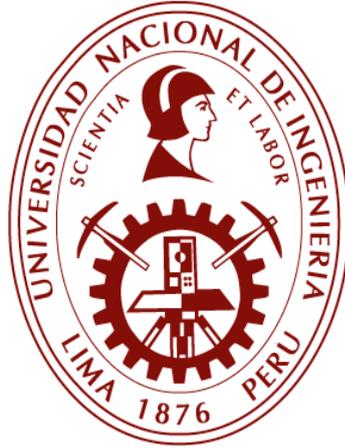


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“DETERMINACIÓN DE LA SECUENCIA DE MINADO Y REMANEJO DE STOCKS PARA EL TRATAMIENTO DE ÓXIDOS Y DE SULFUROS EN UNA MINA DE COBRE A TAJO ABIERTO”

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

ELABORADOR POR:

CRISTHIAN ANDRES CORTEZ TANTA

ASESORA:

M.Sc. ING. CARMEN ROSALIA MATOS AVALOS

LIMA-PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mi padre por inculcarme siempre la importancia de la educación en la vida, a mi madre por apoyarme en todos mis desafíos y a mis hermanos para que sigan siempre adelante y sepan que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia plantea una metodología para formular una secuencia de minado adecuada para la alimentación de las plantas de óxidos y de sulfuros, en un contexto del proceso de **ramp up** de ambas plantas, en una mina de cobre de tajo abierto donde se produce cobre en concentrados y en cátodos.

Para determinar la secuencia de minado adecuada que brinde el **blending** óptimo para la alimentación de las plantas de óxidos y de sulfuros, se reunieron datos proveídos por las diferentes áreas de trabajo involucradas en el proceso como lo son Mantenimiento, Perforación y Voladura, Geología y planta, estos datos son los siguientes:

- Plan de mantenimiento de equipos y disponibilidad comprometida.
- Plan de perforación y cronograma de voladuras semanales.
- Litología y leyes de los **blastholes** perforados en campo.
- Plan de mantenimiento de las plantas de óxidos y de sulfuros.
- **Throughput** diario de las plantas de óxidos y de sulfuros.

En base a estos datos se procedió a elaborar distintas alternativas de secuencia de minado, teniendo en cuenta los polígonos de material ubicados en el tajo y los *stocks*

disponibles, además de las restricciones operativas y las condiciones de seguridad en el tajo.

Una vez elaboradas las secuencias se procedió a reportarlas usando la herramienta **Planner Project** del **software** minero **Mineplan** obteniendo así los tonelajes y leyes de cada tipo de material obtenido en cada alternativa de secuencia de minado.

Los tonelajes y leyes obtenidos de cada material son comparados con el **throughput** diario de las plantas de óxidos y de sulfuros, las secuencias que cumplen con el tonelaje requerido son parte del cálculo del **blending** óptimo, mientras que las que no cumplen con dicho plan son descartadas del proceso de cálculo.

Considerando las secuencias de minado que, si cumplen con el plan de requerimiento de las plantas de óxidos y de sulfuros, se procede a calcular el **blending** óptimo que maximice el margen unitario obtenido, para ellos se procedió a insertar los reportes obtenidos de cada secuencia de minado en una macro que mediante el lenguaje de programación VBA y la herramienta **Solver** de **Excel** brinda los valores de tonelaje y ley requeridos.

Palabras clave: *ramp up, blending, Solver.*

ABSTRACT

This sufficiency work proposes to determine an adequate mining sequence for feeding the oxide and sulfide plants, in a context of the ramp up process of both plants, in the Mina Justa mining unit of the company MARCOBRE.SAC, located in the department of Ica, at an altitude between 300 and 400 m.a.s.l. where Copper is produced in concentrates and cathodes.

To determine the appropriate mining sequence that provides us with an optimal blending for feeding the oxide and sulfide plants, data provided by the different work areas involved in the process were gathered, such as Maintenance, Drilling and Blasting, Geology and plant, these data are as follows:

- Equipment maintenance plan and compromised availability.
- Drilling plan and weekly blasting schedule.
- Lithology and grades of blastholes drilled in the field.
- Maintenance plan for the oxide and sulfide plants.
- Daily requirement of the oxide and sulfide plants.

Knowing these data, we proceeded to develop different mining sequence alternatives, also taking into account the operating restrictions and safety conditions in the pit.

Once the sequences had been prepared, they were reported using the Planner Project tool of the Mineplan mining software, thus obtaining the tonnages and grades of each type of material obtained in each alternative mining sequence.

The tonnages and grades obtained from each material are compared with the daily requirement plan of the oxide and sulfide plants, the sequences that do comply with the requirement plan are part of the calculation of the optimal blending, while those that do not comply with said plan are discarded from the calculation process.

Considering the mining sequences that, if they comply with the requirement plan of the oxide and sulfide plants, the optimal blending that maximizes the benefit obtained is calculated, for them the reports obtained from each mining sequence were inserted. in a macro that, through the VBA programming language, the Excel Solver tool gives us the required tonnage and grade values.

Keywords: Ramp up, blending, Solver.

INDICE

Pag.

DEDICATORIA	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INDICE	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
INTRODUCCIÓN	
1. CAPÍTULO I – GENERALIDADES	13
1.1 Descripción del Problema de Investigación	14
1.2 Objetivos del Estudio	18
1.2.1 Objetivo General.....	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 Antecedentes Investigativos	18
1.3.1 Investigaciones Internacionales.....	18
1.3.2 Investigaciones Nacionales	19
2. CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	21
2.1 Marco Teórico.....	21
2.1.1 Geología y Mineralización.....	21
2.1.2 Horizontes del planeamiento de minado	23
2.1.3 Secuencia de minado y plan de producción.....	24
2.1.4 Programacion Lineal-Metodo Simplex	27

2.1.5	Margen Economico Unitario.....	30
2.2	Marco Conceptual	31
3.	CAPÍTULO III – HIPOTESIS Y OPERACIONALIDAD DE VARIABLES.....	33
3.1	Hipótesis General	33
3.1.1	Hipótesis específicas	33
3.2	Operacionalización de Variables.....	33
4.	CAPÍTULO IV – METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
4.1	Tipo y Diseño de la Investigación	34
4.2	Unidad de Análisis	35
4.2.1	Descripción del proyecto y localización.....	37
4.2.2	Geología regional	38
4.2.3	Geología local	39
4.2.4	Operaciones Unitarias	41
4.2.5	Clasificación de materiales	45
4.3	Matriz de Consistencia	46
5.	CAPÍTULO V – DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	47
5.1	Recolección de datos	47
5.2	Procesamiento de la información	49
5.2.1	Cálculo de tonelaje minado diario.....	49
5.2.2	Cálculo del margen unitario	50
5.2.3	Elaboración de secuencias de minado	51
5.2.4	Cálculo del blending	57
5.3	Análisis de la información.....	62
6.	CAPÍTULO VI – ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	64
6.1	Resultados alternativa 1	64
6.2	Resultados alternativa 2.....	66
6.3	Resultados alternativa 3.....	67
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES.....	75
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	77
	ANEXOS	80

INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Tonelaje por stocks.....	13
Tabla 2 Clasificación de material de stock con tonelaje y ley	16
Tabla 3 Matriz de clasificación de materiales.....	17
Tabla 4 Plan de producción Mina Justa Forecast Q1_2021	27
Tabla 5 Alimentación planta de sulfuros y óxidos Mina Justa Forecast Q1_2021...27	27
Tabla 6 Reservas estimadas en Mina Justa.....	36
Tabla 7 Coordinadas límites de la unidad minera	37
Tabla 8 Clasificación de materiales en Mina Justa.....	45
Tabla 9 Matriz de consistencia.....	46
Tabla 10 Detalle de stocks de mineral antes del blending.....	49
Tabla 11 Producción diaria Pala 01	50
Tabla 12 Tonelaje minado día por día.....	50
Tabla 13 Detalle alternativa 1	53
Tabla 14 Detalle alternativa 2	55
Tabla 15 Detalle alternativa 3	57
Tabla 16 Restricciones de la planta de sulfuros	58
Tabla 17 Restricciones de la planta de óxidos	59
Tabla 18 Alimentación de la planta de sulfuros - alternativa 1.....	59
Tabla 19 Alimentación de la planta de óxidos - alternativa 1.....	60
Tabla 20 Alimentación de la planta de sulfuros - alternativa 2.....	60
Tabla 21 Alimentación de la planta de óxidos - alternativa 2.....	61
Tabla 22 Alimentación de la planta de sulfuros - alternativa 3.....	61
Tabla 23 Alimentación de la planta de óxidos - alternativa 3.....	62
Tabla 24 Detalle de stocks de mineral después del blending.....	63

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 Diagrama de throughput	15
Figura 2 Efectos de la bentonita y el caolin en la recuperacion y ley del concentrado de cobre	16
Figura 3 Modelo de zonación vertical para depositos tipo IOCG	22
Figura 4 Ocurrencia de mineralización IOCG en la costa norte.....	23
Figura 5 Cortes de minado en 2D y 3D	25
Figura 6 Secuencia de cortes de minado-plan semanal.....	26
Figura 7 Interpretación grafica del método simplex.....	28
Figura 8 Cuadro de dialogo SOLVER	29
Figura 9 Código VBA de funciones SOLVER.....	29
Figura 10 Diagrama de cálculo del Margen unitario.	30
Figura 11 Ubicación de Mina Justa.....	37
Figura 12 Mapa geológico regional.....	39
Figura 13 Mapa geológico local de Mina Justa	40
Figura 14 sección transversal (arriba) y sección longitudinal (abajo)	41
Figura 15 Perforadora Pit Viper	42
Figura 16 Proyectos de trim y producción	43
Figura 17 Proyecto de precorte.....	43
Figura 18 Especificaciones técnicas EX5600.....	44
Figura 19 Cargador Frontal 994K	44
Figura 20 Sección transversal de una vía de acarreo de doble vía	45
Figura 21 Model Calculation Tool	51
Figura 22 Calculo del Margen Unitario.....	51
Figura 23 Planner Project	52

Figura 24	Secuencia de minado alternativa 1	53
Figura 25	Movimiento Total alternativa 1	54
Figura 26	Secuencia de minado alternativa 2	54
Figura 27	Movimiento total alternativa 2.....	55
Figura 28	Secuencia de minado alternativa 3	56
Figura 29	Movimiento total alternativa 3.....	57
Figura 30	Diagrama obtención del blending óptimo.	57
Figura 31	Comparación de alternativas	62
Figura 32	Alimentación planta de sulfuros alternativa 1	65
Figura 33	Alimentación planta de óxidos alternativa 1	65
Figura 34	Alimentación planta de sulfuros alternativa 2	66
Figura 35	Alimentación planta de óxidos alternativa 2	67
Figura 36	Alimentación planta de sulfuros alternativa 3	68
Figura 37	Alimentación planta de óxidos alternativa 3	68
Figura 38	Variabilidad de CuT%	69
Figura 39	Variabilidad de CuAs%	70
Figura 40	Correlación Ratox% vs Recuperación%.....	71
Figura 41	Consumo de Ácido Sulfúrico.....	71

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de suficiencia tiene como aporte el brindar un procedimiento para determinar la secuencia de minado para la alimentación de las plantas de óxidos y de sulfuros en una mina de cobre a tajo abierto.

El contenido de la investigación está estructurado en seis capítulos, descritos a continuación:

En el capítulo I Introducción, se describen las generalidades de esta investigación desarrollando el alcance de esta, además de los problemas de la investigación a partir de los cuales se describe los objetivos de estudio y los antecedentes investigativos.

En el capítulo II Marco teórico y conceptual, se refiere a los antecedentes de la investigación, los marcos legales, etc. Estos establecen las bases teóricas para la elaboración del presente trabajo de suficiencia.

En el capítulo III Hipótesis y operacionalización de variables, se plantean las soluciones a la realidad problemática.

El capítulo IV Metodología de la investigación, describe de que tipo es esta investigación, teniendo en cuenta el punto de vista del enfoque y el punto de vista de

del alcance, además desarrolla el diseño de la presente investigación, Seguidamente se presenta la unidad de análisis que para este caso es la unidad minera Mina Justa. El capítulo V Desarrollo de la investigación, inicia describiendo los datos recolectados, así como la forma en la que fueron ordenados y presentados, seguidamente desarrolla los cálculos propios del procesamiento de la información, para concluir con el análisis correspondiente.

Capítulo VI Análisis y discusión de resultados, en este capítulo se contrasta los resultados obtenidos con sus respectivas hipótesis, además se analiza las razones por las que se obtuvieron los resultados presentados.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Desarrollar un plan de alimentación de las plantas de óxidos y de sulfuro durante el proceso de **ramp up** de ambas plantas requiere que el mineral entregado a estas tenga una adecuada ley de cabeza para realizar los ajustes necesarios y alcanzar el **throughput** de diseño de ambas plantas.

Para abordar este problema las diferentes unidades mineras desarrollan diversos planes de minado los cuales teniendo en cuenta los polígonos de minado y los **stocks** de mineral, obtienen diversas alternativas para la alimentación de ambas plantas, en la tabla 1 se observa un plan de producción por **stock** de material.

TABLA 1.: TONELAJE POR STOCKS

Mes	STOCKS(t)					Total Material(t)
	1	2	3	4	5	
1	13,672	7,543	21,510	23,650	10,537	76,912
2	31,094	40	14,901	14,647	5,245	65,927
3	42,510	-	11,249	-	11,295	65,054
4	54,072	-	7,924	1,579	-	63,575
5	23,097	21,036	13,358	-	194	57,685
6	15,673	14,012	12,647	-	18,720	61,052

Fuente: (Cleque, M .2020) Optimización de la ley en el secuenciamiento del remanejo de *stockpiles* usando programación lineal entera mixta y Visual Basic.

La presente investigación determina la mejor opción de secuencia de minado que cumpla con los requerimientos de las plantas de óxidos y de sulfuros, y que además brinde el **blending** óptimo para maximizar el margen unitario.

Para el cálculo del **blending** óptimo esta investigación utiliza algoritmos de optimización como el **simplex** y se apoya en herramientas de software como el **Solver** de **Excel**.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El inicio de operaciones de la planta de flotación y la planta de lixiviación en una mina de cobre a tajo abierto, es un evento importante para todas las áreas de trabajo involucradas, sobre todo en las áreas de planeamiento de corto y largo plazo, debido a la alta variabilidad de las leyes en el caso de los óxidos y sulfuros de cobre, además se presenta el problema de no cumplir con los requerimientos, restricciones y mantenimientos de las plantas.

Inicialmente, las plantas carecen de un plan de alimentación en el corto plazo, por lo que reciben material **rom** y de los **stocks** para los procesos que se realizan en ellas, hasta que estas alcancen los parámetros técnicos estimados y se establezca la producción programada, a este proceso se le denomina **ramp up** y se caracteriza por la experimentación y las mejoras implementadas como desarrolla Sturze. I (2016) en la tesis "**Optimización de la variabilidad del suministro de mineral hacia las plantas concentradora en gran empresa minera**",[11].

Es así que para alimentar a las plantas de óxidos y de sulfuros los planes de minado definen secuencias que contemplen primeramente el problema del **throughput**, para abastecer con el tonelaje requerido de ambas plantas para asegurar su funcionamiento de forma continua, el **throughput** de las plantas es constante o

variable día a día, la figura 1 presenta el **throughput** de una planta de beneficio en Cuzco-Perú.

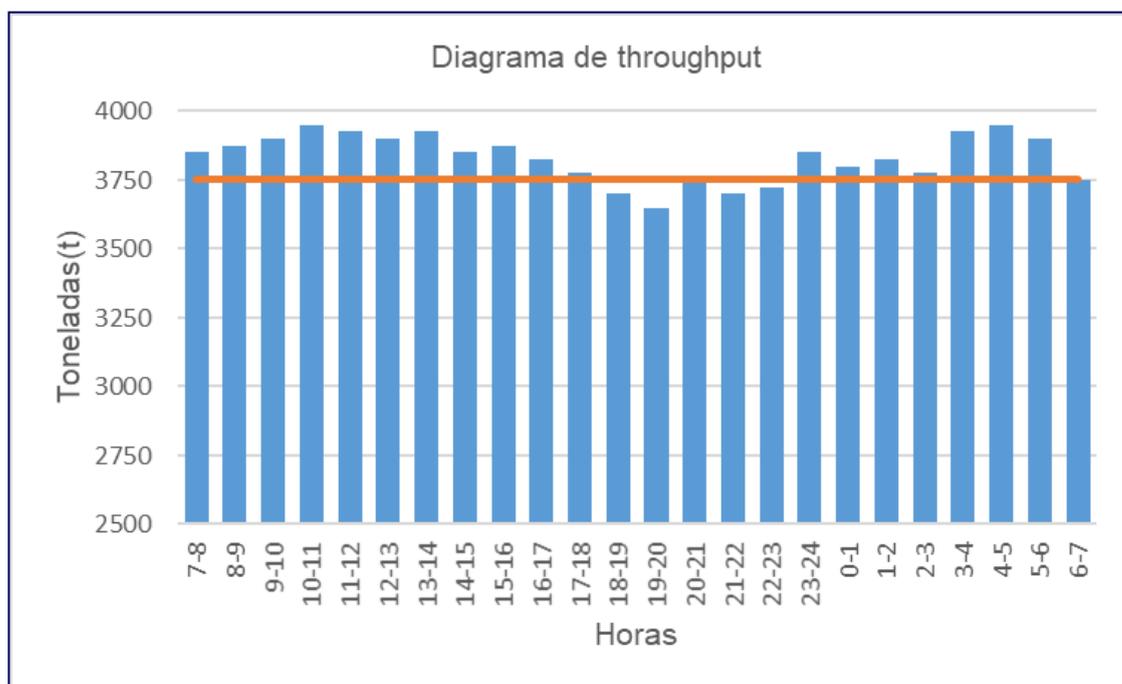


FIGURA 1 Diagrama de *throughput*

FUENTE: Reynaldi, G (2019) Optimización del throughput en la planta de procesos mediante el aumento de porcentaje de finos, aplicando cambios en las variables de perforación y voladura en una mina de Cuzco-Perú.

Las secuencias de minado deben contemplar también el problema de las restricciones de cada planta, es decir los tonelajes enviados a ambas plantas deben tener un contenido de contaminantes por debajo de lo permitido, estos son restricciones para el **blending**, uno de los principales contaminantes en el proceso de recuperación por flotación es la Pirita (FeS_2), así lo desarrolla J, Fora (2015) en la tesis **“Evaluación metalúrgica a nivel laboratorio del yacimiento tipo pórfido cobre-oro procedente de la región Pasco”**, así también es el caso de las arcillas como la Bentonita y el Caolín, estas resultan ser perjudiciales para la recuperación del cobre, así como se observa en la figura 2.

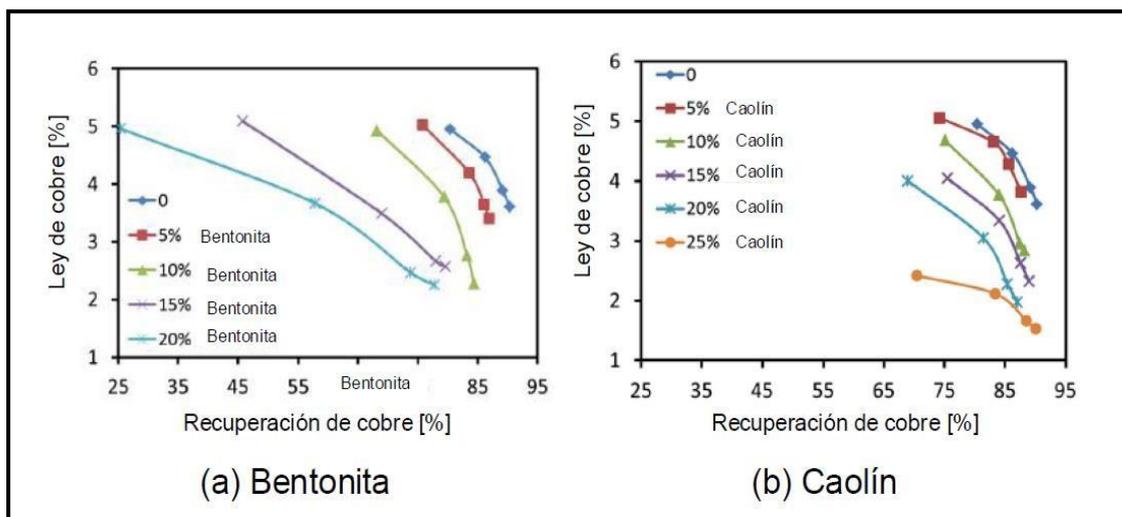


FIGURA 2 Efectos de la Bentonita y el Caolín en la recuperación y ley del concentrado de cobre.

FUENTE: Vilches, F. 2018 “Influencia de arcillas en la flotación de material calcopiritico, proveniente de Codelco división Andina”.

Adicionalmente, las secuencias de minado contemplan el problema de la variación de las leyes de mineral de mina y de los **stocks**, para asegurar así el cumplimiento de la ley mensual presentada en el plan **Forecast**, es así que los óxidos y sulfuros de cobre presentes en el tajo son clasificados según diferentes propiedades, como los son los rangos de leyes, su litología y mineralización como se detalla en la tabla 2 y en la tabla 3.

TABLA 2.: CLASIFICACIÓN DE MATERIAL DE STOCK CON TONELAJE Y LEY

STOCK 1				
CLASIFICACIÓN	RANGO	TONELAJE (t)	Ag (Oz)	Cu (%)
Desmante	0-4 oz	184,218	3.153	0.229
Ley baja	4-6 oz	328,511	4.731	0.192
Ley media	6-8 oz	60,327	6.521	0.254
Ley alta	> 8 oz	-	-	-

FUENTE: Cleque, M (2020) Optimización de la ley en el secuenciamiento de remanejo de stockpiles usando programación lineal entera mixta y visual Basic.

TABLA 3.: MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

STYPE	
0	Desmonte
1	(>0.15%≤0.35%) CuAs & C<0.6%, Oretype: 11,12,13, 14
1	(>0.15%≤0.35%) CuAs & C≥0.6, Oretype: 11,12,13, 14
2	(>0.35% ≤0.55%) CuAs & C≥0.6%, Oretype: 11,12,13,14
2	>0.55%CuAs & C≥0.6%, Oretype: 11,12,13,14
3	(>0.35% ≤0.55%) CuAs & C<0.6%, Oretype: 11,12,13,14
4	>0.55%CuAs & C<0.6%, Oretype: 11,12,13,14
5	(≥0.2% ≤0.8%) Cut, Oretype: 14
6	(>0.2%≤0.8%) Cut, Oretype: 31
6	(>0.2%≤0.8%) Cut, Oretype: 32
7	(>0.2%≤0.8%) Cut, Oretype: 33
7	(>0.2%≤0.8%) Cut, Oretype: 41
8	>0.8%Cut, Oretype: 14
9	>0.8%Cut, Oretype: 31
9	>0.8%Cut, Oretype: 32
10	>0.8%Cut, Oretype: 33
10	>0.8%Cut, Oretype: 41
11	(>0.2%≤0.8%) Cut, Oretype: 34
11	>0.8%Cut, Oretype: 34

FUENTE: Área de planeamiento Mina Justa (2020), "Reporte de reservas minerales-Mina Justa 2021_rev01"

Finalmente, los planes de minado contemplan el problema de maximizar el margen unitario, siendo este el resultado de la diferencia entre los ingresos y los costos por procesamiento, gastos generales y regalías como se indica en la siguiente ecuación

$$\text{Margen Unitario}(\$/t) = \text{Ingresos} - \text{Costo de Procesamiento} - \text{Gastos Generales y Administrativos} - \text{Regalías}$$

Con base en las situaciones descritas se formula la pregunta de investigación:

¿De qué manera afecta la variabilidad de las leyes en la producción mina al *throughput*, restricciones de los contaminantes y el margen unitario máximo de la planta de óxidos y la planta de sulfuros en la etapa del *ramp up*?

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1 Objetivo General

- Formular una alternativa de secuencia de minado y remanejo de stocks que cumpla con el **throughput**, restricciones de los contaminantes y el margen unitario máximo de la planta de sulfuros y la planta de óxidos en la etapa de **ramp up**.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Formular una alternativa de secuenciamiento de minado y remanejo de stocks que cumpla con el **throughput** y restricciones de la planta de óxidos y de sulfuros en la etapa de **ramp up**.
- Determinar el **blending** óptimo (tonelaje y ley) de mina y **stocks** para el cumplimiento del **throughput** de la planta de óxidos y la planta de sulfuros en la etapa de **ramp up**.

1.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Investigaciones Internacionales

Vargas, M (2011) en la tesis "**Modelo de planificación minera de corto y mediano plazo incorporando restricciones operacionales y de mezcla**",[14]; plantea un modelo de maximización del cobre fino, sujeto a restricciones operativas y de chancado, para las campañas de procesamiento de minerales de óxidos y de sulfuros utilizando grafos como datos; obteniendo como resultado un incremento del cobre fino y reducción en el remanejo de **stocks**.

Morales, C (2009) en la tesis **“Metodología de planificación de corto plazo integrando restricciones geometalurgicas”** [5]; desarrolla un modelo de programación matemática para soportar la planificación a corto plazo en una mina de tajo abierto, integrando mezclas de minerales con diferentes propiedades mineralógicas, obteniendo un modelo que considera la maximización de cobre fino sujeto a restricciones operacionales y restricciones geometalurgicas propias de la mezcla del mineral enviado a planta.

1.3.2 Investigaciones Nacionales

Cleque, M (2019), en la tesis **“Optimización de la ley en el secuenciamiento del remanejo de stock piles usando programación lineal entera mixta y Visual Basic”**, [1]; define como objetivo la optimización de la ley mediante secuenciamiento del remanejo de **stock piles** usando programación lineal entera, para esto utiliza el lenguaje de programación **Visual Basic**, este estudio concluyo que, la aplicación de la programación lineal permite obtener mejoras en el proceso de planeamiento de corto y mediano plazo; tanto en lo que se refiere a la recuperación de cobre fino como a la reducción de remanejo de **stocks**.

En la tesis **“Secuenciamiento óptimo de minado para aumentar el VAN en compañía minera Brexia Goldplata Perú S.A.C”**, [8]; Rojas.J(2019); propone que, para cumplir con el **throughput** de chancado, teniendo en cuenta las restricciones operativas y parámetros económicos desarrolla la secuencia de minado en las zonas con mejores leyes para generar una mayor rentabilidad, cumpliendo a su vez con los objetivos de producción.

La elección de un óptimo secuenciamiento de minado simulado con programas especializados y sus herramientas de planificación, garantizan el **throughput** con

una ley adecuada dentro de los márgenes requeridos por planta e incrementan la recuperación de cobre fino, así lo establece Tello.S (2017) en la tesis **“Optimización del secuenciamiento del plan de minado a corto plazo con el software Minesight en el tajo ferrobamba, Las Bambas-Apurímac 2017”**,[9]; concluyendo que se desarrollan diferentes alternativas de corte de minado para cada equipo teniendo como resultado inmediato el tonelaje y las leyes de cobre para obtener el **throughput** requerido por chancado.

Finalmente, en la unidad minera Laguna Norte en el trabajo de Valdez F. (2011) **“Programación Lineal en Gestión de Operaciones”**,[12]; se utiliza la programación lineal como modelo matemático para optimizar la mezcla de mineral, teniendo como resultado maximizar la recuperación de las onzas puestas en el **pad** de lixiviación de la unidad minera.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Geología y Mineralización

Esta investigación se desarrolla en un yacimiento de cobre tipo IOCG (*Iron oxide-copper-gold*), estos tienen en su mayoría grandes concentraciones de minerales de cobre y de oro y comparten un origen genético en común con ensambles de óxido de hierro como ganga.

Lazo, C (2019) en la *tesis “Análisis del método de muestreo de detritos de los taladros para la voladura y control de envío de mineral en la Mina Justa, San Juan de Marcona -Nasca-Ica”*,[4]; desarrolla como estos cuerpos de mineral se presentan en forma de láminas de brecha similares a conos, como mantos dentro de los márgenes graníticos, o brechas largas como cintas.

Morales, H (2017), en la tesis *“Estudio de la paragénesis y química mineral en magnetitas del depósito tipo IOCG dominga, IV región, Chile”*,[6]; identifica que la mena predominante es la magnetita como se indica en la figura 3, esta se presenta como diseminaciones, vetillas, matriz de brechas hidrotermales y rocas de hierro bandeado.

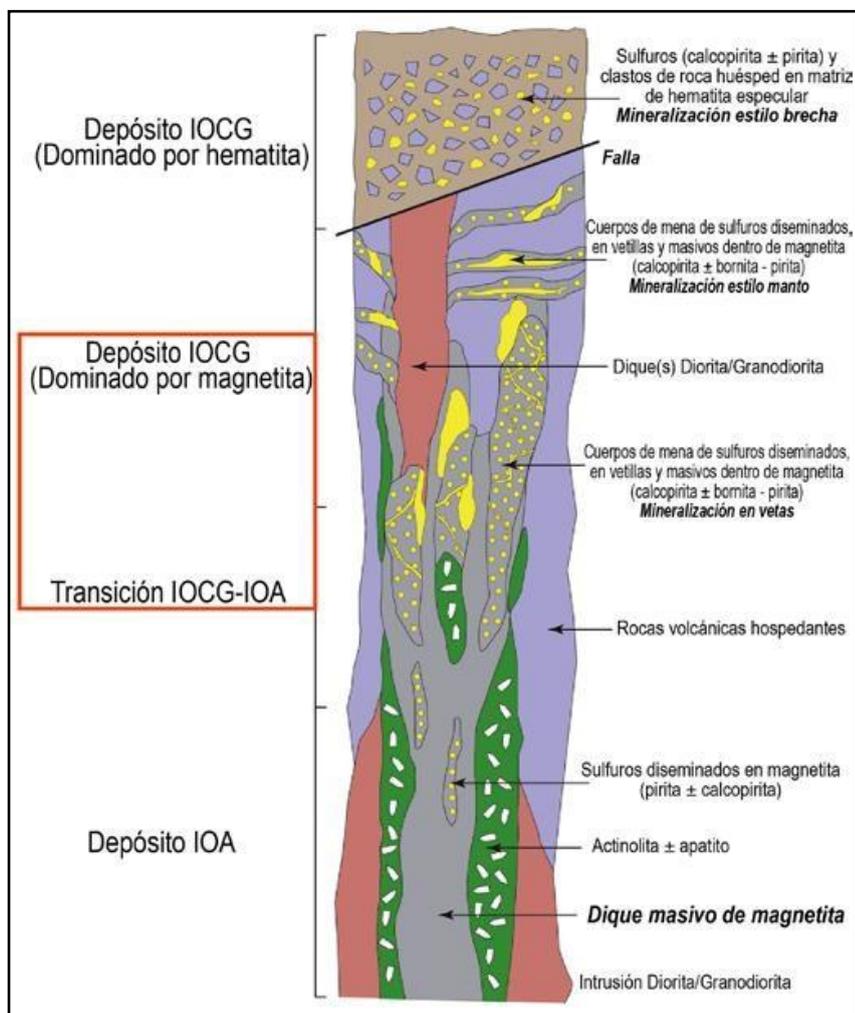


FIGURA 3 Modelo de zonación vertical para depósitos tipo IOCG
FUENTE: Morales. H (2017). "Estudio de la paragénesis y química mineral en magnetitas del depósito tipo IOCG dominga, IV región, Chile"

En la costa norte del Perú se tiene un sistema IOCG, asociado a la cuenca de Huarmey (ver figura 4), en esta zona la mineralización de cobre se presenta calcopirita, Bornita y minerales secundarios, también se encuentran Hematita, Molibdenita y Actinolita, así lo indica Reyes, J (2019) en su investigación ***"Potencial de mineralización de Cu, Au tipo IOCG en la costa norte del Perú paralelo 9°-12°"***, [7]; presentada en el PRO-EXPLO2019.



FIGURA 4. Ocurrencia de mineralización tipo IOCG en la costa norte.
FUENTE: Reyes, J (2019) "Potencial de mineralización de Cu, Au tipo IOCG en la costa norte del Perú paralelo 9°-12°"

Así mismo Lazo (2019) en la **tesis "Análisis del método de muestreo de detritos de los taladros para la voladura y control de envío de mineral en la Mina Justa, San Juan de Marcona -Nasca-Ica", [4]**; indica que en la zona sur del Perú los depósitos IOCG presentan minerales como Calcopirita, Sulfuro de cobre y hierro y pirita de ganga.

2.1.2 Horizontes del planeamiento de minado

- **Planeamiento a largo plazo**

Trillo. (2011) en la tesis **"Planificación Minera a Largo Plazo en Xtrata-Tintaya. Lima: Xtrata Copper", [10]**; se refiere al planeamiento a largo plazo como es una planificación conceptual que establece la estrategia global de la empresa, para un horizonte superior a los cinco años (plan *forecast*) y que va hasta el término del yacimiento (plan LOM). Es el primer horizonte de la

planificación minera y es guía para posteriores horizontes como el mediano plazo y corto plazo.

- **Planeamiento a mediano plazo**

Abarca un horizonte de tiempo trimestral y anual, permite asegurar el presupuesto de operaciones y retroalimentar la planificación de largo plazo.

- **Planeamiento a corto plazo**

Se encarga de los planes diarios, semanales y mensuales por lo que el nivel de detalle es mayor a los anteriores horizontes, Valencia, R (2019) en la tesis *“Planeamiento de minado a corto plazo del mes de abril de 2013 en la unidad minera ARASI.SAC. proyecto Jesica, ubicado en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa en el departamento de Puno”*, [13]; consigna que el planeamiento a corto plazo está fuertemente condicionado por la realidad de la operación minera, y corresponde a un detalle de todas las actividades que se desarrollan en esta.

2.1.3 Secuencia de minado y plan de producción

- **Cortes de minado**

Los cortes de minado pueden ser polígonos en 2D o sólidos en 3D (ver figura 5), estos representan el avance de los equipos de carguío (pala hidráulica, pala eléctrica, cargador frontal) en cada frente de minado, las dimensiones de estos cortes varían según las dimensiones del equipo al que representan.

Los cortes de minado contienen información como leyes, densidades, tonelaje y tipo de material, estos datos son de gran importancia para la elaboración de los

planes de minado.

Villacorta.H (2019); en la tesis **“Planeamiento de minado corto plazo de la unidad minera TAHOE PERU-LA ARENA-TRUJILLO” [15]**; recomienda que para la elaboración de los cortes de minado se debe tener en cuenta el modelo de bloques actualizado y direccionar el minado al cumplimiento del **throughput** de planta.

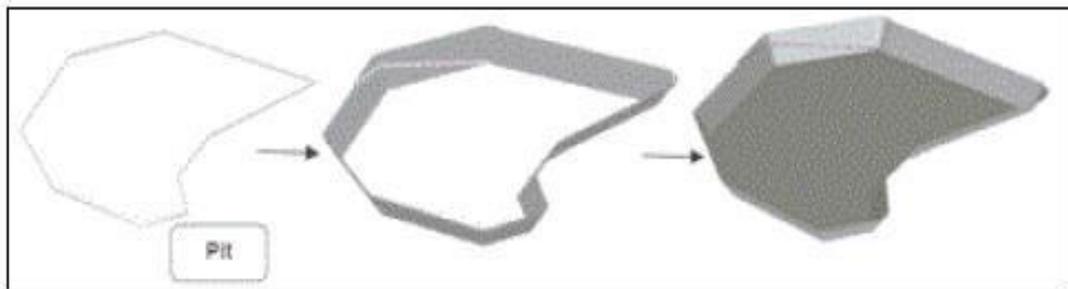


FIGURA 5. Cortes de minado en 2D y 3D.

FUENTE: Tello, S (2017). “Optimización del secuenciamiento de minado a corto plazo con el software Minesight en el tajo Ferrobamba, Las Bambas-Apurímac 2017”

- **Secuencia de cortes de minado**

Es el conjunto de cortes de minado de todos los equipos de carguío en un determinado intervalo de tiempo, en el corto plazo estos intervalos pueden ser diarios, semanales o mensuales (ver figura 6)

En la tesis **“Optimización del secuenciamiento de minado a corto plazo con el software Minesight en el tajo Ferrobamba, Las Bambas-Apurímac 2017”, [9]**; de Tello, S (2017) se desarrolla que para la elaboración del secuenciamiento de minado se toma en cuenta información como la disponibilidad, utilización asignada de los equipos de carguío, los mantenimientos de las plantas de óxidos y de sulfuros, además de las restricciones geotécnicas que se presentan en la unidad minera.

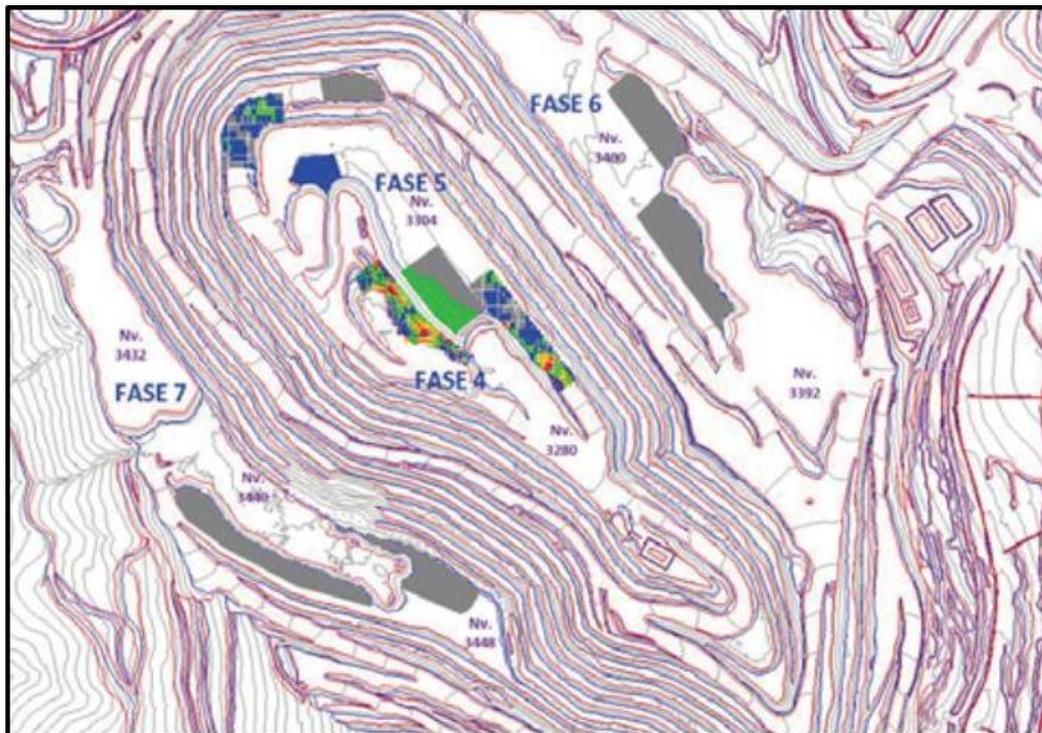


FIGURA 6: Secuencia de cortes de minado-Plan semanal
FUENTE: Villacorta, H (2019). "Planeamiento de minado corto plazo de la unidad minera TAHOE PERU-LA ARENA-TRUJILLO"

- **Plan de producción**

Es el detalle de la producción que se realizara a futuro en un periodo de tiempo determinado, este plan de producción es obtenido interpretando el plan anual de minado (**Forecast**) previamente aprobado por la compañía minera, muestra por lo general el resumen de la cantidad de material minado y movido como se muestra en la tabla 4, así como la ley de cabeza del mineral enviado a ambas plantas detallado por meses como se muestra en la tabla 5.

TABLA 4.: PLAN DE PRODUCCIÓN MINA JUSTA FORECAST Q1_2021

		FORECAST Q1 2021								
MES		ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Óxido Minado	Kt	1,356	900	1,093	1,180	793	532	1,013	1,161	1,005
Sulfuro Minado	Kt	871	908	1,166	1,337	1,793	1,733	965	495	695
Desmante	Kt	4,771	5,527	5,156	4,629	4,382	4,670	5,665	5,062	5,026
Total Minado	Kt	6,998	7,335	7,415	7,146	6,968	6,934	7,644	6,718	6,726
Remanejo Ox	Kt	163	255	426	304	403	475	374	639	505
Remanejo Sulf	Kt	325	554	607	720	757	737	751	715	795
Total Movido	Kt	7,487	8,145	8,447	8,170	8,128	8,146	8,769	8,072	8,026

FUENTE: Área de planeamiento Largo Plazo, "Plan de producción Forecast Q1_2021"

TABLA 5.: ALIMENTACIÓN PLANTA DE SULFUROS Y DE ÓXIDOS FORECAST Q1_2021

		FORECAST Q1 2021								
MES		ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PLANTA DE SULFUROS	Alimentación Kt	288	326	375	424	445	461	470	487	497
	CuT%	1.74	1.61	1.59	1.55	2.44	2.47	2.44	2.41	2.41
	Recuperación%	82.1	89.2	89.2	89.5	91.5	91.4	92.4	93.4	93.2
	Cu Recuperable t	4,114	4,682	5,319	5,882	9,935	10,407	10,596	10,962	11,163
PLANTA DE ÓXIDOS	Alimentación Kt	238	567	655	772	836	872.8	921.4	952	1,003
	CuAs%	0.69	0.49	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54
	Recuperación%	89.5	89.5	89.9	91.1	90.8	89.62	89.96	90.05	90.23
	Cu Recuperable t	1,469	2,468	3,238	3,864	4,172	4,302	4,559	4,715	4,858

FUENTE: Área de planeamiento Largo Plazo, "Plan de producción Forecast Q1_2021"

2.1.4 Programación Lineal-Método Simplex

En la tesis "*Modelo matemático para optimizar la carga metálica en un horno de fusión para la elaboración de fundiciones grises por el método de programación lineal-método simplex*", [2]; de Collado, E (2017) se define la programación lineal como un modelo matemático para resolver problemas de

optimización, estos con una combinación adecuada de variables pueden producir un resultado máximo o mínimo, permitiendo una mejor toma de decisiones.

El método **simplex** fue desarrollado por George Dantzig en 1947, este método permite resolver problemas en los cuales intervienen tres o más variables; se ha comprobado su extraordinaria eficiencia, y se usa en forma rutinaria para resolver problemas grandes en las computadoras de hoy en día, para el caso de esta investigación se utilizó el software **SOLVER** que es un complemento de Microsoft Excel el cual utiliza los valores de un grupo de celdas en las cuales están detalladas las restricciones y el sistema de ecuaciones necesarias, devolviendo como resultado en otra celda el valor óptimo de la función objetivo.

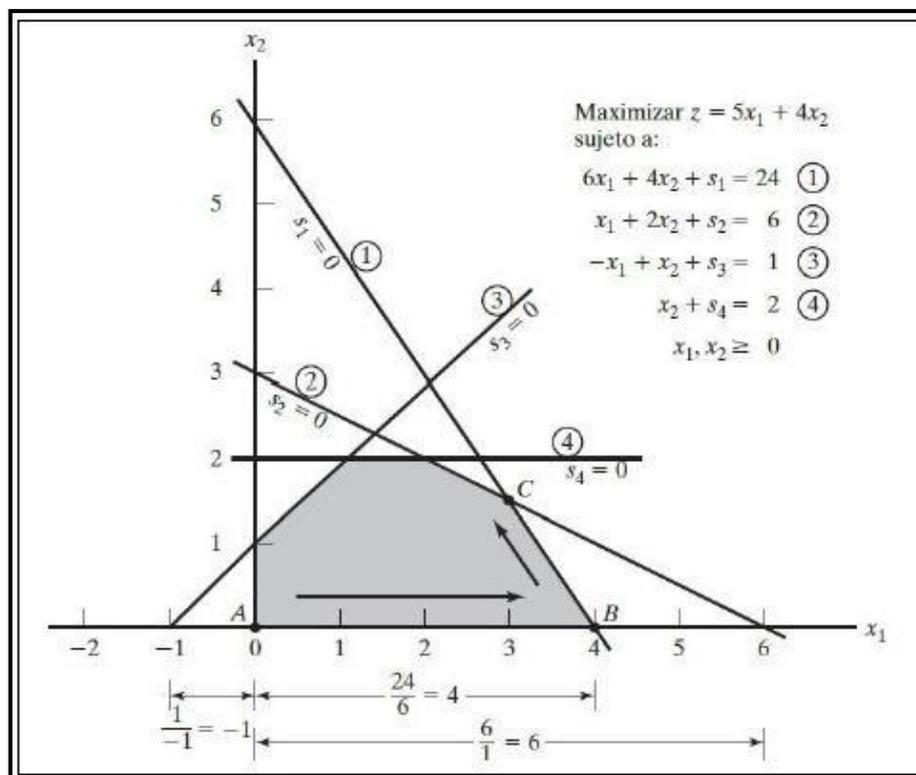


FIGURA 7: Interpretación gráfica del método simplex

FUENTE: Cleque, H (2017) "Optimización de la ley en el secuenciamiento del remanejo de stock piles usando programación lineal entera mixta y Visual Basic"

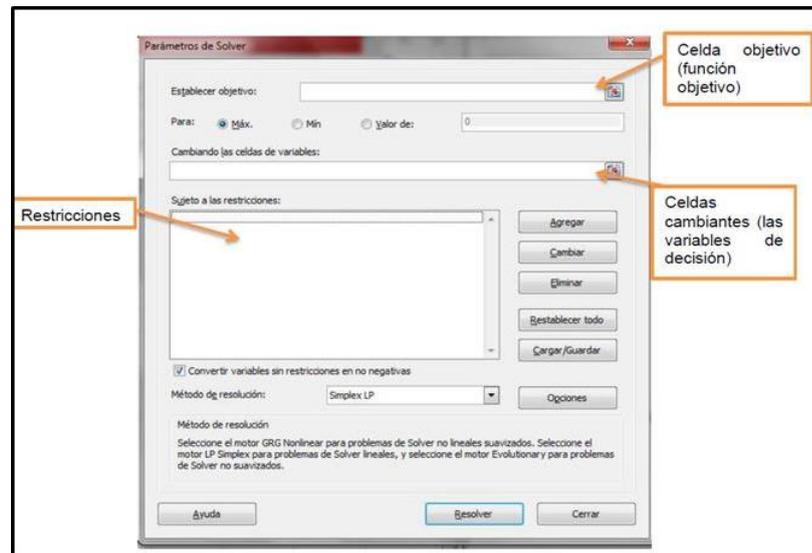


FIGURA 8 Cuadro de dialogo SOLVER

FUENTE: Cleque, H (2017) "Optimización de la ley en el secuenciamiento del remanejo de stock piles usando programación lineal entera mixta y Visual Basic"

El **SOLVER** necesita de una función objetivo, restricciones y las celdas cambiantes, estos valores pueden ser insertados mediante un cuadro de dialogo como se muestra en la figura 7, además se puede usar las funciones **SOLVER** mediante código VBA como se muestra en la figura 8.

```
'Solver:

SolverReset
SolverOk SetCell:=Texto1, MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:= _
  Texto2, Engine:=1, EngineDesc:= _
  "GRG Nonlinear"

SolverAdd CellRef:=Texto3, Relation:=1, FormulaText:=Texto4
SolverOk SetCell:=Texto1, MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:= _
  Texto2, Engine:=1, EngineDesc:= _
  "GRG Nonlinear"

'Bene:
If Cells(2, 9) = "SI" Then
  SolverAdd CellRef:=Texto30, Relation:=1, FormulaText:=Texto31 'Max
  SolverOk SetCell:=Texto1, MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:= _
    Texto2, Engine:=1, EngineDesc:= _
    "GRG Nonlinear"

  SolverAdd CellRef:=Texto30, Relation:=3, FormulaText:=Texto32 'Min
  SolverOk SetCell:=Texto1, MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:= _
    Texto2, Engine:=1, EngineDesc:= _
    "GRG Nonlinear"
End If
```

FIGURA 9 Código VBA de funciones SOLVER

FUENTE: Área de planeamiento Corto plazo, "Reporte de plan semanal"

2.1.5 Margen Económico Unitario

Este se refiere al margen económico obtenido por cada unidad de elemento de interés extraída, en la empresa Marcobre. Sac este margen unitario es representado es utilizado como **cut off** interno y se calcula según la siguiente ecuación.

$$\text{Margen Unitario}(\$/\text{t}) = \text{Ingresos} - \text{Costo de Procesamiento} - \text{Gastos Generales y Administrativos} - \text{Regalías}$$

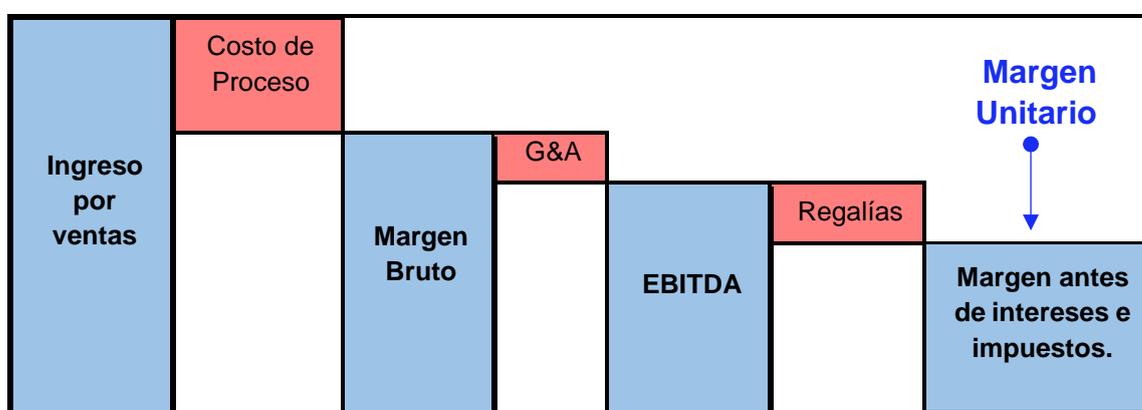


FIGURA 10 Diagrama de cálculo del Margen unitario.

FUENTE: “Análisis del cálculo del margen unitario”, Área de planeamiento largo plazo-Mina Justa (2020)

Se incluyen todos los costos de procesamiento y venta del producto final, incluidas las regalías además de los gastos generales. Para esta investigación los costos de minado se excluyen del cálculo de la ganancia marginal porque son costos irre recuperables (costos hundidos) y no deben incluirse al seleccionar el destino más rentable, el *script* de **Python 2.7**, así como los valores inputs usados para el cálculo del margen unitario se detallan en el anexo 07.

2.1.6 Blending

El **blending** es la mezcla de mineral en cantidades predeterminadas y controladas

para obtener un producto uniforme, que tenga los requerimientos necesarios de ley y a su vez cumpla con las restricciones impuestas por las plantas.

Por lo general estas restricciones y requerimientos en el corto plazo, no son contempladas por herramientas automatizadas en los diferentes **softwares** de planeamiento minero, por lo que el expertise del ingeniero a cargo es de gran importancia como lo menciona Valencia, R. (2019) en la **tesis “Planeamiento de minado a corto plazo del mes de abril de 2013 en la unidad minera ARASI.SAC. proyecto Jesica, ubicado en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa en el departamento de Puno”, [13].**

Es por eso que, para este fin se revisan continuamente los planes de producción haciendo las correcciones y ajustes necesarios, además para un efectivo control y administración, el balance de la calidad y estabilidad de la mezcla, esta debe llevarse a cabo de forma técnica y con la mejor tecnología disponible, como indica Flores, C (2019) en la tesis **“Mejora del grado de extracción de Oro de un mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco en Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. La libertad-2019” [3].**

2.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Lixiviación**

Es el proceso hidrometalúrgico más utilizado para la recuperación de cobre desde minerales oxidados, se utiliza ácido sulfúrico H_2SO_4 , en el caso particular de Mina Justa este proceso se realiza en bateas de concreto revestido con materiales resistente a los ácidos.

- **Requerimiento**

Hace referencia al tonelaje que una planta de beneficio necesita para funcionar

en condiciones normales y sin interrupciones durante un intervalo de tiempo, este valor puede ser expresado en t/h o t/día, conocer este valor permite orientar el plan de minado para su cumplimiento.

- **Mezcla**

El **blending** es la mezcla de mineral con diferentes orígenes (mina o **stocks**) y con diferentes propiedades en cantidades predeterminadas y controladas para obtener un producto uniforme, que cumpla los requerimientos necesarios de ley y a su vez cumpla con las restricciones impuestas por las plantas.

CAPÍTULO III

HIPOTESIS Y OPERACIONALIDAD DE VARIABLES

3.1 HIPÓTESIS GENERAL

Formular una correcta secuencia de minado y remanejo de **stocks** generara una adecuada ley en el **blending** enviado a las plantas de sulfuros y de óxidos, además brindara un mayor margen unitario.

3.1.1 Hipótesis específicas

- Una adecuada selección de secuencia de minado y remanejo de stocks cumple con el **throughput** de la planta de óxidos y la planta de sulfuros.
- La determinación **blending** óptimo es el resultado de una estimación matemática que permite cumplir con los requerimientos y restricciones de las plantas y maximizar el margen unitario.

3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable dependiente (VD): Tratamiento de óxidos y de sulfuros en una mina de cobre a tajo abierto.

Variable independiente (VI): Adecuada secuencia de minado y remanejo de **stocks**.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se detalla el tipo de investigación el trabajo de suficiencia:

- **Según su enfoque**

Desde el punto de vista del enfoque, esta investigación es cuantitativa, y la percepción de la realidad es objetiva, esta investigación está sustentada en teorías como la Programación Lineal y en investigaciones importantes en el ámbito académico, el razonamiento de investigación es deductivo porque la hipótesis es contrastada con la realidad, tiene una finalidad de comprobación y está orientada a los resultados.

- **Según su alcance**

Desde el punto de vista del alcance, la presente investigación es correlacional pues explica como el valor de la variable dependiente en este caso el *blending* del mineral enviado a planta varía en función a la variable independiente, el secuenciamiento de minado.

- **Diseño de investigación**

En cuanto al diseño de la investigación es experimental pues se desarrollan una serie de escenarios en un modelo de planificación a corto plazo utilizando la variable independiente como *input*.

4.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

El caso de estudio para esta investigación es la unidad minera Mina Justa de la empresa Marcobre S.A.C. esta es a su vez operadora del proyecto, ubicada en el distrito de San Juan de Marcona en la provincia de Nazca del departamento de Ica.

Es una operación a tajo abierto que procesa dos tipos de mineral (óxidos y sulfuros) en procesos separados, una planta de lixiviación en bateas para procesar el mineral óxido y una planta para los minerales de sulfuro usando métodos de flotación y concentración. Al 31 de mayo de 2020 Mina Justa tenía 85% de avance en la construcción. A fines del 2018 se iniciaron los trabajos de *pre-stripping* o desbroce del tajo Principal de la mina y durante los años de 2019 y 2020 se continuaron las actividades de minado obteniendo desmonte y mineral oxidado que fue depositado en diferentes *stocks piles*.

Durante el año de 2017 se hizo una campaña de análisis de pulpas (*infill*) para Carbono (C) para mejorar la estimación de ese elemento químico. En esa actualización de Recursos Minerales se ha incorporado los resultados de esta campaña y reestimado este elemento químico.

Las reservas de la Mina Justa a junio del 2020, se detallan en la Tabla 6 donde se puede observar las reservas probadas, probables y probadas + probables.

TABLA 6.: RESERVAS ESTIMADAS EN MINA JUSTA

Categoría de Reserva	Mineral		Ley				Metal contenido		
	Tipo	Mt	%CuT	%CuS	g/t Ag	g/t Au	Mlb CuT	MOz Ag	KOz Au
Reservas Probadas									
	Óxido	134.8	0.52	0.43			1538.0		
	Sulfuro	75.8	1.13		10.95	0.03	1886.0	26.7	84.5
Total de reservas Probadas		210.6	0.74				3424.0	26.7	84.5
Reservas Probables									
	Óxido	42	0.46	0.36			422		
	Sulfuro	21.1	0.55		4.08	0.03	256	2.8	21.1
Total de reservas Probables		63.1	0.49				678	2.8	21.1
Total de reservas (Probada y Probable)									
	Óxido	176.8	0.50	0.42			1960		
	Sulfuro	97	1.00		9.46	0.03	2142	29.5	105.6
Gran total		273.8	0.68	0.27	3.35	0.03	4,102	29.48	105.6

FUENTE: "Reporte de reservas minerales-Mina Justa 2020_rev01", Área de planeamiento Mina-Mina Justa (2020)

4.2.1 Descripción del proyecto y localización

Mina Justa se encuentra ubicada en el departamento de Ica, provincia de Nazca, distrito de San Juan de Marcona, a 450 km al Sur de Lima. Localmente se ubica a 23 km al noroeste de la ciudad de San Juan de Marcona y a 50 km al sur de la ciudad de Nazca, los centros poblados más cercano al área del proyecto (ver figura 7).

Geográficamente, se encuentra ubicado en la franja costera del Sur del Perú, en la unidad geomorfológica cordillera de la costa. La ubicación del proyecto está delimitada por las Coordenadas UTM de la tabla 7.

TABLA 7.: COORDENADAS LÍMITES DE LA UNIDAD MINERA

	Este	Norte
1	488000	8328000
2	495000	8328000
3	495000	8322500
4	488000	8322500

FUENTE: “Reporte de reservas minerales-Mina Justa 2020_rev01”,
Área de planeamiento Mina-Mina Justa (2020)”



Figura 11.: Ubicación de Mina Justa

FUENTE: “Reporte de reservas minerales-Mina Justa 2020_rev01”,
Área de planeamiento Mina-Mina Justa (2020)”

4.2.2 Geología regional

El proyecto Mina Justa está ubicado en el Cinturón Costero del Perú, un cinturón lineal de tendencia noroeste paralelo a la zona de subducción donde la Placa de Nazca subduce debajo de la Placa Sudamericana, formando un margen continental activo.

La geología del distrito comprende el basamento precámbrico superpuesto de forma irregular por rocas sedimentarias neoproterozoicas y fanerozoicas. Las rocas de composición monzogranítica, granodiorítica y gabro-diorítica del batolito de San Nicolás (aproximadamente 425 Ma) intruyen a las rocas pre-cámbricas y paleozoicas.

Las rocas pre-cámbricas y paleozoicas están superpuestas por una serie de secuencias volcano-sedimentarias que varían en edad desde el Triásico tardío hasta el Holoceno. Las secuencias de rocas volcano-sedimentarias están intruídas por diques de andesita porfírica de edad Cretácica (andesita Tunga, también denominada "ocoita").

En las partes orientales del distrito, el batolito de la costa (aproximadamente 109 Ma) intruye las rocas paleozoicas y mesozoicas existentes. Los sedimentos marinos de aguas poco profundas de la era terciaria y los depósitos de terrazas marinas de la era cuaternaria se superponen de manera inconforme a la sucesión del arco volcán-plutónico. La figura 12 presenta el mapa geológico regional simplificado.

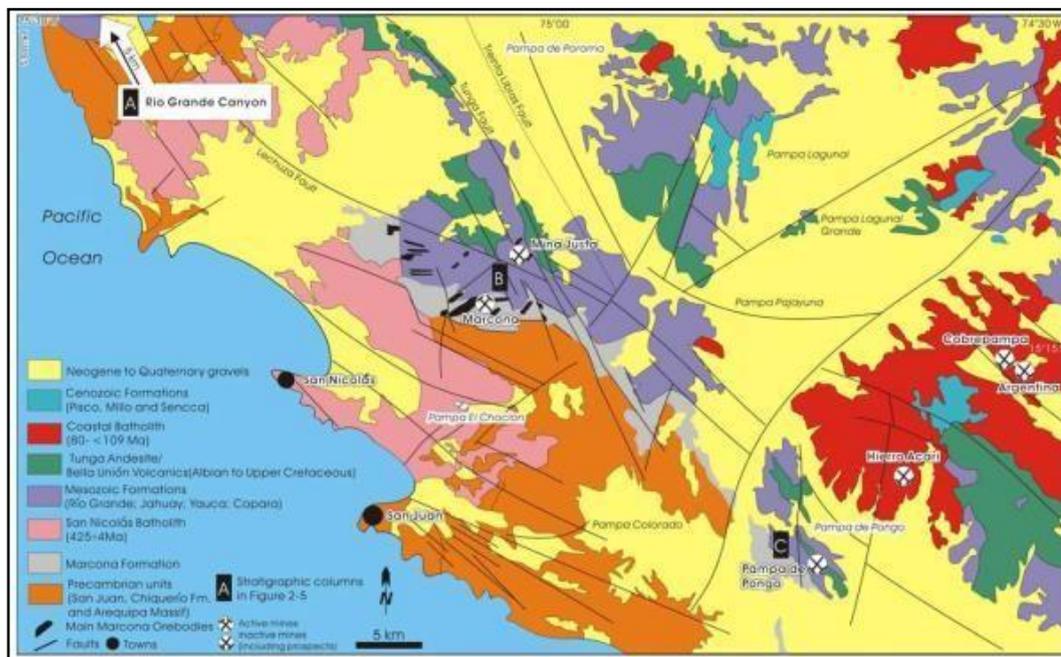


FIGURA 12 mapa geológico regional.

FUENTE: “Reporte de reservas minerales-Mina Justa 2020_rev01”,
Área de planeamiento Mina-Mina Justa (2020)

4.2.3 Geología local

El proyecto Mina Justa comprende dos depósitos, Mina Justa y Manto Magnetita, que están alojados en la Formación Rio Grande (Jurásica superior). La formación Rio Grande localmente está compuesta por lavas andesíticas y piroclásticos, intercalados con areniscas-arcosas y limolitas (unidad volcano-sedimentarias). Este paquete volcánico-sedimentario muestra un historial prolongado de deformación y alteración, con varios eventos de fallas y cizalladuras afectados por cambios en el régimen de tensión de la zona de subducción cercana.

En gran parte de los sulfuros y algunos lentes en los óxidos, han sido sometidas a una intensa alteración hidrotermal, principalmente de óxidos de hierro, actinolita, clorita, albita secundaria, K-feldespato, apatito, escapolita y calcita. Las litologías con alteración intensa han sido agrupadas bajo el termino de “Unidad Hidrotermal”.

Una de las últimas etapas de deformación es la falla normal del bloque a lo largo de las estructuras de tendencia noroeste que están estrechamente asociadas con el emplazamiento tardío de diques de ocoitas. El trabajo realizado por Chen (2008) sugiere que la mineralización de Mina Justa es significativamente más joven (aproximadamente 104 Ma a 95 Ma) que, y geoquímicamente distinta de, los depósitos vecinos de hierro de Marcona (aproximadamente 162 Ma a 156 Ma). Estudios recientes de la geoquímica de la magnetita indican un origen magmático para la alteración de hierro encontrada en Mina Justa.

En base a la abundancia de óxidos de hierro (magnetita, mushketovita y especularita), el conjunto de alteración asociado, particularmente actinolita, apatita y escapolita; y la abundancia subsidiaria de cuarzo, la mineralización en Mina Justa se clasifica como óxido de hierro-cobre-oro (IOCG por las siglas en inglés).

Mina Justa es única en el sentido de que la concentración de oro es menor y de la plata es más alto; en comparación con los depósitos típicos de IOCG. Se proporciona una vista en planta de la geología de Mina Justa en la Figura 14 y secciones (A'-A' y B'-B' respectivamente) en la Figura 13.

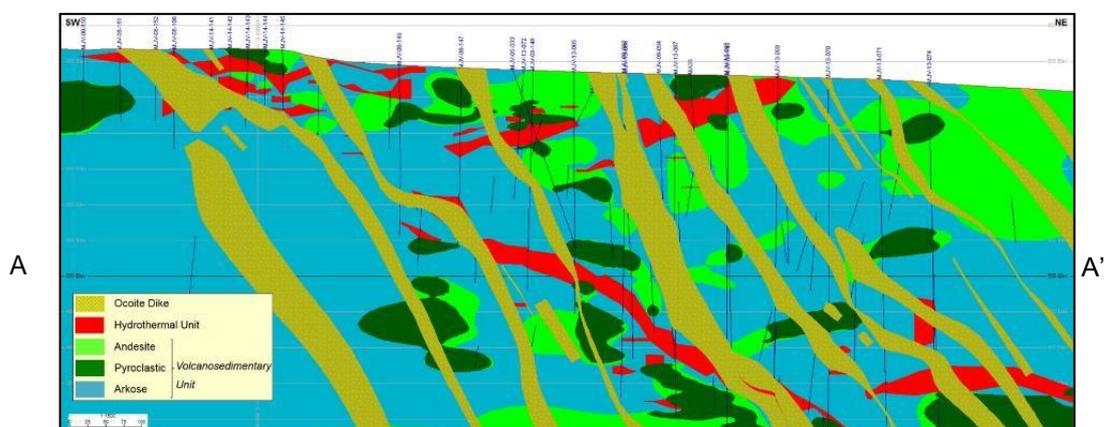


FIGURA 13. sección transversal (arriba) y sección longitudinal (abajo).

FUENTE: "Reporte de reservas minerales-Mina Justa 2020_rev01",
Área de planeamiento Mina-Mina Justa (2020)

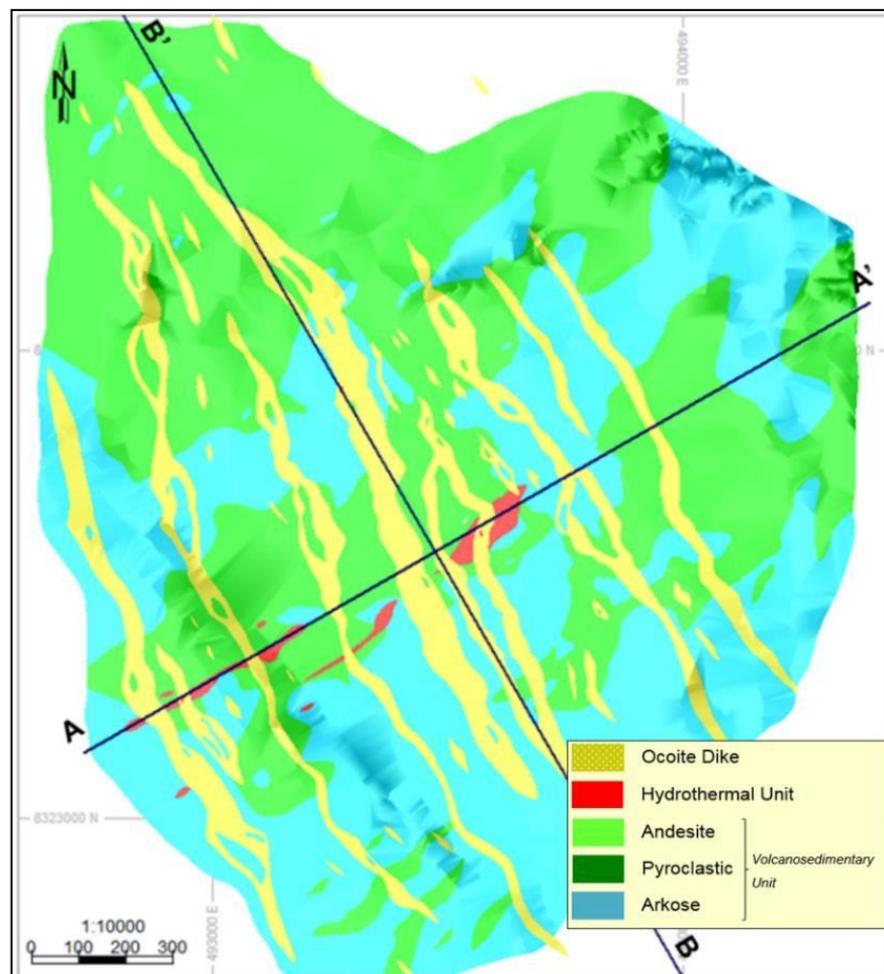


FIGURA 14 Mapa geológico local de Mina Justa.
FUENTE: “Reporte de reservas minerales-Mina Justa 2020_rev01”,
 Área de planeamiento Mina-Mina Justa (2020)

4.2.4 Operaciones Unitarias

- **Perforación**

En Mina justa esta operación unitaria se ejecuta con cinco perforadoras *Pit viper* 271 con brocas de 9 7/8” para proyectos *trim*, brocas de 10 5/8” para proyectos de producción y dos perforadoras Roc L8 para los proyectos de precorte.



FIGURA 15 Perforadora Pit Viper.

FUENTE: “Reporte de reservas minerales-Mina Justa 2020_rev01”,
Área de planeamiento Mina-Mina Justa (2020)

- **Voladura**

Los proyectos de voladura se dividen en:

- **Proyectos de Producción:** Estos proyectos son de gran tonelaje, esto para tener un mayor stock de material volado.
- **Proyectos *Trim*:** Son proyectos para proteger los taludes, estos están formados por 4 filas, ubicados en zonas adyacentes a la pared del talud.
- **Proyectos de Precorte:** Estos proyectos se ejecutan para dejar una pared del talud estable y segura que permita laborar en los niveles inferiores con seguridad.

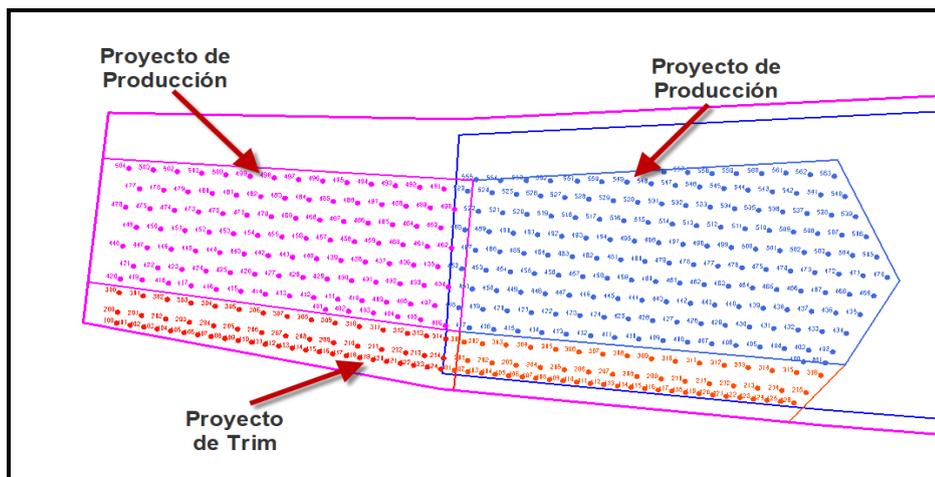


FIGURA 16.: Proyectos de trim y producción.
FUENTE: "Plan semanal de perforación Mina Justa"

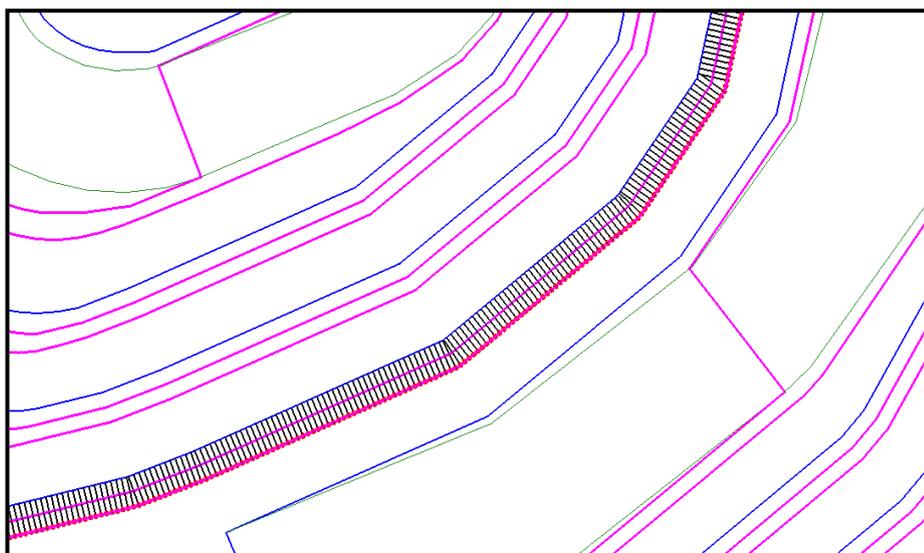


FIGURA 17 Proyecto de precorte.
FUENTE: "Plan semanal de perforación Mina Justa"

- **Carguío**

La operación unitaria de carguío en Mina Justa se desarrolla con tres palas hidráulicas HITACHI EX5600 y dos cargadores frontales CAT 994, los cuales de distribuyen en las fases de minado según el plan.

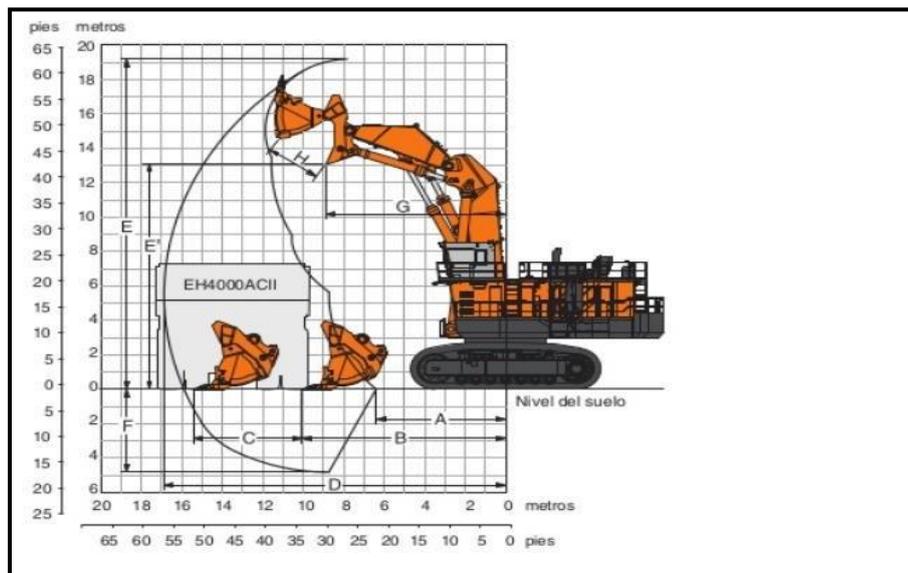


FIGURA 18 Especificaciones técnicas EX5600
FUENTE: “Manual de especificaciones técnicas”, HITACHI



FIGURA 19 Cargador Frontal 994K
FUENTE: “Reporte Semanal de Operaciones _Mina Justa”

- **Acarreo**

Para esta operación unitaria se utilizan 26 camiones CAT 793 los cuales tienen un **payload** de 230 Toneladas, las vías de acarreo fueron diseñadas de acuerdo a las dimensiones de estos, como se aprecia en la figura XX.

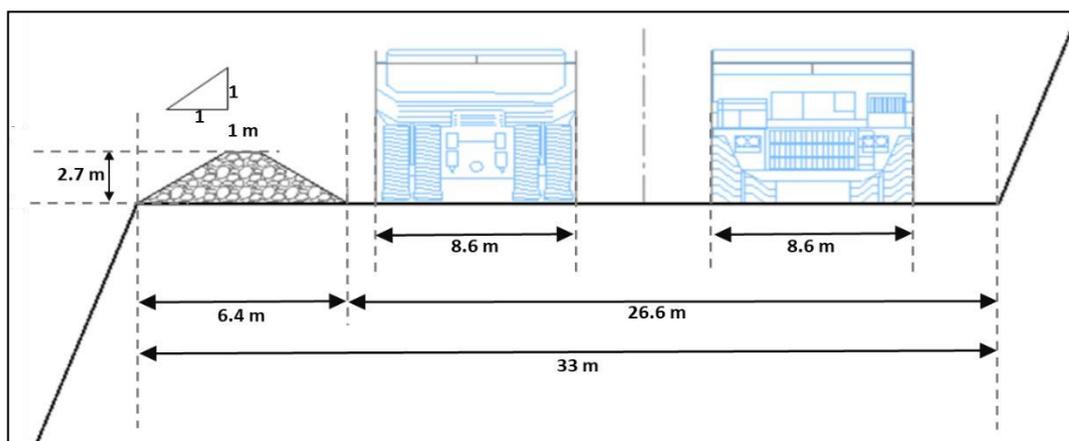


FIGURA 20 Sección transversal de una vía de acarreo de doble vía.
FUENTE: "Reporte de reservas minerales-Mina Justa 2020_rev01",
 Área de planeamiento Mina-Mina Justa (2020)

4.2.5 Clasificación de materiales

Una de las variables utilizadas para la clasificación de materiales en Mina Justa es el **ORETYPE**, esta asigna a cada bloque sus características mineralógicas y destino de descarga correspondiente.

TABLA 8.: CLASIFICACIÓN DE MATERIALES EN MINA JUSTA

Material	Descripción	Ore Types
OXI1	(0.15%-0.35%) CuAs & C<0.6%	11 12 13 14
OXI2	(0.35%-0.55%) CuAs & C>0.6%	
OXI3	(0.35%-0.55%) CuAs & C>0.6%	
OXI4	>0.55% CuAs & C<0.6%	
SUL5	(0.2%-0.8%) CuT	14
SUL8	>0.8% CuT	
SUL6	(0.2%-0.8%) CuT	31 & 32
SUL9	(0.8%-3.0%) CuT	
SUL7	(0.2%-0.8%) CuT	33 & 41
SUL10	>0.8% CuT	

FUENTE: "Elaboración propia"

4.3 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: "Determinación de la secuencia de minado y remanejo de stocks para el tratamiento de óxidos y de sulfuros en una mina de cobre a tajo abierto"

TABLA 9.: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTES	
<ol style="list-style-type: none"> ¿De qué manera afecta la variabilidad de las leyes en la producción mina al throughput, restricciones de los contaminantes y el margen unitario máximo de la planta de óxidos y la planta de sulfuros en la etapa del ramp up? ¿De qué manera afecta, la secuencia de minado en el cumplimiento del throughput de las plantas de sulfuros y planta de óxidos en una mina de cobre a tajo abierto? ¿De qué manera influencia la diversidad de leyes y las restricciones en la obtención del blending óptimo y el throughput de la planta de óxidos y la planta de sulfuros? 	<ol style="list-style-type: none"> Formular una alternativa de secuencia de minado y remanejo de stocks que cumpla con el throughput, restricciones de los contaminantes y el margen unitario máximo de la planta de sulfuros y la planta de óxidos en la etapa de ramp up. Formular una alternativa de secuenciamiento de minado y remanejo de stocks que cumpla con el throughput y restricciones de la planta de óxidos y de sulfuros en la etapa de ramp up. Determinar el blending óptimo (tonelaje y ley) de mina y stocks para el cumplimiento del throughput de la planta de óxidos y la planta de sulfuros. 	<ol style="list-style-type: none"> Formular una correcta secuencia de minado y remanejo de stocks generará una adecuada ley en el blending enviado a las plantas de sulfuros y de óxidos, además brindará un mayor margen unitario. Una adecuada selección de secuencia de minado y remanejo de stocks cumple con el throughput de la planta de óxidos y la planta de sulfuros. La determinación del blending óptimo es el resultado de una estimación matemática que permite cumplir con los requerimientos y restricciones de las plantas y maximizar el margen unitario. 	Adecuada secuencia de minado y remanejo de stocks.	Tratamiento de óxidos y de sulfuros en una mina de cobre a tajo abierto.	<ul style="list-style-type: none"> Tonelaje enviado a la planta de óxidos y la planta de sulfuros. Ley de la mezcla enviada a la planta de óxidos a la planta de sulfuros.

FUENTE: "Elaboración propia"

CAPÍTULO V

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

En la presente investigación de recolectaron los siguientes datos:

- **Plan de mantenimiento de equipos:** Este plan es un cronograma de mantenimientos programados y mantenimientos preventivos que tienen los equipos de carguío, acarreo y perforación, es elaborado por el equipo de mantenimiento mina en base a las horas máquina que tienen registrados cada equipo en sus respectivos horómetros para calcular así la fecha de su próximo mantenimiento.

Estos datos son presentados en una tabla por fechas, especificando las horas que el personal de mantenimiento mina ocupara el equipo para sus mantenimientos respectivos, así como está indicado en el Anexo 1.

- **Disponibilidad Mecánica Programada:** Estos datos son presentados por el equipo de mantenimiento mina en una tabla especificando el valor de la disponibilidad mecánica (%) de cada equipo de perforación, carguío y acarreo, como se indica en el anexo

- **Plan de mantenimiento de plantas:** Es un cronograma de mantenimientos de las plantas de óxidos y la planta de sulfuros, es elaborado por el equipo de mantenimiento planta y brinda las horas que las plantas estarán detenidas por algún mantenimiento programado.

Estos datos son presentados en una tabla por fechas especificando las horas que la planta deja de operar como está indicado en el anexo 3.

- **Plan de requerimiento de plantas:** Este plan es un cronograma del tonelaje requerido por la planta de óxidos y la planta de sulfuros, es elaborado por el equipo de planeamiento planta y brinda la cantidad de toneladas que requiere cada planta por día.

Estos datos son presentados en una tabla por fecha especificando el **throughput** de cada planta, como está indicado en los en los anexos 4 y 5.

- **Modelo de bloques de corto plazo:** Este modelo es proporcionado por el equipo de geología, y contiene los resultados de laboratorio de los **blastholes** muestreados durante el periodo de ejecución de esta investigación, estos datos son entregados en la plataforma ACONEX como se muestra en el anexo 6.

- **Cálculo del tonelaje inicial de Stocks:** Este cálculo es efectuado por el equipo de planeamiento corto plazo, el cual se realiza semanalmente con los sólidos generados topográficamente y los registros de viajes del **Controlsense**, obteniendo el detalle del tonelaje y leyes de cada stock de mineral como se muestra en la tabla 10.

TABLA 10.: DETALLE DE STOCKS DE MINERAL ANTES DEL BLENDING

STOCKS	TONELAJE (t)	CUT %	CUAS %	CUCN %	FE %	AU (ppb)	AG (ppm)	C %	S %
OXI1	32,518,634	0.35	0.27	0.03	5.79	8.33	0.56	0.32	0.07
OXI2	6,120,164	0.92	0.78	0.08	6.59	9.39	0.74	0.83	0.05
OXI3	2,729,913	0.67	0.61	0.02	6.27	10.33	0.76	0.33	0.02
OXI4	1,688,845	0.48	0.37	0.06	8.46	7.08	2.08	0.31	0.06
SUL5	269,984	0.61	0.27	0.27	9.09	5.68	2.00	0.36	0.11
SUL6	140,521	0.62	0.18	0.40	7.85	13.02	3.64	0.50	0.25
SUL8	2,339,061	1.09	0.43	0.62	14.14	12.58	7.12	0.57	0.32
SUL9-797	87,989	1.50	0.31	0.96	21.33	13.27	20.00	0.30	0.70
SUL9-780	103,661	1.12	0.29	0.77	15.71	6.77	14.82	0.54	0.37

FUENTE: "Elaboración propia"

5.2. : PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

5.2.1. Cálculo de tonelaje minado diario

Para el procesamiento de la información se utilizó los datos obtenidos en el plan de mantenimiento de equipos y la disponibilidad programada además de las demoras, estos datos son insertados en la tabla 9, la cual mediante una productividad horaria (t/h) de los equipos de carguío permite calcular el tonelaje minado por una pala o un cargador frontal cada día.

La productividad horaria de cada pala y cargador frontal se obtiene mediante un cálculo estadístico usando el registro histórico de tonelaje minado del sistema **Controlsense de MS4M**, de la misma manera el tiempo correspondiente a las demoras y **stand by** es calculado como un valor promedio del registro histórico y detallados en el anexo 8.

En la tabla 11 se muestra el cálculo del tonelaje minado día por día de la pala 01, de la misma manera se replicó el cálculo para los demás equipos de carguío, el resumen se presenta en la tabla 12.

Tabla 11.: PRODUCCIÓN DIARIA PALA 01

Pala 01	Día 01	Día 02	Día 03	Día 04	Día 05	Día 06	Día 07
Cantidad	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Horas día(h)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Mantenimiento(h)	18.0	1.2	-	12.0	1.0	1.2	1.0
Stand by(h)	0.5	1.8	2.0	3.5	1.8	1.8	1.8
Demora(h)	0.5	1.6	2.0	2.0	1.8	1.9	2.0
Operativo(h)	5.0	19.4	20.0	6.5	19.4	19.1	19.2
Productividad(t/h)	3,550	3,550	3,550	3,550	3,550	3,550	3,550
Disponibilidad%	25%	95%	100%	50%	96%	95%	96%
Uso de Disponibilidad%	92%	92%	92%	71%	92%	92%	92%
Producción(t)	17,750	68,820	71,000	23,075	68,870	67,755	68,160

FUENTE: "Elaboración propia"

Tabla 12.: TONELAJE MINADO DÍA POR DÍA

Equipos	Periodo	Día 01	Día 02	Día 03	Día 04	Día 05	Día 06	Día 07
	Día	18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May
PH01		17,750	68,820	71,000	23,075	68,870	67,755	68,160
PH02		67,045	68,870	67,755	63,190	67,755	61,415	64,915
PH03		66,690	71,000	67,450	62,785	68,160	68,465	67,450
CF01		-	-	-	40,040	41,413	43,472	41,413
Total Minado(t)		151,484	208,690	206,205	189,090	246,197	241,106	241,937

FUENTE: "Elaboración propia"

Los tonelajes presentados en la tabla 12 son las restricciones determinadas en los cálculos previos para los cortes de minado, pues los tonelajes asignados a estos cortes deben coincidir con los valores de la tabla 12, para la elaboración de estos cortes de minado se utilizó la herramienta **Planner Project** del software **Mineplan**.

5.2.2. Cálculo del Margen Unitario

Para calcular el Margen unitario de cada bloque se utilizó la herramienta **Model Calculation Tool** del software **Mineplan** como aparece en la figura 21, esta

herramienta ejecuta el *script* en lenguaje de programación **Python 2.7**, como se observa en el anexo 8.

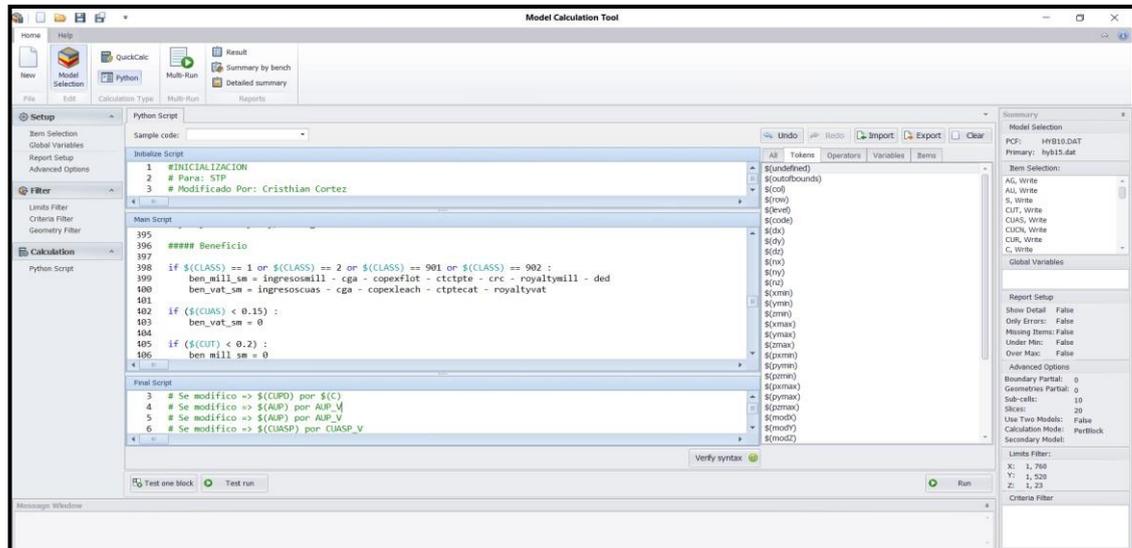


FIGURA 21 Model Calculation Tool.

FUENTE: "Elaboración propia"

Después de ejecutar el *script*, el modelo de bloques queda listo para su utilización en el cálculo del tonelajes y clasificación de materiales.

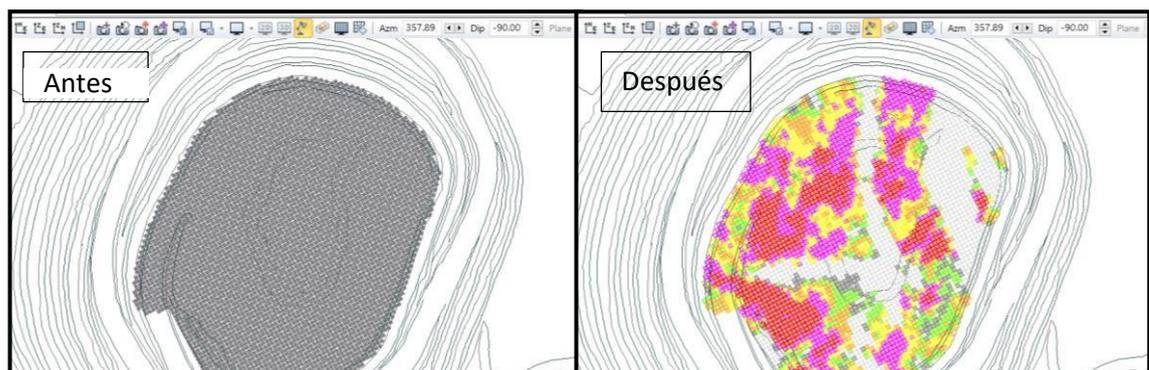


FIGURA 22 Calculo del Margen Unitario

FUENTE: "Elaboración propia"

5.2.3. Elaboración de secuencias de minado

En base a los tonelajes de minado previamente mostrados en la tabla 10 se realizaron tres alternativas de secuencias de minado, las cuales cumplirán con las restricciones

operativas propias de Mina Justa, a su vez estas deben cumplir con el **throughput** requerido por la planta de óxidos y la planta de sulfuros.

Para la elaboración de estas alternativas se usó la herramienta **Planner Project** del software **Mineplan** como muestra la figura 23.

Level	Release	Period	Cargajo	Tonnes	BENE	C	CU	CUAS	CUON	FE	SG	Fase	Cu Fine
Level 656.00 (HYB10.DAT)	Done	Semana 01	Pala 02	448,753.34	38.42	0.55	0.95	0.67	0.22	10.59	3.00	Asgnar	268,307.38
Level 764.00 (HYB10.DAT)	Done	Semana 01	Pala 01	472,752.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.74	Asgnar	286.70
Level 764.00 (HYB10.DAT)	Done	Semana 01	CF 02	9,198.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59	Asgnar	0.00
Level 656.00 (HYB10.DAT)	Done	Semana 01	Pala 03	470,865.63	8.67	0.21	0.32	0.26	0.03	8.15	2.83	Asgnar	109,384.69
Level 656.00 (HYB10.DAT)	Done	Semana 01	CF 02	61,692.94	19.78	0.58	0.57	0.48	0.04	13.36	2.79	Asgnar	26,464.61
Level 764.00 (HYB10.DAT)	Done	Semana 01	CF 02	118,829.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	2.75	Asgnar	0.00
Level 656.00 (HYB10.DAT)	Done	Semana 01	CF 01	353,834.88	13.76	0.31	0.48	0.33	0.11	11.50	3.96	Asgnar	102,827.41
Level 644.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 02	Pala 02	397,709.04	30.17	0.39	0.78	0.64	0.07	8.41	2.89	Asgnar	225,140.82
Level 656.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 02	Pala 03	394,376.12	7.55	0.26	0.27	0.23	0.01	7.44	2.78	Asgnar	79,489.12
Level 656.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 02	CF 01	246,943.79	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	5.17	2.77	Asgnar	1,081.27
Level 764.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 02	Pala 01	422,692.38	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	2.91	2.74	Asgnar	0.00
Level 764.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 02	CF 02	234,728.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.93	2.75	Asgnar	0.00
Level 764.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 03	Pala 01	397,214.43	3.84	0.12	0.19	0.15	0.00	7.82	2.76	Asgnar	31,310.78
Level 764.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 03	CF 02	248,435.89	11.88	0.04	0.36	0.31	0.01	11.37	3.02	Asgnar	68,818.86
Level 656.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 03	Pala 03	394,819.72	2.85	0.27	0.15	0.12	0.00	6.51	2.75	Asgnar	43,821.05
Level 644.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 03	Pala 02	401,957.33	54.64	0.73	1.34	1.06	0.16	11.89	3.08	Asgnar	379,388.18
Level 656.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 03	CF 01	97,952.04	3.22	0.19	0.18	0.14	0.00	6.30	2.77	Asgnar	12,441.86
Level 644.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 03	CF 01	148,482.66	12.28	0.50	0.44	0.32	0.07	12.88	3.06	Asgnar	41,686.93
Level 644.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 04	Pala 03	400,176.38	8.79	0.28	0.34	0.27	0.04	7.74	2.78	Asgnar	94,413.47
Level 644.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 04	Pala 02	243,844.63	18.96	0.42	0.57	0.45	0.08	8.29	2.84	Asgnar	96,788.11
Level 644.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 04	Pala 02	155,148.05	7.24	0.36	0.29	0.22	0.01	7.24	2.79	Asgnar	30,948.59
Level 644.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 04	CF 01	249,232.66	4.40	0.36	0.24	0.18	0.03	8.64	2.97	Asgnar	38,945.53
Level 764.00 (HYB10.DAT)	Yes	Semana 04	Pala 01	407,381.01	1.50	0.02	0.00	0.02	0.00	15.65	3.00	Asgnar	34,506.81

FIGURA 23 Planner Project.
FUENTE: "Elaboración propia"

A continuación, se desarrolla a detalle cada secuencia de minado y la distribución de materiales de cada alternativa.

- **Alternativa 1**

El minado en la fase 1 se desarrolla con un cargador frontal y una pala eléctrica, iniciando el minado en el nivel 596, a su vez el minado en la fase 2 se realiza con dos palas eléctricas y un cargador frontal.

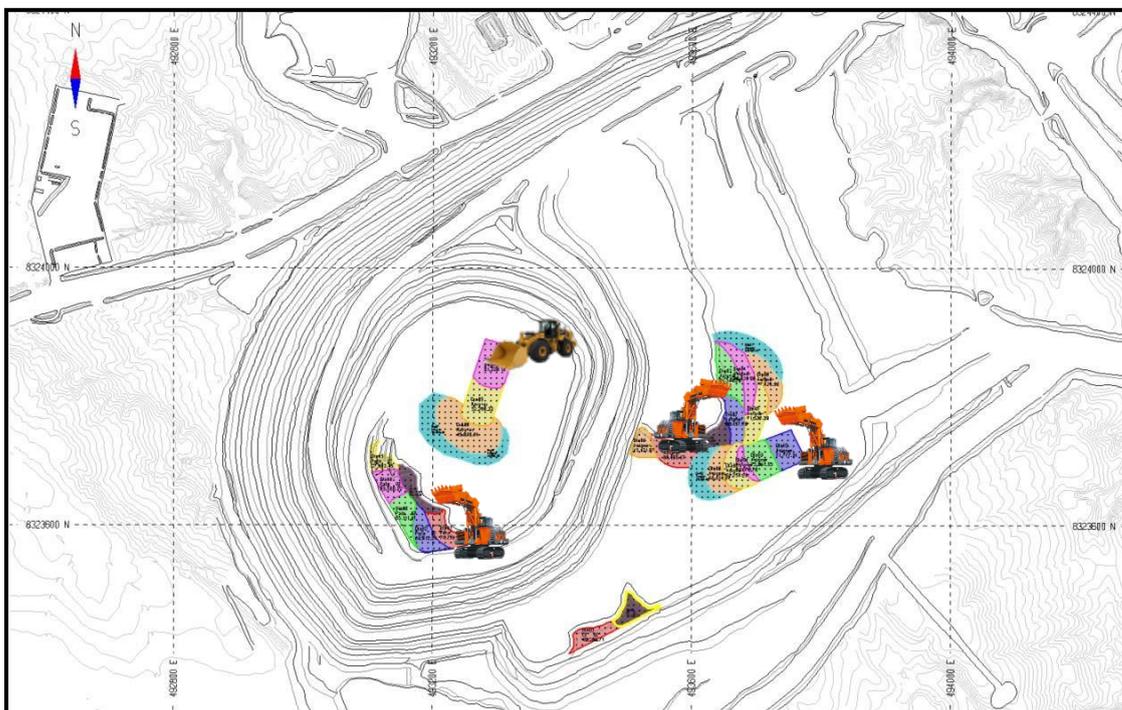


FIGURA 24 Secuencia de minado alternativa 1
FUENTE: "Elaboración propia"

Tabla 13.: DETALLE ALTERNATIVA 1

FECHA	PLAN SEMANA 21							TOTAL
	18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May	
Óxido Minado t	35,376	15,510	21,703	52,665	78,314	72,405	6,671	282,644
Sulfuro Minado t	62,612	49,960	38,680	77,659	33,733	71,966	78,753	413,364
Desmonte t	54,023	135,300	141,629	94,457	97,918	123,192	145,840	780,359
Total Minado t	152,011	200,770	202,013	224,781	209,965	267,563	227,614	1,484,717
Remanejo Lix t	16,800	18,000	12,800	9,000	10,000	14,000	17,000	97,600
Remanejo Flot t	16,500	9,000	0	11,500	14,000	8,000	18,000	77,000
Total Movido t	185,311	227,770	214,813	245,281	233,965	289,563	254,264	1,659,317

FUENTE: "Elaboración propia"

En la tabla 13, se detalla el tonelaje de óxidos, sulfuros y desmonte minado y movido día por día durante la semana, se observa que el tonelaje movido alcanzo su valor máximo el sexto día, mientras que su valor mínimo el primer día.

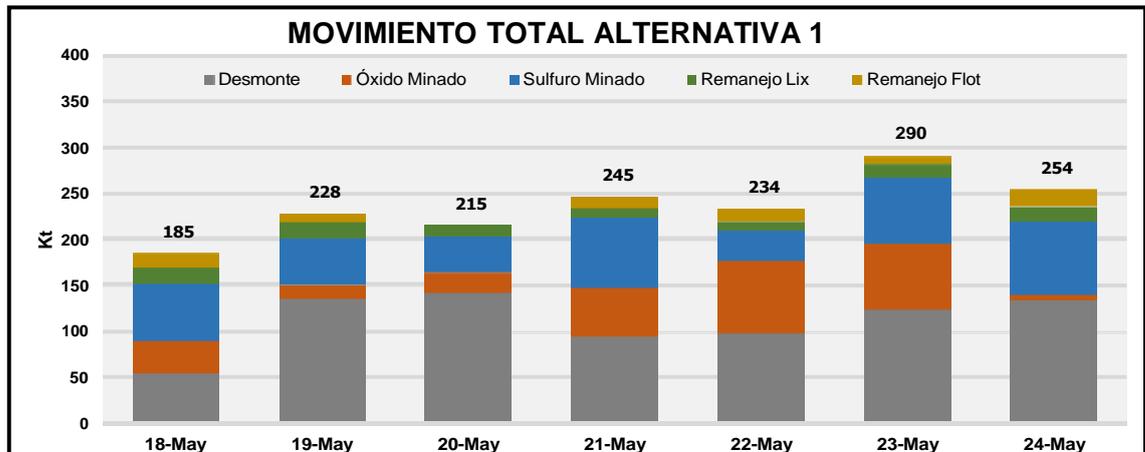


FIGURA 25 Movimiento Total alternativa 1
FUENTE: "Elaboración propia"

- **Alternativa 2**

El minado en la fase 1 se realiza desde el nivel 596 través de la rampa de diseño, de la misma manera el minado en fase 2 se realiza desde la rampa de diseño en el nivel 728 y otra pala eléctrica en el nivel 716 además de un cargador frontal.

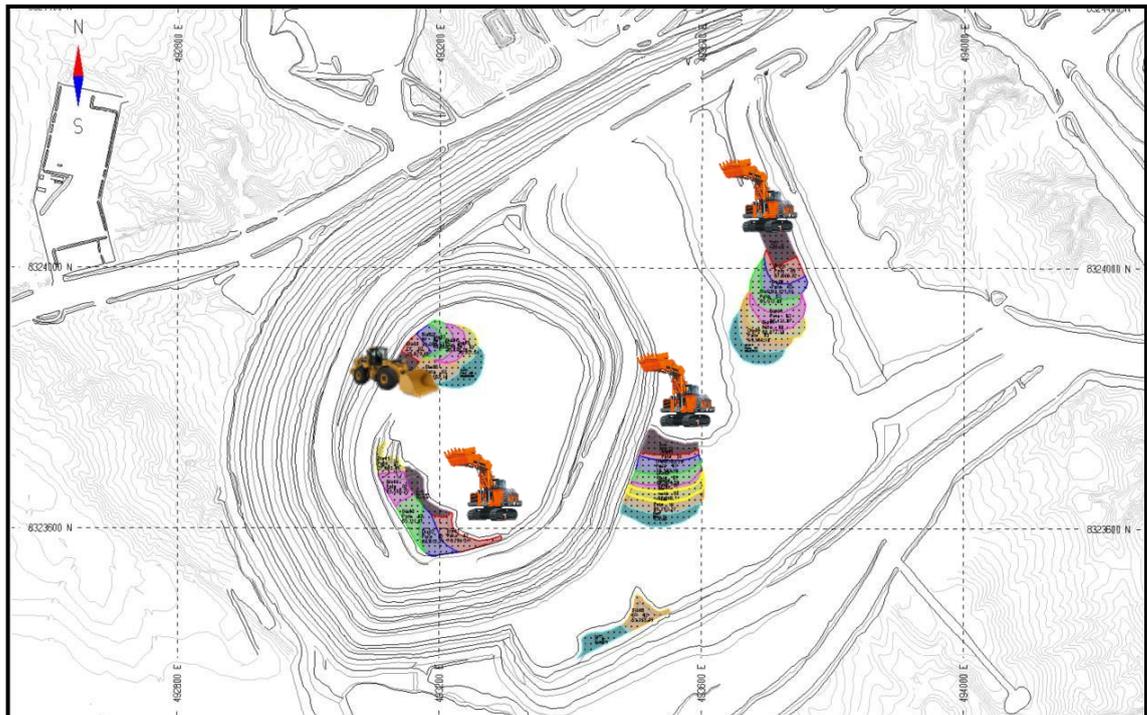


FIGURA 26.: Secuencia de minado alternativa 2
FUENTE: "Elaboración propia"

Esta alternativa propone el movimiento de las palas eléctricas en la fase 2 para iniciar minando el nivel 716 desde otro frente de minado.

TABLA 14.: DETALLE ALTERNATIVA 2

FECHA	PLAN SEMANA 21							TOTAL
	18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May	
Óxido Minado t	18,156	27,588	25,203	54,481	67,063	83,850	15,885	292,226
Sulfuro Minado t	55,704	60,227	21,981	22,910	13,960	75,779	45,946	296,508
Desmonte t	71,661	112,955	154,829	147,389	128,942	107,933	157,433	881,143
Total Minado t	145,521	200,770	202,013	224,781	209,965	267,563	227,614	1,478,227
Remanejo Lix t	9,500	9,000	8,000	13,000	15,000	16,000	16,100	86,600
Remanejo Flot t	16,500	6,000	12,000	11,000	10,700	10,000	6,470	72,670
Total Movido t	171,521	215,770	222,013	248,781	235,665	293,563	241,834	1,637,497

FUENTE: "Elaboración propia

A continuación, se detalla el tonelaje de óxidos, sulfuros y desmonte minado y movido día por día durante el plan minado en la figura 27, se observa que el tonelaje movido alcanzo su valor máximo el sexto día, mientras que su valor mínimo el primer día.

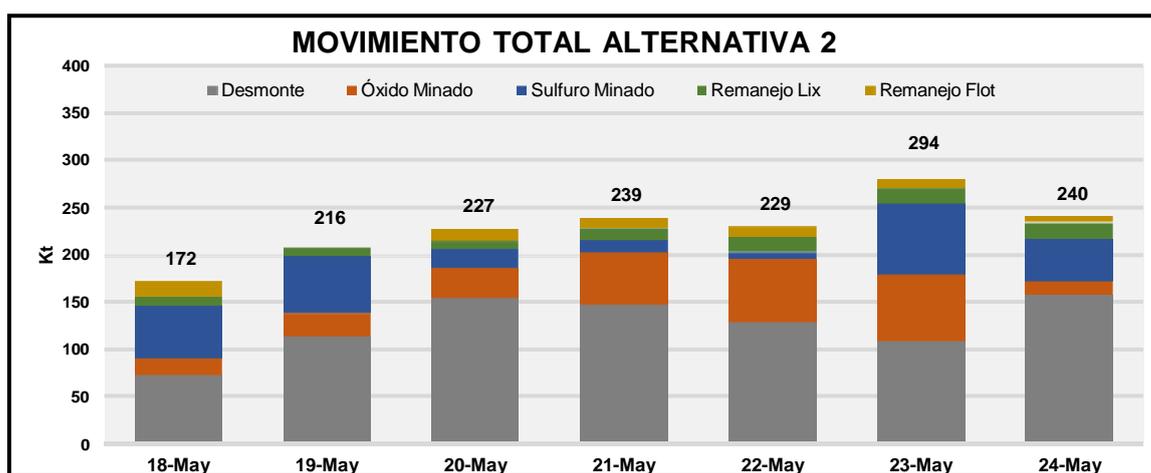


FIGURA 27.: Movimiento total alternativa 2

FUENTE: "Elaboración propia

- **Alternativa 3**

El minado en fase 1 se realiza desde la rampa de diseño en el nivel 596, el minado en la fase 2 se realiza desde la rampa de diseño con una pala electrica y laotra pala minando a su encuentro con un cargador frontal en el nivel 716.



FIGURA 28 Secuencia de minado alternativa 3
FUENTE: "Elaboración propia"

A continuación, se detalla el tonelaje de óxidos, sulfuros y desmonte minado y movido día por día durante el plan minado en la tabla 14, se observa que el tonelaje movido alcanzo su valor máximo el sexto día, mientras que su valor mínimo el primer día.

TABLA 15.: DETALLE ALTERNATIVA 3

FECHA		PLAN SEMANAL 21						TOTAL	
		18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May		24-May
Óxido Minado	t	20,682	39,906	19,735	86,559	57,070	38,293	25,006	287,251
Sulfuro Minado	t	62,757	60,227	52,183	13,211	30,248	108,819	45,946	373,390
Desmonte	t	62,082	100,637	130,095	125,011	122,647	120,452	148,312	809,235
Total Minado	t	145,521	200,770	202,013	224,781	209,965	267,563	227,614	1,478,227
Remanejo Lix	t	5,000	5,000	10,000	4,000	15,000	13,000	13,000	65,000
Remanejo Flot	t	16,500	-	11,332	-	17,000	4,436	8,091	57,359
Total Movido	t	167,021	205,770	223,344	228,781	241,965	284,999	240,355	1,592,236

FUENTE: "Elaboración propia

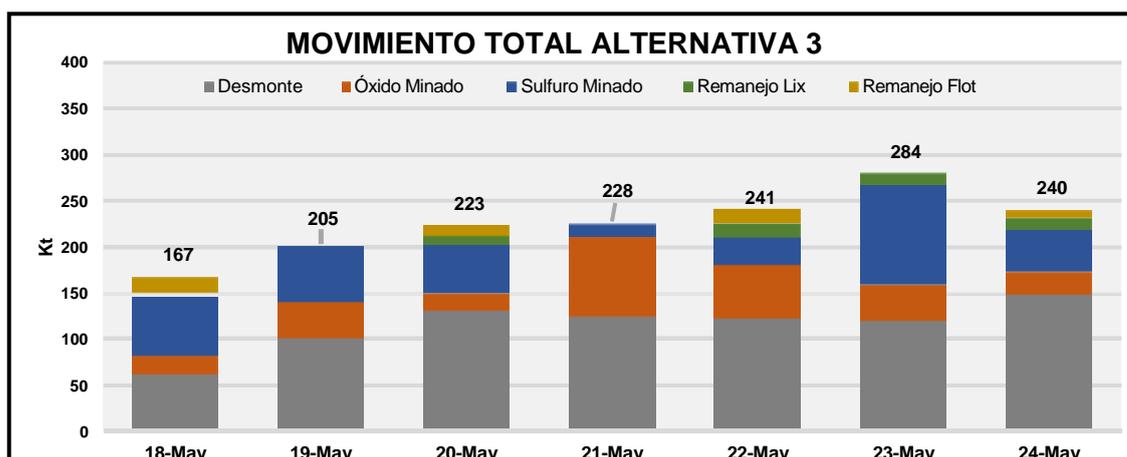


FIGURA 29.: Movimiento total alternativa 3

FUENTE: "Elaboración propia

5.2.4. Cálculo del *Blending*

Con las alternativas de secuencias de minado ya elaboradas, se procedió a calcular el *blending* para las plantas de óxidos y de sulfuros, los cortes de minado son insertados en una plantilla *Excel* la cual mediante la herramienta *Solver* nos brinda la mezcla óptima que maximicé el margen unitario obtenido en cada alternativa de secuencia de minado, como se puede apreciar en la figura 30.

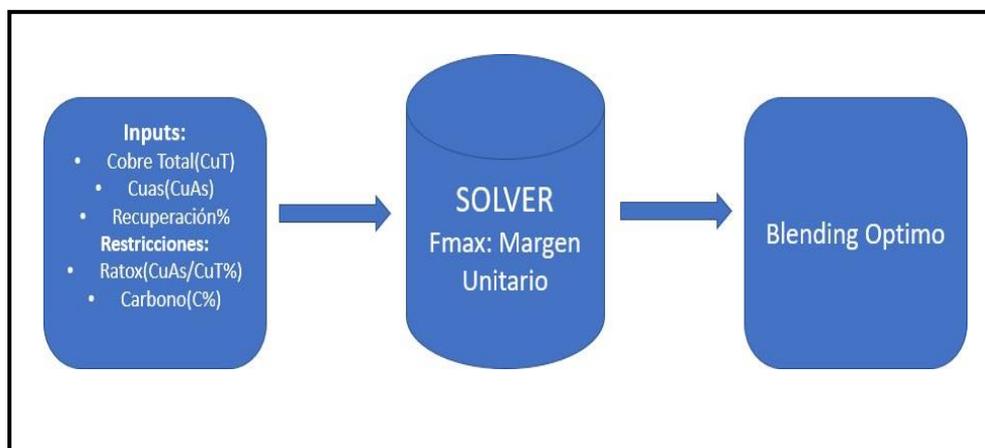


FIGURA 30.: Diagrama obtención del blending óptimo.

FUENTE: “Elaboración propia”

Las restricciones para el **blending** de la planta de sulfuros son la ley de cobre total (CuT) y el ratio de oxidación (Ratox), en el caso de la planta de óxidos son la ley de cobre soluble en ácido (CuAs) y el carbono(C), a continuación, se detallan en las tablas 16 y 17 respectivamente.

TABLA 16.: RESTRICCIONES DE LA PLANTA DE SULFUROS

		Flotación						
Tonelaje		16,500	18,000	18,000	18,000	18,000	15,000	18,000
		Dia01	Dia02	Dia03	Dia04	Dia05	Dia06	Dia07
Restricciones:								
Remanejo, %	SI							
Min:		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Max:		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CuT, %	SI							
Min:		0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Max:		2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
Ratox, %	SI							
Min:		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max:		25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

FUENTE: “Elaboración propia”

TABLA 17.: RESTRICCIONES DE LA PLANTA DE ÓXIDOS

		Lixiviación						
Tonelaje		18,000	18,000	15,000	18,000	15,000	18,000	18,000
		Dia01	Dia02	Dia03	Dia04	Dia05	Dia06	Dia07
Restricciones:								
Remanejo, %	SI							
Min:		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Max:		100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%
CuAs, %	SI							
Min:		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max:		0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
C, %	SI							
Min:		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max:		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

FUENTE: "Elaboración propia"

- **Blending Alternativa 1**

Esta alternativa de minado cumple con las restricciones de ambas plantas, en el caso del **blending** para la planta de sulfuros tiene una ley mínima de 1.45% y una ley máxima de 1.61% cobre total (CuT), el detalle se muestra en la tabla 18.

En el caso del blending para la planta de óxidos tiene una ley mínima de 0.62% y una ley máxima de 0.69% de cobre soluble en ácido (CuAs), el detalle se muestra en la tabla 19.

TABLA 18.: ALIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE SULFUROS - ALTERNATIVA 1

		PLAN SEMANA 21						
FECHA		18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May
Tonelaje	t	16,500	18,000	18,000	18,000	18,000	15,000	18,000
Cut	%	1.48	1.59	1.57	1.58	1.61	1.55	1.45
Ratox	%	21.2	18.1	20.0	24.9	24.0	18.5	24.1
Margen Unitario	\$/t	73.01	79.47	77.47	78.47	79.92	75.30	71.10
Recup. CuT	%	93.12	93.76	93.38	92.35	92.53	93.68	92.51

FUENTE: "Elaboración propia"

TABLA 19.: ALIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE ÓXIDOS - ALTERNATIVA 1

		Plan Semanal - S21						
FECHA		18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May
Tonelaje	t	18,000	18,000	15,000	18,000	15,000	18,000	18,000
Cut	%	0.76	0.80	0.78	0.73	0.72	0.80	0.82
CuAs	%	0.64	0.67	0.65	0.62	0.62	0.66	0.69
C	%	0.32	0.33	0.35	0.34	0.31	0.32	0.32
Margen Unitario	\$/t	28.41	30.03	28.95	27.48	27.17	29.94	31.49
Recup. CuAs	%	89.26	89.12	89.37	84.36	91.91	88.10	82.63

FUENTE: "Elaboración propia"

- **Blending Alternativa 2**

Esta alternativa cumple con las restricciones de ambas plantas, en el caso del **blending** para la planta de sulfuros tiene una ley mínima de 1.38% y una ley máxima de 2.0% cobre total (CuT), el detalle se muestra en la tabla 20.

En el caso del **blending** para la planta de óxidos tiene una ley mínima de 0.56% y una ley máxima de 0.88% de cobre soluble en ácido (CuAs), el detalle se muestra en la tabla 21.

TABLA 20.: ALIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE SULFUROS – ALTERNATIVA

		PLAN SEMANA 21						
FECHA		18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May
Tonelaje	t	16,500	18,000	18,000	18,000	18,000	15,000	18,000
Cut	%	1.48	2.00	1.38	1.93	1.97	1.70	1.65
Ratox	%	21.21	12.67	24.57	21.29	24.65	17.50	24.52
Margen Unitario	\$/t	73.01	101.98	68.81	95.92	100.31	84.84	79.81
Recup. CuT	%	93.12	94.90	92.41	93.10	92.40	93.89	92.43

FUENTE: "Elaboración propia"

TABLA 21.: ALIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE ÓXIDOS - ALTERNATIVA 2

Plan		PLAN SEMANA 21						
Periodo		18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May
Tonelaje	t	18,000	18,000	15,000	18,000	15,000	18,000	18,000
Cut	%	0.67	0.68	1.05	0.88	0.81	0.82	0.78
CuAs	%	0.57	0.56	0.88	0.73	0.68	0.69	0.66
C	%	0.29	0.26	0.39	0.36	0.34	0.31	0.31
Margen Unitario	\$/t	24.64	24.98	43.30	34.80	31.35	32.32	30.18
Recup. CuAs	%	89.00	90.77	90.31	90.35	89.11	88.82	82.10

FUENTE: "Elaboración propia"

- **Blending Alternativa 3**

Esta alternativa de minado cumple con las restricciones de ambas plantas, en el caso del **blending** para la planta de sulfuros tiene una ley mínima de 1.18% y una ley máxima de 2.31% de cobre total (CuT), el detalle se muestra en la tabla 22.

En el caso del **blending** para la planta de óxidos tiene una ley mínima de 0.61% y una ley máxima de 0.73% de cobre soluble en ácido (CuAs), el detalle se muestra en la tabla 23.

TABLA 22.: ALIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE SULFUROS - ALTERNATIVA 3

		PLAN SEMANA 21						
FECHA		18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May
Tonelaje	t	16,500	18,000	18,000	18,000	18,000	15,000	18,000
Cut	%	1.48	2.21	1.38	2.31	1.18	1.20	1.66
Ratox	%	21.21	10.86	24.84	23.94	24.08	23.23	23.79
Margen Unitario	\$/t	73.01	113.39	68.90	116.73	56.38	55.42	80.61
Recup. CuT	%	93.12	95.00	92.36	92.55	92.52	92.69	92.58

FUENTE: "Elaboración propia"

TABLA 23.: ALIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE ÓXIDOS - ALTERNATIVA 3

		PLAN SEMANA 21						
FECHA		18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May
Tonelaje	t	18,000	18,000	15,000	18,000	15,000	18,000	18,000
Cut	%	0.68	0.88	0.88	0.80	0.81	0.80	0.78
CuAs	%	0.61	0.72	0.73	0.65	0.68	0.67	0.64
C	%	0.28	0.38	0.36	0.27	0.34	0.37	0.29
Margen Unitario	\$/t	27.36	35.56	35.11	30.06	31.35	31.10	29.68
Recup. CuAs	%	93.12	95.00	92.36	92.55	92.52	92.69	92.58

FUENTE: "Elaboración propia"

5.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En base a la información procesada y los resultados obtenidos en las tres alternativas se muestra en el siguiente gráfico, un resumen que permite analizar y comparar de manera global mediante un promedio semanal de las leyes de cobre total y cobre soluble en ácido, además del margen unitario obtenido por cada alternativa de *blending* en la figura 31.

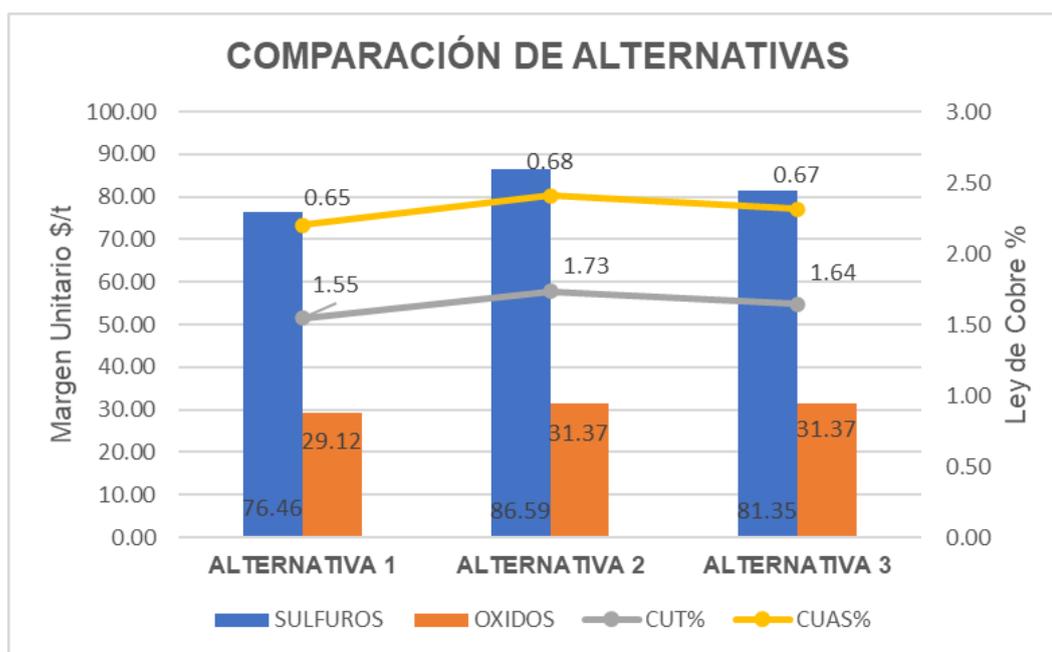


FIGURA 31.: Comparación de alternativas

FUENTE: "Elaboración propia"

Del gráfico anterior se observa que la alternativa 2 ofrece una mayor ley promedio de cobre total (CuT) en el caso de los sulfuros y una mayor ley de cobre soluble en ácido (CuAs) en el caso de los óxidos, además de un margen unitario de 86.59 \$/t para el caso del **blending** a la planta de sulfuros y un margen unitario de 31.37 \$/t para el caso del **blending** a la planta de óxidos.

A continuación, el detalle de los stocks de mineral luego de realizar el envío de mineral a las plantas de óxidos y de sulfuros, en la tabla 24.

TABLA 24.: DETALLE DE STOCKS DE MINERAL DESPUÉS DEL BLENDING

STOCKS	TONELAJE t	CUT%	CUAS%	CUCN%	FE%	AU (ppb)	AG (ppm)	C%	S%
OXI1	32,518,634	0.35	0.27	0.03	5.79	8.33	0.56	0.32	0.07
OXI2	6,120,164	0.92	0.78	0.08	6.59	9.39	0.74	0.83	0.05
OXI3	2,729,913	0.67	0.61	0.02	6.27	10.33	0.76	0.33	0.02
OXI4	1,591,245	0.46	0.35	0.06	8.44	7.04	2.13	0.31	0.06
SUL5	269,984	0.61	0.27	0.27	9.09	5.68	2.00	0.36	0.11
SUL6	140,521	0.62	0.18	0.40	7.85	13.02	3.64	0.50	0.25
SUL8	2,339,061	1.09	0.43	0.62	14.14	12.58	7.12	0.57	0.32
SUL9-797	44,489	1.55	0.29	1.26	39.16	9.95	31.56	0.38	1.28
SUL9-780	70,161	1.12	0.30	0.99	21.13	2.14	18.04	0.32	0.47

FUENTE: "Elaboración propia"

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se procede a analizar los resultados obtenidos de los envíos a la planta de sulfuros y la planta de óxidos según cada alternativa de secuencia de minado.

6.1. RESULTADOS ALTERNATIVA 1

Esta alternativa cumple con el *throughput* de alimentación de ambas plantas, la ley promedio de cobre total (CuT) es de 1.55%, teniendo un valor máximo de 1.61% el quinto día de la semana (22 de mayo), mientras que su valor mínimo será de 1.45% el séptimo día de la semana (24 de mayo), el plan de alimentación tiene una desviación estándar(σ)= **0.06** teniendo una variación mínima, el detalle se muestra en la figura 32.

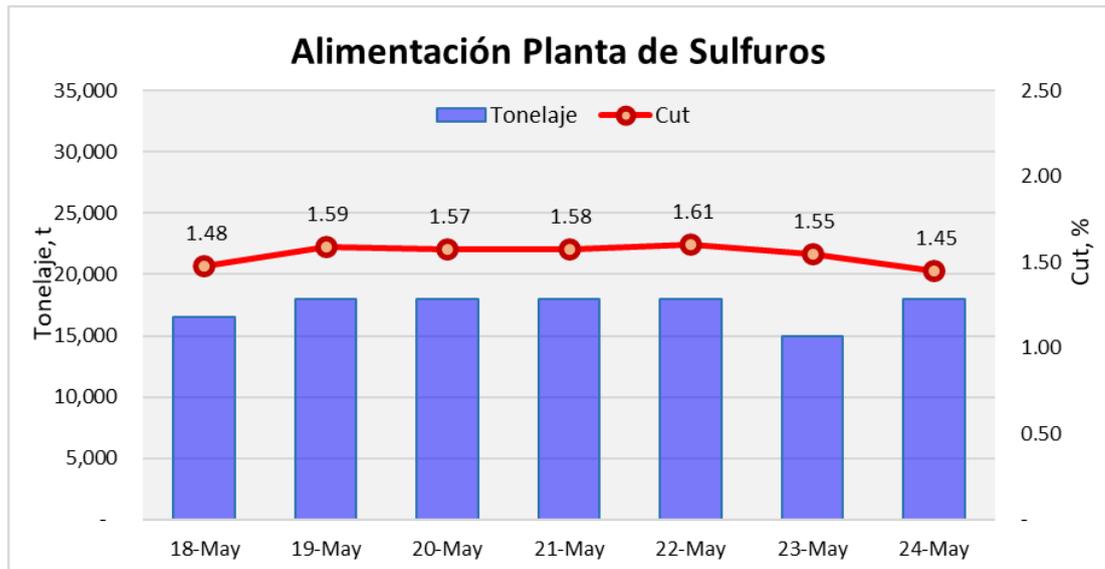


FIGURA 32 Alimentación planta de sulfuros alternativa 1
FUENTE: "Elaboración propia"

Para el caso de la alimentación a la planta de óxidos, la ley promedio de cobre Soluble en ácido (CuAs) es de 0.65%, teniendo un valor máximo de 0.69% el séptimo día de la semana (24 de mayo), mientras que su valor mínimo será de 0.62% el cuarto y quinto día de la semana (21 y 22 de mayo), el plan de alimentación tiene una variación mínima con una desviación estándar (σ)= **0.03**, el detalle se muestra en la figura 33.

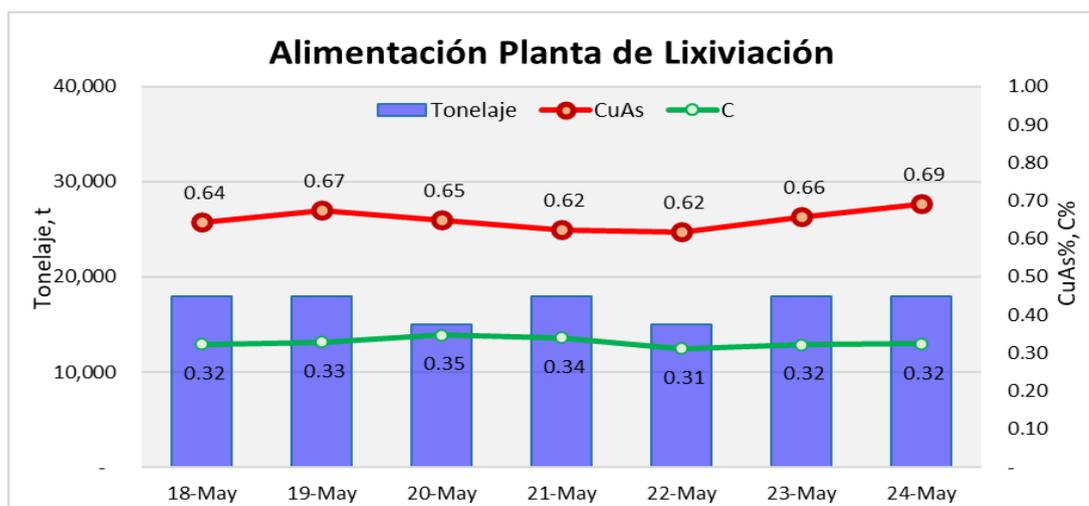


FIGURA 33 Alimentación planta de óxidos alternativa 1
FUENTE: "Elaboración propia"

6.2.: RESULTADOS ALTERNATIVA 2

La alternativa 2 cumple con el *throughput* de alimentación de ambas plantas, la ley promedio de cobre total (CuT) es de 1.73%, teniendo un valor máximo de 2.00% el segundo día de la semana (19 de mayo), mientras que su valor mínimo será de 1.38% el tercer día de la semana (20 de mayo), el plan de alimentación tiene una variación mayor a la alternativa 1 con una desviación estándar(σ)= **0.25**, el detalle se muestra en la figura 34.

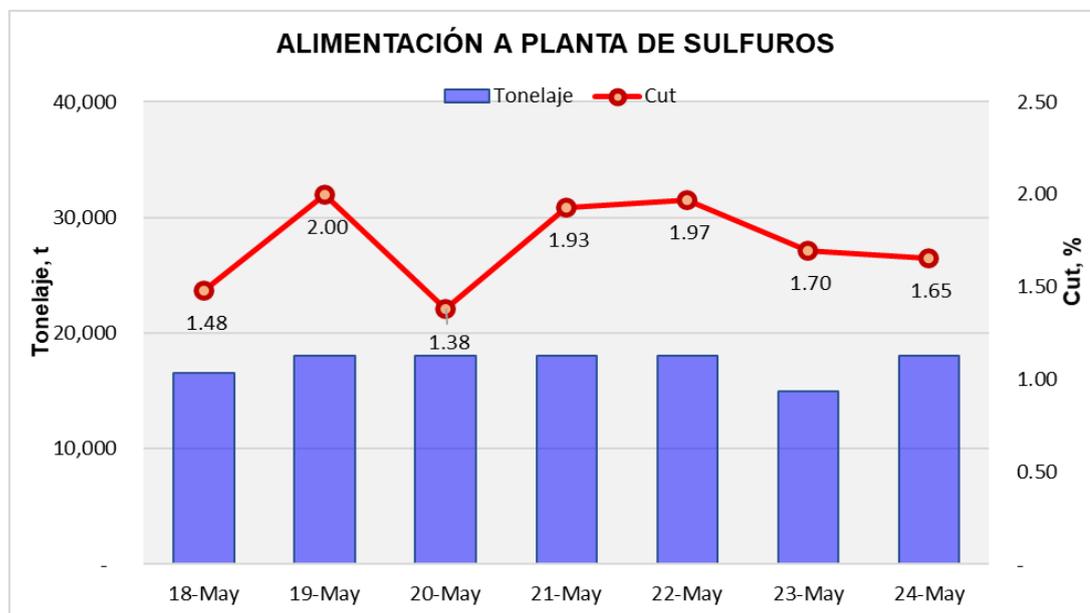


FIGURA 34 Alimentación planta de sulfuros alternativa 2
FUENTE: "Elaboración propia"

La ley promedio de cobre Soluble en ácido (CuAs) es de 0.68%, teniendo un valor máximo de 0.88% el tercer día de la semana (20 de mayo), mientras que su valor mínimo será de 0.56% el segundo día de la semana (19 de mayo), este plan tiene una desviación estándar(σ)= **0.11**.

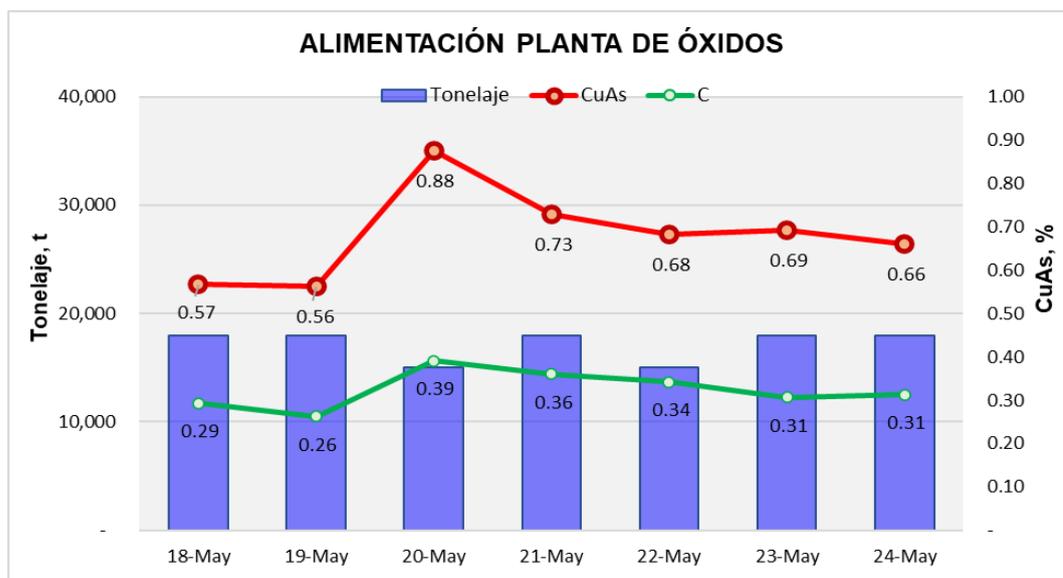


FIGURA 35 Alimentación planta de óxidos alternativa 2
FUENTE: "Elaboración propia"

6.3.: Resultados alternativa 3

La alternativa 3 cumple con el *throughput* de alimentación de ambas plantas, la ley promedio de cobre total (CuT) es de 1.62%, teniendo un valor máximo de 2.21% el segundo día de la semana (19 de mayo), mientras que su valor mínimo será de 1.18% el quinto día de la semana (22 de mayo), el plan de alimentación tiene una desviación estándar(σ)= **0.43**, teniendo una variación mayor a la alternativa anterior, el detalle se muestra en la figura 36.

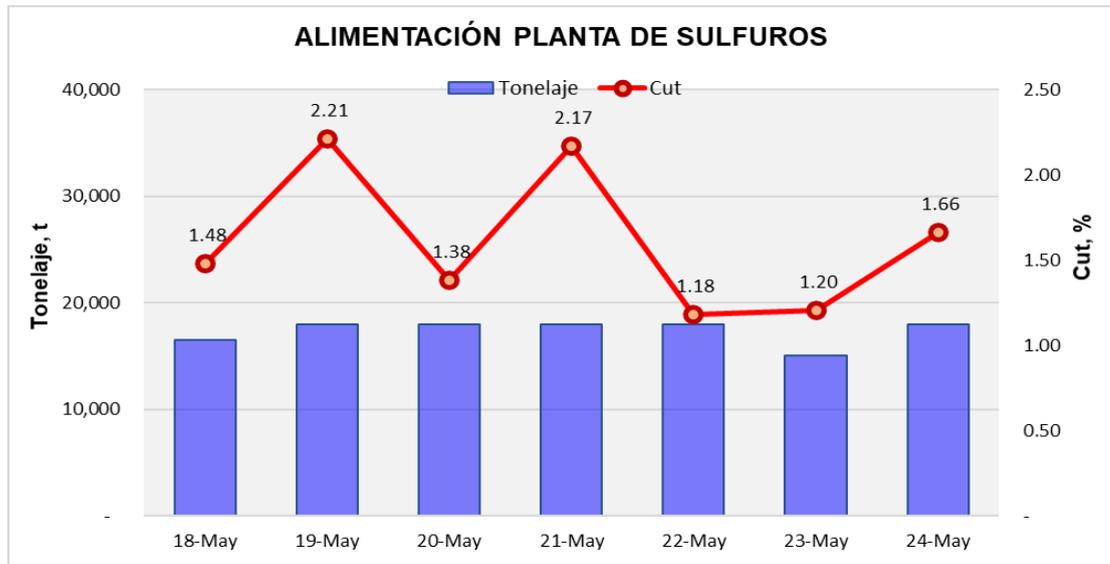


FIGURA 36: Alimentación planta de sulfuros alternativa 3
FUENTE: "Elaboración propia"

La ley promedio de cobre Soluble en ácido (CuAs) es de 0.67%, teniendo un valor máximo de 0.73% el tercer día de la semana (20 de mayo), mientras que su valor mínimo será de 0.61% el primer día de la semana (18 de mayo), este plan tiene una desviación estándar(σ)= **0.04**, siendo más regular que las alternativas anteriores.

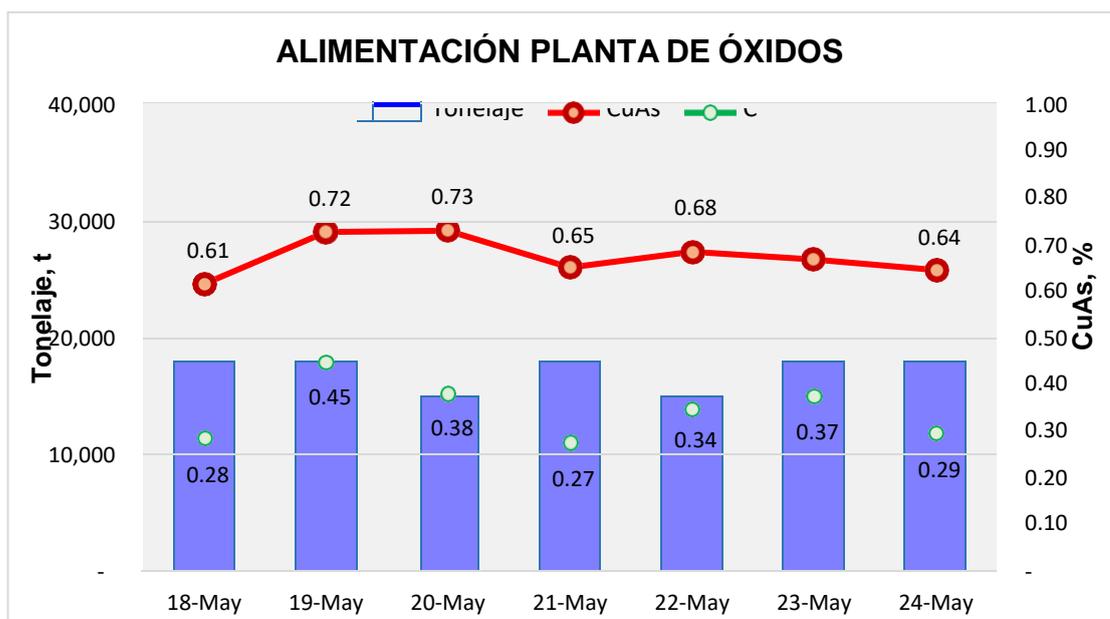


FIGURA 37: Alimentación planta de óxidos alternativa 3
FUENTE: "Elaboración propia"

De acuerdo con los resultados consignados en líneas anteriores, se observa que evaluar más de una alternativa de secuencia de minado brinda diferentes posibilidades de **blending** para el envío de mineral hacia la planta de óxidos y la planta de sulfuros, además permite evaluar los tonelajes de remanaje de **stocks** y de mineral **ROM** que serán enviados a las plantas, esto es muy importante para monitorear el tonelaje restante de mineral en los **stocks**, elegir una incorrecta secuencia de minado genera el incumplimiento del **throughput** y de las restricciones de ambas plantas.

En cuanto a la variabilidad de las leyes del **blending** enviado a la planta de sulfuros, esta representa un inconveniente por estar la planta en etapa de **Ramp Up** aún no se automatizan algunos procesos y no se alcanza el **throughput** de diseño, por lo cual esta variabilidad debe ser controlada para facilitar los trabajos de esta planta.

A continuación, se muestra mediante diagramas de cajas en la figura 38 la variabilidad de las leyes de cabeza en cada alternativa de **blending**.

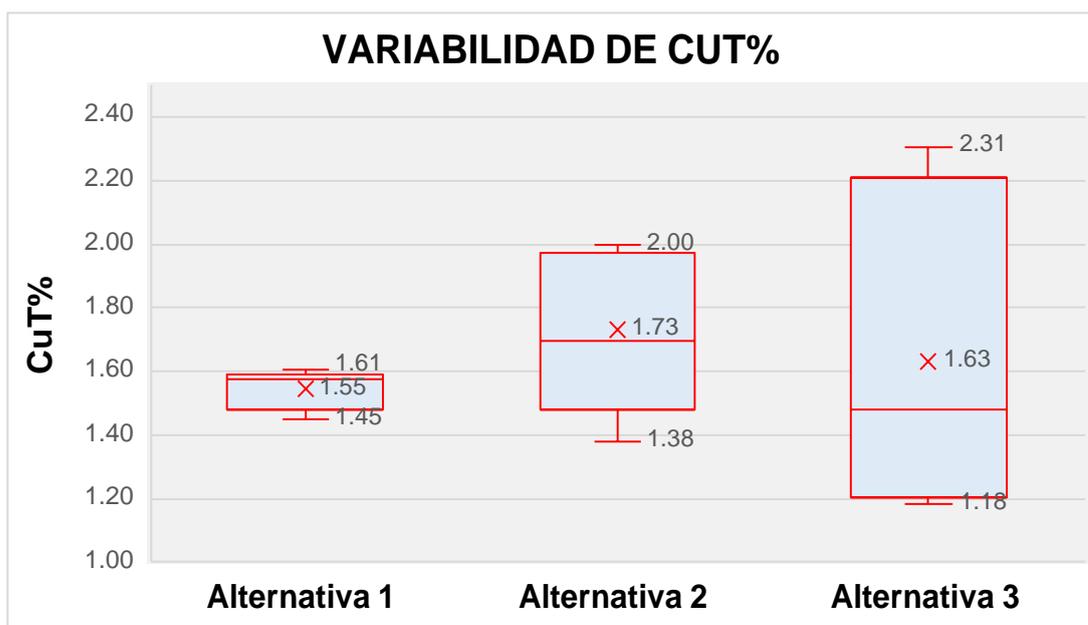


FIGURA 38: Variabilidad de CuT%.
FUENTE: "Elaboración propia"

Del gráfico anterior se puede observar que la alternativa 2 tiene un valor promedio de 1.73% de CuT, a su vez presenta una dispersión de valores más simétrica entre el cuartil Q1=1.48% y cuartil Q2=1.59%.

Para el **blending** enviado a la planta de óxidos, la variabilidad de las leyes no representa un inconveniente para el proceso, pero si es tomada en cuenta para el cumplimiento del plan **Forecast** en cada mes, en la figura 39 se puede observar que la alternativa 2 tiene una mayor concentración de valores cerca al cuartil Q1=0.57%, pero presenta un mayor valor promedio de cobre soluble CuAs=0.68%.

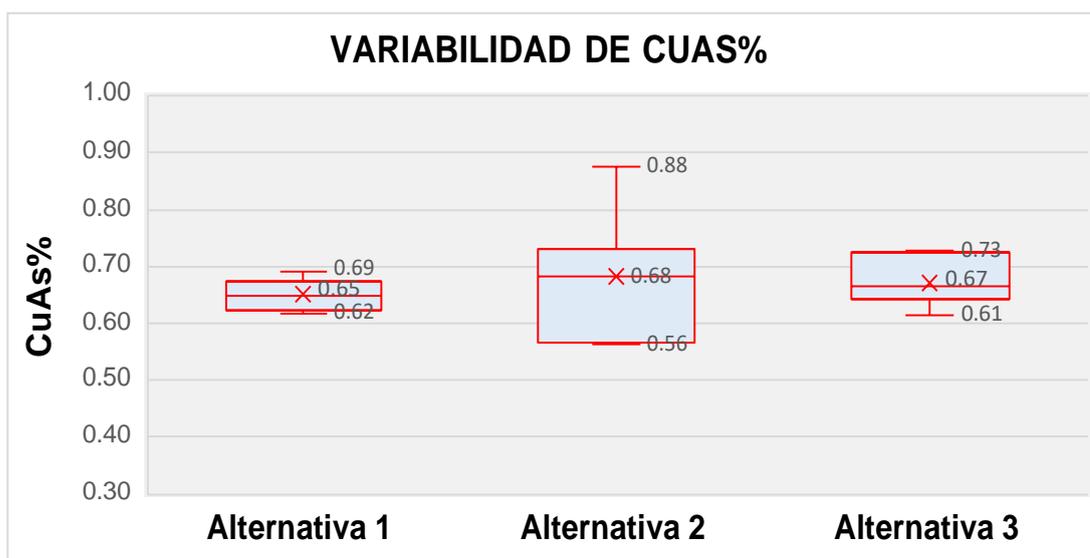


FIGURA 39: Variabilidad de CuAs%.
FUENTE: "Elaboración propia"

La restricción de envío a planta de sulfuros, como lo es el Ratox% tiene un impacto negativo en la recuperación, es decir a mayor Ratox, menor recuperación, en la figura 40 se muestra un gráfico de correlación entre el Ratox y la recuperación en la planta de sulfuros, con un valor de $R^2=0.99$, el cual permite visualizar como la recuperación depende en gran medida del Ratox, la ecuación presenta un coeficiente negativo en la variable dependiente (Ratox%).

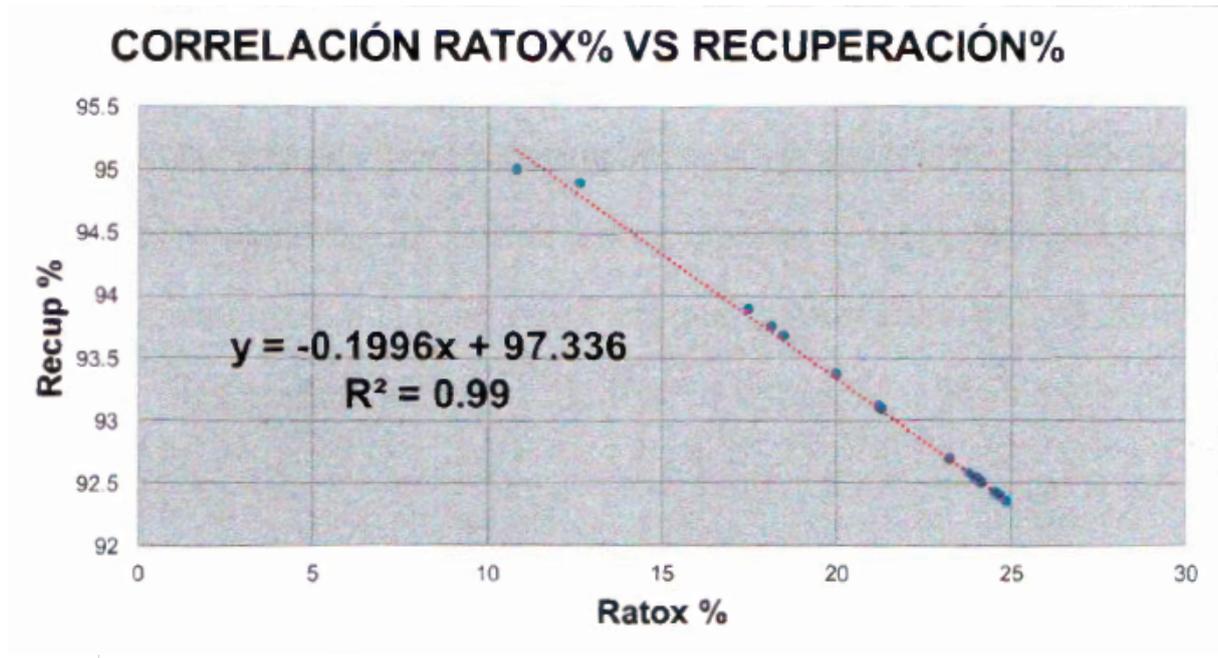


FIGURA 40: Correlación Ratox% vs Recuperación%
FUENTE: "Elaboración propia"

Para el caso del Carbono(C%), este impacta en el blending enviado a la planta de óxidos, debido a que, para altos valores de carbono, se tiene mayor consumo de ácido sulfúrico para el proceso de lixiviación, en la figura 41 se muestra la ecuación del cálculo para el consumo de ácido sulfúrico(H_2SO_4).

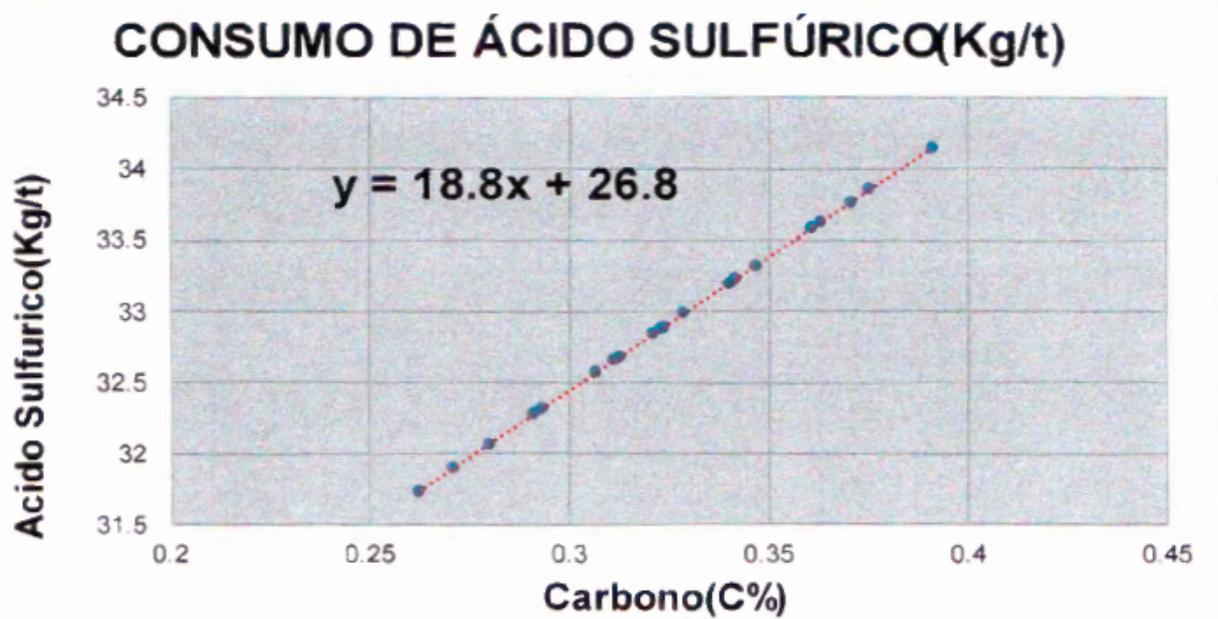


FIGURA 41: Consumo de ácido sulfúrico (Kg/t)
FUENTE: "Elaboración propia"

La presente investigación cumple con las hipótesis planteadas debido a que la alternativa 2 de secuencia de minado brinda una mayor ley de cobre total(CuT%) y de cobre soluble en ácido en el **blending** enviado a la plantas de sulfuros y la planta de óxidos, además de cumplir con las restricciones de cada planta(Ratox% y C%), a su vez esta alternativa brinda el mayor margen unitario entre las tres alternativas planteadas, controlando también la variabilidad de las leyes enviadas a planta de sulfuros

CONCLUSIONES

- En base a los resultados detallados en líneas anteriores se concluye que la hipótesis general es positiva, dado que alternativa 2 de secuencia de minado y remanejo de stocks permite obtener la mejor opción del **blending** hacia ambas plantas, en el caso de la planta de sulfuros, se obtuvo una ley promedio de cobre total (CUT) de 1.73%, mientras que para el caso de la planta de óxidos se una ley promedio de cobre soluble en ácido (CUAS) de 0.68%, mientras que el margen unitario obtenido fue el mayor de las tres alternativas presentadas, con un valor promedio de 86.59 \$/t para el envío a planta de sulfuros y de 31.37 \$/t en el caso del envío a la planta de óxidos.
- Se concluye que la alternativa 2 de secuencia de minado y remanejo de **stocks** tiene como resultado enviar 121,500 t de mineral hacia la planta de sulfuros, además de 120,000t a la planta de óxidos, permitiendo una alimentación constante en ambas plantas, cumpliendo con el **throughput** de estas, como se observa en los cálculos anteriores, por lo tanto, la primera hipótesis específica es positiva.

- El margen unitario correspondiente a la alternativa 2, en el caso de la planta de sulfuros tiene un valor promedio de 86.59\$/t mientras que en el caso de la planta de óxidos tiene un valor de 31.37\$/t, siendo estos los mayores valores entre las demás alternativas presentadas, además los valores de cobre total(CuT%) enviados diariamente a la planta de sulfuros tienen una desviación estándar de $(\sigma) = 0.25$, de lo anterior se concluye que mediante una estimación matemática y la herramienta SOLVER de Excel, se logra optimizar el margen unitario, permitiendo además disminuir la variabilidad de leyes del blending como indica la segunda hipótesis específica.

RECOMENDACIONES

- Para calcular el requerimiento de planta de óxidos y la planta de sulfuros se recomienda identificar las horas en las que estas presenten alguna parada de sus procesos, estas horas deben ser descontadas para tener el valor del **throughput** diario con mayor exactitud.
- Para obtener el rendimiento horario de los equipos de carguío se recomienda calcularlo estadísticamente del registro oficial del sistema de gestión de flota, en el caso de Mina Justa es el **ControlSense** de la empresa **MineSense**.
- Se recomienda considerar los mantenimientos de los equipos de carguío para el cálculo de la disponibilidad de estos, esto a su vez permite calcular la producción por día de cada pala y cargador frontal con una mayor exactitud.
- Para realizar los cortes de minado se pueden usar distintos **softwares** de planeamiento, se recomienda usar el **software Mineplan** y su herramienta **Planner Project** por su versatilidad y facilidad de uso.
- Para la elaboración de las secuencias de minado es recomendable tener siempre un modelo de bloques en su última actualización, esto permite tener una mayor exactitud en el reporte de materiales minados y a su vez brinda una mayor certeza en el cálculo de la ley de cobre y demás ítems para cada corte de minado

- Se recomienda realizar siempre más de una alternativa de secuencia de minado y remanejo de stocks, estos nos darán mayor cantidad de opciones para el cálculo del **blending** y diferentes resultados a considerar.
- Es recomendable realizar los cortes de minado a línea media, esto para tener una mayor exactitud en la geometría de estos, además debe considerarse siempre el ancho de minado necesario para cada equipo, de esta manera los cortes de minado planeados representaran con mayor fidelidad el avance de las palas y cargadores frontales.
- Para el cálculo del **blending** se recomienda usar siempre un optimizador que permita calcular la mejor opción de todas las posibles combinaciones para ello es importante considerar las restricciones y la variable a optimizar.
- Para realizar el cálculo del **blending** óptimo se puede usar distintos softwares de optimización en el mercado, se recomienda el uso de la herramienta **SOLVER** de **EXCEL** por su fácil uso y ser de fácil acceso, esta herramienta utiliza un algoritmo **SIMPLEX** de programación lineal para el cálculo del **blending**.
- Se recomienda tener ecuaciones de cálculo para las variables que representen restricciones para las plantas, para el caso de esta investigación son el Ratox% y el Carbono%, estas ecuaciones se deben ir actualizando con los datos históricos recaudados por las plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Cleque, M. "Optimización de la ley en el secuenciamiento del remanejo de stock piles usando programación lineal entera mixta y Visual Basic" (2020). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Collado, E (2017). "Modelo matemático para optimizar la carga metálica en un horno de fusión para la elaboración de fundiciones grises por el método de programación lineal-método simplex".

Flores, C. "Mejora del grado de extracción de Oro de un mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco en Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. La libertad-2019" (2019). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.

Lazo, C. "Análisis del método de muestreo de detritos de los taladros para la voladura y control de envío de mineral en la Mina Justa, San Juan de Marcona -Nasca-Ica" (2019). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Morales, C (2009 "Metodología de planificación de corto plazo integrando restricciones geometalurgicas"

Morales, H. "Estudio de la paragénesis y química mineral en magnetitas del

- depósito tipo IOCG dominga, IV región, Chile” (2017). Universidad de Chile.
- Reyes, J. “Potencial de mineralización de Cu, Au tipo IOCG en la costa norte del Perú paralelo 9°-12°” (2019). PRO-EXPLO 2019.
- Rojas, J. “Secuenciamiento óptimo de minado para aumentar el VAN en compañía minera Brexia Goldplata Perú S.A.C” (2019). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Tello, S. “Optimización del secuenciamiento de minado a corto plazo con el software Minesight en el tajo Ferrobamba, Las Bambas-Apurímac 2017” (2017). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Trillo, J. “Planificación Minera a Largo Plazo en Xtrata-Tintaya. Lima: Xtrata Copper” (2016). SIPLAMIN 2016
- Sturze, I. “Optimización de la variabilidad del suministro de mineral hacia las plantas concentradoras en gran empresa minera” (2016). Universidad Técnica Federico Santa María.
- Valdez, F. “Programación Lineal en Gestión de Operaciones” (2011). Ciclo de conferencias del IIMP 2011.
- Valencia, R. “Planeamiento de minado a corto plazo del mes de abril de 2013 en la unidad minera ARASI.SAC. proyecto Jesica, ubicado en el distrito de Ocuvi, provincia de Lampa en el departamento de Puno” (2019). Universidad Nacional del Altiplano.
- Vargas, M. “Modelo de planificación minera de corto y mediano plazo incorporando restricciones operacionales y de mezcla” (2011). Universidad De Chile.

Villacorta, H." Planeamiento de minado corto plazo de la unidad minera TAHOE PERU-LA ARENA-TRUJILLO" (2019). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

ANEXOS

Plan de mantenimiento de equipos									
	Flota	Horas por día							
		Equipo	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Carguío	EX5600-6	PH01	18.0	1.2	0.0	12.0	1.0	1.2	1.0
	EX5600-6	PH02	1.2	0.9	1.2	0.9	1.2	4.0	2.1
	EX5600-6	PH03	2.1	0.0	1.0	1.2	0.9	1.2	0.9
	994K	CF01	24.0	24.0	24.0	0.0	2.9	0.0	0.9
	994K	CF02	0.9	2.0	0.9	2.0	0.0	22.0	1.9
Perforación	PV271	PE01	3.6	0.0	3.6	2.9	3.6	2.9	3.6
	PV271	PE02	2.9	3.6	2.9	3.6	2.9	3.6	20.0
	PV271	PE03	3.6	2.9	0.7	2.9	3.6	2.9	3.6
	PV271	PE04	12.0	3.6	2.9	3.6	12.0	3.6	2.9
	PV271	PE05	3.6	2.9	3.6	0.0	3.6	2.9	3.6
	Smartroc D65	PE06	6.5	6.5	6.5	15.0	6.5	6.5	6.5
	Flexiroc T50	PE07	6.5	14.0	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5

ANEXO 01 Plan de mantenimiento de equipos.

FUENTE: Área de Mantenimiento Mina-Mina Justa.

Disponibilidad programada de equipos										
	Flota	Equipo	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Disponibilidad Programada
Carguío	EX5600-6	PH01	25.0%	94.9%	100.0%	50.0%	95.8%	94.9%	95.8%	79.5%
	EX5600-6	PH02	94.9%	96.3%	94.9%	96.3%	94.9%	83.3%	91.2%	93.1%
	EX5600-6	PH03	91.2%	100.0%	95.8%	94.9%	96.3%	94.9%	96.3%	95.6%
	994K	CF01	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	87.9%	100.0%	96.3%	54.9%
	994K	CF02	96.3%	91.7%	96.3%	91.7%	100.0%	8.3%	92.1%	82.3%
	994K	CF03	87.9%	100.0%	91.7%	96.3%	91.7%	96.3%	91.7%	93.6%
Perforación	PV271	PE01	85.1%	100.0%	85.1%	88.0%	85.1%	88.0%	85.1%	88.1%
	PV271	PE02	88.0%	85.1%	88.0%	85.1%	88.0%	85.1%	16.7%	76.6%
	PV271	PE03	85.1%	88.0%	97.1%	88.0%	85.1%	88.0%	85.1%	88.1%
	PV271	PE04	50.0%	85.1%	88.0%	85.1%	50.0%	85.1%	88.0%	75.9%
	PV271	PE05	85.1%	88.0%	85.1%	100.0%	85.1%	88.0%	85.1%	88.1%

ANEXO 02 Disponibilidad de equipos.

FUENTE: Área de Mantenimiento Mina-Mina Justa.

AREA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN DE ORDEN DE TRABAJO	18-May	19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May
MANTENIMIENTO SULFUROS									
SUL	PLANTA CONCENTRADORA	Orden y limpieza general post parada de planta	3	3					
SUL	2111-FE-201	Inspección general de alimentador de placas			5				
SUL	2112-CV-201/202/203	Inspección general de faja						4	
SUL	2147-SC-203	Inspección general de Zaranda		2					
SUL	2133-CR-202/203	Inspección general de chancadora primaria 102/103	2						
SUL	2263-FL-201	Inspección filtro de concentrado							
MANTENIMIENTO POTENCIA									
POT	5821-TL-501	Instalación de contrapeso estruct P06					10	10	10
POT	LT-103 SKID II	PM2 lavado en caliente de líneas(2P)				4			
POT	LT-103 TRAMO B SKID II	PM2 lavado en caliente de líneas (2P de 21P)			4				
MANTENIMIENTO ÓXIDOS									
OXI	CHANCADO	Inspección de equipos chancado primario, secundario			4		4		4
OXI	CV-301/302/303	Inspección general de faja						4	
OXI	FE-304	Inspección general de alimentador vibratorio			2				
OXI	SC-301	Inspección general de Zaranda				4			
OXI	CR-303	Inspección general de chancadora HPGR					3		
OXI	3221-CV-312/313/314	Inspección general de fajas alimentadoras a bateas							4

ANEXO 03 Plan de mantenimiento de plantas.

FUENTE: Área de Mantenimiento Mina-Mina Justa.

Planta de Óxidos		
	Tonelaje(t)	Restricción de carbono(C%)
18-May	18000	<0.4%
19-May	18000	<0.4%
20-May	15000	<0.4%
21-May	18000	<0.4%
22-May	15000	<0.4%
23-May	18000	<0.4%
24-May	18000	<0.4%

**ANEXO 04 Plan de mantenimiento de requerimiento planta de óxidos.
FUENTE: Área de Mantenimiento Mina-Mina Justa.**

Planta de Sulfuros		
	Tonelaje(t)	Restricción de Ratox (CuAs/CuT) %
18-May	16500	< 25%
19-May	18000	< 25%
20-May	18000	< 25%
21-May	18000	< 25%
22-May	18000	< 25%
23-May	15000	< 25%
24-May	18000	< 25%

**ANEXO 05 Plan de mantenimiento de requerimiento planta de sulfuros.
FUENTE: Área de Mantenimiento Mina-Mina Justa.**

ID	Descripción	Grupo	Fecha
JU-001-GNC-002686	Modelo Parcial 596 Fase 1	Grupo BRECA	5/06/21
JU-001-GNC-002684	Modelo Final 716 Fase 2	Grupo BRECA	3/06/21
JU-001-GNC-002683	Modelo Final 704 Fase 2 - Modelo Final 716...	Grupo BRECA	2/06/21
JU-001-GNC-002681	Modelo Final 596 Fase 1	Grupo BRECA	31/05/21
JU-001-GNC-002680	Modelo Final 716 Fase 2	Grupo BRECA	29/05/21
JU-001-GNC-002679	Modelo Final 596 Fase 1	Grupo BRECA	29/05/21
JU-001-GNC-002676	Modelo Parcial 596 Fase 1	Grupo BRECA	28/05/21
JU-001-GNC-002668	Modelo Final 716 Fase 2 Final 704 Fase 2 ...	Grupo BRECA	23/05/21
JU-001-GNC-002663	Modelo Parcial 608 Fase 1 Final 716 Fase 2	Grupo BRECA	18/05/21
JU-001-GNC-002658	Re: Modelo Final 608 Fase 1	Grupo BRECA	15/05/21

**ANEXO 06 Registro de archivos en plataforma ACONEX
FUENTE: Área de Geología Mina-Mina Justa.**

SCRIPT EN PYTHON 2.7

Inputs Economicos

Precios

preciocu = 3.07 #precio del cobre en \$/lb

precioau = 1600 #precio del oro en \$/oz

precioag = 19 #precio de la plata en \$/oz

Pagables

#factor de pagables

paycut = 0.966

payau = 0.9

payag = 0.9

Costo de Mina

cmbase = 1.1187416928513

cminc = 0.03359999999999999

remanejo = 0.958352728213991

Costos Planta de Óxidos

CostoElectroObtencion = 125.487152378247

CostoAcido = 83.3500426034421

CostoProcesoFijoVat = 23.7752290990488

CostoProcesoVariableVat = 1.71341262954002
CostoSostenimientoVat=0.215815934358633
premiocuas = 89.6471534463027
tptecat = 126.280803581329

Costos Planta de Sulfuros

CostoProcesoFijoFlot = 13.9639142623548
CostoProcesoVariableFlot = 3.6252630353995
CostoSostenimientoFlot=0.719994780145478
HumedadConc = 1.09
tptecon = 122.691072646799
tc = 87.7766178973809
rccu = 0.0877766178973809
rcau = 6.53848922977804
rcag = 0.55060961934973

Gastos Generales y Regalias

ga = 2.09334768471265 #gastos generales
CostoSostenimientoGA=0.0264591741530478
Royalty = 1.24 #regalias

Valorización

1. Ingresos

ton = 5*5*12*\$(SG) #Tonelaje de bloque

1a. Planta de Sulfuros

cutrec = ton*\$(CUT)*\$(FCUR)*2204.62/10000
aurec = ton*\$(AU)*FAUR_V/31.104/100000
agrec = ton*\$(AG)*FAGR_V/100/31.104

ingresoscut = cutrec*preciocu
ingresosau = aurec*precioau
ingresosag = agrec*precioag

ingresosmill = ingresoscut+ingresosau+ingresosag

1b. Planta de Óxidos

cuasrec = ton*\$(CUAS)*\$(LCUR)/10000
preciocuas = preciocu*2204.62
ingresoscuas = cuasrec*(preciocuas+premiocuas)

2. Egresos

2a. Costo de Mina

No se considera para el cálculo del BENE

banco = \$(elev)

if (banco < 752):

 cm = (cmbase+cminc*(752-banco) /12) *ton

if (banco >= 752):

 cm = cmbase*ton

2b. Generales y Administrativos (G&A)

cga = (ga+CostoSostenimientoGA) *ton

2c. Costo Variable - Planta de Sulfuros

#Todos los sulfuros son remanejados

opexflot =

(CostoProcesoVariableFlot+CostoProcesoFijoFlot/6)+CostoSostenimientoFlot

copexflot = (opexflot+remanejo) *ton

2d. Costo Variable - Planta de Óxidos

gac_m_calc = 1.4+25.4+18.8*\$(C)

gac_p = gac_m_calc*ton

acidopex =0

ewopex=0

if (ton > 0 and gac_p > 0):

 gac = gac_p/ton

 acidopex = CostoAcido/1000*gac

 ewopex = CostoElectroObtencion*cuasrec/ton

fixedleach = CostoProcesoVariableVat + CostoProcesoFijoVat/12

opexleach = (acidopex+ewopex+fixedleach) +CostoSostenimientoVat

copexleach = opexleach*ton

2e. Costo de Transporte de Concentrados

concton = 0

if (FCCU_V > 0):

 concton = (cutrec/2204.62)/(FCCU_V) *100

ctctpte = (tc+tptecon*HumedadConc) *concton

2f. Deducibles, Costo de Venta y Royalties de Concentrados

dedcu = (1-paycut) *cutrec*preciocu
dedau = (1-payau) *aurec*precioau
dedag = (1-payag) *agrec*precioag
ded = dedcu+dedau+dedag

crc = rccu*cutrec*paycut+rcau*aurec*payau+rcag*agrec*payag

royaltymill = Royalty*(ingresosmill-concton*tc-crc)/100

2g. Costo de Transporte y Royalties de Catodos

ctptecat = tptecat*cuasrec
royaltyvat = Royalty/100*ingresoscuas

Margen unitario

if \$(CLASS) == 1 or \$(CLASS) == 2 or \$(CLASS) == 901 or \$(CLASS) == 902:
ben_mill_sm = ingresosmill - cga - copexflot - ctctpte - crc - royaltymill - ded
ben_vat_sm = ingresoscuas - cga - copexleach - ctptecat - royaltyvat

if \$(CUAS) < 0.15):
ben_vat_sm = 0

if \$(CUT) < 0.2):
ben_mill_sm = 0

if (ben_mill_sm < 0):
ben_mill_sm = 0

if (ben_vat_sm < 0):
ben_vat_sm = 0

Economicos

e_pcostvat = copexleach + cga
e_scvat = royaltyvat + ctptecat
e_incvat = ingresoscuas

e_pcostmill = copexflot + cga
e_scmill = crc + royaltymill + ctctpte + ded
e_incmill = ingresosmill
cuaslbs = cuasrec*2204.62
cutlbs = cutrec

OPXL_V = opexleach
OPXF_V = opexflot

Destino

$\$(DEST) = 1$

if (ben_vat_sm > ben_mill_sm) :
 $\$(DEST) = 2$

if ((ben_mill_sm == 0) and (ben_vat_sm == 0)) :
 $\$(DEST) = 0$

Costo Unitarios

if (ben_mill_sm > 0):
 $\$(BMU) = \text{ben_mill_sm} / (\text{ton})$

if (ben_vat_sm > 0):
 $\$(BVU) = \text{ben_vat_sm} / (\text{ton})$

if ($\$(BMU) \geq \(BVU)):
 $\$(BENE) = \(BMU)

if ($\$(BMU) < \(BVU)):
 $\$(BENE) = \(BVU)

ANEXO 07 Código Python para el cálculo del Margen Unitario

FUENTE: Área de planeamiento Corto plazo-Mina Justa