

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería

Metalúrgica

Profesor Patrocinante:

Prof. Asieh Hekmat.

**“EVALUACION DE LA UBICACIÓN Y EFECTO EN LA PRODUCCION DE
UN SISTEMA CHANCADOR CORREA DENTRO DE UNA MINA A CIELO**



PABLO CESAR VEGA FIGUEROA

Informe de Memoria de Título
para optar al Título de

Ingeniero Civil de Minas

Marzo 2021

RESUMEN

En la industria minera, las operaciones de carguío y transporte son la que, en términos operacionales, abarcan el mayor porcentaje de los costos dentro de una mina, estos provienen a su alto costo capital, y costos asociados a escenarios, tanto operacionales como no operacionales, que la búsqueda de alternativas que puedan reducir costos y aumentar la productividad de una faena un importante foco de estudio para el rubro.

Es por esta razón, el objetivo general de este trabajo fue mostrar el impacto que genera en términos de producción, la ubicación e implementación de un sistema IPCC dentro de una faena encargada de transportar material tipo óxido o sulfuro desde el rajo hacia una zona de acopio ubicado a cerca de 6 [km] fuera del rajo, que usualmente son transportados por camiones.

Para lograr los objetivos planteados fue necesario el estudio de una base de datos que resume los movimientos de material anuales de la mina de cobre Sungun, ubicada en Irán, realizados por una flota de 33 camiones con capacidades de 13 [m³] 23 [m³] y 33 [m³], donde se obtuvieron los histogramas que representan los tiempos de transporte con los que trabajan los camiones a diferentes distancias de recorrido, los tiempos de carguío que las excavadoras y palas ocupan en las actividades registradas y el tipo de material que existen presentes en el rajo que necesitan ser transportados .

Con el fin de mantener un escenario controlado de las actividades de transporte fue escogido el mes 2 como escenario de simulación, en donde se creó un modelo de simulación que simulaba el trabajo de la flota de camiones en 6 frentes de trabajo ubicados en 6 niveles del pit, además, fueron estudiados 2 puntos de localización de un chancador, uno ubicado fuera de la mina, en un sector cercano al rajo y otro dentro del pit en la cota 1875.

De los escenarios propuestos se obtuvo que el escenario principal de simulación que busca ejemplificar los trabajos de transporte dentro de la mina cumple bastante bien con lo propuesto, ya que la diferencia porcentual registrada entre la información real manejada y el escenario de simulación llegó a un máximo de 7.86 [%]. Para el caso de ubicación de un chancador cerca de la mina se registró un aumento de 22,255 [m³/mes] y para el caso 2 un incremento de 22,528 [m³/mes] de material transportado en la mina, siendo el escenario 2 el más prometedor debido a que para el futuro se estima que esta mina aumente su profundidad, y la ubicación de un chancador en este punto acortaría las distancias de manera más efectiva en el transporte de material tipo óxido o sulfuro en la mina. De manera adicional, se puede indicar que la implementación del sistema IPCC en la mina podría generar la oportunidad de desistir de 2 camiones presentes actualmente en la flota.

ABSTRAC

In the mining industry, loading and haulage operation are the ones that in operational terms, have the highest percentages of the costs within a mine, these come from its high capital cost and various factors, both operational and non-operational, that the search for alternatives that can reduce cost and increase the productivity it's an important focus of the mining industry

It is for this reason, the general objective of this work was to show the impact it generates in terms of production, the location and implementation of an IPCC system within a work responsible for transporting oxide and sulfide copper material from the slicing to collection area located about 6 [km] outside of the pit, which are usually transported by trucks

To achieve the objectives set, it was necessary to study a database summarizing the annua material movements of Sungun Copper mine, located in Iran, realized by a fleet of 33 trucks with capacities of 13 [m³] 23 [m³] and 33 [m³], where histograms representing the transport time with which trucks wok at different travel distances were obtained, the loading time that excavators and shovel occupy in the recorded activities.

In order to maintain a controlled scenario of transport activities, month 2 was chosen as the simulation scenario, in which a simulated model was created that simulated the work of the truck fleet on 6 work fronts located on 6 levels of the pit, in addition, two location points of a crusher were studied, one located outside the mine, in a sector near to the pit and another inside the pit at level 1875.

From the proposed scenarios, it was obtained that the main simulation scenario that seeks to exemplify the transportation works within the mine complies quite well with that was proposed, since the percentage variance registered between the real information handled and the simulation scenario reached a maximum of 7.86 [%]. For the case of the location of a crusher near the mine, an increase of 22,255 [m³/month] was registered and for case 2 an increase of 22,528 [m³/month] of material transported in the mine, being scenario 2 the most promising because for the future it is estimated that this mine will increase its depth, and the location of a crusher at this point would shorten the distance more effectively in the transport oxide or sulfide type material in the mine. Additionally, it can be indicated that the implementation of the IPCC system at the mine could generate the opportunity to retire 2 trucks currently in the fleet.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1	Objetivos.....	2
1.1.1	Objetivo general.....	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	3
1.2	Metodología de trabajo	3
2	ANTECEDENTES.....	6
2.1	Sistema Shovel-truck.....	6
2.1.1	Productividad.....	8
2.1.2	Eficiencia	10
2.2	In-pit Crushing and conveying.....	12
2.2.1	Sistema IPCC Fijo o semi fijo.....	13
2.2.2	Sistema IPCC semimóvil.	14
2.2.3	Sistema IPCC móvil.....	15
2.2.4	Correas transportadoras.....	16
2.3	Shovel-truck vs IPCC.....	18
2.3.1	Ámbito económico	18
2.3.2	Ámbito operacional.....	18
2.3.3	Ámbito tecnológico, seguridad y ecológico	19
2.4	Caso de estudio.....	19
2.4.1	Características de la mina	20
2.4.2	Equipos utilizados.....	21
2.4.3	Producción minera.....	23
3	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	26
3.1	Tiempo de ciclo de transporte.....	27
3.1.1	Tiempo de carga.....	27
3.1.2	Tiempo de transporte.....	28

3.1.3	Tiempo de descarga	30
3.2	Esquema de sistema de transporte.....	30
3.2.1	Niveles de trabajo	33
3.3	Escenarios de simulación.	34
3.3.1	Escenario 1.....	36
3.3.2	Escenario 2.....	37
4	RESULTADOS Y DISCUCIONES.....	38
4.1	Análisis de base de datos	38
4.1.1	Tiempo de viaje vs distancia recorrida.	38
4.1.2	Relación entre cambio de altura y distancia recorrida.....	39
4.2	Verificación del modelo de simulación	41
4.3	Resultados caso 1 y caso 2	43
4.3.1	Análisis de la flota de camiones.....	45
4.3.2	Tiempo de espera.....	48
5	CONCLUSIONES	50
6	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	52
7	ANEXO	54
	Anexo A Tabla ilustrativa de datos en la base de datos	54
	Anexo B Histogramas de las velocidades de transporte.....	55
	Anexo C Esquema de simulación Arena	61
	Anexo D Cálculo de porcentaje de trabajo por nivel.....	65
	Anexo E Distancias promedio por nivel.....	65
	Anexo F Resultados simulación caso 1.....	65
	Anexo G Cálculo de diferencia porcentual	66
	Anexo H Resultados Simulación Chancador escenario 1.....	67
	Anexo I Resultados Simulación Chancador escenario 2	70
	Anexo J Tiempo de espera de los camiones.....	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:Esquema de la metodología de trabajo	4
Figura 2: Ciclo de transporte de sistema Shovel-truck [2]	6
Figura 3: Porcentajes de costos operacionales en grandes minas a cielo abierto [9]	8
Figura 4: Factores que afectan a la productividad en un sistema ST [12]	9
Figura 5: Ejemplo de modelo de uso del tiempo operacional común en la industria minera [13]	10
Figura 6: Esquema de trabajo IPCC.....	13
Figura 7: Esquema Estación In pit Crusher fijo a); Estacion in-pit Crusher fijo ejemplo en mina b) [6]	14
Figura 8: Sistema Semimóvil IPCC	15
Figura 9: Sistema móvil IPCC	16
Figura 10: Componentes de una correa transportadora; a) vista general; b) Vista esquemática	17
Figura 11: Mina de Cobre Sungun	20
Figura 12:Diseño de bancos y rampa Mina Sungun.....	21
Figura 13: Flota de camiones Modelo KOM-465	22
Figura 14: Producción de 6 meses de la mina	24
Figura 15: Tipo de material explotado en la mina.....	25
Figura 16: Esquema Simulación en software Arena.....	26
Figura 17: Histograma de tiempo de transporte entre 1 y 2 [km]	29
Figura 18: Esquema general de las rutas de transporte.....	31
Figura 19: Grafico distribución del tiempo de trabajo de un camión por turno	32
Figura 20: Niveles de Carga de material	33
Figura 21: Niveles de descarga de material tipo estéril.	34
Figura 22: Esquema general de los puntos de Carguío (circulo) y descarga (triangulo) dentro de la mina Sungun	35
Figura 23: Vista en planta de la posición del chancador caso 1	36
Figura 24:Vista en planta de la posición del chancador caso 2	37
Figura 25: Grafico Distancia recorrida v/s tiempo de viaje.....	38
Figura 26: Grafico relación entre diferencia de altura entre punto de descarga y carga v/s distancia recorrida [m].....	39
Figura 27: Grafico relación entre n° de bancos de diferencia v/s distancia recorrida.....	40
Figura 28:Resultados simulación producción total	43
Figura 29:Resultados simulación producción estéril.....	43

Figura 30:Resultados simulación producción chancador.....	44
Figura 31:Resultados simulación producción OxS	44
Figura 32: Comparación producción mensual por flota de camiones	46
Figura 33: Producción Semanal; caso 1 Disminución de flota de camiones	47
Figura 34:Producción Semanal; caso 2 Disminución de flota de camiones	47
Figura 35: Grafico tiempo de espera de camines para los casos simulados	48
Figura 36: Histograma de tiempo de transporte ida 250 [m].....	55
Figura 37:Histograma de tiempo de transporte vuelta 250 [m]	55
Figura 38:Histograma de tiempo de transporte ida 1-2 [km].....	56
Figura 39:Histograma de tiempo de transporte vuelta 1-2 [km]	56
Figura 40: Histograma de tiempo de transporte ida 2-3 [km].....	57
Figura 41: Histograma de tiempo de transporte vuelta 2-3 [km]	57
Figura 42: Histograma de tiempo de transporte ida 3-4 [km].....	58
Figura 43: Histograma de tiempo de transporte vuelta 3-4 [km]	58
Figura 44: Histograma de tiempo de transporte ida 4-5 [km].....	59
Figura 45:Histograma de tiempo de transporte vuelta 4-5 [km]	59
Figura 46: Histograma de tiempo de transporte ida 6-7 [km].....	60
Figura 47: Histograma de tiempo de transporte vuelta 6-7 [km]	60
Figura 48: Esquema Simulación arena parte 1	61
Figura 49:Esquema carga y tiempo de viajes material tipo Mineral-Chancador	62
Figura 50: Esquema carga y tiempo de viajes material tipo estéril	62
Figura 51:Esquema carga y tiempo de viajes material tipo mineral-OxS.....	63
Figura 52: Esquema de puntos de descarga y registro de material transportado	63
Figura 53: Esquema de zona de mantención, viaje de regreso y fin de la simulación	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modelo de camiones	22
Tabla 2: Equipos de carga presentes en la mina.....	23
Tabla 3: Tiempo de ciclo de carga de equipos de carga	28
Tabla 4: Distribución y expresiones para el tiempo de transporte de los camiones presentes a distintas distancias.....	29
Tabla 5: Distribución y expresiones para el tiempo de retorno de los camiones presentes a distintas distancias.....	30
Tabla 6: Producción semanal de un mes de la mina Sungun.....	41
Tabla 7: Comparación modelo simulado con caso real	42
Tabla 8: Ejemplo tabla ubicada en base de datos Parte 1.....	54
Tabla 9: Ejemplo tabla ubicada en la base de datos Parte 2.....	54
Tabla 10: Porcentaje de tiempo trabajado semanal por nivel	65
Tabla 11: Distancias promedio recorridas por nivel.....	65
Tabla 12: Resultados de simulación caso de verificación.....	66
Tabla 13: Resultados cálculo de Diferencia porcentual.....	67
Tabla 14: Resultados de simulación en escenario 1, flota de 33 camiones.....	67
Tabla 15: Resultados de simulación en escenario 1, flota de 32 camiones.....	68
Tabla 16: Resultados de simulación en escenario 1, flota de 31 camiones.....	69
Tabla 17: Resultados de simulación en escenario 1, flota de 30 camiones.....	69
Tabla 18: Resultados de simulación en escenario 2, flota de 33 camiones.....	70
Tabla 19: Resultados de simulación en escenario 2, flota de 32 camiones.....	71
Tabla 20: Resultados de simulación en escenario 2, flota de 31 camiones.....	71
Tabla 21: Resultados de simulación en escenario 2, flota de 30 camiones.....	72
Tabla 22: Tiempos de espera de camiones para cargar, Escenario verificación	73
Tabla 23: Tiempos de espera de camiones para cargar, Escenario 1	74
Tabla 24: Tiempos de espera de camiones para cargar, Escenario 2.....	74

NOMENCLATURA

ST	:	Shovel-Truck system; sistema camión-pala
IPCC	:	In-pit Crushing and conveying system; Sistema chancador-correa en pit
m	:	Metros
km	:	Kilómetros
mm	:	Milímetros
t	:	Toneladas
ASARCO	:	American Smelting & Refining Co.
OxS	:	Oxido y Sulfuro
hr	:	Horas
min	:	Minutos
sec	:	Segundos



1 INTRODUCCIÓN

En la industria minera, una de las problemáticas predominantes en relación con las actividades realizadas en faenas con metodología de explotación de mineral a cielo abierto, consiste en los costos operacionales asociados al transporte del material desde el punto de extracción hasta las zonas tanto de planta como botadero o stock [1]. En relación con los procesos de transporte, el sistema pala-camión o *shovel-truck* (ST iniciales en inglés) es el más ocupado en la industria, debido a su flexibilidad y menores costos de inversión en comparación a otras metodologías de transporte de mineral [2]. Sin embargo, las desventajas relacionadas a este sistema de transporte radican en el aumento de sus costos operacionales a medida que el pit aumenta su profundidad, relacionándose directamente con el aumento tanto en los tiempos de ciclo de transporte realizados por un camión como en el de la flota de camiones necesarios para cumplir con la producción diaria [3]. Este tipo de aumento de costos operacionales traen consigo un replanteamiento de si es realmente factible continuar con operaciones de explotación a cielo abierto, optar por una transición a metodologías subterráneas o el simple cierre de una faena. Como alternativa al transporte de material mediante el sistema ST, se han desarrollado sistemas mediante la implementación de un chancador dentro de la mina y un sistema correas de transporte de material o *in-pit crushing and conveying* (IPCC acorde a sus siglas en ingles), que, si bien representan una mayor inversión inicial y menor flexibilidad al momento de realizar el trabajo, a largo plazo, este acarrea un menor costo operacional en años futuros, disminuir los tiempos de ciclo de transporte, aumentar la profundidad de un pit en desarrollo, y un posible aumento en la vida útil de una mina, debido al cambio en la ley de corte del yacimiento por esta disminución en costos operacionales [4]–[6].

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

El enfoque general del trabajo es evaluar los efectos que tiene la implementación de un sistema chancador correa ubicado dentro de la mina y proponer el momento de instalación y aplicación de ente sistema en una mina a cielo abierto

1.1.2 Objetivos específicos

1. Análisis estadístico de datos presentes en una base de datos que registra las actividades realizadas dentro de una mina a cielo abierto.
2. Simular la producción de un mes de trabajo de una mina a cielo abierto a través del programa computacional de simulación "Arena".
3. Estudiar los parámetros que permiten reducir las distancias y los tiempos de transporte para realizar el traslado de mineral que tiene como destino un centro de acopio ubicado a cerca de 6 [km] fuera del rajo.
4. El monitoreo de los tiempos de transporte de material hacia las zonas de acopio tanto de estéril como de mineral, además, se enfocará el estudio en el efecto que tiene el diseño de la mina dentro de la producción y la flota de camiones ocupadas para las ejecuciones de las actividades de transporte de material en la faena minera.
5. Realizar simulaciones para evaluar el efecto que tendría en la productividad la implementación de un sistema IPCC dentro del rajo, destinado al transporte de material tipo oxido o sulfuro.
6. Comparar los resultados obtenidos de la simulación con las producciones actuales que posee la mina a cielo abierto

1.2 Metodología de trabajo

Para lograr los objetivos propuestos es necesario reunir y estudiar la información necesaria para poder realizar los trabajos de simulación. En la Figura 1 se muestra el esquema general de la metodología de trabajo utilizada a lo largo del presente proyecto.

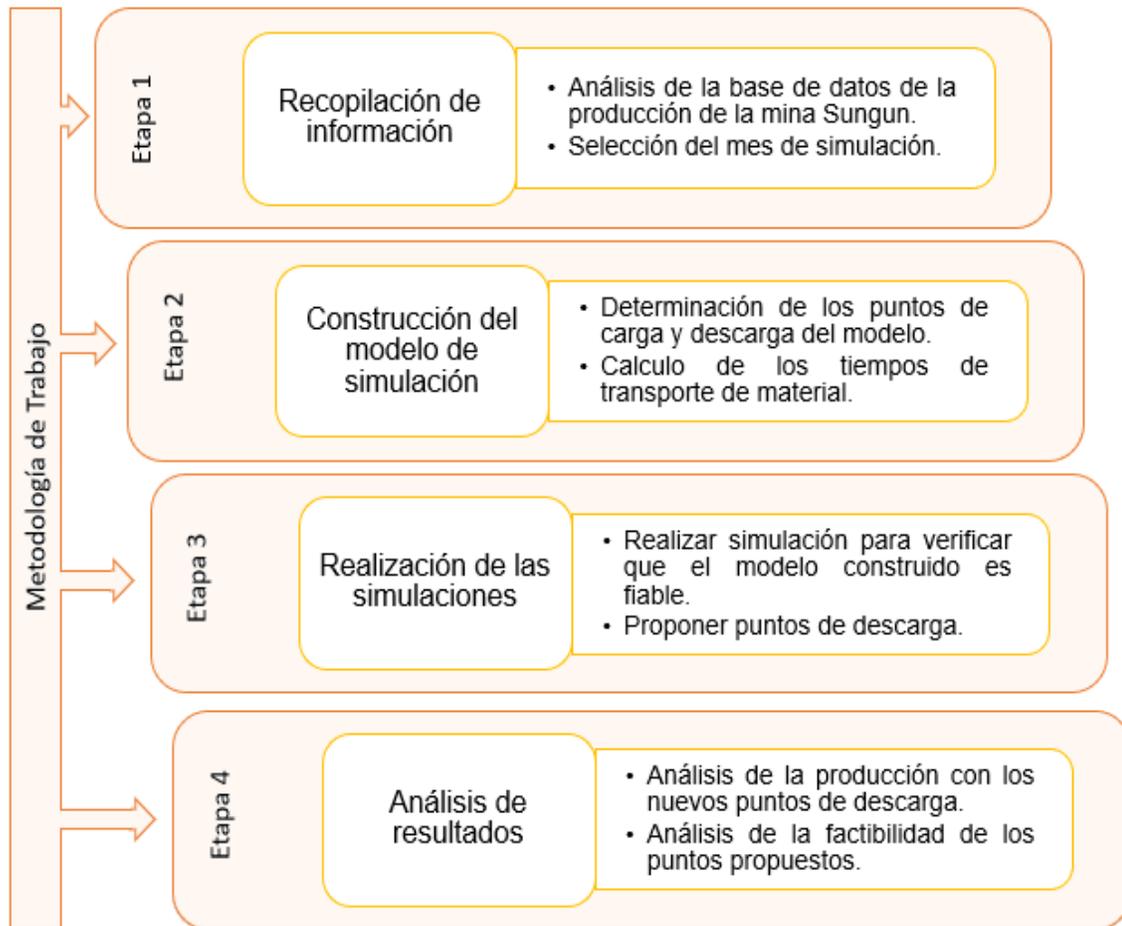


Figura 1: Esquema de la metodología de trabajo

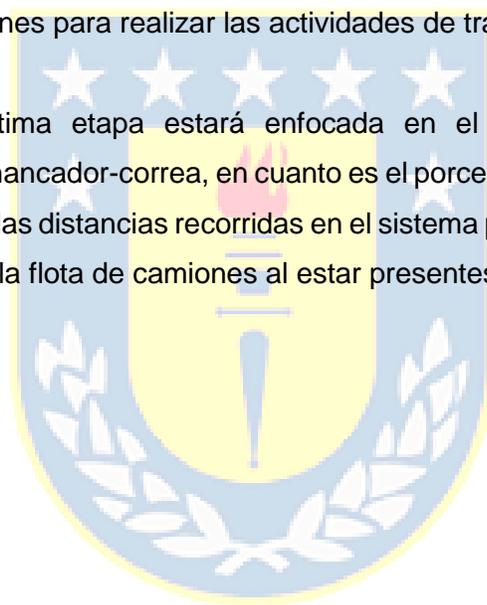
Etapa 1: En esta etapa del proyecto se lleva a cabo la recopilación de información sobre el caso de estudio, haciendo énfasis en la elección del mes de producción en el cual estará enfocado el proyecto y cuáles son las restricciones que regirán el futuro modelo. Esta recopilación de información es llevada a cabo por medio del análisis de una base de datos pertenecientes al último año de producción registrada en la mina Sungun en donde se detallan los equipos utilizados en la faena, el tipo de material explotado, tipo de roca presente, código de maquinaria, turnos de trabajo, niveles de trabajo, niveles de descarga, altura de banco y tiempos tanto de trabajo como de mantenimiento planificada, no planificada, falla planificada y falla no planificada.

Etapa 2: En la segunda etapa del proyecto, centrada en la construcción del modelo de simulación, está enfocada en la determinación de los niveles de producción que se desean simular, los cuales cumplan con la información recopilada del mes de producción seleccionada. En su mayoría, la construcción del modelo constara de la determinación de los puntos de carguío, los puntos de descarga en chancador, botadero y zonas de recopilación de óxidos o sulfuros, y las

distancias recorridas por los camiones para poder realizar dichas actividades. Además, el análisis de estos datos será enfocados en los histogramas resultantes del estudio de tiempos de viaje de los camiones para tener una similitud más acorde a la realidad y a los escenarios que se puedan presentar en una mina.

Etapa 3: Una vez construido el modelo de simulación, se realizarán simulaciones que permitan evaluar si el modelo propuesto cumple con lo esperado y si en realidad representa la realidad vivida por la producción de la mina. A su vez, se evaluarán 2 puntos candidatos para poder situar un sistema chancador-correa que permita reducir los tiempos de transporte para el caso de las zonas de recopilación de óxidos o sulfuros, se simularan y se estudiara el impacto que proporciona esta reducción de distancia entre punto carga y descarga, y si es factible permitir la reducción de la flota de camiones para realizar las actividades de transporte en la mina Sungun.

Etapa 4: En esta última etapa estará enfocada en el estudio de factibilidad de la implementación del sistema chancador-correa, en cuanto es el porcentaje de aumento en producción registrado por la reducción de las distancias recorridas en el sistema propuesto, además, se evaluará el impacto en la reducción de la flota de camiones al estar presentes en los escenarios propuestos.



2 ANTECEDENTES

En los sistemas de transporte dentro de una faena minera a cielo abierto se pueden identificar 2 metodologías predominantes con las cuales se proceden a realizar las operaciones de transporte durante la vida de una mina. Estos sistemas operacionales son *Shovel-truck* e *in-pit crushing and conveying system* y su implementación dentro de una faena mineral radica principalmente en si es o no económicamente rentable llevarlas a cabo [7], [8].

2.1 Sistema Shovel-truck

El sistema convencional de transporte “*Shovel-truck*” consiste en el transporte de material explotado en una faena minera hacia los puntos de stock, planta o botadero por medio de camiones de mediana o alta capacidad. Este sistema de transporte es considerado el más ocupado en las faenas mineras debido a su bajo costo de inversión en comparación a otros sistemas de transporte.

La metodología con la que el sistema ST trabaja consiste en un emparejamiento o match pala-camión con la cual dicha pala se encarga de cargar en camión con material previamente tronado [2], [6].

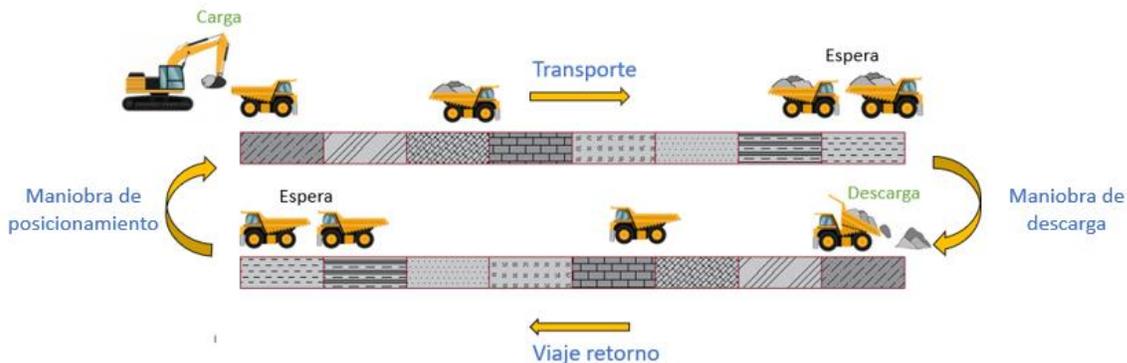


Figura 2: Ciclo de transporte de sistema Shovel-truck [2]

En la Figura 2 se muestra un sistema convencional de transporte por medio de la metodología ST, en este se muestra los principales aspectos globales en los que trabaja:

- Cargar
- Transportar

- Esperar
- Descargar
- Volver al punto

El costo asociado a este sistema de transporte se rige estrictamente a los tiempos que se demora un camión en completar el ciclo presentado en la Figura 2 y a cuantos de estos camiones son necesarios para cumplir con las producciones propuestas para que la explotación minera sea rentable.

La fórmula general para calcular el tiempo de ciclo de este sistema es la siguiente:

$$t_{ciclo} = t_{carga} + \frac{D}{V_1} + t_{descarga} + \frac{D}{V_2} + t_{otros} \quad (1)$$

Donde:

- t_{carga} : es el tiempo en el que la pala demora en cargar el camión.
- D = distancia entre el punto de carga y descarga.
- V_1 = velocidad con la que se desplaza el camión desde el punto de carga hacia el punto de descarga.
- V_2 = velocidad con la que se desplaza el camión desde el punto de descarga hacia el punto de carga.
- $t_{descarga}$ = tiempo que demora el camión en descargar el material.
- t_{otros} = tiempo en que demora el camión en posicionarse en el punto tanto de carga como de descarga, además, se pueden incluir los tiempos de maniobra generales del camión y los tiempos de espera de camión en fila.

Mediante esta fórmula es posible determinar la flota de camiones y palas necesarias para cumplir con la producción anual de una mina a cielo abierto.

Con respecto a los costos operacionales correspondientes al carguío y transporte de material dentro de una mina a cielo abierto, es importante mencionar que estos representan hasta un 13.9% y 48.8% respectivamente [9] de los costos operacionales totales en una faena minera, tal y como se ilustra en la Figura 3, en donde el gasto por combustible y lubricantes ocupados por los camiones se destacan con respecto a las demás como la que más inyección de dinero necesita para poder realizar las funciones de operación de transporte necesitadas tanto dentro del pit (*In-pit adverse e in pit flat*) como fuera del pit (*ex-pit*) [9].

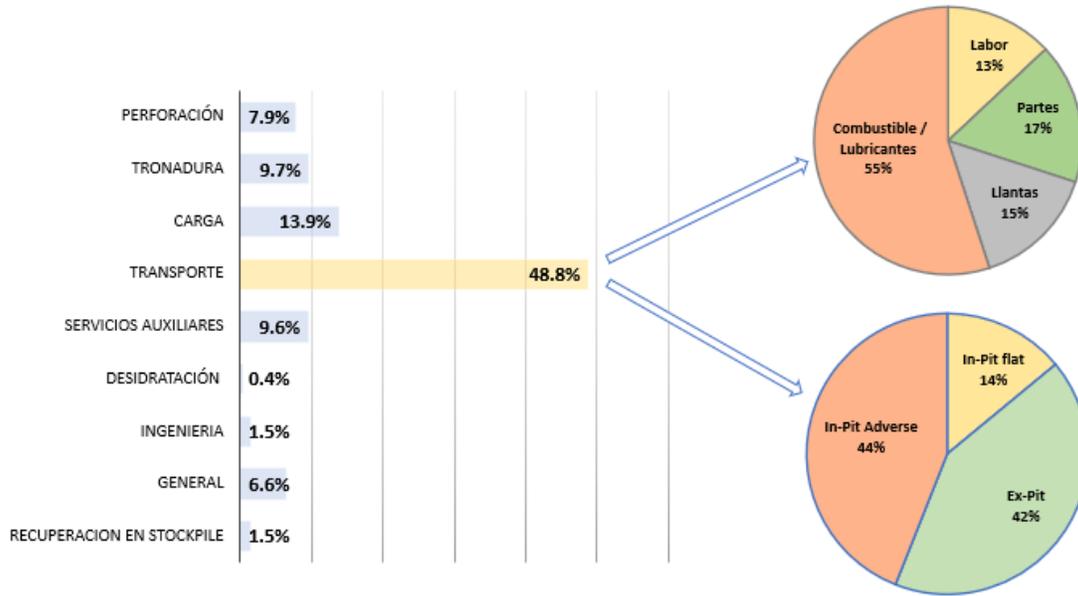


Figura 3: Porcentajes de costos operacionales en grandes minas a cielo abierto [9]

Estos costos operacionales suelen ir incrementando al pasar de los años debido a los cambios producidos en la geometría del rajo y en el aumento de las distancias entre los puntos de carga y descarga de material, a su vez, los camiones suelen disminuir sus tiempos operacionales debido a factores enfocados en la eficiencia del proceso de transporte [9].

2.1.1 Productividad

La productividad se define como una medida de eficiencia en la producción de bienes fijos, la cual proviene de la expresión de relación entre “*outputs*” e “*inputs*” [10]–[12]. los términos inputs y outputs tienen diferentes significados dependiendo de lo que se quiere medir, a modo de ejemplo, en la industria minera, la productividad es típicamente expresada como producción (*outputs*), en toneladas o metros cúbicos, por horas operacionales (*input*) [11], [12]. Cabe señalar, que las horas operacionales están definidas como como el tiempo en el cual la entidad en estudio (en este caso un camión) se encuentra encendido, recibiendo así el nombre general de tiempo de trabajo, el cual incluye factores que pueden incrementar o disminuir la productividad, tales como los tiempos de demora o “*delays*”. En la ecuación (2) se muestra la expresión matemática que define la productividad [12].

$$Productividad = \frac{Produccion}{tiempo\ operacional} \quad (2)$$

Dentro de la industria existen diferentes factores que pueden afectar la productividad de los camiones dentro de la faena. En la Figura 4 se muestran los principales factores que afectan la producción en un sistema de transporte tradicional pala -camión [12].

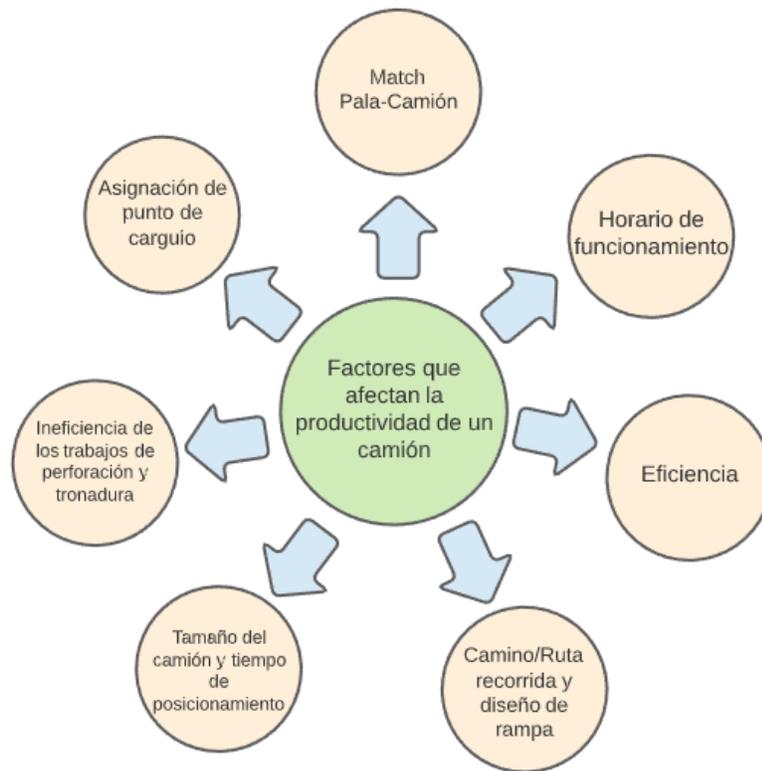


Figura 4: Factores que afectan a la productividad en un sistema ST [12]

Los factores mencionados en la Figura 4 son solo algunos de los factores que pueden afectar la productividad en una faena minera, además estos también poseen un impacto en los costos operacionales que se pueden agregar a los costos operacionales ocasionados por el carguío y

transporte. Un ejemplo de esto puede ser los caminos o rutas que debe recorrer los camiones, al igual que las rampas presentes en el pit, debido a que para que dichos equipos puedan circular libremente por las rutas, estas deben ser previamente tratadas para que puedan realizarse dichas actividades, por lo tanto es necesario la implementación de equipos como moto niveladores y camiones aljibe para acondicionar las rutas, además el estado de las rutas también tienden a afectar los tiempos de ciclo de transporte, ya que una ruta en la estado puede dificultar la libre circulación de los camiones o incluso la velocidad promedio en los cuales que puede movilizar dentro de la mina

2.1.2 Eficiencia

El concepto de eficiencia en el transporte de material es fundamental para el cálculo de la producción de una flota de camiones en una faena minera. Esta eficiencia es usualmente expresada como un porcentaje de la producción real en comparación con la producción máxima alcanzable por los equipos e influyen factores operacionales como de mantención de los equipos de transporte[13], a su vez, esta eficiencia tiene el objetivo de representar el tiempo real que dedica el medio de transporte a la realización de las tareas encomendadas. En la Figura 5 se muestran la distribución y factores que influyen en los tiempos operacionales de los sistemas de transporte ocupados en una faena minera, según la norma ASARCO [13].

Mobile Equipment		Calendar Time (CT)									
		Available Time (AT)					Down Time (DT)				
		Utilised Time (UT)					Operating Standby (OS)	Non-Scheduled Time (NST)	Unplanned Failure Loss (UFL)	Unplanned Loss Other (ULO)	Scheduled Loss Time (SLT)
		Operating Time (OT)			Operating Delays (OD)						
Fixed Plants		Net Operating Time (NOT)		Performance Losses (PL)		Operating Delays (OD)	Operating Standby (OS)	Non-Scheduled Time (NST)	Unplanned Failure Loss (UFL)	Unplanned Loss Other (ULO)	Scheduled Loss Time (SLT)
Valuable Operating Time (VOT)		Quality losses (QL)									

Figura 5: Ejemplo de modelo de uso del tiempo operacional común en la industria minera [13]

Las explicaciones de tiempos especificados en la Figura 5 son:

- Calender Time (CT): también conocido como tiempo Nominal, es el espacio de tiempo definido como como espacio muestral en donde se produce la medición. Este depende de la continuidad de la producción en la faena.
- Available Time (AT): El tiempo disponible se define como el espacio de tiempo en que el equipo se encuentra capacitado para poder realizar las tareas encomendadas.
- Down Time (DT): El tiempo fuera de servicio es el cual no se encuentra disponible el equipo debido a mantenencias programadas o fallas en las que pueda haber incurrido el equipo.
- Operating Time (OT): Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra apto para realizar tareas asociadas a las actividades encomendadas.
- Scheduled Loss Time (SLT): Las demoras programadas es el espacio de tiempo en que no se realizan las tareas para las cuales el equipo fue diseñado, pero donde se deben cumplir con algunas actividades normandas por la ley, como los tiempos de colación o cambios de turnos.
- Non-Scheduled Time (NST): las demoras no programadas es el espacio de tiempo en que no se realizan tareas para las cuales el equipo fue diseñado, debido a condiciones y circunstancias netamente derivadas de las operaciones o a la ineficiencia de estas mismas.
- Operating Delays: Las pérdidas operacionales corresponden al espacio de tiempo perdido resultante de operaciones como el tiempo de espera de estos equipos.
- Valuable Operatin Time (VOT): es definido como el espacio de tiempo efectivo en el cual puede realizar sus operaciones acordes a su funcionalidad

En operaciones mineras, los camiones son clasificados como equipos de funcionamiento móvil, en consecuencia, con lo que se ilustra en la Figura 5, el tiempo operacional correspondiente a los camiones tiende a tener pérdidas de eficiencia afectadas por terms de retrasos operacionales.

Una de las medidas más usadas en la industria para medir la eficiencia de los equipos es atreves del cálculo del *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) [2], [13], representado en la ecuación (3):

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (3)$$

Donde:

- Availability = tiempo operacional / Tiempo de producción planeada
- Performance = (Output/Operating Time) / (Rated Output / Design Cicle Time)

- $Quality = Valuable\ Output / Total\ Output$

2.2 In-pit Crushing and conveying

En términos generales, el sistema IPCC consiste en el transporte de material desde el punto de explotación de una mina a cielo abierto hasta los sectores de acopio, procesamiento o botaderos dentro de una faena minera. Este sistema de transporte continuo consiste en la utilización de los siguientes elementos:

- Sistema de alimentación hacia el chancador (este puede derivar del trabajo de un sistema ST dentro de la mina)
- Un chancador primario
- Una Correa transportadora
- Un sistema de descarga de material.

En la Figura 6 se muestra un esquema general de cómo se organiza el sistema IPCC dentro de una mina. La alimentación del chancador consiste en un sistema ST que se encarga de trasladar el material tronado hacia el chancador, el sistema de chancado consiste en la utilización de un chancador primario ubicada dentro del pit, el cual se encarga de disminuir el tamaño del material dispuesto dentro de la mina una vez que este ha sido tronado [6], [7]. El objetivo de esta conminución primaria es lograr que el material reduzca su tamaño para poder ser transportado mediante correas transportadoras desde la mina, hasta la planta, pila de stock o botadero según sea la ley promedio de este material y la ley de corte con la que la faena está trabajando [6].

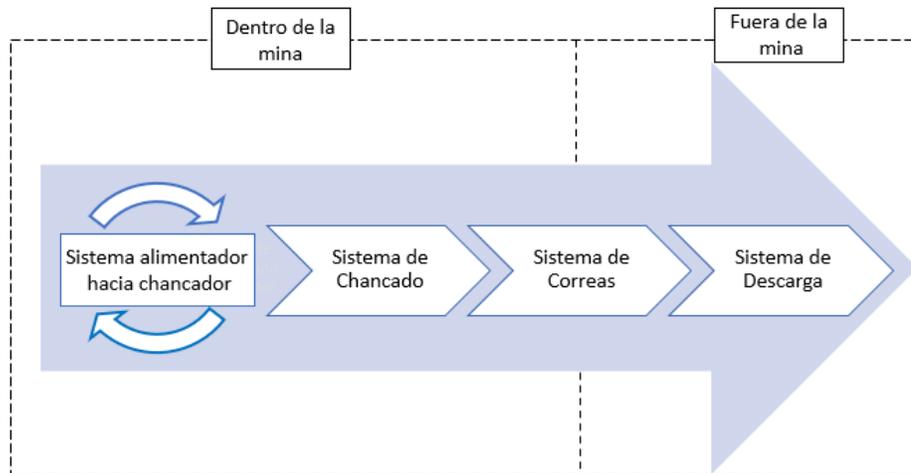


Figura 6: Esquema de trabajo IPCC

De manera adicional, el sistema IPCC posee variantes en su metodología de trabajo, estas variaciones entregan versatilidad a la metodología de trabajo realizado enfocándose en la movilidad de posea el chancador dentro de la mina.

2.2.1 Sistema IPCC Fijo o semi fijo.

Fijo o semi fijo IPCC debe su nombre al tipo de metodología en la cual este sistema trabaja. En términos generales, un sistema IPCC fijo o semi fijo debe su nombre a la poca o nula movilidad que posee el chancador durante el periodo de extracción de mineral en la faena minera. En la Figura 7 se muestra tanto en la parte a) como en la parte b) una estación de chancado clásico ocupado en las faenas mineras, en la sección a) se muestra un esquema el cual describe como se distribuye y posiciona el sistema de chancado dentro de la estructura de metal. En la sección b) se ilustra como se visualiza este sistema dentro de una faena minera, en donde el sistema de alimentación al chancador primario puede ser hasta de con 2 camiones, si es que su capacidad de chancado lo permita [7]. De manera adicional, se puede observar la correa transportadora de material ubicada en la parte inferior de toda la estructura.

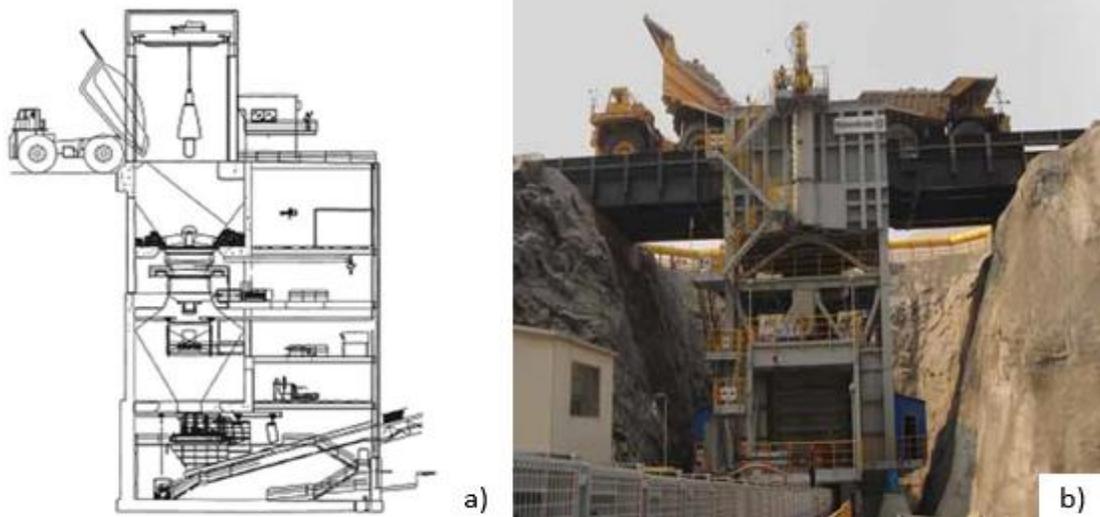


Figura 7: Esquema Estación In pit Crusher fijo a); Estacion in-pit Crusher fijo ejemplo en mina b) [6]

La ubicación de este chancador fijo dentro de la mina depende de factores tanto económicos como operacionales, ya que deben considerarse una ubicación que no produzca inconvenientes en los procesos de transporte de los camiones dentro de la mina, además de buscar la posición que logre minimizar los costos operacionales dentro de la faena [6].

2.2.2 Sistema IPCC semimóvil.

Un Sistema semimóvil IPCC lleva su nombre debido a la utilización de un chancador que si bien, no posee un sistema de transporte incorporado en la estructura, este chancador es relocalizado mediante la utilización de equipos como *dozers* o *crawlers* sin tener que desmantelar las estructuras pertenecientes al sistema de chancado [6]. Este trabajo es llevado mediante la utilización de varias horas de trabajo, con el fin de relocalizar el chancador hasta un lugar que logre disminuir los costos en transportes de los camiones dentro de la mina.



Figura 8: Sistema Semimóvil IPCC

En la Figura 8 se ilustra un sistema IPCC semimóvil dentro de una mina, en el cual se puede observar en la parte inferior las maquinarias que llevan a cabo las operaciones de transporte de la estructura de chancado.

2.2.3 Sistema IPCC móvil.

Un sistema IPCC móvil consiste en una estructura de chancado el cual posee un sistema de transporte incorporado (mayoritariamente un sistema de transporte tipo *crawler*) en su estructura general. Esta capacidad de movilidad otorga una versatilidad a las operaciones de transporte dentro de la mina, ya que el sistema de alimentación hacia este chancador puede estar solamente restringido hacia la utilización de Palas quitando del medio la necesidad de tener camiones dentro de la mina.



Figura 9: Sistema móvil IPCC

En la Figura 9 se muestra un sistema IPCC móvil realizando operaciones dentro de una mina a cielo abierto, en dicha imagen se puede observar que este posee un sistema de transporte independiente que permite su completa movilidad en la realización de las faenas dentro de la mina, estos sistemas de chancado suelen estar acompañados por correas transportadoras que ayudan en las operaciones de transporte en las operaciones dentro y fuera de una mina a cielo abierto.

2.2.4 Correas transportadoras

De manera general, los sistemas de correas que acompañan a los chancadores fijos, semimóviles y móviles son constituidos por correas ya sean fijas, móviles o semi móviles para realizar las tareas de transporte de material. Dichas correas dependerán estrictamente de la metodología utilizada [6]. Estas correas generalmente están construidas por correas continuas movilizadas por sistemas de poleas motriz (denominada estación principal) y polea *idler* (estación de cola) y estas a su vez pueden ser impulsadas por varias poleas impulsadoras por medio de la fricción estática [6], [14]. Las correas usualmente están soportadas por rodillos de carga y su tensión es controlada por sistemas de tensión, además, el material es usualmente cargado a ellas en puntos específicos por medio de la utilización de una tolva y este material es transportado por la parte superior del cinturón de la correa [14]. Este sistema de transporte puede variar su utilización dependiendo de en qué lugar de la mina se esté utilizando, ya sea dentro de la mina (*in-pit*

conveyors), dentro de la planta de procesamiento (*in-plant conveyors*) o para el transporte de material a largas distancias (*overland conveyors*)

En la Figura 10 se muestran los componentes típicos presentes en una correa transportadora [7], Donde:

1. Estación motriz que incluye la polea motriz
2. Polea deflectora (aumenta el ángulo de fricción de la correa)
3. Rodillo de retorno
4. Estructura de soporte (usualmente de acero) que sostiene la carga de los rodillos
5. Polea de retorno con sistema tensor
6. Tolva de carga
7. Zona de caída
8. Rodillos de soporte de carga
9. Rollos de guía
10. Limpiadores y raspadores de banda

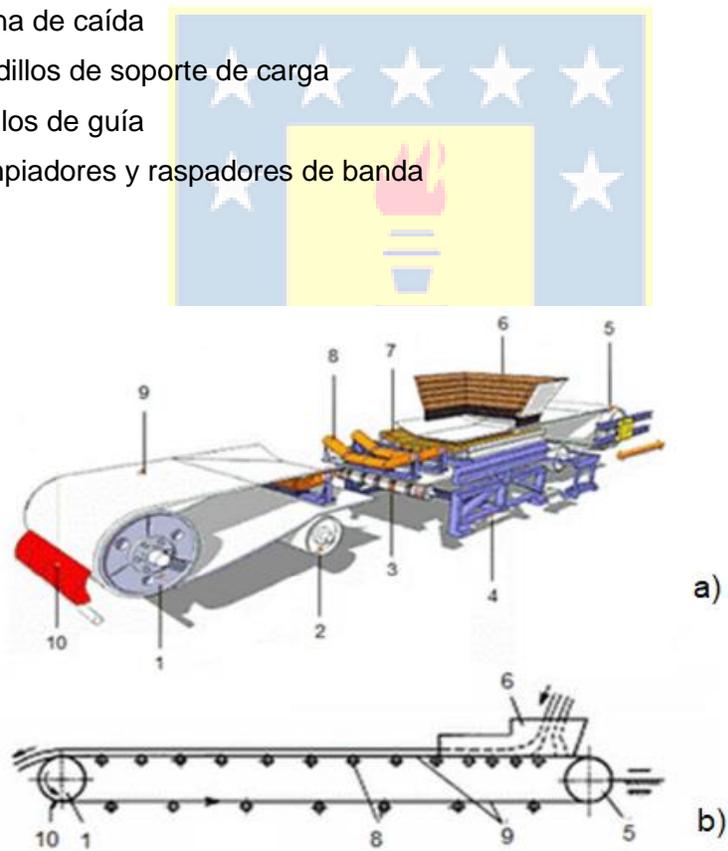


Figura 10: Componentes de una correa transportadora; a) vista general; b) Vista esquemática

2.3 Shovel-truck vs IPCC

En términos operacionales, la elección del método de transporte de mineral esta estrictamente ligadas a los costos de inversión presentes de estos sistemas y a los costos operacionales necesario para la realización de las tareas dentro de una faena [2], [13], [15]. De manera adicional, existen otros factores que resultan interesantes presentar a comparación entre un sistema ST e IPCC, entre los que se puede mencionar el ámbito económico, operacional, tecnológico, seguridad y ambiental.

2.3.1 Ámbito económico

El sistema de transporte ST, como ya se mencionó anteriormente, presenta una menor inversión inicial en comparación al sistema IPCC debido a que se enfoca en la compra de camiones y palas necesarias para cumplir la producción diaria [16]. Sin embargo, por parte del sistema IPCC, al ocupar energía eléctrica en su proceso de funcionamiento es que este sistema es más conveniente que el sistema TS, debido a que el precio de la electricidad (\$/KWh) es menos que el 40% del precio del diésel (\$/L) [17], por lo tanto sus costos operacionales se verían reducidos.

2.3.2 Ámbito operacional

El sistema ST es mucho más flexible en términos operacionales debido a que su trabajo se realiza mediante personal capacitado, que le permite el transporte de material por medio de camiones dentro de la mina por rutas establecidas, por el contrario, el sistema IPCC se encuentra restringido a la ubicación en donde se encuentra ubicado el chancador y las correas, lo que ocasiona restricciones de movilidad en el sistema. Además, La implementación del sistema IPCC está fuertemente ligada a los años de la vida útil y los años de producción de la mina, ya que si este posee una vida de mina corta, la implementación de un sistema IPCC seria económicamente inviable[4]–[6].

El sistema IPCC posee el inconveniente de la necesidad de relocalizar el sistema chancador correa acorde al paso de los años, lo que representa un gasto de extra de dinero y un paro en la producción por un tiempo, por otro lado, el sistema TS no posee este inconveniente [2], [14], [15].

Finalmente, para el trabajo con sistema IPCC en necesario reducir la granulometría del material a cerca de 250 mm antes de ser cargados a la correa, lo que representa una desventaja si se compara con un en sistema TS, ya que este puede transportar material por sobre esa

granulometría, en su mayoría material con granulometría obtenida directamente de la tronadura [6], [7].

2.3.3 Ámbito tecnológico, seguridad y ecológico

El sistema IPCC por sobre el sistema TS entrega una mayor automatización en el proceso de transporte de material [18], debido a la mayor tecnología implementada en su sistema de transporte, además, el sistema IPCC entrega la oportunidad de mejorar la seguridad dentro de la mina, ya que al implementarse, esta representaría un menor movimiento de equipos de traslado dentro de la mina para cumplir la producción diaria, y por lo tanto una reducción en la probabilidad de presentarse un escenario de accidente ocasionado por un camión en la carretera.

Desde el punto de vista ecológico, el sistema IPCC en comparación con el sistema ST tiene menores índices de emisiones de CO₂ derivados de la utilización de energía eléctrica como método de funcionamiento, lo cual presentaría una alternativa más amigable al medio ambiente en términos de producción [6] si se compara con el sistema ST.

2.4 Caso de estudio.

Sungun Copper Mine es una mina a cielo abierto ubicada en Varzaqan, al noreste de Irán. Este depósito de cobre es considerado como la segunda mina a cielo abierto ubicada en Irán. Dicho yacimiento se estima que sus reservas de mineral de cobre ascienden a cerca de 806 millones de toneladas con una ley promedio de 0.62% y una estimación de material explotable de cerca de 388 millones de toneladas de mineral de cobre con una ley promedio de 0.67% con un “*stripping ratio*” (razón estéril/mineral) de 1.8:1, además, este yacimiento posee otros minerales de valor económico tales como aluminio, hierro y zinc [15]. Como se ilustra en la Figura 11, la mina Sungun se encuentra ubicada en la ladera de una montaña, y su forma y geometría permite que las rutas de transporte tengan formar de zigzag.



Figura 11: Mina de Cobre Sungun

2.4.1 Características de la mina

La mina Sungun posee niveles de producción que van desde la cota 2,362 hasta el nivel 1,600 [4], registrando cerca de 60 bancos en los cuales se realizan trabajos de explotación de material.

En la Figura 12 se muestra una imagen que representa el diseño de los bancos y la rampa de la mina de cobre Sungun, en esta se puede observar que la altura de banco alcanza los 12.5 [m] de altura, además, los bancos poseen un ángulo de talud de aproximadamente 70° , los cuales de acuerdo al tipo de roca presente en el yacimiento entregan una estabilidad suficiente para evitar la falla del talud y garantizar la seguridad del trabajo realizado en la mina, de la misma forma, se ilustra que el ancho de los bancos alcanza los 8 [m] otorgando así la capacidad de la libre circulación de los camiones de transporte hacia los distintos puntos de carguío ubicado en los distintos niveles de la mina. Finalmente es importante indicar que la mina Sungun posee un ancho de rampa de 30 [m] otorgándole así una capacidad de libre circulación de vehículos en ambas direcciones de las vías de transporte.

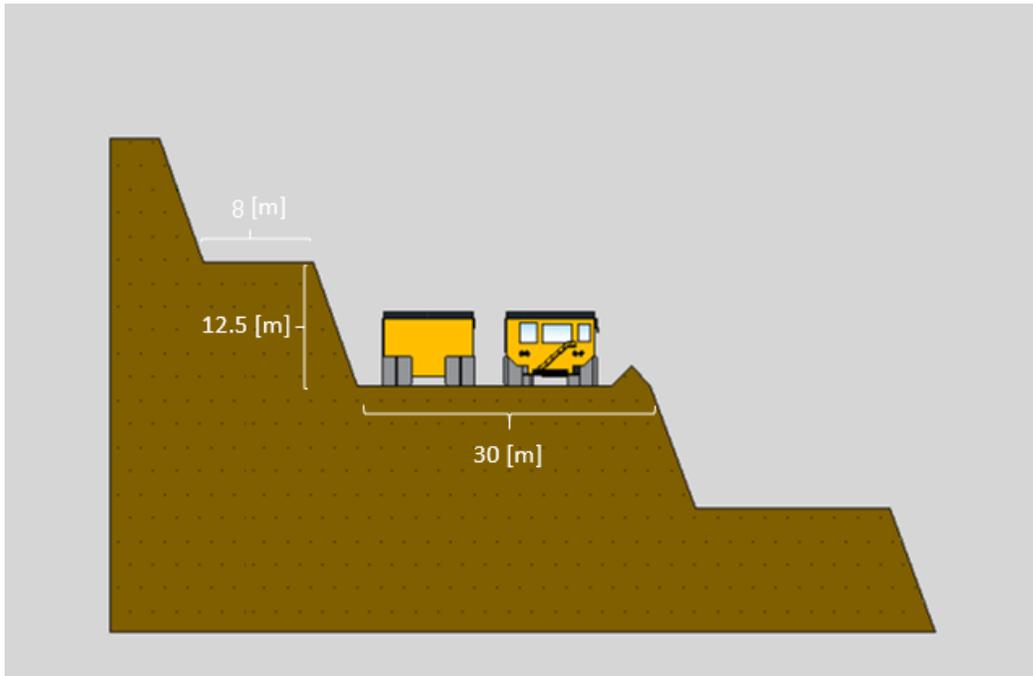


Figura 12: Diseño de bancos y rampa Mina Sungun

De manera adicional se puede indicar que en la mina posee un chancador ubicada en una zona cercana al rajo, en el cual se toma como referencia el nivel 1987.5 como su ubicación debido a que es a esa altura de cota en la cual está ubicada que tiene como objetivo recibir material tipo mineral para su posterior reducción de tamaño y transporte mediante correas hacia sus centros de acopio y procesamiento, por otro lado, la ubicación de su botadero fue establecida de tal forma que los tiempos de transporte hacia ella fueran cortos y que se aprovecha de mejor manera la topografía de la zona en la cual se está trabajando. Por lo tanto, esta está ubicada en el sector Noreste del mismo pit, la cual posee accesos desde varios puntos del rajo y permite descargar el material tipo estéril.

2.4.2 Equipos utilizados

2.4.2.1 Equipos de transporte

En términos de producción, la mina en estudio ocupa dentro de sus faenas una flota compuesta de 33 camiones que se encargan de transportar el material explotados hacia las zonas de botaderos o a los distintos puntos de recepción de mineral. Estos camiones se encuentran

distribuidos en 3 tipos de camión, diferenciados entre sí por su distinta capacidad de tonelaje de transporte, los cuales son:

Tabla 1: Modelo de camiones

Modelo	Cantidad de camiones	Tonelaje [t]
KOM-325-6	6	30
KOM-465-7	15	60
KOM-785-5	12	100

En la Figura 13 se muestra la flota de camiones perteneciente a la mina, la cual ilustra los 15 camiones perteneciente al modelo KOM-465.



Figura 13: Flota de camiones Modelo KOM-465

2.4.2.2 Equipos de carga.

El sistema de carga dentro de la mina consta de la utilización de maquinaria tipo excavadoras o cargadores. Para el caso de las excavadoras, la cantidad total de excavadoras son 11 equipos y para el caso de los cargadores, esta haciende a un numero de 12 maquinarias presentes en la mina, diferenciadas por distintos modelos mostrados a continuación:

Tabla 2: Equipos de carga presentes en la mina

Tipo	Modelo	Cantidad
Excavadoras	DAEWO 225	1
	HYU-800 LC-9	2
	KOM-220	1
	KOM-PC1100-6	1
	KOM-PC800-7	2
	KOM-PC800-7	3
	XE700	1
Cargadores	CAT-988B	7
	KOM-WA470-3	2
	KOM-WA600-3	3

2.4.3 Producción minera

La mina Sungun posee dentro de su faena diferentes empresas contratistas que se encargan de explotar ciertos sectores de la mina. Estas empresas contratistas poseen restricciones de producción mensuales derivadas de los contratos previos al inicio o en el transcurso de la explotación minera. En la mina Sungun posee una restricción de 833,000 [m³/mes] de material removido.

En la Figura 14 se ilustra la producción de los primeros 6 meses del año de la mina Sungun en donde se puede observar que la remoción mensual de material dentro de la mina no sobrepasa los 833,000 [m³/mes].

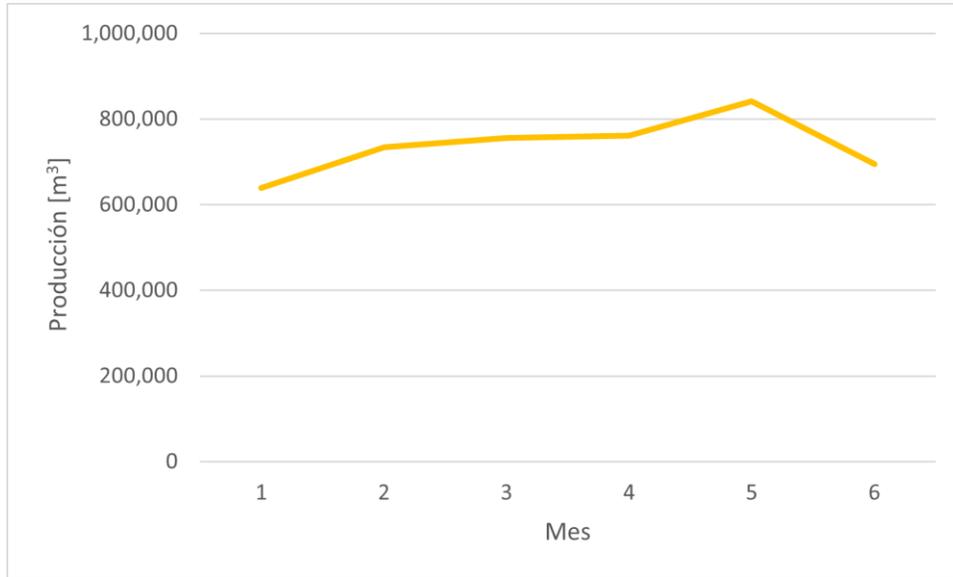


Figura 14: Producción de 6 meses de la mina

El yacimiento explotado posee características geológicas que le permiten explotar minerales de cobre como óxidos y sulfuros, de manera adicional, en el yacimiento se obtiene material que no posee interés económico, denominado estéril, los cuales son minerales como la monzonita y la traquita. En el Figura 15 se muestra los porcentajes totales de la producción del mes 2 correspondientes a la empresa contratista estudiada, en esta se ejemplifica que cerca del 71% de todo el material explotado corresponde a estéril, mientras que, del resto solo el 2.3% corresponde a material identificado como oxido o sulfuro de cobre.

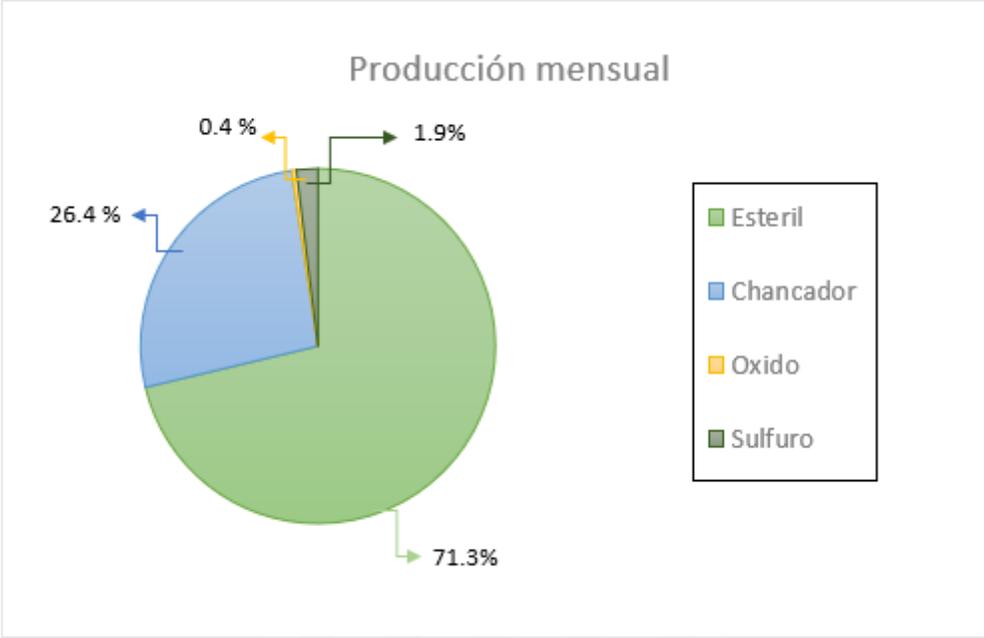


Figura 15: Tipo de material explotado en la mina



3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se ilustran los pasos que se llevaron a cabo para realizar el proceso de simulación, poniendo en énfasis que se realizó el estudio de una base de datos en la cual se detalla las producciones mensuales de una mina a cielo.

El modelo de simulación implementado está enfocado en estudiar el comportamiento de la flota de camiones presente en la mina a cielo abierto, y busca analizar los posibles puntos de mejoras en dichas actividades, para ello, la construcción del modelo de simulación se lleva a cabo mediante el programa computacional “Arena” en donde se busca ejemplificar el proceso realizado por la flota de camiones pertenecientes a la mina estudiada siguiendo el siguiente esquema de simulación ilustrado en la Figura 16:



Figura 16: Esquema Simulación en software Arena

Con el fin de determinar la producción en base a transporte por medio de camiones dentro de la mina es necesario conocer los tiempos implementados para realizar un ciclo de transporte correspondientes a las etapas de:

- Tiempo de carga.
- Tiempo de transporte desde el punto de llenado hacia punto de descarga.
- Tiempo de descarga.
- Tiempo de transporte desde el punto de descarga hacia punto de carga.

Para la determinación de dichos tiempos para llevar a cabo cada uno de esos procesos, se realizó el estudio de la base de datos mencionada anteriormente correspondientes a la mina a cielo abierto de cobre Sungun.

3.1 Tiempo de ciclo de transporte

En relación con el tiempo de transporte en el cual los camiones que trabajan dentro de la mina de estudio, estas dependerán directamente de la distancia desde el punto de carga hacia el punto de descarga dependiendo si el material transportado corresponde a estéril, oxidado, sulfuro u otro mineral perteneciente al yacimiento. Estas distancias varían desde 250 [m] hasta los 7 [km], además, dentro de la mina trabajan distintas maquinarias de carga de camiones que poseen diferentes tiempos de carga dependiendo del volumen del camión a cargar, como del material que estén cargando hacia el camión.

3.1.1 Tiempo de carga

Los tiempos de carga presentes en la mina de estudio dependen netamente del tipo de maquinaria utilizada para realizar el trabajo y al volumen del camión al cual se le está realizando la carga. Para el caso de estudio se maneja el sistema de carga de 3 tipos de camiones, este es realizado por 2 tipos de maquinaria, cada maquinaria maneja un tiempo independiente para cargar los camiones, sin embargo, independiente del modelo del equipo de carga, los tiempos implementados para completar el trabajo son los mismos para el tipo de equipo, además, estos tiempos se ven influenciados al tipo de material que se esté cargando, ya sea estéril o mineral. En

Tabla 3, se ilustran los tiempos de cargar implementados para los camiones de 30, 60 y 100 toneladas que se ocupan dentro de la faena minera en estudio.

Tabla 3: Tiempo de ciclo de carga de equipos de carga

Tipo de equipo de carga	Tipo de material	Tonelaje de camión a cargar [m ³]	Distribución	Expresión (en minutos)	Error cuadrado	Valor de p; $\alpha = 5\%$
Cargador	Mineral	30	Uniforme	UNIF (2, 4)	0.002	0.73
	Mineral	60	Uniforme	UNIF (4, 6)	0.002	0.75
	Mineral	100	Beta	$6 + 1 * \text{BETA} (1.11, 0.948)$	0.001	>0.75
Excavadora	Mineral	30	Beta	$0.999 + 2 * \text{BETA} (1.01, 0.945)$	0.002	0.75
	Mineral	60	Uniforme	UNIF (4, 6)	0.002	0.75
	Mineral	100	Beta	$9 + 2 * \text{BETA} (0.87, 0.865)$	0.004	0.18
Cargador	Estéril	30	Beta	$3 + 2 * \text{BETA} (1.11, 0.958)$	0.005	0.07
	Estéril	60	Beta	$5 + 2 * \text{BETA} (0.916, 0.928)$	0.0017	0.75
	Estéril	100	Beta	$7 + 2 * \text{BETA} (1.05, 1.04)$	0.003	0.47
Excavadora	Estéril	30	Beta	$5 + 2 * \text{BETA} (0.912, 0.976)$	0.0029	0.541
	Estéril	60	Beta	$5 + 2 * \text{BETA} (0.916, 0.928)$	0.0017	0.75
	Estéril	100	-	-	-	-

3.1.2 Tiempo de transporte

En relación con los tiempos de transporte, la base de datos ocupada contiene 29 distintas distancias de transporte desde la zona de carga hasta de zona de descarga. En post de la construcción del modelo de simulación, además de la cercanía y poca variación significativa del tiempo de transporte entre una distancia y otra, es que estas 29 distancia fueron agrupadas dentro del rango de 1 [km] de diferencias entre sí. Además, se calculó el tiempo de transporte de cada uno de estos rangos mediante herramientas estadísticas proporcionadas por el Programa

Computacional “Arena”, mediante el comportamiento y estudio de los histogramas que representan el tiempo implementado para el transporte de material.

A modo de ejemplo, en la Figura 17 se ilustra el histograma representante al tiempo de transporte de los camiones cargados con material, correspondiente al rango de distancia entre 1000 [m] a 2000 [m], en esta se representa que los tiempos de transporte entre esas distancias siguen un comportamiento triangular con una mínima de 5, una máxima de 17 y una media de 14. (Para más vistas de Histogramas ver Anexo B.)

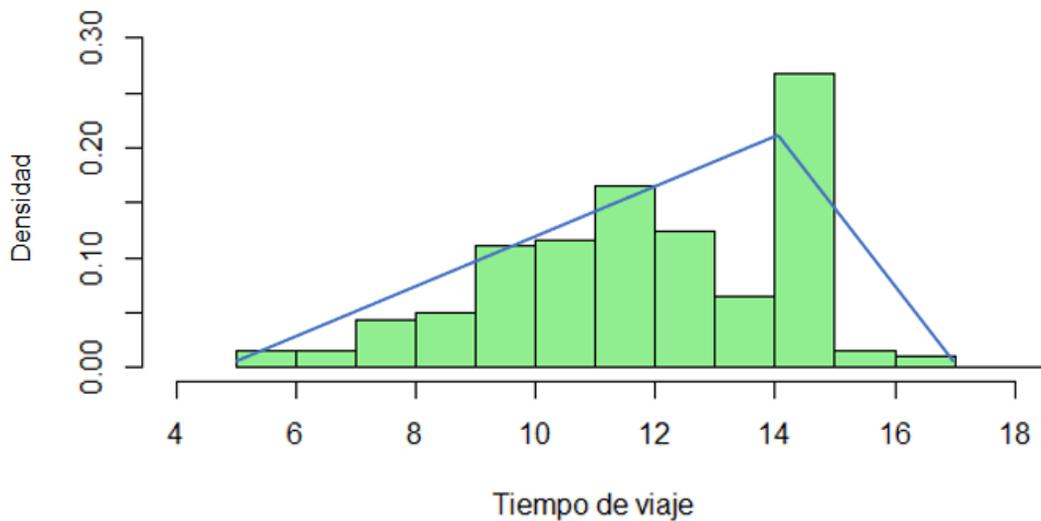


Figura 17: Histograma de tiempo de transporte entre 1 y 2 [km]

En las tablas Tabla 4 y Tabla 5 se muestra el resumen del estudio de los histogramas resultantes de los tiempos de transporte, tanto los tiempos implementados con el camión cargado como descargado.

Tabla 4: Distribución y expresiones para el tiempo de transporte de los camiones presentes a distintas distancias.

Distancia [m]	Distribución	Expresión (en minutos)	Error cuadrado	Valor de p; $\alpha = 5\%$
250	Weibull	1+WEIB (2.95,1.29)	0.0049	0.48
[1000;2000[	Triangular	TRIA (5,14,17)	0.032	0.01
[2000;3000[	Triangular	TRIA (8,14.5,28)	0.032	0.01

[3000;4000[	Erlang	10 + ERLA (2.34,3)	0.009	0.05
[4000;5000[	Triangular	TRIA (20,31.6,39)	0.09	0.05
[5000;6000[-	-	-	-
[6000;7000[	Triangular	TRIA (22,30.6,44)	0.09	0.05

Tabla 5: Distribución y expresiones para el tiempo de retorno de los camiones presentes a distintas distancias.

Distancia [m]	Distribución	Expresión (en minutos)	Error cuadrado	Valor de p; $\alpha = 5\%$
250	Gamma	0.2 + GAMM (0.81,2.82)	0.012	<0.05
[1000;2000[	Beta	3 + 10*BETA (4.43,4.63)	0.018	<0.05
[2000;3000[	Lognormal	5 + LOGN (5.82,4)	0.035	<0.05
[3000;4000[	Erlang	6 + ERLA (1.33,4)	0.009	<0.05
[4000;5000[	Triangular	TRIA (13,20.9,26)	0.100	<0.05
[5000;6000[-	-	-	-
[6000;7000[	Triangular	TRIA (14,21.5,29)	0.100	<0.05

3.1.3 Tiempo de descarga

El tiempo de descarga de los equipos utilizados dentro de la faena minera contempla tanto el tiempo que el camión implementa para vaciar el cargamento en la zona de descarga, como también el tiempo de posicionamiento de dicho equipo para poder realizar la actividad. Si bien, en la faena se utilizan 3 distintos tipos de camión con diferentes tonelajes de carga, en términos de tiempo de descarga no presentan gran variación entre ellos, por lo tanto, el tiempo de descarga manejado dentro de la simulación será de 1 minuto por camión.

3.2 Esquema de sistema de transporte.

El modelo de simulación es basado en la explotación de un nivel de producción, en el cual para poder dejar el material al centro de acopio o al botadero deberá recorrer distintas distancias dependiendo del tipo de material cargado al camión y la cercanía desde el punto de carga hacia el punto de descarga.

Para el modelo de simulación, se trabaja en 6 niveles de producción ubicados a distintas cotas de la mina, a su vez, los puntos de descarga se encuentran divididos en 3 aspectos, (zona de chancado, punto de descarga de estéril y zona de recopilación de óxidos y sulfuros).

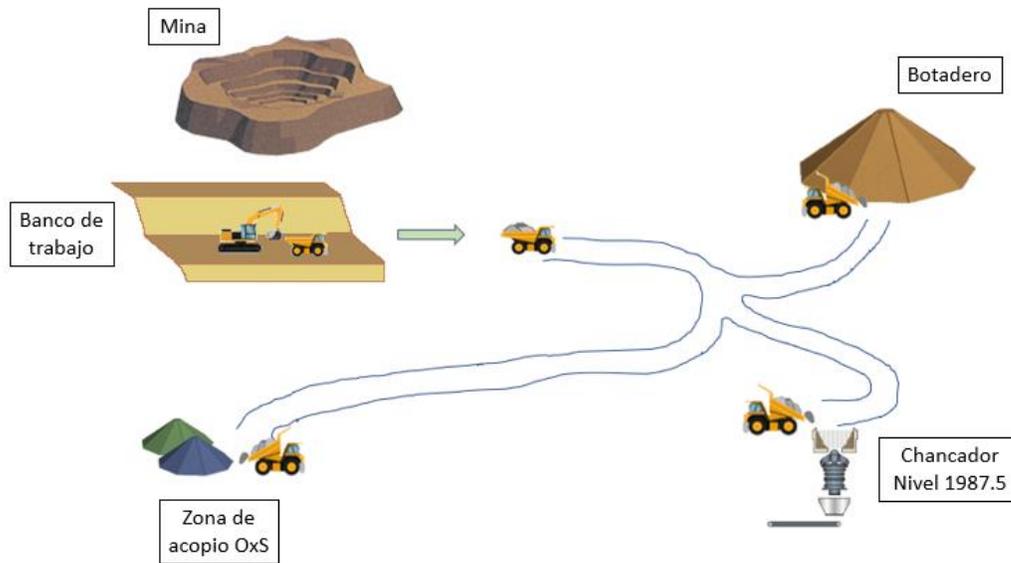


Figura 18: Esquema general de las rutas de transporte

En la Figura 18 se muestra un esquema general de la elección de rutas que debe elegir el camión cargado dependiendo del tipo de material que se transporta, cabe señalar que usualmente los camiones, independiente del nivel en el cual se esté cargando el material, si estos pertenecen al grupo destinado a ir a las zonas de acopio de óxido o sulfuro, las distancias de transporte estará en el rango de 6 a 7 km

Otro factor que considerar en el modelo de simulación es que debido al ancho de la rampa presente en la mina Sungun, no habría inconveniente en la circulación de camiones en ambas direcciones de la ruta o la realización de maniobras de adelantamiento de camiones durante el transporte de material en la mina.

Con respecto al tiempo de trabajo de los camiones, se determinó mediante el estudio de la función útil de los camiones, el tiempo dedicado a las fallas planeadas y no planeadas que, en promedio, los camiones tendrían un comportamiento similar a lo que se muestra en la Figura 19, obteniendo así una efectividad de un 60%.

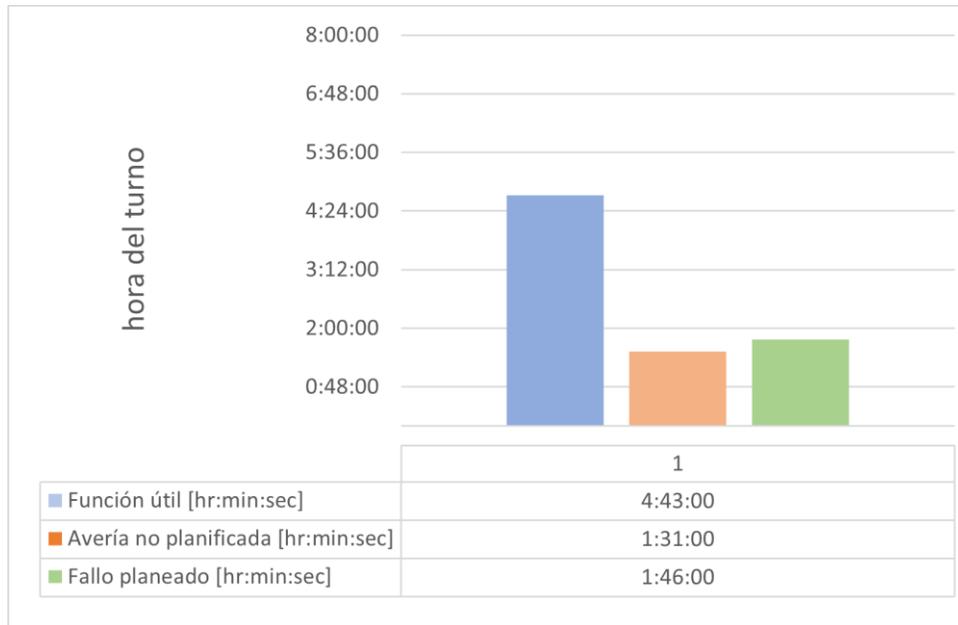


Figura 19: Grafico distribución del tiempo de trabajo de un camión por turno

El sistema de turnos en el cual trabaja la mina de estudio es de 3 turnos diarios compuesto de 8 horas cada uno, estos turnos son llevado por los 7 días de la semana, los 31 días del mes, dividiéndolo en 5 semanas, en la cual, la última semana solo se considerarán las actividades realizadas en 3 días. Para el caso simulado se respetarán estos sistemas de turnos, sin embargo, no influenciarán directamente en la construcción del modelo de simulación, ya que el análisis que se realizara a cabo consiste en la producción semanal de la mina, no obstante, igual tendrán un impacto indirecto en el modelo. En términos de la flota de camiones, este está compuesta por 33 camiones, respetando lo informado en la Tabla 1, a su vez, la capacidad de transporte de los camiones estará medida en m^3 o BCM (Bank cubic meters) con una densidad de material de $2.33 [t/m^3]$, siendo la capacidad de $13 [m^3]$ para el modelo KOM-325-6, $23 [m^3]$ para el modelo KOM-465-7 y $33 [m^3]$ para el modelo KOM-785-5. De la flota general de camiones se estableció como parámetro que estarán trabajando simultáneamente dentro de la mina 20 camiones, y según su disponibilidad horaria y tiempo de trabajo tendrán rotaciones respetando la distribución de trabajo establecida en la Figura 19.

3.2.1 Niveles de trabajo

3.2.1.1 Niveles de carga

Dentro del trabajo de simulación, se dispuso a simular la producción de 6 niveles de explotación. La Figura 20 se muestra dichos niveles simulados, los cuales son los niveles 2250, 2237.5, 2012.5, 2000, 1987.5 y 1925.

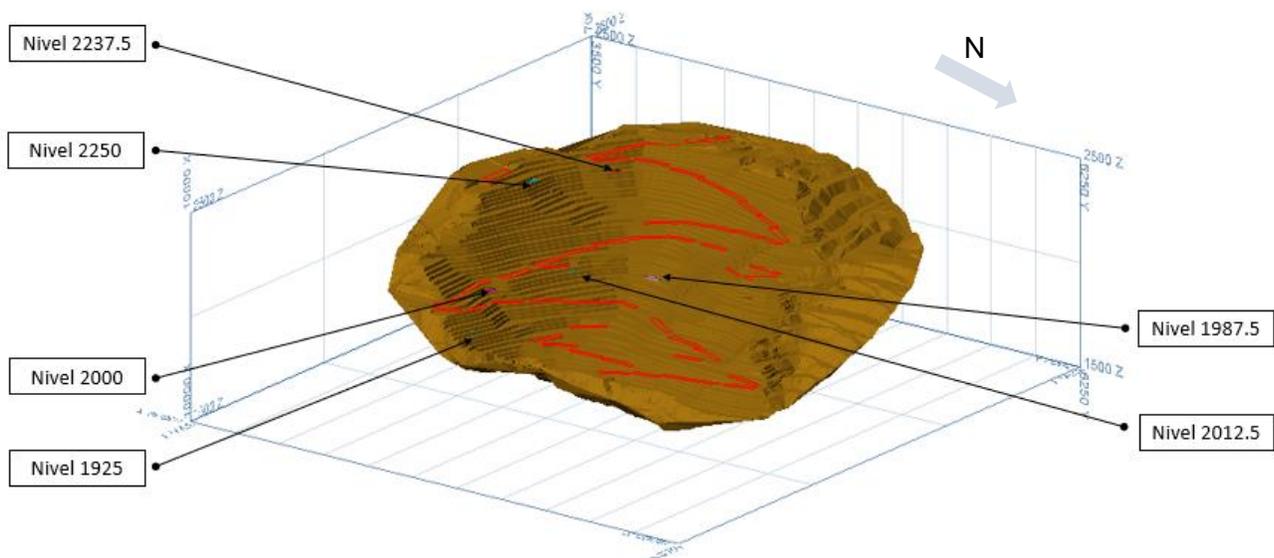


Figura 20: Niveles de Carga de material

3.2.1.2 Niveles de descarga

Para los niveles de descarga se producen 3 escenarios. Estos escenarios derivan del tipo de material cargado en el camión (estéril, mineral destinado a chancador dentro de la mina y mineral de sulfuro u oxido destinados a las pilas ubicadas fuera de la mina)

Para el caso de si el material corresponde a estéril, para la simulación se establecieron los 6 puntos más cercanos según la disponibilidad de acceso a dichos niveles provenientes de sus puntos de carga. Como se mencionó anteriormente, estos puntos de descarga se ubican en un costado de la ladera de la montaña, por lo tanto, los puntos de descarga quedan relativamente cerca

de los puntos de carguío. En la Figura 21 se muestran los puntos de acceso a las zonas de descarga a lo largo de la mina Sungun.

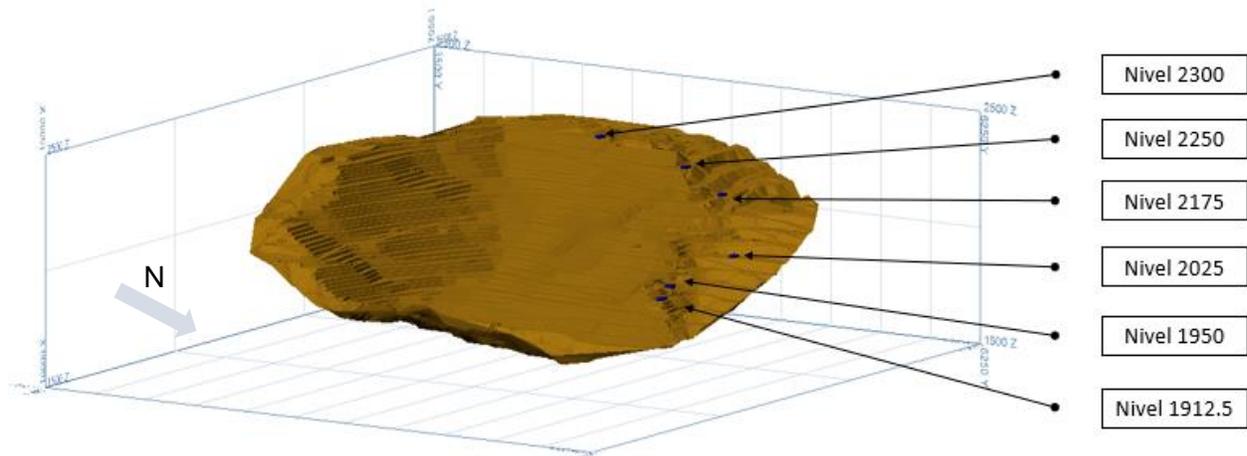


Figura 21: Niveles de descarga de material tipo estéril.

Por otro lado, para los puntos de descarga de mineral, la mina Sungun posee un chancador y zonas de almacenamiento de material destinado a chancador ubicado fuera del pit en el nivel 1987.5. Para el caso de minerales de oxido o sulfuro, la mina Sungun posee zonas de almacenamiento fuera de la mina, aproximadamente a 5 km del rajo en la cota 2250.

3.3 Escenarios de simulación.

Para llevar a cabo los trabajos de simulación de la producción mensual de la mina Sungun se elaboró un sistema de análisis de trabajo semanal. En dicho esquema semanal, se buscaron en la base de datos los tiempos de trabajo dedicados por los camiones a los 6 niveles estudiados, con el fin de determinar el porcentaje de trabajo que se le da a cada nivel de mineral semanal. A su vez, fue calculado el porcentaje de tipo de material transportado por nivel.

A través del programa de simulación Arena, se construyó el modelo de simulación que responde al comportamiento que tiene la mina Sungun (modelo ubicado en el Anexo C), el cual detalla los tiempos de traslado de los distintos puntos de carga y los distintos tiempos de carga que

poseen las palas y excavadoras presentes en las actividades mineras. De forma adicional, se calculó el tiempo de trabajo empleado por nivel (resultados en Anexo D) y cuanto del material removido y transportado era destinado a las zonas de descarga de estéril, zona de chancado o zona de acopio de sulfuro y óxido.

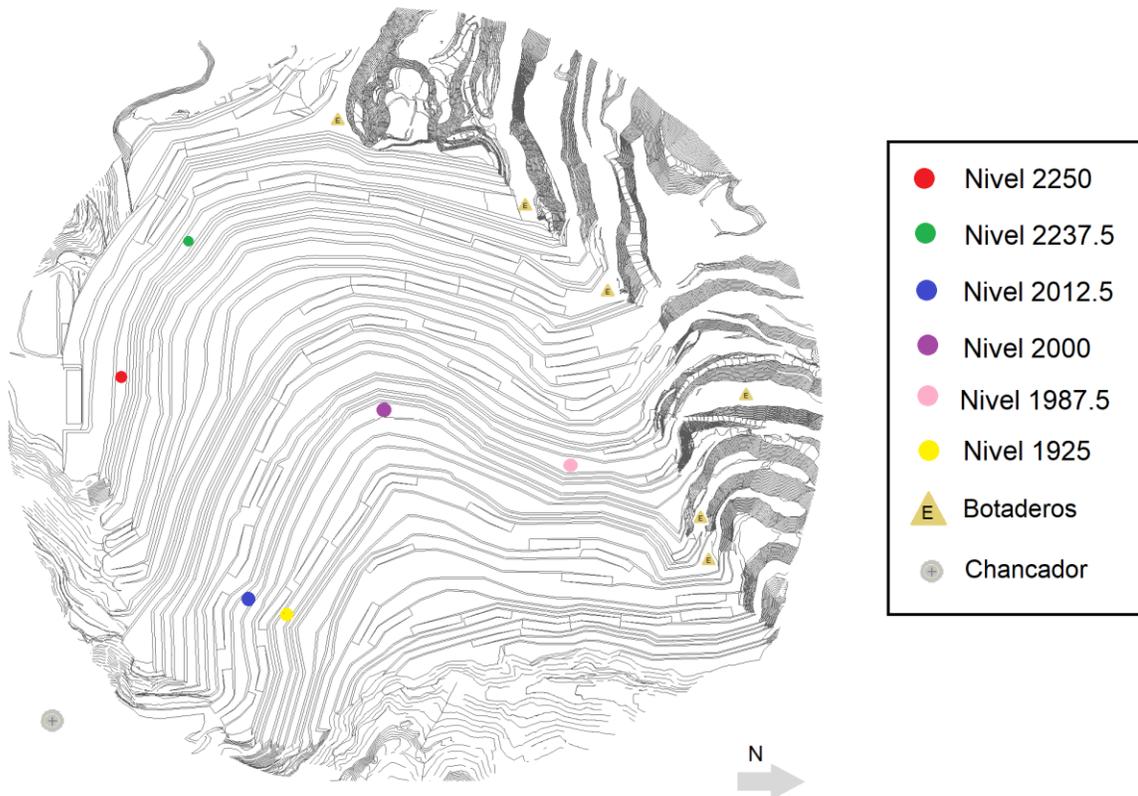


Figura 22: Esquema general de los puntos de Carguío (círculo) y descarga (triángulo) dentro de la mina Sungun

A modo de ejemplo, en la Figura 22 se muestra una vista en planta de los puntos en los cuales se realizaron las simulaciones (distancias especificadas en Anexo E), especificando los niveles de carguío, el chancador ubicado fuera de la mina en el nivel 1987.5 y los puntos de descarga de material tipo estéril.

3.3.1 Escenario 1

Para la propuesta como escenario 1 se ubicó un chancador fuera de la mina tomando como referencia el chancador existente en la mina, ubicado en el nivel 1987.5. A su vez, las distancias de transporte fueron modificadas acorde a lo establecido con el nuevo punto de descarga, y solo se modificó las distancias de descarga para el caso de transporte de oxido o sulfuro en los niveles 2237.5, 2012.5, 2000, 1987.5 y 1925. En la Figura 23 se muestra una vista en planta con la posición del chancador para el caso 1, haciendo hincapié que la correa que acompaña a este chancador se extiende hasta el punto de acopio existente en la mina (aproximadamente 5 [km] desde el chancador hasta el punto de acopio).

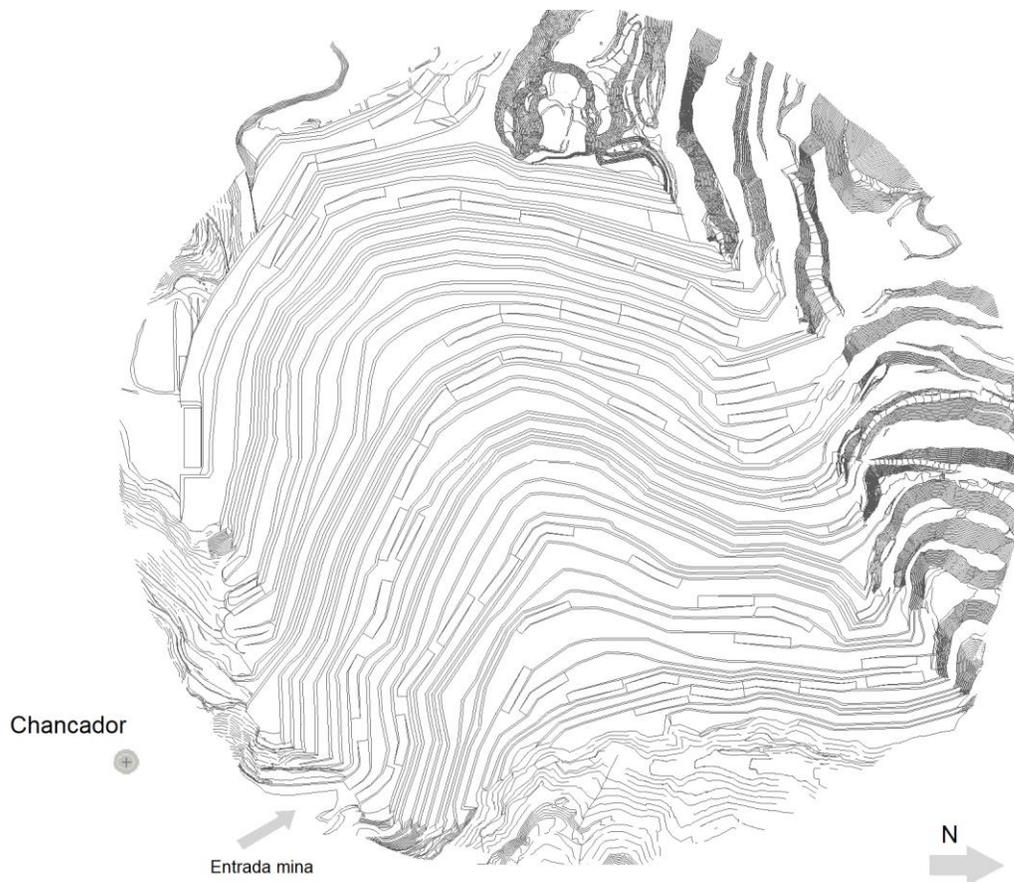


Figura 23: Vista en planta de la posición del chancador caso 1

3.3.2 Escenario 2

Para el escenario 2 se dispuso un chancador en el nivel 1875, tal y como se ilustra en la Figura 24, la elección de este nivel como lugar para el posicionamiento del chancador dentro de la mina fue porque las distancias promedio de transporte abarcaran entre el rango de 1 a 2 [km] de longitud en los niveles en los cuales se está simulando la explotación de las zonas con presencia de materiales de óxidos o sulfuros, a su vez este punto de estudio se encuentra cercano al nivel establecido como fondo del pit

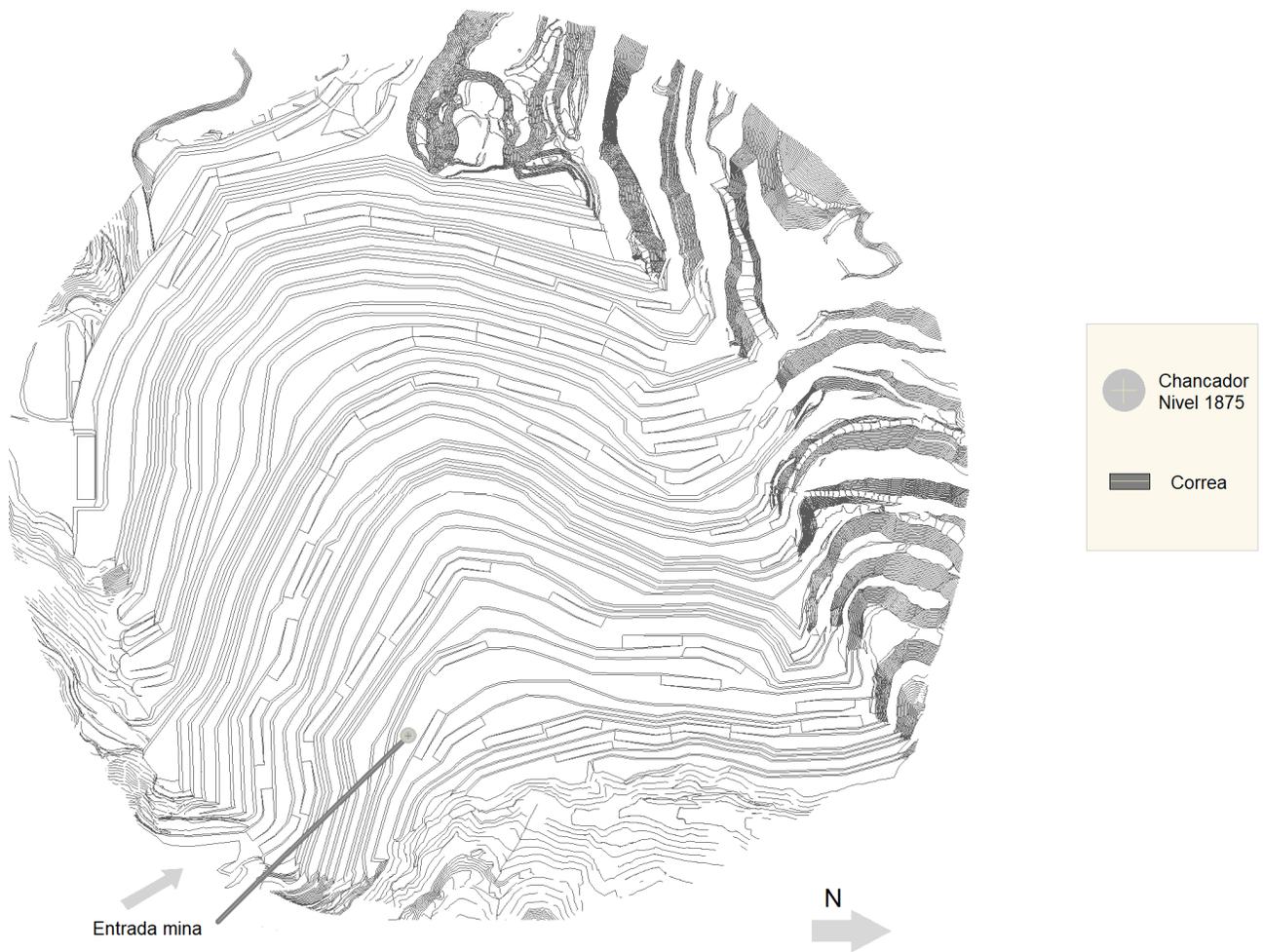


Figura 24: Vista en planta de la posición del chancador caso 2

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas durante el tiempo de trabajo del proyecto.

4.1 Análisis de base de datos

4.1.1 Tiempo de viaje vs distancia recorrida.

Con el fin de tener una idea general de cómo se comportan los tiempos de transporte acorde a las rutas recorridas dentro de la mina a cielo abierto es que en la Figura 25 se muestra un gráfico comparativo entre distancia recorrida por los camiones y el tiempo necesario para realizar la actividad

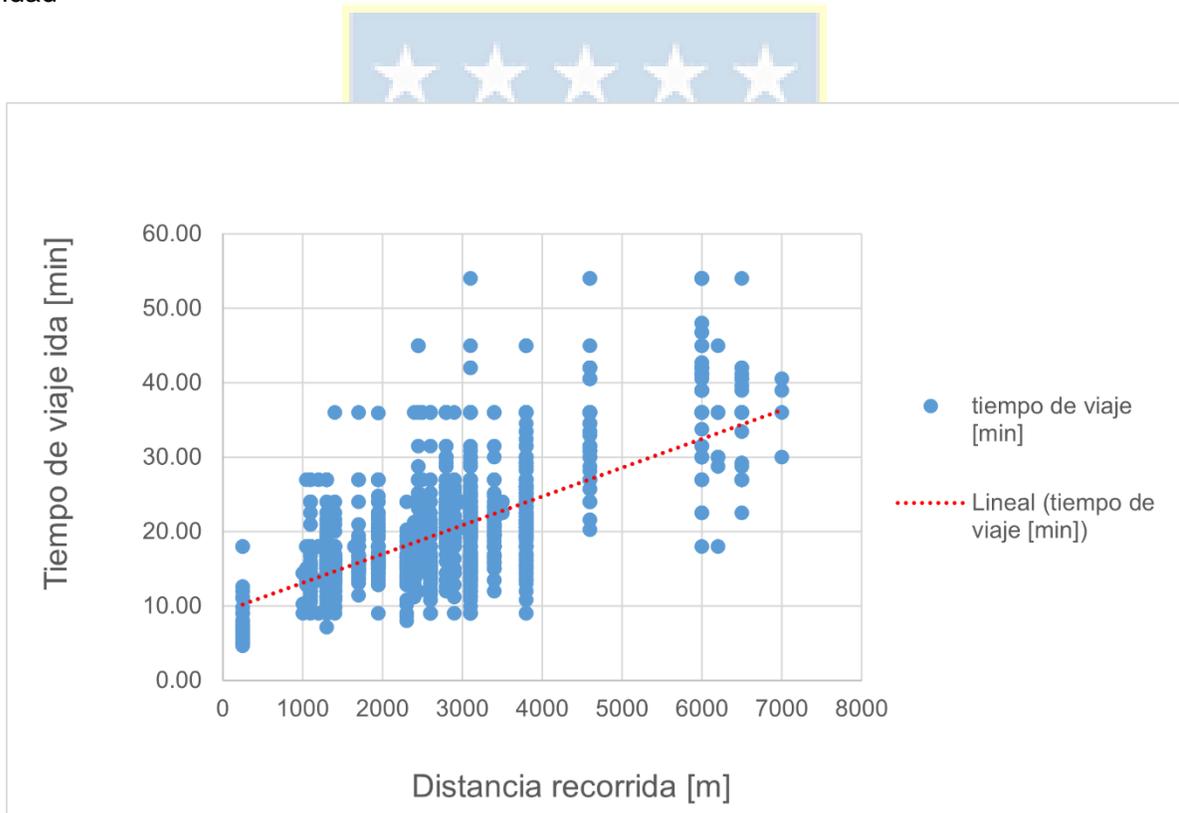


Figura 25: Grafico Distancia recorrida v/s tiempo de viaje

En la Figura 25 se ilustra que a medida que las distancias recorridas aumentan, de igual manera los tiempos de transporte aumentarán, también se puede observar que este aumento de tiempo en transporte tiende a tener un comportamiento lineal, por otro lado, se puede hacer notar que entre los rangos de distancias estudiadas existen considerables diferencias entre el tiempo de

transporte, ya que para recorrer la misma distancia algunos camiones suelen demorarse más y en otros casos menos que la mayoría de los camiones. Esto puede deberse a factores como el estado mecánico del camión, habilidad de manejo de los conductores, condiciones de la ruta u otros factores que provoquen un aumento o disminución en la velocidad de transporte de los camiones.

4.1.2 Relación entre cambio de altura y distancia recorrida

Debido al diseño general de la mina, al encontrarse ubicada en la ladera de una montaña, es que sus rutas de transporte se encuentran dispuestas de tal manera que su rampa posee la característica de formar una ruta en zigzag a lo largo del pit. Debido a esta característica, y sumado a que los puntos de descarga de estéril dentro de la mina tienen acceso por diferentes cotas del pit es que es interesante mostrar el comportamiento que tiene la diferencia de alturas entre los puntos de carga y descarga con la distancia recorrida por los camiones. En la Figura 26 se ilustra un gráfico que representa el comportamiento que tienen los camiones en términos de distancia recorrida con respecto a la diferencia de altura entre los puntos de carga y descarga de material teniendo en cuenta que la altura de banco es de 12.5 [m].

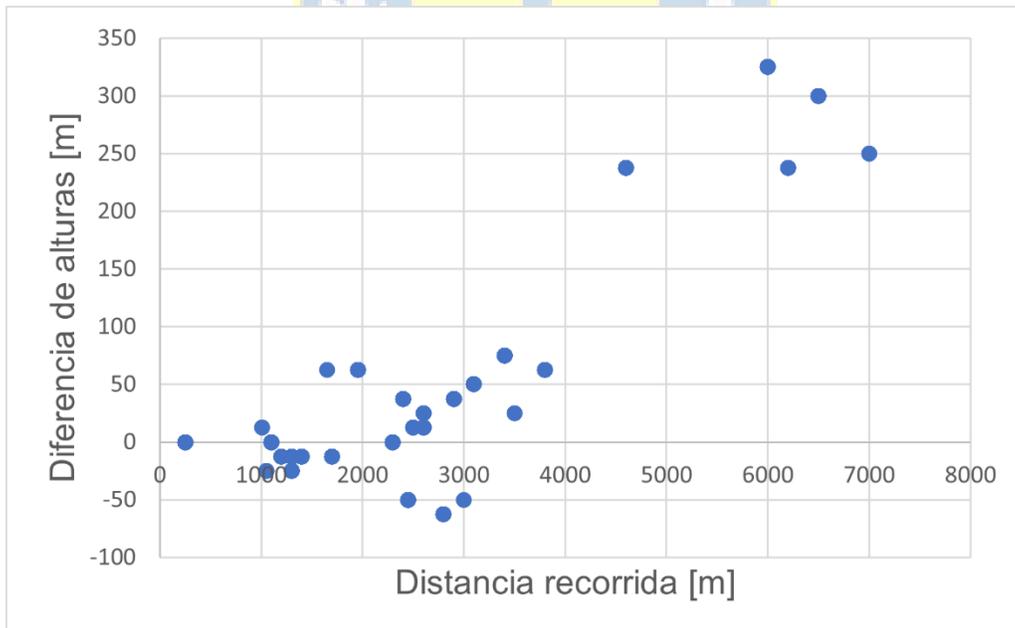


Figura 26: Gráfico relación entre diferencia de altura entre punto de descarga y carga v/s distancia recorrida [m]

De acuerdo con la Figura 26 se puede observar que las mayores distancias recorridas ocurren a diferencias de cotas más largas, además, es necesario destacar que los puntos que poseen mayores distancias son los cuales sus puntos de descargas son ubicados fuera de la mina. Dentro del grafico existen datos que poseen diferencias negativas entre alturas, esto significa que el camión deberá dirigirse de una cota de mayor altura a una de menor altura, como son pocos los puntos que muestran diferencias negativas entre niveles de descarga esto implicaría que en su mayoría los camiones que trabajan en la mina tienden a elegir puntos de descarga que se encuentran en cotas más altas.

Para obtener una idea más clara con respecto a la relación de niveles recorridos con distancias de viajes es que en la Figura 27 muestra lo mencionado

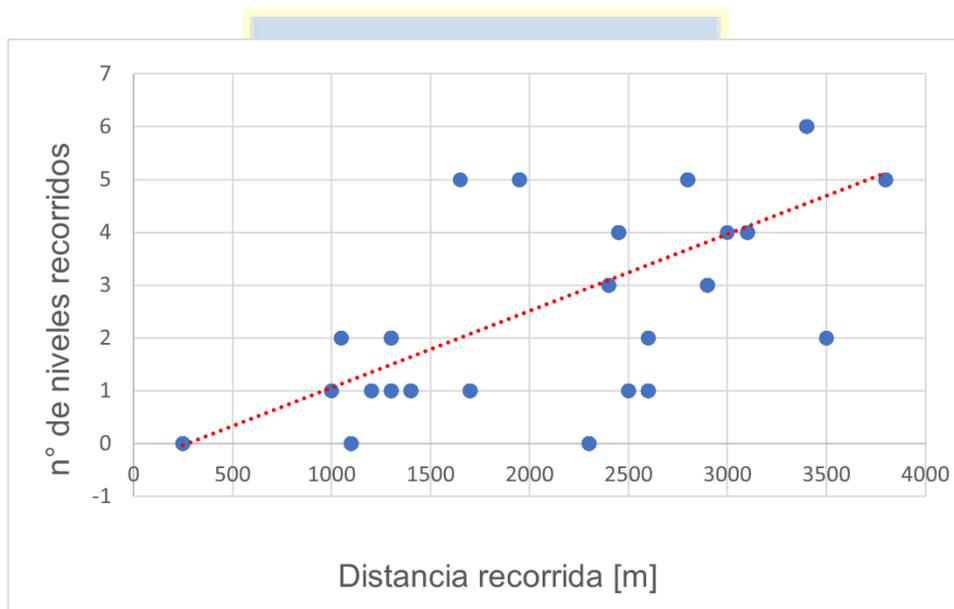


Figura 27: Grafico relación entre n° de bancos de diferencia v/s distancia recorrida

En la Figura 27 se muestra las distancias recorridas por los camiones que trabajan en relación con los niveles entre puntos de carga y descarga. Cuando el número de nivel es 0 quiere decir que el punto de carga y descarga se encuentran en la misma cota de trabajo y cuando es 6 significa que existe una diferencia entre 6 niveles (bancos), ya sea una diferencia positiva o negativa, entre el punto de carga y de descarga. A través de esta figura se puede observar que la distancia recorrida dependerá estrictamente de la cara de trabajo en la que se esté trabajando, ya que existen puntos que se encuentran en el mismo nivel que poseen distancias recorridas de cerca de 2.5 [km]

esto debido al ancho que posee el pit, además, del grafico queda demostrado el impacto que tiene el desplazamiento entre niveles y el aumento de distancia de recorrido, esto debido a que a cada nivel que el camión sube o baja con una altura de 12.5 [m] de diferencia, se debe aumentar en el recorrido la distancia correspondiente a la rampa en la ruta que es por sobre los 100 [m].

4.2 Verificación del modelo de simulación

Con el fin de tener un grado de confianza al momento de plantear o analizar los puntos de mejora en el proceso de carguío y transporte dentro de una faena minera es necesario verificar que el modelo cumple con la realidad vivida en las actividades realizadas. Por lo tanto, el primer modelo de simulación responde a la comparación del proceso simulado y la producción real a la cual trabaja la mina Sungun. El número de simulaciones realizadas fueron alrededor de 1000 iteraciones por escenario con el fin de regir el resultado obtenido al análisis estadístico por el método de Montecarlo.

En la Tabla 6 se ilustra la producción semanal de la mina Sungun, diferenciando la cantidad de material correspondiente a estéril y mineral, y para el caso de este último, si su destino es ser llevado al punto de descarga del chancador ubicado en el nivel 1987.5 o es ser llevado a la zona de almacenamiento de óxidos o sulfuros ubicadas fuera de la mina.

Tabla 6: Producción semanal de un mes de la mina Sungun

Semana	Estéril [m ³]	Mineral [m ³]		Total [m ³]
		Chancador	Oxido o Sulfuro	
Semana 1	102,038	39,355	1,602	142,995
Semana 2	122,046	30,120	989	153,155
Semana 3	120,818	46,571	8,178	175,567
Semana 4	116,050	53,489	5,793	175,332
Semana 5	49,130	20,951	762	70,843
				717,892

En la Tabla 7 se muestra la comparación entre la producción simulada por el modelo propuesto y la producción real registrada en la base de datos de la mina Sungun (datos de la simulación en Anexo F y cálculo de diferencia porcentual en Anexo G)

Tabla 7: Comparación modelo simulado con caso real

	Estéril Real [m ³]	Estéril Simulado [m ³]	Diferencia [%]
Semana 1	102,038	102,621.75	-0.57
Semana 2	122,046	127,049.50	-3.94
Semana 3	120,818	115,908.50	4.24
Semana 4	116,050	112,425.83	3.22
Semana 5	49,130	47,791.33	2.80
	Chancador Real [m ³]	Chancador Simulado [m ³]	Diferencia [%]
Semana 1	39,355	37,771.25	4.19
Semana 2	30,120	29,108.00	3.48
Semana 3	46,571	44,282.50	5.17
Semana 4	53,489	51,401.17	4.06
Semana 5	20,951	20,974.83	-0.11
	Oxido o Sulfuro Real [m ³]	Oxido o Sulfuro Simulado [m ³]	Diferencia [%]
Semana 1	1,602	1,485.25	7.86
Semana 2	989	969.75	1.99
Semana 3	8,178	7,635.25	7.11
Semana 4	5,793	5,631.17	2.87
Semana 5	762	723.67	5.30

Estos resultados obtenidos muestran que el modelo propuesto cumple con el objetivo de simular el carguío y transporte del mes escogido de la mina Sungun, destacando sobre todo que la mayor diferencia porcentual registrada en el modelo de simulación es en la semana 1 en el caso de los óxidos o sulfuros, la cual llega a una diferencia de 7.86%. La diferencia registrada en el modelo de simulación puede deberse al hecho de que para el modelo simulado, los tiempos implementados para la definición de las fallas programadas como no programadas, como el *job efficiency* o la disponibilidad de los equipos se hayan sido sobre estimadas permitiendo así una menor circulación de quipos y por lo tanto una menor producción, sin embargo, la diferencia porcentual registrada no es alta y entrega un buen rango de confianza para verificar que el modelo cumple en ejemplificar los trabajos de transporte de material realizados en la faena estudiada.

En términos generales, si se compara la producción total real y la producción resultante de la simulación, esta posee una diferencia de un 1.72% siendo el valor obtenido de la simulación de 705,779.75 [m³/mes] de material removido.

4.3 Resultados caso 1 y caso 2

Los resultados obtenidos al realizar las simulaciones correspondientes al caso 1 y al caso 2 se encuentran manifestadas en las figuras Figura 28, Figura 29, Figura 30 y Figura 31 (Resultados específicos ubicados en el Anexo H y Anexo I) .

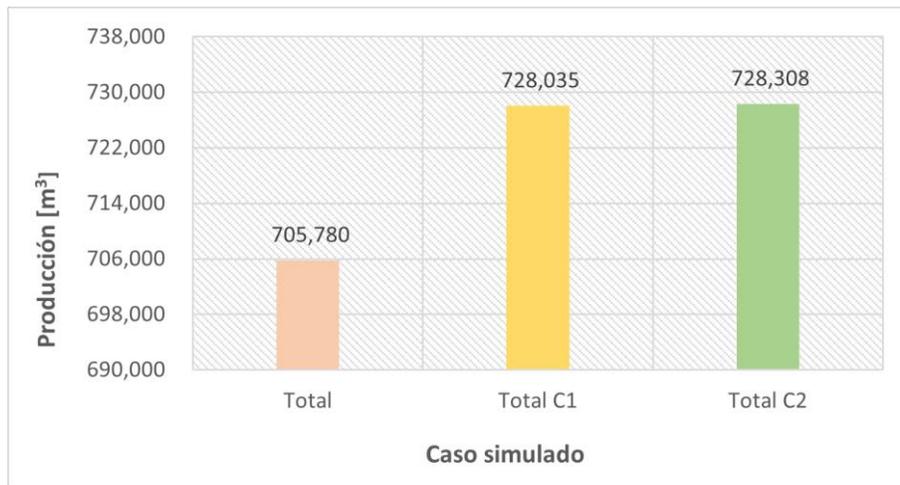


Figura 28:Resultados simulación producción total



Figura 29:Resultados simulación producción estéril

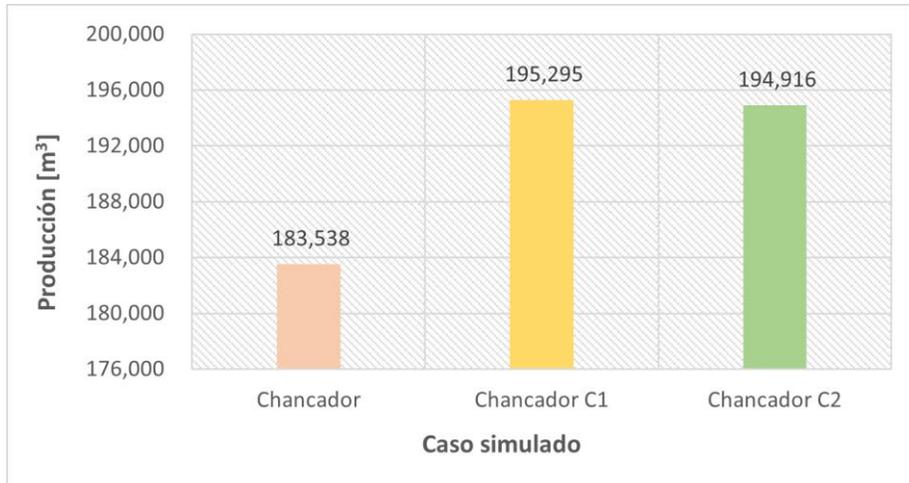


Figura 30: Resultados simulación producción chancador

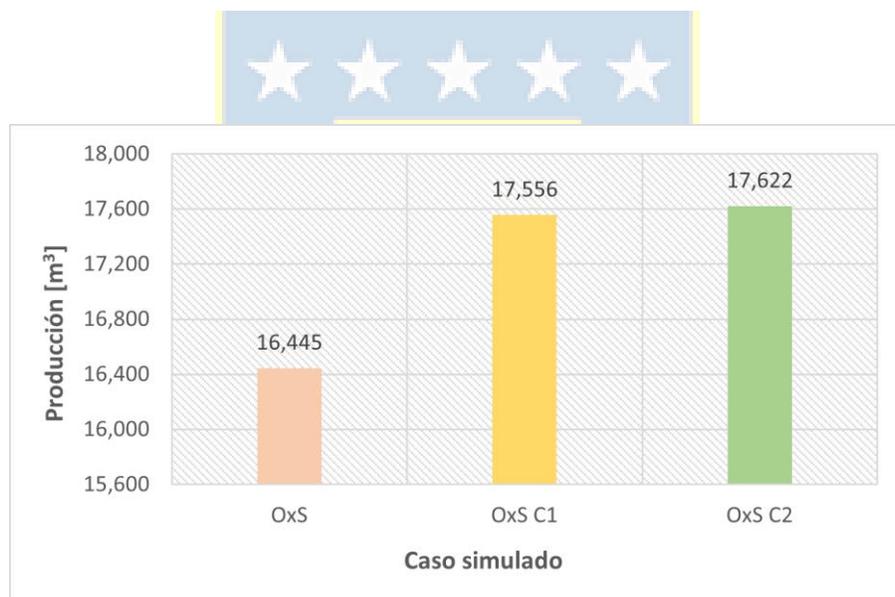


Figura 31: Resultados simulación producción OxS

Cabe señalar que, con relación al aumento en la producción, este sufre un incremento de cerca de 20,000 [m³/mes] dividido entre estéril y mineral para ambos casos (resultados semanales especificados en Anexo H y Anexo I). Esto es debido a que la reducción de la distancia entre el punto de carga y descarga para el caso del transporte de oxido o sulfuro permite el incremento de los números de ciclos por camión que estaban destinado a transportar dichos materiales.

El aumento registrado para el caso del transporte de oxido o sulfuros fue de un 6.76% para el caso 1 y 7.16% para el caso 2, lo que se traduce en 1,111.30 [m³/mes] y 1,176.91 [m³/mes] extras

de material transportado mensual respectivamente, a su vez el material destinado al chancador ubicado en el nivel 1987.5 y el estéril también sufrió un aumento en el material transportado, siendo un 6.40% y 6.20% para los casos de transporte hacia el chancador (aumento de 11,758 [m³/mes] para el caso 1 y 11,378 [m³/mes] para el caso 2) y para el estéril una adición en 1.86% y 1.97% respectivamente (aumento registrado en 9,387.12 [m³/mes] y 9,973.42 [m³/mes] en los casos especificados).

Estos aumentos se traducen en un incremento en el transporte mensual de material en un 3.15% para el caso 1 y un 3.19% para el caso 2. Si bien, a grandes rasgos, estos aumentos no significan un gran incremento en el transporte de material dentro de la mina, si es interesante de mencionar, en un punto de vista futuro, estas distancias seguirán aumentando, y la efectividad de los camiones irán disminuyendo gradualmente, lo que tendría un efecto en la disminución de la producción calculada actualmente, por lo tanto, una implementación de un sistema IPCC cobraría una mayor relevancia en la producción y transporte minero.

Por otro lado, el poco aumento registrado en el transporte de material deriva directamente de la baja proporción de tiempo dedicado al transporte de material tipo óxido y sulfuro que implementa la empresa contratista en transportar este tipo de materiales, ya que, a fin de cuentas, el material tipo óxido y sulfuro solo representa cerca de un 2 [%] del material removido en todo el mes y la empresa contratista enfoca más su trabajo en el transporte de material tipo estéril.

4.3.1 Análisis de la flota de camiones

La flota de camiones presentes en la mina Sungun, como se mencionó anteriormente, consta de 33 camiones. Un punto de vista importante en el análisis de carguío y transporte es dimensionar el efecto de la disminución de esta flota de camiones frente a la implementación de este sistema correa-chancador dentro de la mina a cielo abierto. En la Figura 32 se muestra el comportamiento de la flota de camiones frente a el escenario de la disminución de camiones modelo KOM-325-6, como producción límite se fijó la producción realizada por el modelo sin la implementación del sistema de correas.

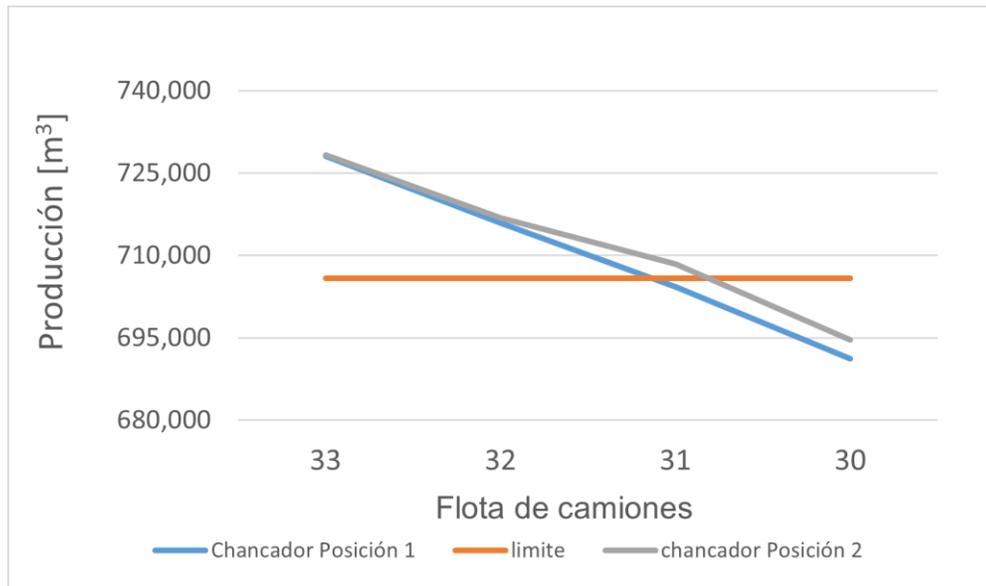


Figura 32: Comparación producción mensual por flota de camiones

Acorde con la Figura 32, se puede inferir que, al implementar el sistema de correas, en ambos casos se puede desistir de 2 camiones a la flota presente en la mina, esta disminución en la flota de camiones trae consigo, también una leve disminución en los tiempos de espera en los puntos de carga y descarga en la mina a cielo abierto

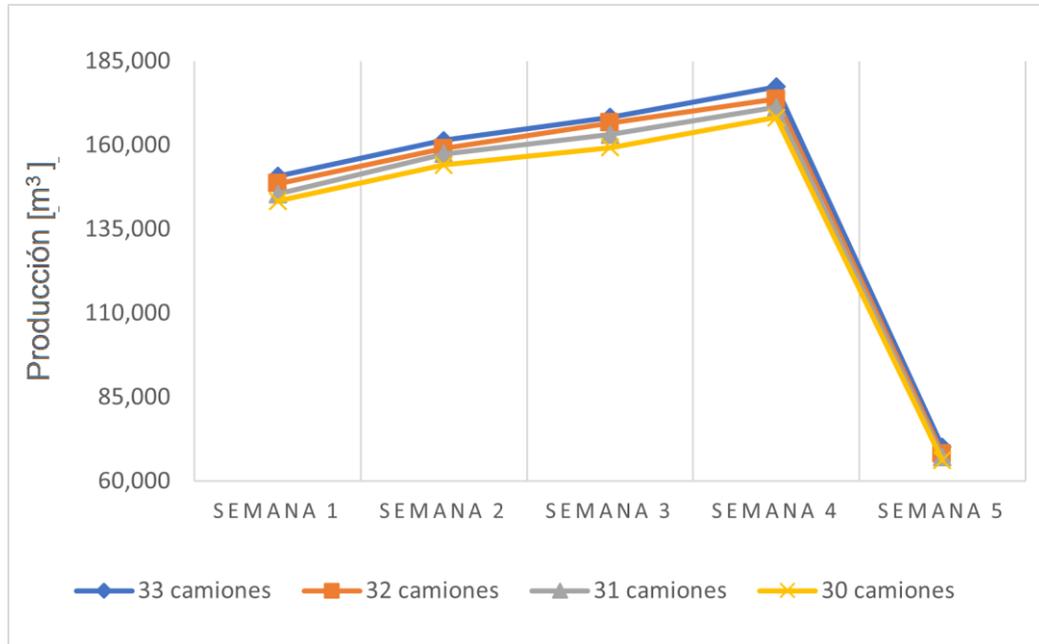


Figura 33: Producción Semanal; caso 1 Disminución de flota de camiones

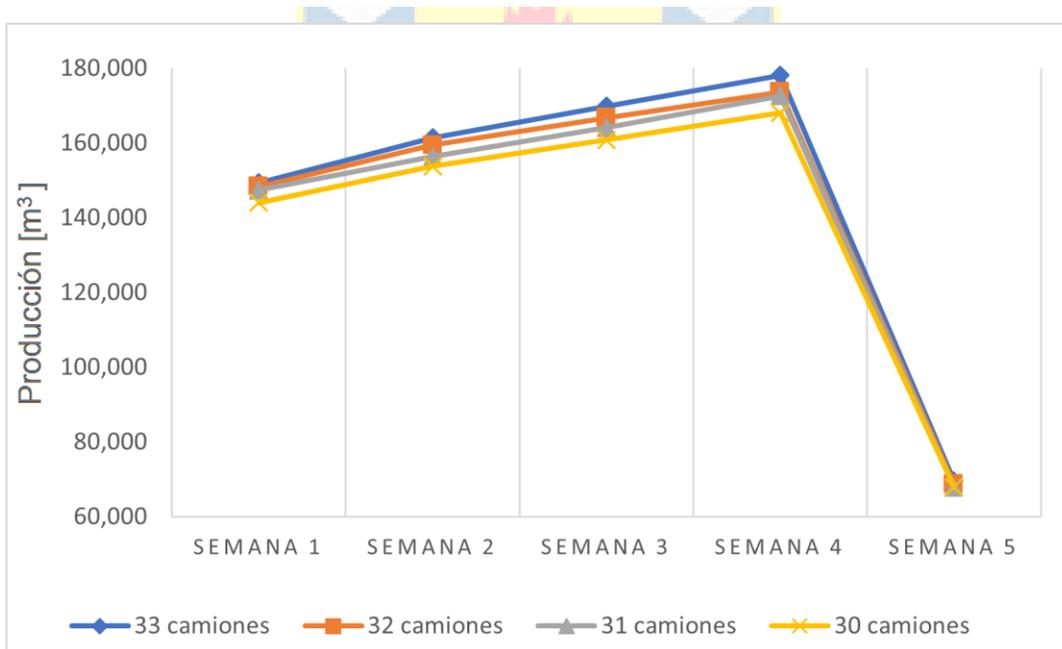


Figura 34: Producción Semanal; caso 2 Disminución de flota de camiones

Si se analiza de manera semanal el material transportado por tanto para el caso 1 (Figura 33) como para el caso 2 (Figura 34), se puede observar que el impacto de reducción de un equipo presente en la flota de camiones no es visiblemente significativo. Además, es necesario hacer hincapié que en los registros simulados para la semana 5 solo consta con el trabajo realizado por

los camiones en 3 días laborales en comparación con las otras semanas que contemplan los 7 días comunes, es por esta razón que gráficamente se observa una disminución en la producción registrada.

4.3.2 Tiempo de espera

Para conocer el impacto en el comportamiento de los camiones dentro del proceso de transporte se dio paso al análisis de los tiempos de espera en los distintos puntos de carga de material dentro del pit y los tiempos de espera resultantes de los casos simulados.

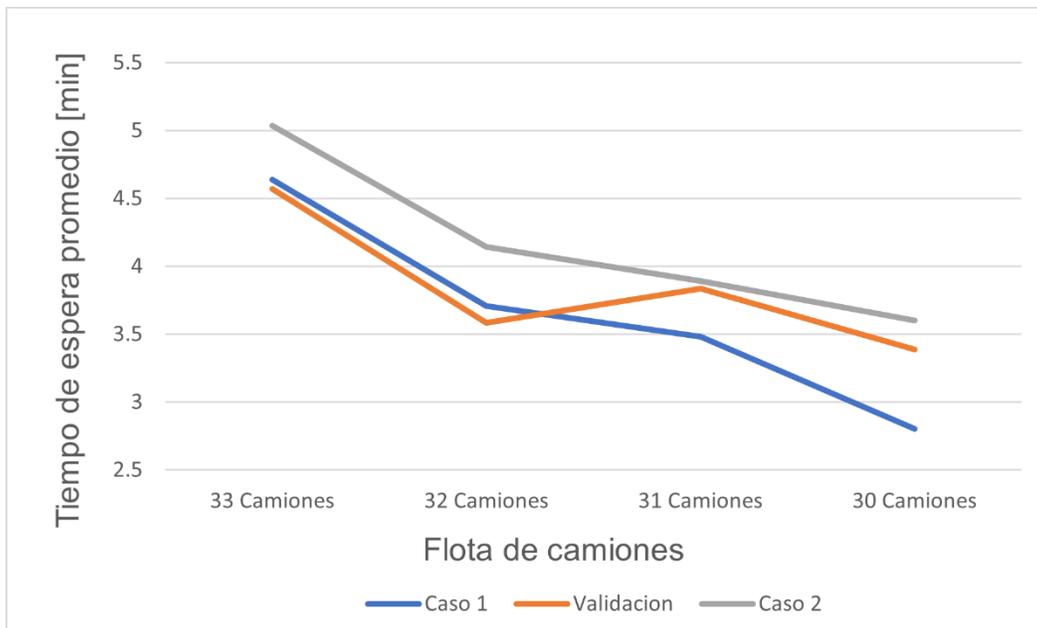


Figura 35: Grafico tiempo de espera de camiones para los casos simulados

En la Figura 35 se muestra un gráfico comparativo que ilustra los resultados de los tiempos de espera en promedio registrados para los casos de simulación planteado (resultados especificados en Anexo J). Con respecto a los tiempos de espera de los camiones registrados en las simulaciones se indica que en un principio estos tiempos registrados en promedio fueron de 4.57 [min]. Al realizar las variaciones en el sistema con las distancias calculadas para el posicionamiento del sistema IPCC se registró un aumento en las colas de camiones en el sistema, siendo en promedio para el caso 1 un valor registrado de 4.64 [min] con promedio máximo de 5.03 [min]. Estos aumentos se deben a

que los camiones dedicados al transporte de oxido y sulfuros demoran menos tiempo en volver al punto de carga dentro del pit. De manera adicional, en el grafico presentado se muestra que, al disminuir los equipos en movimiento dentro del sistema, los tiempos de espera suelen disminuir y que los mayores incrementos en los tiempos de espera suelen suceden en el caso 2 debido a que el punto de descarga se encuentra más próximo que en los 2 casos anteriores.



5 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudia el impacto operacional en la inclusión de un sistema IPCC dentro de la mina a cielo abierto Sungun en el trabajo de un mes de explotación material, este estudio tiene como finalidad el análisis del aumento en el transporte de los materiales explotados correspondientes a óxidos o sulfuros. A continuación, se detallan las principales conclusiones de este proyecto:

En primer lugar, la metodología propuesta para determinar la producción de un mes de explotación en la mina Sungun fue realizada por medio del programa simulador Arena, en ella fueron determinados y realizados procesos de transporte de material explotados en 6 frentes de trabajo, ubicados en 6 niveles distintos de la mina. Estos escenarios de simulación fueron llevados a cabo mediante el análisis semanal de producción y transporte con una flota fija de 33 camiones con 3 diferentes capacidades de transporte. De estas simulaciones realizadas se llegó a la resolución que el modelo de simulación propuesto cumplía con replicar los procesos realizados por la mina Sungun, obteniendo como máximo una diferencia porcentual de un 7.86 [%] para el transporte de material tipo óxido o sulfuro en la primera semana de trabajo.

De manera adicional, se introdujeron al modelo de simulación 2 escenarios nuevos en los cuales se presenta el posicionamiento e instalación de un chancador dentro de la mina, ubicado en el nivel 1875 y otro fuera de la mina ocupando como referencia un chancador existente en el nivel 1987.5. Los resultados de las simulaciones realizadas a través de estos nuevos escenarios dieron como resultado el aumento en el transporte de material por sobre las 20,000 [m³/mes]. Sin embargo, este aumento no es realmente significativo ya que dentro del sistema de transporte solo representaría el trabajo de 3 camiones dentro de la flota propuesta. Cabe destacar que dichas simulaciones fueron realizadas en el contexto de producción actual dentro de la faena de la mina, sin embargo, en el contexto general de las operaciones, en el futuro a mediano plazo, esta situación debe cambiar, ya que actualmente se prioriza la explotación de los niveles superiores de la mina, las cuales abarcan entre el 40 y 50 % del tiempo simulado en su trabajo, en el cual solo se encuentran realizando operaciones de remoción de estéril. A medida que se dedique más tiempo operacional en el trabajo de los niveles inferiores de la mina Sungun, más será necesario el transporte de material a las zonas de óxido y sulfuro, y mayor relevancia recobraría la instalación de un sistema IPCC en la faena minera. Por lo tanto, la implementación de un chancador dentro de la mina, en el nivel 1875 traería un beneficio en el aumento de producción para años futuros.

De manera adicional, al implementarse el sistema IPCC en el nivel 1875, junto con la disminución de 33 a 31 en la flota de camiones trabajando dentro de la mina a cielo abierto

provocaría un aumento de cerca de 1 [min] en promedio en los tiempos de espera de los camiones dentro de la mina, que si bien, no es algo beneficioso en términos de producción, este aumento en tiempo de espera no es realmente significativo y podría evaluar la posibilidad de ajustar el modelo de simulación a un escenario en donde la decisión de punto de carguío también fuese influenciada por el estado de disponibilidad de la pala independientemente si el camión debe o no trabajar en el nivel encomendado.

Finalmente, y considerando un tiempo estimado en la instalación de un sistema IPCC en una mina es de aproximadamente 2 años, sería inferidle que, para este lapso de tiempo, se esté dedicando más tiempo operacional a los niveles de menor cota en la mina Sungun, por lo que el aumento en la explotación de materiales tipo oxido o sulfuros (que actualmente es cerca de un 2% de la producción total), es indiscutible, y debido a que los camiones por el transcurso del tiempo tiendan a perder tiempo operacional debido al aumento en los tiempos de falla o mantención planificada o no planificada, que la necesidad de un sistema IPCC en la mina sería un buen candidato para mantener y aumentar los ritmos operacionales de transporte en la mina.



6 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] C. Guoming, W. Sijing, H. Kan, and C. Fengguang, "Methane control for mechanised longwall top-coal caving mining face in high gas content mine," *J. Mine Vent. Soc. South Africa*, vol. 56, no. 2, pp. 171–179, 2003.
- [2] I. Dzakpata, P. Knights, M. S. Kizil, M. Nehring, S. M. Aminossadati, and S. Kizil, "Truck and Shovel Versus In-Pit Conveyor Systems: a Comparison Of The Valuable Operating Time," no. February, p. 463, 2016.
- [3] M. de Werk, B. Ozdemir, B. Ragoub, T. Dunbrack, and M. Kumral, "Cost analysis of material handling systems in open pit mining: Case study on an iron ore prefeasibility study," *Eng. Econ.*, vol. 62, no. 4, pp. 369–386, 2017.
- [4] M. Paricheh, M. Osanloo, and M. Rahmanpour, "In-pit crusher location as a dynamic location problem," *J. South. African Inst. Min. Metall.*, vol. 117, no. 6, pp. 599–607, 2017.
- [5] L. Bernardi, M. Kumral, and M. Renaud, "Comparison of fixed and mobile in-pit crushing and conveying and truck-shovel systems used in mineral industries through discrete-event simulation," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 103, p. 102100, 2020.
- [6] M. Tavakoli, A. Hashemi, and F. Moosakazemi, "Review of the in-pit crushing and conveying (IPCC) system and its case Study in copper industry," *First World Copp. Congr.*, no. October, 2011.
- [7] R. Ritter, "Contribution to the Capacity Determination of Semi-Mobile In-Pit Crushing and Conveying Systems," p. 160, 2016.
- [8] C. Burt, L. Caccetta, S. Hill, and P. Welgama, "Models for mining equipment selection," *MODSIM05 - Int. Congr. Model. Simul. Adv. Appl. Manag. Decis. Making, Proc.*, pp. 1730–1736, 2005.
- [9] "The application of mobile in-pit crushing and conveying in large, hard rock open pit mines David Tutton and Willibald Streck Independent Consultant Mining Engineers, Germany."
- [10] M. A. R. L. Cabello, "Estudio de Productividad del Equipo de Carga en una Mina de Mineral de Fierro a Cielo Abierto," *Concienc. Tecnológica*, no. 42, pp. 26–30, 2011.
- [11] S. Nel, M. S. Kizil, and P. Knights, "Improving truck-shovel matching," *35th APCOM Symposium - Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industry, Proceedings*. pp. 381–391, 2011.
- [12] R. P. Choudhary, "Optimization of Load – Haul – Dump Mining System By Oee and Match

- Factor for Surface Mining,” *Int. J. Appl. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 96–102, 2015.
- [13] M. Mohammadi, P. Rai, and S. Gupta, “Performance Measurement of Mining Equipment,” *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 5, no. 7, pp. 240–248, 2015.
- [14] A. E. Alvarez Riquelme, “Instalación y Mantenimiento de cintas transportadoras,” 2011.
- [15] M. Paricheh and M. Osanloo, “Determination of the optimum in-pit crusher location in open-pit mining under production and operating cost uncertainties,” *16th Int. Conf. Comput. Appl. Miner. Ind.*, no. October, pp. 1–7, 2016.
- [16] F. Orellana, N. Morales, and E. Jélvez, “Modelo integrado de simulación y optimización para planes mineros de corto plazo en minería a cielo abierto,” *J. Min. Eng. Res.*, vol. 1, no. 2, pp. 150–158, 2019.
- [17] M. Nehring, P. F. Knights, M. S. Kizil, and E. Hay, “A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems,” *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 2, pp. 205–214, 2018.
- [18] 2019 Goleman et al., “Metodología de planificación a cielo abierto considerando incorporacion de IPCC” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.



7 ANEXO

Anexo A Tabla ilustrativa de datos en la base de datos

En la Tabla 8 y Tabla 9 se muestra un ejemplo de la distribución y tipo de datos que se encuentran en la base de datos y fueron utilizados para construir el modelo de simulación. Dicha base de datos posee 4,409 filas con la información del mes estudiado.

Tabla 8: Ejemplo tabla ubicada en base de datos Parte 1

Día	Mes	Año	Código de maquina	Modelos de máquinas	Capacidad del dispositivo [m ³]	Código de personal	Turnos	Nivel de descarga	Nivel de carga
1	2	98	3413	KOM-785-5	33	00417973	1	1987.5	1925
1	2	98	3406	KOM-785-5	33	00417482	1	1987.5	1925
1	2	98	3413	KOM-785-5	33	00417973	1	1987.5	1925
1	2	98	3442	KOM-465-7	23	00418786	1	1987.5	2000
1	2	98	3437	KOM-465-7	23	00417963	1	1950	2000
1	2	98	3434	KOM-465-7	23	00418617	1	1950	2000
1	2	98	3430	KOM-325-6	13	00417763	1	2300	2237.5
1	2	98	397	KOM-325-6	13	00418498	1	1987.5	2012.5
1	2	98	317	KOM-325-6	13	00419390	1	1987.5	2012.5

Tabla 9: Ejemplo tabla ubicada en la base de datos Parte 2

Nombre del punto de descarga	Distancia de carga [m]	Volumen de operación [m ³]	Diferencia de altura del lugar de carga a la descarga [m]	Hora de inicio	El tiempo del fin	Función útil	Fallo planeado	Avería no planificada
Chancador	1950	99	62.5	10	13	3:00:00	0:00:00	2:00:00
Chancador	1950	231	62.5	7	10	3:30:00	0:00:00	0:00:00
Chancador	1950	198	62.5	7	10	3:30:00	2:30:00	0:00:00
Chancador	1200	46	-12.5	12	13	1:00:00	0:00:00	1:00:00
Botadero	2450	299	-50	7	13	6:30:00	0:00:00	1:30:00
Botadero	2450	276	-50	7	13	3:00:00	0:00:00	0:00:00
Botadero	3800	52	62.5	7	11	4:00:00	2:30:00	0:00:00
Chancador	1300	143	-25	7	12	5:00:00	0:00:00	0:00:00
Chancador	1300	156	-25	7	12	5:00:00	0:00:00	1:00:00

Anexo B Histogramas de las velocidades de transporte.

De la Figura 36 hasta Figura 47, se ilustran los histogramas resultantes de estudio del tiempo de transporte correspondiente a las distancias recorridas por los camiones que trabajan dentro de la mina Sungun

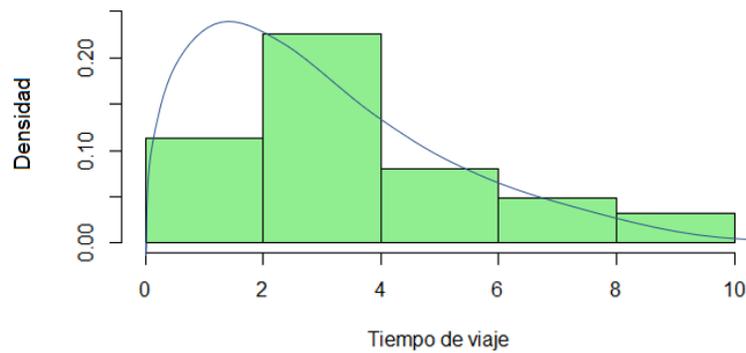


Figura 36: Histograma de tiempo de transporte ida 250 [m]

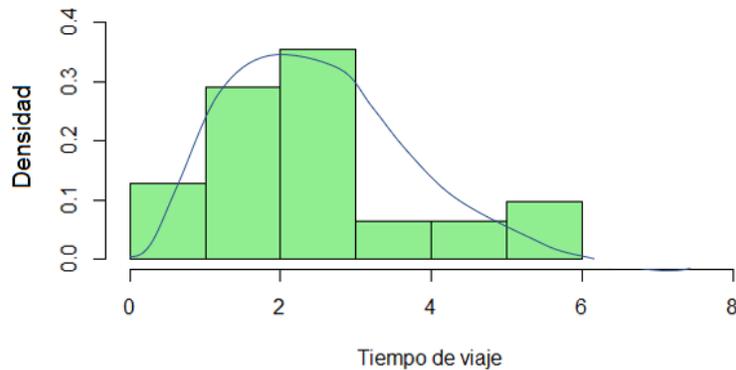


Figura 37: Histograma de tiempo de transporte vuelta 250 [m]

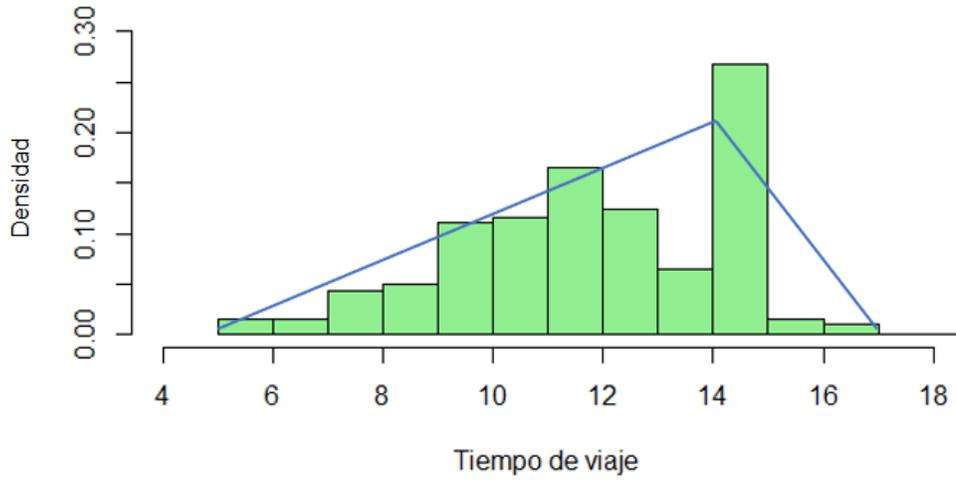


Figura 38: Histograma de tiempo de transporte ida 1-2 [km]

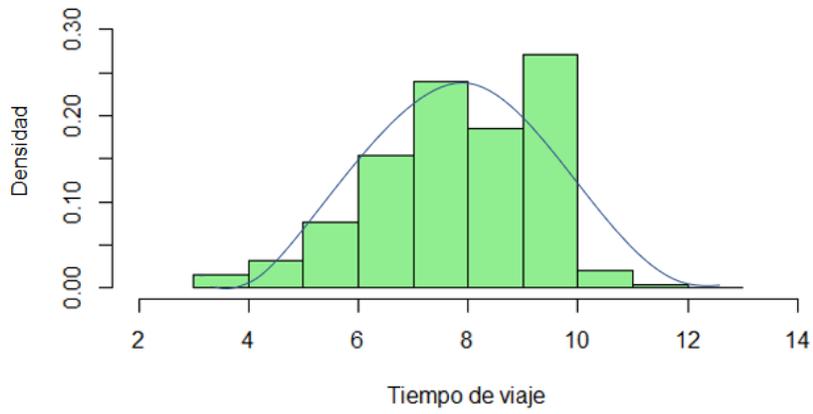


Figura 39: Histograma de tiempo de transporte vuelta 1-2 [km]

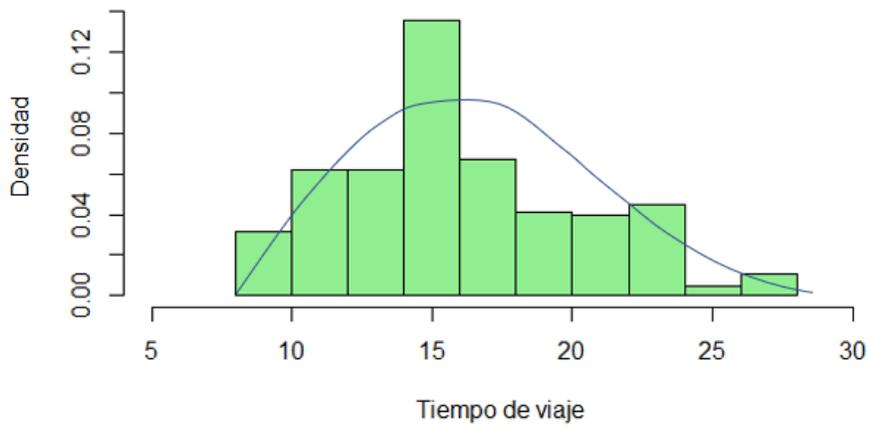


Figura 40: Histograma de tiempo de transporte ida 2-3 [km]

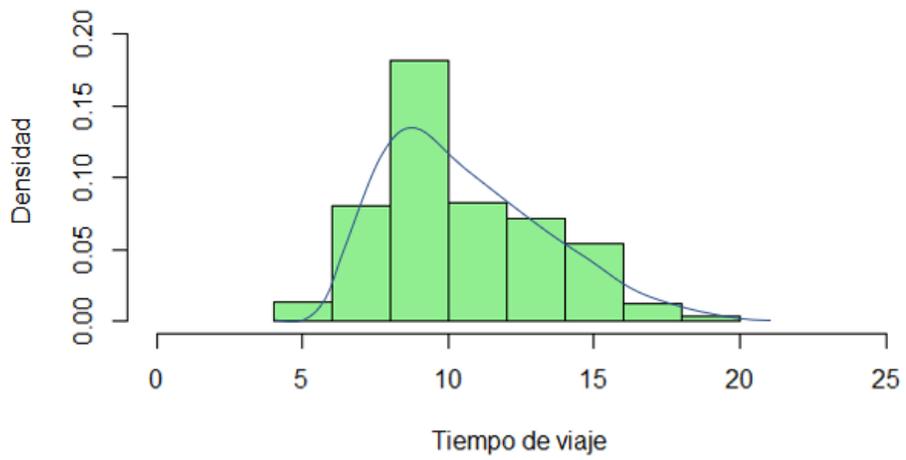


Figura 41: Histograma de tiempo de transporte vuelta 2-3 [km]

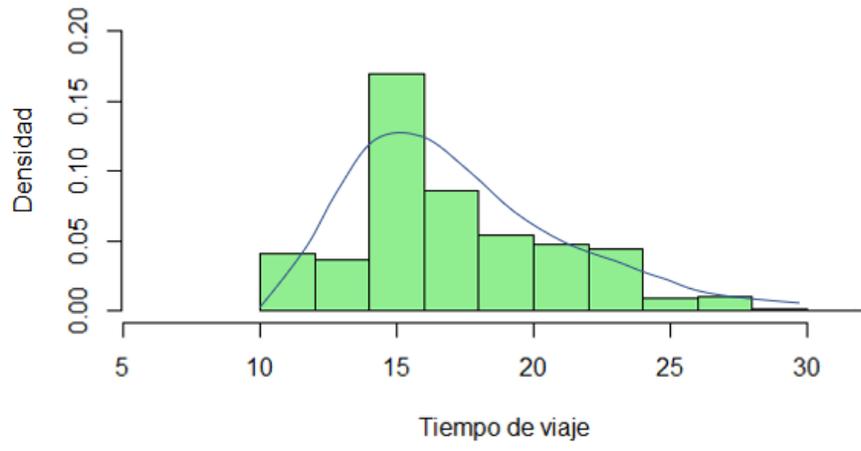


Figura 42: Histograma de tiempo de transporte ida 3-4 [km]

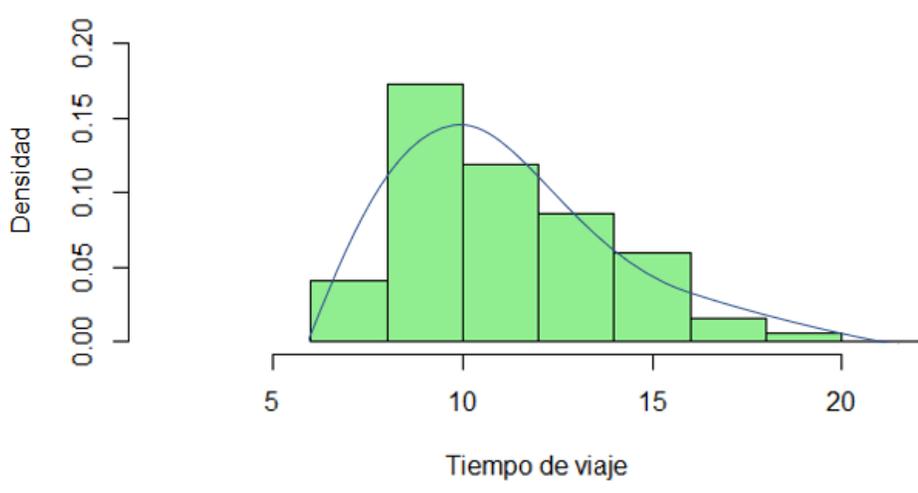
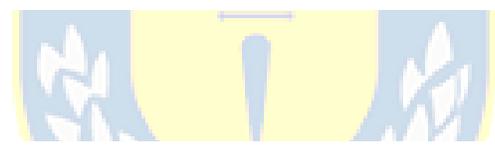


Figura 43: Histograma de tiempo de transporte vuelta 3-4 [km]

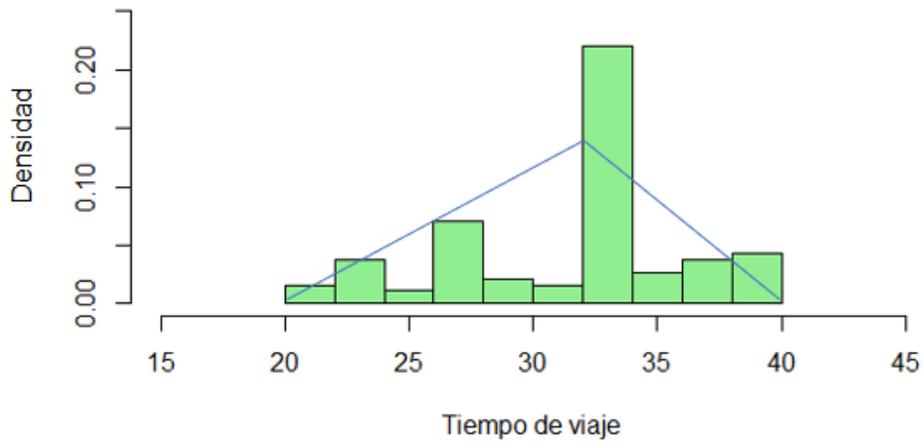


Figura 44: Histograma de tiempo de transporte ida 4-5 [km]

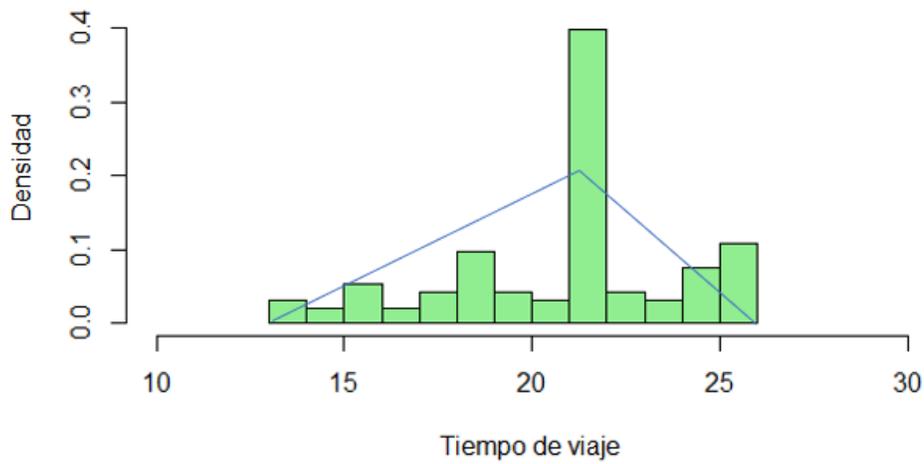


Figura 45: Histograma de tiempo de transporte vuelta 4-5 [km]

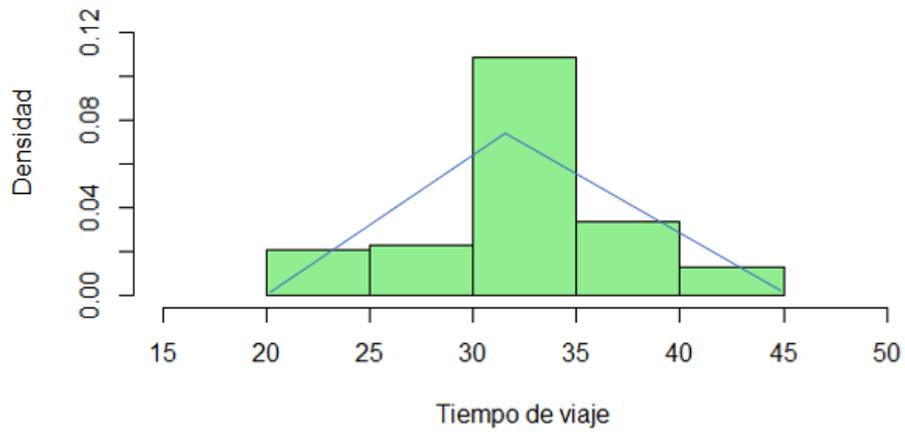


Figura 46: Histograma de tiempo de transporte ida 6-7 [km]

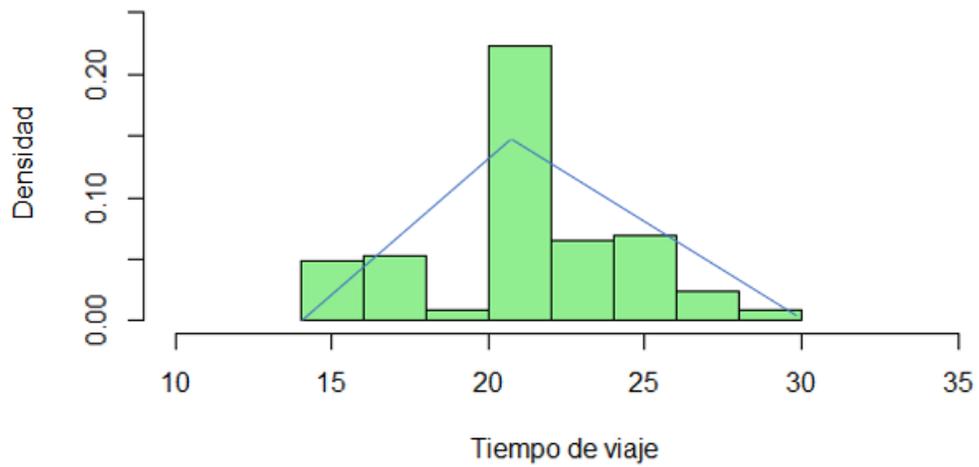
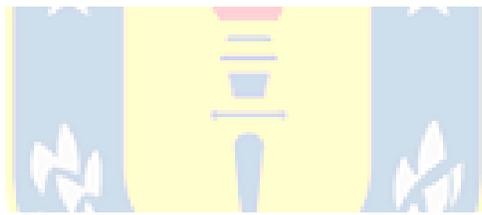


Figura 47: Histograma de tiempo de transporte vuelta 6-7 [km]

Anexo C Esquema de simulación Arena

En la Figura 48 se muestra la primera parte del esquema de simulación, la cual ejemplifica la entrada de los 3 tipos de camiones, la elección del nivel de trabajo de dichos camiones y las rutas correspondientes para poder llegar al punto de carguío del camión.

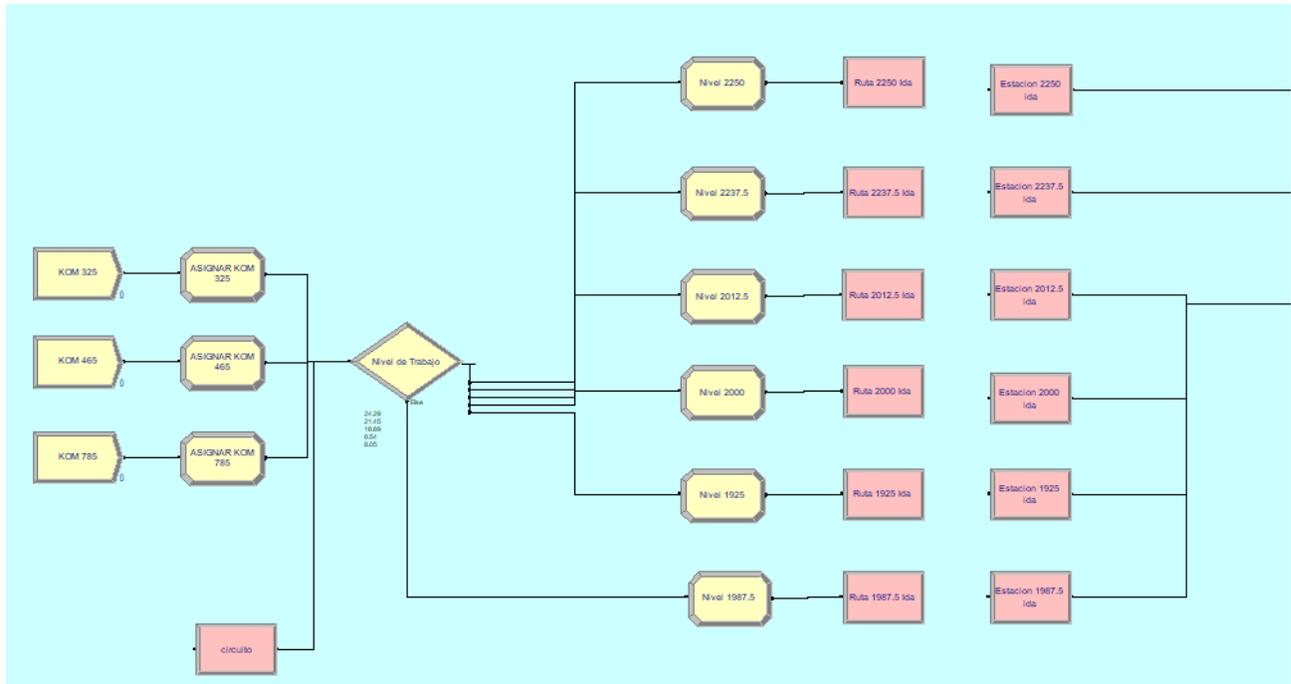


Figura 48: Esquema Simulación arena parte 1

En la Figura 50, Figura 49 y Figura 51 se muestran los esquemas de carga de camión, dependiendo si se está cargando estéril o mineral y la toma de decisión del lugar al cual los camiones deberán llevar el material cargado hacia las zonas de descarga.

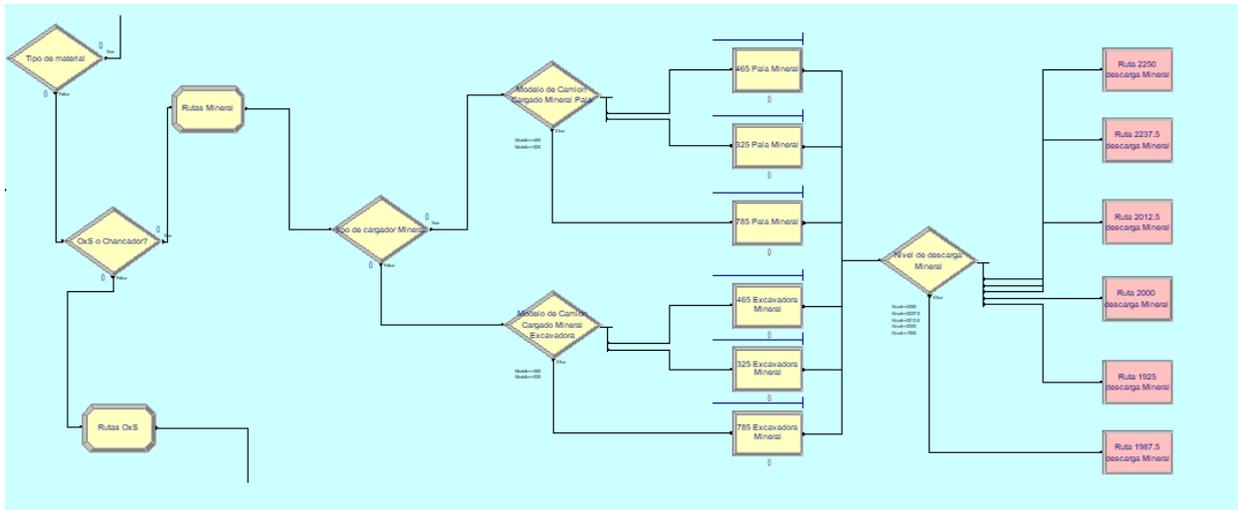


Figura 49: Esquema carga y tiempo de viajes material tipo Mineral-Chancador

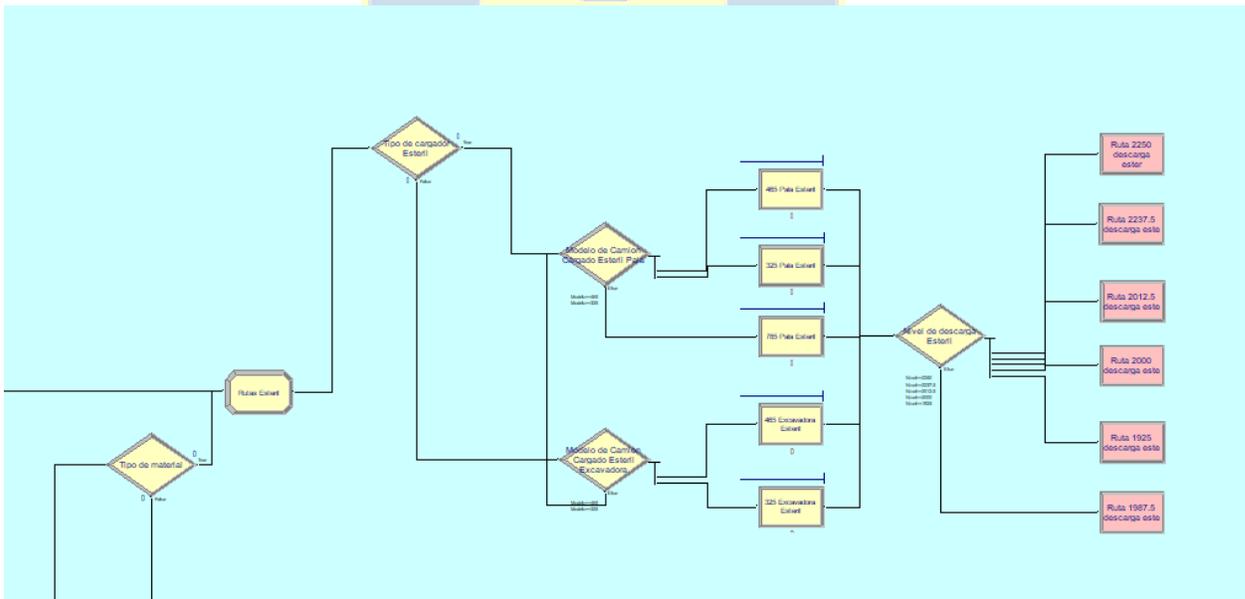


Figura 50: Esquema carga y tiempo de viajes material tipo estéril

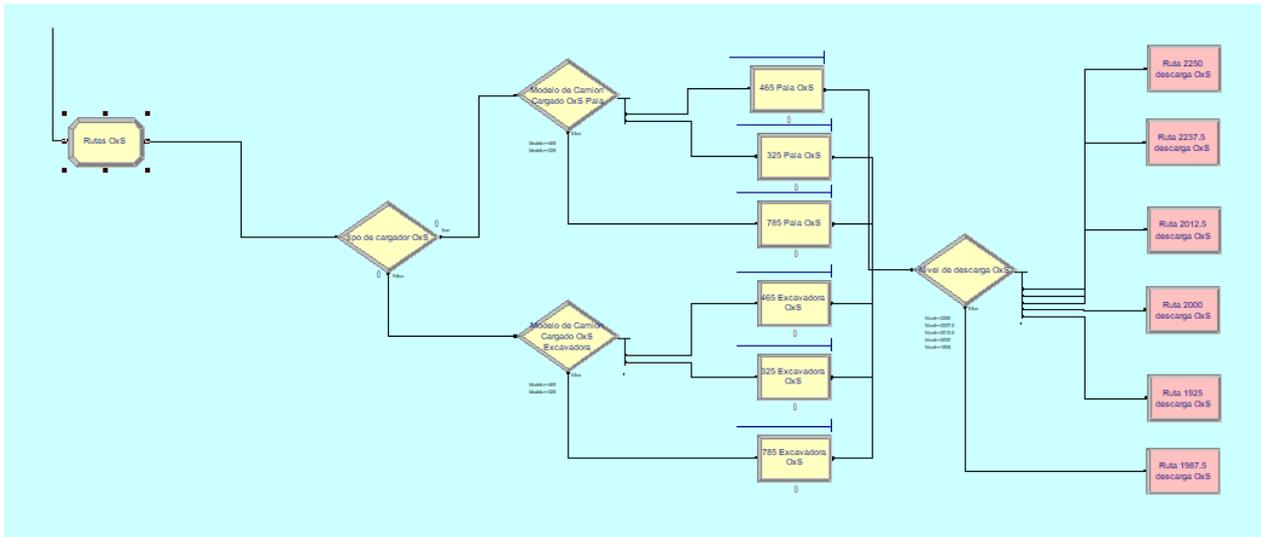


Figura 51: Esquema carga y tiempo de viajes material tipo mineral-OxS

En Figura 52 se ilustra los puntos de descargas del modelo de simulación junto con el registro de la cantidad de material y el tipo de material transportado.

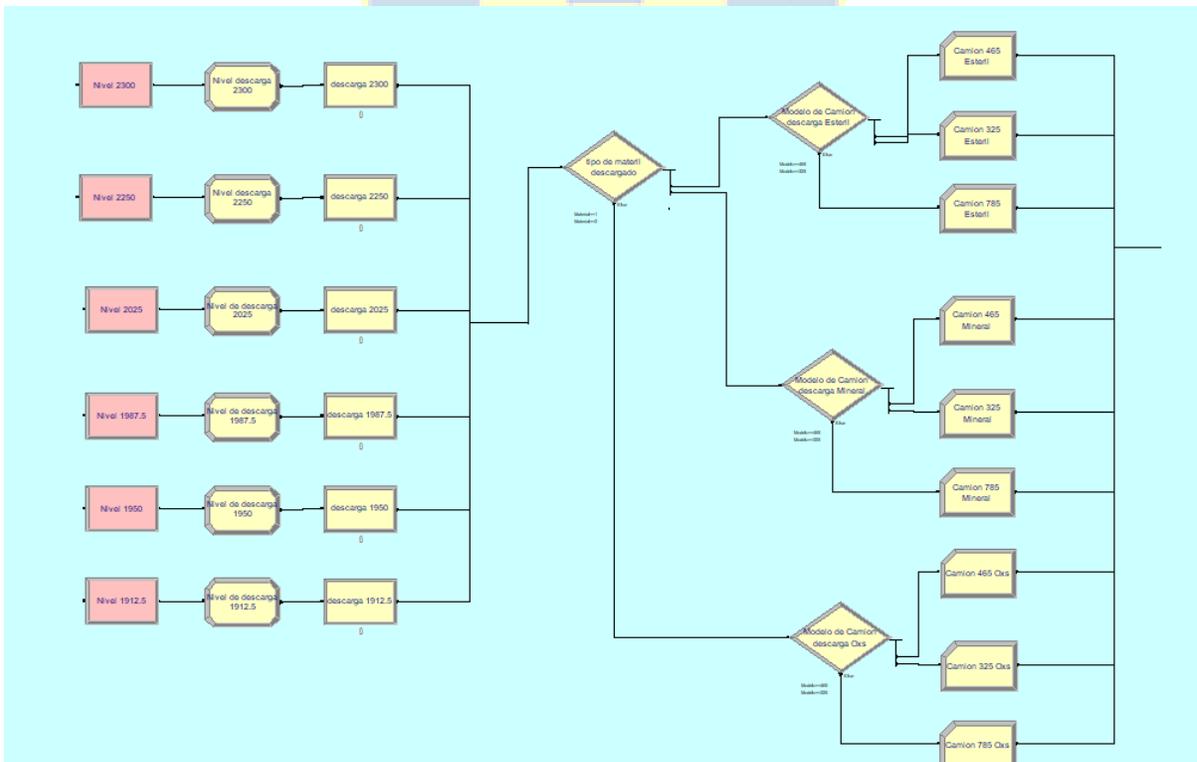


Figura 52: Esquema de puntos de descarga y registro de material transportado

En la Figura 53 se ilustra la decisión de enviar al camión a revisión, el viaje de retorno hacia los puntos de carguío y el fin de la simulación en el caso de que allá terminado el tiempo de trabajo.

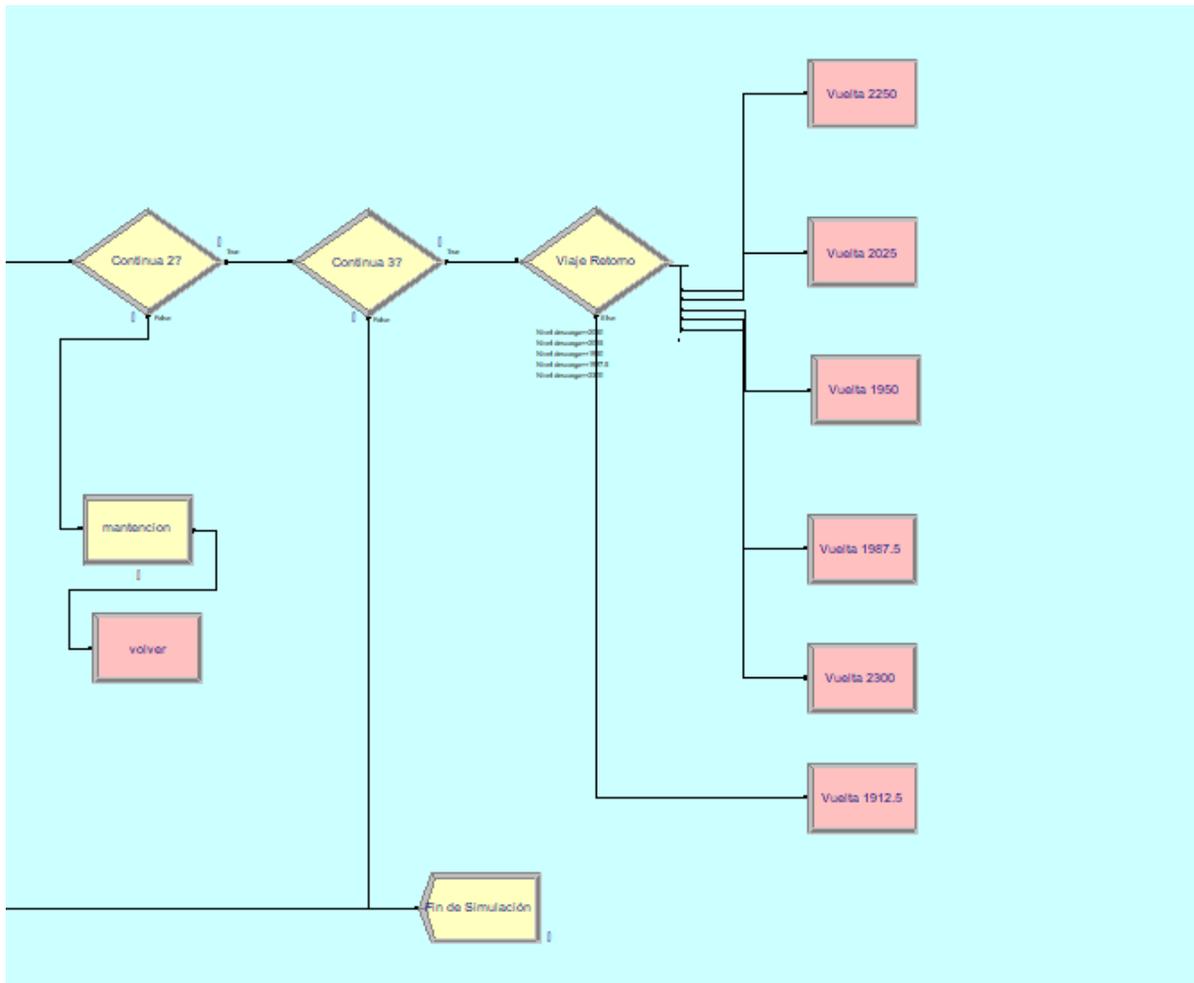


Figura 53: Esquema de zona de mantención, viaje de regreso y fin de la simulación

Anexo D Cálculo de porcentaje de trabajo por nivel

En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos del cálculo de porcentaje de tiempo implementado para el trabajo correspondiente al carguío de material en los respectivos niveles de carga obtenidos de la base de datos y por medio de la ecuación (4)

$$\% \text{ Horas de trabajo por nivel} = \frac{\sum \text{Horas trabajadas por nivel}}{\text{Horas trabajadas totales por semana}} \times 100 \quad (4)$$

Tabla 10: Porcentaje de tiempo trabajado semanal por nivel

Nivel de carga	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
2250	21.57 [%]	32.16 [%]	27.59 [%]	40.95 [%]	10.07 [%]
2237.5	27.02 [%]	33.63 [%]	16.19 [%]	11.26 [%]	17.55 [%]
2012.5	11.38 [%]	23.36 [%]	39.79 [%]	17.32 [%]	44.69 [%]
2000	18.97 [%]	4.36 [%]	1.83 [%]	10.68 [%]	13.77 [%]
1987.5	4.73 [%]	0.80 [%]	4.13 [%]	3.30 [%]	2.57 [%]
1925	16.34 [%]	5.70 [%]	10.46 [%]	16.49 [%]	7.1 [%]

Anexo E Distancias promedio por nivel

Tabla 11: Distancias promedio recorridas por nivel

Nivel de Carga \ Nivel de Descarga	2300	2250	2025	1987.5	1950	1912.5
2250	3100	-	-	-	-	-
2237.5	3800	-	-	-	-	-
2012.5	-	5600	2500	1500	2600	-
2000	-	7000	3000	1400	2600	-
1987.5	-	6000	3000	1050	3000	-
1925	-	6500	-	1950	-	1700

Anexo F Resultados simulación caso 1

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos de las 1000 replicaciones de las simulaciones realizadas para el caso 1 (verificación del modelo de simulación planteado).

Tabla 12: Resultados de simulación caso de verificación

	Promedio simulación	Mínimo simulado	Máximo simulado	Ancho de media
Estéril [m³]				
Semana 1	102,621.75	100,912	103,556	1,861.45
Semana 2	127,049.50	125,617	129,404	2,675
Semana 3	115,908.50	113,550	118,569	3,724.77
Semana 4	112,425.83	109,193	113,020	1,810.93
Semana 5	47,791.33	46,305	48,953	1,201.92
Chancador [m³]				
Semana 1	37,771.25	37,099	38,903	1,250.27
Semana 2	29,108.00	28,576	29,654	808.48
Semana 3	44,282.50	43,141	45,313	1,507.32
Semana 4	51,401.17	50,079	51,088	775.20
Semana 5	20,974.83	20,189	21,421	512,11
Oxido o Sulfuro [m³]				
Semana 1	1,485.25	1,232	1,681	354.70
Semana 2	969.75	829	1,068	169.97
Semana 3	7,635.25	7,378	7,891	392.72
Semana 4	5,631.17	5,055	6,034	385.84
Semana 5	723.67	560	754	81.84

Anexo G Cálculo de diferencia porcentual

En la ecuación (5) se muestra la formula ocupada para calcular la diferencia porcentual presente en los casos simulados y en la Tabla 13 sus respectivos resultados

$$\text{Diferencia porcentual} = \frac{\text{Producción real} - \text{Producción Simulada}}{\text{Produccion simulada}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Diferencia porcentual} = \frac{102,621.75 - 102,038}{102,621.75} \times 100$$

$$\text{Diferencia porcentual} = 0.57 [\%]$$

Tabla 13: Resultados cálculo de Diferencia porcentual

	Estéril Real [m ³]	Estéril Simulado [m ³]	Diferencia	Diferencia [%]
Semana 1	102,038	102,621.75	-583.75	-0.57
Semana 2	122,046	127,049.50	-5,003.50	-3.94
Semana 3	120,818	115,908.50	4,909.50	4.24
Semana 4	116,050	112,425.83	3,624.17	3.22
Semana 5	49,130	47,791.33	1,338.67	2.80
	Chancador Real [m ³]	Chancador Simulado [m ³]	Diferencia	Diferencia [%]
Semana 1	39,355	37,771.25	1,583.75	4.19
Semana 2	30,120	29,108.00	1,012.00	3.48
Semana 3	46,571	44,282.50	2,288.50	5.17
Semana 4	53,489	51,401.17	2,087.83	4.06
Semana 5	20,951	20,974.83	-23.83	-0.11
	Oxido o Sulfuro Real [m ³]	Oxido o Sulfuro Simulado [m ³]	Diferencia	Diferencia [%]
Semana 1	1,602	1,485.25	116.75	7.86
Semana 2	989	969.75	19.25	1.99
Semana 3	8,178	7,635.25	542.75	7.11
Semana 4	5,793	5,631.17	161.83	2.87
Semana 5	762	723.67	38.33	5.30

Anexo H Resultados Simulación Chancador escenario 1

En la Tabla 14 y Tabla 16 están dispuestos los resultados de la simulación de la flota de camiones frente al escenario de chancador ubicado en la posición hipotética 1.

Tabla 14: Resultados de simulación en escenario 1, flota de 33 camiones

	33 camiones			
	Promedio simulación	Mínimo simulado	Máximo simulado	Ancho de media
	Estéril [m ³]			
Semana 1	110,667.17	109,111	112,875	1,424.66
Semana 2	125,863.17	123,432	128,114	1,574.12
Semana 3	112,738.50	1,921	111,240	115,838.00

Semana 4	117,821.83	116,268	119,790	1,456.94
Semana 5	48,092.83	46,474	49,046	916.55
	Chancador [m3]			
Semana 1	38,473.67	36,706	39,847	1,093.44
Semana 2	34,503.00	33,636	35,728	752.57
Semana 3	47,861	45,410	49,398	1,479.34
Semana 4	53,282.17	52,314	54,284	696.06
Semana 5	21,175.50	20,253	21,726	595.83
	Oxido o Sulfuro [m ³]			
Semana 1	1,666.00	1,549	2,001	182.2
Semana 2	1,061.17	733	1,283	193.85
Semana 3	7,736	7,443	8,085	280.59
Semana 4	6,267.17	5,829	6,853	365.91
Semana 5	826.5	619	1085	171.15

Tabla 15: Resultados de simulación en escenario 1, flota de 32 camiones

32 camiones				
	Promedio simulación	Mínimo simulado	Máximo simulado	Ancho de media
	Estéril [m ³]			
Semana 1	108,636.00	14,963	110,423	2,083.13
Semana 2	123,571.83	120,761	124,618	1,498.58
Semana 3	112,030.17	110,573	114,783	1,653.64
Semana 4	115,843.17	112,914	120,320	3,152.65
Semana 5	46,389.00	44,393	48,178	1,382.61
	Chancador [m3]			
Semana 1	38,247.17	36,712	38,965	879.50
Semana 2	34,416	33,292	36,498	1,233.66
Semana 3	46,868	45,526	48,201	965.77
Semana 4	52,115.50	50,262	53,667	1,144.84
Semana 5	20,885.17	19,064	22,093	1279.5
	Oxido o Sulfuro [m ³]			
Semana 1	1,641.67	1,815	1,555	94.03
Semana 2	981.17	743	1,231	190.8
Semana 3	7,707	7,373	7,979	238.45
Semana 4	5,746.33	5,139	6,359	419.36
Semana 5	846.83	582	1060	184.44

Tabla 16: Resultados de simulación en escenario 1, flota de 31 camiones

31 camiones				
	Promedio simulación	Mínimo simulado	Máximo simulado	Ancho de media
Estéril [m ³]				
Semana 1	106,590.50	107,963	104,842	1,266.39
Semana 2	122,794.67	121,644	124,203	954.68
Semana 3	110,334.83	109,425	112,028	944.17
Semana 4	113,905.00	110,883	115,900	2,081.67
Semana 5	45,774.00	44,285	47,002	1,040.38
Chancador [m ³]				
Semana 1	37,217.67	36,645	38,076	615.98
Semana 2	33,665.17	32,702	34,799	806.74
Semana 3	45,277	43,742	47,074	1,237.50
Semana 4	51,516.00	48,442	53,408	1,897.88
Semana 5	20,457.17	19,344	21,886	1,055.90
Oxido o Sulfuro [m ³]				
Semana 1	1,573.33	1,371	1,837	181.91
Semana 2	941.17	675	1,116	164.28
Semana 3	7,504	6,922	8,391	508.12
Semana 4	5,839.67	5,583	6,197	281.80
Semana 5	878	747	1089	132.18

Tabla 17: Resultados de simulación en escenario 1, flota de 30 camiones

30 camiones				
	Promedio simulación	Mínimo simulado	Máximo simulado	Ancho de media
Estéril [m ³]				
Semana 1	104,521.83	103,384	105,661	878.77
Semana 2	119,991.67	119,045	121,494	955.15
Semana 3	107,440.33	104,412	110,488	2,091.62
Semana 4	111,834.67	110,916	112,632	792.64
Semana 5	44,820.50	43,661	45,785	780.49
Chancadores [m ³]				
Semana 1	37,254.17	36,178	38,410	788.58
Semana 2	33,004.00	31,506	34,635	1,116.92
Semana 3	44,398.67	41,911	46,629	1,581.79

Semana 4	50,812.76	48,070	52,593	1,858.62
Semana 5	20,416.00	19,190	21,257	792.55
Oxido o Sulfuro [m ³]				
Semana 1	1,585.83	1,221	1,920	300.6
Semana 2	1,107.50	974	1,369	149.15
Semana 3	7,388	6,267	8,499	834.91
Semana 4	5,612.33	5,308	5,852	210.11
Semana 5	934.67	793	1063	105.33

Anexo I Resultados Simulación Chancador escenario 2

En la Tabla 18 y Tabla 20 están dispuestos los resultados de la simulación de la flota de camiones frente al escenario de chancador ubicado en la posición hipotética 2.

Tabla 18: Resultados de simulación en escenario 2, flota de 33 camiones

33 camiones				
	Promedio simulación	Mínimo simulado	Máximo simulado	Ancho de media
Estéril [m ³]				
Semana 1	109,013.50	107,274	112,031	1,746.94
Semana 2	125,987.00	122,612	128,102	2,273.24
Semana 3	114,227.17	112,216	118,781	2,594.70
Semana 4	118,927.33	116,972	119,969	1,165.31
Semana 5	47,615.33	46,771	48,822	558.73
Chancador [m ³]				
Semana 1	38,700.67	36,466	41,196	1,682.56
Semana 2	34,385.83	33,309	35,212	658.65
Semana 3	47,791	44,974	49,580	1,624.17
Semana 4	53,013.83	51,700	54,149	1,171.47
Semana 5	21,024.50	19,884	21,822	754.4
Oxido o Sulfuro [m ³]				
Semana 1	1,676.50	1,257	1,857	231.34
Semana 2	1,046.17	837	1,280	158.69
Semana 3	7,840	7,236	8,524	452.33
Semana 4	6,148.83	5,698	7,163	548.95
Semana 5	910.5	799	1076	104.47

Tabla 19: Resultados de simulación en escenario 2, flota de 32 camiones

32 camiones				
	Promedio simulación	Mínimo simulado	Máximo simulado	Ancho de media
Estéril [m ³]				
Semana 1	109,166.00	105,091	112,234	2,580.67
Semana 2	124,554.17	122,097	125,705	1,529.17
Semana 3	112,569.67	110,172	11,649	2,464.12
Semana 4	116,065.67	114,074	118,990	1,929.88
Semana 5	46,868.33	43,537	48,381	1,881.78
Chancador [m ³]				
Semana 1	37,579.00	35,752	39,075	1,553.69
Semana 2	33,780	33,243	34,323	498.05
Semana 3	46,583	45,470	47,958	878.20
Semana 4	51,802.00	50,223	53,434	1,291.16
Semana 5	20,935.17	20,110	21,833	787.29
Oxido o Sulfuro [m ³]				
Semana 1	1,610.67	1,352	1,865	201.74
Semana 2	1,096.67	961	1,247	117.6
Semana 3	7,604	7,144	8,174	358.5
Semana 4	5,772.83	5,443	6,491	1,291.16
Semana 5	865.5	598	1069	189.42

Tabla 20: Resultados de simulación en escenario 2, flota de 31 camiones

31 camiones				
	Promedio simulación	Mínimo simulado	Máximo simulado	Ancho de media
Estéril [m ³]				
Semana 1	108,350.17	106,090	112,424	2,389.72
Semana 2	121,296.00	120,740	122,290	568.85
Semana 3	110,537.83	108,035	112,861	1,919.20
Semana 4	115,409.00	112,798	118,878	1,442.83
Semana 5	46,276.50	43,921	48,385	1,638.24
Chancador [m ³]				
Semana 1	37,498.17	36,741	38,927	888.25
Semana 2	33,920.83	32,657	34,879	985.93
Semana 3	45,645	45,163	46,370	546.92

Semana 4	51,394.50	50,519	52,394	654.89
Semana 5	20,712.00	19,431	22,018	987.16
Oxido o Sulfuro [m ³]				
Semana 1	1,567.50	1,466	1,699	85.28
Semana 2	1,114.83	944	1,227	111.91
Semana 3	7,960	7,559	8,778	478.36
Semana 4	5,803.17	5,617	5,984	146.35
Semana 5	899.17	608	1122	178.85

Tabla 21: Resultados de simulación en escenario 2, flota de 30 camiones

30 camiones				
	Promedio simulación	Mínimo simulado	Máximo simulado	Ancho de media
Estéril [m ³]				
Semana 1	105,657.17	104,343	107,554	1,233.49
Semana 2	120,000.33	117,473	122,929	2,133.73
Semana 3	107,873.50	106,499	109,096	937.73
Semana 4	111,542.33	109,315	113,022	1,516.43
Semana 5	46,276.50	43,921	48,385	1,638.24
Chancadores [m ³]				
Semana 1	37,017.00	35,979	37,611	1,233.49
Semana 2	32,708.67	30,900	34,079	1,140.17
Semana 3	45,150.83	43,542	46,437	1,112.70
Semana 4	50,795.00	49,383	52,263	1,235.65
Semana 5	20,712.83	19,432	22,018	1293.5
Oxido o Sulfuro [m ³]				
Semana 1	1,390.83	1,637	1,185	163.43
Semana 2	1,062.50	918	1,290	147.36
Semana 3	7,787	7,529	7,970	168.81
Semana 4	5,752.50	5,236	6,042	309.64
Semana 5	899.17	608	1122	178.85

Anexo J Tiempo de espera de los camiones

De Tabla 22 hasta la Tabla 24 muestran los resultados obtenidos de las simulaciones con respecto a los tiempos de espera de los camiones en los lugares de carga de material.

Tabla 22: Tiempos de espera de camiones para cargar, Escenario verificación

	Camiones	Promedio [min]	half width	Promedio mínimo [min]	Promedio máximo [min]	Mínimo valor [min]	Máximo valor [min]
Semana 1	33	3.39	2.40	2.38	4.3	0.00	10.65
	32	2.11	1.20	1.7	2.53	0.00	9.24
	31	3.13	0.60	2.97	3.42	0.00	10.52
	30	2.79	0.60	2.4	3.05	0.00	11.60
Semana 2	33	5.61	3.60	5.02	7.83	0.00	15.82
	32	5.24	1.20	4.87	5.63	0.00	14.05
	31	4.97	3.00	4.11	6.27	0.28	13.27
	30	4.16	1.20	4.47	5.14	0.02	15.10
Semana 3	33	5.49	2.40	5.29	6.99	0.67	10.19
	32	4.2	3.60	2.9	5.78	0.00	9.87
	31	3.83	1.20	3.22	4.18	0.05	15.24
	30	4.04	2.40	3.02	4.68	0.01	10.83
Semana 4	33	5.3	3.60	5.77	10.38	0.00	15.82
	32	4.45	1.80	3.07	6.85	0.00	16.66
	31	5.71	6.60	3.77	10.42	0.00	16.52
	30	4.47	1.80	5.42	7.09	0.00	10.70
Semana 5	33	3.06	1.20	1.97	4.54	0.00	10.29
	32	1.92	0.60	1.24	2.44	0.00	8.69
	31	1.53	1.20	0.43	3.78	0.00	8.73
	30	1.48	0.60	0.79	2.64	0.00	6.86

Tabla 23: Tiempos de espera de camiones para cargar, Escenario 1

	Camiones	Promedio [min]	half width	Promedio mínimo [min]	Promedio máximo [min]	Mínimo valor [min]	Máximo valor [min]
Semana 1	33	4.53	1.80	3.01	4.2	0.00	10.25
	32	3.32	2.40	1.39	3.52	0.00	10.40
	31	2.92	1.80	2.27	3.58	0.00	9.03
	30	2.79	1.20	2.29	3.05	0.00	9.06
Semana 2	33	6.07	4.20	4.24	7.09	0.07	15.55
	32	5.54	2.40	4.72	6.46	0.30	15.24
	31	4.8	4.20	2.22	5.59	0.00	16.79
	30	4.35	4.80	3.1	6.6	0.00	9.49
Semana 3	33	6.16	0.60	5.89	6.45	0.00	17.19
	32	4.06	3.00	3.12	5.54	0.00	13.60
	31	4.87	1.20	4.27	5.39	0.00	10.69
	30	4.01	2.40	2.97	4.56	0.00	10.93
Semana 4	33	3.74	1.04	3.42	4.15	0.00	11.21
	32	2.98	1.13	0.03	3.33	0.00	11.01
	31	2.99	1.80	0.25	3.55	0.00	10.23
	30	1.54	0.95	0.8	1.17	0.00	7.56
Semana 5	33	2.7	0.00	2.38	3.11	0.00	12.17
	32	2.65	1.80	0.7	4	0.00	12.68
	31	1.82	1.20	0.66	3.19	0.00	7.35
	30	1.32	0.60	0.45	0.82	0.00	6.21

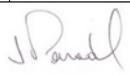
Tabla 24: Tiempos de espera de camiones para cargar, Escenario 2

	Camiones	Promedio [min]	half width	Promedio mínimo [min]	Promedio máximo [min]	Mínimo valor [min]	Máximo valor [min]
Semana 1	33	4.92	1.20	4.47	5.56	0.49	12.79
	32	2.47	0.60	2.37	2.68	0.00	9.86
	31	2.05	2.40	1.09	2.86	0.00	9.28
	30	2.63	1.20	2.2	2.95	0.00	9.34
Semana 2	33	5.18	1.80	4.45	5.61	0.00	11.94
	32	5.42	1.80	5.61	6.19	0.00	14.05
	31	4.71	1.20	4.09	5.2	0.48	12.82
	30	3.72	1.20	3.13	4.12	0.00	10.45
Semana 3	33	5.36	2.40	4.92	5.27	0.43	10.20
	32	5.41	2.40	5.22	5.61	0.31	11.83
	31	4.56	3.60	3.58	6.33	0.00	13.46

Semana 4	30	3.84	2.40	2.82	4.83	0.00	13.38
	33	7.42	1.20	5.88	9	1.07	17.38
	32	5.72	2.40	4.74	6.39	0.20	13.97
	31	6.1	5.40	4.36	8.4	0.02	15.10
	30	6.31	1.80	5.62	7.04	0.01	15.41
Semana 5	33	2.29	1.20	1.17	3.74	0.00	9.26
	32	1.7	0.60	1.04	3.24	0.00	10.48
	31	2.03	0.60	1.27	2.62	0.00	9.95
	30	1.51	1.20	0.37	3.2	0.00	9.39



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Metalúrgica
Hoja Resumen Memoria de Título

Título: EVALUACIÓN DE LA UBICACIÓN Y EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE UN SISTEMA CHANCADOR-CORREA DENTRO DE UNA MINA A CIELO ABIERTO		
Nombre Memorista: Pablo Cesar Vega Figueroa		
Modalidad	Investigación	Profesor (es) Patrocinante (s)
Concepto	Muy Bueno	 Profa. Asieh Hekmat
Calificación	6.6	
Fecha	29-03-2021	
 Prof. FERNANDO PARADA		Ingeniero Supervisor:
		Institución:
Comisión (Nombre y Firma)		
 Prof. René Gómez P.		 Prof. Gonzalo Nelis S.
Resumen		
<p>En la industria minera, las operaciones de carguío y transporte son la que, en términos operacionales, abarcan el mayor porcentaje de los costos dentro de la mina. Esto debido de su alto costo capital, y costos asociados a escenarios, tanto operacionales como no operacionales. Por este motivo la búsqueda de alternativas que puedan reducir costos y aumentar la productividad de una faena es un importante foco de estudio para el rubro.</p> <p>El objetivo general de este trabajo fue mostrar el impacto que genera en términos de producción, la ubicación e implementación de un sistema chancador-correa (IPCC) dentro de una faena encargada de transportar material tipo óxido y/o sulfuro desde el rajo hacia una zona de acopio ubicado a cerca de 6 [km] fuera del rajo, que actualmente son transportados por camiones, mediante simulaciones realizadas a través del programa "Arena".</p> <p>Inicialmente se realizó el estudio de una base de datos que resume los movimientos de material anuales de la mina de cobre Sungun, ubicada en Irán, realizados por una flota de 33 camiones con capacidades de 13 [m³] 23 [m³] y 33 [m³]. Se obtuvieron los tiempos de transporte con los que trabajan los camiones a diferentes distancias de recorrido, los tiempos de carguío que las excavadoras y palas ocupan en las actividades registradas y el tipo de material presentes en el rajo que necesitan ser transportados .</p> <p>Con el fin de mantener un escenario controlado de las actividades de transporte fue escogido el mes 2 como escenario de simulación, en donde se creó un modelo que representa el trabajo de la flota de camiones en 6 frentes de trabajo ubicados en 6 niveles diferentes del pit. Además, fueron estudiados 2 puntos de ubicación de un chancador, uno ubicado fuera de la mina, en un sector cercano al rajo y otro dentro del pit en la cota 1875.</p> <p>De los escenarios propuestos se obtuvo que el escenario principal de simulación que busca ejemplificar los trabajos de transporte dentro de la mina cumple con lo propuesto, ya que la diferencia porcentual registrada entre la información real manejada y el escenario de simulación llegó a un máximo de 7.86 %. Para el caso de ubicación de un chancador cerca de la mina se registró un aumento de 22,255 [m³/mes] y para el caso 2 un incremento de 22,528 [m³/mes] de material transportado, lo que se traduce en un aumento de 3.15% y 3.19% de material removido mensual respectivamente. El escenario 2 el más prometedor debido a que para el futuro se estima que esta mina aumente su profundidad, y la ubicación de un chancador en este punto acortaría las distancias de manera más efectiva. De manera adicional, se puede indicar que la implementación del sistema IPCC en la mina podría generar la oportunidad de desistir de 2 camiones presentes actualmente en la flota.</p>		

