estos modelos indagan grandes ramificaciones con mucha eficacia, pero el problema es con los nodos raíz son limitados al utilizar múltiples núcleos.



Figura 2.6. Cooperador Paralelo-Branch and Bound. Fuente: (Gurobi, 2019)

2.3.2. Validación del modelo: Horizonte de trabajo

“Función objetivo ecuación 2.1”

$$\text{Minimizar: } \sum_{t \in T} (t - 1) * x_{(n+1,t)} \quad (2.1)$$

t = periodo de tiempo

x_{it} = variable la cual es 1 en el periodo t, si se han completado todos los recursos renovables i en el periodo t; de lo contrario 0. En ocasiones x_{it}

no se comporta como variable si $t < \text{periodo más corto}$ o $t > \text{fecha de vencimiento}$ (Santos & Toffolo, 2019).

2.3.2.1. Restricciones

$$\sum_{t \in T} x(j, t) = 1; \forall j \in J \cup \{n + 1\} \quad (2.2)$$

Una variable la cual es 1 si los trabajos j para los diferentes recursos son completados en el periodo t . ecuación 2.2.

$$\sum_{j \in J} \sum_{t' = t - p_j + 1} u_{(j,r)} x_{(j,t')} \leq c_r; \forall t \in T, r \in R \quad (2.3)$$

El arreglo matricial debe tener el mismo número de columnas que la cantidad de elementos de los recursos limitados ecuación 2.3.

$$\sum_{t \in T} t * x_{(s,t)} - \sum_{j \in J} t * x_{(j,t)} \geq p_j; \forall (j,s) \in S \quad (2.4)$$

Se establece las actividades que son simultaneas, estas se superponen independientemente del horizonte de trabajo ecuación 2.4.

$$x_{(j,t)} \in \{0,1\}; \forall j \in J \cup \{n + 1\}, t \in T \quad (2.5)$$

Las variables son binarias 0 o 1 ecuación 2.5 (Santos & Toffolo, 2019).

2.3.3. Función Objetivo: Modelo de secuencia de explotación

“Función objetivo ecuación 2.6”

Maximizar:

$$- \sum_{\substack{i=1,4 \\ t=1,5}} C_{it} * \gamma_{it} + \sum_{t=1,5} I_t * q_t \quad (2.6)$$

La utilidad consiste en los ingresos I_t por la venta de mineral menos los costos totales C_{it} , a esto se denomina máximo beneficio (Williams, 2013).

$$\gamma_{it} = \begin{cases} 1 & ; \text{ si el frente esta activo} \\ 0 & ; \text{ inactivo} \end{cases}$$

q_t = dilución entre bloques

Se construye un modelo en una matriz donde las filas son todas las posibles combinaciones en un horizonte de trabajo de 5 semanas y las columnas son todos los posibles escenarios de explotación del mineral. A medida que se dan las iteraciones el número de filas y columnas se reduce a una matriz (5,4).

2.3.3.1. Restricciones del modelo

$$x_{it} - M_i \delta_{it} \leq 0; \forall_{i,t} \in F \cup S \quad (2.7)$$

F = frente de explotación

S = Precedencia de actividades

M_i es la producción máxima del frente de explotación i. Esta restricción implica que, si la mina no trabajó en el periodo t, la producción es 0 ecuación 2.7.

$$\sum_{i=1}^4 \delta_{it} \leq 3; \forall_t \in S \quad (2.8)$$

Esta restricción permite que no se trabajen más de tres frentes en un periodo de trabajo t ecuación 2.8.

$$\delta_{it} - \gamma_{it} \leq 0; \forall_{i,t} \in F \cup S \quad (2.9)$$

De acuerdo con esta restricción, si el frente de explotación está "inactivo" en el horizonte de trabajo t, no se puede trabajar en ese periodo t ecuación 2.9.

$$\gamma_{it+1} - \gamma_{it} \leq 0; \forall_{i,t} < 5 \quad (2.10)$$

Esto obliga a que un frente de explotación este inactivo en todas las semanas posteriores a la primera vez que se inactivo ecuación 2.10.

$$\sum_{i=1}^4 L_i * x_{it} - Q_t * q_t = 0; \forall t \in S \quad (2.11)$$

L_i es la ley del mineral por cada frente de explotación i y Q_t es la calidad requerida en la semana t ecuación 2.11.

$$\sum_{i=1}^4 x_{it} - q_t = 0; \forall t \in S \quad (2.12)$$

En cuanto a esta restricción asegura que el tonelaje de mineral mezclado P en cada semana sea igual al tonelaje combinado de los constituyentes ecuación 2.12 (Williams, 2013).

Los modelos matemáticos aplicables a la planificación pueden ser categorizados como algoritmos de asignación y algoritmos de asignación de recursos, es decir se analizan de forma matricial. En el capítulo 3 se analiza los resultados de los modelos matemáticos empleados.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Topografía

Con respecto a la topografía se obtuvo el levantamiento de los todos los bloques correspondientes a la veta Úrsula, Dominga y Teresa con sus respectivos puntos de muestreos, dirección y distancias como se muestra en el Anexo C.

Cabe añadir que se tomaron 18 muestras en la veta Úrsula, reconociendo 4 bloques como reservas medidas.

En la veta Dominga se tomaron 29 muestras, reconociendo 9 bloques entre reservas medidas e inferidas.

Por último, en la veta Teresa se tomaron 10 muestras, reconociendo 4 bloques como reservas medidas e indicadas.

3.2. Muestreo

De acuerdo con la topografía, muestreo, dimensiones de labor y potencias de la veta, se utilizó el concepto de ley x potencia, volumen de veta VV, y volumen total VT se pudo hacer un resumen del cálculo de la reserva monetarizada por cada bloque para un precio del oro de \$ 48 el gramo (Kitco, 2019).

Tabla 3.1. Reservas de los bloques de la veta Úrsula. Fuente: Autor

Bloque	Área m^2	Potencia (m)	Vol m^3	Reserva (g)	oz	Reserva Monetarizada (48 \$/g)
bloque_ciruelo1	137.5374	0.085	11.690679	1928.50	68.0258947	79,068.57
bloque_ciruelo2	519.35	0.247	128.539125	16028.08	565.373737	657,151.11
bloque_ciruelo3	1193	0.173	206.7866667	90773.88	3201.954345	3,721,729.03
bloque_ciruelo4	669.5	0.21775	145.783625	294.44	10.38592629	12,071.88

Los resultados de reservas medidas en gramos de oro presentes en el sector de la veta Úrsula tabla 3.1 es menor 17956.58 en comparación con las demás vetas. Sin embargo, existe una mayor cantidad de [g] de oro en reservas inferidas de 90773.88.

Tabla 3.2. Reservas de los bloques de la veta Dominga. Fuente: Autor

Bloque	Área m^2	Potencia (m)	Vol m^3	Reserva g Au	oz	Reserva Monetizada (48\$/g)
bloque_nube2	9530.6	0.343	3272.172	39940	1409	1,637,532.70
bloque_nube1	1214.4	0.195	236.808	9573.8	337.7	392,526.48
bloque_r1	4191.8	0.0605	253.6039	13036	459.8	534,464.62
bloque_colonia	311.42	0.1925	59.94835	1821.9	64.27	74,697.18
bloque_r2	5911	0.25	1477.75	9487.2	334.7	388,974.57
bloque_nube3	3369	0.055	186.9795	2283.8	80.56	93,634.20
bloque_z1	8519	0.19	1618.61	55461	1956	2,273,904.96
bloque_z2	4876	0.25	1219	44545	1571	1,826,348.38
bloque_caramelo1	507	0.16	81.12	3310.2	116.8	135,718.23

Los resultados de reservas medidas en gramos de oro presentes en el sector de la veta Dominga tabla 3.2 es un valor medio 18167.81 en comparación con las demás vetas. Por el contrario, existe una mayor cantidad de g de oro en reservas indicadas de 74522.10. También, se presenta una menor cantidad de g de oro en reservas inferidas de 86768.67.

Tabla 3.3. Reservas de los bloques de la veta Teresa. Fuente: Autor

Bloque	Área m^2	Potencia (m)	Vol m^3	Reserva g Au	oz	Reserva Monetizada (48 \$/g)
bloque_gloria2	3500	0.1675	586.16625	10571.745	372.90731	433,441.53
bloqueTrabajado_gloria1	3472	0.2075	720.44	241.6512	8.5239952	9,907.70
bloque_nuevo1	3375	0.15	506.25	53513.156	1887.621	2,194,039.41
bloque_nuevo2	3381	0.15	507.15	14339.666	505.81684	587,926.32

Los resultados de reservas medidas en gramos de oro presentes en el sector de la veta Teresa tabla 3.3 es mayor 64084.90 en comparación con las demás vetas. En cambio, existe una menor cantidad de g de oro en reservas indicadas de 14339.67.

Tabla 3.4. Resumen de reservas. Fuente: Autor

	Medidas g	Indicadas g	Inferidas g
Sector Úrsula	17956.58		90773.88
sector Dominga	18167.81	74522.10	86768.67
Sector Teresa	64084.90	14339.67	
Total gramos de Au	100209.3	88861.8	177542.5
Total de onzas de Au	3534.78	3134.51	6262.63

La categorización de las reservas totales de la mina tabla 3.4 se definió por el método del polígono, por lo tanto, existe en la concesión minera un total de g de oro 100209.3, 88861.8 y 177542.5 respectivamente medidas, indicadas e inferidas.

Efectivamente se escogió los frentes de explotación según el análisis de los bloques del presente mes 2019, estos fueron bloque ciruelo 4, colonia, r2 y nuevo.

3.3. Análisis de costos Actual

3.3.1. Egresos

3.3.1.1. Costos de insumos por frente de explotación

En resumen, los datos obtenidos en campo permitieron estimar la sección transversal media por cada frente de trabajo, en tanto que se realizó el cálculo del número de taladros por frente de explotación tabla 3.5.

Tabla 3.5. Número de taladros de acuerdo con el frente de explotación.

Fuente: (Bernaola, Castilla, & Herrera, 2013)

Frentes de Explotación	ANCHO	ALTO	A	P	$N=(P/E)+KA$
	(m)	(m)	(m^2)	(m)	ROCA DURA
FRENTE U 5' X 6'	1.52	1.82	2.77	5.16	18
FRENTE D1 5' X 7'	1.52	2.13	3.24	5.38	20
FRENTE D2 5' X 7'	1.52	2.13	3.24	5.38	21
FRENTE T 5.7' X 7'	1.73	2.13	3.68	5.55	22

Para el cálculo de costos por metro lineal tabla 3.6 se necesitaron incluir costos de personal, perforación, explosivos y herramientas.

Tabla 3.6. Tonelaje volado y costo por metro lineal. Fuente: Autor

Frentes de Explotación	Tonelaje Volado [t]	Costo por metro lineal [\$/ml]
FRENTE U 5' X 6'	20.78	688.11
FRENTE D 5' X 7'	24.31	689.5
FRENTE D 5' X 7'	24.31	689.5
FRENTE T 5.7' X 7'	27.67	690

3.3.1.2. Costos de personal

En lo que concierne al costo total de mano de obra tabla 3.7 se considera la relación del coste parcial y el rendimiento con respecto a la eficiencia de la perforación / voladura y la longitud del barreno.

Tabla 3.7. Costos totales de mano de obra. Fuente: Autor

Mano de obra	Cantidad	[\$/turno]	Parcial [\$/turno]	Subtotal [\$/turno]
Maestro Perforista	4	36.0	288.00	177.94
Ayudante Perforista	4	32.0	256.00	158.17
Obrero	17	30.0	240.00	148.29
Jefe de Guardia	1	55.0	66.00	40.78
Winchero	2	32.0	256.00	158.17
Maestro Enmaderador	1	36.0	288.00	177.94
Ayudante Enmaderador	1	32.0	256.00	158.17
TOTAL				1,019.46

3.3.1.3. Impuestos

Cabe añadir que se incluyó los impuestos; utilidad 12% del costo directo y gastos generales imprevistos 13% del costo directo.

3.3.2. Ingresos

3.3.2.1. Valorización del bloque

T, Tonelaje del bloque t

R, Recuperación del bloque = 80 %

P, Precio del producto = 48 \$/g (Kitco, 2019)

L, Ley (concentración del producto) = 10 g/t

$$V = P \cdot L \cdot R \cdot T \quad (3.1)$$

Se procedió a realizar la valorización de los bloques utilizando a ecuación 3.1 y obteniéndose tabla 3.8 como dato 366 \$/t por bloque sin considerar la distancia de la superficie al frente de explotación.

Tabla 3.8. Valorización de los bloques. Fuente: Autor

Valorización	\$	\$/t
F1	530590.2	366
F2	209315.4	366
F3	307440	366
F4	708905.4	366

3.3.3. Presupuesto de caja

En efecto se evalúa los recursos de la mina mediante el flujo de caja de la mina y los indicadores económicos de calidad VAN y TIR a lo largo de un año, donde se obtuvo respectivamente un VAN positivo de \$1,769,084.46 y un TIR > k de 222%, donde “ k ” es la tasa de oportunidad de flujos 10 % elegida para el cálculo del valor presente neto.

Tabla 3.9. Línea final del flujo de caja anual. Fuente: Autor

\$ (70,000)	\$ 143,935	\$ 163,275	\$ 203,335	\$ 243,395	\$ 277,455	\$ 317,515	\$ 357,575	\$ 397,635	\$ 437,695	\$ 477,755	\$ 467,815
----------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Tabla 3.10. Indicadores económicos. Fuente: Autor

VAN	\$1,769,084.46
TIR	222%

3.4. Validación del modelo: Horizonte de trabajo

3.4.1. Datos de salida

Con respecto a la validación del modelo la solución obtenida tiene un enfoque al consumo de los recursos limitados.



























- | | |
|--|---|
| 1.  Perforación | 6.  Regadío |
| 2.  Carguío | 7.  Limpieza |
| 3.  Voladura | 8.  Transporte |
| 4.  Ventilación | |
| 5.  Acuñadura | |

Tabla 3.11. Scheduling del Horizonte de trabajo en día laboral. Fuente: Autor

Schedule	1	2	3
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Se considero como variables el recurso personal y maquinaria para la ejemplificación de validez del modelo. En la tabla 3.11 las columnas representan la cantidad de recurso y en las filas el horizonte de trabajo en horas, aunque la simultaneidad en la novena hora de trabajo y posteriores frentes de explotación se tomaron en cuenta, en consecuencia, lo que se manifiesta es múltiples tareas en una misma jornada laboral.

3.5. Modelo de secuencia de explotación

3.5.1. Datos de salida

En definitiva, la solución óptima expresada en forma binaria tabla 3.12 es la siguiente:

Tabla 3.12. Propuesta de explotación de frentes. Fuente: Autor

	Frente 1	Frente 2	Frente 3	Frente 4
semana 1	1	0	1	1
semana 2	1	1	1	0
semana 3	1	1	1	0
semana 4	1	1	1	0
semana 5	1	0	1	0

Brevemente cada frente de explotación 1 y 3 están activos todas las semanas, excepto en los frentes 2 y 4, debido a las restricciones enunciadas en el modelo. Además, se producen las siguientes cantidades de mineral en toneladas por cada frente todas las semanas tabla 3.13:

Tabla 3.13. Producción esperada por cada frente de explotación por semana. Fuente: Autor

	Frente 1	Frente 2	Frente 3	Frente 4
semana 1	1449.7	-	840	465.40
semana 2	1449.7	21.18	840	-
semana 3	1449.7	510.77	840	-
semana 4	1449.7	510.77	840	-
semana 5	1449.7	-	840	768.16

A fin de acumular las cantidades totales de mineral mezclado en toneladas tabla 3.14 se calculó la máxima utilidad producida con un valor de \$ 2'000.000 en un horizonte de planificación a corto plazo.

Tabla 3.14. Acumulación de mineral mezclado por semana de trabajo. Fuente: Autor

	TOTAL [t]
semana 1	2755.10
semana 2	2310.88
semana 3	2800.47
semana 4	2800.47
semana 5	3057.86

3.6. Análisis de alternativas

La salida del programa mostró una tabla o matriz de datos donde los enteros son números binarios 0 y 1 o números enteros que representan la secuencia de explotación. Las coordenadas son dadas en (x , y). Luego se procede a ser la suma acumulativa de los costos que incurren por concepto de costo total por frente de explotación.

Una limitante del problema fueron las restricciones impuestas por cada intervalo de tiempo en cada iteración, para esto fue necesario ajustar las restricciones a medida que el problema cambia. Las variables impuestas fueron el precio, costo mina, costo relleno, tasa de descuento, tonelaje y ley del bloque. Sin embargo, las restricciones aseguran la veracidad del proyecto, cabe recalcar que si no se las colocan se pueden dejar bloques sin explotar y repercute en la no viabilidad del proyecto.

La validación del modelo es una tarea compleja que a menudo suele llevar una serie de procesos y un sin número de tareas de manera simultánea. En este modelo piloto queda la incertidumbre de indagar con más detalle, de tal forma que sea coherente y aplicable a realidades con casos extremos.

Los generadores de costos e ingresos son por cada frente, es posible generar mayor cantidad de datos como por ejemplo geotécnicos, geohidrológicos, pero no los vamos a considerar en esta ocasión, no pretendiendo decir que no se pueden usar para trabajos futuros y evitar complejidades mayores en los modelos. La búsqueda de herramientas informáticas continua para verificar los mejores rendimientos y tener eficiencia en costos.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se comprobó que la programación matemática mediante la aplicación de la herramienta computacional como lo es PyCharm, ayudó a la validación del modelo dado que el horizonte de trabajo permite con base en los recursos existentes, es decir: personal, tiempo de trabajo en horas y maquinaria, acceder al tiempo que se necesita para culminar las actividades, en lo posterior se desarrolló el modelo de secuencia de explotación beneficiado por su corto tiempo de resolución, tiene como resultado una utilidad de \$ 2'000.000, con un incremento del 25 % a comparación sin el uso del modelo matemático, por lo que se garantizó la maximización del recurso.
- Lo principal fue la construcción de la base de datos en el formato de entrada para el uso del modelo; y luego, sus debidas precedencias de las actividades permitieron continuar con la validación del modelo siendo un trabajo extenso y tedioso, en consecuencia, de la simultaneidad de las actividades. Se comprobó que la situación actual de la mina con el uso del modelo de secuencia de explotación optimiza la producción asegurando la preservación de los recursos limitados siendo de vital importancia, puesto que, en el área de trabajo utilizan todos sus recursos a la máxima capacidad sin cerciorarse del costo por concepto de depreciación de maquinaria, además del rendimiento por frente de explotación.
- Se determinó la función objetivo ideal para el modelo exponiendo la diferencia de ingresos menos los costos, consiguiendo múltiples restricciones lineales como resultado se obtuvo:

- Un modelo de 57 filas, 56 columnas y 140 enteros.
 - Tipo de variables iniciales; 25 continuas y 40 binarias, luego la próxima solución da variables en el orden de 20 continuas y 32 binarias.
 - Las ramificaciones se presentaron en 40 iteraciones
 - Tolerancia del (1×10^{-4})
 - Error del 0.01%
- Se analizó las 5 restricciones iniciales con base en la toma decisión en campo, en lo posterior comparar los resultados obtenidos de la secuencia de explotación, por el contrario, el modelo hizo la búsqueda de 56 restricciones, las cuales permiten optimizar por cada iteración hasta encontrar la más asequible. Cabe recalcar, que estas restricciones fueron designadas por el criterio del máximo beneficio, siendo el favorito para esta actividad, además de ser flexible y viable económicamente.
 - Se aplicó la programación matemática MILP obteniendo un modelo de secuencia de explotación que se contrastó con datos pasados, demostrando qué, la toma de decisión empleada asegura los recursos limitados a cambio de predecir o elegir el bloque con su frente explotación más adecuado que obtenga la mejor calidad del mineral con fundamento en la dilución esperada qué es un factor cambiante a tiempo real. La estimación es sin duda una forma de anteponerse a la explotación obteniendo la mejor rentabilidad teniendo en cuenta la necesidad de la mina y la variabilidad de los precios de metal, de ahí su ley de corte para la extracción del mineral. Las actividades propuestas en el modelo a comparación de las que realmente se utilizan en la mina

pueden maximizar el beneficio en un 40 %, puesto que las actividades de limpieza, regadío y acuñadura no se realizan con frecuencia.

El uso de una herramienta computacional avanzada como lo es PyCharm permite el tiempo de resolución este alrededor de los 3 segundos para este caso estudio.

4.2. Recomendaciones

- Con respecto a maximizar la utilidad se puede mejorar realizando planes a mediano plazo y largo plazo para compararlos con la información a tiempo real del plan a corto plazo generando modelos de manera uniforme.
- La facilidad de tabular la información obtenida en campo de una forma más apropiada se evidenciará en los resultados obtenidos a partir del modelo. Además, la variabilidad de la dilución se debe considerar a diario en vez de realizar la aproximación dependiendo del sistema de explotación.
- Este proyecto busca las diferentes alternativas propuestas para luego compararlas con diversos autores, se estima que la mejor función objetivo deberá ser la que utilice una programación matemática de alto nivel, es decir que agrupe todos los modelos creados y obtener el más idóneo para cada sector de minero.
- En el presente año existen un sin número de sistemas de explotación, así pues, en la mina el avance de la explotación puede ser cambiante, por lo que estos sistemas se combinan o cambian drásticamente. En un

futuro se podrán considerar en el modelo nuevas formas de tecnificación de extracción del mineral.

- En definitiva, la recomendación es utilizar herramientas computacionales en todos sus horizontes de planificación para minería subterránea selectiva con un multicriterio de selección, por ende, el número de tareas, variables del problema, restricciones y tiempo de resolución aumentara gradualmente hasta el punto de que las técnicas utilizadas en el 85% de la industria minera en el Ecuador sean ineficientes, considerando que el proyecto aumente sus canales de comercialización.

5. REFERENCIAS

- Abzalov, Marat. 1984. *Applied Mining Geology*. Vol. 12. ed. Geological Survey of Western Australia. Crawley, WA, Australia: Springer. <http://www.springer.com/series/7377>.
- Alcaide; Gonzalez; Sedeño. 2002. "Modelos Matematicos En La Planificación de Proyectos." 51: 39–49. www.sinewtown.org/xi_jaem.
- ARCOM. 2019. *Derechos Mineros*.
<http://181.211.37.229:8381//derechosMinerosNacional.xhtml>.
- Barbaro & Ramani, R. V. 1986. "Generalized Multiperiod Mip Model for Production Scheduling and Processing Facilities Selection and Location." *Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Society* 280(pt A): 107–14.
- Bernaola, Jose, Jorge Castilla, and Juan Herrera. 2013. "Perforación y Voladura de Roca En Minería." *Journal of Investment Management*: 264.
- Carrión, Galo. 2010. "ESTUDIO MINERALOGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO REFRACTARIO EN LOS DISTRITOS MINEROS DE PORTOVELO, BELLA RICA Y SAN GERARDO."
- esri. "ArcGis Online." fict.maps.arcgis.com.
- Gómez, Alejandra Nicolette. 2015. 1 "Secuenciamiento Multicriterio Para Minería Subterránea Selectiva." Universidad de Chile.
- Herrera, Herbert, and Jáen Gómez. 2007. "Diseño de Explotaciones e Infraestructura Minera Subterránea." : 154.
http://oa.upm.es/21841/1/071101_L3_labores_subterraneas_2.pdf.
- Inc., Gurobi Optimization. 2014. "Gurobi Optimizer Reference Manual." 9: 900.
www.Gurobi.Com.
- Kitco. 2019. "Precio Del Oro \$48 29/12/2019 10:30 am.."
<https://www.kitco.com/charts/livegold.html>.

Kuchta, Newman & Topal, M. A. E. 2003. "SME_Kiruna.Pdf."

Kuchta, M., A. Newman, and E. Topal. 2003. "Production Scheduling at LKAB's Kiruna Mine Using Mixed-Integer Programming." *Mining Engineering* 55(4): 35–40.

Narro Ramírez, Ana. 1996. "Aplicación de Algunos Modelos Matemáticos a La Toma de Decisiones." *Política y cultura* (6): 183–98.

Narvaez, Victor Hugo. 2000. "Determinación y Origen de Las Alteraciones Hidrotermales Presentes En El Tunel de La Sociedad Primero de Mayo Del Yacimiento Aurífero de Bella Rica."

Ordeñana Rocafuerte, Allan Guillermo. 2017. "Diseño de Planificación Minera a Cielo Abierto de Un Yacimiento Aurifero Considerando La Incertidumbre Geológica."

Santos & Toffolo, H. & T. 2019. "Mixed Integer Linear Programming with Python." : 58.

Vera, David. 2010. "Fascículo Provincial Guayas." *Sustainability (Suiza)* 7(1): 8.

Williams, H. Paul. 2013. A John Wiley & Sons, Ltd. Publication *Model Building in Mathematical Programming*. 5th ed. UK: Wiley.

ANEXOS

Anexo A: Recopilación de datos

Tabulación de datos tomados en campo con su respectiva ley

Datos Veta Úrsula

No	codigo	direccionN	direccionS	direccionO	direccionE	labor	longitud_m	muestra	anchoLabor_m	altoLabor_m	potenciaVet_a_cm
1	V11-Δ0	160	-	-	-	galeria	0	SI	2.2	2.2	24
2	V12-20-V11	155	-	-	-	galeria	+20	SI	2.04	2.41	6
3	V13-17-V12	160	-	-	-	galeria	+17	NO	2.2	2.47	1
4	V14-16-V13	150	-	-	-	galeria	+16	NO	0.95	1.78	3
5	V15-13-V13	190	-	-	-	galeria	+13	NO	1.03	1.83	0.1
6	V16-7-Δ0	-	-	40	-	chimenea	+7	NO	1.9	1.9	1
7	V17-12.5-V16	175	-	-	-	subnivel	+12.5	SI	1.3	1.45	7
8	V18-11.8-V17	175	-	-	-	subnivel	+24.3	NO	1.3	1.46	7
9	V19-4.3-V18	-	-	40	-	chimenea	+4.3	NO	1.8	1.75	6
10	V110-7-Δ0	30	-	-	-	galeria	-7	NO	1.2	1.2	17
11	V111-12-V110	30	-	-	-	galeria	-12	SI	2.09	2.2	20
12	V112-100-V111	-	-	32	-	chimenea	-100	SI	2.15	1.55	17
13	V113-20-V112	5	-	-	-	galeria	-20	NO	2.1	1.83	5
14	V114-20-V113	7	-	-	-	galeria	-20	SI	2.1	1.9	26
15	V115-20-V114	20	-	-	-	galeria	-20	SI	1.9	2.04	9
16	V116-32-V115	13	-	-	-	galeria	-32	NO	2.24	2.2	0.2
17	V117-20-V116	24	-	-	-	galeria	-20	SI	2.5	2.1	15
18	V118-50-V117	24	-	-	-	galeria	-50	NO	1.9	2	15
19	V119-34-V118	10	-	-	-	galeria	-34	SI	1.9	1.93	10
20	V120-16-V119	9	-	-	-	galeria	-16	NO	1.9	2.2	0.1
21	V121-33-V120	14	-	-	-	galeria	-33	SI	2.15	2.1	12
22	CR-6.5-V121	96	-	-	-	galeria	-6.5	NO	1.2	1.6	0
23	V122-8-V121	93	-	-	-	galeria	-8	NO	2.1	1.95	0.5
24	CR00--CR	5	-	-	-	rampa	+50	SI	1.3	1.9	0.1
25	CR01-2-CR00	3	-	-	-	subnivel	+2	SI	1.65	2.7	35
26	CR02-27-CR01	13	-	-	-	subnivel	+27	SI	1.5	2.3	25
27	CR03-13-CR02	17	-	-	-	subnivel	+13	SI	1.7	2.5	27
28	V123-9-Δ0	155	-	-	-	galeria	+9	NO	2	2.3	5
29	V124-12-V123	-	-	42	-	chimenea	+12	NO	1.25	1.5	10
30	1BLB1-3-V124	350	-	-	-	subnivel	+3	SI	1.5	1.8	27
31	1BLB2-27-1BLB2	352	-	-	-	subnivel	+27	SI	1.5	2.3	20

Datos Veta Dominga

No	codigo	direccionO	direccionE	labor	longitud_m	muestra	ancholabor_m	altolabor_m	potenciaVeta_cm
1	V2-Δ0	-	-	galeria	+0	NO	2.4	2	0.1
2	V22-41-V21	-	-	galeria	+41	NO	2.2	2	0.1
3	V23-30-V22	-	-	galeria	+30	NO	2.3	1.9	0.1
4	V24-51-V23	-	-	galeria	+51	NO	2.2	2.4	0.1
5	V25-50-V24	-	-	galeria	+50	SI	2.1	2.3	23
6	V26-6.2-V25	48	-	chimenea	+6.2	SI	1.4	1.5	6
7	V27-4-V26	-	-	subnivel	+4	SI	1.3	3	23
8	V28-46-V27	-	-	subnivel	+46	SI	1.5	3	25
9	V29-32-V28	-	-	galeria	+32	NO	1.5	1.7	10
10	V210-8-V25	-	-	galeria	+8	SI	1.4	1.8	11
11	V211-12-V210	-	-	galeria	+12	SI	0.5	1.7	10
12	V212-30-V211	-	-	galeria	+30	SI	0.5	1.8	22
13	V213-70-V212	-	-	galeria	+70	SI	0.6	2	40
14	V214-70-V22	50	-	chimenea	+70	NO	1.6	2.5	0.1
15	V215-20-V214	-	-	subnivel	+20	SI	1.6	2.1	15
16	V216-40-V215	-	-	subnivel	+40	SI	1.6	2	9
17	V217-6-V216	52	-	chimenea	+6	SI	1.5	2	13
18	V218-35-V217	-	-	subnivel	+35	SI	1.6	2.2	41
19	V219-32-V218	-	-	subnivel	+32	SI	1.3	3	21
20	V220-2-V219	-	-	chimenea	+2	SI	1.2	1.9	13
21	V221-100-V220	-	-	subnivel	+100	SI	1	2.1	20
22	V222-70-V221	-	-	subnivel	+70	SI	1	1.7	30
23	V223-10-V222	-	-	chimenea	+10	SI	1.6	3	35
24	V224-110-V223	-	-	subnivel	+110	SI	1.65	3	45
25	2BLV10-37-Δ0	-	-	galeria	+37	NO	2.2	1.95	0.1
26	2BLV11-12-2BLV10	-	-	galeria	+12	SI	1.7	1.94	15
27	2BLV12-9-2BLV10	-	-	galeria	+9	NO	1.8	2.1	0.1
28	2BLV13-30-2BLV12	-	42	pique	+30	NO	2	2.4	10
29	2BLV14-58-2BLV13	-	-	subnivel	+58	SI	1.75	1.85	15
30	2BLV15-54-2BLV14	-	-	subnivel	+54	NO	2.28	2.2	15
31	2BLV17-70-2BLV15	-	40	pique	+70	NO	2.2	2.85	10
32	2BLV16-18-2BLV17	-	-	subnivel	+18	SI	1.8	2.3	38
33	2BLV18-14-2BLV17	-	-	subnivel	+14	SI	1.6	2	12
34	2BLV19-35-2BLV18	-	-	subnivel	+35	NO	1.3	1.7	23
35	2BLV20-20-2BLV19	-	-	subnivel	+20	NO	1.75	1.9	24
36	2BLV21-18-2BLV20	-	-	subnivel	+18	SI	2.38	1.88	20
37	2BLV22-35-2BLV21	-	-	subnivel	+35	SI	2.6	1.85	29
38	Y1-15-2BLV21	-	-	subnivel	+15	SI	1.28	2.2	23
39	Y2-14-Y1			subnivel	+14	NO	1.18	1.8	23
40	2BLV9-4-2BLV14	-	-	subnivel	+4	NO	1.2	1.7	0.1
41	2BLV8-8-2BLV9	-	40	chimenea	+8	NO	1.5	1.7	0.1
42	CFLA01-6-2BLV8	-	-	subnivel	+6	SI	1.2	2.5	25
43	CFLA02-30-CFLA01	-	-	subnivel	+30	SI	1.1	1.8	9
44	CFLA03-28-CFLA02	-	-	subnivel	+28	SI	1.45	3.2	15
45	v225-60-V224	55	-	chimenea	+60	NO	1.5	1.6	0.1
46	3BLC3-19-V225	-	-	subnivel	+19	SI	1.1	1.56	11

Datos Veta Teresa

No	codigo	direccionN	direccion	direccionO	direccionE	labor	longitud_m	muestra	anchoLabor_m	altoLabor_m	potenciaVeta_cm
1	v31-Δ0	223	0	0	0	galeria	+16,5	NO	1.8	1.7	0.1
2	V32-19.3-Δ0	152	0	0	0	galeria	+19,3	SI	2.3	1.9	6
3	V33-23.4-V32	178	0	0	0	galeria	+23,4	NO	1.7	1.9	6
4	V34-8.2-V33	158	0	0	0	galeria	+8,2	NO	2.5	2.2	6.7
5	V35-8-V34	0	0	60	0	galeria	+8	SI	1.9	1.97	11
6	V36-40-V35	22	0	0	0	subnivel	+40	SI	1.6	2.5	24
7	V37-V36	22	0	0	0	subnivel	+30	SI	1.6	2.6	26
8	RAM-V36	22	0	0	0	subnivel	+30	SI	1.6	2.6	13
9	V38-V37P	0	0	60	0	chimenea	+9	SI	1.5	1.4	10
10	V351-15-V35	0	0	60	0	chimenea	+15	NO	1.9	1.95	0.1
11	V352-18-V351	142	0	0	0	subnivel	+18	SI	1.7	1.85	22
12	V353-100-V35	0	0	60	0	chimenea	+100	SI	1.9	2	25
13	V354-7-V353	45	0	0	0	subnivel	+7	NO	1.7	1.85	17
14	V355-90-V354	330	0	0	0	subnivel	+90	NO	1.7	1.92	17
15	V39-V38	335	0	0	0	subnivel	+40	SI	2.2	1.7	20
16	3BLNS-30-Δ0	43	0	0	0	galeria	-30	SI	1.7	2	20

SOCIEDAD MINERA "SAN JORGE 2"		
Detalle de inventario - interior de la mina		
Cantidad	Item	Modelo
10	ramflas pique veta 2 y 3 de 7 metros	
3	baldes para winchas veta 2 y 3	
5	carretillas veta 1	
11	carretillas veta 2 y 3	
6500	rieles	
5	baldes para winchas veta 1,2 y 3	
6	máquinas de barrenar veta 1,2,3	Y217
1100 m	tubería pvc de 2"	plastigama
1500 m	politubo 3/4"	plastigama
700 m	politubo 1"	plastigama
1700 m	politubo 2"	plastigama
	focos	
2	esmeril grande	dewalt
1	bomba para agua	foros JX80
16	carros mineros operando	
6	carros mineros por arreglarse	
26	calces para el molino	
4	winche para pique veta 1,2 y 3	weq
1	winche por arreglarse para pique veta 1	weq
3	pulmón de aire veta 1,2 y 3	
3	pulmón de agua veta 2 y 3	
3000 mts	cable de postes	
1	buzón para bajar material	veta 1
1	buzón para bajar material	veta 2
1	buzón para bajar material	veta 3
1	buzón para bajar material	veta 2
1	buzón para bajar material	veta 2
4	postes de luz	
1	bomba para chisguete	seer 10hp
22	tinas de arena mediana 0.5 m3	
2	tinas de arena mediana 2 m3	
1	tanque cuadrado metálico de 3.3 m3	
1	amalgamadora 30x49 "	
4	tanques para agua pvc color azul	
1	santiago grande para poleas	

7	contactor para compresor 440 voltios	
2	Reastato para el molino	
3	soldadora	arcweld
1	balanza para pesar cianuro	
1	compresor de energía diesel	ingersoll rand 250
1	compresor de energía	sullair
1	transformador grande 440 hp	
1	transformador pequeño 220 hp	
1	compresor de aire	
13	hectáreas de terreno	
1	cono de cemento de 80 ton para almacenar agua	
1	construcción 30*8 para compresores y planta	
1	construcción 4*20 bodegas	
1	construcción para trituradoras 9*12 con techo de vigas	
1	construcción 17*5,2 para bodega con 2 dormitorios	
1	construcción 19*8 para base de tanques de 26*6	
1	tanque para combustible color rojo 3000 galones	
8	canalones 10*60	
1	table para control de tanques para cianuro	
1	tanque para cianuro de 25 m3	weq
3	tanques para cianuro de 21 m3	weq
1	tanques para cianuro de 23 m3	weq
1	mesa para descargar carbón	
1	activación maya de acero	
1	planta para desactivar carbón 440 hp	emerson
4	piscinas de 20 ton para almacenar arena	
1	piscina grande de cemento para almacenar arena	
4	relaveras grandes	
6	sacos de cemento	atenas
24	sacos de nitrato de amonio	agripac
11	cámaras de video	
2	concentradores de oro	
4800 kg	cianuro	
30	frascos de mercurio	
17	cajas de fulminantes 100 unidades c/u	famesa
1	tecle	
7	combos metálicos	
2	bateas de acero pequeñas	
1	batea de acero grande	
1	cargador de baterías 12 v	schumacher electric
1	rectificador corriente 440 v a 5 voltios	

4	tanques de agua potable	plastigama
1	cisterna de cemento para agua potable	
1	bomba de pulpa de gravedad	weq
1	cocina 5 hornillas	industrial
3	ollas grandes	umco
1	licuadora	oster
1	paila	
1	refrigeradora	indurama
2	sartenes medianos	
1	sartén pequeño	
2	cucharetas	
1	dispensador de agua	
1	congelador para verduras	
60	platos	
15	vasos	
65	cucharas	
14	cilindro de gas	
2	televisores 29"	Sony
1	bomba de caudal	siemens
1	impulsor de bomba	
3	canecas de aceite para vagones	sae 40
2	canecas de aceite para locomotora	sae 150
2	llaves tubo	
5	llaves pericas	
2	machetes	

Anexo B: Procesamiento de datos

Procesamiento de datos Veta Úrsula

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS								
LABOR :	Subnivel 5' X 6'				Rendimiento :	1.6185	0.00	mt : pie
DIMENSIONES :	1.52	X	1.82		Longitud barra :	1.80	5.900	mt : pie
MEDIDA :	ML				Eficiencia de Perf. Y Volad. :	90%		%
ELABORADO POR :	Kevin Loor							
UNIDAD DE PRODUCCIÓN :	Departamento de Minas				No taladros perforados :	18		tal / frente
					No taladros disparados :	3		tal / frente
TIPO DE ROCA:	DURA				Volumen calculado :	4.98		m3 / disparo
INCLUYE :	Perforación, voladura				Volumen volado :	7.16		m3 / disparo
					Tonelaje volado :	20.78		ton / disparo
FECHA DE ELABORACIÓN :	ene-20				Factor de carga :	0.20		Kg / m3
		0.23	95.00%		Rendimiento Pala :	0.00		ton / hr
		0.20	90.00%		Velocidad de perforación :	18.60		mt / hr
					Horas por guardia :	8.00		Hr / guardia
					Densidad del material :	2.90		ton / m3

Procesamiento de datos Veta Dominga

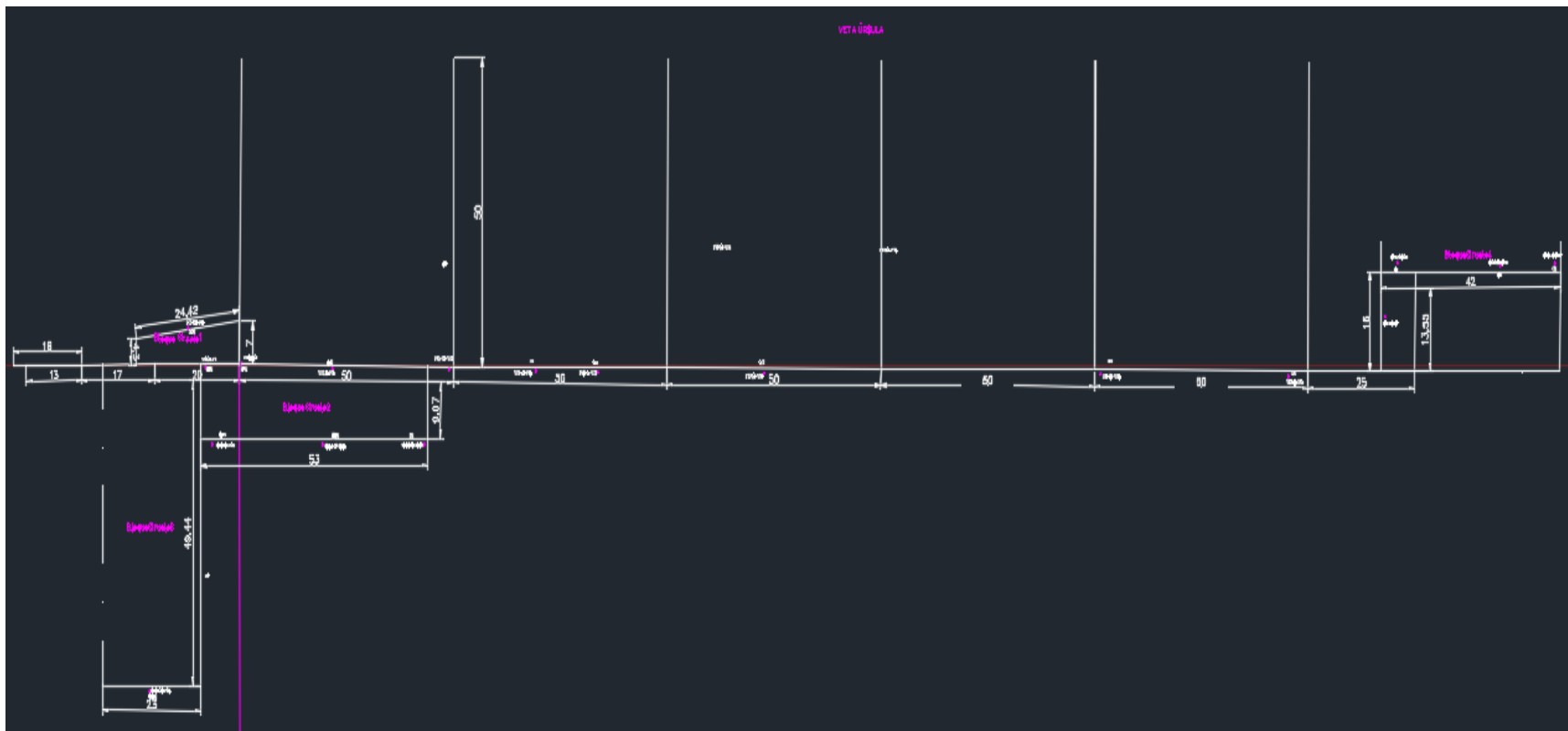
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS								
LABOR :	Subnivel 5' X 7'				Rendimiento :	1.6185	0.00	mt : pie
DIMENSIONES :	1.73	X	1.82		Longitud barra :	1.80	5.900	mt : pie
MEDIDA :	ML				Eficiencia de Perf. Y Volad. :	90%		%
ELABORADO POR :	Kevin Loor							
UNIDAD DE PRODUCCIÓN :	Departamento de Minas				No taladros perforados :	20		tal / frente
					No taladros disparados :	3		tal / frente
TIPO DE ROCA:	DURA				Volumen calculado :	5.67		m3 / disparo
INCLUYE :	Perforación, voladura				Volumen volado :	8.15		m3 / disparo
					Tonelaje volado :	23.65		ton / disparo
FECHA DE ELABORACIÓN :	ene-20				Factor de carga :	0.17		Kg / m3
		0.20	95.00%		Rendimiento Pala :	0.00		ton / hr
		0.17	90.00%		Velocidad de perforación :	18.60		mt / hr
					Horas por guardia :	8.00		Hr / guardia
					Densidad del material :	2.90		ton / m3

Procesamiento de datos Veta Teresa

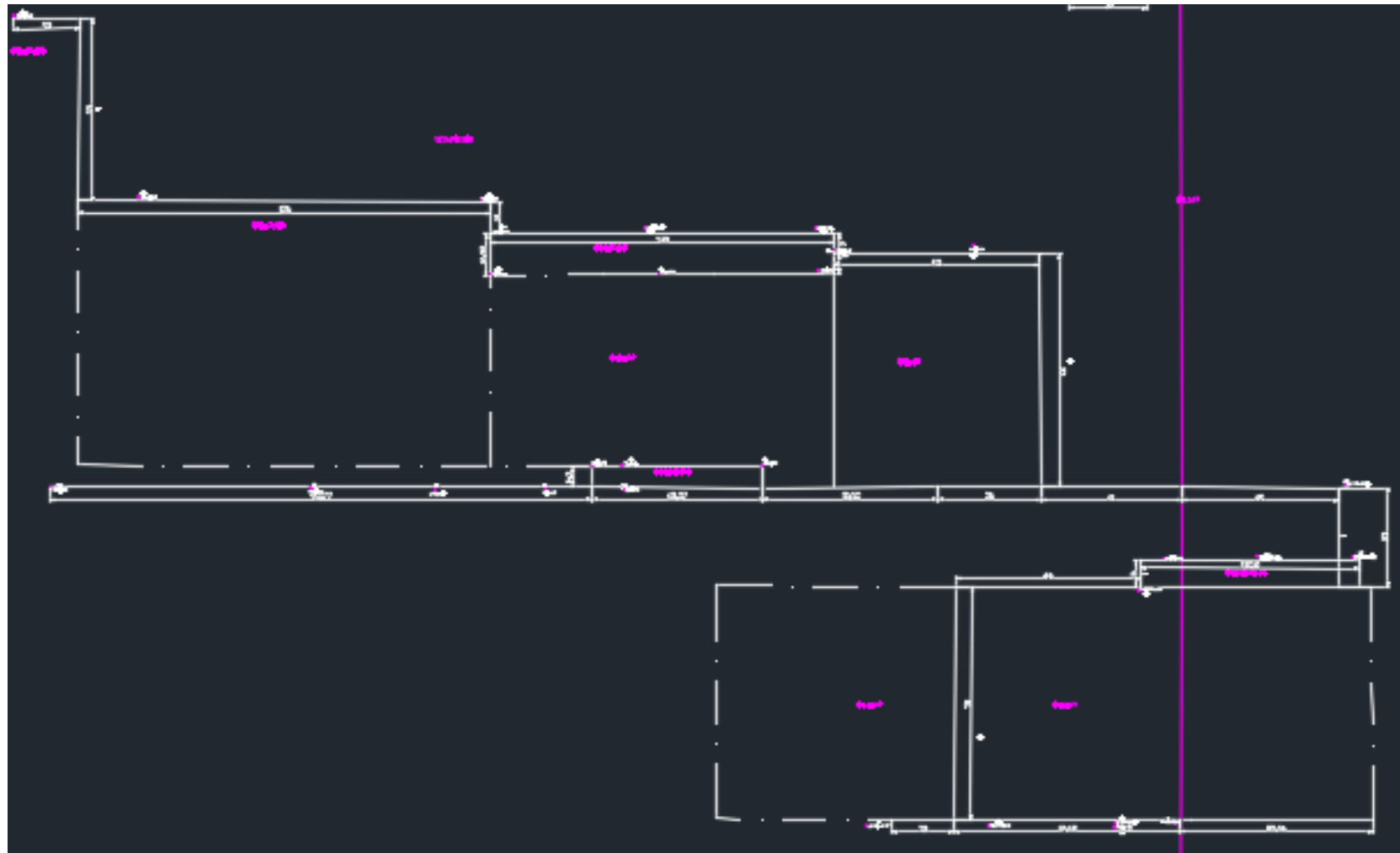
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
LABOR :	Subnivel 5.7' X 7'				Rendimiento :	1.6185	0.00 mt : pie
DIMENSIONES :	1.73	X	2.13		Longitud barra :	1.80	5.900 mt : pie
MEDIDA :	ML				Eficiencia de Perf. Y Volad. :	90%	%
ELABORADO POR :	Kevin Loor						
UNIDAD DE PRODUCCIÓN :	Departamento de Minas				No taladros perforados :	22	tal / frente
					No taladros disparados :	3	tal / frente
TIPO DE ROCA:	DURA				Volumen calculado :	6.63	m3 / disparo
INCLUYE :	Perforación, voladura				Volumen volado :	9.54	m3 / disparo
					Tonelaje volado :	27.67	ton / disparo
FECHA DE ELABORACIÓN :	ene-20				Factor de carga :	0.15	Kg / m3
	0.17	95.00%			Rendimiento Pala :	0.00	ton / hr
	0.15	90.00%			Velocidad de perforación :	18.60	mt / hr
					Horas por guardia :	8.00	Hr / guardia
					Densidad del material :	2.90	ton / m3

Anexo C: Perfiles topográficos

Perfil topográfico de la veta Úrsula. Fuente: Autor



Perfil topográfico de la veta Dominga



Perfil topográfico de la veta Teresa

