

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

---

**“INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA UBICACIÓN OPTIMA  
DE PLATAFORMAS Y SU NÚMERO RESPECTIVO DE BAHÍAS DE CAMBIO EN  
CALIENTE EN LA MINA CERRO VERDE – AREQUIPA - 2019”**

---

**PRESENTADO POR:**

Bach. MARCO ANTONIO BUSTAMANTE MORALES

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO DE MINAS

**ASESOR:**

ING. ANDRÉS GÓMEZ NOBLEGA

**CUSCO - PERÚ**

**2022**

## ***Dedicatoria***

*A mis padres Tadeo Bustamante Álvarez y Natividad Morales Enriquez, porque sin su apoyo y continua formación nada de esto sería posible.*

*A mi hermano José Carlos Bustamante Morales que también es mi amigo con quien comparto la Profesión.*

## ***Agradecimiento***

*A mis Docentes por transmitirme sus conocimientos y experiencias.*

*A SMCV por permitirme ser parte de la empresa.*

*A mis compañeros de SMCV por contribuir a mi formación profesional y por su amistad.*

## RESUMEN

Con el presente trabajo de investigación se pretende incrementar la producción en la Mina Cerro Verde a partir de la ubicación óptima de plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente, mediante una nueva metodología que permita incluir estos sistemas en la planificación a corto, mediano y largo plazo.

Para lo cual se evaluará por separado los factores que influyen en el cálculo óptimo de número de bahías por plataforma de cambio en caliente y ubicación óptima de plataformas de cambio en caliente mediante simulación determinística y matrices respectivamente. El análisis de información se hará soportado por los softwares Mineplan, Microsoft Excel y VBA en Microsoft Excel.

De esta manera se desarrollará un modelo matemático y una metodología que nos permita definir la ubicación óptima y su número respectivo de bahías de cambio en caliente, luego se evaluará el impacto de la aplicación en la producción de la Mina Cerro Verde para un horizonte de planificación de 5 años.

Siendo este estudio novedoso da los principios matemáticos para realizar una similar evaluación en otras operaciones mineras.

*Palabras clave: Producción, Relevo de operadores, Cambio en caliente, Minería Superficial, modelo matemático.*

## ABSTRACT

The aim of the present research work is increase the production in Cerro Verde Mine from the optimal location of platforms and their respective number of hot-swap bays, through a new methodology that allows these systems to be included in short-term planning, medium and long term.

For which, the factors that influence the optimal calculation of the number of bays per hot-swap platform and optimal location of hot-swap platforms will be separately evaluated through deterministic simulation and matrices respectively. The information analysis will be supported by the softwares Mineplan, Microsoft Excel and VBA in Microsoft Excel.

In this way, a mathematical model and a methodology will be developed that allows us to define the optimal location and its respective number of hot swap bays, then the impact of the application on the production of the Cerro Verde Mine will be evaluated for a planning horizon of 5 years.

Being this novel study, it gives the mathematical principles to carry out a similar evaluation in others mining operations.

*Key words: Production, Change of operators, hot swap, Open Pit Mining, Mathematical model.*

## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
INDICE DE CONTENIDO.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xv

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problema objeto de investigación .....	05
1.1.1. Problema general .....	06
1.1.2. Problemas específicos .....	06
1.2. Objetivos de la investigación .....	06
1.2.1. Objetivo General .....	06
1.2.2. Objetivos específicos .....	07
1.3. Justificación de la investigación .....	07
1.4. Delimitación de la investigación.....	07
1.4.1. Delimitación espacial .....	07
1.4.2. Delimitación temporal.....	07
1.5. Hipótesis .....	08
1.5.1. Hipótesis general .....	08
1.5.2. Hipótesis específicas .....	08
1.6. Operacionalización de variables .....	09
1.7. Diseño Metodológico de la investigación.....	09
1.7.1. Tipo de Investigación .....	09
1.7.2. Método de Investigación .....	10
1.7.3. Universo, población y muestra.....	10
1.6.3.1. Población.....	10

1.6.3.2. Muestra.....	10
1.6.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	10
1.6.4.1.Técnicas e instrumentos .....	10
1.6.4.2.Técnicas de procesamiento de información .....	11

## **CAPÍTULO II**

### **AMBITO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN**

2.1.Descripción general de la empresa .....	12
2.2.Historia .....	13
2.3.Ubicación .....	14
2.4.Acceso .....	15
2.5.Clima .....	16
2.6.Geología .....	16
2.6.1. Geología local .....	16
2.6.2. Geología estructural .....	20
2.6.3. Geología hidrotermal .....	20
2.6.4. Geología económica .....	22
2.6.5. Reservas .....	23
2.7. Descripción del proceso productivo .....	23
2.7.1. Proceso hidrometalúrgico .....	24
2.7.2. Proceso de recuperación de concentrado .....	24
2.8. Ciclo Productivo de Mina .....	24
2.8.1. Perforación .....	24
2.8.2. Voladura .....	31
2.8.3. Carguío.....	36
2.8.4. Acarreo .....	39
2.9. Ubicación de origen de material y destinos .....	40

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

3.1. Antecedentes de la investigación .....	42
3.1.1. Internacionales .....	42

3.1.2. Nacionales .....	43
3.2. Bases Teóricas y científicas .....	44
3.2.1. Sistema de carguío y acarreo .....	44
3.2.1.1.El carguío .....	44
3.2.1.2.El acarreo.....	44
3.2.1.3.Servicios auxiliares .....	45
3.2.1.4.Ciclo de carguío y transporte .....	45
3.2.2. Sistema de optimización de Flota – Dispatch .....	46
3.2.3. Productividad .....	49
3.2.4. Tiempos en los equipos de minería .....	49
3.2.5. Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) .....	53
3.2.6. KPIs de Productividad .....	54
3.2.7. Planificación minera .....	55
3.2.7.1.Diseño de fases botaderos y stocks .....	56
3.2.7.2.Rutas de acarreo .....	56
3.2.7.3.Secuencia de extracción .....	57
3.2.7.4.Flujo de acarreo .....	57
3.2.8. Modelo científico .....	58
3.2.8.1.Clasificación de modelos científicos .....	58
3.2.8.2.Fases de construcción de un modelo matemático .....	60
3.2.9. Simulación .....	62
3.2.10. Definición de términos básicos .....	63
3.2.10.1. Relevó de operadores .....	63
3.2.10.2. Cambio en caliente .....	63
3.2.10.3. Plataformas de cambio en caliente .....	63
3.2.10.4. Bahías .....	63
3.2.10.5. Ubicación de plataformas de cambio en caliente .....	63

## **CAPITULO IV**

### **METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE PLATAFORMAS Y SU NÚMERO RESPECTIVO DE BAHÍAS DE CAMBIO EN CALIENTE**

4.1. Definición del problema.....	65
4.2. Modelo matemático para calcular el número de bahías optimo .....	66
4.2.1. Conceptualización del modelo .....	66
4.2.2. Diseño y construcción del modelo .....	68
4.2.3. Simulación .....	69
4.2.4. Resultados .....	77
4.3. Metodología para determinar la ubicación óptima de plataformas de cambio en caliente .....	78
4.3.1. Conceptualización del modelo .....	78
4.3.2. Diseño y construcción del modelo .....	78
4.3.3. Análisis de datos .....	80
4.3.4. Resultados .....	80
4.4. Metodología general para determinar la ubicación optima de plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente .....	81

## **CAPITULO V**

### **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO EN LA MINA CERRO VERDE**

5.1. Factores que afectan el cambio de operadores en plataformas de parqueos en la Mina Cerro Verde.....	83
5.1.1. Ubicación de Parqueos.....	83
5.1.2. Modo de cambio .....	84
5.1.3. Tiempo de cambio .....	86
5.2. Factores que afectan el cambio de operadores en plataformas de cambio en caliente en la mina Cerro Verde.....	86
5.1.1. Ubicación de plataformas de cambio en caliente .....	86
5.1.2. Modo de cambio.....	87
5.1.3. Tiempo de cambio.....	90

5.1.4. Tiempo total de trabajo del sistema .....	90
5.3. Cálculo del número de bahías optimo.....	91
5.3.1. Determinación del tiempo de cambio en plataformas de cambio en caliente .....	91
5.3.2. Determinación del intervalo de arribo a las plataformas de cambio en caliente ...	92
5.3.3. Determinación de la matriz de número de bahías optimas .....	93
5.4. Ubicación optima de plataformas de cambio en caliente.....	94
5.4.1. Determinación del horizonte de estimación .....	94
5.4.2. Determinación de posibles ubicaciones de plataformas de cambio en caliente ....	95
5.4.3. Determinación de matriz de intervalos de arribo por periodo por ruta de acarreo .....	100
5.4.4. Determinación de matriz de número de bahías de cambio en caliente optimas por plataforma por periodo .....	100
5.4.5. Determinación de matriz de número de bahías de cambio en caliente optimas por plataforma por periodo recomendado .....	101
5.4.6. Estimación de camiones atendidos por periodo .....	103
5.5. Análisis de resultados .....	103
5.5.1. Información de Plan LOM .....	103
5.5.2. Bahías calculadas por periodo .....	104
5.5.3. Camiones atendidos en bahías de cambio en caliente .....	105
5.5.4. Producción adicional estimada .....	105
5.5.5. Ingresos adicionales estimados .....	106
 Conclusiones .....	 108
Recomendaciones .....	110
Referencias Bibliográficas .....	111
Anexos.....	112

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°01: Mapa de Ubicación de Mina Cerro Verde – Arequipa.....	14
Figura N°02: Acceso a Mina Cerro Verde desde Arequipa .....	15
Figura N°03: Columna estratigráfica Regional del distrito Minera Cerro Verde .....	19
Figura N°04: Modelo de diseño de mallas de Perforación.....	28
Figura N°05: Mallas Triangulares .....	30
Figura N°06: Parámetros generales de diseño de tajo.....	30
Figura N°07: Modelo de detalle de carga.....	32
Figura N°08: Modelo de diseño de carga.....	32
Figura N°09: Diagrama de Carga lineal de Heavy Anfo .....	34
Figura N°10: Diagrama de densidad de Heavy Anfo.....	34
Figura N°11: Diagrama de energía de Heavy Anfo .....	35
Figura N°12: Diagrama de VOD de Heavy Anfo .....	35
Figura N°13: Pala eléctrica P&H 4100 XPC .....	36
Figura N°14: Pala Hidráulica O&K RH200.....	37
Figura N°15: Tractor de orugas Cat D11T.....	37
Figura N°16: Tractor de ruedas Cat 824 .....	38
Figura N°17: Motoniveladora Cat 24M .....	38
Figura N°18: Cisterna de agua Cat 777 .....	39
Figura N°19: Mapa de Orígenes de material y destinos SMCV 2019 .....	41
Figura N°20: Ciclo de Carguío y Acarreo.....	45
Figura N°21: Distribución de tiempos en los equipos de minería .....	50
Figura N°22: Diseño de rutas de acarreo .....	56
Figura N°23: Diagrama de flujo de las principales etapas de un estudio de simulación .....	62
Figura N°24: Diseño de plataforma de cambio en caliente.....	67
Figura N°25: Plantilla en Excel para cálculo de camiones atendidos en bahías de cambio en caliente.....	69
Figura N°26: Diagrama de árbol de valores asignados a las variables .....	70
Figura N°27: Número de Bahías vs Tiempo total de trabajo .....	73
Figura N°28: Número de Bahías vs Tiempo de espera total .....	75
Figura N°29: Número de Bahías vs Camiones atendidos .....	76

Figura N°30: Diagrama para determinar la ubicación óptima de Plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente .....	82
Figura N°31: Foto de parqueo en SMCV .....	84
Figura N°32: Partes de parqueo en SMCV .....	85
Figura N°33: Foto de Plataforma de Cambio en caliente en Cía. Minera Antapaccay .....	87
Figura N°34: Esquema de plataforma de cambio en caliente a nivel de cabina .....	88
Figura N°35: Esquema de plataforma de cambio en caliente a nivel de piso .....	89
Figura N°36: Plan LOM 2019 – Mapa 2020 .....	95
Figura N°37: Plan LOM 2019 – Mapa 2021 .....	96
Figura N°38: Plan LOM 2019 – Mapa 2022 .....	96
Figura N°39: Plan LOM 2019 – Mapa 2023 .....	97
Figura N°40: Plan LOM 2019 – Mapa 2024 .....	97
Figura N°41: Ubicaciones tentativas de Plataformas de cambio en caliente .....	99
Figura N°42: Bahías recomendadas por periodo .....	102

## INDICE DE TABLAS

Tabla N°01: Operacionalización de variables .....	09
Tabla N°02: Técnicas e instrumentos.....	11
Tabla N°03: Acceso a Mina Cerro Verde .....	15
Tabla N°04: Reservas.....	23
Tabla N°05: Modelos de Voladura según RQD y UCS .....	26
Tabla N°06: Parámetros de perforación según RQD .....	28
Tabla N°07: Agentes de voladura usados en SMCV .....	33
Tabla N°08: Resumen de equipos en la Mina Cerro Verde 2019 .....	40
Tabla N°09: Ejemplo de resultado de secuencia de extracción .....	57
Tabla N°10: Variables en una Plataforma de cambio en caliente .....	68
Tabla N°11: Rango de valores asignados a cada variable.....	69
Tabla N°12: Valores asignados a variables para ejemplo .....	71
Tabla N°13: Resultados de corrida en plantilla con #Tandas = 1 .....	71
Tabla N°14: Resultados de corrida en plantilla con #Tandas = 2 .....	71
Tabla N°15: Resultados de corrida en plantilla con #Tandas = 3 .....	72
Tabla N°16: Resultados de corrida en plantilla con #Tandas = 4 .....	72
Tabla N°17: Intervalos de arribo por periodo por ubicación propuesta .....	79
Tabla N°18: Número máximos de camiones atendidos por intervalos .....	79
Tabla N°19: Bahías recomendadas por periodo .....	80
Tabla N°20: Camiones atendidos por periodo .....	81
Tabla N°21: Horario de ingreso y salida de Op. Mina.....	91
Tabla N°22: Tiempos destinados al cambio de guardia.....	92
Tabla N°23: Matriz de número de bahías optimo .....	93
Tabla N°24: Ubicaciones tentativas de Plataformas de cambio en caliente .....	99
Tabla N°25: Intervalos de arribo por periodo por ubicación propuesta.....	100
Tabla N°26: Cantidad de bahías por periodo por ubicación propuesta.....	101
Tabla N°27: Bahías recomendadas por periodo .....	102
Tabla N°28: Número de camiones máximo atendidos por día por periodo con las plataformas y bahías determinadas .....	103
Tabla N°29: Datos Plan LOM 2019 .....	104
Tabla N°30: #Bahias y #MaxCamAt por guardia .....	104

Tabla N°31: Camiones a relevar en Bahías de cambio en caliente .....	105
Tabla N°32: Producción adicional con la implementación de Plataformas de cambio en caliente.....	106
Tabla N°33: Estimación de ingresos adicionales con la implementación de Plataformas de cambio en caliente .....	107

## INTRODUCCION

El relevo de operadores es una actividad dentro del proceso de operación de equipos en minería a tajo abierto la cual significa una demora operativa, a partir del interés en minimizar esta demora surge el termino cambio en caliente, el cual hace referencia a que el equipo no pare de trabajar o en la práctica minimizar la demora, para lo cual y dependiendo de variados factores como tipo de equipo, diseño de la mina, legislación local, convenio de sindicato, entre otros puede tener diferentes soluciones. Posteriormente aparece el término plataformas de cambio en caliente, las cuales son una especie de parqueos diseñados específicamente para camiones y que están ubicados de tal manera que se minimice el desplazamiento adicional de los camiones fuera de su ruta programada de acarreo y están acondicionados para que el relevo de operadores sea lo más rápido posible.

Ya que se tenía experiencias exitosas de implementación de Plataformas de cambio en caliente en otras operaciones mineras, se planteó su implementación en la Mina Cerro Verde; debido a que esta operación minera es bastante compleja ya que tiene 4 destinos de procesos, 3 tajos, 4 botaderos además de stocks de mineral y es una de las minas con mayor movimiento de material del mundo; el problema radicaba en definir la ubicación de las plataformas y la capacidad de estas, o en otras palabras el número de bahías.

Para poder definir el número de bahías optimo por plataforma, se modelo una plataforma de cambio en caliente en Excel y luego se simuló sensibilizando los valores de entrada, generando múltiples casos que fueron llevados a gráficos que relacionaban las variables, a partir de estos modelos gráficos, se generó el modelo matemático para el cálculo óptimo de bahías.

Ahora para la ubicación óptima de plataformas se desarrolló una metodología con una secuencia lógica de pasos a partir del plan de minado, mapas y rutas de acarreo por periodo.

La investigación tiene como objetivo general incrementar la producción a partir de la ubicación óptima de plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente y como objetivos específicos: determinar los factores que influyen en el cambio de operadores de camiones en parqueos; determinar los factores que influyen para ubicar las plataformas y calcular su número respectivo de bahías de cambio en caliente; y determinar la ubicación óptima de plataformas y su número de bahías de cambio en caliente y su influencia en la producción.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Problema objeto de investigación**

Cerro Verde es una operación minera de cobre de baja ley, por lo cual estratégicamente y para continuar con las operaciones se vio conveniente hace algunos años hacer un incremento radical en su producción colocándola actualmente como una de las minas más grandes del mundo, la cual cuenta con la planta concentradora más grande del mundo de capacidad instalada de 240,000 tm/día y otra de 120,000 tm/día, además de una chancadora de material lixiviable de 90,000 tm/día lo que exige de acuerdo al striping ratio un movimiento de material superior a 900,000 tm/día.

Para este movimiento se requiere de una gran cantidad de equipos de perforación, acarreo, carguío y auxiliares generando una alta interacción en los tres tajos la cual complica en temas de seguridad en general, distribución de personal, entre otros.

Debido a esto se lideran innovaciones de categoría mundial que permitan optimizar la producción y continuar permitiendo que la operación sea rentable manejando altos estándares de seguridad; siendo la flota de acarreo cercana a los 120 camiones mineros y representando un 40% aproximadamente de los costos totales del minado, enfocarse en mejorar cualquier aspecto de este sistema resulta importante por el impacto que pueda tener, es por eso que este trabajo pretende optimizar el sistema de relevos de operadores de camiones mineros y de esta manera incrementar la producción en la mina Cerro Verde.

### **1.1.1. Problema general**

¿De qué forma la ubicación óptima de plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente influye en la producción?.

### **1.1.2. Problemas específicos**

- a) ¿Qué factores influyen en el cambio de operadores de camiones en parqueos?.
- b) ¿Qué factores influyen para ubicar las plataformas y calcular su número respectivo de bahías de cambio en caliente?.
- c) ¿De qué forma se puede determinar la ubicación óptima de plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente y cuál es su influencia en la producción?.

## **1.2. Objetivos de la investigación**

### **1.2.1. Objetivo General**

Incrementar la producción a partir de la ubicación óptima de plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar los factores que influyen en el cambio de operadores de camiones en parqueos.
- b) Determinar los factores que influyen para ubicar las plataformas y calcular su número respectivo de bahías de cambio en caliente.
- c) Determinar la ubicación óptima de plataformas y su número de bahías de cambio en caliente y su influencia en la producción.

### **1.3. Justificación de la investigación**

La presente investigación es importante debido que al ser Cerro Verde una mina de cobre de baja ley requiere de forma crítica la optimización de todos sus procesos; ya que el sistema de acarreo representa alrededor del 40% de los costos de minado, resulta significativo cualquier esfuerzo de mejorar la productividad de este sistema.

### **1.4. Delimitación de la investigación**

#### **1.4.1. Delimitación espacial**

El estudio se desarrollo en la Mina Cerro Verde, ubicada en la provincia Arequipa en la región de Arequipa.

#### **1.4.2. Delimitación temporal**

El desarrollo de la presente investigación se realizó de Diciembre del 2017 a Julio del 2018.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

La ubicación óptima de plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente permite incrementar significativamente la producción.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a) Los factores que más influyen en el cambio de operadores de camiones son distancias, tiempo, forma de cambio, etc.
- b) Los factores que influyen para ubicar las plataformas y calcular su número respectivo de bahías son el flujo de acarreo, distancias y los tiempos de cambio de operador.
- c) La ubicación óptima de plataformas y su número de bahías de cambio en caliente pueden ser determinados en base a algoritmos matemáticos, lo cual incrementa la producción.

## 1.6. Operacionalización de variables

Tabla N°01: Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Variables Independientes:</b>		
Bahías de cambio en caliente	Tiempo	Intervalo de arribo de camiones a la plataforma
	Cantidad	Número de bahías por plataforma por periodo
Plataformas de cambio en caliente	Ubicación	Coordenadas
	Tiempo	Periodo de uso de plataformas
	Cantidad	Número de plataformas por periodo
	Cantidad	Camiones atendidos por Plataforma por Periodo
<b>Variable Dependiente:</b>		
Producción de Mina Cerro Verde	Producción	Producción por día
	Incremento de la producción	%

Fuente: Elaboración propia

## 1.7. Diseño metodológico de la investigación

### 1.7.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación que caracteriza el presente proyecto de investigación es EXPERIMENTAL – EXPLORATORIA, pues mediante simulación se intervino los factores relacionados a las Plataformas de Cambio en Caliente y se desarrolló algoritmos matemáticos y una metodología que nos permite definir la ubicación óptima y su número respectivo de bahías de cambio en caliente para un horizonte de planificación, seguidamente se evaluó el impacto de esta propuesta en la producción; siendo este estudio novedoso da los principios matemáticos para realizar la misma evaluación en otras operaciones mineras

### **1.7.2. Método de investigación**

El método de investigación que se empleo en el presente trabajo fue el **INDUCTIVO – DEDUCTIVO**, porque a partir del caso particular de estudio de plataformas de cambio en caliente en la Mina Cerro verde se desarrolla un criterio general de cálculo, y seguidamente se evaluó su aplicación a la Mina Cerro Verde.

### **1.7.3. Universo, población y muestra**

#### **1.7.3.1.Población**

Para el presente proyecto de investigación se tiene como población el total de la flota de acarreo conformada por 91 camiones CAT730D y 38 camiones Komatsu 930E.

#### **1.7.3.2.Muestra**

Debido a que se puede acceder a toda la información de la flota de camiones necesaria para el estudio mediante el sistema Dispatch, se toma como muestra los 129 camiones que corresponde al total de la flota.

### **1.7.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **1.7.4.1.Técnicas e instrumentos**

Las técnicas e instrumentos utilizados en el presente trabajo se muestran en la Tabla N°02.

*Tabla N°02: Técnicas e instrumentos*

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Documental	Reportes digitales
Entrevista	Ficha de entrevista
Reunión de expertos	Dialogo con expertos

Fuente: Elaboración propia

#### **1.7.4.2. Técnicas de procesamiento de información**

La información de los datos se evaluó y analizó, luego se procesó los datos con herramientas informáticas, Microsoft Excel, Minesight (ahora Mineplan) y Google Earth.

La presentación de datos se mostrará a través de:

- Mapas
- Simulación
- Tablas y gráficos

## **CAPÍTULO II**

### **AMBITO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. Descripción general de la empresa**

Cerro Verde es un complejo minero de cobre y molibdeno a cielo abierto localizado aproximadamente a 17 millas (27 km) al suroeste de Arequipa, Perú.

Las actividades de construcción asociadas con una expansión a gran escala en Cerro Verde se completaron en septiembre de 2015. El proyecto amplió las instalaciones de concentradores de 120.000 toneladas métricas por día (MTD) a 360.000 mtd y proporciona la producción incremental anual de aproximadamente 600 millones de libras de cobre y 15 millones de libras de molibdeno.

La mina Cerro Verde es un yacimiento de cobre que tiene óxidos y sulfuros primarios y secundarios. Los minerales oxidados de cobre predominantes son brochantita, crisocola, malaquita y cobre "pitch". Calcosina y covelina son los más importantes minerales de sulfuro de cobre secundarios. La calcopirita y molibdenita son los sulfuros primarios dominantes.

La operación de Cerro Verde incluye un concentrador de 360.000 mtd y las instalaciones de lixiviación. La producción de cobre de lixiviación se deriva de una planta de lixiviación 90.000 mtd y un sistema de lixiviación de ejecución de la mina. La operación

de lixiviación SX / EW (extracción de solventes / electrodeposición) tiene una capacidad de aproximadamente 200 millones de libras de cobre al año.

Actualmente la propiedad está dividida 53.56% FCX; 21% SMM Cerro Verde Netherlands (una subsidiaria de Sumitomo Metal Mining Company Ltd.); 19.58% Compañía de Minas Buenaventura S.A.A; y 5,86% de otros accionistas cuyas acciones se negocian en la Bolsa de Valores de Lima.

## **2.2. Historia**

- 1800: Mineros españoles extrajeron mineral de óxido de cobre de alta ley de Cerro Verde y la enviaron a Gales a mediados de la década de 1800.
- 1916 hasta 1970: la dueña de la propiedad durante esos años fue Anaconda.
- 1970: Es adquirida por el gobierno peruano que extraía minerales de óxido de Cerro Verde y construyó una de las primeras instalaciones de SX / EW del mundo en 1972.
- 1994: Cyprus Amax compró la operación y el capital invertido sustancial en la propiedad para actualizar y mejorar la productividad. En los ocho años después de la privatización, la producción de cobre aumentó en alrededor de un 350% y los costos se redujeron en más del 40%.
- 1999: Cerro Verde pasó a formar parte de la cartera de explotación minera de la Corporación Phelps Dodge, tras la compra de Cyprus Amax Minerals Company.
- 2006: entró en operación la Concentradora de Sulfuros Primarios, proyecto que demandó una inversión de US\$ 850 millones, con una capacidad de tratamiento de 108,000 TMD de mineral.

- En el año 2007, Freeport-McMoRan adquiere la corporación Phelps Dodge.
- 2015: Las actividades de construcción asociadas con una expansión a gran escala en Cerro Verde se completaron en septiembre con la cual se amplió la capacidad de la planta de sulfuros a 360 mtd.

### 2.3. Ubicación

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. es un complejo minero ubicado en el distrito de Uchumayo, en la provincia de Arequipa, aproximadamente a 27 km de la ciudad de Arequipa y a una altitud promedio de 2.600 metros sobre el nivel del mar.

Las coordenadas UTM en WGS 84 19L son:

- Norte: 8 170 344 N
- Este: 223 130 E

*Figura N°01: Mapa de ubicación de Mina Cerro Verde – Arequipa*



Fuente: Elaboración propia

## 2.4. Acceso

El asiento minero Cerro Verde se encuentra ubicado a 27 km de la ciudad de Arequipa, a una altitud de 2 700 msnm, en los distritos de Uchumayo y Yarabamba, provincia de Arequipa. El acceso al asiento minero Cerro Verde se realiza a través de dos carreteras. Una de las cuales es una carretera asfaltada de 27 km de largo que viene desde Arequipa hasta las instalaciones del asiento minero y es usada como acceso principal a la mina. La otra es una carretera de 100 km de largo que viene desde la costa. Esta última es de acceso restringido en un tramo de 12 km y se utiliza actualmente como vía para el transporte de los cátodos de cobre hacia el puerto de Matarani.

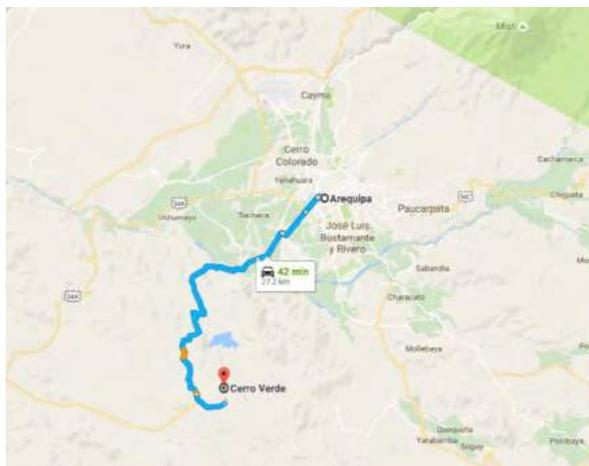
Cabe mencionar que todo el personal que labora en SMCV es transportado diariamente desde Arequipa hasta Mina y viceversa para cumplir con sus labores.

*Tabla 03: Acceso a Mina Cerro Verde*

Acceso por la Panamericana Sur, desde Lima			
Lima – Cerro Verde	Asfaltado	1003 Km	14 hr.27min
Acceso por vía terrestre desde la ciudad de Arequipa			
Arequipa - Cerro Verde	Asfaltado	27 km	45 min.

Fuente: Elaboración propia

*Figura N° 02: Acceso a Mina Cerro Verde desde Arequipa*



Fuente: Elaboración propia

## **2.5. Clima**

Generalmente templado y seco, no llega a tener inviernos muy fríos ni veranos fuertes de puro calor, la temperatura normalmente no sube sobre 25 grados centígrados y también es raro que baje de los 10 grados centígrados.

La humedad promedio es de 46%, en verano puede llegar hasta un 70% y en las demás estaciones como invierno, otoño y primavera llega a un mínimo de 27%. Por otra parte la época de lluvias suelen ser entre los meses de enero y marzo las cuales no son exageradas.

## **2.6. Geología**

El asiento minero Cerro Verde está emplazado regionalmente en un área constituida por diversos tipos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, con edades geológicas comprendidas entre el Precámbrico y el Cuaternario reciente. El basamento en el área de Cerro Verde está constituido por las unidades litoestratigráficas: Gneis Charcani, Conglomerado Tinajones, Volcánico Chocolate, Formación Socosani y el grupo Yura, las cuales se encuentran cortadas por las super unidades Granodiorita Tiabaya y Granodiorita Yarabamba, rocas intrusivas del complejo “La Caldera” . Los yacimientos Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro son de tipo pórfido de cobre y molibdeno emplazados en el segmento sur del Batolito de la Costa, Segmento Arequipa, Superunidades Tiabaya y Yarabamba.

### **2.6.1. Geología local**

A continuación, se hace una breve descripción de las principales características de las rocas del área de Cerro Verde, de la más antigua a la más reciente.

El Gneis Charcani del Precámbrico – Paleozoico Inferior, se compone de gneis bandeados de grano medio a grueso con abundante ortosa, cuarzo y biotita. Los principales afloramientos de Gneis Charcani se ubican en el lado norte, oeste y sur del yacimiento Cerro Verde, y al norte y sur de Santa Rosa.

Sobre el Gneis Charcani, en discordancia angular aflora el Conglomerado Tinajones del Triásico-Jurásico.

El Volcánico Chocolate, del Jurásico inferior, se compone de una gruesa secuencia marrón verdusca, de derrames y tobas volcánicas basáltico-andesíticas intercaladas con calizas y lutitas.

La Formación Socosani, del Jurásico inferior a medio está constituida por una gruesa secuencia gris de calizas, lutitas, areniscas y cuarcitas que suprayacen con ligera discordancia angular a los volcánicos Chocolate.

El Grupo Yura, de edad Jurásico superior a Cretáceo inferior, está constituido por una secuencia de lutitas oscuras carbonatadas, con intercalaciones de cuarcitas pardas en la base, con cuarcitas masivas y calizas en la parte superior.

Las rocas intrusivas cretácico-terciarias, correspondientes a la última de las tres etapas principales de actividad ígnea, están constituidas por una serie de intrusiones pertenecientes al Batolito de la Costa, y que fueron las causantes de la mineralización de los yacimientos de cobre y molibdeno.

El complejo diorita augita, de aproximadamente mayor que 100 millones de años de edad, cuyo afloramiento principal se ubica en la parte noreste, noroeste y suroeste del proyecto Cerro Verde, constituye la periferia o halo metamórfico del Batolito. Este halo se halla

muy fracturado e intruido, con relleno de epidota en las fracturas. La Granodiorita Tiabaya, de aproximadamente 78 millones de años de edad de textura equigranular y mineralogía compuesta por plagioclasas, cuarzo y ortosa, aflora al noreste de los yacimientos Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro.

La Granodiorita Yarabamba de 68 millones de años es el intrusivo de mayor afloramiento en el área de estudio.

Los pórfidos dacítico – monzonítico Cerro Verde y Santa Rosa, de textura porfirítica es un stock de 58 a 60 millones de años asociado directamente con la mineralización de las rocas encajantes con cobre primario de los yacimientos de Cerro Verde y Santa Rosa. Aflora como pequeños apófisis dentro de la granodiorita Yarabamba, en el área de Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro.

Específicamente en el área de las obras proyectadas, afloran principalmente rocas intrusivas superunidades granodioritas de Yarabamba y granodioritas de Tiabaya, gneis Charcani, volcánico Cerro Negro y en menor porcentaje brechas de Turmalina.

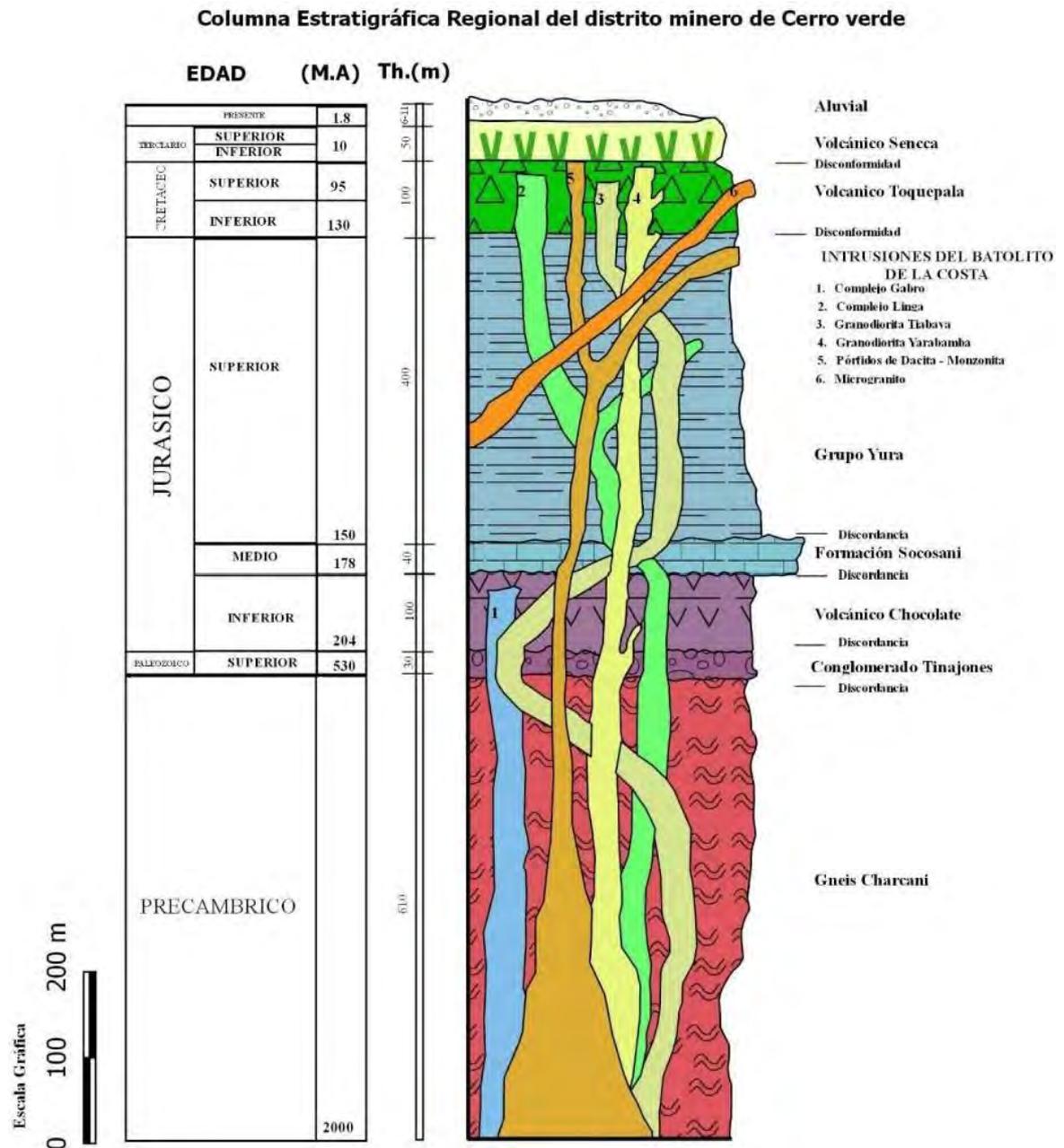
En el área de los depósitos de relaves Enlozada, afloran rocas del volcánico Chocolate, conglomerado Tinajones, pegmatitas microgranito, gneis Charcani y granodioritas Tiabaya.

Las rocas cuaternarias recientes, están constituidas por una serie de depósitos de origen eólico, volcánico sub-aéreo, coluvial y aluvial. Estos depósitos se encuentran tanto en las laderas de los cerros, como en los propios canales de drenaje o quebradas.

Los depósitos eólicos, sub-aéreos y coluviales compuestos por delgadas capas de arenas, cenizas blanquecinas y clastos angulosos inconsolidados de granulometría y litología

heterogéneas, en matriz arenosa. Se encuentran rellenando los lechos de las quebradas con espesores variables. Por sus características de granulometría, permeabilidad y ubicación constituyen importantes conductos para el flujo del agua subterránea.

Figura N°03: Columna estratigráfica regional del distrito Minera Cerro Verde



Fuente: Área Geología SMCV 2019.

### **2.6.2. Geología estructural**

El área de estudio ha sido sometida a un intenso fallamiento y fracturamiento en diferentes etapas de su historia geológica especialmente como consecuencia del levantamiento de los Andes y del emplazamiento del Batolito de la Costa. En las minas de Santa Rosa y Cerro Verde se han reconocido un sin número de fallas, especialmente en esta última, las que han tenido un papel muy importante en la formación de los depósitos. Estas fallas que afectan al complejo intrusivo de “La Caldera” sigue el rumbo general Andino NO-SE, habiéndose formado después del emplazamiento de la granodiorita Yarabamba.

Entre estas fallas de nivel regional se puede mencionar la Falla Cenicienta, Falla Variante, Falla Jenks, Falla Tinajones y Falla Yura. Fallamiento y fracturamiento a nivel local revela un importante componente E-O, sistemas NO-SE y NE-SO, estos sistemas de fallas atraviesan el depósito y la de dirección NO han jugado un papel importante en el emplazamiento de los intrusivos mineralizantes; así como en el control de la mineralización primaria en Cerro Verde.

### **2.6.3. Geología hidrotermal**

Como es común en estos tipos de depósitos, en Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro, también se reconoce un zonamiento concéntrico con los siguientes tipos de alteración (del núcleo hacia fuera): potásica, fílica, argílica avanzada y propilítica. El límite de alteración en superficie en Cerro Verde y Santa Rosa abarca un área de 5 km de largo por 5 km de ancho.

La alteración potásica se distribuye en las partes céntricas y más profundas de los yacimientos, se caracteriza por la presencia de feldespatos potásicos, en forma de venillas, diseminado y en parches; la biotita se presenta finamente diseminada o en pequeños grumos con cuarzo siempre presente.

Ensamblajes minerales comunes de esta zona son: ortosa más cuarzo y biotita como accesorio; biotita más cuarzo y ortosa como accesorio.

La alteración filica ampliamente distribuida en los tres yacimientos, se caracteriza por el ensamble cuarzo-sericita, con algo de arcillas; como minerales accesorios suelen ocurrir: biotita, clorita, epidota, turmalina, rutilo y esfena; entre los minerales opacos, principalmente: pirita, molibdenita y calcopirita. En general los sulfuros ocurren finamente diseminados, el rutilo se presenta ocasionalmente acompañado por pirita.

La alteración propilítica se presenta en los bordes de los yacimientos, donde las rocas se muestran verdosas por la presencia de cloritas y/o epidota. Como minerales acompañantes se suelen encontrar: rutilo, leucoxeno y albita. En estos ensamblajes la pirita es más abundante que la calcopirita; mientras que la molibdenita sólo ocurre en trazas. Estos sulfuros ocurren principalmente finamente diseminados.

La alteración argílica avanzada se presenta en los bordes de los yacimientos y se caracteriza por la presencia de alunita y pirofilita. La alunita ocurre principalmente en venillas entrecruzadas y por lo general en las zonas superiores de las brechas, a las cuales corta; la acompañan caolinita, cuarzo y sulfuros, generalmente finamente diseminados.

#### **2.6.4. Geología económica**

“La mineralización en el distrito de Cu-Mo de Cerro Verde y Santa Rosa, presenta relativamente los clásicos tipos de mineralización observables en un pórfido de Cobre; los cuales consisten en una capa lixiviada, una zona de oxidación, una zona de enriquecimiento Supérgeno (principalmente Calcosita), una zona transicional y la zona primaria (Mineralización Hipógena, principalmente Calcopirita). La mineralización de Cobre (principalmente Crisocola) que se observa en el depósito de Cerro Negro esta principalmente asociada a las brechas de turmalina con presencia de especularita. La mineralización hipógena en Cerro Negro está dominada principalmente por Calcopirita, asociada principalmente a las brechas de turmalina y esporádicamente se observa en venillas y fracturas. La edad de la mineralización es igual a la del emplazamiento de los pórfidos Dacítico Monzonítico”.

##### ***Mineralización hipógena y alteración.***

“La alteración y la mineralización Hipógena de los depósitos de Cerro Verde y Santa Rosa coexisten y se emplazaron en diferentes etapas. La mineralización de cobre en la zona Hipógena está compuesta principalmente por Calcopirita, la cual se encuentra en forma diseminada, en venillas y como cristales aislados asociados a la pirita. Las etapas de mineralización Hipógena están asociadas con el emplazamiento de los Pórfidos Dacíticos”.

##### ***Mineralización supérgena.***

“Los procesos supérgenos alcanzaron profundidades de más de ~300 metros dentro de la Brecha de Turmalina en Cerro Verde, probablemente en función a su alta permeabilidad;

y en general, la zona de Sulfuros Secundarios se angosta hacia el norte y noreste de ambos depósitos. La Calcosita es el mineral predominante en la zona de Sulfuros Secundarios y en ambos depósitos Cerro Verde y Santa Rosa, presenta una distribución muy irregular y discontinua”.

### 2.6.5. Reservas

La vida de la mina suele ser relativa debido a la constante exploración para ampliar las reservas que comúnmente se hace, a la fecha del trabajo se estima que el yacimiento Cerro Verde será explotado hasta el año 2045.

*Tabla N°04: Reservas.*

<b>Reservas</b>	<b>Tm</b>
Probadas	874'576,833.00
Probables	3,449'884,396.0

Fuente: Área de Planeamiento Largo Plazo SMCV

### 2.7. Descripción de proceso productivo

Las operaciones que realiza la Empresa para obtener los cátodos y concentrado de cobre, se inician con las operaciones de extracción del mineral desde los depósitos de óxidos y sulfuros de cobre ubicados en los Tajos de Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro. Este se inicia desbrozando el mineral y el estéril, luego de efectuar las perforaciones, voladura y acarreo de minerales se divide en dos procesos de recuperación, proceso hidrometalúrgico el cual se encarga de recuperar los sulfuros secundarios y óxidos de cobre, y el proceso de recuperación de concentrados el recupera el cobre de los sulfuros primarios los cuales no pueden ser lixiviados.

### **2.7.1. Proceso hidrometalúrgico**

Se inicia en la chancadora para lixiviación la cual procesa 90 000 TM por día, lixiviación, intercambio iónico y electrodeposición, etapa final en la cual se obtienen los cátodos de cobre al 99.98% de pureza.

No obstante parte del material lixiviable no pasa por la chancadora y va directo a otro pad de material volado.

### **2.7.2. Proceso de recuperación de concentrado**

Esta es una de las plantas de concentrado más moderna del país y la de mayor capacidad de tratamiento en el Perú 360 000 TM por día.

## **2.8. Ciclo Productivo de Mina.**

### **2.8.1. Perforación.**

La perforación del macizo rocoso es la primera operación que se realiza en el ciclo de minado en SMCV y cuya finalidad es la apertura de taladros de 10 5/8” de diámetro con una profundidad de 16,5 metros (Perforación primaria) y con una distribución y geometría adecuada según los diseños y parámetros establecidos. Este tipo de perforación obedece a un sistema rotativo y por trituración. La perforación secundaria apertura taladros de 5” de diámetro y con una profundidad de perforación que alcanza hasta los 32 metros de profundidad con una inclinación que obedece a los parámetros de perforación (De 25° a 30°). Esta perforación

secundaria es por un mecanismo de Down The Hole o más conocido como DTH o martillo en el fondo.

La perforación primaria se realiza con equipos de gran dimensión como son las perforadoras PIT VIPER 271 (single- pass) de Atlas Copco. Sociedad Minera Cerro Verde cuenta con 14 perforadoras PIT VIPER. Además, SMCV cuenta con 5 perforadoras ROC L8 – Atlas Copco para trabajos de perforación secundaria tales como el precorte.

#### **2.8.1.1. Diseño y parámetros de perforación**

El diseño comienza con la definición del área a perforar por parte de Planeamiento Corto plazo, en relación a los planes de minado semanal y/o mensual, o por otros motivos como la confirmación de leyes. Una vez definida el área a perforar por el encargado de los planes a corto plazo. Se procede a diseñar la malla de acuerdo a los parámetros entregados por geotecnia que en este caso son el UCS (Resistencia a la Compresión Uniaxial de la roca intacta en Mpa) y el RQD (Índice de Prefracturamiento del Macizo Rocosos en porcentaje). La siguiente tabla muestra los parámetros usados en función a estas características del terreno.

Las variables geomecánicas (UCS y RQD), son proporcionadas semanalmente por Geotecnia, y son de tipo superficial es decir la información es de la superficie de la topografía actual, esta llega en dos tipos de formatos, de tipo

objeto de geometría de Minesight y de tipo ASCII para cargar al modelo de bloques (3D).

Modelo de Voladura de Acuerdo al UCS y RQD - Modificado				
UCS (Mpa)	RQD	Espaciamient a	Burde n	Sub drilling
UCS < 25	RQD 90-100	11.0	9.53	1.30
UCS 25 - 50	RQD 90-100	11.0	9.53	1.30
UCS 50 - 100	RQD 90-100	10.0	8.66	1.30
UCS 100 - 150	RQD 0-25	10.0	8.66	1.30
UCS 100 - 150	RQD 25-50	9.5	8.23	1.30
UCS 100 - 150	RQD 50-75	8.5	7.36	1.30
UCS 100 - 150	RQD 75-90	7.0	6.06	1.30
UCS 100 - 150	RQD 90-100	7.0	6.06	1.50
UCS 150 - 200	RQD 0-25	10.0	8.66	1.30
UCS 150 - 200	RQD 25-50	8.5	7.36	1.30
UCS 150 - 200	RQD 50-75	7.0	6.06	1.30
UCS 150 - 200	RQD 75-90	6.5	5.63	1.50
UCS 150 - 200	RQD 90-100	6.5	5.63	2.00
UCS 200 - 250	RQD 0-25	10.0	8.66	1.30
UCS 200 - 250	RQD 25-50	8.0	6.93	1.30
UCS 200 - 250	RQD 50-75	6.5	5.63	1.50
UCS 200 - 250	RQD 75-90	6.5	5.63	2.00
UCS 200 - 250	RQD 90-100	6.5	5.63	2.00
UCS >250	RQD 90-100	6.0	5.20	2.00

Fuente: Departamento de Perforación y voladura.

*Tabla 05: Modelos de voladura según RQD y UCS.*

En los lados del proyecto que limiten con material disparado, el diseño se hace teniendo en cuenta los taladros que fueron detonados previamente en el disparo adyacente. Esta información se obtiene de los reportes diarios que la empresa contratista Orica emite luego de cada disparo. En dichos reportes se especifica el número de taladros cargados, taladros que no fueron perforados, taladros perforados adicionales al diseño, taladros perforados pero que no fueron cargados además de secuenciamiento y programación de salida del disparo. En las proximidades a zonas de contacto entre un disparo anterior y el diseño

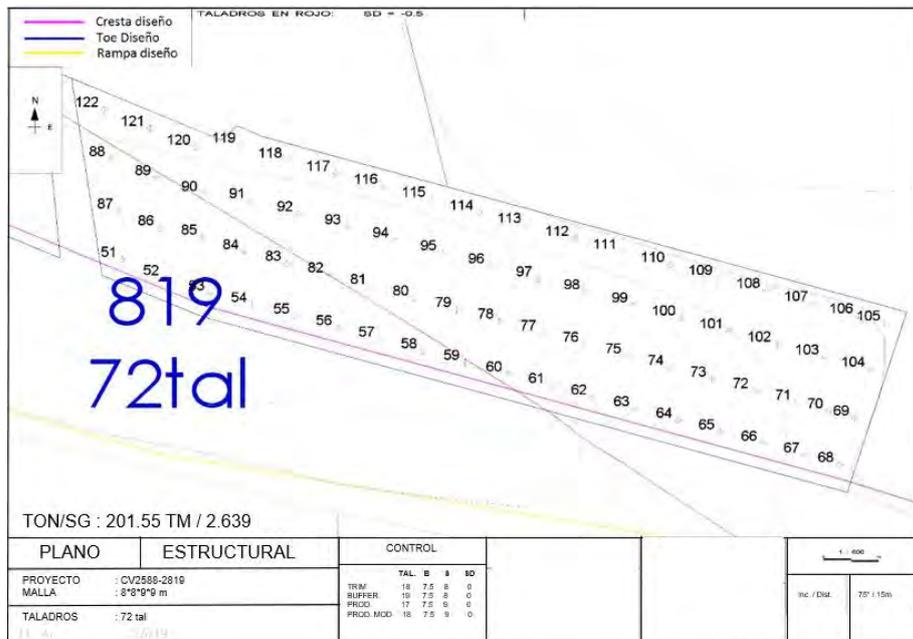
nuevo la regularidad del patrón de diseño puede verse afectada debido a la distinta alineación, espaciamientos y burden con los que ambos proyectos fueron diseñados. En estos casos el patrón se hace más denso e irregular, debiendo ser controlado mediante cargas especialmente adaptadas para esas condiciones de menor burden y espaciamiento.

En el caso que el proyecto tenga una o más caras libres expuestas, el diseño debe ceñirse al levantamiento topográfico de la cresta de la zona con cara libre expuesta. Dicho levantamiento debe realizarse después de haber removido cualquier tipo de berma de seguridad para poder tener un contorno fidedigno de la cresta.

Una vez que el diseño haya sido aprobado por el Jefe de Voladura, se procederá a cargarlo en el sistema Dispatch (el cual almacena coordenadas, elevaciones del banco inferior y sobre perforación).

Aquellos diseños realizados en bancos cuyo piso coincida con el banco inferior del banco doble, se tendrá en consideración que cualquier taladro que coincida con la cresta del banco inferior deberá tener una sobreperforación igual a cero.

Para el caso de mallas de control los diseños tendrán cuatro filas de taladros paralelos al Toe de la fase que se desea proteger. Dichas filas, en orden de cercanía al talud de la fase, son:



Fuente: Departamento de Perforación y voladura.

Figura N°04: Modelo de diseño de mallas de perforación.

Tanto el espaciamiento como el burden para cada una de estas filas se detallan en la siguiente tabla:

Fila	Espaciamiento	Burden	Sub Drilling
<b>RQD – 25 - 50</b>			
Control	7	3	0
Buffer	8	4	0
Producción Mod.	9	7	0.5
<b>RQD-50-75</b>			
Control	7	2	0
Buffer	8	4	0
Producción Mod.	8	7	0.8
<b>RQD-75-90</b>			
Control	7	1	0
Buffer	8	4	0
Production Mod.	7	6.1	1
<b>RQD-90-100</b>			
Control	6	0	0
Buffer	7	4	0
Producción Mod.	6.5	6	1.3

Fuente: Departamento de Perforación y voladura.

Tabla 06: Parámetros de perforación según RQD.

Los diseños de mallas de control son realizados en:

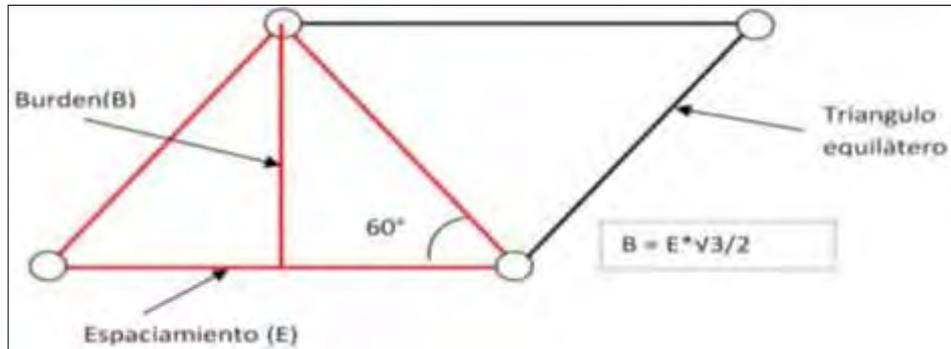
- Bancos cuyo piso coincida con el banco inferior de un banco doble, se tendrá en consideración que cualquier taladro que coincida con la cresta del banco inferior deberá tener una sobreperforación igual a cero.
- En aquellos diseños de control realizados en bancos correspondientes a la porción superior de un banco doble, se asignará una sobreperforación igual a 1 metro para todos los taladros de las filas de control y buffer independientemente de sus características de RQD.
- En los casos donde el límite de fase no tendrá mucha duración (definido por corto plazo) y el material no sea inestable no se usará voladura de control, es decir se llegará hasta el límite de diseño con voladura de producción, de acuerdo al tipo de material, quedando el control de lado del diseño de carga solamente.

En la elaboración de cualquier malla (producción, control o acople) de cada proyecto existe una buena comunicación entre el área de perforación y voladura y el área de planeamiento corto plazo para evitar diferentes inconvenientes en el diseño de las diferentes mallas que afectarían la perforación y posteriormente la voladura. En cada proyecto el jefe de Perforación y Voladura brinda los parámetros tales como espaciamiento, burden y sobreperforación.

Al terminar el diseño, este es revisado por el jefe de voladura para realizar si fuese necesario alguna modificación en la geometría del proyecto debido a condiciones operacionales, o alguna modificación de los parámetros con evidencias observadas en el campo, en lugares donde aún los parámetros del

UCS y RQD aún no estén correctamente ajustados a la resistencia que el macizo rocoso presenta frente a la fragmentación por efecto de la voladura.

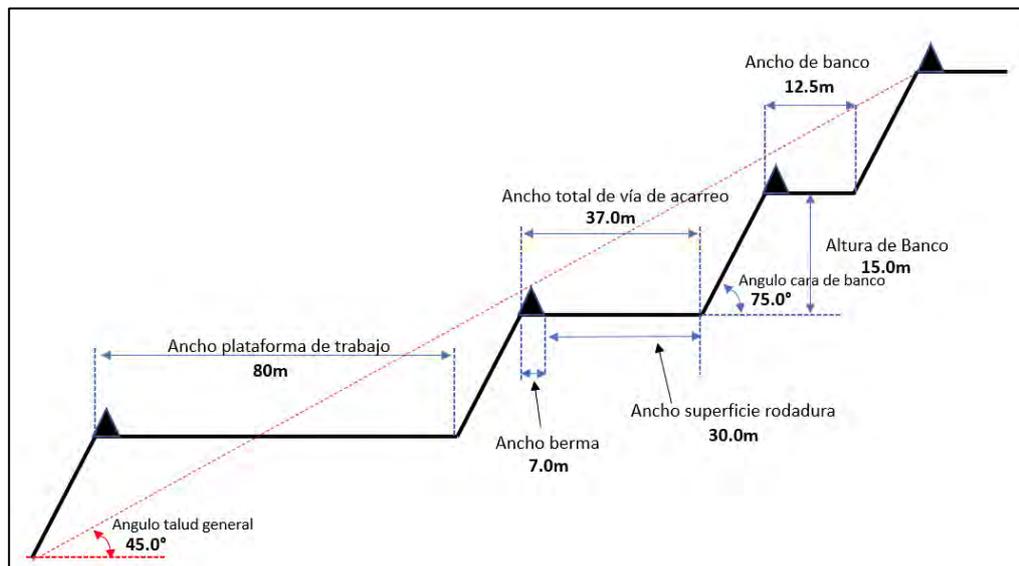
Figura N°05: Mallas triangulares.



Fuente: Departamento de Perforación y voladura.

El diseño de los bancos está en función a la legislación vigente y los equipos de acarreo y carguío.

Figura N°06: Parámetros generales diseño de Tajo



Fuente: Elaboración propia

### **2.8.2. Voladura.**

La voladura es el segundo proceso en el ciclo de minado y una de las más importantes debido a lo delicado y al alto riesgo que conlleva realizar dicho proceso ya que de no considerar todos los controles adecuados de ingeniería y seguridad para el carguío de taladros así como para la ejecución del disparo se podrían contar con resultados leves tales chorreo del material en vías, etc., hasta muy graves como tiros quedados, excesivo flyrock que causen daños a la propiedad o posibles fatalidades.

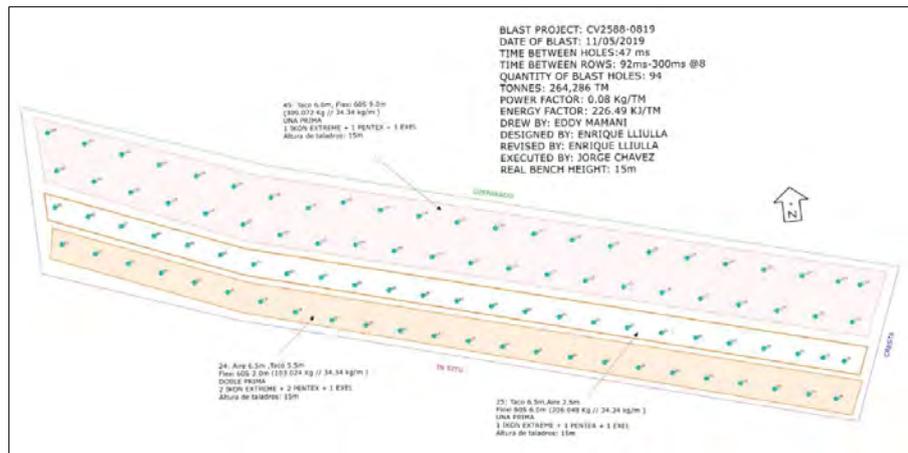
El proceso de voladura se emplea para fragmentar la roca y permitir su excavación con equipos de gran dimensión. Los taladros perforados son cargados con diferentes tipos de explosivos tales como el ANFO, Heavy ANFO, emulsiones a granel, emulsión encartuchada entre otros insumos que nos proporciona OricaMiningServices de la planta de Orica en Congata y accesorios.

La mezcla se realiza en camiones fábrica dotado de 4 a 5 compartimientos en donde se realizan las diferentes mezclas para la obtención de los diferentes explosivos que pueden ser vertidos de dos (2) maneras: Vaciables cuando no existe la presencia de agua y bombeables en presencia de agua.

Como control de la calidad del explosivo y considerando la mejora continua que caracteriza a la compañía; posterior a la preparación, se obtiene una muestra para ser evaluada in situ por parte de la supervisión de SMCV para verificar las cantidades correctas en cuanto a la densidad del explosivo a utilizar, todo esto debido a que dicha propiedad es una de las más importantes en un explosivo ya

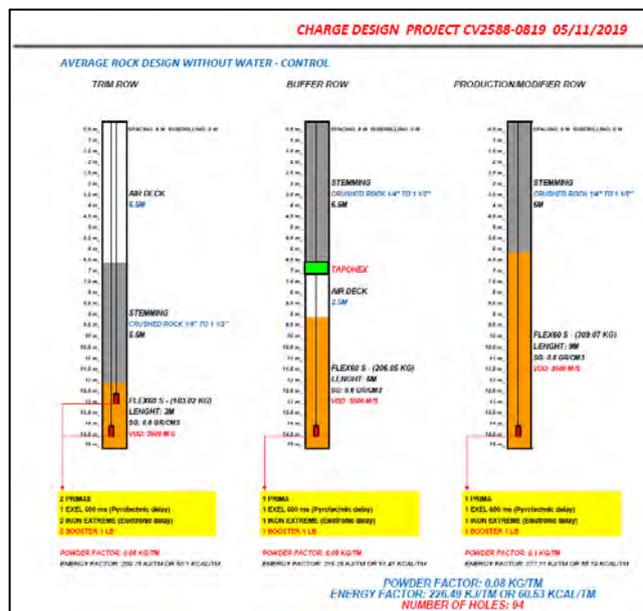
que esta determina la sensibilidad, la velocidad de detonación y el diámetro crítico de carga. En ocasiones se obtuvieron valores de densidades que no correspondían al explosivo indicado en el diseño de carga y que no se detectó a tiempo originando problemas en cuanto a la fragmentación y por ende al carguío del material y a su procesamiento en planta.

Figura N°07: Modelo de detalle de carga



Fuente: Departamento de Perforación y voladura.

Figura N°08: Modelo de diseño de carga



Fuente: Departamento de Perforación y Voladura.

Tabla N°07: Agentes de voladura usados en SMCV.

Agente	Kg/m	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Kcal/kg	m <sup>3</sup> /kg	VOD(m/s)
HA 73	76,12	1,33	764,31	3,2	5 000
HA 65 35	74,98	1,31	790,58	3,31	5 164
HA 64	74,41	1,30	790,58	3,31	5 164
FT HA 65 35	74,98	1,31	812,08	3,4	5 711
FT HA 64	74,98	1,31	812,08	3,4	5 711
FT HA 55	71,54	1,25	835,96	3,5	5 603
HA 55	73,26	1,28	809,69	3,39	5 363
HA 45 55	71,54	1,25	821,63	3,44	5 200
HA 46	68,11	1,19	831,18	3,48	5 000
FLEXIGEL 110	62,96	1,10	714,15	2,99	4 650
HA 37	57,81	1,01	847,90	3,55	4 900
HA 28	49,79	0,87	871,79	3,65	4 600
HA 19	46,93	0,82	888,51	3,72	4 300
ANFO	44,64	0,78	910,00	3,81	4 191
FLEXIGEL 60	34,34	0,60	649,66	2,72	3 666

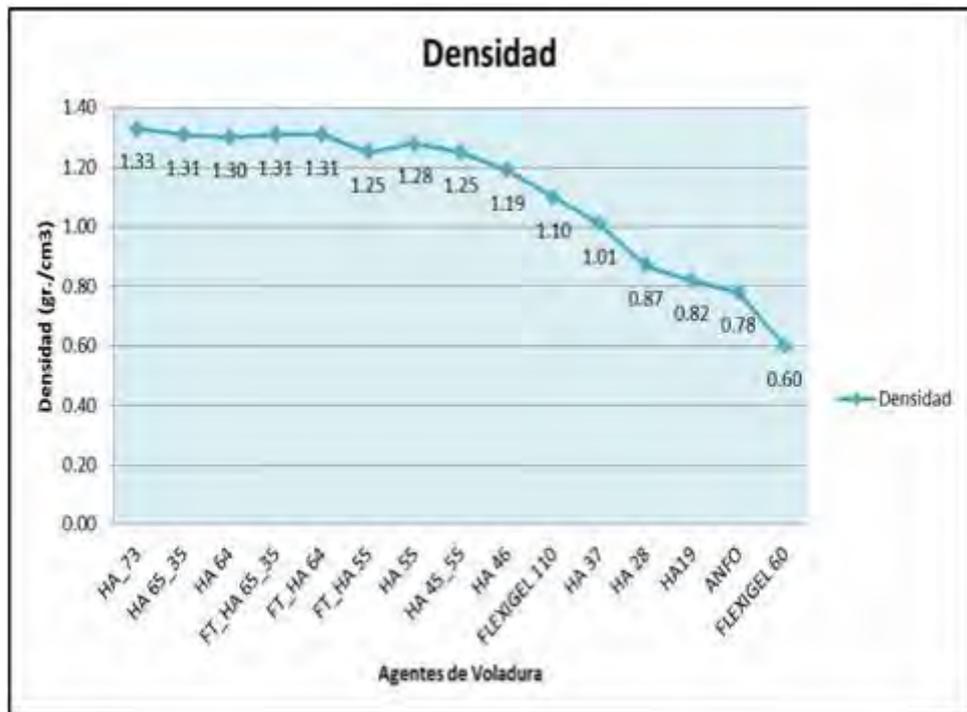
Fuente: Departamento de Perforación y Voladura.

A continuación, se presentan los gráficos comparativos de cada explosivo según la densidad, energía, velocidad de detonación (VOD) y carga lineal.



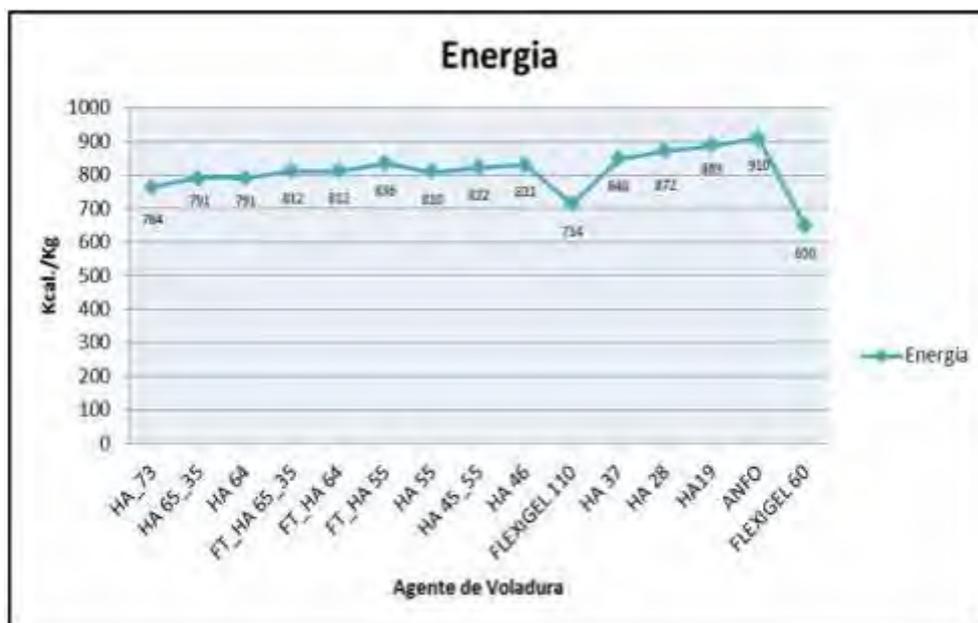
Fuente: Departamento de Perforación y Voladura.

*Figura N°09: Diagrama de carga lineal de Heavy ANFO.*



Fuente: Departamento de Perforación y Voladura.

*Figura N°10: Diagrama de densidad de Heavy ANFO.*



Fuente: Departamento de Perforación y Voladura.

*Figura N°11: Diagrama de energía de Heavy ANFO.*



Fuente: Departamento de Perforación y Voladura.

*Figura N°12: Diagrama de VOD de Heavy ANFO.*

Con respecto a los horarios de salida de los disparos en mina tenemos: en tajo Cerro Verde a las 12:00 horas y en tajo Santa Rosa a las 15:30 horas. Cabe

mencionar que existen excepciones en algunos horarios de disparo debido a diversos factores operativos pero siempre respetando lo que se estipula en el D.S. 023-2017-EM que menciona que los disparos tendrán que ser ejecutados con plena de luz natural durante el día. Adicionalmente para mejor difusión del disparo, el Jefe de perforación y voladura comunica el evento en reunión diaria de coordinaciones mina y a través de correos electrónicos indicando las zonas afectadas.

### **2.8.3. Carguío.**

La empresa Minera Cerro Verde cuenta con una serie de equipos de gran capacidad que se emplean para el carguío de material ya sea mineral o desmonte.

#### **2.8.3.1. Palas**

SMCV tiene una flota de 9 palas eléctricas y 3 palas hidráulicas. Las palas eléctricas son P&H 4100 XPC, cuya capacidad de carga nominal es de 103 toneladas métricas y P&H 2800 XPB, cuya capacidad de carga nominal es de 89 toneladas métricas. En cuanto a la pala hidráulica su carga nominal es de 71 toneladas métricas en cuanto a la O&K RH200 y para el caso de la pala Caterpillar 6050FS es de 69 toneladas métricas.

*Figura N°13: Pala eléctrica P&H 4100 XPC*



Fuente: Fotografía SMCV

*Figura N°14: Pala Hidraulica O&K RH200*



Fuente: Fotografía SMCV

### **2.8.3.2. Cargadores**

Equipos que se emplean para el carguío de material en donde la pala no puede realizar dichos trabajos debido a la reducida área de carguío o debido al apilamiento del material disparado. También son empleados en las limpiezas de los pisos de las palas debido a la caída de material para evitar cortes en los neumáticos en los camiones. En SMCV se cuenta con la siguiente flota:

#### **a. Tractor de orugas**

Son empleados para las limpiezas de las diferentes zonas de mina como por ejemplo en las nuevas plataformas de perforación, limpieza de bermas en las crestas y en las rampas entre otros. También se emplea en la creación de accesos como rampas.

*Figura N°15: Tractor de orugas Cat D11T*



Fuente: Fotografía SMCV

**b. Tractor de ruedas**

Empleados en el mantenimiento de vías como son rampas y accesos, así también en la limpieza de pisos de palas, plataformas de perforación entre otros.

*Figura N°16: Tractor de ruedas Cat 824*



Fuente: Fotografía SMCV

**c. Motoniveladora**

Son utilizadas para el mantenimiento de accesos.

*Figura N°17: Motoniveladora Cat 24M*



Fuente: Fotografía SMCV

**d. LowBoy**

Equipos de gran dimensión empleados para el transporte de los diferentes equipos auxiliares incluyendo las perforadoras.

**e. Rodillos compactadores**

Empleados para el mantenimiento y compactación de accesos y áreas permanentes.

#### **f. Cisternas de agua**

Son empleados para regar las vías de acarreo y mitigar el polvo.

*Figura N°18: Cisterna de agua Cat777*



Fuente: Fotografía SMCV

#### **2.8.4. Acarreo.**

SMCV cuenta actualmente con 91 camiones CAT793D y 38 camiones KOM930 cuyo objetivo es transportar el material a sus diferentes destinos asignados por el despachador ya sea a Millchan1 (Chancadora primaria para concentrado), la Millchan2 o Hydrochan (Chancadora primaria para lixiviación). También se puede mencionar que los camiones son asignados a los diferentes depósitos (Stocks Piles) para mantener cierto stock en caso de cualquier requerimiento. El material de baja ley (ROM) no es desechado en los botaderos, sino que también pasan por un proceso para la recuperación del mineral. Finalmente, el desmonte es destinado a los diferentes botaderos que se encuentran en mina ya sean en el lado norte o lado sur.

Tabla N°08: Resumen de equipos en la Mina Cerro Verde 2019

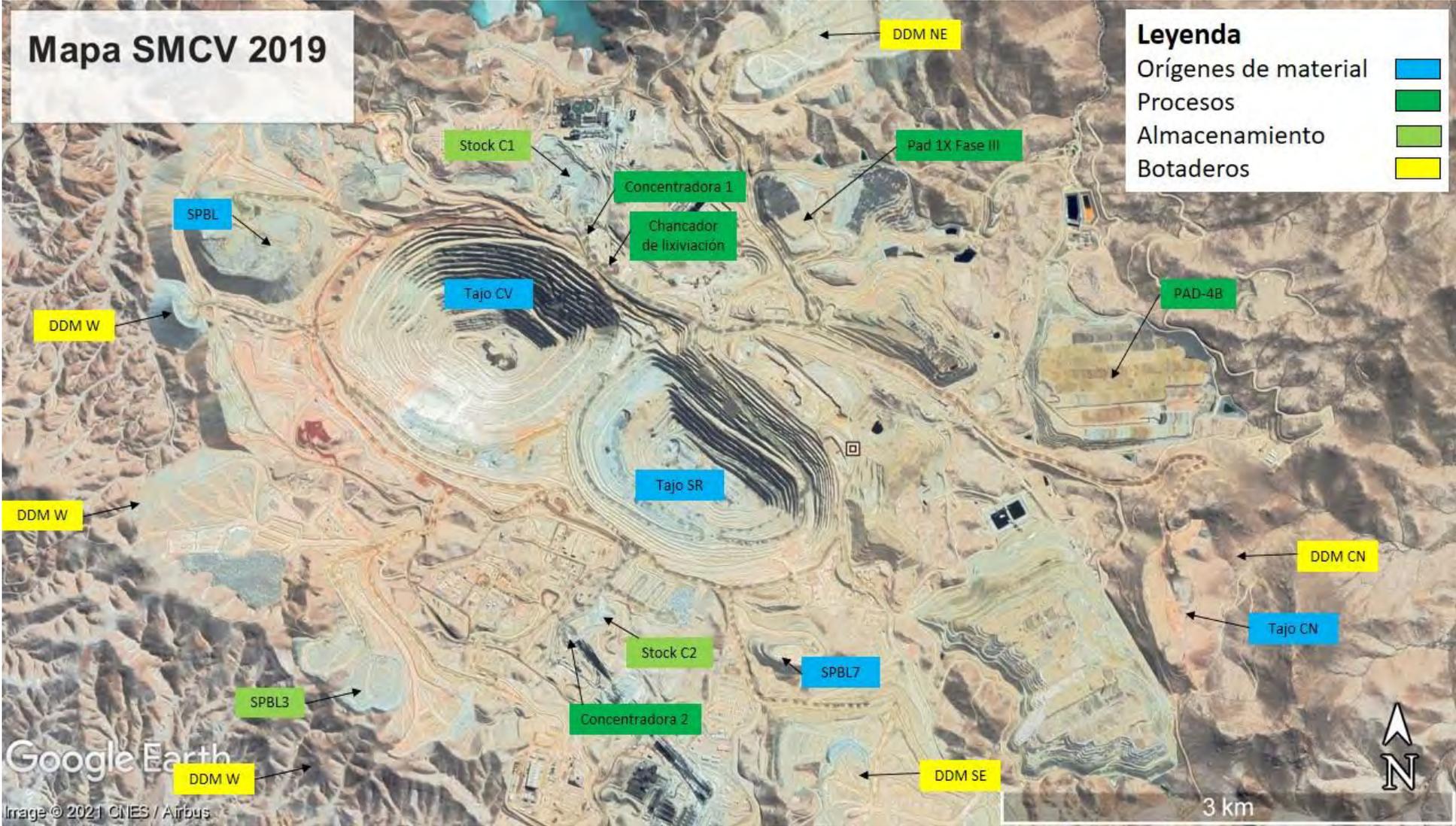
<b>Tipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Palas</b>	P&H 4100 XPC-AC	6
	P&H 4100 XPC-DC	3
	P&H 2800	3
	O&K RH200 /Cat 6050	2
	Cat994	3
<b>Camiones</b>	Komatsu 930	42
	Cat 793	87
<b>Perforadoras</b>	PV 271/275	14
	Roc L8	5
<b>Equipos de soporte</b>	Cat 992D Loader	3
	Cat 16M Grader	7
	Cat 24M Grader	4
	Cat 824 Wheel Dozer	15
	Cat D11T Track Dozer	8
	Cat D10T Track Dozer	19
	Cat 789 Water Truck	10
	Cat 777 Water Truck	5

Fuente: Departamento de Operaciones Mina SMCV

### 3.1. Ubicación de origen de material y destinos

El origen del material minable no solo esta en las fases dentro de los pits, sino también en algunos stocks con contenido mineral que es transportado hasta los procesos. En el periodo de aplicación se cuenta con 04 procesos, 02 plantas de concentrado, 01 Pad de lixiviación de material volado (Pad 1x Fase III) y 01 chancadora de material lixiviable del cual se envía roca chancada a un Pad de lixiviación (Pad 4B). El material no económico se transporta por proximidad a uno de los 06 botaderos.

Figura N°19: Mapa de Orígenes de material y destinos SMCV 2019



Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEORICO**

#### **3.1. Antecedentes de la investigación**

Existen antecedentes de aplicación de cambio de operadores en caliente lo cual es aplicación común en gran minería superficial y también del uso plataformas de bahías de cambio en caliente para el cambio de operadores de camiones en operaciones mineras superficiales tanto en Perú como en otros países, en el caso de Perú se han implementado estos sistemas en minas como Antapaccay, Antamina, Cuajone, Constanca entre otras.

Sin embargo, no se tiene evidencia del desarrollo de una metodología para determinar la ubicación de plataformas de cambio en caliente y cálculo óptimo de bahías, que es en lo que se enfoca esta investigación.

##### **3.1.1. Internacionales**

Según Barrientos, (2014) En su tesis denominada Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto, llegó a la conclusión de que los resultados indican que se observa que los

días de mayor productividad son aquellos que poseen la menor duración de las detenciones en estudio, entre otros factores. El modelo permite construir nuevos escenarios a partir del caso base, donde se agregan cambios operacionales ligados a agregar la posibilidad de que los camiones puedan realizar cambios de turno cargado, que se varíe la posición del estacionamiento respecto al chancador y el cambio del tipo de camiones. Lo que permite un aumento de un 4.2% en la productividad diaria y disminuyendo en un 10.6% la duración de las detenciones. Esto se traduce en un aumento del beneficio económico de 4.07 MUS\$ mensualmente.

### **3.1.2. Nacionales**

Según Bustamante, (2018) en su Tesis titulada Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields la Cima S.A. mediante la disminución de las demoras operativas más significativas, llegó a la conclusión de que la implementación de un comedor satelital y el cambio de turno en caliente permitió que las demoras más significativas se vean reducidas en 78.1 min en promedio a 60 min para el refrigerio descanso y de 41 min en cambio de turno día y de 50.9 min. En cambio de turno noche a 20 min.

Además cuantificadas las toneladas dejadas de producir por la sobre duración de las demoras se llega a la conclusión que se dejó de mover 426,284 toneladas de mineral y 475,843 toneladas de desmonte que valorizadas hacen un total de \$ 13,445,975.8.

## **3.2. Bases teóricas y científicas**

### **3.2.1. Sistema de carguío y acarreo**

El carguío y el acarreo constituyen las acciones que definen la principal operación en una faena minera. Estos son responsables del movimiento del mineral o estéril que ha sido fragmentado por un proceso de voladura. Barreto (2017)

En las faenas de gran movimiento de tierra es crucial un diseño eficiente donde la operación de carguío trabaje en forma integrada con los camiones, que en la mayoría de las aplicaciones constituyen un elemento de alto costo en el carguío y transporte. Por lo tanto, estas dos operaciones unitarias las constituiremos en un sistema, ya que se encuentran estrechamente ligadas entre sí. Barreto (2017)

#### **3.2.1.1.El carguío**

Según Checya (2015), Consiste en la carga de material fragmentado del tajo para conducirlo a los posibles destinos. La operación de carguío involucra el desarrollo de una serie de funciones que aseguran que el proceso se lleve a cabo con normalidad y eficiencia.

#### **3.2.1.2.El acarreo**

Consiste en el traslado de material mineralizado y/o estéril desde el yacimiento hacia los posibles destinos, ya sea el chancado, stock de mineral o botaderos de estéril. Las funciones involucradas en el proceso de transporte son las siguientes: En esta etapa se planifica bien la definición de las rutas de transporte y del destino de los materiales de acuerdo con leyes de clasificación y tonelajes definidas previamente. Rondán (2014)

En la etapa de transporte, se incluye el diseño de la ruta, cuyos criterios más importantes se refieren a la distancia de detención, señales de distancia y velocidad, los que cobran

mayor relevancia cuando hay intersecciones, curvas y ubicaciones de descarga. En cuanto a la construcción de las rutas estas contienen material de subbase y pavimentos de calidad y espesor adecuados (dependiendo en parte del proyecto). Para aumentar su seguridad y productividad se utilizan caminos duros, lisos y con buena tracción. Saavedra (2014)

### 3.2.1.3. Servicios auxiliares

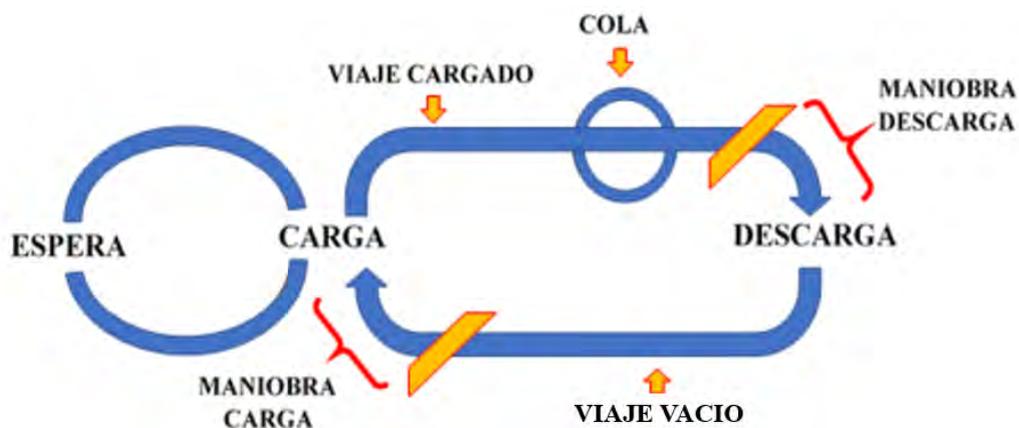
A los caminos se les hace mantenimiento. Hay equipos que van sacando las piedras y los van dejando lo más parejos posible.

Uno de los temas relevantes dentro del presupuesto, es que las rutas duren lo más posible ya que las piedras son agentes que desgastan mucho a los vehículos. Para mantener los caminos se usan motoniveladoras, rodillos y camiones cisterna que van lanzando agua para mantener las superficies húmedas y regadas.

### 3.2.1.4. Ciclo de carguío y acarreo

En cualquier trabajo de remoción de tierra, las máquinas se adaptan a un ciclo de trabajo determinado. En este ciclo están incluidas las operaciones de carga, acarreo, descarga y retorno al lugar original, con algunas variaciones en ciertos casos. Cruzat (2008).

Figura N°20: Ciclo de Carguío y acarreo



Fuente: Cruzat 2008

#### **3.2.1.4.1. Tiempos fijos**

Es el que invierte una máquina, durante el ciclo, en todo aquello que no sea acarreo (transporte) y retorno. Incluye el tiempo para cargar, descargar y maniobrar en el curso del trabajo. Todos estos tiempos son más o menos constantes, sea cual sea la distancia a que se lleve o acarree el material.

#### **3.2.1.4.2. Tiempos variables**

Es el que se necesita para el transporte o, en otras palabras, el tiempo invertido en el camino acarreado el material y regresando vacío, y varía con la distancia hasta la zona de vaciado y la velocidad de los camiones.

### **3.2.2. Sistema de Optimización de Flota – Dispatch**

Para hacer seguimiento a los equipos ya sea de carguío, acarreo, remanejo y perforadoras es necesario que las operaciones mineras cuenten con un sistema que permita brindar información en tiempo real. Es por eso que en la actualidad casi la mayoría de empresas cuentan con el sistema dispatch.

#### **➤ Dispatch**

Dispatch es un sistema de administración Minera, que emplea tecnología moderna en comunicaciones, GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y sistemas computacionales que manejan toda la información histórica y en tiempo real de la operación minera, proporcionando asignaciones óptimas y automáticas para camiones de acarreo. Permitiendo incrementar el tiempo efectivo de trabajo de palas y camiones y por ende su productividad. (Mauricio, 2015)

## ➤ **Administración del dispatch**

Dispatch es un sistema de Administración Minera, que emplea:

- Tecnología moderna en comunicaciones, GPS (Sistema de Posicionamiento Global).
- Sistemas computacionales que manejan toda la información histórica en tiempo real de la operación minera.
- Proporcionando asignaciones óptimas y automáticas para camiones de acarreo. Permitiendo incrementar el tiempo efectivo de trabajo de las palas y camiones y por ende su productividad.
- Permite crear y almacenar las bases de datos turno a turno de producción, de los estados de los equipos mineros.
- Se tiene información desde el origen y la gestión de los datos y cálculo de KPIs es instantánea.
- Utiliza tres modelos matemáticos de programación:
  - ✓ La mejor ruta (BP),
  - ✓ La programación lineal (PL),
  - ✓ La programación dinámica (PD); con el fin de obtener la mayor productividad en carguío y acarreo. (Mauricio, 2015)

➤ **Modelos matemáticos de programación en el sistema dispatch**

- **La mejor ruta (BP)**

El subsistema Mejor ruta, determina el mejor tiempo de acarreo (tiempo-distancia), para lo cual utiliza el Algoritmo de Dijkstra. Este algoritmo calcula el tiempo mínimo de un nodo a otro (punto virtual de ubicación), mediante una red de nodos que describen un árbol direccionado. Una vez realizado el cálculo de la mejor ruta, se entrega al siguiente subsistema (PL) la siguiente información acerca de las rutas de acarreo. (Mauricio, 2015)

- **Programación lineal (PL)**

Dispatch utiliza las soluciones entregadas por PL para generar asignaciones óptimas de equipos en tiempo real, utilizando el método Simplex, este es un método matemático, que ayuda en la optimización, y así minimizar las necesidades de los camiones siguiendo el concepto prioridades y exigencias. (Mauricio, 2015)

- **Programación dinámica (PD)**

Programación dinámica es un proceso de optimización basado en el principio optimizante de Bellman's. Se tiene en consideración la disponibilidad de equipos, flujos de alimentación (puntos de carga y descarga), prioridad de palas, distancias de acarreo. Para generar la solución, Dispatch en lugar de asignar camiones a las palas que más lo requieren decide por asignar camiones a los equipos de carguío más necesitados en cualquier momento ya sea que requieran asignación o ya lo estén. (Mauricio, 2015)

Para este proceso, el sistema genera dos listas, una a base a la PL, donde incluye rutas ordenadas por prioridad de tiempo y una lista de camiones que requieran asignación a través del tiempo. Es así como la Programación Dinámica (PD) establece las necesidades de camiones óptimas sobre la base de los que requerirán asignación de carguío o bien puedan variar. (Mauricio, 2015)

### 3.2.3. Productividad

Productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción o también definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema. En realidad, la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de producto utilizado con la cantidad de producción obtenida. (Saldaña, 2013)

También se puede definir como la capacidad de producir más con menos recursos. Esto redunda en un costo bajo, mediante la cantidad adecuada de equipos ya sea de carguío como de transporte que permite presupuestos menores. (Baldeón, 2011)

$$Productividad = \frac{Unidad\ de\ producción}{Unidades\ de\ insumos}$$

### 3.2.4. Tiempos en los equipos de minería

- a. **Horas totales del equipo (HT):** Son el total de las 24 horas del día, los 365 días del año y debe de considerarse para cada equipo. (Saldaña, 2013)

Se distribuye de la siguiente manera:

Figura N°21: Distribución de tiempos en los equipos de minería



Fuente: Saldaña, 2013

- b. Horas disponibles del equipo (HD):** Son las horas en que el equipo está disponible para producir, es decir, a disposición de Operaciones Mina. (Saldaña, 2013)
- c. Horas del equipo malogrado (HM):** Son las horas en que el equipo no está disponible para producir, ya sea por reparación correctiva (NP) o preventiva (PM). Está a responsabilidad de Mantenimiento Mina. (Saldaña, 2013)

Normalmente en las operaciones mineras se tiene mantenimiento con mayor frecuencia por los siguientes motivos:

- Motor
- Ruedas y llantas
- Sistema eléctrico

- Suspensiones y gatas
- Sistema de frenos
- Motor
- Chasis
- Mantenimiento preventivo
- Tolva y torre
- Control electrónico del equipo
- Sistema de control de aire
- Sistema hidráulico
- Lubricación y engrase (Saldaña, 2013)

**d. Horas del equipo operativo (horas ready) (HR):** Son las horas en que el equipo está operativo y haciendo trabajo productivo (produciendo toneladas). (Saldaña 2013)

**e. Demoras o delays (D):** Es el tiempo en que el equipo está operativo, pero no realizando trabajo productivo.

Algunas demoras son:

- Limpieza de tolva
- Cambio de operador
- Cambio de guardia

- Relleno combustible
- Disparo
- Esperando instrucciones o supervisor
- Servicios higiénicos (SSHH)
- Revisión y chequeo
- Perfilando
- Esperando topógrafo
- Traslados por propios medios (Saldaña, 2013)

**f. Stand by o equipo listo, pero en espera (SB):** Es el tiempo en que el equipo está disponible mecánicamente, pero apagado por consideraciones operativas. (Saldaña, 2013)

Algunos ejemplos de parada por stand by son los siguientes:

- Equipo parado por falta de equipo de acarreo
- Parada por condiciones subestándar
- Falta de frente
- Falta de grifo o cisterna
- Equipo listo en mantenimiento
- Falta de operador

- Equipo en traslado en camabaja (Saldaña, 2013)

### **3.2.5. Indicadores Claves de Rendimiento (KPIs)**

Los KPIs o indicadores clave de rendimiento son mediciones financieras o no financieras que se utilizan para medir el grado de cumplimiento de los objetivos previamente establecidos, generalmente están contenido en el plan estratégico de la organización y reflejan su rendimiento en un periodo determinado; los KPIs se emplean en diversas áreas de una empresa entre las que se puede mencionar compras, ventas, logística y servicio y atención al cliente. (Bustamante, 2018)

Los KPIs se utilizan para determinar el estado actual de un negocio y permite definir una línea de acción futura; expresan las variables a tomar en cuenta para incrementar el desempeño favorable para conseguir el progreso, posicionamiento y ganancias significativas de la empresa. El KPI mide las condiciones para el rendimiento y el desempeño de manera clave. (Bustamante, 2018)

Es ineludible tomarlos en cuenta para estudiar cómo se produce el trabajo de una empresa y cómo influye en sus resultados, por lo que se debe definir el principal objetivo de la compañía con anterioridad y expresarlo en cifras porcentuales. (Bustamante, 2018)

Para ello se realiza la monitorización de actividad de negocio que consiste en monitorear el comportamiento de los KPIs en tiempo real, esto permite medir actividades complejas de valor como la satisfacción que brinda un producto o servicio, el compromiso de los empleados con una campaña o con las actividades de empresa y los beneficios de desarrollos líderes. (Bustamante, 2018)

### 3.2.6. KPIs de Productividad

- **Disponibilidad mecánica o mechanical availability (%D):** Es el porcentaje del tiempo total que el equipo está disponible para operaciones. Es una medida de la eficiencia de mantenimiento, por lo que es controlada por ellos. (Saldaña, 2013)

$$\text{Disponibilidad Mecánica} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas malogrado}}{\text{Horas totales}}$$

- **Uso de la disponibilidad (UD):** El porcentaje de tiempo que el equipo está encendido, en producción o en demoras, respecto al tiempo que está disponible mecánicamente. Este parámetro involucra directamente a los Stand By. (Saldaña, 2013)

$$\text{Uso de disponibilidad} = \frac{\text{Horas Operativas} + \text{Demoras}}{\text{Horas Totales} - \text{Horas Malogrado}}$$

$$\text{Uso de disponibilidad} = \frac{\text{Horas Operativas} + \text{Demoras}}{\text{Horas Operativas} + \text{Demoras} + \text{Horas Stand by}}$$

- **Uso del equipo (Use):** El porcentaje de tiempo en que el equipo está produciendo, respecto del total de tiempo en que está con el motor encendido. Este parámetro involucra directamente a las demoras operativas. (Saldaña, 2013)

$$\text{Uso} = \frac{\text{Horas Operativas}}{\text{Horas Operativas} + \text{Demoras}}$$

- **Utilización (%U):** El porcentaje de tiempo en que el equipo está produciendo, respecto del total de tiempo disponible mecánicamente. Es una media de la eficiencia del aprovechamiento de los recursos por parte de Operaciones. (Saldaña, 2013)

$$Usage = \frac{Horas\ Operativas}{Horas\ Operativas + Demoras + Horas\ Stand\ by}$$

### 3.2.7. Planificación minera

La planificación y el diseño a cielo abierto es un proceso de toma de decisiones que conduce a un plan realista y viable para cosechar de manera rentable los recursos minerales. La planificación se puede llevar a cabo para un amplio rango de marcos de tiempo desde el muy corto (por ejemplo, el próximo turno de actividades mineras) a muy largo plazo (por ejemplo, la extracción rentable durante toda la vida útil de la mina). El largo plazo es sobre maximizar el valor de la mina para la empresa. La excelencia en la planificación minera a largo plazo implica tomar buenas decisiones en diseño de tajos, secuenciamiento de la mina, ratio de producción, método de procesamiento, selección de mineral y método de extracción. Todas estas decisiones deben tomarse simultáneamente y en condiciones de gran incertidumbre como: (Darling, 2011)

- Condiciones geotécnicas
- Reservas minerales
- Precio de los metales

Para realizar la secuencia de extracción se cuenta con varias herramientas informáticas que nos ayudan en el complejo procesamiento basado en programación dinámica, no obstante, dependerá de la pericia y experiencia de quien los use obtener resultados que sean lo más objetivos posibles. A partir de esta secuencia de extracción se realizan cálculos de costos e ingresos y subsiguiente se estima la rentabilidad del plan.

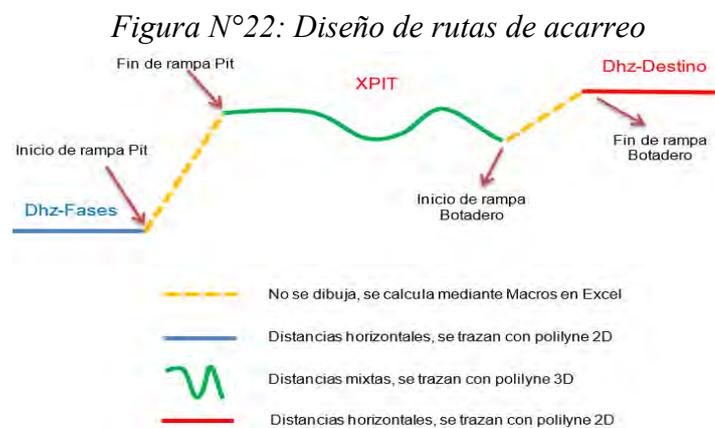
### 3.2.7.1. Diseño de fases, botaderos y stocks

Los diseños de fases delimitan operativamente una parte del modelo de bloques para que pueda ser minada tomando en cuenta las características de los equipos de carguío y acarreo, características geotécnicas de la roca, distribución de leyes, etc.

De forma similar los botaderos y stocks son diseñados bajo parámetros operativos de los equipos y características geotécnicas.

### 3.2.7.2. Rutas de acarreo

Parte importante también de la información de entrada para realizar la secuencia de extracción es la creación de las rutas de acarreo para lo cual existen varios métodos, en el caso de SMCV se realiza en cierto modo de forma manual, trazando las distancias horizontales de fases (Dhz-Fases), distancias de terreno u externas a los pits de diseño (Xpit) y distancias horizontales de destino (Dhz-Destino). Luego con ayuda de Excel VBA se calculan las rutas de acarreo tomando en cuenta que las rampas de diseño tienen un 10% de pendiente y considerando las velocidades de los camiones.



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.7.3. Secuencia de extracción.

Como resultado preliminar de un plan de minado se obtiene la secuencia de extracción, que como se mencionó antes es el envío óptimo de material a los destinos, el cual es transportado por una determinada ruta, esta información es proporcionada por los software de planificación en archivos con formatos en .txt, .csv u otro similar; hay una continua evolución por parte de los software de planificación para que los resultados puedan ser vistos automáticamente de forma visual.

Tabla N°09: Ejemplo de resultado de secuencia de extracción.

Periodo	PIT	Fase	Bc-Fase	Destino	Bc-Destino	Materia	Tonnes	C_AS	C_ASCU	C_CNCU	C_FE	C_MO	C_TCU	C_UCS	C_OTYPE
2020Q1	SR	SR8	2693	SO1.3		2824 WASTE	20,078	31.1	0.010	0.009	3.5	0.002	0.020	61.8	1
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2858 WASTE	1	338.0	0.013	0.021	5.4	0.002	0.081	53.3	3
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	7,501	338.0	0.013	0.021	5.4	0.002	0.081	53.3	3
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	15,442	46.4	0.021	0.043	4.6	0.002	0.093	192.7	3
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	50,652	45.7	0.022	0.034	6.1	0.002	0.106	109.9	3
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	100,918	138.4	0.014	0.020	5.1	0.002	0.098	127.7	5
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	206,899	133.9	0.014	0.020	4.5	0.002	0.104	127.1	5
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	206,659	262.9	0.015	0.022	4.7	0.003	0.114	119.4	5
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	180,889	52.7	0.014	0.021	4.5	0.002	0.124	130.1	5
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	206,719	171.7	0.015	0.022	4.7	0.002	0.134	133.7	5
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	148,788	397.7	0.018	0.024	4.8	0.006	0.145	147.6	5
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	173,221	147.0	0.015	0.022	4.7	0.003	0.153	149.4	5
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	75,338	43.9	0.013	0.019	4.2	0.003	0.162	103.0	5
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	64,640	321.6	0.014	0.022	4.1	0.003	0.168	155.9	5
2020Q1	SR	SR7	2528	SE		2873 WASTE	2,257,658	80.8	0.012	0.016	4.8	0.002	0.076	149.2	1
2020Q1	SR	SR7	2528	SO1.3		2824 WASTE	792,596	80.8	0.012	0.016	4.8	0.002	0.076	149.2	1

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.7.4. Flujo de acarreo

El flujo de acarreo para nuestro trabajo de investigación estará definido como la cantidad de camiones que pasan por un determinado punto en la ruta de acarreo en un determinado periodo de tiempo (m). El intervalo de arribo viene a ser la inversa de la expresión (m) y nos indica la diferencia en tiempo de arribo entre cada camión.

$$\frac{Cam}{hr} = \frac{\frac{Tm/periodo}{Tm/camión}}{\frac{Días}{periodo} * \frac{Horas}{Día} * \%U * \%D} \dots (m)$$

### 3.2.8. Modelos científicos

Un modelo científico es una representación abstracta, conceptual, gráfica o visual, física de fenómenos, sistemas o procesos a fin de analizar, describir, explicar, simular (generar, explorar, controlar y predecir) esos fenómenos o procesos. Un modelo permite determinar un resultado final a partir de unos datos de entrada. Se considera que la creación de un modelo es una parte esencial de toda actividad científica.

Debe distinguirse entre un modelo científico y una teoría, aun cuando ambos se hallan muy estrechamente relacionados, pues el modelo para una teoría equivale a una interpretación de esta teoría. Una teoría dada puede tener diversos modelos para poder ser explicada.

Para hacer un modelo es necesario plantear una serie de hipótesis, de manera que lo que se quiere estudiar esté suficientemente plasmado en la representación, aunque también se busca, normalmente, que sea lo bastante sencillo como para poder ser manipulado y estudiado.

#### 3.2.8.1. Clasificación de modelos científicos

Generalmente, los modelos se clasifican por su estructura interna más que por los detalles formales del input, el output o la forma de representación. Sobre esa base de estructura interna los modelos se clasifican en:

- **Modelos físicos:** Es una representación o copia (generalmente a escala, ya sea mayor o menor) de algún objeto de interés y que permite su examen en diferentes circunstancias. La escala no es necesariamente la misma en todos los ejes (por

ejemplo, en modelados topográficos a veces se utilizan diferentes escalas verticales y horizontales).

- **Modelos matemáticos:** Busca representar fenómenos o relaciones entre ellos a través de una formulación matemática. Una clasificación de estos modelos los ordena como:
  - **Modelos deterministas:** Aquellos en los cuales se asume que tanto los datos empleados como el o los fenómeno(s) mismo(s) son completamente conocidos, por lo menos en principio, y que las fórmulas empleadas son lo suficientemente exactas como para determinar precisamente el resultado, dentro de los límites determinados por la observación. (por ejemplo: las fórmulas de la ley de gravitación universal de Newton)
  - **Modelos estocásticos y probabilísticos:** En el cual no se asume lo anterior, lo que implica que el resultado es una probabilidad. Existe por tanto incertidumbre. (por ejemplo, algunas de las formulaciones de la relación de indeterminación de Heisenberg y modelo estadístico)
  - **Modelos numéricos:** En los que la realidad física y las condiciones iniciales se representan mediante un conjunto de números, a partir de ellos se calculan u obtienen por algún medio otros resultados numéricos que reflejan cierto efecto de las condiciones iniciales. Estos modelos permiten “experimentar” a través de simulaciones en un computador u ordenador de modelos matemáticos o lógicos. (por ejemplo: simulación numérica y método de Montecarlo)

- **Modelos gráficos:** Son la representación de datos, generalmente numéricos, mediante recursos gráficos (tales como líneas, vectores, superficies o símbolos), para que la relación entre los diferentes elementos o factores guardan entre sí se manifiesten visualmente.
- **Modelos análogos:** Se basan en las analogías que se observan desde el punto de vista del comportamiento de sistemas físicos diferentes que, sin embargo, están regidos por formulaciones matemáticas idénticas. Por ejemplo, hasta los años 1970 el modelaje de sistemas de agua subterráneas se realizaba con redes eléctricas de resistencias y condensadores. Este procedimiento, bastante engorroso y costoso se substituyó con el modelaje puramente matemático en la medida en que aumentó la capacidad de los computadores y se popularizó el uso del cálculo numérico.
- **Modelos conceptuales:** Pueden entenderse como un mapa de conceptos y sus relaciones, incluyendo suposiciones acerca de la naturaleza tanto de los fenómenos que esos conceptos representan como sus relaciones. Estos modelos implican un alto nivel de abstracción, concentrándose en aspectos de categorías semánticas o conceptuales que son considerados fundamentales para la comprensión de lo representado. Los modelos conceptuales se podrían clasificar en modelos que se refieren a entidades o fenómenos aislados o únicos (el átomo, el universo) y los que se refieren a entidades específicas por lo menos en principio en relación a un grupo de tales entidades.

### **3.2.8.2. Fases de construcción de un modelo matemático**

En muchos casos la construcción o creación de modelos matemáticos útiles sigue una serie de fases bien determinadas. (Ríos, 1995)

#### **3.2.8.3. Identificación**

Identificación de un problema o situación compleja que necesita ser simulada, optimizada o controlada y por tanto requeriría un modelo matemático predictivo para hacer efectivo el mismo.

#### **3.2.8.4. Elección del tipo**

Elección del tipo de modelo, esto requiere precisar qué tipo de respuesta pretende obtenerse, cuales son los datos de entrada o factores relevantes, y para qué pretende usarse el modelo. Esta elección debe ser suficientemente simple como para permitir un tratamiento matemático asequible con los recursos disponibles. Esta fase requiere además identificar el mayor número de datos fidedignos, rotular y clasificar las incógnitas (variables independientes y dependientes) y establecer consideraciones físicas, químicas, geométricas, etc. Que representen adecuadamente el fenómeno en estudio.

#### **3.2.8.5. Formalización**

Formalización del modelo en la que se detallarán qué forma tienen los datos de entrada, qué tipo de herramienta matemática se usará, como se adaptan a la información previa existente. También podría incluir la confección de algoritmos, ensamblaje de archivos informáticos, etc. En esta fase posiblemente se introduzcan también simplificaciones suficientes para que el problema matemático de modelización sea tratable computacionalmente.

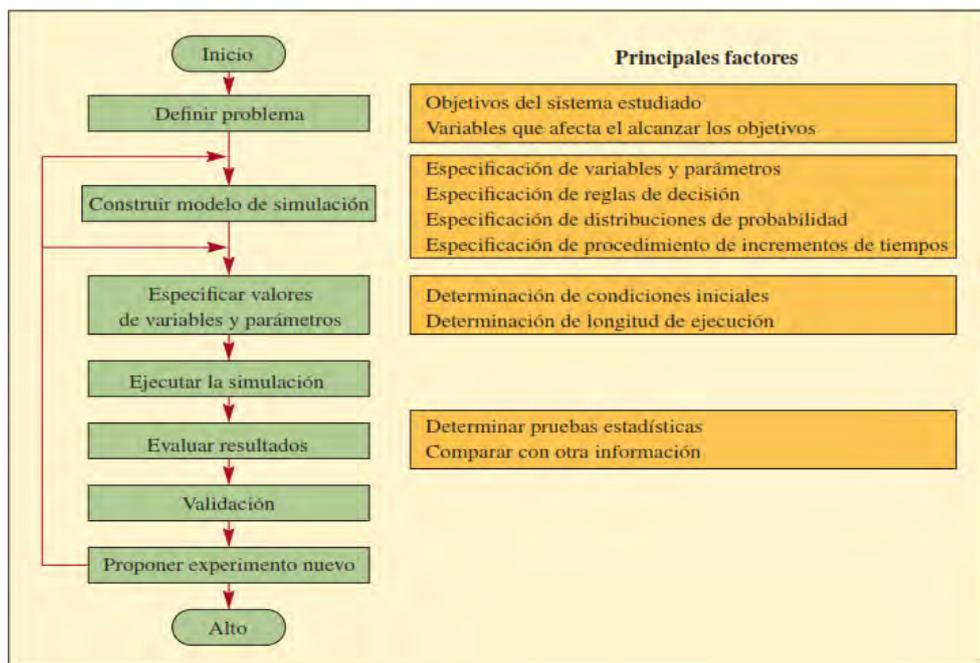
### 3.2.8.6. Comparación de resultados

Los resultados obtenidos como predicciones necesitan ser comparados con los hechos observados para ver si el modelo está prediciendo bien. Si los resultados no se ajustan bien, es común volver a la fase 1.

### 3.2.9. Simulación

Los experimentos de simulación se efectúan antes de que el sistema real entre en operación a fin de ayudar en su diseño, ver cómo reaccionaría el sistema a los cambios en sus reglas operativas o evaluar la respuesta del sistema a los cambios en su estructura. La simulación es adecuada especialmente en situaciones en las que el tamaño o la complejidad del problema dificultan o hace imposible el uso de técnicas de optimización. La simulación también se puede usar en conjunto con técnicas científicas tradicionales de gestión y estadística.

Figura N°23: Diagrama de flujo de las principales etapas de un estudio de simulación



Fuente: Chase, 2019

### **3.2.10. Definición de términos básicos**

#### **3.2.10.1. Relevo de operadores**

Es la actividad que consiste en el reemplazo de operadores de equipos para dar continuidad a los trabajos.

#### **3.2.10.2. Cambio en caliente**

Consiste en realizar el relevo de operadores de tal forma que se minimice el tiempo en el que el equipo está inoperativo (demora por cambio de operador), haciendo un cambio de operador con el mínimo desplazamiento del equipo; en algunos casos como perforadoras, tractores es más fácil de cumplir esta condición que por ejemplo con camiones o cisternas cuya labor consiste en desplazarse; de esta manera evitar que la operación se detenga completamente.

#### **3.2.10.3. Plataformas de cambio en caliente**

Son plataformas especialmente diseñadas para hacer un relevo rápido entre los operadores de equipos de acarreo, y que cumplen con la condición de que minimizan el desplazamiento de los equipos.

#### **3.2.10.4. Bahías**

Es la capacidad en número de equipos que tienen los parqueos o plataformas de cambio en caliente.

### **3.2.10.5. Ubicación de plataformas de cambio en caliente**

Para ubicar una plataforma de cambio en caliente primeramente tendremos que identificar que el espacio cumple con las dimensiones estándar de nuestras plataformas, o que pueda ser plataformado relativamente fácil con el apoyo de maquinaria ya sea haciendo algunos cortes o rellenos.

Además de este primer punto la ubicación de las plataformas también dependerán de:

- Cercanía a camerinos, ya que se dispone de un tiempo corto para realizar los relevos es crucial que no se gaste mucho de este tiempo en transportar a los operadores entrantes ni a los operadores salientes.
- Paralelo a las vías de camiones, ya que la idea es que los camiones no tengan que desplazarse demasiado para poder hacer el relevo.
- Espacio disponible, ya que de este proyecto se espera una ganancia, será posible reubicar alguna instalación existente para usarla como Plataforma de cambio en caliente o anticipar que se dispondrá de un área para que otros no la ocupen.

## **CAPITULO IV**

### **METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE PLATAFORMAS Y SU NÚMERO RESPECTIVO DE BAHÍAS DE CAMBIO EN CALIENTE**

#### **4.1. Definición del problema**

La implementación de plataformas de cambio en caliente se ha dado en varias operaciones mineras a tajo abierto en Perú dando resultados positivos, motivo por el cual se planteó su implementación en la Mina Cerro Verde; no obstante Cerro Verde es una operación bastante compleja ya que tiene 4 destinos de procesos, 3 tajos, 4 botaderos además de stocks de mineral y es una de las minas con mayor movimiento de material del mundo superior a 900,000 tm por día; en este sentido el problema de implementar plataformas de cambio en caliente radica en definir su ubicación más apropiada y su correspondiente capacidad optima o en otras palabras el número de bahías.

## **4.2. Modelo matemático para calcular el número de bahías óptimo**

### **4.2.1. Conceptualización del modelo**

Para el presente estudio se consideró dos tipos de plataformas de cambio en caliente, la convencional con cambio de operador al nivel de cabina del camión y la de cambio de operador a nivel de piso, las diferencias serán descritas en el siguiente capítulo, no obstante, ambos tipos son muy similares en su funcionamiento por lo cual solo se necesita un modelo para ambas, este modelo funciona bajo el criterio FIFO (First in, first out) que es cómo funcionan en la realidad.

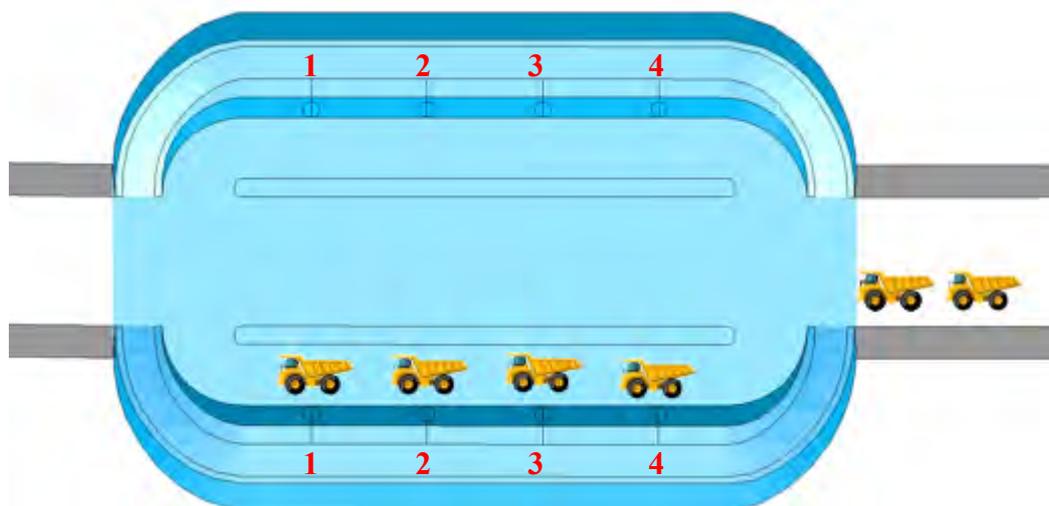
Las plataformas de cambio en caliente consisten en vías paralelas a la vía de acarreo por las cuales se desplazarán, detendrán y se relevarán los camiones, que pueden ir a un lado o a ambos lados; si va a un solo lado de la vía solo los camiones que van en el sentido adyacente a esta vía podrán utilizarla; adicional a esta vía hay una vía más de doble sentido para vehículos livianos (camionetas y vanes) las cuales se usarán para transportar a los operadores entrantes y salientes.

A continuación, se describe el funcionamiento del sistema desde el punto de vista de elaboración del modelo:

- El tiempo total de trabajo del sistema inicia con el arribo del primer camión lo que constituye el tiempo 0 y el inicio de la primera tanda, este camión se acomoda a la primera bahía.
- Para esto ya debería estar el operador de relevo listo para el cambio por lo que ahí inicia el tiempo de cambio de operador.

- En un intervalo de tiempo determinado arribaría el siguiente camión el cual se acomodaría a la segunda bahía e inmediatamente procedería con el cambio de operador.
- De esta manera sucesivamente hasta completar la última bahía (con lo cual se completaría una tanda).
- El camión que pretenda ingresar luego del que ingreso a la última bahía tendrá que esperar a que sea atendido para ingresar al sistema y se posicionaría en la primera bahía (con lo cual se iniciaría la siguiente tanda).
- Y así seguirían ingresando durante todo el tiempo destinado para cambio de operadores que viene a ser el tiempo total de trabajo.
- El tiempo total de trabajo del sistema termina con la salida del último camión de la última tanda.

*Figura N°24: Diseño de plataforma de Cambio en Caliente*



Fuente: Elaboración propia

De este modelo se desprende las siguientes variables:

*Tabla N°10: Variables en una Plataforma de cambio en caliente*

<b>Abreviatura</b>	<b>Item</b>	<b>Unidad</b>
TT	Tiempo total de trabajo del sistema	Min.
Tcambio	Tiempo de cambio de operador en la bahía	Min.
Intervalo	Intervalo de arribo al sistema	Min.
#Bahías	Número de bahías por plataforma de cambio en caliente	Und.
Tanda	Una tanda está definida por el grupo de camiones que completan hasta la última bahía una vez, si $T_{\text{cambio}} \geq \text{Intervalo}$ entonces el grupo de camiones será igual al #Bahías, Si $T_{\text{cambio}} < \text{Intervalo}$ entonces a lo mucho se necesitaría una bahía.	Und.
#Tandas	Número de tandas que arriban al sistema en el tiempo total (TT)	Und.
#MaxCamionesAt	Número máximo de camiones que podrían ser atendidos por el sistema	Und.
#CamionesAt	Número de camiones atendidos por el sistema	Und.

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.2. Diseño y construcción del modelo**

El modelo se diseñó y construyó en una hoja de cálculo de Excel de acuerdo a los criterios y variables descritos anteriormente, la cual en adelante se denominará plantilla, esta plantilla solo considera un lado de la plataforma.

Figura N°25: Plantilla en Excel para cálculo de camiones atendidos en bahías de cambio en caliente

Entrada	
Inicio	0 min
Intervalo	1.5 min
T cambio	5 min
Tiempo total de atencion	20 min
Bahías	4 und
Resultados	
#Max Camiones atendidos	11 und
Tiempo espera total	6 min
Camiones atendidos	8 cam
Ratio Espera/camion	0.75 Min/cam
Tandas	2.0

	0	0	0	4	0	0	0	4
	1	2	3	4	5	6	7	8
Arribo (min)	0	1.5	3	4.5	6	7.5	9	10.5
Espera (min)	0	0	0	0	3.5	2	0.5	0
Inicio (min)	0	1.5	3	4.5	9.5	9.5	9.5	10.5
Fin (min)	5	6.5	8	9.5	14.5	14.5	14.5	15.5

Fuente: Elaboración propia

**a. A las variables se les asignará valores determinísticos.**

La plantilla se configuro de tal manera que esté orientada a poder hallar ciertas variables de nuestro interés:

$$TT = F(\text{Intervalo}, T\text{cambio}, \#Tandas, \#Bahías)$$

$$\#CamionesAt = F(\text{Intervalo}, T\text{cambio}, \#Tandas, \#Bahías)$$

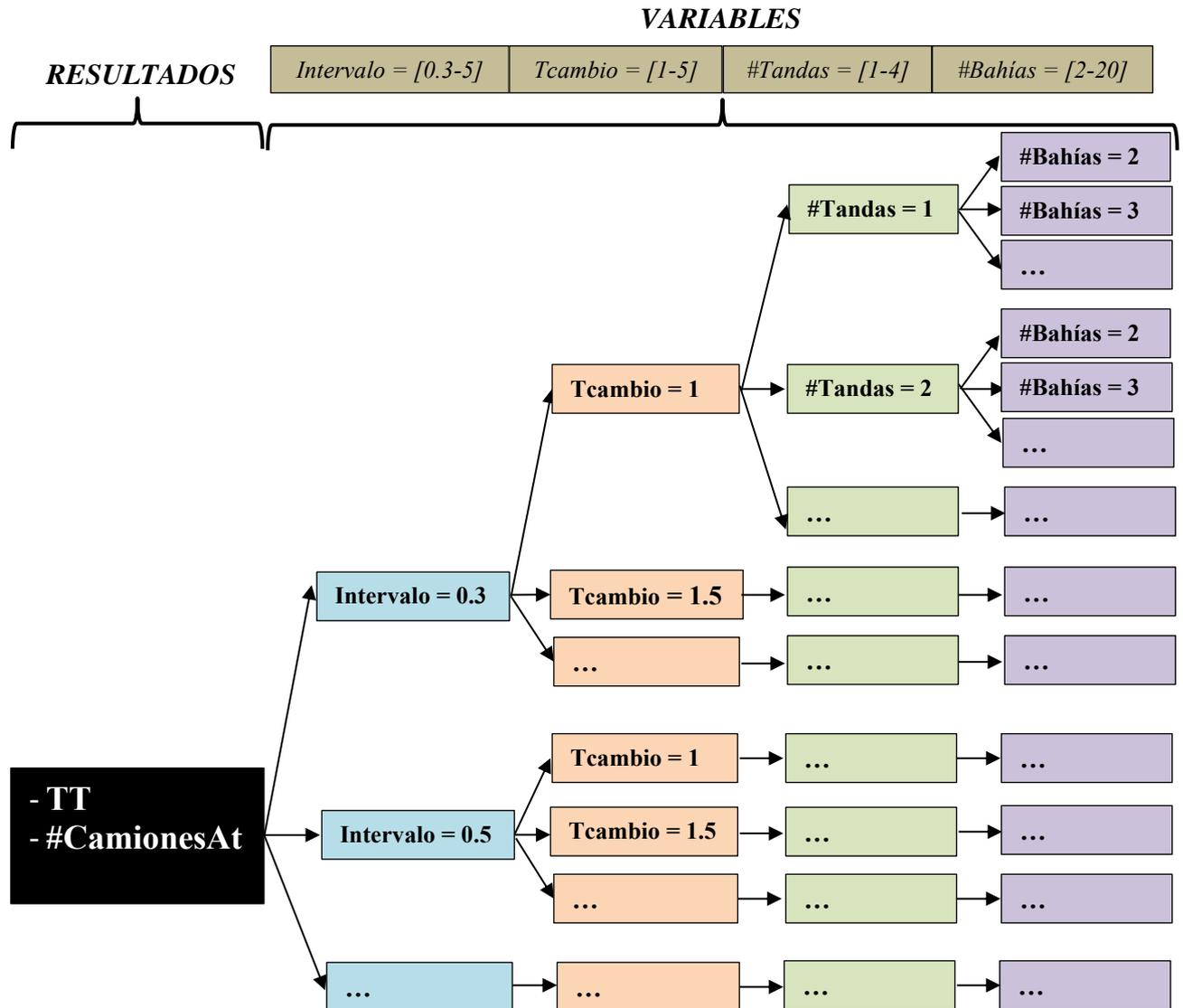
**4.2.3. Simulación**

Con la finalidad de poder evaluar las variables se configuro nuestra plantilla haciendo constantes algunas variables y dando ciertos valores dentro de un rango a otras variables y se simulo cada caso.

Tabla N°11: Rango de valores asignados a cada variable

Variable	Rango
#Bahías	[2-20] min.
#Tandas	[1-4] und.
Tcambio	[1-5] min.
Intervalo	[0.3-5] min.

Figura N°26: Diagrama de Árbol de valores asignados a las variables



Fuente: Elaboración propia

Estas corridas se realizan para encontrar tendencias entre los datos, o visto de otra manera para encontrar alguna curva que represente el comportamiento del sistema.

Una vez obtenida esta curva, será posible interpretarla mediante una o unas ecuaciones, que es el objetivo de esta parte del trabajo.

Seguidamente se mostrará a modo de ejemplo un caso representativo para apoyarnos a explicar cómo se llegó a los resultados.

Los valores dados a las variables para este caso se resumen en el siguiente cuadro

*Tabla N°12: Valores asignados a variables para ejemplo*

Variable	Rango
#Bahías	[2, 3, 4, 5, ..., 20] min.
#Tandas	[1, 2, 3, 4] und.
Tcambio	[5] min.
Intervalo	[0.5] min.

Fuente: Elaboración propia

*Tabla N°13: Resultados de corrida en plantilla con #Tandas = 1*

		Corridas																		
Entrada	Und	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Intervalo (Cte)	Min.	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tcambio (Cte)	Min.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
#Tandas (Cte)	Und.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
#Bahías	Und.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Resultados																				
TT	Min.	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5
Tespera Total	Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#CamionesAt	Und.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Fuente: Elaboración propia

*Tabla N°14: Resultados de corrida en plantilla con #Tandas = 2*

		Corridas																		
Entrada	Und	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Intervalo (Cte)	Min.	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tcambio (Cte)	Min.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
#Tandas (Cte)	Und.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
#Bahías	Und.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Resultados																				
TT	Min.	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5
Tespera Total	Min.	8.5	12	15	17.5	19.5	21	22	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
#CamionesAt	Und.	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°15: Resultados de corrida en plantilla con #Tandas = 3

		Corridas																		
Entrada	Und	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Intervalo (Cte)	Min.	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tcambio (Cte)	Min.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
#Tandas (Cte)	Und.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
#Bahias	Und.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Resultados																				
TT	Min.	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	21	22.5	24	25.5	27	28.5	30	31.5	33	34.5
Tespera Total	Min.	25	34.5	42	47.5	51	52.5	52	49.5	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
#CamionesAt	Und.	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°16: Resultados de corrida en plantilla con #Tandas = 4

		Corridas																		
Entrada	Und	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Intervalo (Cte)	Min.	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tcambio (Cte)	Min.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
#Tandas (Cte)	Und.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
#Bahias	Und.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Resultados																				
TT	Min.	20.5	21	21.5	22	22.5	23	23.5	24	24.5	26.5	28.5	30.5	32.5	34.5	36.5	38.5	40.5	42.5	44.5
Tespera Total	Min.	49.5	67.5	81	90	94.5	94.5	90	81	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5
#CamionesAt	Und.	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80

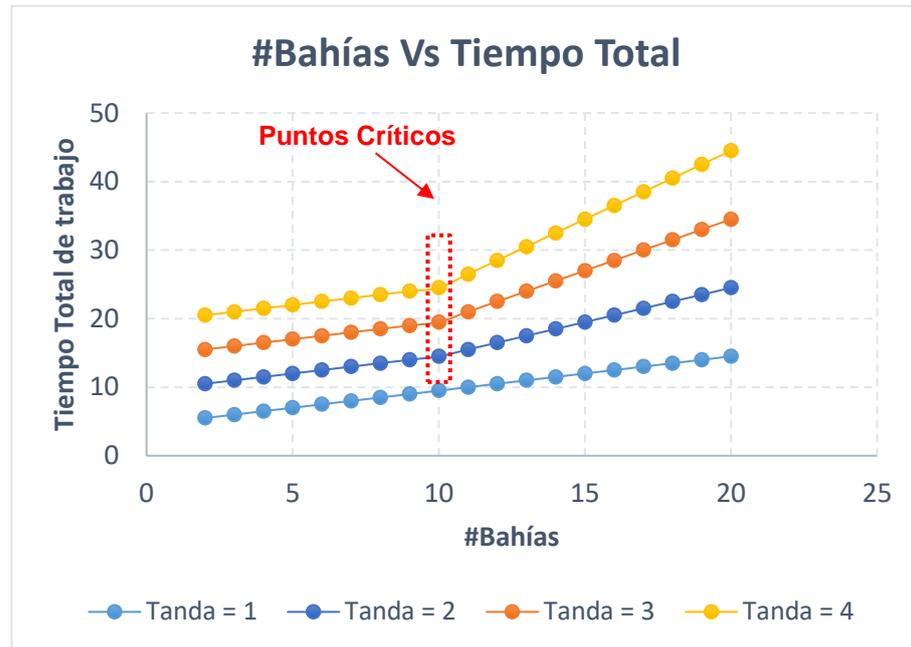
Fuente: Elaboración propia

Luego de analizar las relaciones entre las variables independientes y las dependientes se encontró las siguientes relaciones para cada caso:

### A) Desarrollo de ecuación de tiempo total de trabajo (TT)

Se identificó que la relación entre el Número de bahías (#Bahías) y el Tiempo total de atención (TT) está representado para cada tanda por dos rectas intersectadas en un punto con valor igual en el eje “x”; a excepción de las curvas con una sola Tanda la cual solo está representada por una recta como se ve en el gráfico a continuación.

Figura N°27: Número de Bahías Vs Tiempo total de trabajo



Fuente: Elaboración propia

Luego se descompuso las rectas y con la ayuda de las ecuaciones de la recta y la pendiente de la recta se modelo para los diferentes casos simulados.

Ecuación de la recta:

$$Y = mX + b$$

Donde:

Y : Valor en el eje Y

m: Constante que represente la pendiente de la recta

X: Valor en el eje X

b: Constante que representa el punto en que la recta corta al eje Y

Y la ecuación de la pendiente de la recta:

$$m = \frac{(Y_1 - Y_2)}{(X_1 - X_2)}$$

Donde:

$(X_1, Y_1)$  y  $(X_2, Y_2)$  : son puntos en la recta

A partir de lo cual se dedujo las ecuaciones (a) y (b)

$$\underbrace{TT}_{Y} = \underbrace{Intervalo * \#Bahías}_{m} + \underbrace{Tcambio * \#Tandas - Intervalo}_{X} \dots (a)$$

$$\underbrace{TT}_{Y} = \underbrace{Intervalo * \#Tandas * \#Bahías}_{m} + \underbrace{Tcambio - Intervalo}_{X} \dots (b)$$

Se igualan las ecuaciones (a) y (b), para encontrar el punto de intersección de las rectas, a este punto en adelante lo conoceremos como punto crítico (PC), la ecuación (a) representa la recta al lado izquierdo del PC y la ecuación (b) a la derecha.

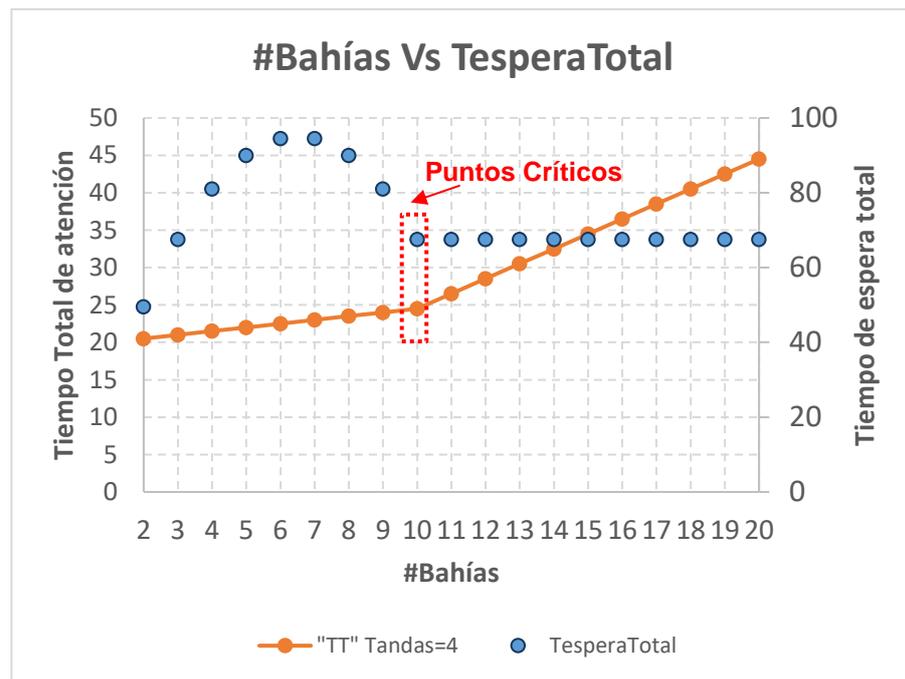
$$\#Bahías(PC) = \frac{Tcambio}{Intervalo} \dots (c)$$

Para las curvas con Tandas  $\geq 2$ , se observó que a partir del punto crítico la pendiente es mayor que la que tienen antes del punto crítico si avanzamos en el eje X.

## B) Análisis de tiempo de espera total (TesperaTotal)

Se identificó que la relación entre el Número de bahías (#Bahías) y el Tiempo de espera total (TT) está representado por una parábola y a partir del PC en una recta de valor constante en Y.

Figura N°28: Número de Bahías Vs Tiempo de espera total



Fuente: Elaboración propia

## C) Desarrollo de ecuación de número de camiones atendidos (#CamionesAt)

Para determinar el número de camiones atendidos se emplea la siguiente expresión:

$$\#CamionesAt = \#Bahías * \#Tandas \dots (d)$$

Se identificó que la relación entre el Número de bahías (#Bahías) y los camiones atendidos (#CamionesAt) está representado por una recta y el Número de bahías

(#Bahías) y el número máximo de camiones atendidos (#MaxCamAt) está representado por dos rectas unidas en el punto crítico.

A partir del punto crítico se observó que:

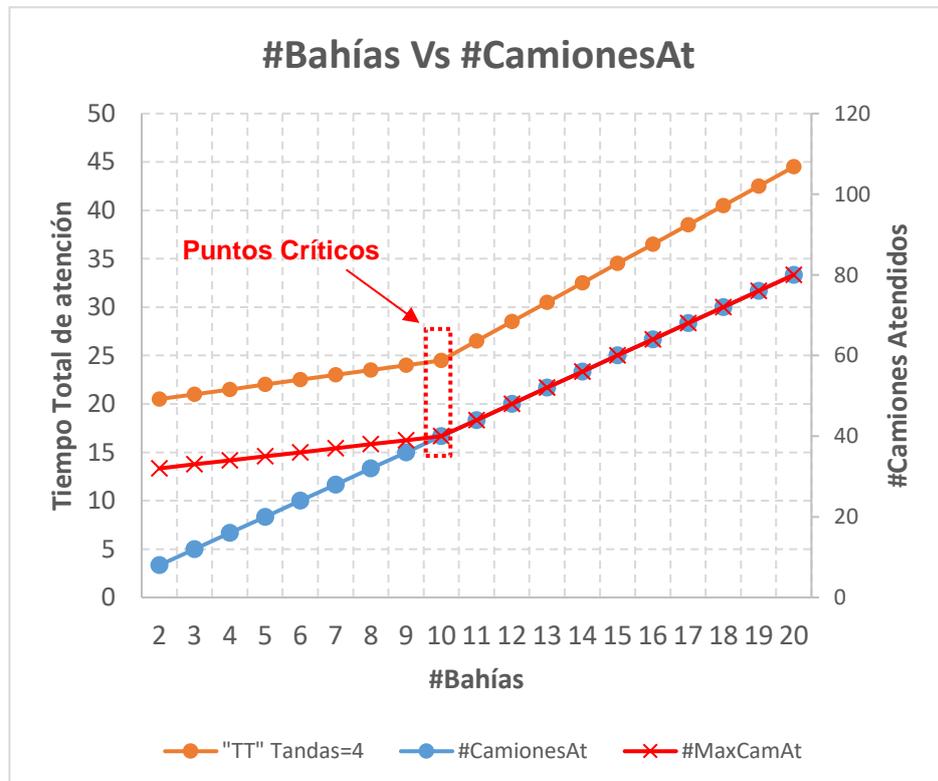
$$\#CamionesAt = \#MaxCamAt \dots (e)$$

Esto matemáticamente se expresa reemplazando la ecuación (e) en (d) y luego en (b).

$$TT = T_{cambio} - Intervalo + Intervalo * \#MaxCamAt$$

$$\#MaxCamAt = \frac{TT - T_{cambio}}{Intervalo} + 1 \dots (f)$$

Figura N°29: Número de Bahías Vs #Camiones atendidos



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4. Resultados

De lo desarrollado anteriormente se tiene:

- Desprendido de A), ya que la pendiente de la gráfica se incrementa al lado derecho del punto crítico, entonces a partir de ese punto a más bahías tendremos un tiempo mayor de trabajo total. Por lo que para minimizar el tiempo total de trabajo (TT) en el sistema debemos de tomar el número de bahías (#Bahías) igual o inferior al del punto crítico.
- Desprendido de B), antes del Punto crítico se tiene valores que representan una Parábola que va de valores de tiempo de espera total del sistema bajos a altos y luego baja hasta hacerse un valor constante a partir del punto crítico, por lo que para minimizar el tiempo de espera total en el sistema (TesperaTotal) debemos de tener un número de bahías (#Bahías) igual o superior del punto crítico.
- Desprendido de C), Ya que el número de camiones atendidos es inferior al número máximo de camiones atendidos hasta que en el punto crítico se hacen iguales, entonces para maximizar el número de camiones atendidos debemos de considerar un número de bahías igual o superior del punto crítico.
- De los puntos anteriores podemos afirmar que el valor optimo del número de bahías está representado por la ecuación (c) y que nos conviene usar valores superiores a usar valores inferiores a este:

$$\#Bahías(PC) = \frac{T_{cambio}}{Intervalo} \dots (c)$$

- Ahora para calcular el número máximo de camiones atendidos necesitaremos primero calcular el número de tandas, el cual sustentado en los párrafos anteriores deberá calcular a partir de una ecuación derivada de la (b).

$$\#Tandas = \frac{TT - Tcambio + Intervalo}{Intervalo * \#Bahías} \dots (g)$$

### **4.3. Metodología para determinar la ubicación óptima de plataformas de cambio en caliente**

#### **4.3.1. Conceptualización del modelo**

En una operación minera superficial por lo general se tiene varios frentes de carguío de material y varios destinos los cuales pueden ser procesos o botaderos.

Para transportar este material se emplean equipos de acarreo que recorren ciertas rutas que en teoría deberían de ser las más cortas. Estas rutas varían de acuerdo a la fase que se mine, a la expansión de los tajos, la ubicación o reubicación de los procesos y botaderos, etc.

Todo lo anterior se ve reflejado en los planes de minado. Para esta parte del trabajo se necesita conocer lo siguiente del plan: Periodo, origen, destino, tonelaje o camiones y las rutas de acarreo.

#### **4.3.2. Diseño y construcción del modelo**

Se tiene que definir el horizonte de tiempo al cual se quiere aplicar el estudio, luego identificar las posibles ubicaciones de plataformas de cambio en caliente de acuerdo a las rutas de acarreo usadas por periodo y numerarlas.

Luego se tiene que elaborar una tabla de periodos versus las ubicaciones propuestas donde se registre los intervalos de arribo (intervalo).

*Tabla N°17: Intervalos de arribo por periodo por ubicación propuesta*

Periodos	Ubicación								
	1	2	3	4	5	6	7	8	...
2020Q1									
2020Q2									
2020Q3									
2020Q4									
2021									
2022									
...									

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se elabora la tabla de Intervalos de arribo versus el número de bahías (a calcular con la ecuación (c)) una vez definido el tiempo de trabajo del sistema (TT) por turno y el tiempo de cambio de operadores (Tcambio), para calcular el número de tandas usamos la ecuación (g), se recomienda considerar de 3 a 4 tandas.

*Tabla N°18: Número máximo de camiones atendidos por intervalos*

Intervalo	#Bahías (PC)	#Tandas	#MaxCamAt

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3. Análisis de datos

Seguidamente en la tabla N°12 se reemplaza los valores de intervalos por su equivalente número de bahías (#Bahías) definido en la Tabla N°19.

Como resultado tendremos una tabla con la ubicación de las plataformas y con el número de bahías, a partir de la cual se puede definir un número de bahías recomendado, periodo de inicio de funcionamiento y periodo de fin de funcionamiento.

*Tabla N°19: Bahías recomendadas por periodo*

Periodos	Ubicación								
	1	2	3	4	5	6	7	8	...
2020Q1									
2020Q2									
2020Q3									
2020Q4									
2021									
2022									
...									
#Bahías Propuesto									
Inicio funcionamiento									
Fin Funcionamiento									

Fuente: Elaboración propia

### 4.1.1. Resultados

A partir de estos resultados se puede determinar el número máximo de camiones estimados atendidos (#MaxCamAt) por periodo multiplicando el #Bahías propuesto por el #Tandas por periodo, lo cual representa nuestro tope de atenciones posibles.

Tabla N°20: Camiones atendidos por periodo

Periodos	#MaxCamAt
2020Q1	
2020Q2	
2020Q3	
2020Q4	
2021	
2022	
...	

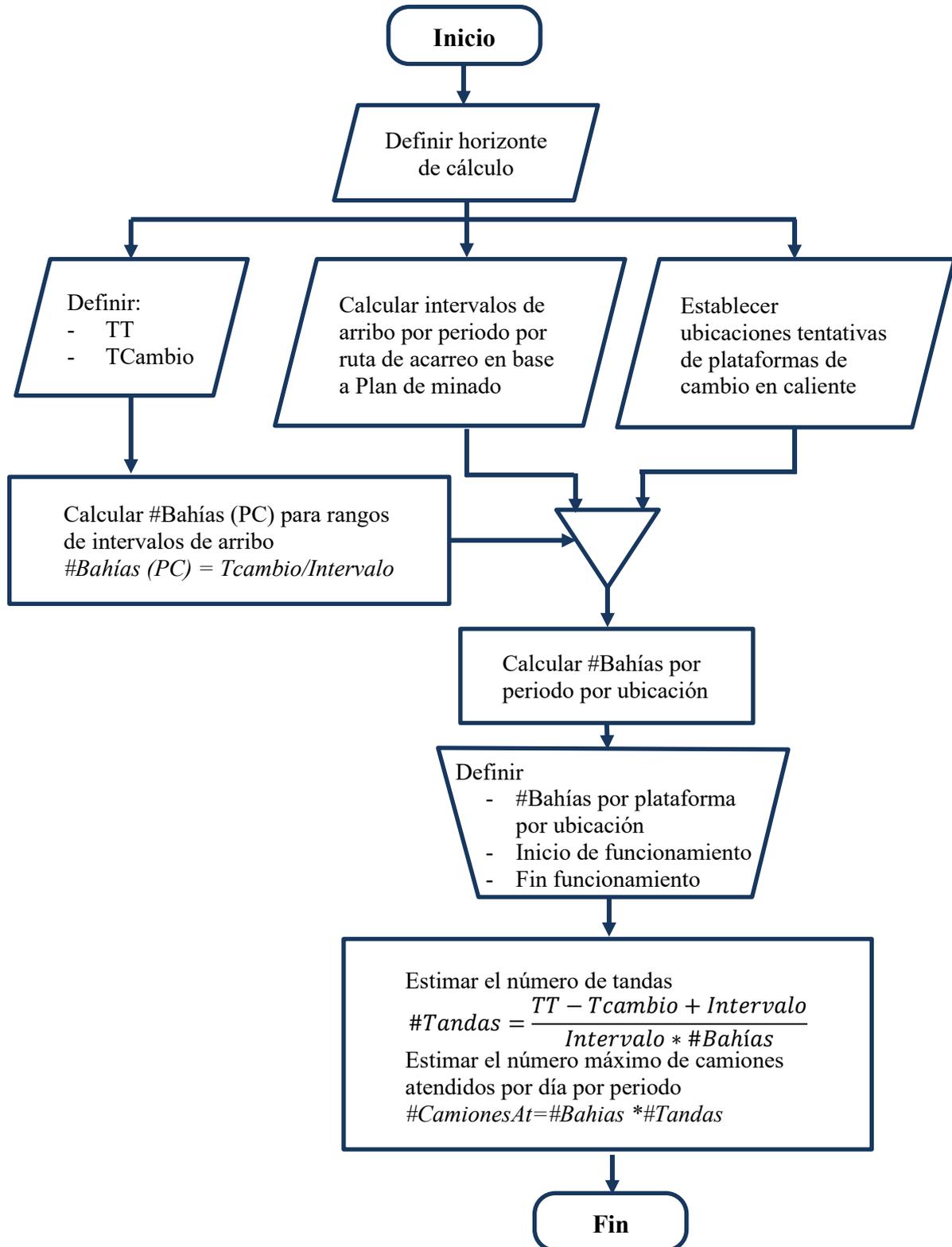
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Metodología general para determinar la ubicación óptima de plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente

En esta parte se sintetizo mediante un diagrama de flujo los pasos a seguir para determinar la ubicación óptima de las plataformas de cambio en caliente y su número respectivo de bahías.

Es preciso mencionar que la información de entrada que necesitaremos para un horizonte definido de cálculo es: Tiempo total de trabajo ( $TT$ ), Tiempo de cambio de operadores en las bahías ( $T_{cambio}$ ), Rutas de acarreo por periodo, Intervalos de arribo ( $Intervalos$ ) por rutas o flujo de camiones por ruta.

Figura N°30: Diagrama para determinar ubicación óptima de Plataformas y su número respectivo de bahías de cambio en caliente



Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO V**

### **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO EN LA MINA CERRO VERDE**

#### **5.1. Factores que afectan el cambio de operadores en plataformas de parqueos en la mina Cerro Verde**

##### **5.1.1. Ubicación de parqueos**

Para ubicar los parqueos se toman ciertas consideraciones tales como su cercanía a los vestuarios, cercanía a talleres, cercanía a las vías de camiones, espacio disponible, área suficiente y que sea una superficie plana de preferencia. Estas áreas suelen ser definidas a sugerencia del Área de Operaciones Mina.

No obstante, hay que tener presente que el relevo en los equipos auxiliares, palas y perforadoras suelen realizarse donde están cumpliendo sus trabajos, al igual que algunos camiones mineros que por razones operativas terminan siendo relevados en los pisos de palas.

*Figura N°31: Foto parqueo en SMCV*



Fuente: Elaboración propia

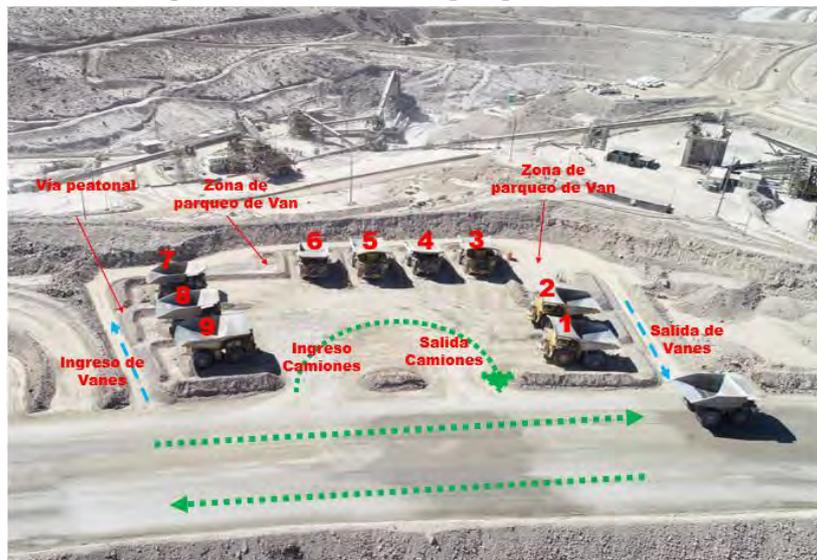
### **5.1.2. Modo de cambio**

A continuación, se detalla de forma relativamente simplificada el proceso de cambio de operadores de camiones en plataformas de parqueos, enfocándolo en lo relevante para nuestro análisis, si se quiere ver el proceso con mayor detalle, revisar el Anexo N°06:

- a. Los camiones se dirigen al parqueo designado por el despachador o supervisor.

- b. Los camiones ingresan y son estacionados en la zona de parqueo respetando el orden de llegada siempre por el lado izquierdo (lado visible del operador).
- c. En paralelo al punto anterior arriban las Vans con personal de turno entrante las cuales se estacionan en las zonas designadas.
- d. Los operadores se desplazan por los accesos peatonales hacia los camiones.
- e. Se procede con el relevo del operador saliente al operador entrante, respecto a observaciones y/o comentarios referentes al equipo.
- f. El operador entrante realiza el check list del equipo y el IPERC
- g. Los operadores entrantes inician la marcha en forma secuencial y salen del parqueo.
- h. Los operadores salientes se dirigen a la Van por la vía peatonal
- i. La Van se dirige a vestuario con los operadores salientes

*Figura N°32: Partes de parqueos en SMCV*



Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que:

- Las capacidades de las plataformas de parqueo son de hasta 25 bahías.
- Muchos de los camiones tienen que hacer un desplazamiento adicional hasta los parqueos, ya que en algunos casos los parqueos no se encuentran en su ruta.
- Tanto el parqueo de los camiones como su salida es en forma secuencial y se cumple el sistema FIFO (First in, first out). No obstante solo puede haber movimiento de un camión a la vez dentro de la plataforma, lo cual genera cierto retraso a los camiones que ya están listos para reintegrarse a sus labores.

### **5.1.3. Tiempo de cambio**

El tiempo de cambio en parqueos por camión desde el ingreso del camión al parqueo (punto “b.” de la sección anterior) hasta la salida del mismo (punto “g.” de la sección anterior) se realiza en un tiempo promedio por camión de 13.4 minutos, esta información fue proporcionada por el área de Operaciones Mina.

## **5.2. Factores que afectan el cambio de operadores en plataformas de cambio en caliente en la mina Cerro Verde.**

### **5.2.1. Ubicación de plataformas de cambio en caliente**

Como se vio en el anterior capítulo las plataformas de cambio en caliente, deben estar cerca a los camerinos, ser paralelas a las vías de camiones, contar con un área lo suficientemente grande y disponible donde se puede ubicar la plataforma. Adicional a esto y por lo desarrollado hasta el momento también se debe considerar que esté en una vía regularmente transitada, lo cual se puede y en definitiva es mejor

verlo en las etapas de planificación, en este último punto se enfoca el presente trabajo de tesis para responder a las preguntas dónde es más conveniente ubicar, cuantas bahías debe tener y para que periodos me servirá una determinada plataforma de cambio en caliente.

*Figura N°33: Foto de Plataforma de Cambio en caliente en Cia. Minera*

*Antapaccay*



Fuente: Departamento Operaciones Mina SMCV

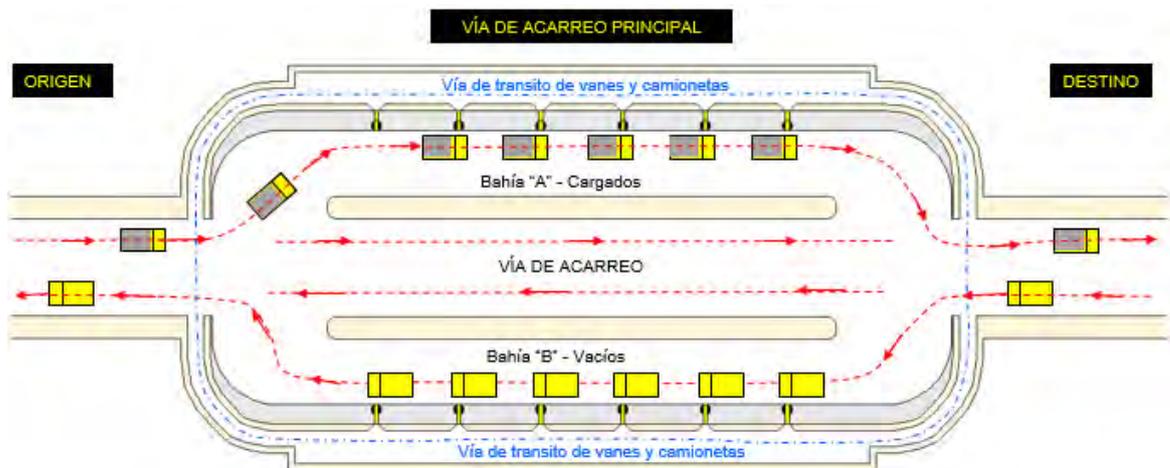
### **5.2.2. Modo de cambio**

A continuación, se detalla de forma relativamente simplificada el proceso de cambio de operadores de camiones en plataformas de cambio en caliente, enfocándolo en lo relevante para nuestro análisis, si se quiere ver el proceso con mayor detalle, revisar el Anexo N°07: Los camiones se dirigen a la plataforma de cambio en caliente.

- a. El operador saliente lleva el camión a la plataforma de cambio en caliente designada por el despachador o supervisor.
- b. Los operadores entrantes arriban a la Plataforma transportados en Vans o camionetas.

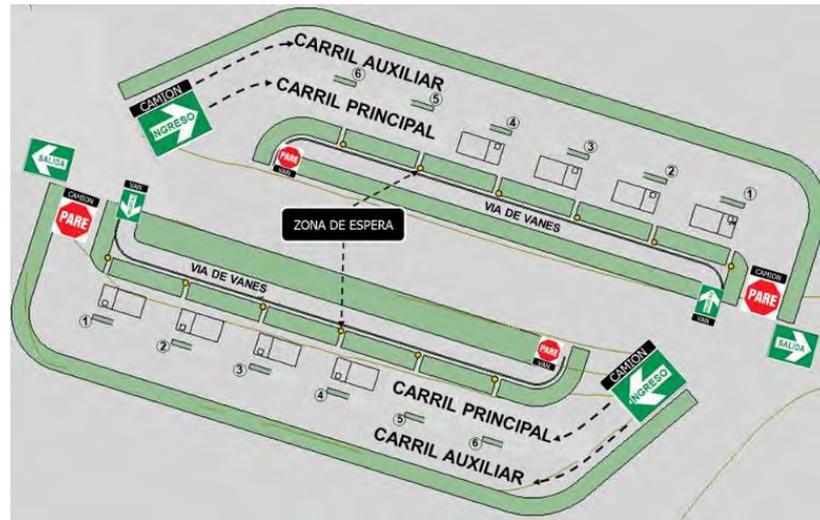
- c. El camión ingresa a la Plataforma y reduce la velocidad de marcha a menos de 10 km/hr.
- d. Se cuadra el camión por orden de llegada en la bahía más próxima a la salida (la de más adelante). En caso haya bahías ocupadas por otros camiones en proceso de relevo, se utilizará la bahía inmediatamente después del último camión.
- e. El operador saliente, sale del camión y hace el relevo al operador entrante en una zona segura, informando los eventos resaltantes ocurridos en el equipo.
- f. El operador entrante inicia marcha con la indicación positiva vía radio del operador saliente, con una velocidad no mayor a 10 km/hr, hasta su salida de la bahía.
- g. Los operadores salientes se dirigen a la Van o camioneta por la vía peatonal.
- h. La Van o camioneta se dirige a vestuario con los operadores salientes.

*Figura N°34: Esquema de plataforma de cambio en caliente a nivel de cabina*



Fuente: Departamento Operaciones Mina SMCV

Figura N°35: Esquema de plataforma de cambio en caliente a nivel de piso



Fuente: Departamento Operaciones Mina SMCV

Es importante mencionar que:

- Se está considerando dos tipos de plataformas de cambio en caliente, la convencional con cambio de operador a nivel de la cabina de camión y otra con cambio de operador a nivel de piso, esto debido a que en mina se trabaja con dos tipos de camiones KOM 930 y CAT 793 y tienen diferentes alturas de cabina tanto estando cargados o vacíos (Ver Anexo N°07). lo cual restringe el uso de bahías.
- Con el uso de plataformas de cambio en caliente en teoría se debe reducir a cero el tiempo que tomaba cambiar de ruta hasta una plataforma de parqueo.
- El sistema funciona también como FIFO, pero en este caso se reduce a cero el tiempo de retraso por movimientos de otros camiones dentro de la plataforma.

### **5.2.3. Tiempo de cambio**

El tiempo de cambio en parqueos por camión desde el ingreso del camión al parqueo (punto “c.” de la sección anterior) hasta la salida del mismo (punto “f.” de la sección anterior) se realiza en un tiempo promedio por camión de 4 minutos, esta información fue proporcionada por el área de Operaciones Mina.

### **5.2.4. Tiempo total de trabajo del sistema**

El tiempo total de relevo está directamente relacionado con la hora de ingreso de los operadores entrantes, tiempo de reunión de cambio de guardia, tiempo de transporte de los operadores entrantes desde los vestuarios hasta las plataformas de cambio en caliente, tiempo de relevo o cambio de operadores, tiempo de transporte de operadores salientes de las plataformas al vestuario, hora de salida de los operadores salientes, y otros tiempos en los cuales el personal entrante se prepara para ingresar a su guardia y el personal saliente en salir de la guardia.

Para nuestro caso de estudio el tiempo total de trabajo del sistema de cambio de operadores en cambio en caliente, abarca desde que el primer camión ingresa a la plataforma, hasta que el último camión abandona la plataforma, para lo cual los operadores entrantes ya están esperando en las bahías, lo cual está condicionado por el tiempo total de relevo.

### 5.3. Cálculo del número de bahías óptimo

#### 5.3.1. Determinación del tiempo total de trabajo en las plataformas de cambio en caliente

En la mina Cerro Verde desde mediados del 2018 se tiene implementado el horario de 13 horas para las guardias de operaciones mina (Tabla N°), acelerando el relevo de operadores en los parqueos esto como una estrategia para mejorar la utilización de los equipos, para aprovechar esto aún más se planteó las plataformas de cambio en caliente.

*Tabla N°21: Horario de ingreso y salida Op. Mina*

<b>Turno</b>	<b>Hora Ingreso</b>	<b>Hora Salida</b>
A	6:30	19:30
B	18:30	7:30

Fuente: Elaboración propia

Para nuestro caso de estudio el tiempo total de trabajo del sistema será definido como la diferencia entre la hora de ingreso del primer camión de a la plataforma de cambio en caliente hasta la salida del último camión de acarreo de la plataforma, considerando un promedio de 10min de tiempo de viaje para transportar a los operadores entrantes y 10min de tiempo de viaje para transportar a los operadores salientes; siendo así tenemos 20 minutos para realizar el relevo en las bahías de cambio en caliente lo que viene a ser nuestro tiempo total de trabajo (TT). Estos son los tiempos considerados actualmente.

La secuencia de cambio de guardia se puede ver en la tabla N°20.

*Tabla N°22: Tiempos destinados al cambio de guardia*

<b>Turno</b>	<b>Guardia</b>	<b>Hora</b>	<b>Actividad</b>
<b>A</b>	Día	6:30	Llegada de buses de transporte con guardia entrante a vestuarios de mina
	Día	6:30	Reunión de cambio de guardia
	Día	6:35	Transporte de Personal al lugar de trabajo
	Día	6:45	Llegada de Personal entrante a lugar de relevo
	Noche	7:05	Recojo de Personal de guardia saliente
	Noche	7:15	Llegada a Vestuarios de guardia saliente
	Noche	7:30	Salida de buses de transporte con guardia saliente
<b>B</b>	Noche	18:30	Llegada de buses de transporte con guardia entrante a vestuarios de mina
	Noche	18:30	Reunión de cambio de guardia
	Noche	18:35	Transporte de Personal al lugar de trabajo
	Noche	18:45	Llegada de Personal entrante a lugar de relevo
	Día	19:05	Recojo de Personal de guardia saliente
	Día	19:15	Llegada a Vestuarios de guardia saliente
	Día	19:30	Salida de buses de transporte con guardia saliente

Fuente: Elaboración propia

### **5.3.2. Determinación del tiempo de cambio en plataformas de cambio en caliente**

El tiempo de cambio inicia cuando el operador de camión llega a la bahía de cambio en caliente, para lo cual el operador de relevo ya debe estar en la zona de relevo, este espera a que el operador saliente se desplace hasta su posición y le entregue el equipo especificando detalles de funcionamiento entre otros, luego el operador entrante realiza una inspección rápida del mismo exterior como interior y luego inicia marcha; según estimaciones del área de operaciones mina este tiempo es de 4 minutos aproximadamente.

### 5.3.3. Determinación de la matriz de número de bahías óptimas

Para calcular el número de bahías óptimo se utilizó la fórmula (c) que hemos desarrollado previamente y redondeamos los resultados al entero superior.

$$\#Bahías(PC) = \frac{Tcambio}{Intervalo} \dots (c)$$

Para calcular el número de tandas usamos la ecuación (g) que resulta de despejar #Tandas de la ecuación (b) y lo redondeamos al entero inferior, esto con el objetivo de no excedernos del tiempo total de trabajo (TT) en las estimaciones.

$$TT = Tcambio - Intervalo + Intervalo * \#Tandas * \#Bahías \dots (b)$$

$$\#Tandas = \frac{\left(\frac{TT - Tcambio}{Intervalo}\right) + 1}{\#Bahías} \dots (g)$$

Para calcular el #MaxCamAt usamos la ecuación (d)

$$\#MaxCamAt = \#Bahías * \#Tandas \dots (d)$$

En la siguiente tabla se muestra el número de bahías óptimo calculado y agrupado por intervalos. Para lo cual se consideró TT=20min y Tcambio=4min.

Tabla N°23: Matriz de número de bahías óptimo

Intervalo (min)	#Bahías (PC)	#Tandas	#MaxCamAt
<0.5	8	4	32
(0.5-0.6]	7	4	28
(0.6-0.7]	6	4	24
(0.7-0.9]	5	4	20
(0.9-1.3]	4	4	16
(1.3-1.9]	3	4	12
(1.9-3.9]	2	4	8
(3.9-∞]	1	5	5

Fuente: Elaboración propia

## **5.4. Ubicación óptima de plataformas de cambio en caliente**

### **5.4.1. Determinación del horizonte de estimación**

El horizonte de estimación viene a ser el periodo hasta el cual realizaremos nuestros cálculos, esto será particular para una determinada operación minera y depende estrechamente de factores tales como:

- Expansión del tajo
- Ubicación de los botaderos
- Ubicación de los procesos

Para nuestro caso de estudio la Mina Cerro Verde, el mayor efecto lo tendrá la expansión del tajo ya que todas las fases planificadas hacen que nuestro límite de tajo varíe, por lo cual se debe de modificar las vías perimetrales que es en donde idealmente se piensa ubicar las bahías de cambio en caliente.

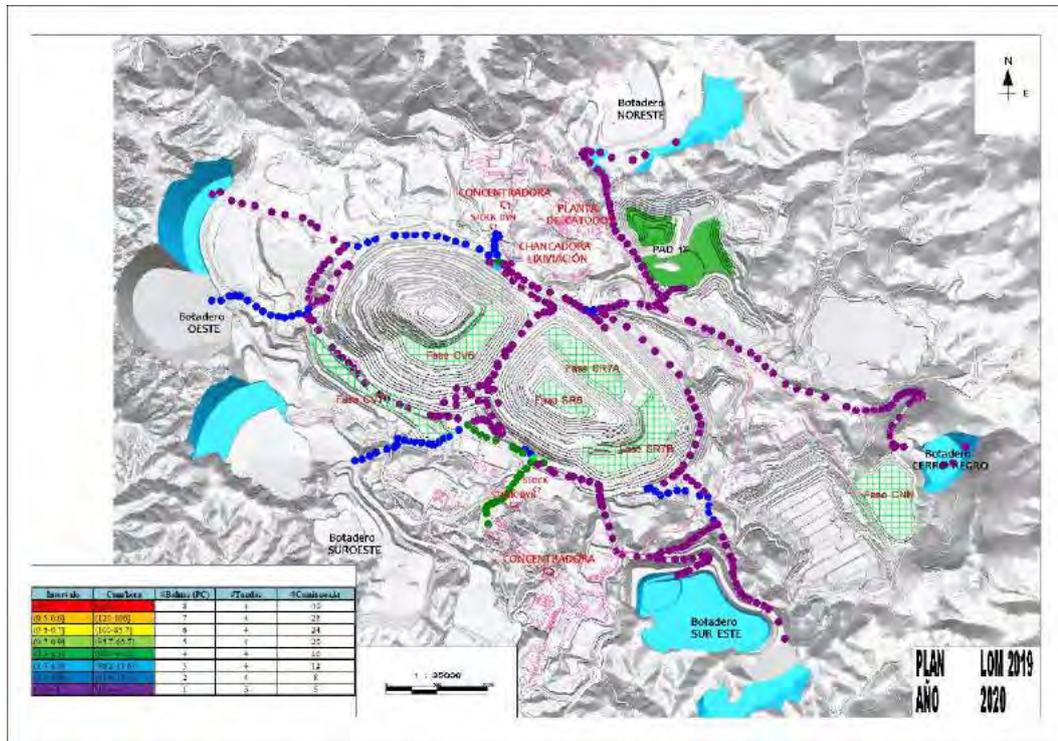
Otro factor importante es que los planes de minado siempre varían en diferente medida ya que a estos se les introduce nuevas variables, criterios y estrategias por lo cual no nos sirve hacer un cálculo para toda la vida de la mina y pensar que este se cumplirá a cabalidad, lo más recomendable es recalcular cada vez que se tenga un nuevo plan.

Por lo anterior se ve por conveniente hacer una estimación de 5 años que es todo lo que abarca el Plan Forecast, considerándose un tiempo suficiente el cual permite tomar decisiones en el corto y mediano plazo.

### 5.4.2. Determinación de posibles ubicaciones de plataformas de cambio en caliente

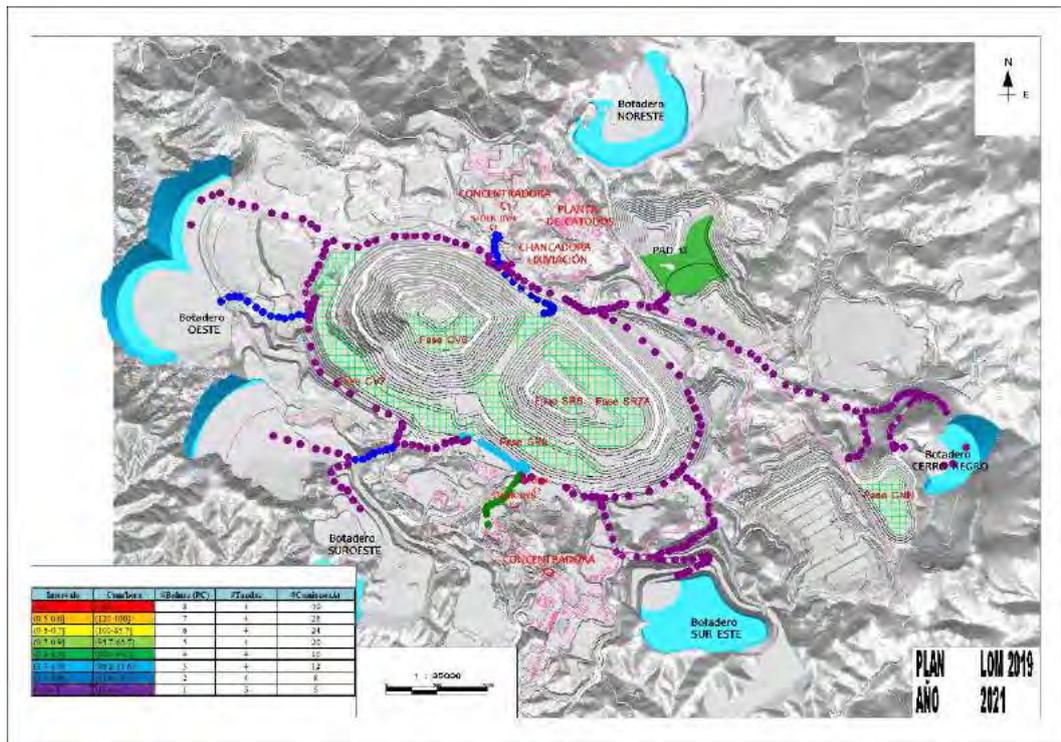
Para determinar las posibles ubicaciones nos apoyamos en información del plan de minado LOM 2020, luego mediante una macro (VBA en Excel) de elaboración propia se le agregó la información de intervalos de arribo calculada a partir del plan de producción a los xpits. Lo cual se puede visualizar a continuación:

Figura N°36: Plan LOM 2019 – AÑO 2020



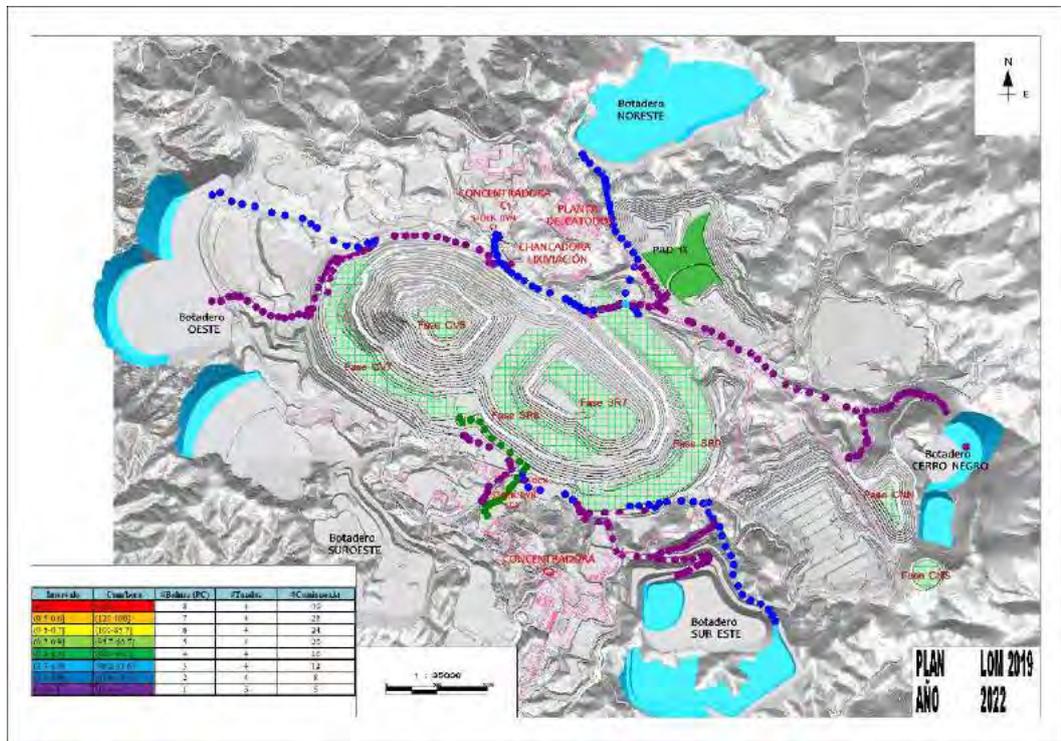
Fuente: Elaboración propia

Figura N°37: Plan LOM 2019 – AÑO 2021



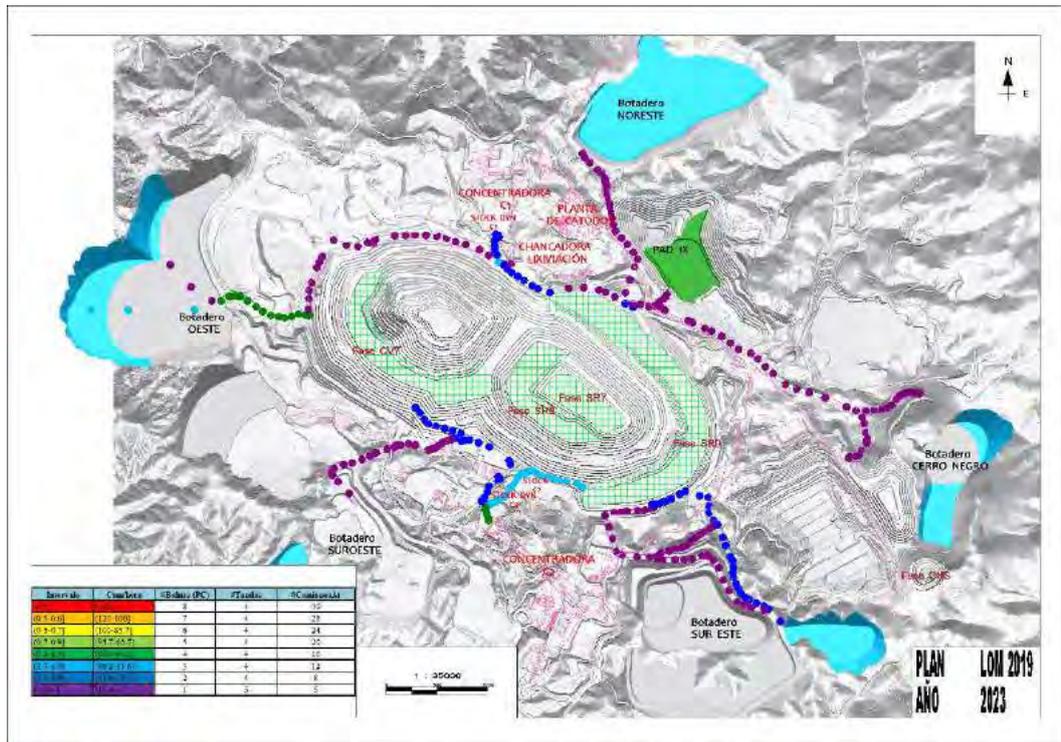
Fuente: Elaboración propia

Figura N°38: Plan LOM 2019 – AÑO 2022



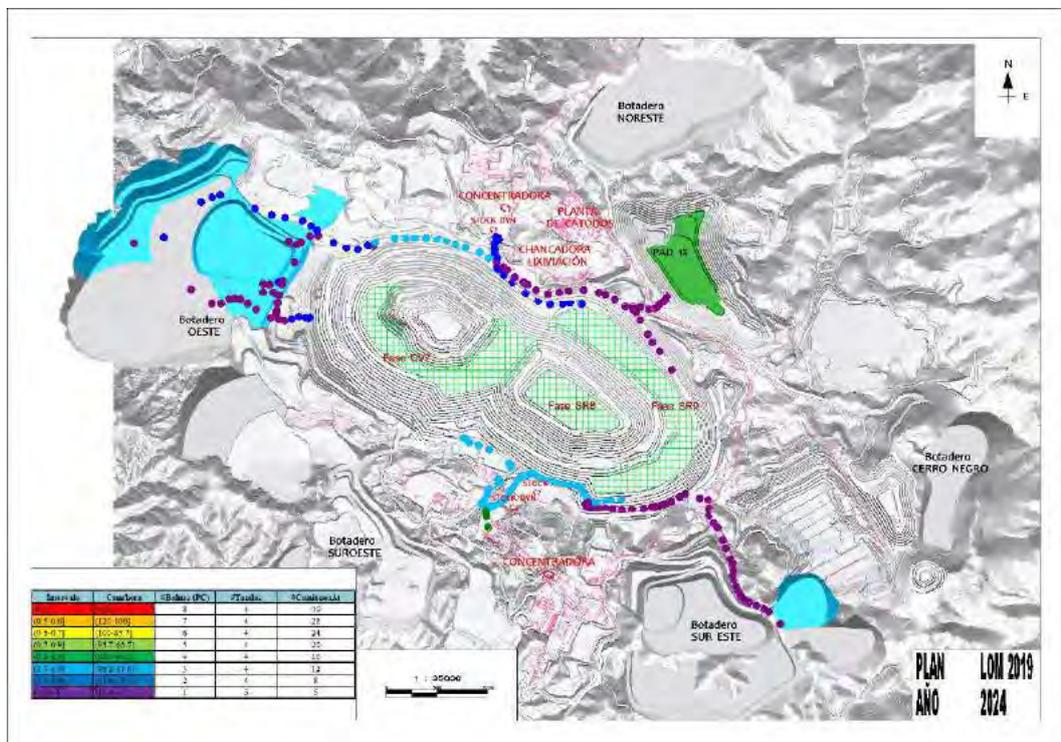
Fuente: Elaboración propia

Figura N°39: Plan LOM 2019 – AÑO 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura N°40: Plan LOM 2019 – AÑO 2024



Fuente: Elaboración propia

Como se vio en el capítulo anterior la ubicación debía cumplir con ser cercana a los camerinos ubicados en las oficinas de operaciones mina, paralela a las vías de camiones y que el espacio esté disponible o pueda estarlo. Además de esto se tomó en cuenta que podemos tomar una gran cantidad de ubicaciones inicialmente pero luego las iremos descartando ya sea porque al final resultaran innecesarias, repetitivas o descartadas por otro factor.

Al decir repetitivas nos referimos a que haya más bahías de las necesarias por ruta (punto de carguío a punto de descarga), para saber cuál es la separación mínima entre bahías se realizó el siguiente cálculo, conociendo que la velocidad de viaje en horizontal es de 32km/hr tanto de camiones cargados como vacíos.

*Distancia entre bahías = Tiempo total de trabajo \* Velocidad de viaje*

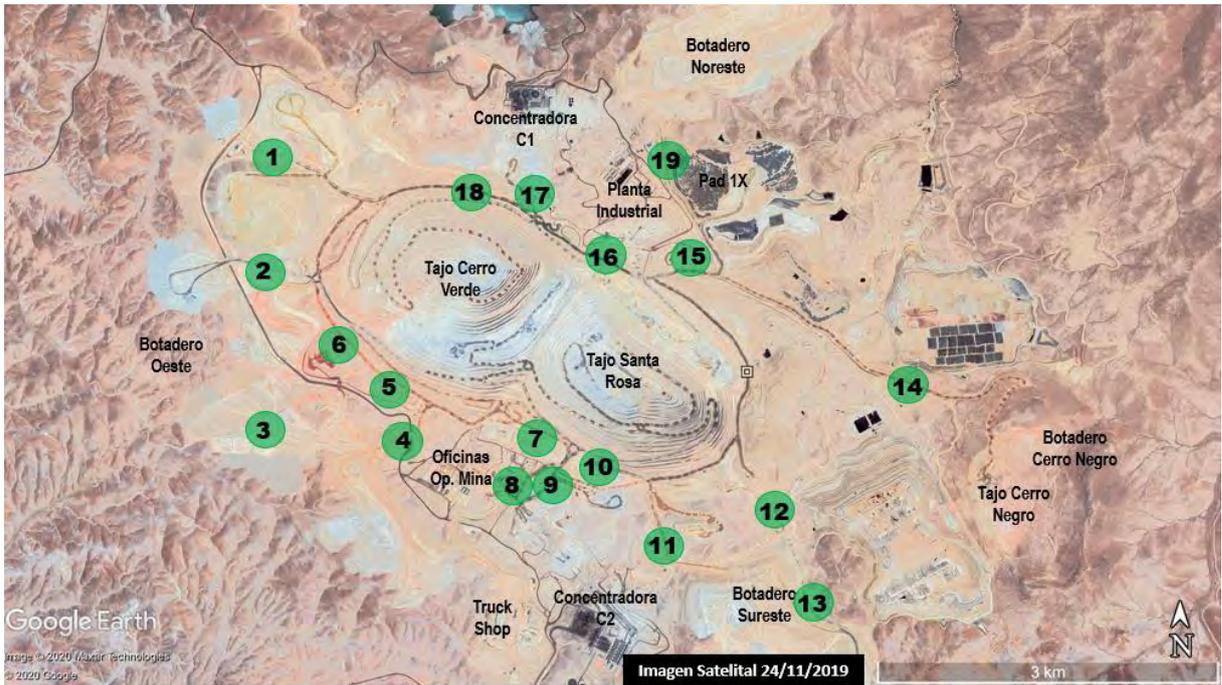
$$Distancia\ entre\ bahías = 20min * \frac{32km}{hr} = 10,668.00m$$

Con este valor calculado, para nuestro caso no será adecuado colocar dos bahías en una misma ruta.

En la siguiente imagen se puede ver las ubicaciones que fueron seleccionadas tentativamente.

.

Figura N°41: Ubicaciones tentativas de Plataformas de cambio en caliente



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°24: Ubicaciones tentativas de Plataformas de cambio en caliente

Coordenadas UTM WGS84 19K		
Ubicación	Este	Norte
1	20557.00	71615.00
2	20656.00	70603.00
3	21001.00	69121.00
4	21889.00	69012.00
5	21726.00	69678.00
6	21391.00	70027.00
7	23008.00	69214.00
8	22786.00	68733.00
9	23056.00	68704.00
10	23587.00	68875.00
11	24150.00	68245.00
12	25070.00	68604.00
13	25389.00	67775.00
14	26203.00	69691.00
15	24330.00	70637.00
16	23547.00	70724.00
17	22881.00	71293.00
18	22301.00	71311.00
19	24107.00	71513.00

Nota: Las coordenadas son relativas, con las que se trabaja en el proyecto, fuente elaboración propia

### 5.4.3. Determinación de matriz de intervalos de arribo por periodo por ruta de acarreo

Para completar la matriz de intervalos se utilizó los mapas con la información de intervalos de arribo y el mapa de ubicación tentativa de bahías.

*Tabla N°25: Intervalos de arribo por periodo por ubicación propuesta*

Ubicación	PERIODOS				
	2020	2021	2022	2023	2024
1	7.60	5.32	2.15		2.53
2	2.43	2.64	3.98	1.23	2.41
3	2.56	3.98			
4	2.56	2.17			
5	6.35	4.67			
6	5.57	6.10		10.08	
7	0.9	1.45	7.14	2.32	2.63
8			6.35	2.32	2.63
9	0.93	0.93	0.98	1.55	1.42
10	6.91	4.63	2.12	1.55	1.42
11	4.55	4.82	8.24	5.98	
12	2.55	4.19	3.54	3.34	5.59
13	3.92		3.87	3.41	10.94
14	6.59	4.21	5.46	6.34	
15	4.74	8.95	1.42	3.96	4.13
16	3.5	4.32	3.36	3.34	8.58
17	2.05	2.05	2.00	2.00	1.99
18	6.07	8.06	5.93	7.06	1.38
19	5.55	9.62	2.37	4.39	

Fuente: Elaboración propia

### 5.4.4. Determinación de matriz de número de bahías de cambio en caliente óptimas por plataforma por periodo

Para la siguiente tabla se cambió los intervalos de arribo por el número de bahías con ayuda de la matriz de número de bahías óptimo.

Tabla N°26: Cantidad de bahías por periodo por ubicación propuesta

Ubicación	PERIODOS				
	2020	2021	2022	2023	2024
1	1	1	2		2
2	2	2	1	4	2
3	2	1			
4	2	2			
5	1	1			
6	1	1		1	
7	4	3	1	2	3
8			1	2	3
9	4	4	4	3	3
10	1	1	2	3	3
11	1	1	1	1	
12	2	1	2	2	1
13	1		2	2	1
14	1	1	1	1	
15	1	1	3	2	1
16	2	1	2	2	1
17	2	2	2	2	2
18	1	1	1	1	3
19	1	1	2	1	

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.5. Determinación de matriz de número de bahías de cambio en caliente optimas por plataforma por periodo recomendado.

Para este punto ya el criterio de quien está realizando este proceso de cálculo, influye en los resultados.

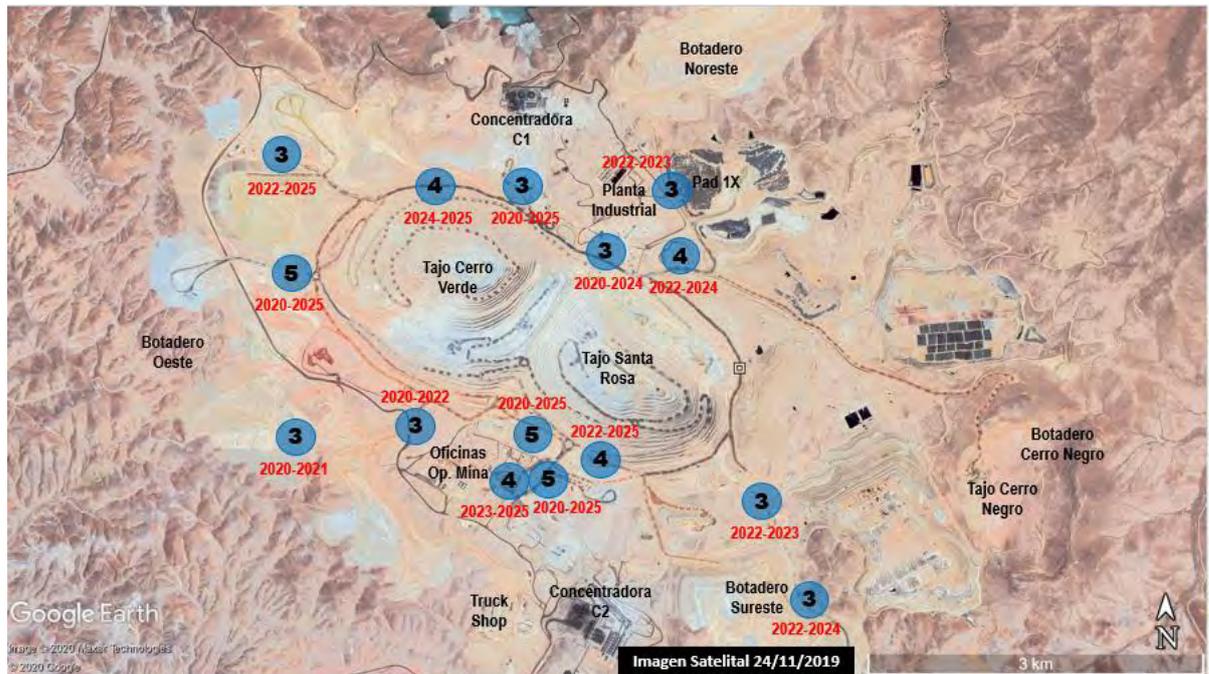
Se recomienda ya que no hace un diferencial de costo al número de bahías encontrado sumarle uno por temas de imprevistos, este criterio se utilizó en la tabla siguiente.

Tabla N°27: Bahías recomendadas por periodo

Ubicación	PERIODOS					Bahías calculadas	Bahías recomendadas	Inicio	Fin
	2020	2021	2022	2023	2024				
1	1	1	2		2	2	3	2022	2025
2	2	2	1	4	2	4	5	2020	2025
3	2	1				2	3	2020	2021
4	2	2				2	3	2020	2022
5	1	1				-	-		
6	1	1		1		-	-		
7	4	3	1	2	3	4	5	2020	2025
8			1	2	3	3	4	2023	2025
9	4	4	4	3	3	4	5	2020	2025
10	1	1	2	3	3	3	4	2022	2025
11	1	1	1	1		-	-		
12	2	1	2	2	1	2	3	2022	2023
13	1		2	2	1	2	3	2022	2024
14	1	1	1	1		-	-		
15	1	1	3	2	1	3	4	2022	2024
16	2	1	2	2	1	2	3	2020	2023
17	2	2	2	2	2	2	3	2020	2025
18	1	1	1	1	3	3	4	2024	2025
19	1	1	2	1		2	3	2022	2023

Fuente: Elaboración propia

Figura N°42: Bahías recomendadas por periodo



Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.6. Estimación de camiones atendidos por periodo.

Para estimar la cantidad máxima de camiones atendidos en las plataformas de cambio en caliente por periodo vamos a comparar dos escenarios, el primero de acuerdo al número de bahías calculado y el segundo de acuerdo al número de bahías recomendadas, en ambos casos se considera 04 tandas como se calculó anteriormente con las fórmulas desarrolladas.

Para el siguiente cuadro además de agrupar el número de bahías por periodo se multiplica por 2 ya que se espera que haya el mismo número de bahías a ambos sentidos de la vía de acarreo.

*Tabla N°28: Número de Camiones máximo atendidos por día por periodo con las plataformas y bahías determinadas.*

Periodos	#Tandas	Número de Plataformas	Calculados		Recomendadas	
			#Bahias	#MaxCamAt	#Bahias	#MaxCamAt
2020	4	7	40	160	54	216
2021	4	6	36	144	48	192
2022	4	11	60	240	82	328
2023	4	9	54	216	72	288
2024	4	8	50	200	66	264

Fuente: Elaboración propia

Este cálculo nos ayuda a darnos cuenta de nuestro tope de capacidad de camiones atendidos, por tanto, es solo referencial.

### 5.5. Análisis de resultados

#### 5.5.1. Información de Plan LOM

En el siguiente cuadro se detalla información relevante para nuestros cálculos basados en el Plan LOM 2019, es importante mencionar que no necesariamente

coinciden con el Plan, esto debido a que esta información es de carácter confidencial.

*Tabla N°29: Datos Plan LOM 2019*

	Unidades	Periodo				
		2020	2021	2022	2023	2024
<b>Produccion anual planeada</b>	tm	998,000.00	1,051,000.00	1,064,000.00	961,000.00	972,000.00
<b>Cantidad de camiones planeados</b>	und	129	131	131	131	131
<b>% Utilización</b>	%	84%	84%	84%	84%	84%
<b>% Disponibilidad</b>	%	89%	89%	89%	89%	89%
<b>Dias por año</b>	días/año	366	365	365	365	366
<b>Striping ratio</b>		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
<b>Producción de libras estimada por año</b>	lb/año	1,077,200,000	1,077,200,000	1,077,200,000	1,077,200,000	1,077,200,000

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.2. Bahías calculadas por periodo

En el siguiente cuadro hay un recuento de las bahías calculadas por periodo, se considera que todas las plataformas serán construidas con el mismo número de bahías a ambos lados, por lo que el número anterior se multiplica por dos, ahora el número de tandas ya fue calculado lo cual para todos los casos es cuatro, seguidamente se calculó el número máximo de camiones que podrán ser atendidos por guardia que viene a ser el #Bahías multiplicado por #Tandas; este viene a ser nuestro límite de atención.

*Tabla N°30: #Bahías y #MáxCamAt por guardia*

	Unidades	Periodo				
		2020	2021	2022	2023	2024
<b>#Bahías un lado</b>	und	27	24	41	36	33
<b>#Bahías ambos lados</b>	und	54	48	82	72	66
<b>#Tandas</b>	und	4	4	4	4	4
<b>#MaxCamAt por guardia</b>	und	216	192	328	288	264

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.3. Camiones atendidos en Bahías de cambio en caliente

Para este cálculo partimos de los camiones planeados, y como se mencionó antes algunos camiones son relevados en las plataformas de palas, ya que al momento pueden encontrarse haciendo cola en espera a ser cargados por lo cual se considerará que el 90% del total si son relevados en las plataformas de cambio en caliente.

*Tabla N°31: Camiones a relevar en bahías de cambio en caliente*

	Unidades	Periodo				
		2020	2021	2022	2023	2024
Cantidad de camiones planeados	und	129	131	131	131	131
% Utilización	%	84%	84%	84%	84%	84%
% Disponibilidad	%	89%	89%	89%	89%	89%
Camiones operando por guardia	und	96	98	98	98	98
%Camiones relevados en Bahías de cambio en caliente	%	90%	90%	90%	90%	90%
Camiones a relevar en Bahías de cambio en caliente/guardia	und	87	88	88	88	88
Camiones a relevar en Bahías de cambio en caliente/día	und	174	176	176	176	176

Fuente: Elaboración propia

Nótese que en todos los casos el número de camiones a relevar en Bahías de cambio en caliente /guardia es inferior por mucho al límite de camiones que pueden ser atendidos, por lo que no debería haber problema de falta de bahías.

### 5.5.4. Producción adicional

Hasta el momento nos hemos enfocado en el tiempo de operación netamente de los sistemas tanto plataformas de parqueo como plataformas de cambio en caliente, pero como se mencionó antes una ventaja de las plataformas de cambio en caliente, es que son construidas paralelas a las vías y con ayuda de lo desarrollado en esta tesis deberían de estar distribuidas de tal manera que los camiones no tengan que realizar desplazamientos adicionales como sucede actualmente con el empleo de las plataformas de parqueo.

Este tiempo de desplazamiento promedio estimado viene a ser de 5.2 min por camión, valor que sumaremos al tiempo de cambio en parqueos de 13.4 min para compararlo con el tiempo de cambio en bahías de cambio en caliente de 4 minutos en el siguiente cuadro.

*Tabla N°32: Producción adicional con la implementación de Plataformas de cambio en caliente*

	Unidades	Periodo				
		2020	2021	2022	2023	2024
<b>Produccion anual planeada</b>	tm	998,000.00	1,051,000.00	1,064,000.00	961,000.00	972,000.00
<b>Produccion / día / camion</b>	tm/día	10,348.36	10,731.54	10,864.28	9,812.57	9,924.89
<b>Produccion / hora / camion</b>	tm/hr	431.18	447.15	452.68	408.86	413.54
<b>Produccion / minuto / camion</b>	tm/min	7.19	7.45	7.54	6.81	6.89
<b>Tiempo de cambio con parqueos + desplazamiento /camion</b>	min	18.60	18.60	18.60	18.60	18.60
<b>Tiempo de cambio con bahias de cambio en caliente /camion</b>	min	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
<b>Minutos ganados/camion</b>	min	14.60	14.60	14.60	14.60	14.60
<b>Minutos ganados /día</b>	min	2,534.45	2,573.75	2,573.75	2,573.75	2,573.75
<b>Producción adicional por día</b>	tm/día	18,213.50	19,180.75	19,418.00	17,538.25	17,739.00
<b>Producción adicional por día</b>	%	1.83%	1.83%	1.83%	1.83%	1.83%
<b>Producción en camiones equivalentes</b>	und	1.76	1.79	1.79	1.79	1.79

Fuente: Elaboración propia

Esta producción adicional se debe concretamente a la reducción en el tiempo de demora por relevo de operador lo cual permite que los camiones pueden disponer de mas tiempo para viajes cargando material.

### 5.5.5. Ingresos adicionales estimados

Bajo la aplicación de bahías de cambio en caliente se tienen mayor producción sin un costo adicional. Por lo tanto, para hacer el cálculo de ingresos adicionales se estimó una producción adicional de libras de cobre, sin embargo, también se consideró que esta producción adicional es sin ningún costo adicional significativo, por lo que el costo de producción adicional en camiones equivalentes vendría a ser un ahorro, por lo que el ingreso adicional vendría a ser la suma de las libras adicionales de cobre vendidas y el ahorro en costo de camiones.

*Tabla N°33: Estimación de ingresos adicionales con la implementación de plataformas de cambio en caliente*

	Unidades	Periodo				
		2020	2021	2022	2023	2024
Dias por año	dias/año	366	365	365	365	366
Striping ratio		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Producción de libras estimada por año	lb/año	1,077,200,000	1,077,200,000	1,077,200,000	1,077,200,000	1,077,200,000
Producción libras adicional por año con bahías de CC	lb/año	7,863,560	7,863,560	7,863,560	7,863,560	7,863,560
Precio por libra de cobre	\$/lb	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Ingreso por venta de libras de cobre por año	\$/año	196,589,000.00	196,589,000.00	196,589,000.00	196,589,000.00	196,589,000.00
Costo horario por camión	\$/hr	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
Ahorro en costo por no operación de camión	\$/año	2,319,025.15	2,348,544.66	2,348,544.66	2,348,544.66	2,354,979.02
Ingreso adicional por año	\$/año	198,908,025.15	198,937,544.66	198,937,544.66	198,937,544.66	198,943,979.02

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

1. Los factores principales que influyen en el cambio de operadores en parques convencionales son la ubicación, modo de cambio y el tiempo de cambio; y la producción estimada con el uso de estos parques según el Plan LOM 2019 es 998,000 tm/día para el año 2020; 1'051,000 tm/día para el año 2021; 1'064,000 tm/día para el año 2022; 961,000 tm/día para el año 2023 y 972,000 tm/día para el año 2024.
2. Los factores que influyen para calcular el número óptimo de bahías de cambio en caliente que debe de tener una determinada plataforma son el tiempo de cambio y el intervalo de arribo de los camiones y se calcula mediante un modelo matemático el cual fue determinado en la presente investigación  $BC(pc) = \text{Tiempo de cambio} / \text{Intervalo de arribo de camiones}$ .
3. Los factores que influyen en el cambio de operadores en plataformas de cambio en caliente son la ubicación, el modo de cambio, el tiempo de cambio, el número de bahías, el tiempo total de trabajo del sistema de relevo de plataformas de cambio en caliente; y su ubicación optima se determinada mediante una metodología de cálculo desarrollada en la presente investigación.
4. Se determino las ubicaciones optimas de plataformas con su número óptimo de bahías de acuerdo a la metodología desarrollada y a las fórmulas desarrolladas, las cuales nos dan ubicaciones optimas de plataformas que varían periodo a periodo de acuerdo al flujo de acarreo basado en el plan de minado LOM2019 con las cuales se puede cubrir toda la flota de acarreo. Siendo para el periodo 2020 necesarias 7 plataformas con 54 bahías en total; para el periodo 2021 necesarias 6 plataformas con 48 bahías en total; para el periodo 2022 necesarias 11 plataformas con 82 bahías en total; para el periodo 2023 necesarias 9

plataformas con 72 bahías en total; para el periodo 2024 necesarias 8 plataformas con 66 bahías en total.

5. La producción en una operación minera superficial será incrementada mediante la implementación y ubicación apropiada de plataformas con su número respectivo óptimo de bahías de cambio en caliente; en nuestro caso de estudio la producción se incrementa un promedio de 1.83% para los años 2020 al 2024 equivalente a un promedio de 18 400 tm/día adicionales de material movido o también equivalente a la producción de 1.78 camiones adicionales. Lo cual equivale a un ingreso estimado adicional bruto por año superior a 198'900,000.00 \$/año.
6. La metodología y fórmulas desarrolladas, son de aplicación general a otras operaciones mineras a tajo abierto que quieran incluir en la etapa de Planificación las Plataformas de Cambio en Caliente, ya que actualmente al no haber un método de cálculo, se viene implementando operativamente mediante el criterio de prueba error.

## RECOMENDACIONES

1. Los modelos matemáticos de cálculo de bahías se hicieron en base a variables determinísticas, que nos sirven para estimaciones a corto, mediano y largo plazo en función a la información del Plan de Minado con el cual se quiera trabajar; operativamente la asignación de camiones a las bahías se hará mediante el sistema Dispatch, si se quiere una estimación del día a día convendría usar variables probabilísticas.
2. Se recomienda incluir las plataformas de cambio en caliente en los planes de mediano plazo como mínimo (5 años), para que se tenga en cuenta las ubicaciones más favorables de estas y se reserven ya que tienen un comprobado aporte al incremento de la producción.
3. Se recomienda profundizar en el desarrollo de la generación de fórmulas basadas en resultados de simulaciones determinísticas para otras aplicaciones ya sea mineras o industriales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baldeón, Z. 2011. Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en Cia. Minera Condestable S.A.
- Barreto, L. 2017. Optimización del número de camiones 785C CAT y cargador frontal 992K CAT mediante el match factor en la ruta mineral - Stock pile Antapaccay - chancadora
- Barrientos, V. 2014. Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto
- Bustamante, J. 2018. Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields La Cima S.A. mediante la disminución de las demoras operativas más significativas
- Chase, R. 2019. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros. Duodécima edición. Mc Graw Hill ISBN: 978-970-10-7027-7
- Checya, D. 2015. Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la mina Antapaccay. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Cruzat, A. 2018. Manual de Cargue y transporte. Cochimbo.
- Darling, P. 2011. SME Mining Engineering Handbook. Third Edition
- Mauricio, G. 2015. Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en minería a tajo abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, Las Bambas, Cerro Corona, Antapaccay y Pucamarca.
- Mendoza, D. 2017. Evaluación del sistema de Gestión de seguridad Basado en OHSAS 18001 para el control de pérdidas, I.M.C.O. servicios S.A.C. Sociedad Minera Cerro Verde.
- Ríos, S. 1995. Modelización. Alianza Universidad.
- Rondán, E. 2014. Producción real vs producción potencial de equipos de carguío y acarreo y aplicación del match factor para determinar el número óptimo de volquetes mina Arasi. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Saavedra, A 2014. Movimiento de tierra en Faenas Mineras. Construcción Minera, 80.
- Saldaña, A. 2013, Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo - Minera Yanacocha. UNI
- Wikipedia, Modelos científicos. 02 de Marzo 2021. [En línea], Disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_cient%C3%ADfico#cite\\_note-2](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_cient%C3%ADfico#cite_note-2)

# **Anexos**

**Anexo N° 01: Diseño de parqueo de camiones**

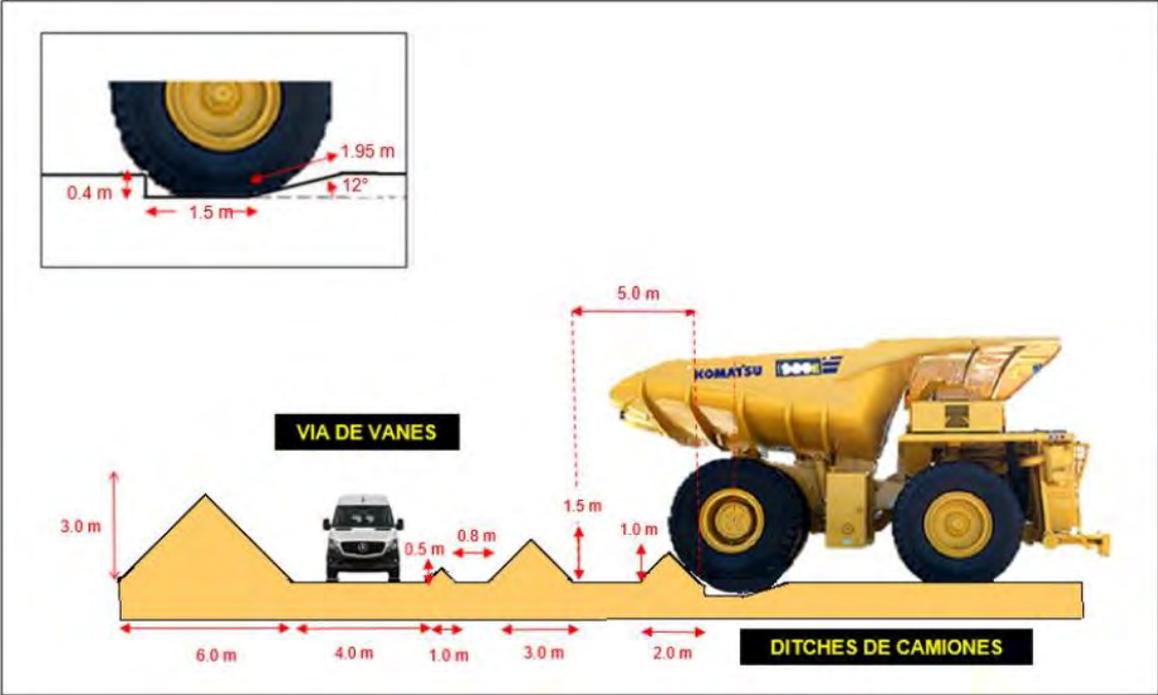


Figura N°01: Vista perfil

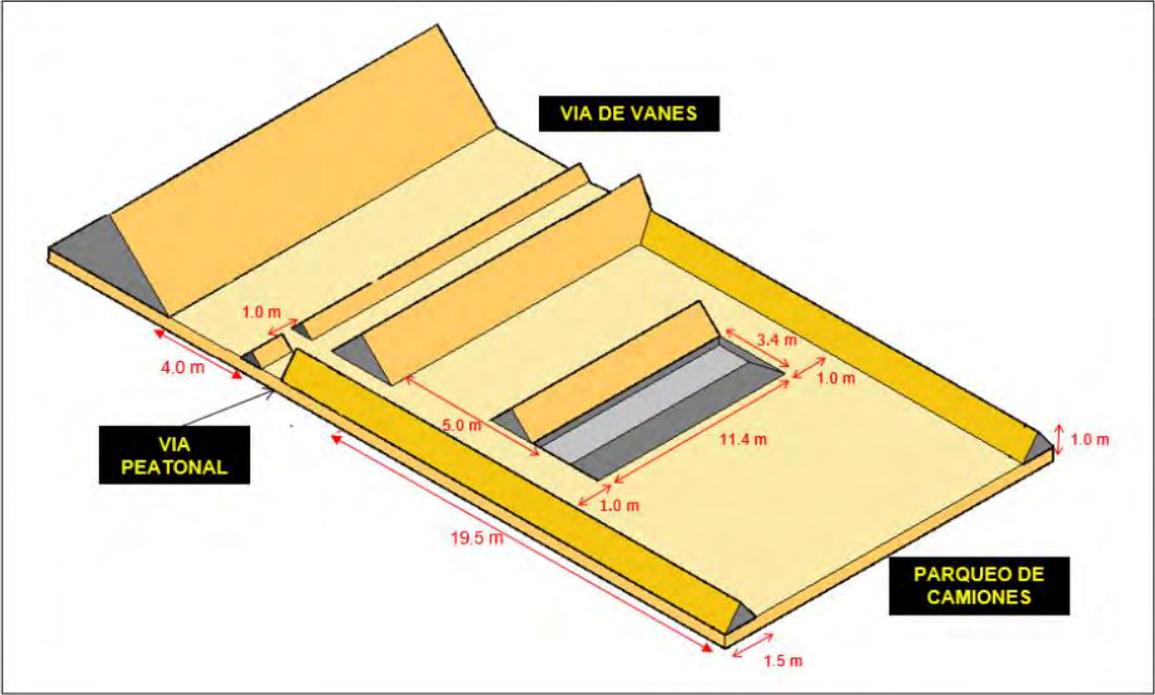


Figura N°01: Vista Isometrica

**Anexo N°02: Estacionamiento de camiones en plataformas de parqueo**

## Maniobra para correcto parqueo

La ubicación de la cabina del operador a lado izquierdo del camión ya sea CAT o KOMATSU condiciona a maniobrar en los parqueos como se detalla a continuación



- Llegada de VAN a la zona de parqueo de camiones.



- Modo de entrar el camión a la zona de parqueo, en sentido horario



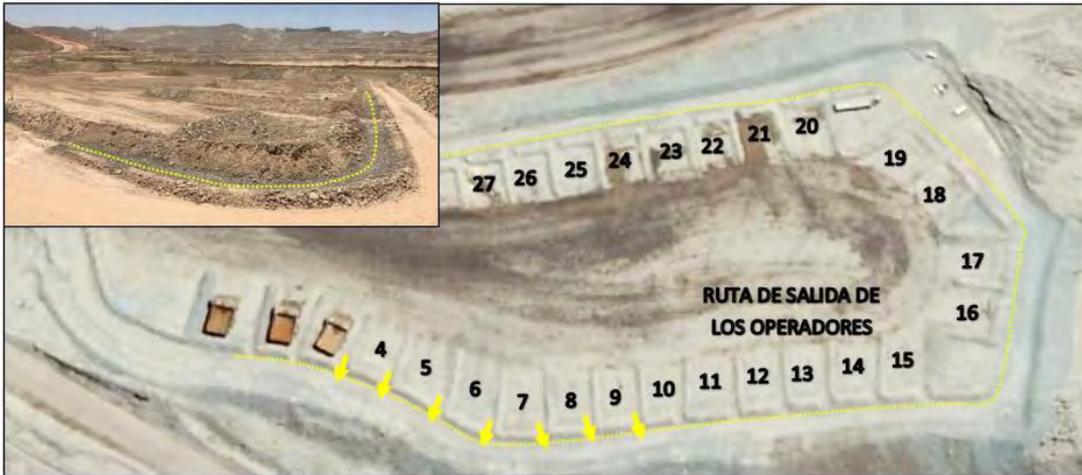
- El operador del camión, utilizando el espejo izquierdo ubica la berma y la considera como referencia para retroceder con seguridad.



- El camión estacionado, activa freno de parqueo y así la circulína roja.



- Los camiones llegan y se estacionan en el orden que les corresponde, el personal se moviliza protegidos por una berma trasera a los camiones.



- Mientras la circulina roja no esté encendida (con el motor de camión encendido), ninguna persona a pie puede acercarse a interactuar con el camión, salvo se haya reportado que la circulina roja esta averiada y comunicado por vía radial.
- A todo el personal que interactúe con los camiones de acarreo en la mina e identifique la circulina roja apagada mientras el camión este detenido y motor encendido, no debe acercarse al camión y comunicar inmediatamente el operador del mismo.

Ditche o badén para el parqueo de camiones en el piso de pala

- En pisos de pala cuya amplitud permita el cuadro de camiones para los cambios de turno; la construcción de los badenes para el parqueo de camiones es de uso obligatorio y responsabilidad del Supervisor de Operaciones mina. Estos sirven para contener las llantas de los camiones y prevenir desplazamientos cuando estos estén estacionados.
- Está prohibido que las vanes estén estacionadas delante de los camiones dejando o recogiendo personal.

### Anexo N° 03: Diseño de Plataformas de cambio en caliente de una vía

En este diseño se reduce la zona de tránsito de camiones con ancho para un camión, en caso quede malogrado un equipo se removería el muro de seguridad con equipo auxiliar para dar la salida al resto de la flota.

El muro de seguridad delimitador para este caso es de 1.9 m. (1/2 del neumático más grande).

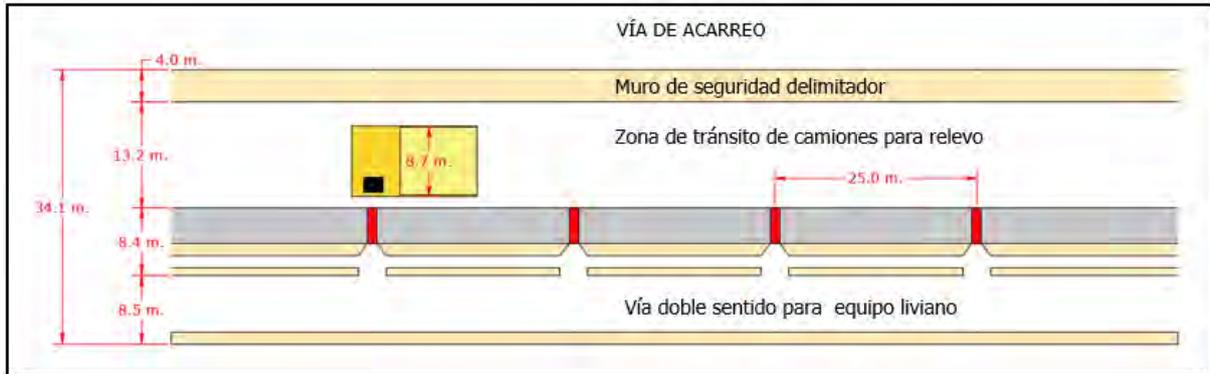


Figura N°01: Vista Planta

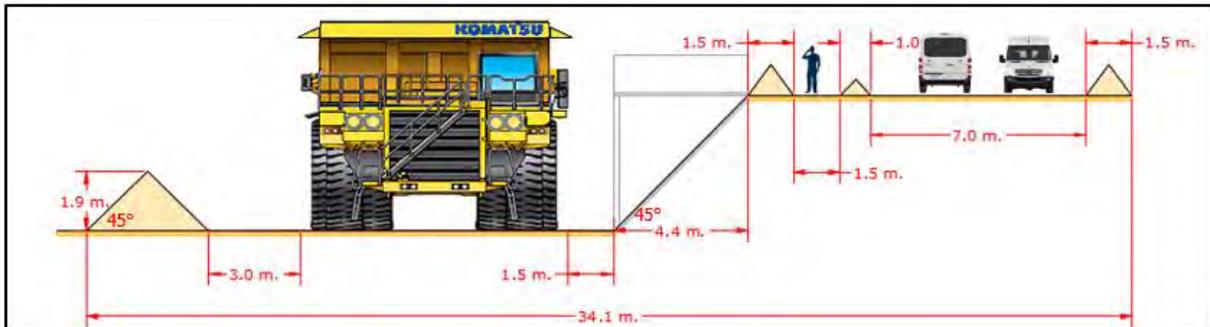


Figura N°02: Vista Perfil

#### Anexo N° 04: Diseño de Plataformas de cambio en caliente de dos vías

El diseño contempla una zona de tránsito para 2 camiones para que en caso se malogre un equipo puedan salir el resto de unidades.

También se contempla un muro de seguridad delimitador con la vía de acarreo de 2.8 m. (3/4 del neumático más grande).

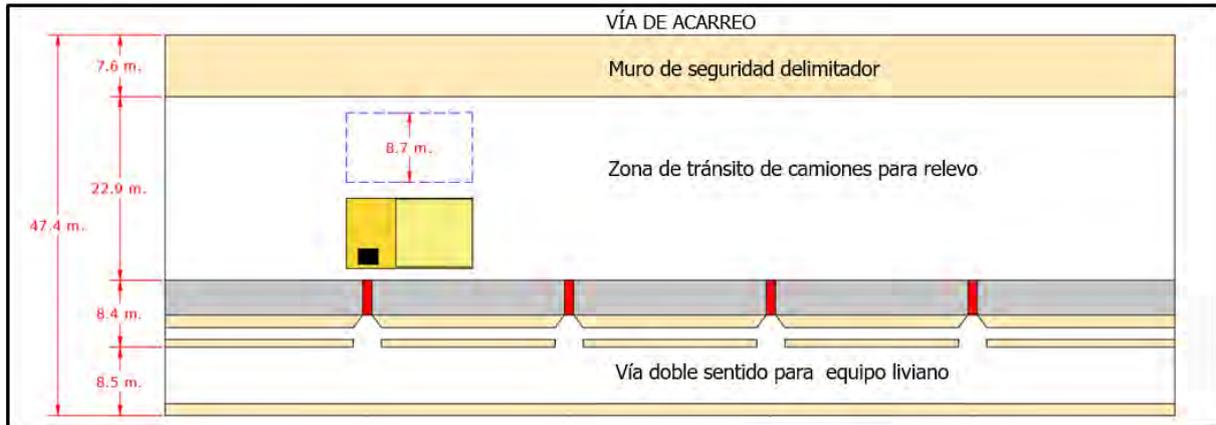


Figura N°01: Vista Planta

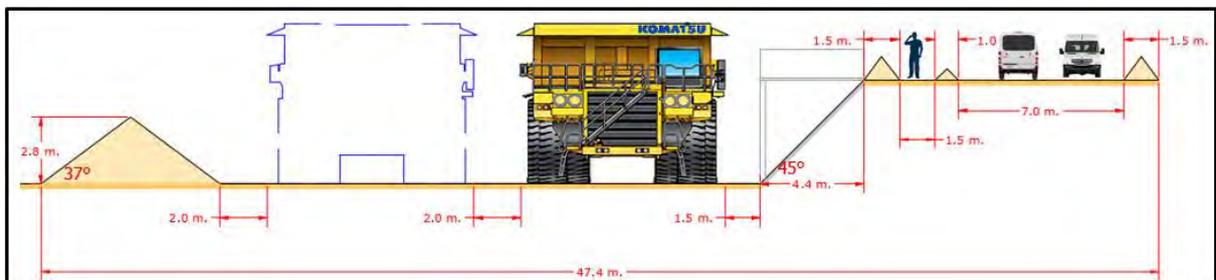


Figura N°02: Vista Perfil

## Anexo N° 05: Diseño de Plataformas de cambio en caliente – Correderas

- El diseño de las bahías está en función de la altura de los camiones
- Según las alturas tomadas en los camiones se puede alternar una misma altura de bahía para ambas flotas pero solo para camiones cargados o vacíos.

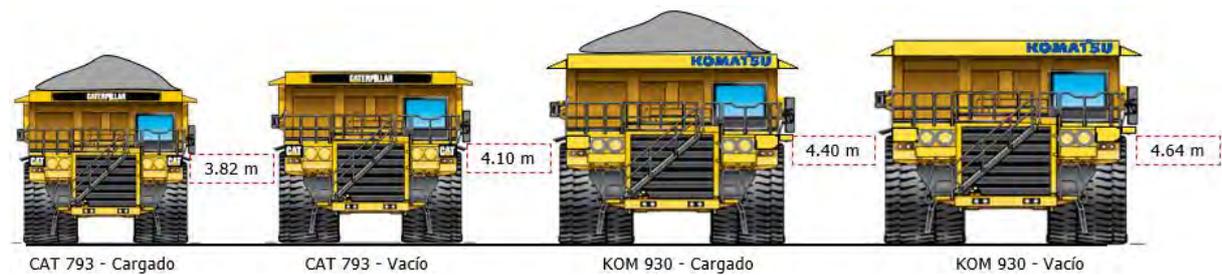


Figura N°01: Alturas de puerta de salida de camiones

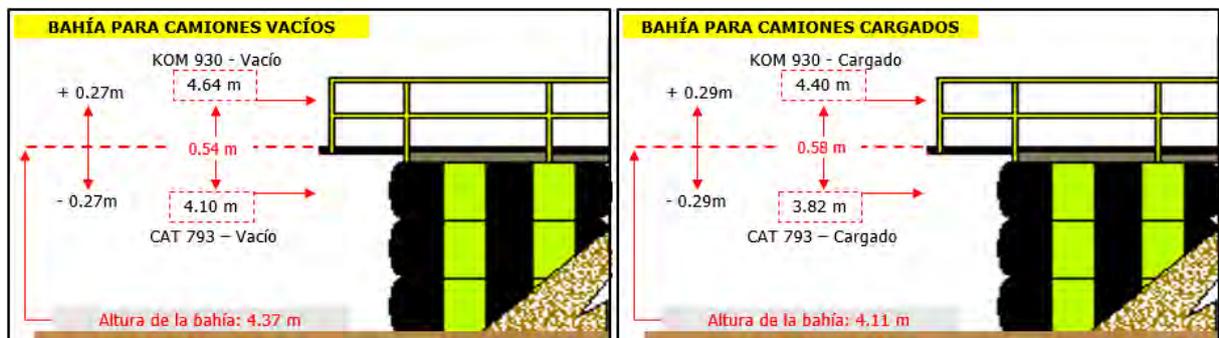


Figura N°02: Altura de bahía para camiones cargados y vacíos

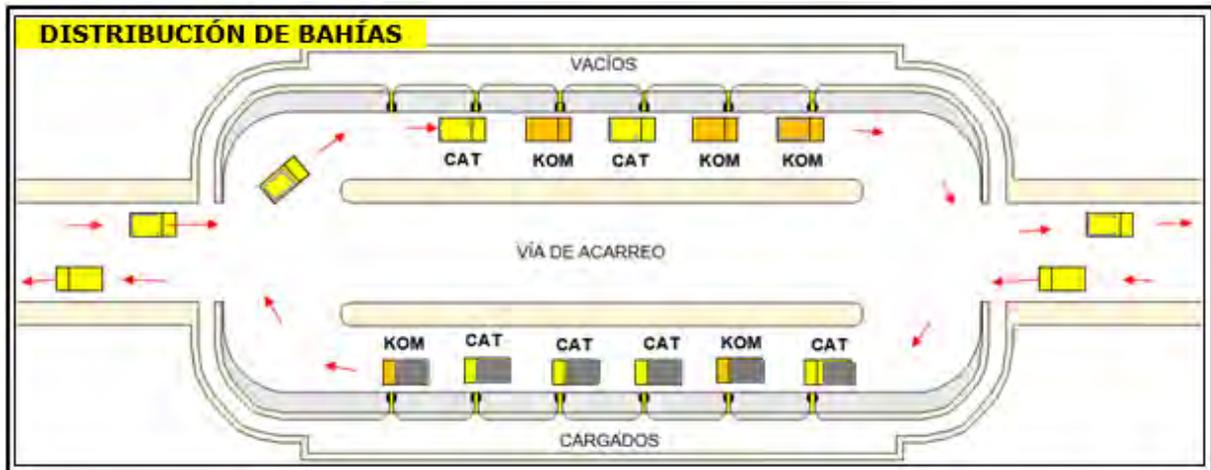


Figura N°03: Distribución de bahías



Figura N°04: Partes del puente corredizo

## **Anexo N° 06: Procedimiento de cambio de operadores en Parqueos**

Seguidamente se desarrolla los pasos que se sigue para hacer que el cambio de turno se realice de forma segura y eficiente en SMCV.

### **a. Responsables**

#### **b) Supervisor Senior de Operaciones Mina (O1)**

- b. Dar la charla de seguridad de 5 minutos
- c. Confirmar las palas que realizarán corrido durante el turno, además de dar a conocer las ubicaciones de los cargadores, disparos durante el turno de día, algún cambio de ubicación de pala y restricciones de vías si las hubiera.

#### **c) Supervisor de Operaciones Mina (O7, O6, O71, O72)**

- d. Reportar al final de turno la ubicación de los equipos auxiliares.
- e. Programar operadores del turno entrante a los equipos, esto de preferencia cuando la condición lo permita.
- f. Confirmar cuáles serán los parqueos que se habilitarán para el cambio de turno, indicando cuantas bahías habilitadas tiene cada parqueo.
- g. Distribuir destino de VANs para el traslado de operadores de equipo auxiliar.
- h. Asegurar condiciones estándar en las ubicaciones finales para el cambio de turno en los parqueos habilitados.
- i. Indicar la ruta que realizarán las VANs.

- j. Asignar operadores a las VANs de transporte de personal e indicar el destino de las VANs.
  - k. Asegurar de que los equipos de traslado se encuentren en óptimas condiciones operativas.
  - l. Verificar el grado de congestión de equipos durante el cambio de turno y tomar las medidas de control necesarias cuando la condición lo requiera.
- d) Supervisor de Operaciones Mina (tajos)
- m. Asignar parqueos en piso de palas para cambio de turno de camiones sólo de ser necesario, garantizando las condiciones de seguridad.
  - n. Verificar “In situ” el desarrollo de la actividad hasta que se reanuden las operaciones en el piso de pala.
  - o. Verificar la correcta distribución de los equipos auxiliares en campo, asegurando que todos se encuentren con operador.
- e) Asistente de Despacho (D2)
- p. Fijar los camiones (de ser posible) en las palas antes del relevo de operadores. De preferencia, la hora para fijar los camiones será previamente determinada dependiendo de las circunstancias pudiendo ser de 1 hora o menos.
  - q. Asignar camiones para los relevos de operadores en las bahías de cambio en caliente a solicitud de O7/O71/O72.
  - r. Programa y asigna camiones para los relevos de operadores en los parqueos

- s. Reportar a O7 los equipos que aún no han sido relevados así como su ubicación antes del ingreso del personal de 12 horas.
- f) Operadores de equipos mina
- t. Verificar las condiciones de seguridad tales como espacio suficiente para mantener las distancias entre equipos, presencia de Ditches o en su defecto colocar los tacos de seguridad correspondientes a fin de realizar cambios de operador en los pisos de palas. Todo lo indicado anteriormente, previa coordinación con O7, supervisor de tajo y Dispatch.
  - u. Colocar la demora cambio de turno antes de bajar del camión.
  - v. Reportar la ubicación del equipo y el cambio de operador vía radial en caso no se cuente con sistema Dispatch.
  - w. El operador del camión de acarreo ingresará a las zonas de cambio en caliente o parqueo cuando lo indique O7, Dispatch o sus asistentes (O71, O72).
- g) Conductores encargados del traslado del personal (CETP)
- x. Personal encargado de realizar el transporte de personal en los cambios de turno o corridos.
  - y. Conducir los equipos de traslado ubicándolos en todo momento fuera de la línea de fuego de los equipos pesados de mina, especialmente de los camiones de acarreo. Para el caso de los parqueos hacerlo utilizando las vías auxiliares para equipo liviano.

## a. Procedimiento

### a) Coordinaciones previas

Nº	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	Coordinación con O7	O1	a) Realizar las coordinaciones con el Supervisor de Operaciones Mina O7 para los relevos de operadores de cambio de turno.
2	Relevo en bahías de cambio en caliente y en campo para equipo auxiliar	D2/O6	<p>a) Programar /asignar camiones para los relevos de operadores en las bahías de cambio en caliente, solo cuando el O7 lo requiera.</p> <p>b) Programar /asignar camiones para los diferentes parqueos de la mina</p> <p>c) Distribuir destino de VANs para el traslado de operadores de equipo auxiliar.</p> <p>d) <b>Programar operadores de cambio en caliente para tractores de oruga en el caso de paradas por mantenimiento de plantas C1 “Millchan” C2 “Millcrush” para continuar con el abastecimiento de mineral.</b></p>
3	Reportar ubicación de equipos auxiliares	O6	e) Reportar al final de turno la ubicación de los equipos auxiliares al O6 del turno entrante
4	Aseguramiento de VANs	O7/O71/O72	f) Asegurar que las VANs estén en óptimas condiciones de operación para realizar los relevos de operadores de camiones sin inconvenientes.

### b. Consideraciones para el uso de VAN's y minibuses

Nº	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	Verificación de acreditación	CETP	a) Verificar que sus acreditaciones estén vigentes para el manejo en Mina.
2	Inspección pre operacional	O7/O71/O72	a) Asegurar la inspección de todas las VAN's que se utilizarán en el cambio de turno del personal de acarreo. Esta inspección tendrá una validez de 60 minutos antes de que comience el cambio de turno y 90 minutos después del cambio de turno, en ese lapso, no es necesario que los usuarios de las VAN's registren en el check list, pero

			si es importante realizar una inspección visual.
		CETP	a) Realizar la inspección pre operacional y registrar en el check list la hora de uso, cuando se usen los vehículos fuera del lapso de tiempo indicado anteriormente.

**c. Traslado de operadores**

<b>N°</b>	<b>PASO</b>	<b>QUIEN</b>	<b>DESCRIPCION DEL PASO</b>
1	Reunión de inicio de guardia	O1	a) Realizar la reunión de inicio de guardia con los operadores de la guardia entrante cumpliendo con la charla de seguridad e indicando disposiciones relevantes de la operación.
2	Traslado de operadores	CETP	a) Realizar el traslado de los operadores entrantes hacia los equipos / vestuarios utilizando los minibuses y VAN's ubicados en el parqueo de los vestuarios, las cuales se encuentran debidamente identificadas.
3	Subir a los vehículos de transporte	Operadores entrantes y salientes	a) Abordar los vehículos de transporte en forma ordenada y evitando cualquier exposición de la línea de fuego en estos vehículos (nunca ponerse delante de los vehículos de transporte).
4	Manejo en mina	CETP	a) Aplicar el manejo defensivo. b) Considerar que la velocidad máxima a la cual se deben desplazar los vehículos para el cambio de turno es 60 km/hr. Esta velocidad máxima se monitorea continuamente por un sistema basado en GPS.
		Operadores entrantes y salientes	a) Utilizar obligatoriamente el cinturón de seguridad. b) Asegurar que la cantidad de operadores por VAN no exceda a la permitida por el vehículo.
		Planificador operaciones mina	a) Asegurar la correcta señalización y mantenimiento de los parqueos de equipos de transporte de personal (letreros informativos, letreros de advertencia, ditches, "cachacos reflectivos", entre otros) dentro de la mina.

5	Confirmación de fin de relevos	O7	a) Confirmar al supervisor Senior 01 que todas las VAN's y minibuses con personal saliente han retornado a los vestuarios o han llegado a todos los equipos disponibles en la operación sin novedad alguna.
---	--------------------------------	----	---

**d. Relevo de operador**

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	Colocar demora	Operador saliente	a) Ingresar la demora “cambio de turno” en el equipo que cuente con sistema Dispatch. b) Reportar la ubicación del equipo y el cambio de operador vía radial en caso no se cuente con sistema Dispatch.
2	Parqueo de camiones	Operador saliente	a) Estacionar los camiones respetando el orden de llegada a las zonas de parqueo. Siempre por el lado izquierdo (lado visible del operador).
3	Parqueo de VAN's y minibuses	CETP	a) Estacionar los vehículos de transporte en las zonas de parqueo para cambio de turno, siempre en sus zonas designadas y nunca delante de los camiones.
4	Tránsito peatonal	Operadores salientes y entrantes	a) En las zonas de parqueo, los operadores se ubicarán fuera de la línea de fuego de los equipos de traslado ubicándose en los accesos peatonales para ingresar a los camiones.
5	Supervisión de relevos en piso de palas, botaderos y equipo auxiliar en campo	Supervisor de tajo O7/O6	a) Verificar “In situ” el desarrollo de la actividad en los pisos de pala / botaderos hasta que se reanuden las operaciones de los camiones de acarreo involucrados. b) Verificar la correcta distribución de los equipos auxiliares en campo, asegurando que todos se encuentren con operador.

## **Anexo N° 07: Procedimiento de cambio de operadores en bahías de cambio en caliente**

### **A. Responsables**

#### **a) Supervisor de operaciones Mina (O7)**

Responsable de coordinar el relevo de operadores durante el turno, verificar las condiciones de seguridad de las bahías de cambio de operadores y asegurarse que el personal que realiza la tarea cumpla con el presente procedimiento.

#### **z. Auxiliar de Operaciones Mina (O71)**

Asistir al supervisor de Operaciones Mina O7 en los relevos de operadores durante el turno; entre otros trabajos relacionados a la operación.

#### **aa. Despachador mina (D1/D2)**

Gestionar la asignación óptima de los camiones de acarreo para el relevo de operadores cuando se requiera.

#### **bb. Operador de camión**

Entender y cumplir el presente procedimiento todos los protocolos de seguridad; además de realizar el IPERC continuo.

## B. Procedimiento

### a) Asignación de camiones

Nº	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	Coordinación con O7	D1/D2	a) Realizar las coordinaciones con O7 para asignar a los operadores de camión que harán relevo en la bahía. La comunicación entre el personal de Dispatch y el O7 es importante para hacer un relevo de operadores seguro y efectivo.
2	Asignar camiones	D1/D2/O7	a) Asignar los camiones a las bahías de cambio en caliente de acuerdo a los espacios disponibles, según su ubicación.
3	Verificar eficacia del proceso de relevo	O7	a) Asegurar el riego del acceso de camiones en las bahías de relevo. b) Realizar la verificación de la eficacia del proceso a fin de evitar colas en las bahías.

### b) Bahía de cambio en caliente con plataforma

#### i. Ingreso a las bahías

Nº	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	Ingresar a la zona de relevo	Operador saliente	a) Realizar la actividad con el camión vacío de preferencia. b) Ingresar con el camión a la bahía sólo si ha sido asignado vía radial O7, O71 o el despachador de mina. c) Cambiar a frecuencia COORD MINA para hacer las coordinaciones de relevo. d) Reducir gradualmente la velocidad e ingresar por el carril en el sentido de tránsito del camión (izquierda). La velocidad de ingreso será no mayor a 10 km/hr.
2	Cuadrar el camión	Operador saliente	a) Cuadrar el camión por orden de llegada en la bahía más próxima a la salida (la de más adelante). En caso haya bahías ocupadas por otros camiones en proceso de relevo, se utilizará la bahía inmediatamente después del último

camión. En el caso de la figura mostrada el camión que está ingresando debería de usar la bahía #4.



- b) Utilizar las bahías en forma ordenada, es decir, cada camión que llegue se ubicará en la bahía que no origine congestión.
- c) No adelantar al camión que este relevando o este parqueado en alguna de las bahías siguientes. En caso de que haya un camión malogrado y no se pueda mover; el supervisor o la persona que éste delegue verificará que haya el ancho de vía adecuado y tránsito libre para autorizar el adelantamiento, además restringirá el ingreso a las bahías hasta que el camión malogrado pueda moverse.



- d) Verificar que no exista ningún operador en la estructura metálica de la bahía, el operador entrante debe estar en la zona de espera.



- e) Tomar como referencia la bandera ubicada en la primera baranda para estimar la distancia correcta entre el camión y la estructura de la bahía. Al ingresar, el espejo izquierdo del

			<p>camión debe rozar con la bandera indicada.</p>  <p>f) Ubicar el camión de tal forma de hacer coincidir la proyección de la estructura metálica con al abertura de ingreso en la baranda del camión, a fin de que cuando se extienda el puente llegue hasta la plataforma de la cabina del operador sin obstáculo alguno.</p>  <p>g) Retroceder aproximadamente 1m como máximo para ubicarse correctamente en caso la abertura de la baranda no coincida con la proyección del puente corredizo.</p> <p>h) No esperar en cola fuera de la zona de relevo, salvo que el supervisor de operaciones lo autorice tomando los controles correspondientes.</p>
		Operador entrante	i) Guiar al operador saliente desde la zona de espera para lograr un correcto cuadrado del camión.



## ii. Cambio de operador

Nº	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	Aplicar freno de parqueo	Operador saliente	<p>a) Aplicar el freno de parqueo para camiones CAT. Para camiones Komatsu aplicar freno de parqueo y botón REST. Antes de salir de la cabina del camión Komatsu el operador debe verificar que los indicadores de estado /Luz de advertencia en el panel superior estén conectados /aplicados:</p> <p>b) Salir de la cabina e indicar al operador entrante que ingrese a la estructura metálica para extender la bahía.</p>
2	Verificar encendido de circulina roja del camión	Operador entrante	<p>a) Verificar visualmente que la circulina roja CAT y KOM, esté encendida y que el operador saliente esté fuera de la cabina del camión; caso contrario no realizar el relevo.</p> <p>b) Retirar la cadena de ingreso a la bahía y proceder a empujar la estructura que llegue a la plataforma de la cabina del camión.</p>



			 <p>c) Colocar el seguro para evitar que la estructura se retraiga</p>  <p>d) Retirar la barra de bloqueo de la plataforma metálica</p> 
3	Retirar cadenas de las barandas del camión	Operador saliente	a) Retirar las cadenas de las barandas del camión y caminar por la bahía flotante hasta la estructura fija.
4	Realizar el relevo	Operador entrante y saliente	a) Realizar el relevo en la parte fija de la estructura metálica.

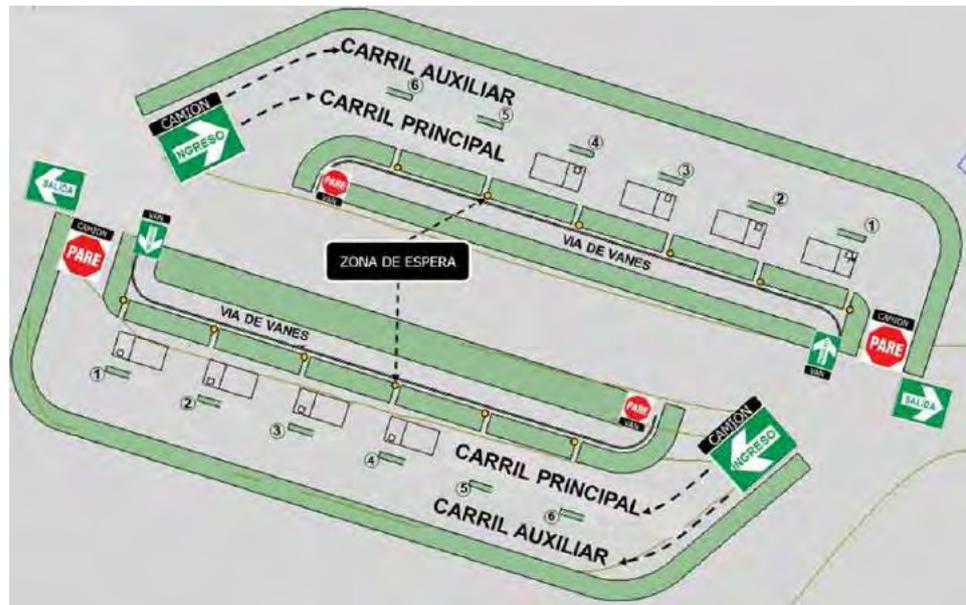
			
5	Informar estado del camión	Operador saliente	a) Informar al operador entrante los eventos resaltantes ocurridos en el equipo
6	Subir al camión	Operador entrante	a) Ingresar al equipo, cerrar la cadena de la baranda del camión y verificar que el operador saliente haya retraído el puente corredizo antes de entrar a la cabina del camión.
7	Abandonar bahía de relevo	Operador saliente	<p>a) Verificar que el operador entrante haya cerrado las cadenas de la baranda del camión.</p> <p>b) Quitar el seguro del puente flotante y retraer completamente la bahía.</p> <p>c) Abandonar la estructura metálica y colocar la cadena de la bahía para cerrar el ingreso a la misma.</p> <p>d) Indicar al operador entrante inicie la marcha con el camión.</p>
			

### iii. Salida del camión de la bahía

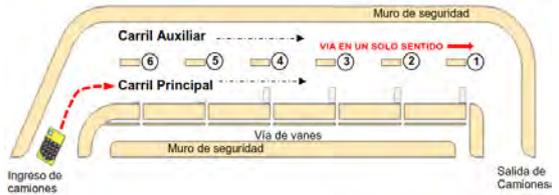
N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	Salir de la zona de bahías de relevo	Operador entrante	<ul style="list-style-type: none"><li>a) Verificar que el operador saliente se encuentra fuera de la estructura metálica.</li><li>b) Abrochar el cinturón de seguridad, colocar su código y estado operativo además de verificar el destino.</li><li>c) Tocar dos veces la bocina e iniciar la marcha sólo con la indicación del operador saliente, considerando que la velocidad de salida no sea mayor a 10km/hr.</li><li>d) Mantener la trayectoria del acceso de la bahía hasta la ubicación del disco pare. No girar a la derecha al momento de salir de la bahía, la cola de la tolva del camión podría impactar con la estructura de la bahía.</li><li>e) Realizar la inspección del equipo dentro de las 3 horas siguientes de haber hecho el relevo.</li><li>f) Activar la frecuencia operaciones mina antes de salir del circuito de las bahías de relevo.</li></ul>

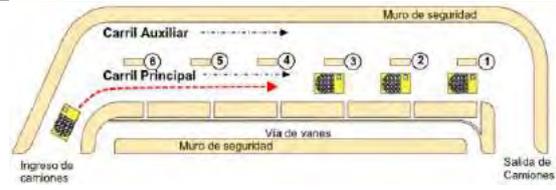
c) Bahía de cambio en caliente a nivel de piso

- cc. Las bahías de cambio en caliente a nivel de piso tienen un solo sentido en sus dos carriles para los camiones.
- dd. El carril pegado a los puntos de cambio será el carril principal.
- ee. El otro carril será el carril auxiliar, el mismo que será utilizado sólo para salir de la bahía en caso haya equipos parados adelante y que estén con una demora prolongada.



Nº	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	Ingresar a la zona de espera	Van de pasajeros / operador entrante	<p>a) El ingreso de las vanes que trasladan a los operadores de camión para relevo es en sentido contrario al de la vía de camiones. Cambiar la frecuencia COORD MINA para realizar las coordinaciones de relevo.</p>

			<p>b) La van debe ir dejando operadores en cada zona de espera, él operador entrante se ubicará y permanecerá en dicha zona junto al acceso peatonal para realizar el relevo con el operador saliente.</p> 
2	Ingreso del camión a la bahía de relevo	Operador saliente	<p>a) La actividad se realizará con camiones CAT 793 o Komatsu 930, vacíos o cargados.</p> <p>b) Ingresar con el camión a la bahía sólo si ha sido asignado por el despacho, asignación automática o vía radial por el OX/O7/O71.</p> <p>c) Cambiar a frecuencia COORD MINA para realizar las coordinaciones de relevo.</p> <p>d) Reducir gradualmente la velocidad e ingresar por el carril principal de la bahía. La velocidad de ingreso será no mayor a 10 km/hr.</p> 
3	Cuadrar el camión en la bahía relevo	Operador saliente	<p>a) Cuadrar el camión por orden de llegada en la bahía más próxima a la salida (la de más adelante). En caso haya bahías ocupadas por otros camiones en proceso de relevo, se utilizará la bahía inmediatamente después del último camión. En el caso de la figura mostrada el camión que está ingresando debería de usar la bahía #4.</p>



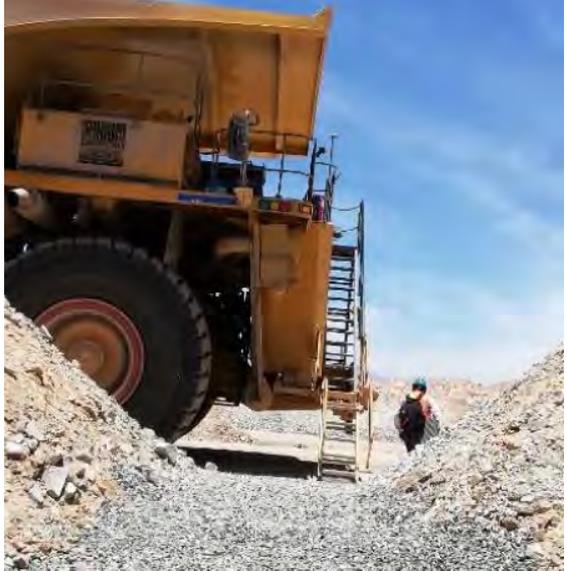
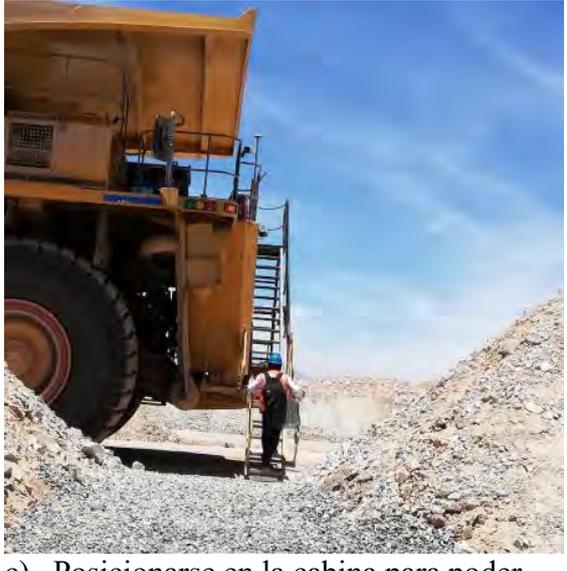
- b) Utilizar las bahías en forma ordenada y secuencialmente, es decir, cada camión que llegue al parqueo se ubicará en la bahía uno tras de otro.
- c) EL operador de camión deberá verificar que no haya personas merodeando en al vía principal y auxiliar de camiones.
- d) Ubicar el camión de tal forma que la llanta de la posición 2 coincida con el ditche de la bahía, además de tomar como referencia el letrero de la bahía del lado izquierdo, lo cual deberá quedar a la altura de la cabina del operador del camión esto hará que coincida la escalera rebatible con el ingreso a la zona de espera.

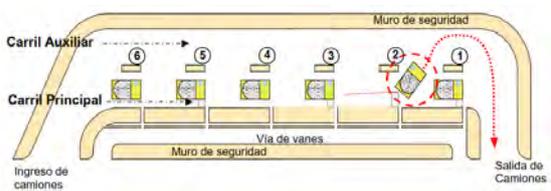


- e) Si las bahías de relevo se encuentran llenos (ocupados), no esperar en cola fuera de estas, salvo que el supervisor de operaciones lo autorice.
- f) Aplicar el freno de parqueo para camiones CAT. Para camiones Komatsu aplicar freno de parqueo y

			botón REST. Antes de salir de la cabina del camión Komatsu el operador debe verificar que los indicadores de estado /luz de advertencia en el panel superior estén conectados /aplicados.
4	Verificar encendido de circulina del camión	Operador saliente	<p>a) El operador saliente se asegurará que la circulina del freno de parqueo este encendida; caso contrario retornará a la cabina del camión para verificar la activación del freno de parqueo.</p> 
		Operador entrante	<p>b) Una vez detenido el camión, el operador entrante se asegurará de que la circulina del freno de parqueo del camión este encendida; caso contrario el operador entrante descargará el camión (si está cargado) en la zona asignada y lo llevará a malogrados para su reparación.</p> <p>c) El operador entrante no se acercará al camión hasta que el operador saliente haya descendido y este en el piso.</p>
5	Bajar la escalera rebatible	Operador saliente	a) Bajar la escalera rebatible hasta que coincida con el nivel piso, evitando que golpee; utilizar los tres puntos de apoyo para descender del camión y cerrar la puerta que se usa como cierre perimetral.

			
6	Realizar el relevo	Operador entrante y saliente	<p>a) EL relevo se hace hombre a hombre en la zona de espera, por ningún motivo el operador entrante ingresará al perímetro de seguridad del camión.</p> 
7	Informar estado del camión	Operador saliente	<p>a) Informar al operador entrante los eventos resaltantes ocurridos en el equipo.</p> 
8	Subir al camión	Operador entrante	<p>a) Acercarse hacia la escalera rebatible y verificar si existe alguna posible fuga de aceite o fluidos del camión.</p>

			 <p>b) Abrir la puerta que se usa como cierre perimetral, subir la escalera rebatible y al llegar a la altura de la cabina observar en todo momento al exterior del camión para asegurarse que no exista equipos o personas en la zona de tránsito.</p>  <p>c) Posicionarse en la cabina para poder operar el equipo.</p>
9	Salida del camión de la bahía de relevo	Operador entrante	<p>a) En caso de que haya un camión inoperativo dentro de una bahía, él operador del camión posterior a este, podrá utilizar la vía del carril auxiliar para salir de la bahía; para ello debe tocar dos veces la bocina del camión y salir a una velocidad no mayor a 5 km/hr. Al llegar al carril auxiliar el</p>

			<p>operador del camión se asegurará que no exista camiones transitando por dicha vía y la velocidad será no mayor a 10 km/hr.</p>  <p>b) El operador del camión detenido, luego de salir operativo se asegurará que a su alrededor no haya tránsito de camiones ni personas para continuar la marcha.</p> <p>c) Abrochar el cinturón de seguridad, colocar su código y estado operativo además de verificar el destino.</p> <p>d) Tocar dos veces la bocina, esperar 5 segundos e iniciar la marcha, considerando que la velocidad de salida no sea mayor a 10 km/hr.</p> <p>e) Mantener la trayectoria del acceso de la bahía hasta la ubicación del disco pare.</p>  <p>f) Realizar la inspección del equipo dentro de las 3 horas siguientes de haber hecho el relevo.</p> <p>g) Activar la frecuencia Operaciones Mina antes de salir del circuito de las bahías de relevo.</p>
10	Salir de la zona de espera	VAN de pasajeros / operador saliente	<p>a) El operador saliente para retirarse debe esperar el recojo de la van o dirigirse por el acceso peatonal hasta la ubicación de la van.</p> <p>b) El operador de la van activará la frecuencia Operaciones Mina antes de salir de la vía de Vanes.</p>

