



ESCUELA DE VERANO 2021

---

# PROYECTO DOPPLER 2021

---

## GRUPO 14

### PRESENTADO POR:

FLORES SABANDO, Luis Jordan

GONZÁLEZ LIZAMA, Teresa de Jesús

LOPEZ ALVARADO, Paulina Lizbeth

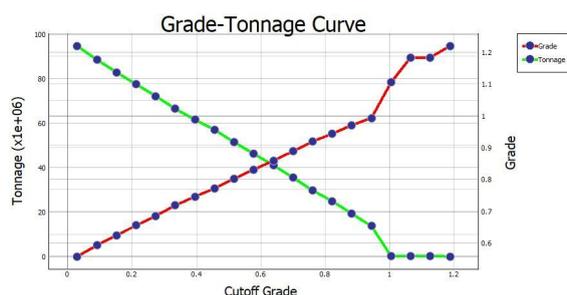
SALVATIERRA CARHUALLANQUI, Jack Charlie

**Fecha de entrega:** 28 de enero de 2021

## ANÁLISIS BÁSICO

DOPPLER. Es un software que aborda varios problemas en la minería a cielo abierto, como la recuperación de modelos de bloques, el cálculo del tajo final, el cálculo de tajos anidados y la programación a corto, mediano y largo plazo. Para esto DOPPLER ofrece una interfaz simple e intuitiva para el uso de la mayoría de las herramientas que tiene MineLink, esta aplicación también cuenta con herramientas de visualización y las herramientas más comunes de análisis gráfico en la planificación de minas a cielo abierto. A continuación, se muestra el proyecto desarrollado por un grupo de estudiantes de la escuela de Verano en Planificación y Operaciones Mineras DELPHOS 2021, en este proyecto se realiza comparaciones entre las diferentes clases de agendamientos existentes en la herramienta Doppler propiamente antes mencionadas.

### 1. Estadísticas básicas del yacimiento



La curva tonelaje-ley muestra que a mayor ley de cobre (cutoff) menor es el tonelaje que posee dicha ley y por el contrario, a menor ley el tonelaje aumenta. Se puede apreciar que entre las leyes con valor 1 a 1.2 de cobre el tonelaje es constante. A su vez, cuando esta ley de cobre aumenta, también lo hace la ley media del mineral que es extraído del yacimiento.

De acuerdo con el primer Histograma del **Anexo II**, se tiene una distribución uniforme de las leyes de cobre mayoritariamente, sin embargo, los extremos tales como 0.03 y 1.01, presentan una mayor frecuencia absoluta respecto de las demás leyes. Esto se puede deber a falta de información o la no claridad de esta. Por otro lado, se prueba realizando un histograma que abarque un rango donde se concentren las leyes (desde la ley 0.0001 a 0.4), que corresponde al segundo histograma del Anexo II, donde se obtiene una distribución aleatoria o multimodal de las leyes.

Por último, en el **Anexo I**, se pueden apreciar las estadísticas máximo, mínimo y promedio entregadas por el software de parámetros como tonelaje, ley de cobre, entre otros.

### 2. Cálculo de Pit Final y Pits anidados

Una vez obtenidos los pits anidados, estos corresponden a envolventes suavizadas no operativas, por lo tanto a pesar de que los pushbacks sean seleccionados buscando mantener distancias operativas entre ellos, la integración de rampas, accesos, conexiones y bancos (laboreos mineros) puede alterar la geometría del tajo diseñado teniendo por consecuencia que estos anchos operacionales no se logren o se acoplen al diseño, obligando a modificar la geometría de las fases respecto a sus tamaños, fusionando o llevando sectores a la pared final. Esto se puede visualizar en el **Anexo III**, con el pit final obtenido por el método convencional.

### 3. Selección de Fases (Número de fases y criterios de selección).

Se fijó que las fases deben tener un contenido específico de tonelaje total (Estéril + Mineral) correspondiente a cierta cantidad de períodos (dado en años) de movimiento total mina. Es decir, se consideró que el tonelaje total de la fase debe ser equivalente al tonelaje que movería la mina en X periodos de explotación y también, las fases serán definidas de acuerdo a una selección de pushbacks correspondientes fielmente a pits anidados resultantes de la optimización (**Anexo IV**), de manera que se cumplan con las restricciones de tamaño de fase.

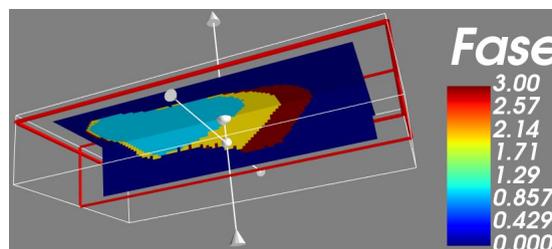
Capacidad de Minado [tpd] 50,000

Capacidad de Planta [tpd] 30,000

1º Fase = Pits anidados >0 y <= 44

2º Fase = Pits anidados >44 y <= 61

3º Fase = Pits anidados >61 y <= 91



### 4. Agendamiento (Convencional y BOS2M)

Una vez definidos los volúmenes de fases para cada uno de los escenarios a evaluar, se procedió a desarrollar el plan de minado en fases, lo desarrollamos de manera por agendamiento directo (convencional) y por agendamiento BOS2M, en ambas metodologías se tomó en cuenta el tonelaje total del yacimiento y así poder dividirla en 3 fases convenientes para el diseño, aparte de ello también se consideró la relación esteril-mineral (striping ratio).

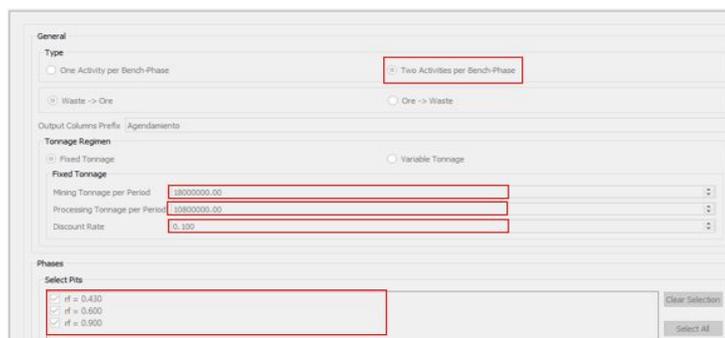
#### Convencional

# Blocks: 116640 | Block Dimensions: (20.0, 20.0, 15.0) | # Columns: 27

Se desea que los planes de cada caso sean generados con una estrategia común evitando introducir particularidades, es por eso que se realizó utilizando el algoritmo de agendamiento. Dicho procedimiento permite generar planes optimizados teniendo como restricciones el mantener una alimentación a planta lo más constante posible y respetar el máximo movimiento a mina permitido.

Se consideró 2 actividades por banco por fase para la extracción separada de estéril mineral.

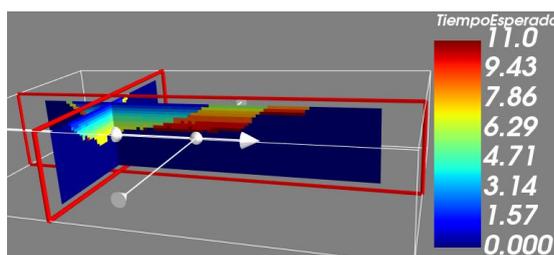
- Tonelaje total a remover del rajo se consideró:
- Tonelaje de Mina: [tpd] 50.000 \* 360 = **18.000.000[tpa]**
- Tonelaje de procesamiento de Planta: [tpd] 30,000 \*360 = **10.800.000[tpa]**
- Tasa de descuento del 10%
- Fases seleccionadas convencionalmente



Ø En el max-min Lead se consideró un mínimo de 3 y un máximo de 5 bancos de diferencia, esto quiere decir la relación de bancos que existe entre la fase anterior contigua.



Para una buena visualización de los 11 agendamientos (**Anexos V - XV**) resultantes se halló el tiempo esperado de extracción de cada agendamiento que se detalla en la imagen.



**BOS2M**

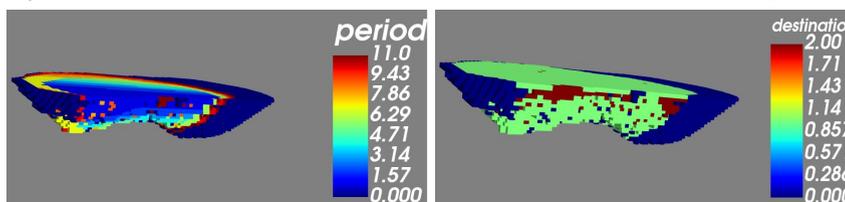
Se evaluó el resultado del pit final (**Anexo XVIII**) con un número y dimensiones de los bloques mostrados en la figura.

# Blocks: 17323 | Block Dimensions: (20.0, 20.0, 15.0) | # Columns: 30

En las precedencias usamos las mismas que se uso por el método convencional , por otro lado también se respetaron los ángulos de talud para cada tipo de roca, significa que para tipo de roca esteril tiene un ángulo de 42°, para un tipo de roca sulfuros tiene un ángulo de 45° y para un tipo de roca óxidos tiene un ángulo de 48°, esta decisión se tomó para hacer una comparación de los resultados obtenidos.

Las consideraciones para realizar el DBS se muestran en el (**Anexo XIX**)

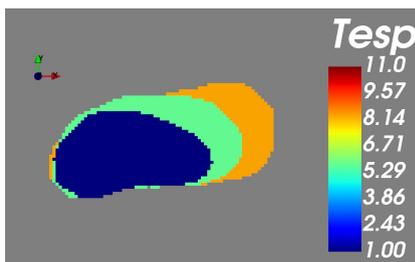
En los resultados se muestra un agendamiento que indica que bloques a extraer, en cada periodo y también muestra el destino a donde se envía cada bloque.



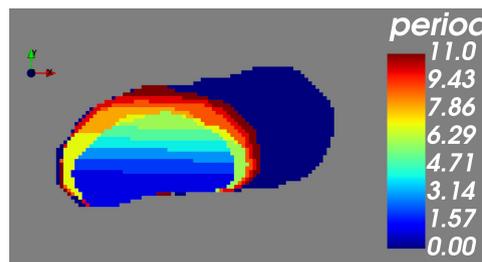
## 5. Comparación entre agendamientos (geometría, tonelaje, NPV)

### 5.1 Geometría

Se utilizaron para ambos agendamientos, ángulos de precedencia iguales para sus distintas zonificaciones.



Agendamiento Convencional  
Vista en planta



Agendamiento por DBS  
Vista en planta

### 5.2 Número de Bloques

El número de bloques de esteril se ve afectado principalmente por el esteril involucrado en el agendamiento por DBS, con lo que resulta un número de bloques de 17323, comparado con los 116640 del método convencional.

### 5.3 Tonelaje

Para el agendamiento convencional (**Anexo XVI**) el tonelaje tiene cambios abruptos de alimentación a planta en cambio con el método de optimización por el método DBS (BOS2M) se presenta una suavización en el tonelaje requerido por planta (**Anexo XVII**).

### 5.4 NPV

El valor presente neto presenta un aumento de aproximadamente un 23 % con respecto del método convencional

Beneficio pit final	1,225,962,240	USD	Beneficio pit final	1,225,962,240	USD
Valor presente neto	484,447,189	USD	Valor presente neto	\$ 594,567,390	USD

Agendamiento Convencional

Agendamiento por DBS

## ANÁLISIS ADICIONAL

### Análisis de Sensibilidad en Pit Final

Para la obtención del pit final se proponen distintos escenarios posibles iterando en el programa el costo mina, para cada agendamiento convencional y por DBS. Cada parámetro, se modificó en: -30%, -20%, -10%, +10%, +20%, 30% y obviamente, el caso base 0% no fue modificado.

La función beneficio que maximiza el valor y discrimina cuál bloque es el mejor posible para su extracción y obtención del pit final.

$$\text{Beneficio: } \text{Máx}([\text{Valor Planta}], [\text{Valor Botadero}]),$$

$$\text{Beneficio: } \text{Max}([\text{ton}] * [\text{cu}] / 100 * [\text{R}] * \text{f} * (\text{P} - \text{Cv}) - [\text{ton}] * ([\text{Cp}] + \text{Cm}), -\text{Cm} * [\text{ton}])$$

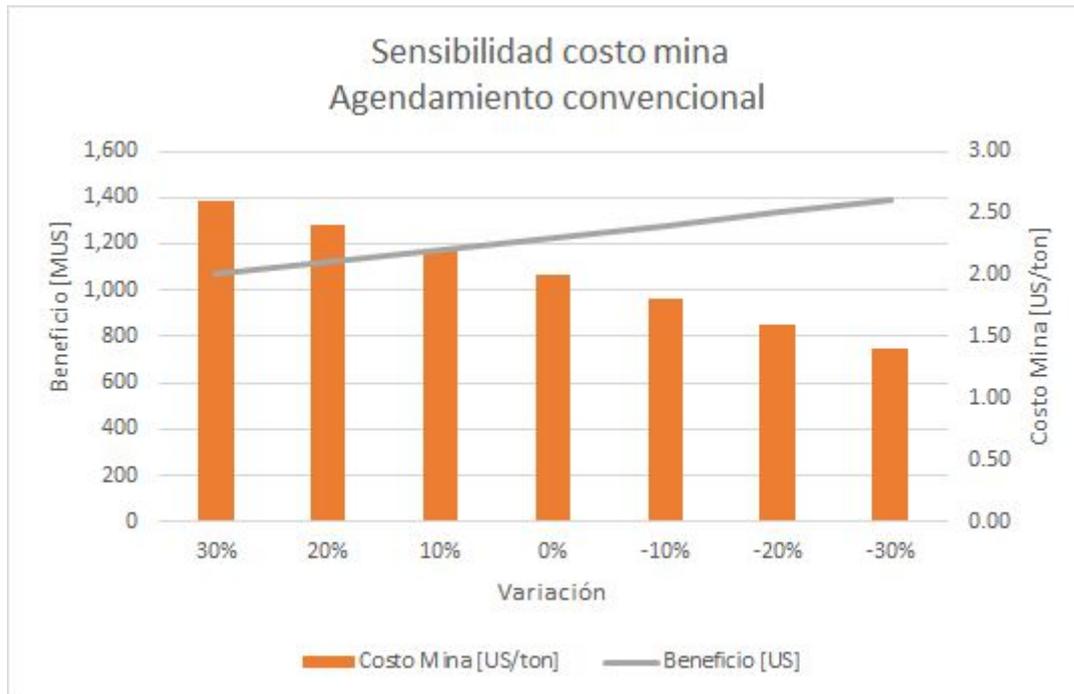
Donde:

- P: precio del metal.
- Cv: costo de venta
- Ley: ley del elemento de interés económico.
- f: factor de conversión.
- Cm: costo mina.
- Cp: costo planta.
- Ton: tonelaje del bloque.

### Agendamiento Convencional

Agendamiento convencional			
Variación	Costo Mina [US/ton]	Beneficio [US]	N° Bloques
30%	2.60	1,068,103,213	16,166
20%	2.40	1,119,398,377	16,213
10%	2.20	1,171,124,756	17,274
0%	2.00	1,225,962,240	17,323
-10%	1.80	1,280,952,337	17,357
-20%	1.60	1,336,903,532	18,056
-30%	1.40	1,395,676,976	18,711

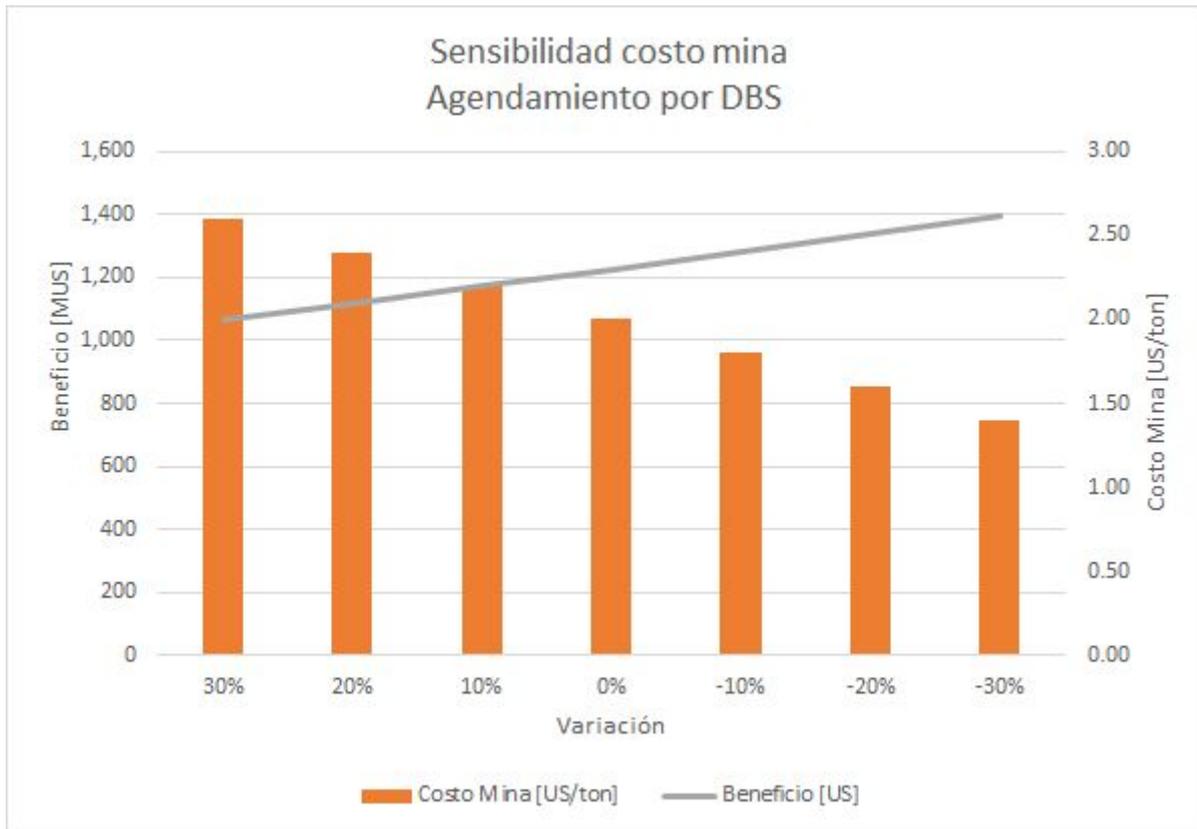
La variación del beneficio es de un 31% mayor, si disminuimos el costo mina de 2.60 US/Ton a 1.40US/ton, esto refleja que los costos interior mina son importantes a la hora de extraer mineral del yacimiento. Además, por otra parte, no conviene extraer bloques valorizados con un costo mina muy alto.



### Agendamiento por DBS

Agendamiento DBS			
Variación	Costo Mina [US/ton]	Beneficio [US]	N° Bloques
30%	2.60	1,068,103,213	16,166
20%	2.40	1,119,398,377	16,213
10%	2.20	1,171,124,756	17,274
0%	2.00	1,225,962,240	17,323
-10%	1.80	1,280,881,776	17,323
-20%	1.60	1,335,801,312	17,323
-30%	1.40	1,390,720,848	17,323

En particular el beneficio obtenido va en relación inversamente proporcional al costo mina, variable estudiada, además que el número de bloques se estabiliza bajo el costo de 2 [US/Ton].



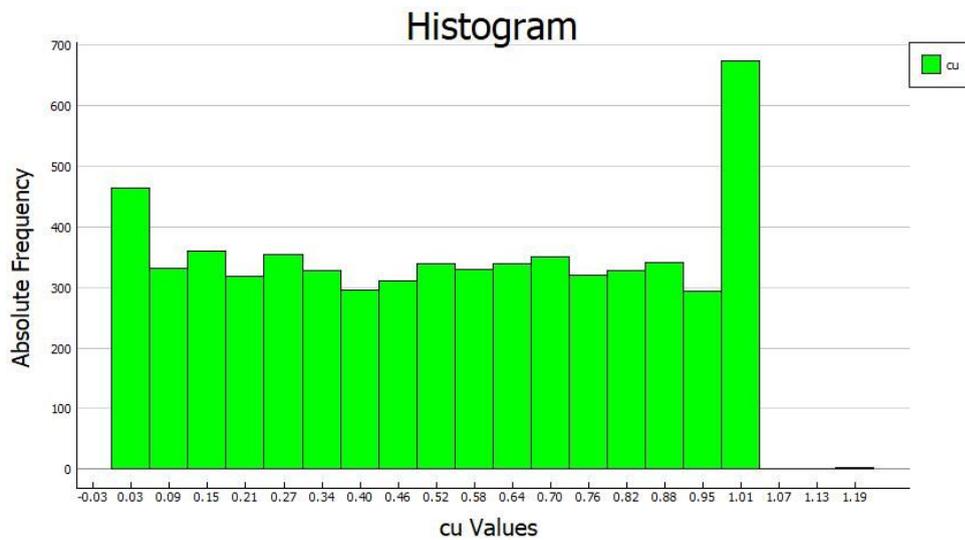
Como se apreció anteriormente, el cálculo del costo mina, es uno de los instrumentos más importantes para la toma de decisiones y se puede decir que no basta con tener conocimientos técnicos adecuados, sino que es necesario considerar la incidencia de cualquier decisión en este sentido y las posibles o eventuales consecuencias que pueda generar en el beneficio económico del pit final . El cálculo del costo mina, por ende, es importante en la planificación de la producción y procesos de producción, la dirección y el control de la empresa y para la determinación de los precios.

**ANEXOS**

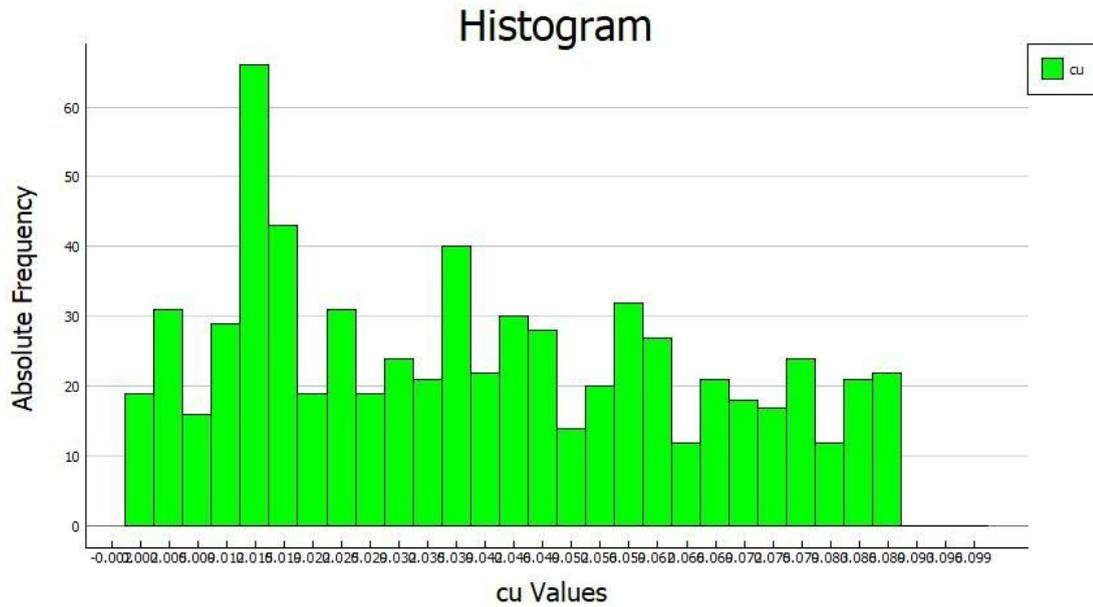
**Anexo I: Estadísticas iniciales del modelo de bloques.**

Attribute	Min	Avg	Max
1 x	-120.00000000	770.00000000	1660.00000000
2 y	-120.00000000	410.00000000	940.00000000
3 z	-75.00000000	97.50000000	270.00000000
4 ton	12000.00000000	16143.77109053	16380.00000000
5 cu	0.00000000	0.02790168	1.21900000
6 rocktype	0.00000000	0.19182956	2.00000000
7 All	1.00000000	1.00000000	1.00000000

**Anexo II: Histograma de las leyes de cobre del yacimiento.**

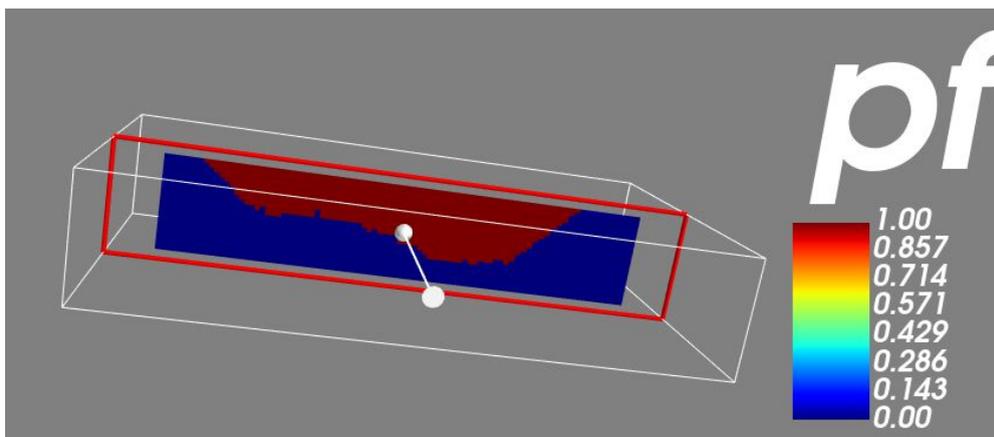
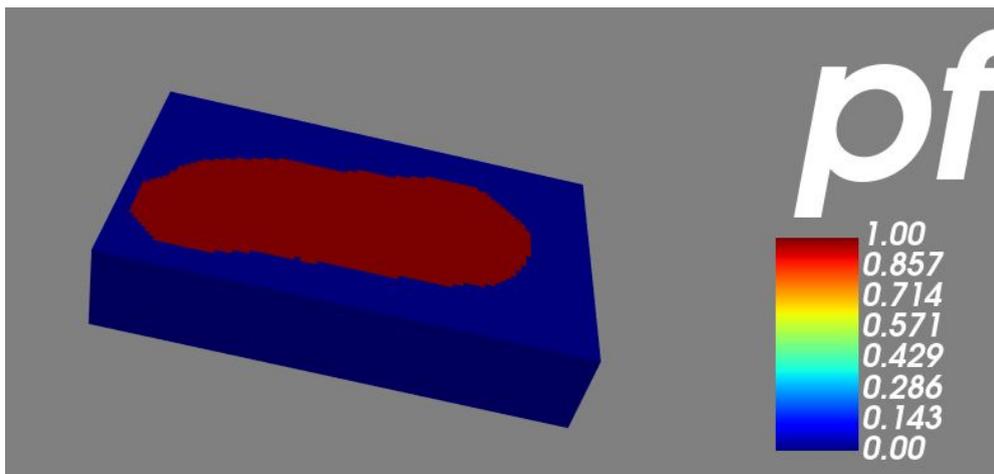


Histograma de las leyes de cobre del yacimiento desde ley 0 a 1.2190 con 20 intervalos, Distribución uniforme.

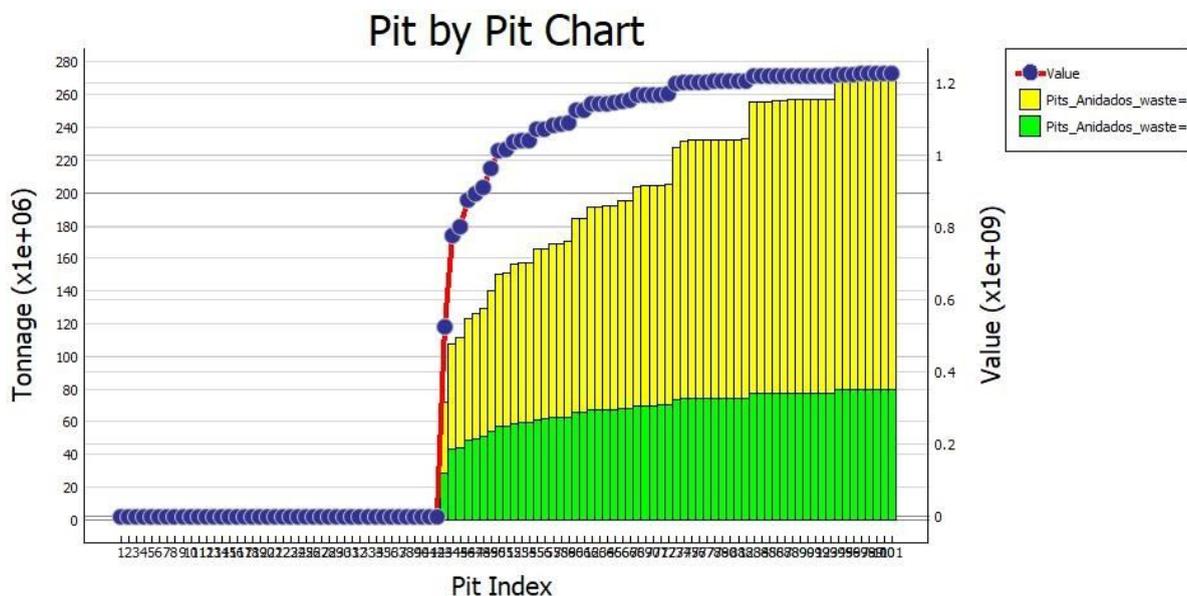


Histograma de las leyes de cobre del yacimiento desde ley 0.0001 a 0.1 con 30 intervalos, Distribución multimodal.

**Anexo III: Pit final por método convencional.**

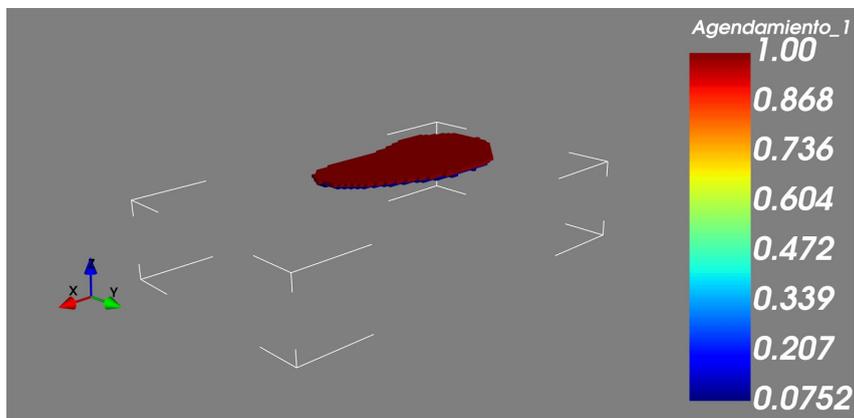


**Anexo IV: Pit by pit.**



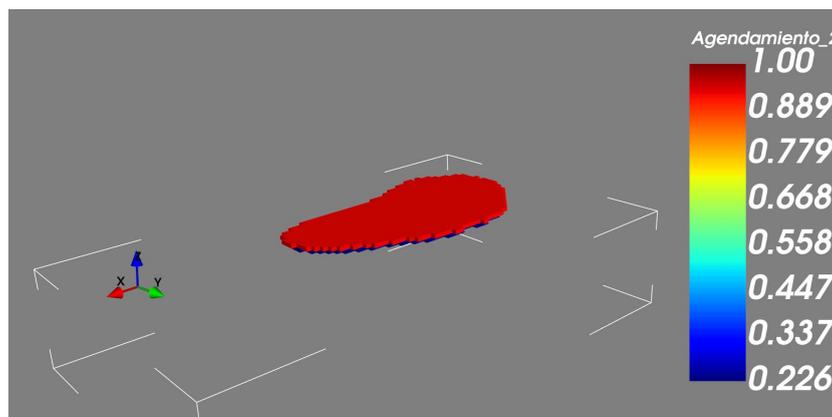
Pit by pit (Valor y tonelaje acumulado)

**Anexo V: Agendamiento 1.**



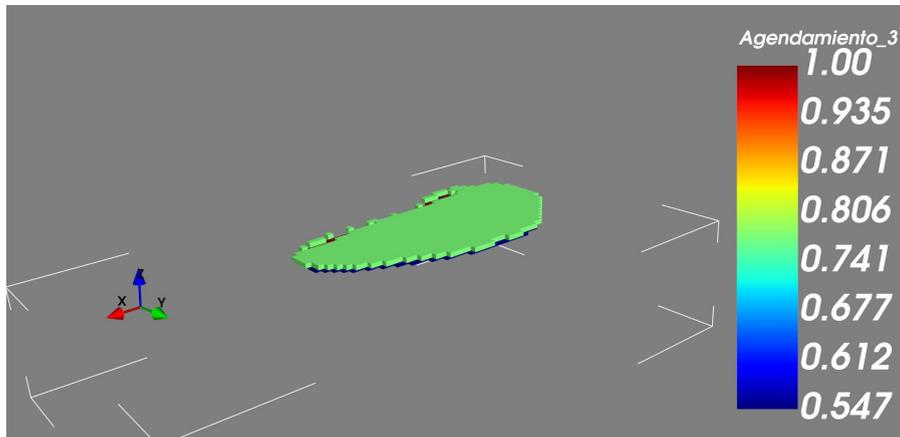
Vista Isométrica

**Anexo VI: Agendamiento 2.**



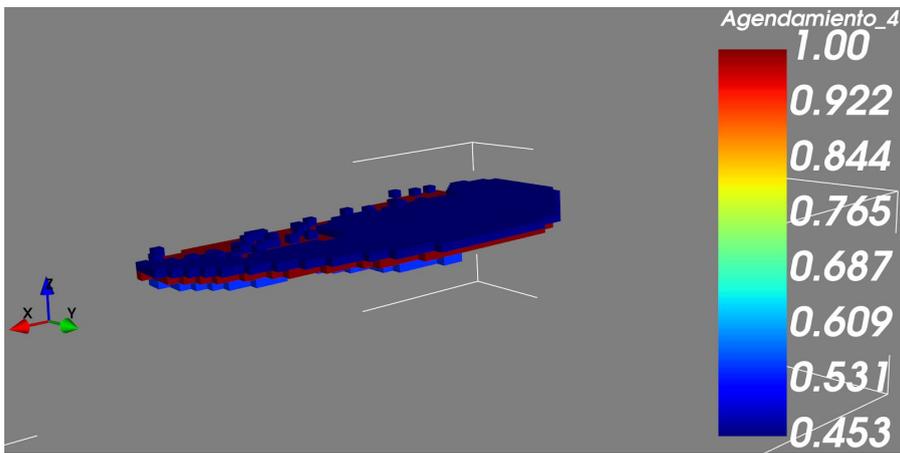
Vista Isométrica

Anexo VII: Agendamiento 3.



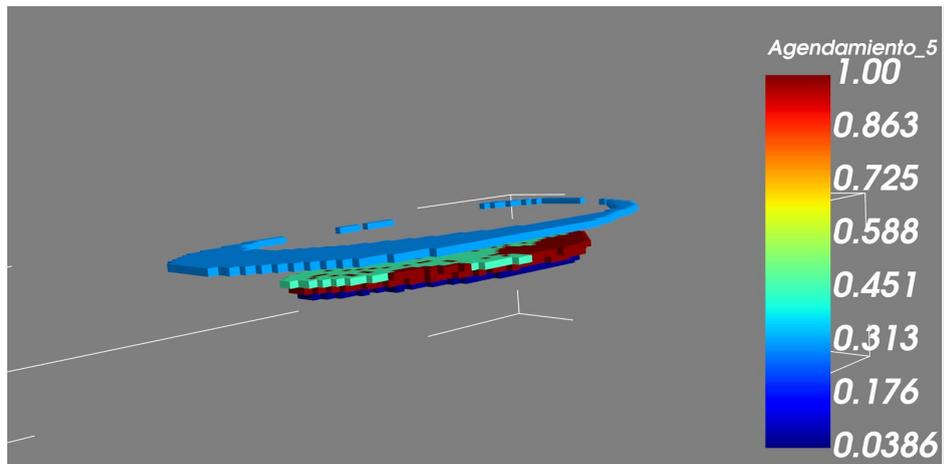
Vista Isométrica

Anexo VIII: Agendamiento 4.



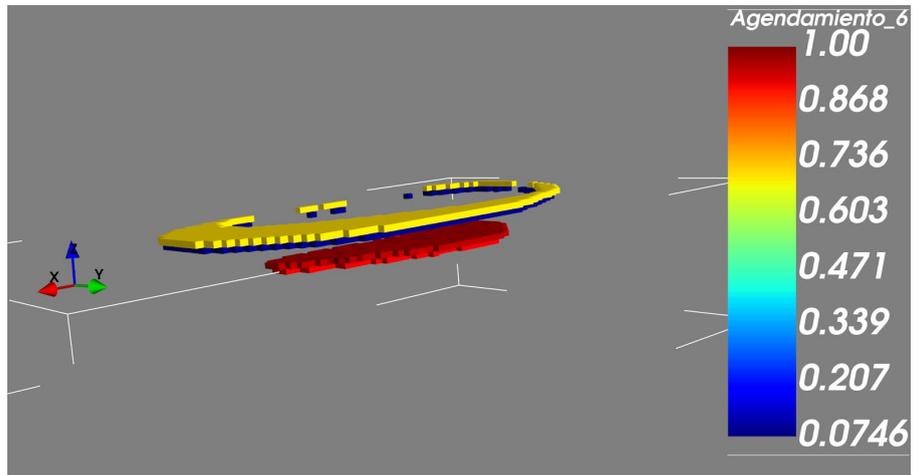
Vista Isométrica

Anexo IX: Agendamiento 5.



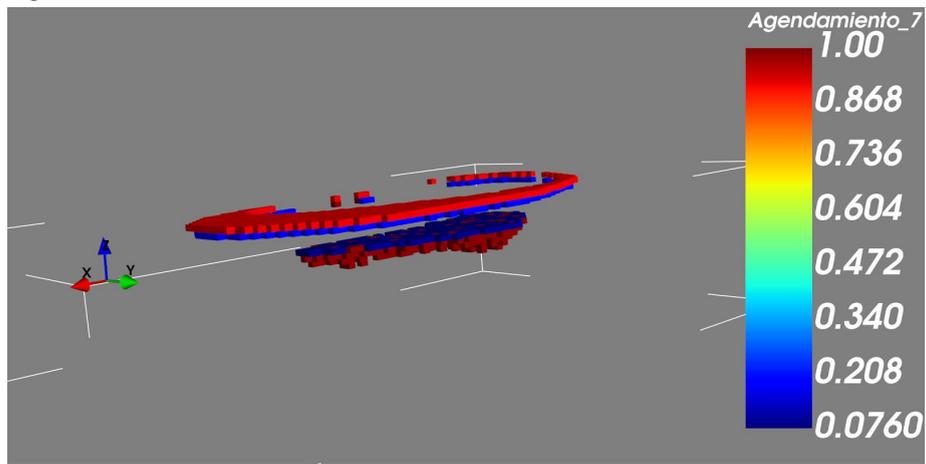
Vista Isométrica

**Anexo X: Agendamiento 6.**



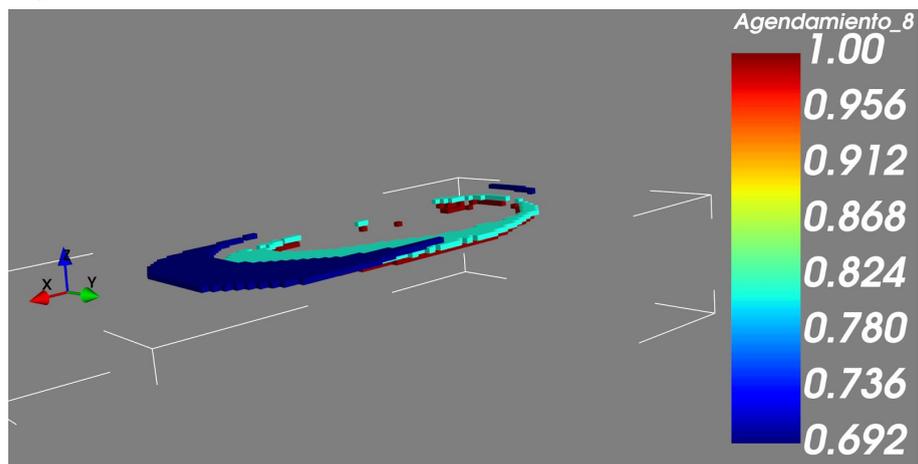
Vista Isométrica

**Anexo XI: Agendamiento 7.**



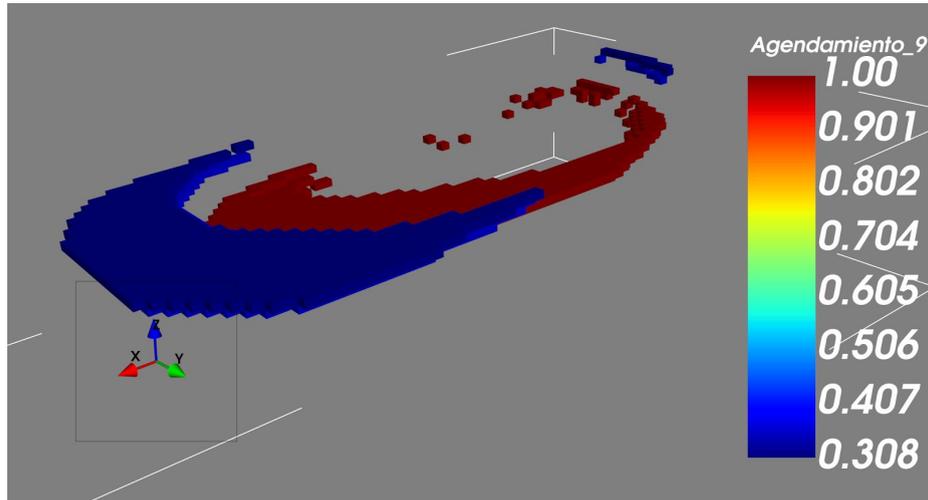
Vista Isométrica

**Anexo XII: Agendamiento 8.**



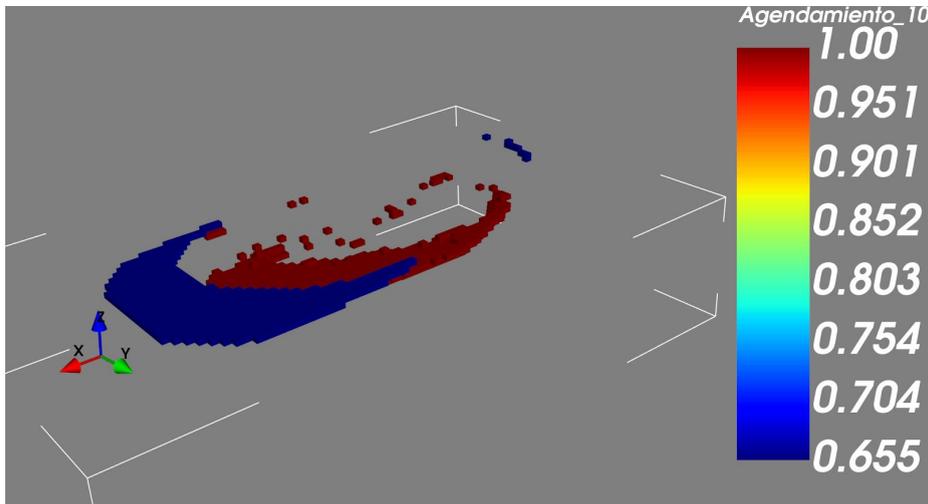
Vista Isométrica

**Anexo XIII: Agendamiento 9.**



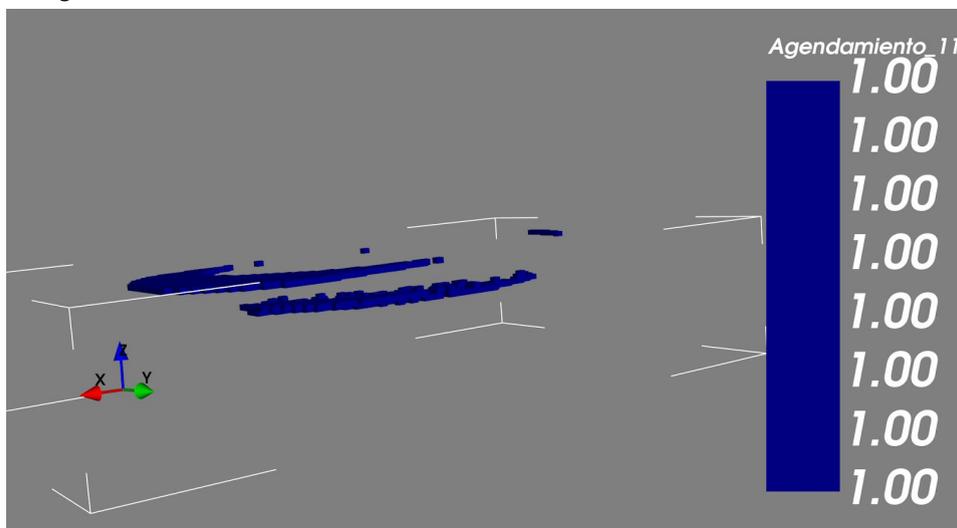
Vista Isométrica

**Anexo XIV: Agendamiento 10.**



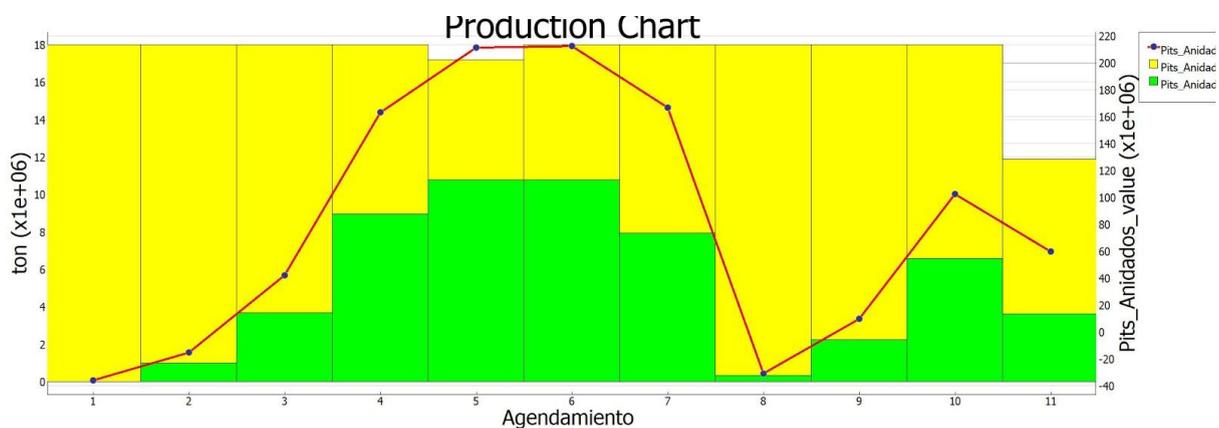
Vista Isométrica

**Anexo XV: Agendamiento 11.**

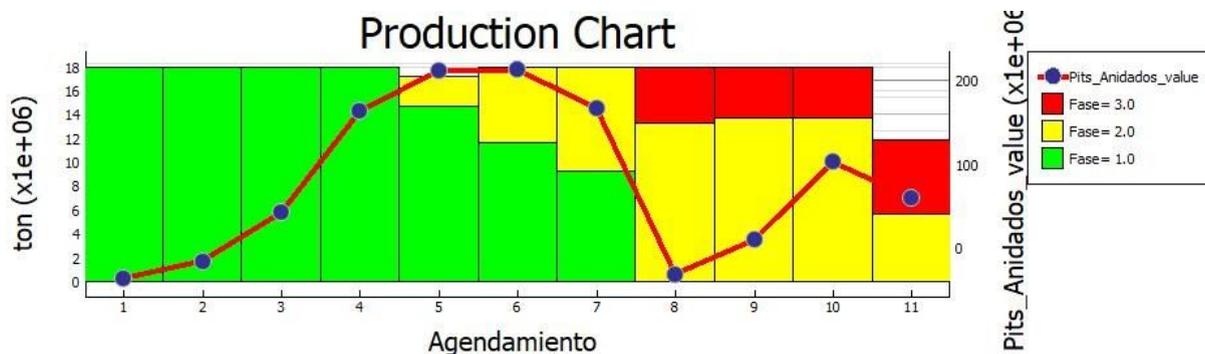


Vista Isométrica

**Anexo XVI: Agendamiento convencional.**

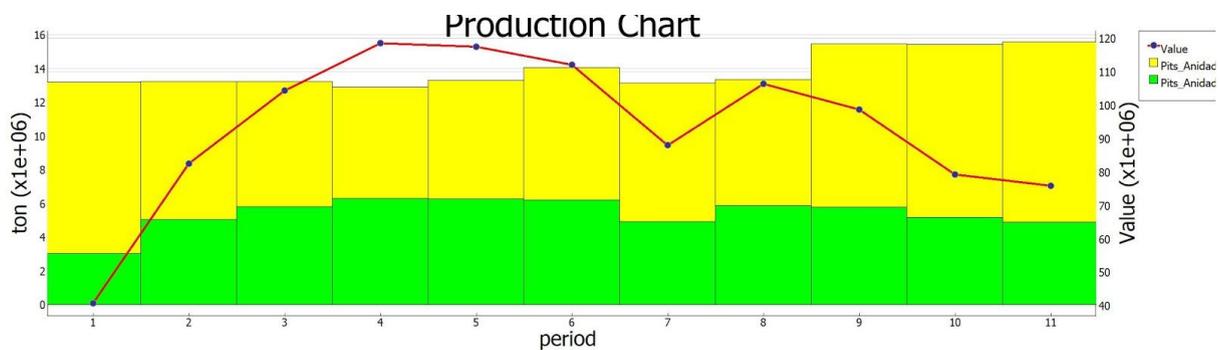


Plan de Producción (relación esteril mineral)



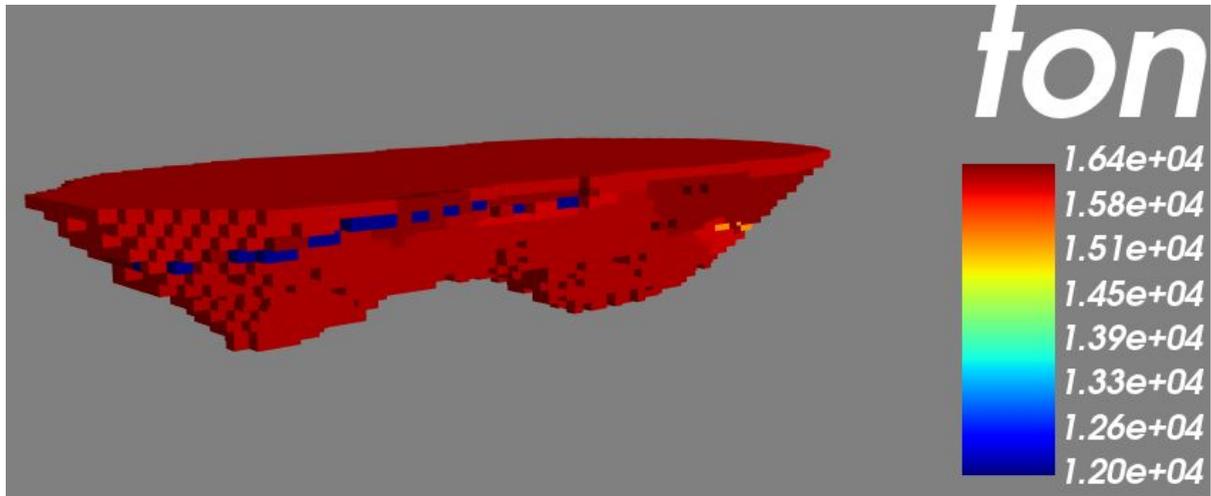
Plan de Producción por Fases.

**Anexo XVII: Agendamiento por DBS.**



Plan de Producción (relación esteril mineral)

**Anexo XVIII: Pit final por DBS.**



**Anexo XIX: Consideraciones para realizar el DBS**

- DBS

Properties

<b>Instance Parameters</b>	
Horizon (T)	11
Discount Rate	0.100
<b>Output Options</b>	
Extraction Period Column Name	period
Destination index Column Name	destination
<b>Solve Method</b>	
<input type="radio"/> Full MIP	<input type="radio"/> Sliding Window
<input checked="" type="radio"/> TopoSort	<input type="radio"/> Relaxed Sliding Window
<b>Optimization Parameters</b>	
MIP Gap	0.050
<b>Instance components</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Destination	Destinos
<input type="checkbox"/> Stocks	None
<input checked="" type="checkbox"/> Capacity	Capacidades
<input type="checkbox"/> Blending	None

- **Blocks**

Properties

Columns

- ton
- cu
- rocktype
- pf
- Pits\_Anidados\_pit
- Valor\_Botadero
- Recuperacion
- CostoPlanta
- ValorPlanta
- Valor\_Max
- Pits\_Anidados\_value
- Pits\_Anidados\_waste
- Fase
- Agendamiento\_1
- Agendamiento\_2
- Agendamiento\_3
- Agendamiento\_4
- Agendamiento\_5
- Agendamiento\_6
- Agendamiento\_7
- Agendamiento\_8
- Agendamiento\_9
- Agendamiento\_10
- Agendamiento\_11
- TiempoEsperado

- **Precedencia**

Properties

Select Precedence set

- Precedencia

- **Destinos**

Destinations Table

	Name	Value Attribute
1	Planta	ValorPlanta
2	Botadero	Valor_Botadero