

Desarrollo proyecto Doppler 2021

Integrantes: Ana María Silva I.
Nicole Robles O.
Fernando Silva P.
Stward Monserrate P.

Rut: 17.496.817-9
Rut: 19.683.287-4
Rut: P6056612
Rut: 14.756.716-2

Carrera: ingeniería Civil en minas
Carrera: ingeniería Civil en minas
Carrera: Geología
Carrera: ingeniería Civil en minas

1 Análisis básico

1.1 Estadísticas básicas del yacimiento (histogramas, curvas tonelaje ley, etc.).

El programa Doppler se basa en analizar modelos de bloques para luego poder calcular pits anidados y finales, como también para entregar los planes de producción de una mina a cielo abierto.

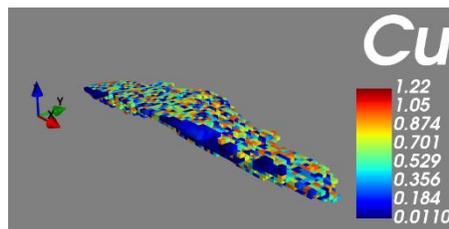


Ilustración 1.1 Distribución de Ley_{cu}

En la Ilustración 1.1 se genera un filtrado de las leyes de cobre las cuales tienen un intervalo desde 0.01% hasta 1.22%.

Para calcular el histograma y poder observar la distribución de las leyes en el yacimiento con 10 intervalos, se filtra de 0,01% a 1,5% de ley Cu y se obtuvo la siguiente distribución:

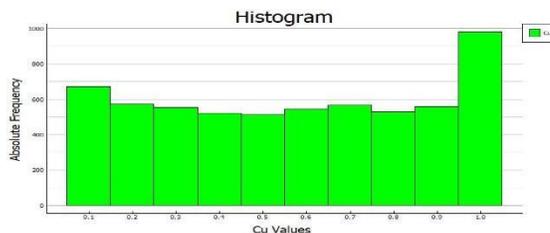


Ilustración 1.2 Histograma distribución porcentaje Ley_{Cu}

En la Ilustración 1.3 observamos la curva tonelaje- Ley del yacimiento ideal con 41.000.000 TMS con 0.85% Cu y una ley de corte de 0.62% Cu.

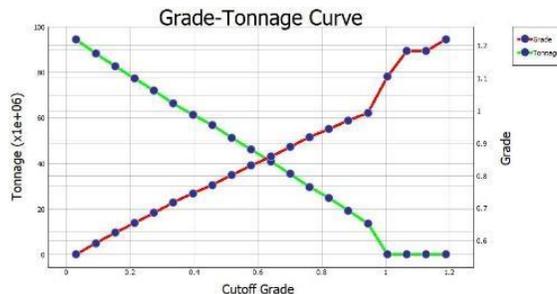


Ilustración 1.3 Curva tonelaje-Ley

1.2 Cálculo de Pit Final y Pits anidados

Para el cálculo de este aspecto se necesitan los siguientes puntos los cuales se crean con la herramientas de Doppler:

- Precedencias: es el ángulo de talud estable que tiene que haber para la extracción del bloque, con su distancia vertical y Slope por zona.

Tabla 1.1 Tipo de toca y distancia vertical

Tipo de roca	Slope
Rocktype 0 = Estéril	42
Rocktype 1 = Sulfuros	45
Rocktype 2 = Óxidos	48
Distancia vertical	150

Se continuó la creación de los datos en las columnas siguientes, con las herramientas de Doppler:

- Valor_botadero = Precio*ton
- Recuperación= ([Rocktype]=1)*0.8+([Rocktype]=2)*0.6
- Costo_planta=([Rocktype]=1)*7.2+([Rocktype]=2)*5.1
- Valor_planta=[Ton]*[Cu]/100*[Recuperación]*2204.62*(2.8-0.15)-[Ton]*([Costo_planta]+2)
- max([Valor_botadero],[Valor_planta])

El pit final se define como el pit con mayor beneficio a través de creación de columnas con el cálculo de $\max(\text{Valor_botadero}, \text{Valor_planta})$ el cual es el conjunto de bloques que maximiza el valor económico y para eso se utilizan las bases de datos, obteniendo lo siguiente:

- Pit value: 12.259.662.240,1643846
- Number of blocks: 17.323 de 116.640 bloques

Los pit anidados son una derivación del pit final el cual da una idea de cómo empezar la extracción en términos de largo plazo.

En la siguiente Ilustración 1.4 se aprecia la comparación de los pit anidados y pit final, donde los valores en cero (color azul) son los bloques que no se van a extraer en el proceso y los valores con valor 1 (rojo oscuro) son bloques para la extracción.

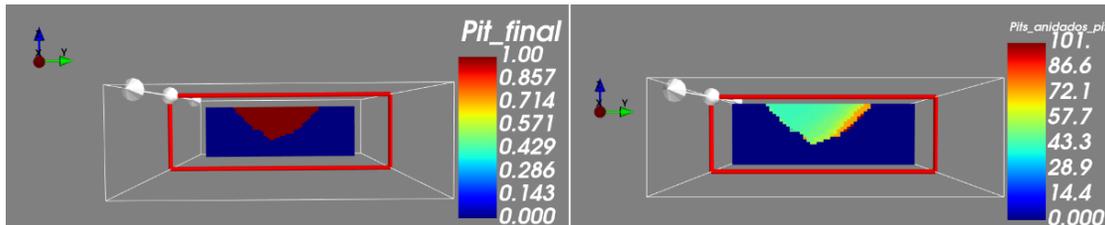


Ilustración 1.4 Comparación pit final y pit anidados

1.3 Selección de Fases (Número de fases y criterios de selección).

En la selección de fases se utilizó la gráfica pit_by_pit y su respectivo excel, en este se aplicó el criterio de selección manteniendo los tonelajes similares entre las fases. El primer valor de RF se eligió por ser el primer pit con material minable. El último valor se obtuvo desde el gráfico observando la línea ascendente la cual se estandarizó cercana a los últimos pits (Ilustración 1.5). Los RF intermedios se dividieron aproximadamente en 50 millones, cabe destacar que todas las fases tienen un tonelaje similar entre ellas

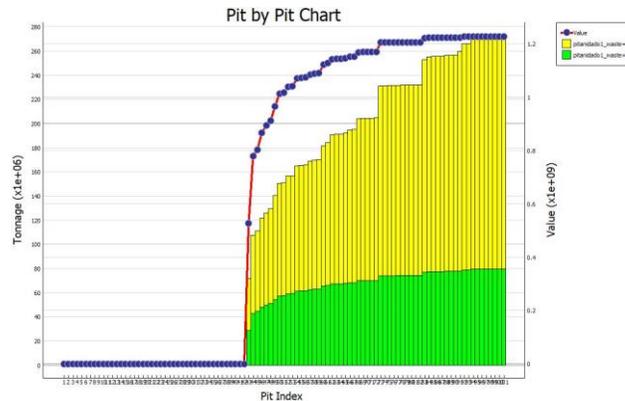


Ilustración 1.5 grafico pit by pit

Tabla 1.2 RF seleccionados para los pushback

Rf	Pit	Total	Mineral	Valor
0.42	43.00	71.916.060,00	28.909.920,00	527.197.813,80
0.46	47.00	126.016.740,00	49.876.620,00	893.764.804,15
0.59	60.00	170.122.800,00	63.071.220,00	1.089.722.139,31
0.81	82.00	231.860.340,00	74.340.120,00	1.206.285.393,06

1.4 Agendamiento (Convencional y BOS2M)

El agendamiento directo de bloques se basa en resolver un solo modelo de optimización directamente desde el modelo de bloques, entregar el plan de producción. Este incorpora restricciones de capacidad, mezcla y precedencia, para así poder obtener el mejor modelo o plan de producción óptimo. En este modelo de optimización a medida que crecen el número de bloques se le es más difícil la optimización de este.

Una de las características del DBS es que uno le puede entregar opciones, esto quiere decir que cada bloque puede tener diferentes destinos (ir a planta o a botadero).

Las metodologías de resolución como son el toposort y sliding window, son metodologías heurísticas. Estas utilizadas en problemas difíciles lo resuelven relativamente rápido y no aseguran encontrar el óptimo ideal.

Para el DBS se utilizaron las columnas del modelo de bloques ley_Cu, Tonelaje, Valor_planta, Valor_botadero.

El DBS trabaja con nodos a la instancia de destinos, es decir que los bloques que se eligen mandar a planta, van a recibir ese valor al igual si lo decide para nodos de botaderos, y en los nodos de destino, botadero se le puede agregar un componente a la instancia, que puede ser una restricción de capacidad o mezcla ; esto limita el plan de producción que se puede aplicar a los periodos de agendamiento (para el caso de estudio se utilizaron 11 periodos) que restringe el tonelaje que se envía a planta o mina que es todo material que extrae y para la restricción de capacidad de mezcla limita el promedio del valor que se envía a un destino para tener una ley relativamente constante. Y también ahí nodos de instancia de stock que para este caso no se aplica esto son para un largo plazo para poder extraer material de este, la limitante es que no puede mandar material y solo puede ocupar stock que sean preexistentes, entonces primero se tiene que definir las precedencias, destinos y restricciones, ahí podemos ver el periodo y destino con los bloques que están en azul no se extraen por los periodos ya que no tiene más capacidad.

Se realizó una comparación con las fasoides de producción de cuatro fases manual y DBS, se puede apreciar la diferenciación del NPV o valor neto y valor sin aplicación de descuento, el cual resulta muy operativo pese a que el modelo de bloques o pit_by_pit contiene mucho estéril.

En la siguiente Ilustración 1.6 se puede apreciar el Plan de producción del agendamiento_1 el cual a través del pit_by_pit se definió un pushback de 4 fases a través de un agendamiento de forma manual obteniendo un total de 11 agendamiento en comparación con el DBS (Ilustración 1.7).

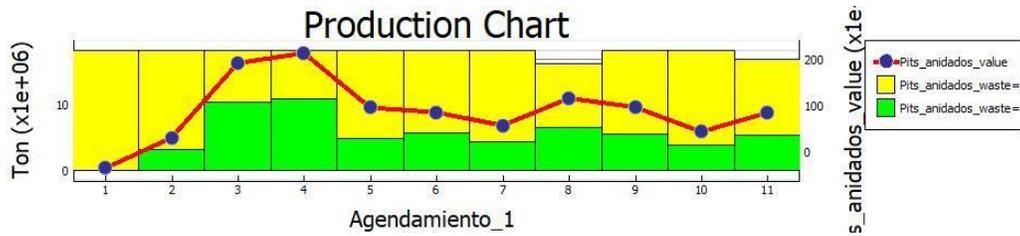


Ilustración 1.6 Plan de producción con agendamiento manual con 3 fasoides

Para el plan de producción con cuatro fases de selección se puede apreciar lo siguiente:

- Net present value (NPV) o valor neto: 560.077.981,2746979
- Udiscounted value o valor sin aplicar tasa de descuento: 977.010.159,4684495

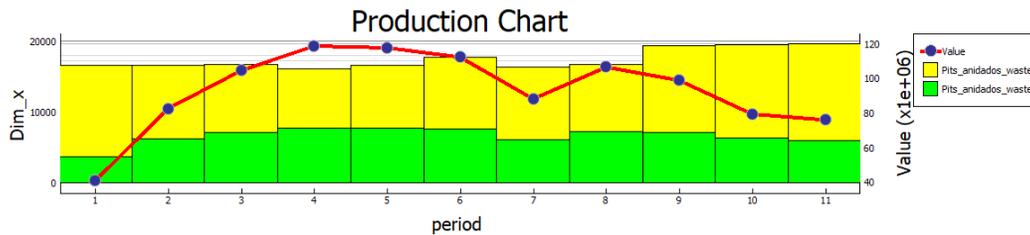


Ilustración 1.7 Plan de producción con agendamiento por DBS con 11 periodos

Para el plan de producción con DBS se puede apreciar lo siguiente:

- Net present value (NPV) o valor neto: 594.567.389,9080825
- Udiscounted value o valor sin aplicar tasa de descuento: 1.023.839.582,9054

1.5 Comparación entre agendamientos (geometría, tonelaje, NPV).

En la comparación entre fases de tiempos esperados con 4 fasoides de producción y DBS, como se aprecia en las siguientes Ilustración 1.8, se observa que a través del agendamiento directo de bloques (DBS) se extraen los pit de forma regresiva, respetando los diferentes pits. Caso contrario, el agendamiento tradicional presenta una secuencia de minado óptima, resguardando la seguridad del rajo y evitando derrumbes.

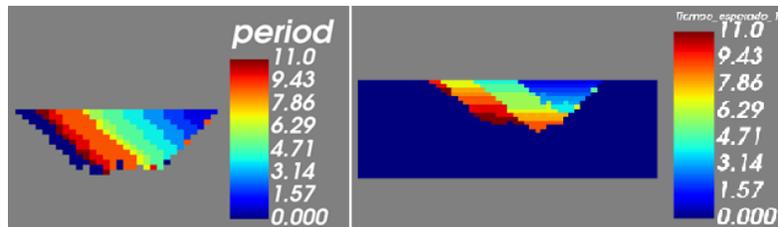


Ilustración 1.8 comparación entre DBS y agendamiento tradicional

2 Análisis adicional

2.1 Análisis planes de producción con diferentes metodologías y fasoides

Para el análisis adicional se realizó la comparación entre tres tipos de agendamientos:

- 1° de forma manual con fasoides de tres, dando 11 periodos.
- 2° de forma automática con fasoides de tres, dando 12 periodos.
- 3° de forma automática con fasoides de cuatro, dando 12 periodos.

Plan de producción para el agendamento manual con tres fasoides:



Ilustración 2.1 Plan de producción del agendamento manual con 3 fasoides

Para el plan de producción con tres fases de selección se puede apreciar lo siguiente datos:

- Net present value (NPV) o valor neto: 529.467.009,8889473
- Udiscounted value o valor sin aplicar tasa de descuento: 944.002.608,3875344

Plan de producción automática para tres fases respectivamente:

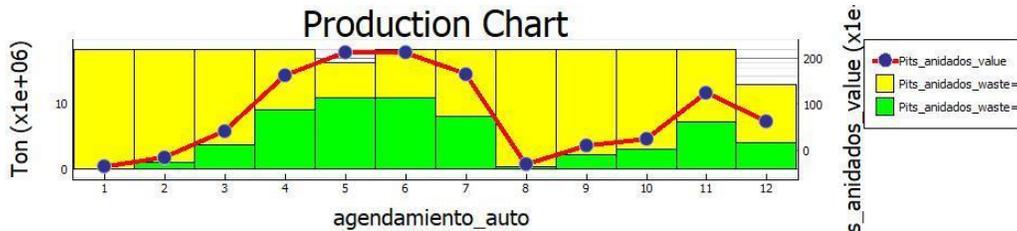


Ilustración 2.2 Plan de producción del agendamento automático con tres fasoides

Para el plan de producción automática con tres fases de selección se puede apreciar lo siguiente datos:

- Net present value (NPV) o valor neto: 498.811.617,42605835
- Udiscounted value o valor sin aplicar tasa de descuento: 938.000.774,1443341

Plan de producción automática para cuatro fases respectivamente:

En la siguiente Ilustración 2.3 se aprecia el plan de producción en el cual a través del pit_by_pit se definió cuatro fasoides. Al aplicar la optimización dio como resultado un total de doce agendamientos, obteniendo un agendamento más respecto al plan de producción manual de tres y cuatro fases.

Teniendo una gran diferencia entre el VPN de los dos casos y el udiscounted value o valor sin tasa de descuento.

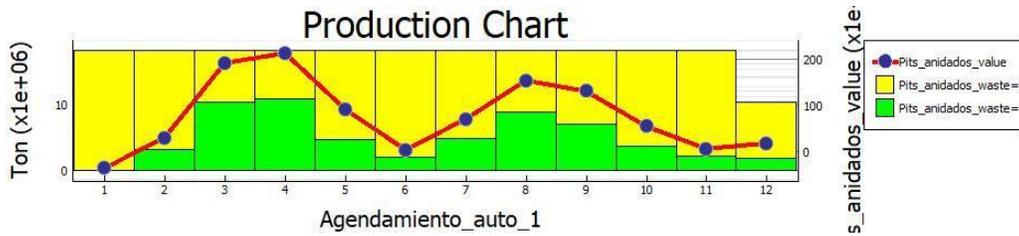


Ilustración 2.3 Plan de producción del agendamiento automático con cuatro fasoides

Para el plan de producción automático con cuatro fasoides de selección se puede apreciar lo siguiente datos:

- Net present value (NPV) o valor neto: 534.759.352,1411716
- Udiscounted value o valor sin aplicar tasa de descuento: 931.054.913,3240287

En la Tabla 2.1 se compara pushback seleccionados para su agendamiento manual, automático y DBS

Tabla 2.1 Comparación entre pushback, NPV y Udiscounted value

Pushback	Net present value (NPV)	Udiscounted value
A. Manual 3 fasoides	529.467.009,8889473	944.002.608,3875344
A. Manual 4 fasoides	560.077.981,2746979	977.010.159,4684495
A. Automático 3 fasoides	498.811.617,42605835	938.000.774,1443341
A. Automático 4 fasoides	534.759.352,1411716	931.054.913,3240287
A. DBS 11 periodos	594.567.389,9080825	1.023.839.582,9054

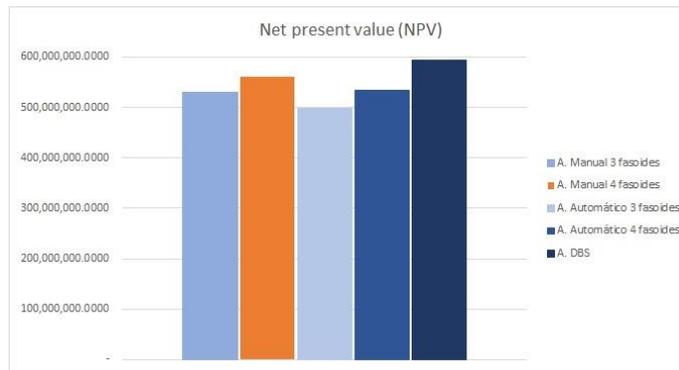


Ilustración 2.4 Representación gráfica de la tabla de Datos NPV y Udiscounted

Se logra apreciar en la Tabla 2.1 e Ilustración 2.4 los diferentes datos obtenidos tanto para el NPV y el udiscounted, destacando tres tipos de agendamiento, el agendamiento manual, automático y DBS, con tres y cuatro fases. Finalmente, al realizar la comparación se obtuvo dos planes de producción con mayor rentabilidad, los cuales son el agendamiento de 4 fases manual y el agendamiento DBS, de estos dos se elige el manual de 4 fases ya que representa una mejor secuencia de minado como también uno más acercado a la realidad en la extracción de cielo abierto.

2.2 Análisis con plantas de oxido y sulfuro

Se realizó una nueva configuración en DBS con dos plantas en vez de una, Sulfuros y Óxidos. Esto no sin antes agregar dos nuevas columnas al modelo de bloques para guardar el valor de las plantas respectivamente.

A cada planta se le asignó un porcentaje del valor total de la capacidad de planta entregada para el proyecto. A la primera planta correspondiente al tipo de roca sulfurada se le estableció un 40% y al de roca oxidada un 60%.

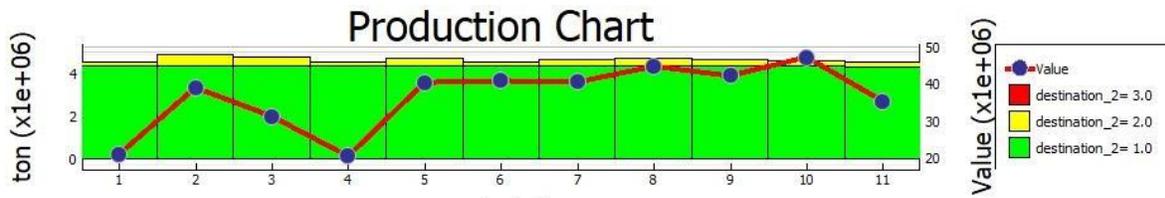


Ilustración 2.5 Plan de producción por DBS con 11 periodos

Tabla 2.2 Comparación por plantas

DBS	Net present value (NPV)	Udiscounted value
DBS con 1 Planta	594.567.389,9080825	1.023.839.582,9054
DBS con 2 Plantas	226.736.639,01315218	402.559.368,30349994

Se observa que la nueva configuración de plantas es menos flexible, teniendo un menor NPV que el calculado anteriormente (Ilustración 2.5).

Se debe respetar el orden de extracción del mineral, las capacidades y el destino separados. Esto tiene como consecuencia una disminución de tonelaje en la nueva configuración ya que existe material que anteriormente se podía mandar a planta y ahora no, por lo que no es conveniente su extracción.

También se observa que el plan anteriormente realizado no es el más realista ya que asume que solo una planta procesa todo el mineral, lo que se da muy poco en los yacimientos.

3 Anexos

Para este punto se mostrará la ilustración de comparación entre los agentamiento manual y automático, con su plan de producción correspondiente y comparación estructural esto se mostro para afirmar que al momento se realizar los diferentes agendamientos en ambos casos el Doppler nos arroja 11 periodos para ambos casos, siendo el mas optimo un agendamiento manual de 4 fasoides de producción.

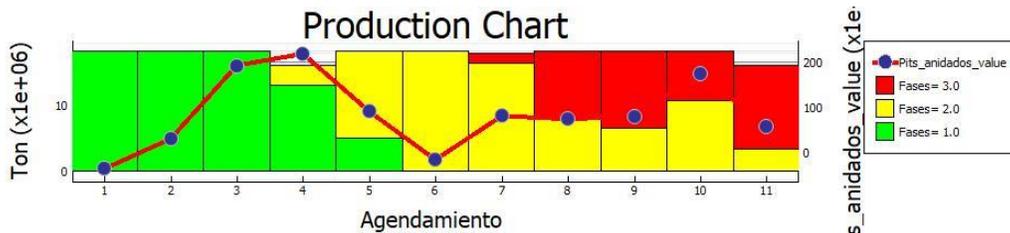


Ilustración 3.1 Agendamiento entre fases para un pushback de 3

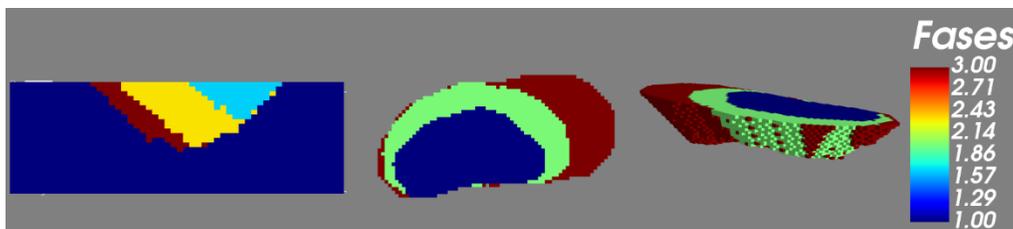


Ilustración 3.2 Fases de producción para un pushback de 3

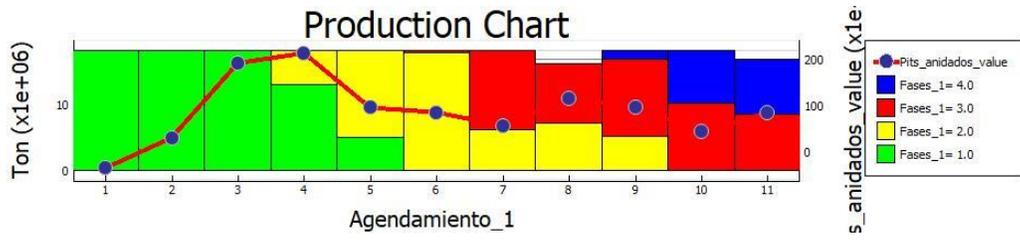


Ilustración 3.3 Agendamiento entre fases para un pushback de 4

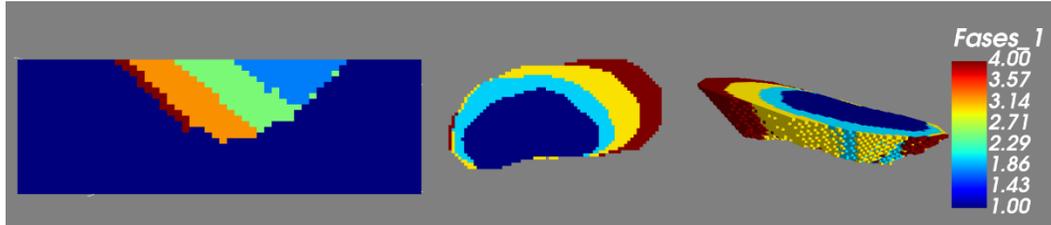


Ilustración 3.4 Fases de producción para un pushback de 4