

### ANÁLISIS BÁSICO

#### 1. Estadísticas básicas

El modelo de bloques a disposición contiene un total de seis columnas donde las tres primeras representan las coordenadas espaciales del bloque, mientras que las restantes corresponden al tonelaje del bloque, ley de cobre y tipo de roca – estéril, óxido o sulfuro – respectivamente.

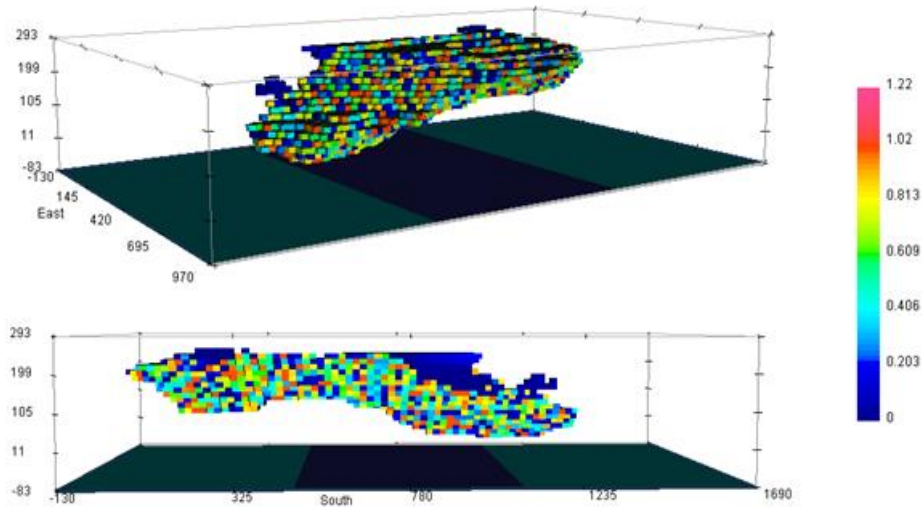


Ilustración 1 - Visualización modelo de bloques por ley de cu

A continuación, se presentan estadísticas básicas de los atributos tonelaje y ley de todo el modelo de bloques (116640 datos) y estadísticas básicas sin considerar material estéril (14153 datos). Otros gráficos asociados a estadísticas se encontrarán en la sección Anexos, literal A.

Tabla 1 - Estadísticas básicas de tonelaje y ley de cobre

	Tonelaje [t]	Ley [%]
<b>Media</b>	16143.771	0.028
<b>Mínimo</b>	12000.000	0.000
<b>Máximo</b>	16380.000	1.219
<b>Mediana</b>	16200.000	0.000
<b>Desviación estándar</b>	387.036	0.139

Tabla 2 - Estadísticas básicas de tonelaje y ley de cobre filtrado

	Tonelaje [t]	Ley [%]
<b>Media</b>	15736.597	0.230
<b>Mínimo</b>	12000.000	0.000
<b>Máximo</b>	16380.000	1.219
<b>Mediana</b>	16140.000	0.000
<b>Desviación estándar</b>	1022.697	0.337

Tabla 3 - Caracterización tipo de roca

Tipo de roca	Número de datos
<b>Estéril</b>	102487
<b>Sulfuro</b>	5931
<b>Óxido</b>	8222

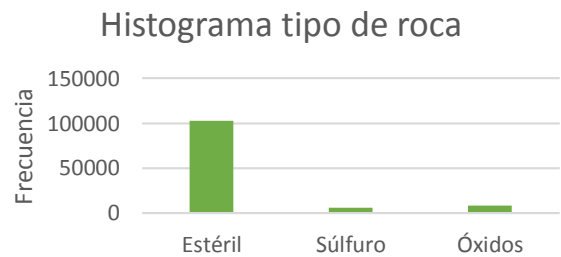


Ilustración 2 - Histograma tipo de roca

Además, se presenta el gráfico tonelaje ley del modelo de bloques dado, el cual se puede visualizar en la siguiente ilustración. En la sección Anexo se presenta información adicional de este gráfico según tipo de roca.

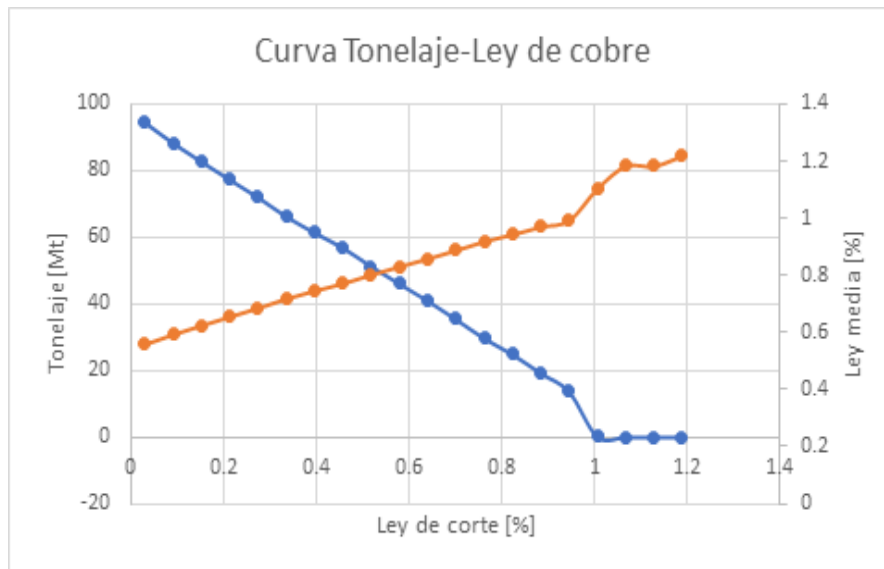


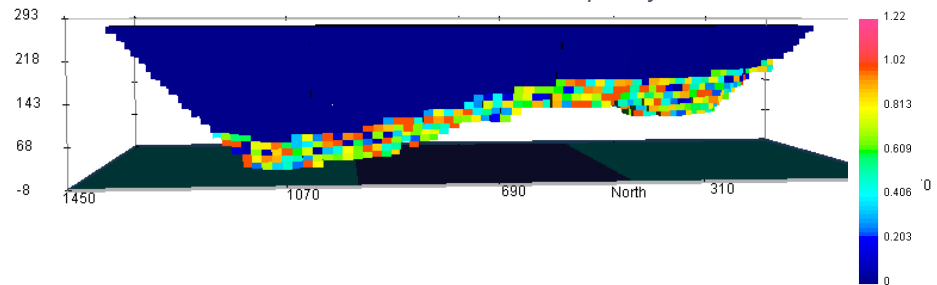
Ilustración - 3 Gráfico tonelaje ley de recursos.

Considerando los ángulos de precedencia 42°, 45° y 48° -para los tres tipos de roca respectivamente- y una altura vertical de ocho veces la altura del bloque, se obtiene un pit final con las siguientes características:

Tabla 4 - Datos Pit final

Valores Pit Final	
Valor no desc. [MUS\$]	1229.39936
Numero de bloques	17190

Ilustración 4 - Visualización Pit final por ley de cobre.



## 2. Plan de producción

Mediante el método de escalamiento de LG se obtienen los pits anidados. Para ellos se tomaron valores de Revenue Factor entre 0 y 1 con saltos de 0.01. En la siguiente ilustración se muestra el gráfico *pit by pit* representando las fases a extraer según las diferencias de tonalidades.

Con respecto a la definición de fases, los criterios en la toma de decisiones fueron:

- Se escoge como primera fase, aquella en que aparece el primer pit anidado y luego se seleccionan 3 fases más con el objetivo de mantener un tonelaje aproximadamente constante en cada fase.
- Se destaca, además, que las fases fueron visualizadas con el objetivo de que se cumpla el criterio del espacio operacional.
- Se verifica que la REM sea de carácter constante o creciente con respecto a la fase.
- Se define el término de la última fase a aquel pit – en este caso el pit 83 – en donde los pits posteriores presentan variación de beneficio menor a un 1%.

La visualización de las fases con corte lateral XZ se verá en la sección de Anexos Literal B.

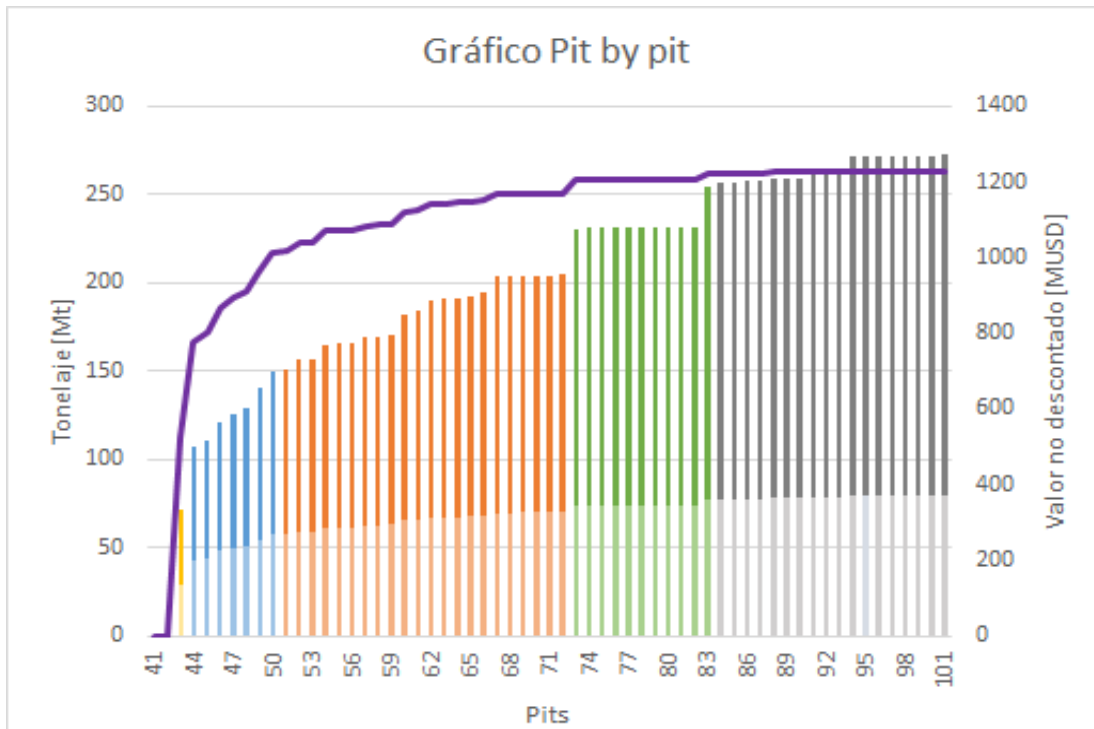
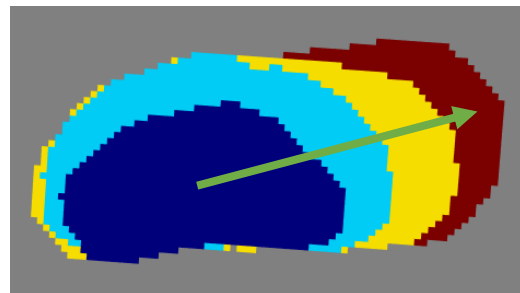


Ilustración 5 - Gráfico pit by pit y selección de fases

Tabla 5 - Información fases seleccionadas

Fase	Número de pit	Tonelaje [Mt]	REM
1	43	71.916	1.488
2	50	78.437	1.617
3	72	54.183	1.915
4	83	50.363	2.299

Ilustración 6 - Vista en planta fases (numeradas de manera ascendente)



Con respecto a la gran cantidad de material, se considera que la primera y segunda fase son demasiado grandes en relación a las siguientes, ya que con la limitación de capacidades -considerando capacidad mina- tiene un periodo de extracción aproximado de 4 años. Al momento de operativizar las fases mencionadas, podría ser una opción subdividir las fases en 2 sub-fases cada una, con el objetivo de igualar en duración de tiempo de extracción las fases.

Finalmente, se realizan dos tipos de agendamientos con el fin de comparar ambos. El Agendamiento a través de *Optimal Bench Phase Scheduler* se realizó variando el factor min/max lead para escoger el que se considere más operativo, es decir, no solo considerar el beneficio (VAN) del agendamiento, sino que considere que la alimentación a planta sea regular, buscando la continuidad de operación. Los otros gráficos se encontrarán en Anexos Literal D.

En base a la cantidad de mineral y estéril que hay que remover, se puede considerar que las capacidades de procesamiento de planta y de minado están sub-dimensionadas para el proyecto, convirtiéndose en “cuellos de botella” y alargando el periodo de extracción del mineral. La capacidad de minado propuesta tiene relación con las capacidades que actualmente manejan los cargadores frontales. En el análisis adicional se realizará un estudio más profundo de este punto mencionado.

Tabla 6 - Planes de producción Optimal Bench Phase Scheduler

Plan de producción	Min/Max Lead	VAN [MUSD]
1	3 - 5	550.45
2	-	562.47
3	1 - 2	473.15
4	2 - 3	495.67

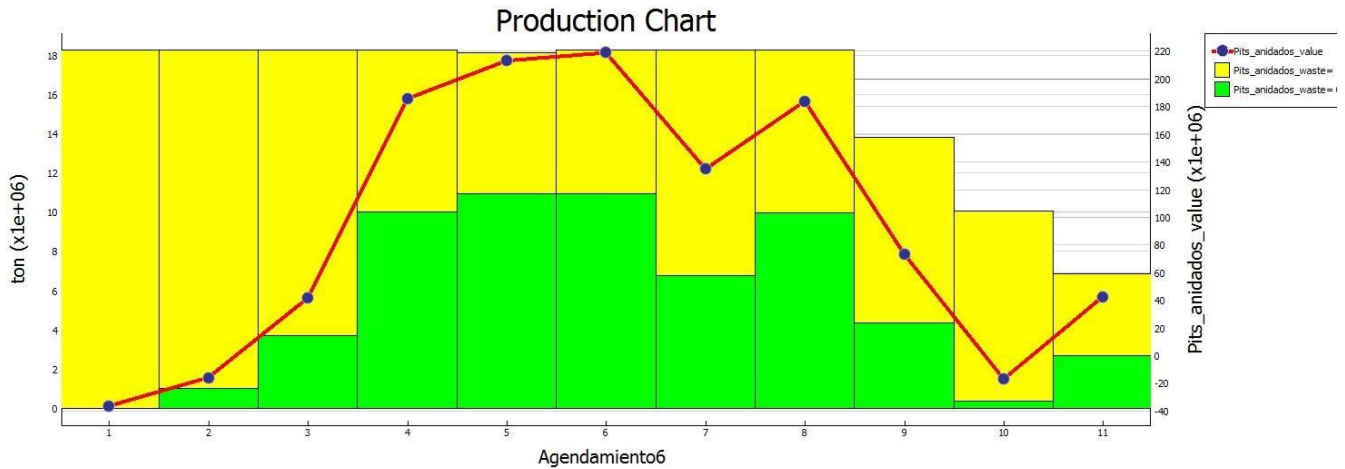


Ilustración 7 - Plan de producción 2: Optimal Bench Phase Scheduler

Para el agendamiento mediante DBS se considera un horizonte de 11 años y una tasa de descuento del 10% con el fin de comparar con el plan de producción realizado con el método anterior.

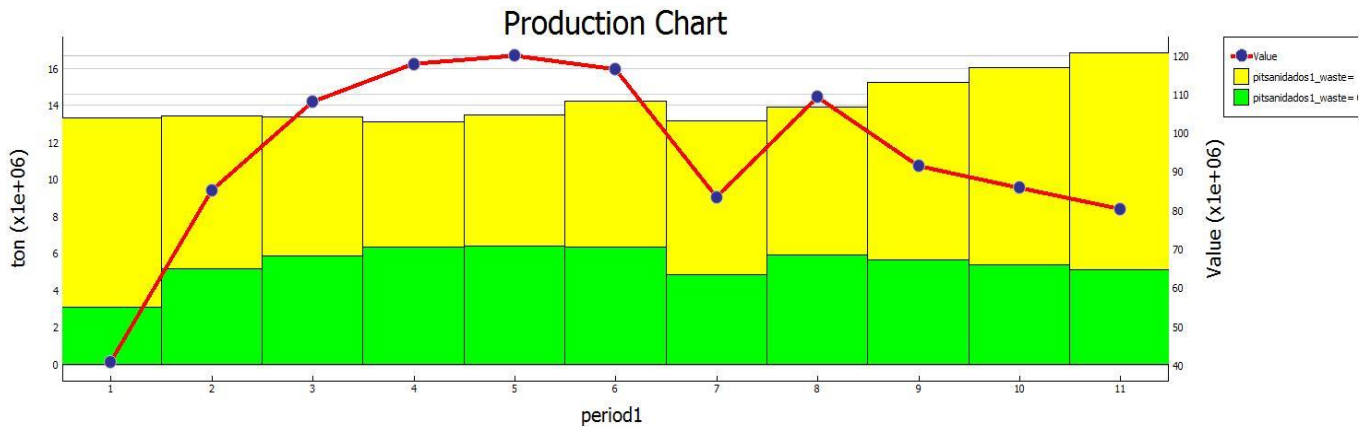


Ilustración 8 - Plan de producción DBS

Se puede apreciar que la optimización mediante la modalidad DBS trata de mantener una alimentación constante a la planta en contraparte al agendamiento manual, en donde se evidencia que el primer año se remueve casi en su totalidad estéril y durante el año 10 se puede apreciar una reducción del mineral extraído. A nivel de operación, la reducción del mineral extraído que se presenta en el año 10 no es deseable ya que lo ideal es tratar de mantener una alimentación a planta constante.

Cabe destacar que el agendamiento mediante la técnica DBS alcanza un VAN de 603.09 millones USD. Esto se debe a que recupera mineral de una forma más rápida.

Se evidencia que ambos agendamientos los pits en su dirección vertical presentan las mismas protuberancias. Mientras que en la vista de planta (XY) se puede apreciar que el agendamiento convencional es más alargado en la dimensión Y (ver Anexo E).

## ANÁLISIS ADICIONAL

En la presente sección se darán a conocer algunos análisis adicionales realizados, los cuales intentan responder preguntas realizadas en el desarrollo del proyecto. La sección se categorizará para su mayor entendimiento.

### 1. Sensibilidad del pit final con respecto al factor “vertical distance”

Para la realización de este análisis de sensibilidad se dio paso a la variación del número de bloques que se adjudicaran para buscar predecesores en la vertical. Con esto en mente se realizará la variación de la altura de búsqueda, pero se mantiene los ángulos de precedencia.

Tabla 7 - Variación pit final con respecto a vertical distance

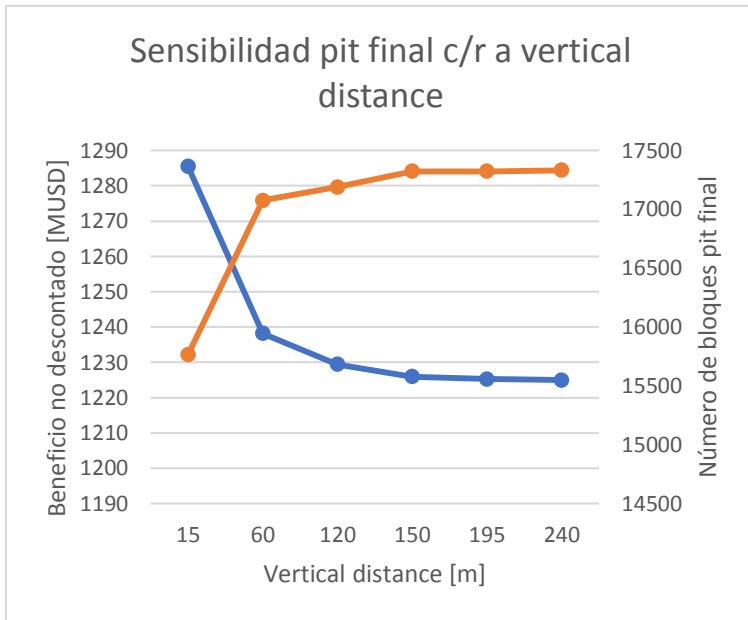


Ilustración 9 Sensibilidad pit final c/r a vertical distance

Variación Vertical Distance			
Número de bloques vertical	1	4	8
Vertical distance	15	60	120
Beneficio no descontado [MUSD]	1285.44951	1238.17488	1229.39936
Número de bloques PF	15766	17077	17190

Variación Vertical Distance			
Número de bloques	10	13	16
Vertical distance	150	195	240
Beneficio no descontado	1225.96224	1225.30153	1224.93777
Numero de bloques PF	17323	17322	17331

Como se puede revisar, si se considera menos bloques en los que se cumpla la precedencia, el pit final considera menor cantidad de bloques, por ende, la forma final de este pit depende de esta distancia vertical -lo que se visualiza a continuación-. Por otro lado, esta restricción influye en el beneficio del pit final -no descontado- por lo que la disminución con respecto al aumento de esta altura se considera por el agregado de estéril en el pit final para cumplir con los ángulos de precedencia dados.

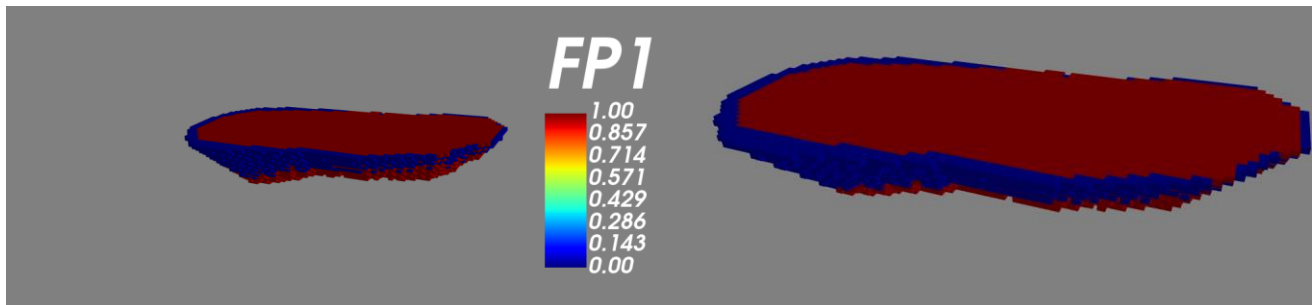


Ilustración 10 - Variación pit final según vertical distance. En rojo pit final con distancia de 15m y en azul pit final con respecto a distancia 240 m.

2. Nuevas consideraciones con respecto a las capacidades.

Como se comentó con anterioridad, la primera fase productiva es de gran tamaño con respecto a las capacidades dadas por enunciado y es por esta razón que las siguientes también lo son si se considera tonelaje constante entre las fases.

Con esto en mente, se realizó un agendamiento mediante el *Optimal Phase Scheduler* proponiendo duplicar las capacidades de mina y planta y realizando una variación en valores de Min/Max Lead. Éste aumento se ve reforzado por valores en minería chilena de cobre donde las capacidades mineras llegan a triplicar el valor dado por enunciado, por ejemplo, minera Andina quiere obtener 230000 tpd. Los valores de entrada son los siguientes.

- Tasa de descuento: 10%
- Capacidades de mina: 100000 [tpd]
- Capacidades de planta: 60000 [tpd]
- Números de pits: 43, 50, 72 y 83

Obteniendo como resultado planes de producción con un total de 7 años (4 años menos que el caso base). A continuación, se presentan el beneficio de cada una de las variaciones realizadas y sus planes de producción:

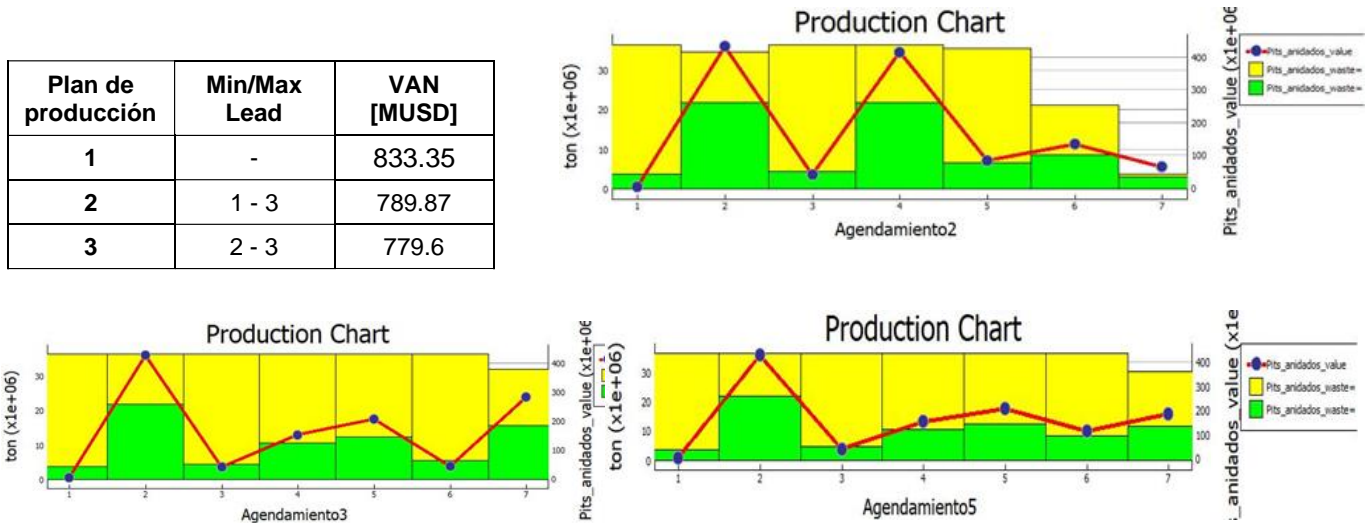


Ilustración 11 a) Beneficio con respecto a plan de producción; b) Plan de producción sin considerar variable min/máx. lead; c) Plan de producción min/máx. lead 1/3; d) Plan de producción min/máx. lead 2/3.

De lo anterior se concluye que, en una mina con mayor capacidad que la dada por enunciado, el plan de producción resultante muestra una mejor continuidad con respecto a material ingresado a planta, a diferencia del caso base que tenía años intermedios con capacidad limitada a retirar mayoritariamente estéril para acceder al mineral.

Se destaca, además, que el plan de producción sin restringir min/máx. lead genera un VAN mayor, pero en este caso, a diferencia del caso base, el material enviado a planta presenta mayor variación que los otros dos planes.

### 3. Sensibilización del VPN ante variaciones durante la operación del proyecto.

Una operación minera puede ver modificada de forma notoria sus ingresos ante fluctuación del precio del metal en el mercado, aumento de costos operacionales por imprevistos no considerados y problemas en planta y mineral que afecten la recuperación esperada. Para ello, se efectuó una sensibilización del VPN tanto para las variables del precio del cobre, costo mina y recuperación metalúrgica. Los valores considerados para realizar la sensibilización se encuentran en la siguiente tabla.

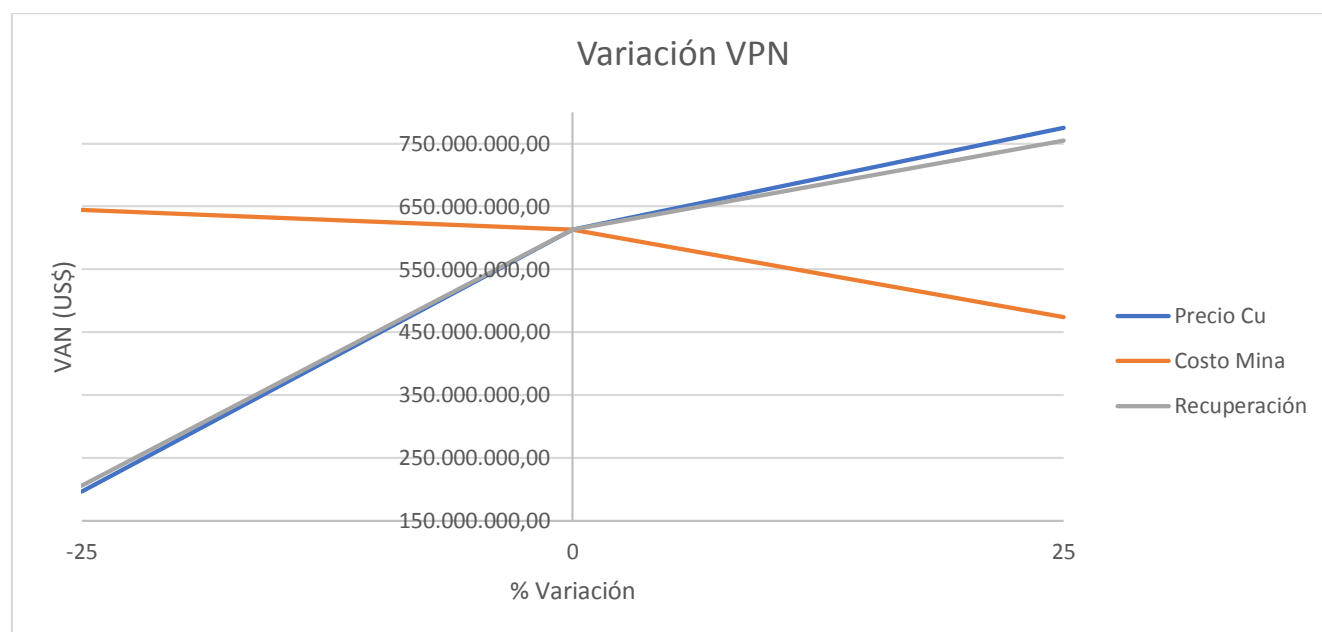
*Tabla 7 – Valores considerados para realizar la sensibilización del VPN*

Variación	original (0%)	-25%	+25%
Precio Cu	2,8	2,1	3,5
Costo mina	2	1,5	2,5
Recuperación	60 ox y 80 sulf	45 ox y 60 sulf	75 ox y 100 sulf

Los resultados obtenidos se encuentran en la siguiente tabla y gráfica:

*Tabla 8 – Variación del VPN por cada variable en estudio*

Variaciones VPN (\$US)			
Variación (%)	Precio Cu	Costo Mina	Recuperación
-25	196.809.389,60	644.075.691,18	206.228.744,03
0	612.973.719,87	612.973.719,87	612.973.719,87
25	774.838.775,58	473.961.654,23	754.829.823,00



*Ilustración 12 – Variación del VPN*

Se puede observar que el proyecto es altamente sensible en primer lugar a una variación del precio de cobre y en segundo lugar a una variación de los valores de recuperación metalúrgica. La variación del costo mina presenta una amenaza de menor grado para la ganancia proyectada.

## ANEXOS

En la presente sección se presenta información complementaria a la realización del desarrollo del proyecto y las conclusiones realizadas.

### A. Histogramas

A continuación, se presenta representación gráfica adicional para caracterizar la base de datos entregada.

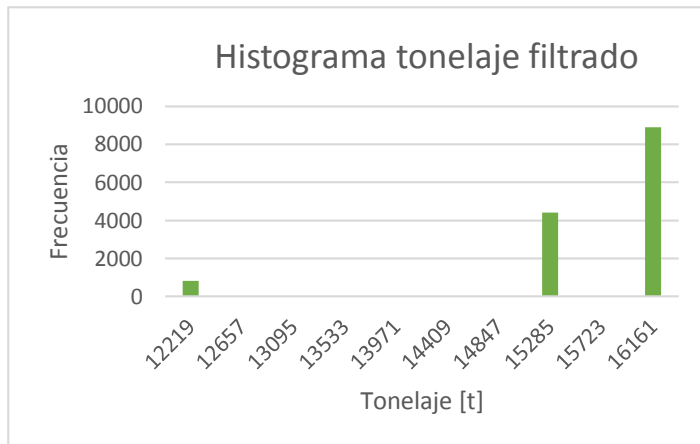
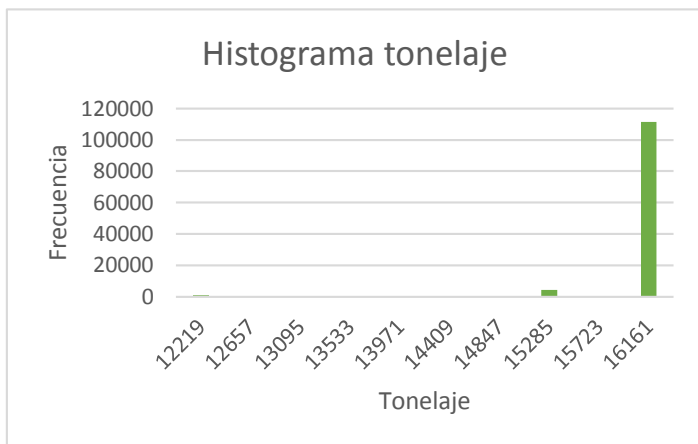


Ilustración 12 - Histogramas según tonelaje total y filtrado (sin estéril)

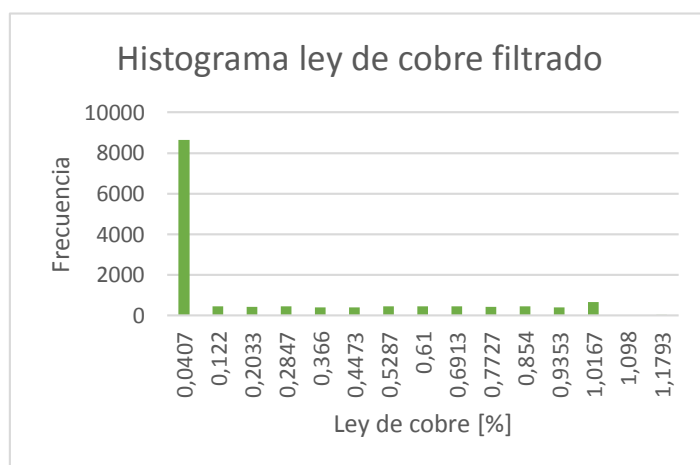
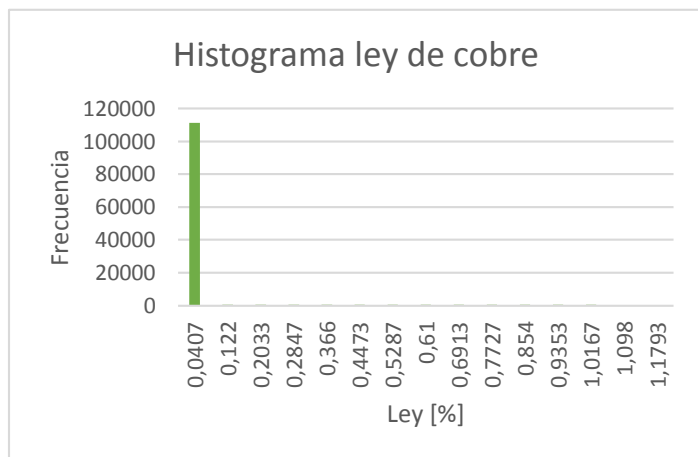


Ilustración 14 - Histogramas según ley de cobre total y filtrado (sin estéril)



B. Gráfico tonelaje-ley según tipo de mineral

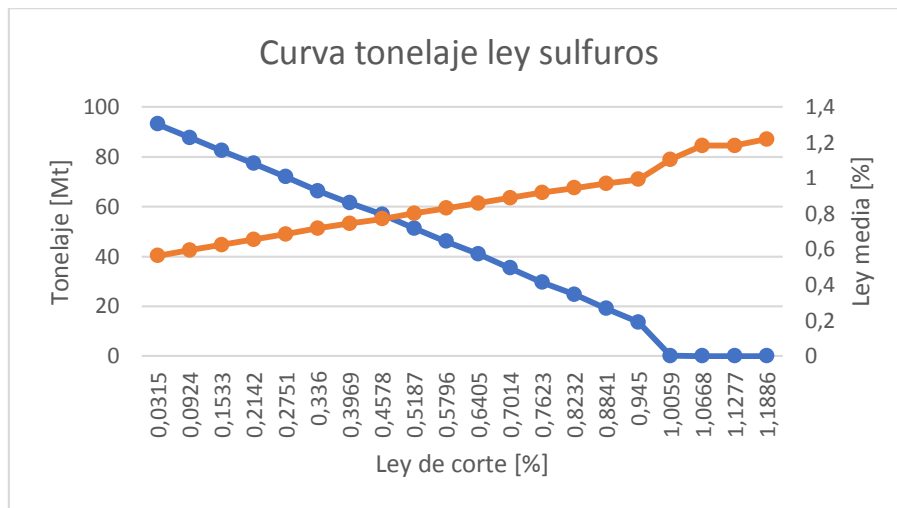


Ilustración 15 - Gráfico tonelaje ley de sulfuros.

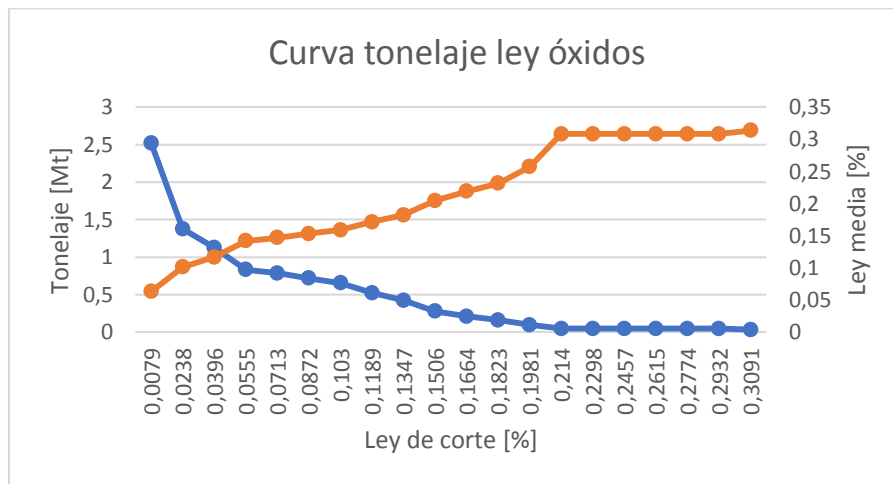


Ilustración 16 - Gráfico tonelaje ley de óxidos

C. Representación gráfica de las fases

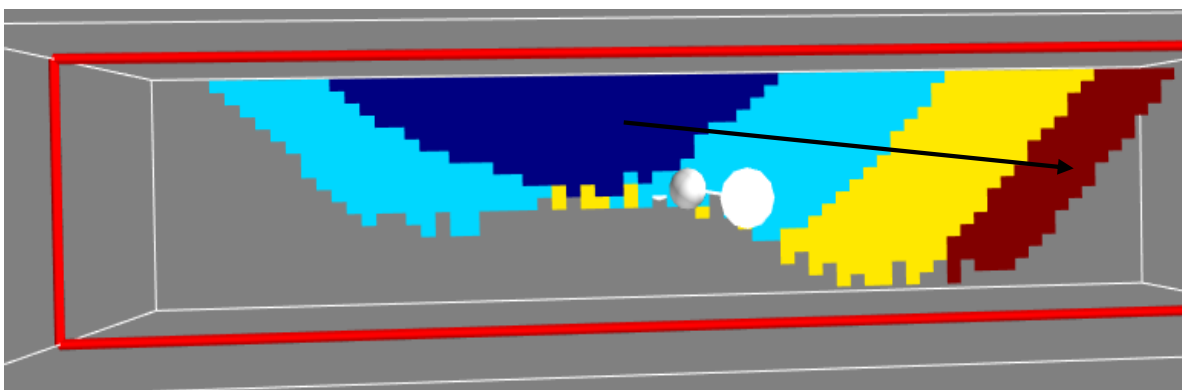


Ilustración 17 - Representación lateral fases seleccionadas

### D. Gráficas plan de producción

A continuación, se presentan los planes de producción variando el factor min. y máx. lead

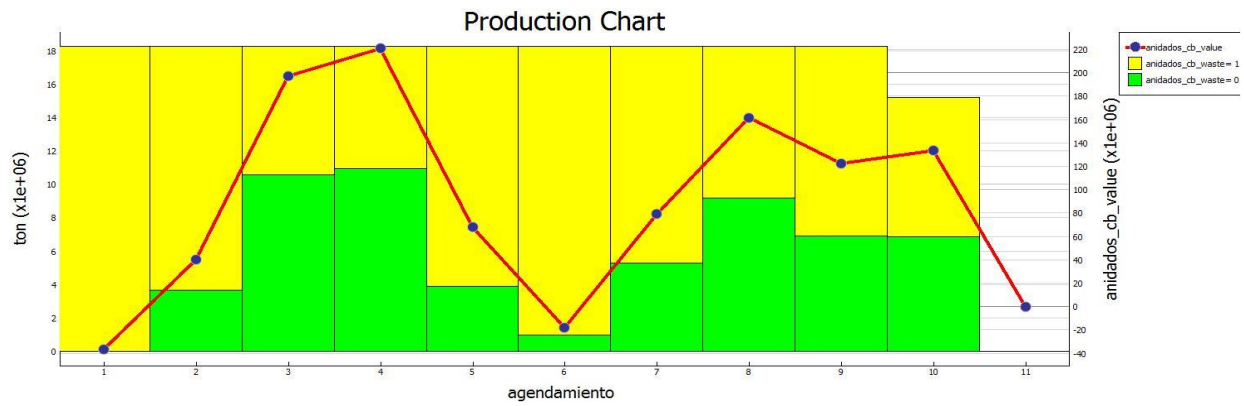


Ilustración 18 - Plan de producción 1. Min/Max lead: 3 - 5

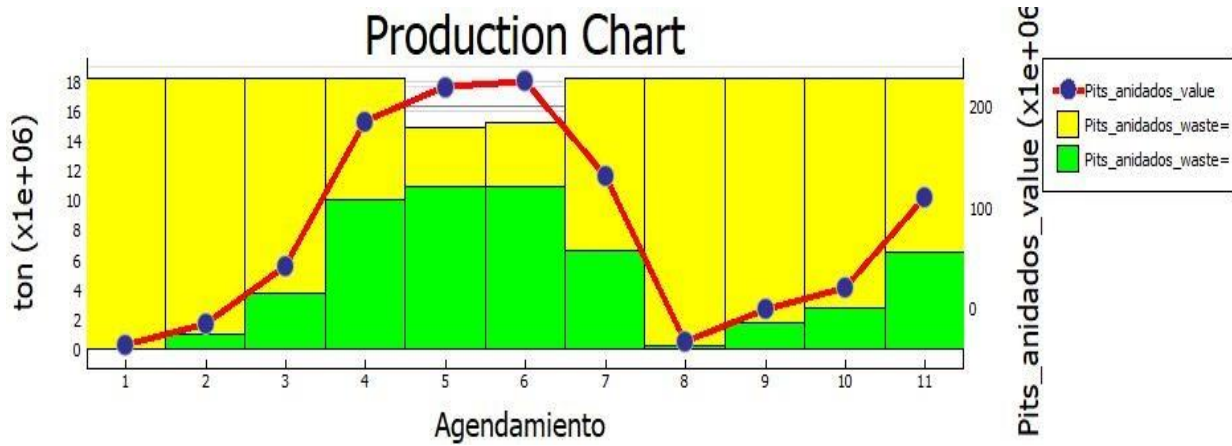


Ilustración 19 - Plan de producción 3. Min/Max lead: 1 - 2

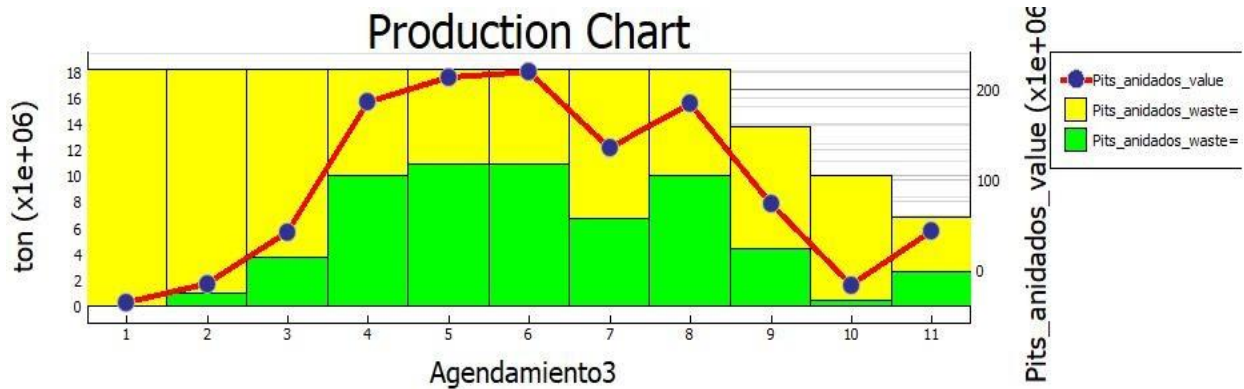


Ilustración 20 - Plan de producción 4. Min/Max lead 2 - 3

E. Geometría pits agendamiento convencional y DBS

Agendamiento convencional (pit 43 al pit 83)

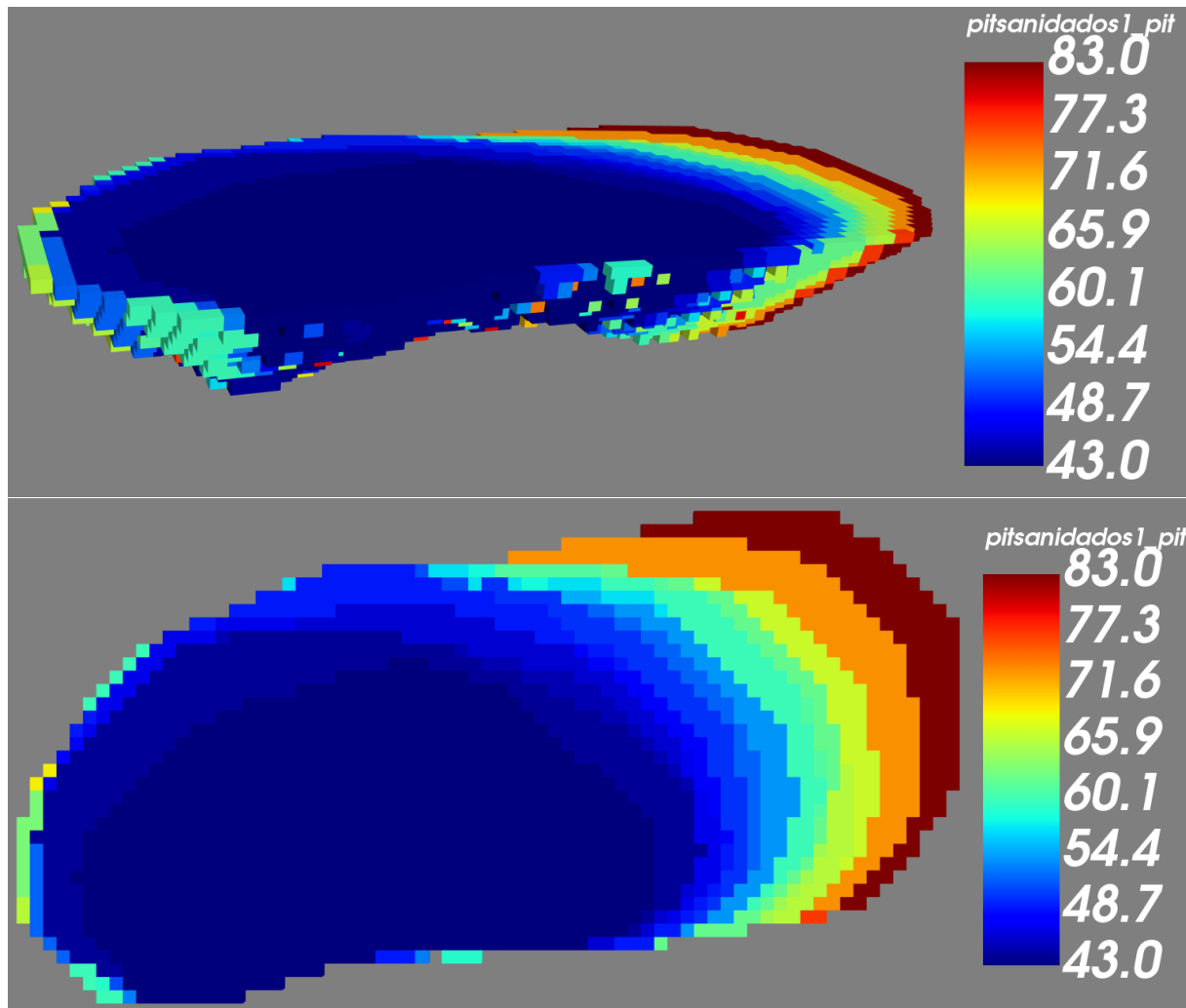


Ilustración 21 – Geometría pits agendamiento convencional

Agendamiento mediante DBS

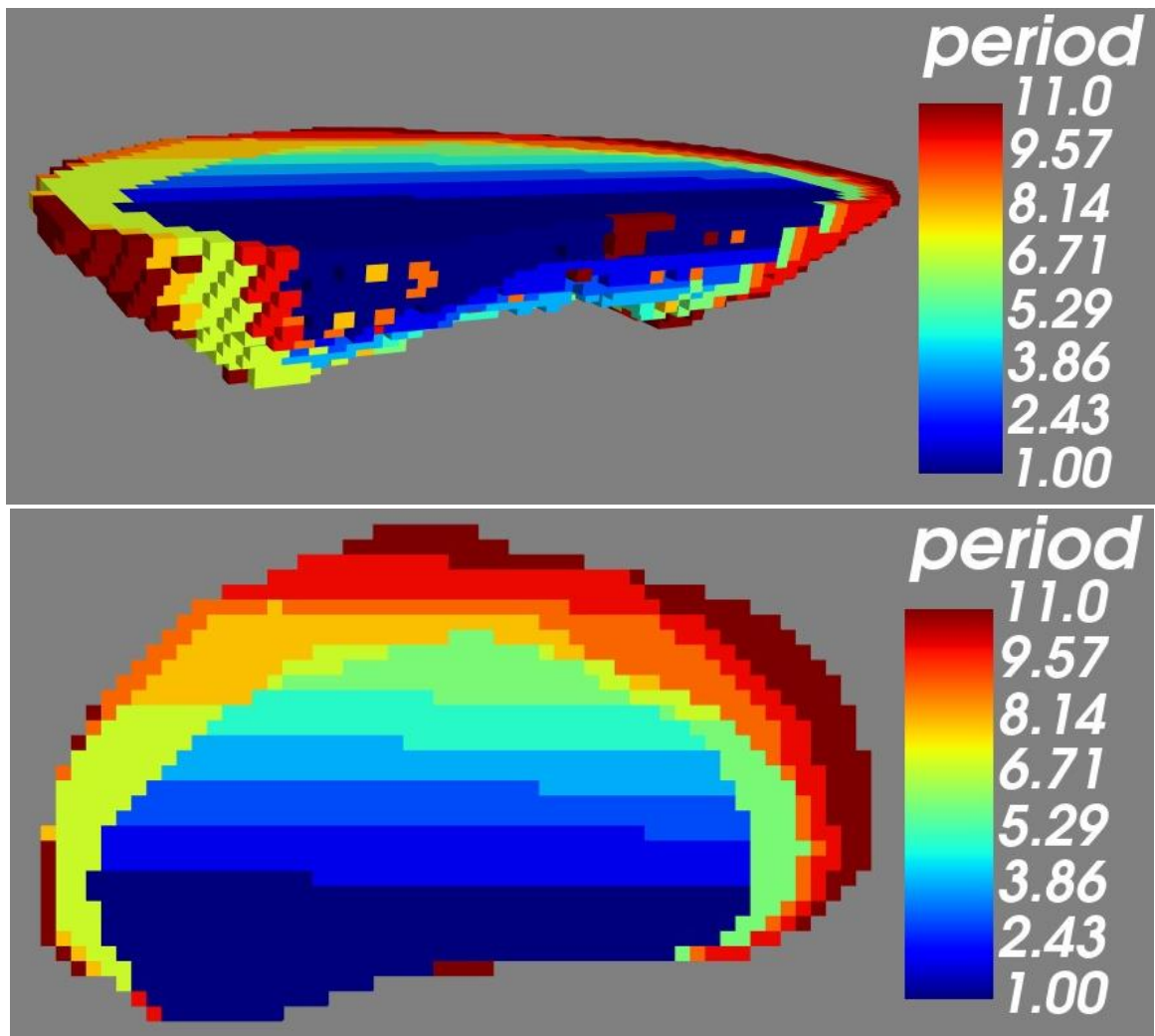


Ilustración 22 – Geometría pits agendamiento DBS