



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL CARGUÍO Y ACARREO
APLICANDO EL SISTEMA CONTROLSense EN
LA MINA CONSTANCIA, CUSCO, 2018**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR
BACH. AGREDA AJEN JUAN ALBERTO**

CAJAMARCA - PERÚ

2018

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi madre quien me ha apoyado para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ya que ella siempre ha estado presente para apoyarme moral y psicológicamente.

También la dedico a mi hija quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme y poder llegar a ser un ejemplo para ella.

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento de mi tesis es principalmente para Dios, quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza de seguir adelante.

A la Universidad Alas Peruanas, a mi Facultad de Ingeniería de Minas; a mis docentes por sus enseñanzas y por el apoyo constante que recibí para mi desarrollo profesional.

RECONOCIMIENTO

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Alas Peruanas, por brindarme sus enseñanzas y consejos a lo largo de mi carrera profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
CARÁTULA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RECONOCIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1. Delimitación espacial.....	2
1.2.2. Delimitación social.....	2
1.2.3. Delimitación temporal	2
1.2.4. Delimitación conceptual.....	2
1.3. Problemas de investigación	3
1.3.1. Problema Principal	3
1.3.2. Problemas secundarios.....	3
1.4. Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis y variables de la Investigación.....	4
1.5.1. Hipótesis general.....	4

	Pág.
1.5.2. Hipótesis secundarias	4
1.5.3. Variables (definición conceptual y operacional)	5
1.5.4. Operacionalización de las variables	6
1.6. Metodología de la investigación.....	7
1.6.1. Tipo y nivel de investigación.....	7
1.6.2. Método y diseño de la investigación.....	7
1.6.3. Población y muestra de la investigación.....	8
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	8
1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Antecedentes de la investigación.....	11
2.1.1. Antecedentes internacionales	11
2.1.2. Antecedentes nacionales	13
2.1.3. Antecedentes locales	16
2.2. Bases teóricas	18
2.2.1. Sistema ControlSense.....	18
2.2.2. Carguío y acarreo.....	27
2.3. Definición de términos básicos	35
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	37
3.1. Análisis de tablas y gráficos.....	37
3.1.1. Ubicación.....	37
3.1.2. Accesibilidad	38
3.1.3. Topografía y fisiografía general.....	38
3.1.4. Relieve y geomorfología.....	39
3.2. Situación actual del carguío y acarreo	39

	Pág.
3.2.1. Actividades principales en mina Constancia	40
3.2.2. Equipos implicados en carguío y acarreo	41
3.3. Productividad de los equipos en carguío y acarreo con ControlSense	44
3.3.1. Equipos de trabajos.....	44
3.3.2. Rendimiento en acarreo en Mina Constancia.....	44
3.3.3. Rendimiento en carguío en Mina Constancia	46
3.3.4. Productividad operativa Palas Hitachi EX5600 por guardia	47
3.3.5. Productividad operativa cargador frontal	48
3.3.6. Hang Palas Hitachi EX5600	48
3.3.7. Productividad de camiones 793F	49
3.3.8. Cola por guardia	49
3.3.9. Payload VIMS por guardia.....	50
3.3.10. Número de pases por guardia en palas.....	50
3.3.11. Tiempo esperando para descargar en chancadora (min).....	51
3.3.12. Usage de las palas Hitachi	51
3.4. Control de la productividad en tiempo real.....	52
3.4.1. Táctico Report SENSE	53
3.4.2. Pantalla optimización de flotas	54
3.4.3. Mapa Mina.....	54
3.4.4. Táctico fin de turno – Producción por material	54
3.5. Problemas en el acarreo de mineral en mina Constancia.....	59
3.5.1. Condiciones de las vías.....	59
3.5.2. Condiciones naturales	62
3.6. Optimización de vías de acarreo.....	65
3.6.1. Diseño de vías y rampas	65
3.6.2. Mantenimiento de las vías	69

	Pág.
3.6.3. Entrenamiento de los operadores de equipos	70
3.7. Evaluación de pérdidas en costos y tiempo	71
3.8. Proceso de contraste de hipótesis	71
3.8.1. Prueba de hipótesis general	71
3.8.2. Prueba de hipótesis específicas	71
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74
FUENTES DE INFORMACIÓN	75
ANEXOS	78
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	79
Anexo 2: Instrumento de Investigación: Ficha de reporte de carguío y acarreo	80
Anexo 3: Instrumento de Investigación: Ficha de parámetros de producción ..	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Camión CAT 793F.	41
Figura 2: Camiones Hitachi EH4000 – Ensamblado.	42
Figura 3: Pala Hitachi EX – 5600.	43
Figura 4: Cargador frontal CAT 994H.	43
Figura 5: Productividad de palas.	47
Figura 6: Productividad de cargador frontal.	48
Figura 7: Productividad de Hang Palas Hitachi EX5600.	48
Figura 8: Productividad de CAT793F.	49
Figura 9: Queue por guardia.	49
Figura 10: Payload VIMS por guardia.	50
Figura 11: Numero de pases.	50
Figura 12: Tiempo para descargar en chancadora.	51
Figura 13: Usage de palas hitachi.	51
Figura 14: Mapa de vías de acarreo en mina.	55
Figura 15: Parámetros de producción.	56
Figura 16: Parámetros de producción por equipos.	57
Figura 17: Parámetros de producción por equipos.	58
Figura 18: Cálculo de la gradiente de una rampa.	67
Figura 19: Grafica de Ancho de Vía considerando la Cuneta y Berma.	68

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de las variables.	6
Tabla 2 Incidencia de dólares perdidos en los equipos (US\$).....	71
Tabla 3 Ficha de reporte de carguío y acarreo.....	80
Tabla 4 Ficha de parámetros de producción.....	80

RESUMEN

El objetivo principal de esta tesis es aplicar el sistema ControlSense para optimizar el carguío y acarreo de la mina Constancia, además describir la situación actual del carguío y acarreo, determinar el rendimiento de los equipos aplicando el sistema ControlSense y finalmente determinar los parámetros de producción que intervienen en el carguío y acarreo.

La problemática radica en que la mina Constancia, el carguío y acarreo solo se realiza mediante un sistema de dispatch es por ello necesario realizar la optimización mediante el sistema ControlSense.

Esta investigación es importante para minimizar los tiempos sin uso o “tiempos muertos” de las maquinarias principales en el proceso de carguío y acarreo, por ende, mejorar la productividad de la empresa.

Se concluyó que el tiempo promedio en el acarreo de las tres guardias es 19.91 minutos. El tiempo promedio en el carguío de las tres guardias es 3.47 minutos. El rendimiento de los equipos de carguío y acarreo aplicando el sistema ControlSense es de, para los camiones es 584 ton/hora, para las palas es 3,751 ton/hora, para el cargador es 2,013 ton/hora.

Palabras Clave: **ControlSense, carguío y acarreo, optimización, equipos mineros.**

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to apply the ControlSense system to optimize the loading and hauling of the Constancia mine, in addition to describe the current loading and hauling situation, determine the performance of the equipment applying the ControlSense system and finally determine the production parameters that intervene in the loading and hauling. The problem lies in the fact that the Constancia mine, loading and hauling is only done through a dispatch system, therefore it is necessary to carry out the optimization through the ControlSense system. This research is important to minimize the time without use or "dead times" of the main machinery in the loading and hauling process, therefore, improving the productivity of the company. It was concluded that the average time in the hauling of the three guards is 19.91 minutes. The average time in the loading of the three guards is 3.47 minutes. The performance of the loading and hauling equipment applying the ControlSense system is, for trucks is 584 ton / hour, for the blades is 3,751 tons / hour, for the front loader is 2,013 tons / hour.

Keywords: ControlSense, loading and hauling, optimization, mining equipment.

INTRODUCCIÓN

Los grandes avances tecnológicos producidos en estos últimos años, ya sean en el orden de los procesos, así como en nuevos equipos del sector minero; la alta competitividad del mercado que obliga adaptar al máximo las prestaciones de los productos a las expectativas de los clientes y la mayor complejidad de los problemas analíticos funcionales, generan hoy en día dificultades en orden de extraer el máximo valor del uso conjunto de estas herramientas. Es un hecho admitido que las empresas para sobrevivir en un ambiente competitivo como el de hoy, deben responder rápidamente a los cambios del entorno reevaluando permanentemente sus operaciones tanto internas como externas.

Las operaciones unitarias de carguío y acarreo son las que generan el mayor costo de operación. Esto se debe principalmente al consumo de combustible y llantas. Por tal razón, lo que se busca es maximizar la productividad de la flota de equipos y por otro lado minimizar los tiempos muertos e improductivos para que al final se pueda trasladar la mayor cantidad de material con el menor costo posible.

Esta investigación se enfoca en la aplicación del software ControlSense, en el carguío y acarreo real de la operación a tajo abierto de la mina Constancia, el cual permita plantear escenarios alternativos con el objetivo de reducir las colas generadas en los frentes de trabajo, disminuir las pérdidas asociadas a estos tiempos de espera y aumentar el nivel de producción diario.

Esta tesis se dividió en tres capítulos, el Capítulo I, titulado Planteamiento Metodológico, comprende la realidad problemática, delimitación, objetivos, hipótesis, y metodología de la investigación.

El Capítulo II, comprende el Marco Teórico.

El Capítulo III, titulado Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados, se divide en aspectos generales, situación actual del carguío y acarreo, productividad de los equipos de carguío y acarreo, control de la productividad en tiempo real, problemas de vías de acarreo y la evaluación de pérdidas en costos y tiempos.

Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad se está realizando carguío y acarreo de producción en operaciones mineras, con sistemas (software) con el fin de optimizar tiempos y recursos.

Una de las razones para aplicar los software en operaciones en el mundo de la minería, es la necesidad de resolver las diferentes líneas de espera y almacenaje, muy comunes en esta industria. Otro de los motivos para el uso de los software es el requerimiento básico de pruebas retrospectivas; los sistemas reales con elementos estocásticos que son de difícil modelamiento matemático para su evaluación analítica, donde la simulación resulta ser el único tipo de investigación posible que puede ser usado repetidas veces una vez que el modelo ha sido construido; generalmente son más fáciles de aplicar que los métodos analíticos; la simulación no requiere de muchos supuestos para hacerlos manejables matemáticamente, como si los métodos analíticos.

Los software empleados en el carguío y acarreo son actualmente complementos indispensables, ya que permiten simular hasta una mina entera, asignación de maquinarias, vehículos, secuencia de producción, manejo de materiales que pueden ser evaluados para evitar actividades

costosas en tiempo y dinero; disminuir el riesgo de decisiones tempranas y explorar un campo más amplio de posibles soluciones.

En la mina Constancia, el carguío y acarreo solo se realiza mediante un sistema de dispatch es por ello necesario realizar la optimización mediante el sistema ControlSense.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La investigación se llevó a cabo al Sur-este de los Andes del Perú, en los distritos y Livitaca, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco; específicamente en la mina Constancia.

1.2.2. Delimitación social

En la investigación se contó con los trabajadores de la empresa MINE SENSE SOLUTIONS SERVICES S.A.C. quien ha sido contratada por la empresa HUSBAY MINERALS INC. Dueña de la mina Constancia, para implementar el sistema ControlSense en el sistema de carguío y acarreo de mineral.

1.2.3. Delimitación temporal

El estudio se inició el 01 de enero del 2018 y se pretende finalizar el 30 de junio del 2018, en este lapso se logró evaluar la implementación del sistema ControlSense para optimizar el carguío y acarreo de la mina Constancia.

1.2.4. Delimitación conceptual

Los conceptos mencionados a continuación, son todos aquellos que se tuvieron presente a lo largo de este proyecto de tesis:

- Carguío y acarreo
- Dispatch
- ControlSense
- Optimización

1.3. Problemas de investigación

1.3.1. Problema Principal

¿Cómo influye la aplicación del sistema ControlSense en la optimización del carguío y acarreo de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018?

1.3.2. Problemas secundarios

- ¿Cuál es la situación actual del carguío y acarreo antes de aplicar el sistema ControlSense y optimizar dicha área de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018?
- ¿Cuál es el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo al aplicar el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018?
- ¿Cuáles son los parámetros de producción que intervienen en el carguío y acarreo, al aplicar el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Aplicar el sistema ControlSense para optimizar el carguío y acarreo de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018.

1.4.2. Objetivos específicos

- Describir la situación actual del carguío y acarreo para aplicar el sistema ControlSense y optimizar dicha área de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018.
- Determinar el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo aplicando el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018.
- Determinar los parámetros de producción que intervienen en el carguío y acarreo, aplicando el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018.

1.5. Hipótesis y variables de la Investigación

1.5.1. Hipótesis general

Si se aplica el sistema ControlSense se optimizará el rendimiento de los equipos empleados en el carguío y acarreo de la mina Constancia, en la provincia de Chumbivilcas, departamento Cusco, 2018.

1.5.2. Hipótesis secundarias

- Si se describe la situación actual del carguío y acarreo se podrá evaluar la aplicación del sistema ControlSense y optimizar dicha

área de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018.

- Con la aplicación del sistema ControlSense se determinará el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018.
- Si se determinan los parámetros de producción que intervienen en el carguío y acarreo, se logrará aplicar el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018.

1.5.3. Variables (definición conceptual y operacional)

Variable 1: Sistema ControlSense.

Variable 2: Carguío y acarreo.

1.5.4. Operacionalización de las variables

Tabla 1
Operacionalización de las variables.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR
ControlSense	Independiente	Es un software desarrollado por mineros para mineros, posee una Interfaz intuitiva, Base de Datos de Strong, Eficiente y asequible. Sobre la base de un nuevo algoritmo de optimización de generación y las mejores prácticas de minería.	Actividades medidas por el software	Ready
				Delay
				Stand By
			Parámetros medidos por el software	Maint
				Disponibilidad física
				Productividad
Equipos implicados	Usage (%)			
	Palas Camiones mineros			
Carguío y Acarreo	Dependiente	Extracción y desplazamiento del material previamente fragmentado del frente de trabajo.	Análisis del proceso de carguío y acarreo	Evaluación de situación actual de equipos en carguío y acarreo
			Mejora del proceso de carguío y acarreo	Programa de mejora de la productividad

Fuente: Elaboración propia. (2018).

1.6. Metodología de la investigación

1.6.1. Tipo y nivel de investigación

a) Tipo de investigación

Se aplicó la investigación cuantitativa. Hernández (2006), afirma: “La investigación cuantitativa usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.” (p.4). En esta tesis se instaló el software ControlSense para obtener todos los datos correspondientes para determinar la optimización del carguío y acarreo.

b) Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo ya que se van a describir los datos actuales del rendimiento de equipos empleados en el acarreo, además de acuerdo a ellos se va a proponer las mejoras en dicho proceso (Hernández, 2006, p. 32).

1.6.2. Método y diseño de la investigación

a) Método de investigación

Se aplicó el método analítico. En este proyecto se observó y analizó la situación actual, luego se analizó datos reportados en el software ControlSense (Hernández, 2006, p. 56).

b) Diseño de investigación

El diseño de investigación fue experimental (Hernández, 2006), ya que para analizar los reportes del software ControlSense se requirió un proceso sistemático, en la cual el Tesista manipula una o más variables para controlar y medir cualquier cambio en otras variables.

1.6.3. Población y muestra de la investigación

a) Población

Se estudió el área de carguío y acarreo de la mina Constancia.

b) Muestra

Se analizó el reporte de los siguientes equipos:

- 3 Palas Hitachi.
- 1 Camión CAT.
- 19 Camiones 793F.
- 3 Camiones Hitachi.

1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Técnicas

- Observación directa
Para tomar los datos de reconocimiento.
- Análisis de datos del software
Se analizaron todos los reportes emitidos por el software ControlSense.
- Análisis Documental
Se recolectaron datos de fuentes secundarias. Libros, boletines, revistas, folletos, y periódicos se utilizan como fuentes para recolectar datos sobre las variables de interés. Para esta técnica se analizaron los documentos referentes a carguío y acarreo en la mina Constancia.

b) Instrumentos

Los instrumentos a emplearse para la elaboración del presente trabajo de investigación fueron:

- Ficha de reporte de carguío y acarreo.
- Ficha de parámetros de producción.

1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación

a) Justificación

La ejecución de los trabajos de optimización del carguío y acarreo con equipo mecanizado en labores de explotación es de mucha importancia para la mina principalmente por los costos. Por ejemplo, no se tiene un adecuado control de tiempo del equipo, de la misma forma el tiempo de carguío y acarreo desde el frente de la labor hasta la cámara de acumulación; dichos controles servirán para determinar la rentabilidad de la empresa minera. El presente proyecto de investigación se justifica plenamente en su ejecución y es de mucha importancia, ya que servirá como modelo para realizar la optimización de costos de carguío y acarreo con equipos mecanizados en la mina Constanca.

Este proyecto de tesis servirá a los estudiantes y profesionales que deseen adquirir conocimientos sobre optimización de carguío y acarreo mediante el sistema ControlSense como marco referencial.

b) Importancia

Esta investigación tiene por finalidad aplicar el sistema ControlSense lo cual es importante para optimizar el carguío y acarreo de la mina Constanca, y beneficia a la empresa HUBBAY MINERALS INC.

Esta investigación es importante para minimizar los tiempos sin uso o “tiempos muertos” de las maquinarias principales en el proceso de carguío y acarreo, por ende, mejorar la productividad de la empresa.

Este proyecto de investigación servirá como base para la realización de la tesis profesional para obtener el título de Ingeniero de Minas. Asimismo, sirve como fuente de información para todas las personas que necesiten información acerca de la aplicación del sistema ControlSense.

c) Limitaciones

Por ser el Sistema ControlSense tecnología de reciente aplicación y utilización en el Mundo y el sistema convencional de uso solo en equipos con Control Electrónico, la información es escasa, publicada en Ingles y manuales propios de los fabricantes de estas tecnologías, los cuales son difíciles de acceder o conseguir en el mercado o aulas de estudios.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Lagos, (2012). Presentó su Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil de Minas, titulada: *Gestión Operativa del Sistema de Despacho – Estudio Técnico y Económico*, a la Universidad Nacional de Chile, Santiago. Se concluyó que durante el ciclo operativo se observa como los tiempos asociados al estatus efectivo cambian a un estado de pérdidas operacionales y viceversa, produciendo diferencias en la distancia de los ciclos, tiempos de acuatamiento y de carga, lo que genera alteraciones en el sistema de despacho, tanto en la PL como PD. Esto ocurre por la precisión que tiene el operador al digitar en el Goic las diferentes acciones, pues el sistema Dispatch está diseñado para operar en base a condiciones óptimas del ciclo de acarreo, por lo que el sistema asume que cada operación que hace el operador en la consola está asociada a una maniobra, lo cual no siempre es cierto. Las llegadas de camiones a los puntos de carga y descarga son habitualmente en grupos

y a intervalos de tiempo muy cortos, lo que tiene un impacto en los tiempos de espera. Esto se observa principalmente en las palas que cargan mineral (no más de un 40% del total de la flota de equipos de carguío) que tienen una alta asignación y la distancia de ciclo asociado a estos puntos es particularmente más larga, lo que genera un aumento de la Pérdidas Operacionales. Es ideal una frecuencia controlada y constante en la llegada de camiones a destino a intervalos que permitan a su llegada, maniobrar sin tener camiones que lo antecedan.

Vásquez, (2013). Presentó su Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil, titulada: *Evaluación del Rendimiento de Diferentes Tipos de Rodaduras para la Optimización del Ciclo de Acarreo y Transporte del Material en Tunelería*, a la Universidad San Carlos de Guatemala. Se concluyó que dentro de las operaciones unitarias el acarreo y transporte es la que abarca mayor cantidad de análisis, ya que se encuentran directamente ligadas entre sí a través de un alto costo de ejecución, por lo tanto, el dimensionamiento de la flota adecuada considera las dos operaciones unitarias como un conjunto, debiendo recurrir al análisis de distintas combinaciones de equipos. El trabajo respecto al ciclo de cargue y acarreo de material rocoso resultante de una voladura puede ser mejorado a través de la implementación de una carpeta de rodadura y procedimientos que garanticen el buen uso de la maquinaria y equipo. La ejecución de una carpeta de rodadura debe de ir ligada a una capacitación constante con el personal operativo para obtener una reducción de costos considerable, implementando nuevos conocimientos en el manejo de la maquinaria. El alto costo inicial y el paro de actividades son razones por las cuales no se ejecuta un proyecto que garantice la producción continua, pero estadísticamente es posible optimizar costos de forma ascendente (mientras aumente el número de la flota de camiones y scooptram el ahorro sería mayor) solamente en lo referente a los neumáticos de la maquinaria.

Rojas, (2012). Presentó su Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil Industrial, titulada: *Análisis, Estudio y Determinación de los Requerimientos de Información para la Implementación de un Sistema de Control de Indicadores*, a la Universidad del Bío-Bío. Chile. Se concluyó que el determinar los requerimientos de información de un Sistema de Información para la DECG contribuirá a mejorar el proceso de gestión divisional, así como también la entrega eficiente y con alta confiabilidad de la información requerida. Además, el Sistema permitirá centralizar en un solo lugar, el cual figurara frente a todos los estamentos como el lugar oficial donde se encuentran los indicadores de gestión divisional, todos los indicadores de gestión de las gerencias involucradas, lugar específico y valido cien por ciento para obtener estos, lo que facilitara su consulta para quien lo desee ya que la información contenida ha sido obtenida y validada por los procesos. El cambio del concepto de dato único significo establecer con certeza cuales son las variables claves y cuando están disponibles, ya que al inicio del proyecto se llamaba confiables a las variables donde estas se generaban, pero no siempre ahí estaba el dato valido, en algunos casos este es validado en otro lugar y con otro método. Con respecto a los requerimientos de sistema, se puede señalar que existe la infraestructura informática para desarrollar y poner en funcionamiento el sistema planteado, ya que su nivel de complejidad en cuanto a programación no es elevado. El planteamiento de un sistema dinámico donde se puedan crear y modificar los indicadores agregando o quitando variables fue muy bien aceptado ya que la información contenida en estos es dinámica y por lo general cambia de periodo en periodo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Gómez, (2017). Presentó su Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas, titulada: *Disponibilidad de Equipos Auxiliares para Optimizar la Productividad en el Carguío y Acarreo de las Fases 01,03 y 07 del Tajo Constancia Empresa Especializada Stracon Gym S.A*, presentada a la

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Se realizó la metodología necesaria para lograr la disponibilidad de los equipos auxiliares optimizando las operaciones de carguío y acarreo en los tajos de mina Constancia en las condiciones de climas severos de 61 846 267 Toneladas/año a 70 279 849,00 toneladas por año. La productividad alcanzada durante la temporada crítica siempre fue menor a lo planeado; aunque superior en comparación a la temporada crítica del año anterior (2015) donde no se aplicó el monitoreo remoto MINE SENSE y además no existía la flota óptima de acarreo. Con los equipos de carguío, palas hidráulicas, se tiene una producción de material para movimiento de tierras hacia el TMF la presa de relaves de 650 TM/h, un costo unitario de 0,305 US\$/TM (acarreo) y una eficiencia operativa potencial de 97.00 %. El costo unitario óptimo del carguío y acarreo bajó de 0,7666 US\$/TM (con 22 camiones) a 0,6746 US\$/TM (con un óptimo de 25 camiones). Al realizar las mejoras en el mantenimiento de vías se generó mayor seguridad al personal de Operaciones Mina mediante el estado óptimo de las vías en el proyecto. Se maximizó la utilización de los camiones mineros CAT 793F e Hitachi EH4000; los mismos que por los factores de velocidad, capacidad, etc. probaron mayor eficiencia.

Quispe, (2017). Presentó su Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas, titulada: *Optimización de Costos de Acarreo con Equipo Mecanizado en la Unidad Minera Tambomayo CIA. de Minas Buenaventura Arequipa*, presentada a la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Para la realización del presente trabajo de investigación, en su etapa inicial se ha analizado el costo del equipo, el ciclo de acarreo del equipo utilizado en las operaciones del Nivel 4590 Crucero 339 NW, y se ha determinado el rendimiento del equipo, antes de realizar la investigación y posterior a ella. Se ha logrado determinar los tiempos óptimos tales como: tiempo de limpieza de un frente, tiempo de ida (sin carga), tiempo de retorno (con carga), rendimiento del equipo LHD 3.2 yd3 (Scoop) en el crucero 339 NW del Nivel 4590. Los resultados alcanzados son: Tiempo de ida sin carga de 2.5 a 2.3

minutos, el tiempo de retorno con carga se ha optimizado de 3.5 a 2.7 minutos, determinándose como resultado que el tiempo de limpieza de un frente de disparo se ha optimizado de 1.98 a 1.60 horas, para una distancia de 200 m, Se ha tomado esta distancia por recomendaciones de los fabricantes quienes en sus manuales indican que el desplazamiento óptimo de esta máquina es el señalado. Mayor a esta distancia el rendimiento de la maquina se reduce. Además, se ha optimizado la productividad del scoop 4.2yd³ que aumento de 25.98m³ /h a 30.44m³ /h en lo referido al rendimiento del equipo, siendo esto de suma importancia, ya que, con la disponibilidad de la máquina, se realiza otros trabajos en acarreo y limpieza de más frentes de avance.

Silvestre, (2015). Presentó su Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas titulada: *Optimización de Flota de Camiones Aplicando Programación Dinámica - Mina Corihuarmi*, presentada a la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima. En la Mina Corihuarmi se reportaban los costos de carguío y acarreo en 0.72 \$/TM, por lo que se requiere hacer una optimización de la flota de volquetes para obtener una reducción de los costos de las operaciones mineras mencionadas anteriormente, con el fin de realizar una mejora en el proceso productivo. La hipótesis de la presente investigación se ha verificado en la Mina Corihuarmi – Minera IRL S.A en la reducción de los costos de Carguío y Acareo, enfocado en el mejoramiento de la eficiencia de producción. La metodología en la presente tesis se empleó datos de campo, indicadores de confiabilidad de los equipos, mediciones con instrumentos y cálculo de gabinete. Haciendo uso de la Programación Dinámica Probabilística en el sistema de carguío y acarreo de la mina se logró determinar la asignación óptima de N° Volquetes a cada excavadora de la mina; es decir 7 Volquetes a la Excavadora N°1 y 6 Volquetes a la Excavadora N°2 obteniendo una reducción de costos a 0.57 \$/TM.

Olazabal, (2014). Presentó su Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas, titulada: *Factibilidad del Cambio de Sistema de Control de*

Mina en La Unidad Minera Toquepala, presentada a la Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima. Se concluyó que el cambio tecnológico al sistema Minestar resulto beneficioso para la mina Toquepala. Teniendo como saldo positivo un ahorro y esto hace que el sistema se pague solo y justifique la inversión teniendo como retorno de inversión en pocos meses. Se redujo el costo de minado por tonelada proyectado para el 2014 de 1.92 \$/tn a 1.44\$ /tn hasta fines de febrero, producto de una mejora en la producción y gracias a una mejor asignación de equipos reduciendo tiempos muertos y colas. Se obtuvo una mejora en la disponibilidad, rendimiento y utilización de los equipos de carguío, acarreo y perforación gracias al cambio tecnológico. Con respecto a Palas se mejoró en 3% la disponibilidad operativa, en 4% la utilización efectiva y 4% en rendimiento en promedio. En Volquetes mejoró en 4% la disponibilidad operativa, en 3% la utilización efectiva y 5% el rendimiento en promedio con respecto al Sistema de Control de Mina anterior. Con respecto a las Perforadoras con el nuevo de Sistema de Control Minestar mejoró en 4% la utilización efectiva de las mismas.

2.1.3. Antecedentes locales

Huamán, (2015). Presentó su Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas titulada: *Estudio Comparativo entre el Sistema Minestar Health y el Sistema Convencional en el Control de Camiones Mineros en Minera Gold Fields La Cima, Cajamarca – 2015*, presentada a la Universidad Privada del Norte - Sede Cajamarca. Se concluyó que el Sistema Convencional necesita de personal especializado para realizar su evaluación en el área de trabajo. Se pierde la información del equipo. El Sistema Convencional no tiene un costo inicial, su costo de operación es de 2.72 US\$/hora. El Sistema Minestar Health es utilizado como un Sistema adicional en todos los Camiones Mineros con Control Electrónico. El Sistema Minestar Health permite las descargas durante las 24 horas del día y evaluación del equipo en tiempo real; no se pierde la información recolectada del equipo. El Sistema Minestar Health tiene un costo inicial alto; su costo de operación es de 1.14 US\$/hora. La

selección del Sistema de Control de Camiones de Acarreo, se realizó mediante las descripciones técnicas – económicas y la evaluación por medio del uso de fórmulas, observación directa y cuadro de rendimiento del fabricante. Se seleccionó al Sistema de Control Minestar Health el cual permite mejorar el rendimiento de los Camiones de Acarreo y reduce los costos de Acarreo en un 15%.

Domínguez, (2012). Presentó su Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas titulada: *Optimización del Carguío y Acarreo por Zublin Chile Caso Minera Yanacocha*, presentada a la Universidad Nacional de Ingeniería - Lima. Se concluyó que, con los parámetros de orden y control, comunicación a todo nivel, buen liderazgo, monitoreo operativo, cuidado de equipos, preparación y conservación de accesos de operación, se puede llegar a aproximarse a una producción real y a conseguir la flota optima requerida para distintos ritmos de producción al menor costo. De esta manera se puede optimizar toda la operación de movimiento de materiales en cualquier tajo abierto, obteniendo así, mayor productividad. La designación de ubicaciones para rutas de acarreo, pendientes y curvas, materiales utilizados para la construcción de suelos para los accesos, construcción de drenajes oportunos y eficientes; si los relacionamos con los recorridos de camiones cargados y vacíos, son factores importantes que se deben considerar para planificar y/o mejorar las rutas, bajando los costos de transporte, combustible, neumáticos, etc.

Cáceres, (2012). Presentó su Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas, titulada: *Aplicación de Alta Precisión con ControlSense en la Perforación de Mallas de Producción en CIA. Minera Yanacocha SRL*, presentada a la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. La perforación en la mina Yanacocha se ha venido realizando de manera tradicional, para la ubicación del punto ha sido necesario realizar un levantamiento topográfico y la ubicación del hole con GPS diferencial, a la vez es necesario contratar mayor número de personal los mismos que son

expuestos a inseguridades laborales. El software Control Sense que a su vez cuenta con un sistema de alta precisión de ubicación que sólo requiere descargar la malla de perforación y ubicarse en el punto exacto con un margen de error máximo en milímetros, además de ello este software controla la inclinación del taladro en tan sólo pocos minutos. Se aplicó el software Control Sense en la mina Yanacocha donde se obtuvo la data en tiempo real ligada a información geológica y geotécnica, a su vez se obtuvo control de tiempo y costos para realizar la comparación en torno a una perforación tradicional. La optimización en perforación se ve reflejado en tiempo y costo, de acuerdo a los cuadros comparativos elaborados, el ahorro del tiempo es en un 70% y en costos no es mayor a 200 dólares.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema ControlSense

Control Sense es un software desarrollado por mineros para mineros, posee una Interfaz intuitiva, Base de Datos de Strong, Eficiente y asequible. Sobre la base de un nuevo algoritmo de optimización de generación y las mejores prácticas de minería.

La última tecnología en hardware con alta utilidad con GPS y buena sensibilidad comercial. Los sensores electrónicos cuidadosamente seleccionados y colocados en los equipos de carguío y acarreo.

Ocupa poco espacio en la cabina. Software fuerte, robusto y simple, con la base de datos adaptable. Enfoque de alta resolución en tiempo real. Alta capacidad de adaptación y de fácil integración con sistemas similares. Utilizado de sistema de programación ligero y fuerte (Cáceres, 2012).

2.2.1.1. Sistema de monitoreo y gestión de flotas

En cualquier negocio que dependa de maquinaria y vehículos, resulta fundamental desarrollar una administración eficiente de la flota de los mismos. En los últimos años, varias empresas implementaron sistemas de gestión de flota basados en la tecnología GPS y software, lo que les ha permitido monitorear y controlar no sólo la ubicación de sus máquinas o camiones, sino también su funcionamiento, productividad y la seguridad de sus operarios y cargas (Cáceres, 2012).

2.2.1.2. Komtrax Plus - Komatsu

Komtrax Plus es el sistema de monitoreo desarrollado por Komatsu para máquinas de minería. Abordo del equipo, el sistema recopila continuamente información sobre el funcionamiento de sus principales componentes gracias a una amplia red de sensores y controladores. Esta información es transmitida por la red mundial de satélites las 24 horas del día y es puesta a disposición en un sitio web cifrado y seguro, pudiendo acceder a él desde un dispositivo con internet.

Komtrax Plus trae nuevas mejoras como la inclusión de antenas GPS de fábrica para equipos de minería que anteriormente venían solo en equipos de construcción. Así mismo, si se desea actualizar un equipo que no tiene antena GPS esto se puede realizar a través de un kit retrofit. Las aplicaciones del GPS en equipos de minería son variadas, entre ellas el seguimiento de rutas, visión de la ubicación de equipos y flotas, asignación de territorios, entre otras (Cáceres, 2012).

2.2.1.3. Funcionamiento del Komtrax Plus

Equipment Care es la nueva plataforma de administración de equipos Komatsu que nace con el objetivo primordial de

incrementar la productividad del cliente. Equipment Care (EQP Care) consolida la información transmitida a través de Komtrax Plus en una vista amigable pero potente, permitiendo la visión del estado de toda la flota, así como cada equipo de manera individual (Lagos, 2012).

2.2.1.4. Camiones autónomos

Komatsu se pone a la vanguardia de la tecnología minera al poner en operación los camiones autónomos 930E-4AHT de 300 Tn para minería superficial; estos equipos dotados de cámaras, radares y dispositivos de posicionamiento global operan 24 horas continuas haciendo paradas solo por mantenimiento de rutina y reabastecimiento de fluidos.

Los camiones autónomos son más que camiones sin operadores, son un complejo sistema automático de interacción colectiva; equipos capaces de reconocer la proximidad de otro vehículo, detectar de obstáculos e incluso de detenerse inmediatamente si una persona cruza su ruta. Su comando computarizado desarrollado por Modular Mining®, empresa de propiedad de Komatsu, en adición a la tecnología de punta del camión eléctrico Komatsu, proporciona capacidades de seguimiento de ruta, aceleración y frenado extremadamente precisas, con resultados directos en ahorro de combustible, duración de neumáticos y vida útil de los componentes.

Estos equipos operan produciendo diariamente en la mina Gabriela Mistral en Chile y son una muestra del nivel de capacitación requerido por el profesional en la minería del futuro (Lagos, 2012).

2.2.1.5. Monitoreo vía GPRS – DCP

Distribuidora Cummins del Perú (DCP), subsidiaria de Komatsu-Mitsui, realiza el monitoreo remoto a los motores Cummins en los equipos 730E, 830E y 930E, gracias a la comunicación móvil GPRS y un desarrollo local que enlaza el servidor localizado en las oficinas del Callao con el motor operando en mina en tiempo real para analizar sus parámetros, emitir un diagnóstico y soportar al personal en faena. Esta tecnología está operando en minas como Lagunas Norte (Barrick), Toquepala y Cuajone (Southern), Antamina, entre otras. (Domínguez, 2012)

2.2.1.6. Jigsaw – Leica

Leica Jigsaw es el recurso clave para controlar, monitorear, administrar y optimizar las operaciones mineras. La plataforma de segunda generación de Leica Jigsaw unifica sin problemas los tres niveles principales de las operaciones mineras: gestión y optimización de flota, orientación precisa y control autónomo, para ofrecer una solución total de gestión de la mina. (Cáceres, 2012)

La plataforma Jigsaw de Leica Geosystems-empresa líder mundial en tecnología de medición- establece un punto de referencia en la industria por su independencia, funcionalidad, flexibilidad y escalabilidad OEM (fabricante de equipo original). A través de su capacidad de ampliación, Leica Jigsaw actualmente respalda con éxito las operaciones de más de 100 minas en 20 países de todo el mundo. (Cáceres, 2012)

El monitoreo Leica Jigsaw de próxima generación de Leica Geosystems y las soluciones de orientación por GPS ponen al descubierto la productividad de la mina, con una gama de productos revolucionarios para dragalinas, perforación de barrenos, palas eléctricas, tractores, excavadoras, camiones de transporte, cargadores otros equipos auxiliares. (Cáceres, 2012)

El software de análisis y presentación de informes en tiempo real de última tecnología proporciona a los usuarios las herramientas necesarias para mantenerse a la vanguardia mediante un control eficiente de los recursos y los equipos. ¿El resultado? Toma de decisiones basadas en información, productividad optimizada y un rendimiento sin precedentes para una producción máxima de la mina. (Cáceres, 2012)

En el corazón del Leica Jigsaw existe Jmineops, una aplicación central que integra a la perfección todos los aspectos de sus operaciones mineras, ya sea el sistema de orientación de una dragalina o la asignación de un camión.

Jmineops ofrece distintas soluciones: Jfleet, J2guidance y J3autonomous. (Cáceres, 2012)

Jfleetes la solución para una gestión y optimización de vanguardia de flota, lo que maximiza la productividad y los costos de los controles de operación, garantizando un nivel básico de seguridad. Utilizando algoritmos de optimización de tercera generación para maximizar el rendimiento de los camiones y de la pala, Jfleet ofrece información confiable, precisa y en tiempo real sobre la posición y la producción. Jfleet minimiza el tiempo de inactividad del equipo y de la pala y puede ser fácilmente actualizado al potencial de J2guidance. (Cáceres, 2012)

- J2guidance. Es la solución para la orientación de alta precisión por GPS de Leica Jigsaw para tractores, excavadoras, palas y dragalinas. J2guidance proporciona toda la información de Jfleet, con ventajas añadidas de orientación de alta precisión por GPS para una navegación precisa. (Cáceres, 2012)
- J3autonomous. Es la solución a control remoto semiautónoma de Leica Jigsaw para sus equipos de minería.

Leica Geosystems se ha asociado con líderes mundiales en soluciones robóticas para ofrecer una amplia gama de productos independientes OEM para ayudar a automatizar su operación minera. (Cáceres, 2012)

- Jtruck. Es una solución para el seguimiento del ciclo de transporte. Maximiza la eficiencia y minimiza el tiempo de detención del trabajo. Reduce el tiempo de espera, reduce los costos de combustible, y posee indicadores clave de desempeño para los operadores y administradores en tiempo real. Muestran la ubicación de todos los equipos de minería en tiempo real, y se presenta "la mejor ruta de acceso" al operador, así como el registro de derrames y otros peligros. (Cáceres, 2012)
- Jshovel. Pone énfasis en la producción y la optimización mostrando datos de la carga útil en tiempo real de camiones cargados. Muestra la ubicación de todos los equipos de minería en tiempo real, muestra la hora estimada de llegada de todos los camiones en ruta. Tiene una pantalla de polígonos de bloques de materiales e indicadores clave de desempeño en tiempo real. (Cáceres, 2012)
- Jdozer. Se centra en el área de trabajo circundante tanto para tractores de ruedas como de oruga. Captura con precisión todos los tiempos de producción, incluyendo el mantenimiento y los retrasos, así como indicadores clave de desempeño en tiempo real para los operadores y administradores. Muestra la ubicación de todos los equipos de minería en tiempo real para ayudar en la gestión y supervisión de tareas/actividades. (Cáceres, 2012)
- Jdragline. Es el monitor de dragalina más avanzado del mundo que ha marcado un hito en la industria ya que brinda

datos como captura de carga útil por cada balde, indicadores clave de desempeño para el operador en tiempo real, y captura automática de todos los datos del ciclo. También cuenta con alarmas a bordo, tales como alarmas de sobrecarga y detención; detención y retroalimentación de retrasos; pesos de los cangilones, tiempos de ciclo, número de oscilaciones, posicionamiento de la perforación y vertimiento. (Cáceres, 2012)

2.2.1.7. Minestar – Caterpillar

La plataforma MineStar de Caterpillar, representada por Ferreyros, ya está presente en el Perú, en operaciones de gran minería. MineStar se puede entender como un set que reúne cinco módulos tecnológicos (Health, Detect, Fleet, Terrain y Command), que en conjunto permiten realizar el monitoreo, administración y control de todos los equipos de movimiento de tierra en la mina. El objetivo es aumentar la productividad en mina al mejorar la eficiencia en la operación de los equipos, reducir sus costos y elevar la seguridad. (Gómez, 2017)

Estos módulos pueden trabajar también de manera independiente, así como personalizarse de acuerdo a cada proyecto minero, de acuerdo a sus necesidades y prioridades. (Gómez, 2017)

- Módulos MineStar clave para la gestión de flotas. Dos componentes de MineStar son clave para la gestión de flotas: los módulos Fleet y Terrain. El primero cuenta con funciones estratégicas que incluyen el rastreo, la asignación y la administración de las máquinas en tiempo real. Fleet opera con todo tipo de equipos de movimiento de tierra. (Gómez, 2017)

Este módulo permite programar y asignar los equipos en la operación, ello maximiza la producción y la utilización de los equipos, minimiza el tiempo de espera y ayuda a administrar los cambios de turnos de trabajo. Por otro lado, Fleet permite que el personal de administración de la mina haga un seguimiento remoto, en tiempo real, de la flota (accediendo a parámetros clave como el tiempo de ciclo y la carga útil). Además, supervisa la posición de cada máquina y el movimiento del material, con alertas a los operadores y controladores; mejora la gestión de equipos auxiliares; y puede compartir datos con otros sistemas electrónicos de administración de minas. (Gómez, 2017)

Por su parte, el módulo Terrain ayuda a ejecutar con alta precisión las operaciones de perforación, nivelación y carguío de equipos tales como palas, cargadores frontales y perforadoras, a través de la tecnología de guiado en tiempo real. El sistema da “feedback” a los operadores en su propia cabina, y al personal de administración de la mina, vía remota, mostrando la posición exacta de la máquina dentro de su área y el avance de producción según el plan. Además, Terrain alerta de zonas de riesgo predeterminadas y muestra la posición de otros equipos en el área, brindando un reconocimiento más completo del entorno para una mayor seguridad. (Gómez, 2017)

Igualmente, este módulo ofrece también información a los administradores y planificadores en mina para controlar, rastrear e informar con precisión varios procesos mineros, como la cantidad y los tipos de material trasladado según el plan, la ubicación de las máquinas, el estado de la operación, etc. (Gómez, 2017)

- Módulo MineStar clave para el monitoreo. El módulo Health de MineStar es hoy una herramienta estratégica de monitoreo para la minería. Se centra en la salud de toda la flota, ofreciendo una herramienta muy potente de análisis y diagnóstico, para supervisar el estado de los equipos ya que el sistema permite ver remotamente todos los signos vitales del equipo en tiempo real.

De esta manera, se alerta de tendencias que podrían afectar la operatividad del equipo para tomar acción oportuna, se reducen paradas imprevistas e innecesarias y se contribuye a un mantenimiento más eficiente, con un enfoque predictivo, contribuyendo así a un importante ahorro de tiempo y recursos. Además, se disminuye la frecuencia de acceso del personal de mantenimiento a las máquinas, lo que impacta positivamente en la seguridad y en la gestión de los recursos. (Gómez, 2017)

Respecto a los dos módulos restantes, se puede mencionar que Detect amplía la visibilidad de los operadores de equipos mineros, minimizando los puntos ciegos y detectando la proximidad de otros equipos, mientras que Commandune las capacidades de los cuatro módulos anteriores, ampliando al máximo las posibilidades de integración, seguridad, productividad y disponibilidad de la mina. (Gómez, 2017)

2.2.1.8. Sistema de monitoreo Product Link

Complementariamente, y con un foco especial en empresas cuyas máquinas se encuentran en constante movilidad (contratistas mineros o empresas de construcción, por ejemplo), Ferreyros cuenta con el sistema de monitoreo satelital Product Link, con el que cuentan más de 4,000 máquinas Caterpillar en todo el Perú. (Ríos, 2013)

El Product Link permite acceder a información estratégica de los equipos -a través de Internet- a datos clave como consumo de combustible, alertas de una operación inadecuada, identificación de eventos diversos en el equipo, horas de trabajo en carga y en vacío, localización geográfica de cada unidad y recordatorios de los mantenimientos preventivos. La información de la máquina y de la flota puede visualizarse en una plataforma web que facilita el análisis de los datos y ofrece flexibilidad para acceder a información de una máquina individual o de una flota completa. De esta manera el cliente pueda elevar la productividad y disponibilidad de sus máquinas, detectar a tiempo eventos y planificar los mantenimientos preventivos y correctivos. (Ríos, 2013)

2.2.2. Carguío y acarreo

Dentro de los procesos productivos de mayor costo se encuentra el carguío y acarreo de material, debido a que es el proceso con mayor cantidad de equipos involucrados, alto grado de mecanización, menor rendimiento productivo por equipo y constituye un proceso de operación prácticamente continuo y lento.

El carguío tiene como objetivo retirar el material tronado desde una pila dispuesta de forma tal que facilite la extracción de material hacia la planta y/o botaderos, como a puntos intermedios. Por su parte, el transporte consiste en el movimiento de materiales desde los puntos de extracción (carguío) hacia los diferentes destinos (Marca, 2014).

2.2.2.1. Productividad carguío

En el área de carguío es necesario conocer las consideraciones para mejorar la productividad, son las siguientes (Marca, 2014):

- A mejor carga útil o payload, mayor productividad (depende del tipo de camión).

- A mejor uso del equipo (menos demoras) mayor productividad.
- A menor tiempo de carguío, mayor productividad (depende del tipo de camión)
- Con mejores condiciones para el cuadrado de camiones (menor tiempo de cuadrado o spot), mayor productividad.

2.2.2.2. Productividad de acarreo

Simultáneamente en el área de acarreo se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones (Mauricio, 2015):

- A mejor carga útil o Payload, mayor productividad.
- A mayor distancia y velocidad, mayor productividad.
- A mejor uso del equipo (menos demoras) mayor productividad.

2.2.2.3. Equipos de Carguío

En minería a cielo abierto, uno de los equipos de carguío más utilizado es la Palas hidráulica, ya que son de bajo costo por unidad de producción y requieren de grandes volúmenes de material volado porque tienen poca movilidad para trabajar en varios frentes de carguío al mismo tiempo, son flexibles debido a que puede combinarse con varios modelos de camiones (Ríos, 2013).

2.2.2.4. Equipos de Acarreo

El camión corresponde a la unidad de transporte utilizada en explotación de minas a tajo abierto, Los camiones mineros están especialmente diseñados para acarrear tonelajes mayores, hasta 260 Ton. Los equipos de transporte trasladan el material a su destino final, ya sea a botaderos, planta o pad (Ríos, 2013).

2.2.2.5. Cálculo de la productividad de equipos de transporte

Según el artículo en Minería de Educar Chile, sobre la Productividad de Los Equipos de Carguío. La productividad de estos equipos depende de la capacidad de la tolva y del número de viajes que pueden realizar en una hora. La capacidad de la tolva está definida por construcción y por las características del material a transportar (densidad, tamaño de material fragmentado, esponjamiento, etc.). El número de viajes por hora dependerá del peso del vehículo, la potencia del motor, la distancia de transporte y condiciones del camino tales como pendiente, resistencia a la rodadura (Ríos, 2013).

Se pueden distinguir tres valores diferentes para la productividad, cada uno de los cuales tiene un significado y uso diferente.

- Productividad teórica

Corresponde al peso o volumen por hora producido por una unidad en operación si no ocurren retrasos o pausas en la producción. Indica el potencial máximo productivo de un equipo, lo que muy raramente ocurre en la práctica (Ríos, 2013).

(1) Tiempo de ciclo de transporte (min)

(2) Capacidad nominal del equipo (ton)

(3) Factor de esponjamiento (fracción en %)

(4) Densidad de material esponjado (ton/m³)

(5) Productividad (ton/hr) $(5) \text{ (ton/hr)} = 60 \text{ (min/hr)} \times (2) \text{ (ton)} / (1) \text{ (min)}$

(6) Tasa de remoción de volumen in situ (m³/hr)

(7) $(6) \text{ (m}^3\text{/hr)} = 60 \text{ (min/hr)} \times (2) \text{ (ton)} / [(1) \text{ (min)} \times (3) \times (4) \text{ (ton/m}^3\text{)}]$

- Productividad promedio

Corresponde al peso o volumen por hora producido por una unidad en operación, considerando retrasos fijos y variables. Esta tasa de producción debe aplicarse al periodo de tiempo deseado (día, turno) para estimar la producción total (Ríos, 2013).

(1) Duración del período de tiempo (hr)

(2) Retrasos fijos (hr)

(3) Eficiencia de trabajo (retrasos variables) (fracción)

(4) Capacidad nominal del equipo (ton)

(5) Tiempo de ciclo de transporte (min)

(6) Densidad del material in situ (ton/m³)

(7) Factor de esponjamiento (fracción)

(8) Productividad (ton/hr)

(8) (ton/hr) = 60 (min/hr) x [(1) (hr) – (2) (hr)] x (3) x (4) (ton) / [(1) (hr) x (5) (min)]

(9) Tasa de remoción de volumen in situ (m³/hr)

(9) (m³/hr) = 60 (min/hr) x [(1) (hr) – (2) (hr)] x (3) x (4) (ton) / [(1) (hr) x (5) (min) x (7) x (6) (ton/m³)]

- Productividad máxima

Corresponde al peso o volumen por hora producido por una unidad en operación, considerando sólo retrasos variables. Esta tasa de producción debe aplicarse para determinar el número de unidades de transporte asignadas a una pala, para lograr cierta producción requerida (Ríos, 2013).

(1) Eficiencia de trabajo (retrasos variables) (fracción)

(2) Capacidad nominal del equipo (ton)

(3) Tiempo de ciclo de transporte (min)

(4) Densidad del material in situ (ton/m³)

(5) Factor de esponjamiento (fracción)

(6) Productividad (ton/hr)

(6) (ton/hr) = 60 (min/hr) x (1) (hr) x (2) (ton) / (3) (min)

(7) Tasa de remoción de volumen in situ (m³/hr)

$$(7) \text{ (m}^3\text{/hr)} = 60 \text{ (min/hr)} \times (1) \text{ (hr)} \times (2) \text{ (ton)} / [(3) \text{ (min)} \times (5) \times (4) \text{ (ton/m}^3\text{)}]$$

a. Tiempo de transporte

El tiempo de transporte está determinado por el peso del equipo y las condiciones de la vía. Si no hay restricciones por razones de seguridad o por condiciones laborales, la velocidad de transporte dependerá de la calidad y pendiente del camino y del peso del equipo de transporte y su carga. Una característica importante en la operación de estos vehículos es que deben moderar la velocidad de manera de que los frenos funcionen sin superar la capacidad de enfriamiento del sistema.

El cálculo de velocidades de estos camiones depende entonces de la pendiente de bajada. Se define la resistencia por pendiente como el esfuerzo de tracción necesario para sobreponerse a la gravedad y permitir el ascenso del vehículo en una vía con pendiente positiva (es decir, una vía que asciende). Corresponde a 1% del peso del vehículo por cada 1% de pendiente. Por ejemplo, un camino con 5% de pendiente tiene una resistencia por pendiente de un 5% del peso total movilizado (peso del camión más el peso de la carga). Además de la resistencia por pendiente, se tiene la resistencia a rodar de los neumáticos del vehículo, que corresponde al esfuerzo de tracción necesario para sobreponerse al efecto retardatorio entre los neumáticos y la vía.

A modo de ejemplo, para un camino bien mantenido y seco de tierra y grava, la resistencia es de 2% del peso movilizado. Para el cálculo de la velocidad a la que el vehículo, cargado o descargado, puede enfrentar los

distintos tramos del recorrido de transporte que debe salvar, se utilizan los gráficos de rendimiento que los proveedores de los vehículos de transporte entregan (Olazabal, 2014).

Los factores a considerar son:

- Pendiente
- Condiciones de la vía
- Resistencia total = resistencia por pendiente + resistencia a rodar
- Peso del equipo
- Peso de la carga
- Curva de rendimiento del equipo para las distintas marchas del motor.

b. Factores del tiempo

Tiempo operativo: corresponde al tiempo en que el equipo está entregado a su operador y en condiciones de realizar la labor programada.

Este tiempo se divide en (Mauricio, 2015):

- Tiempo efectivo: corresponde al tiempo en que el equipo está desarrollando sin inconvenientes la labor programada.
- Tiempo de pérdidas operacionales: corresponde al tiempo en que el equipo, estando operativo, realiza otras labores, tales como traslados, esperas de equipo complementario, etc.
- Tiempo de reserva: corresponde al tiempo en que el equipo, estando en condiciones de realizar la labor productiva, no es utilizado, ya sea porque no hay un operador disponible, o bien, simplemente porque no

se ha considerado su operación en los programas de producción para el período actual (Olazabal, 2014).

c. Cálculo de productividad de equipos mixtos móviles o auxiliares

El cálculo de la productividad de un equipo depende por cierto del tipo de equipo, pero en general, puede enfrentarse mediante el cálculo de los siguientes ítems. (Marca, 2014)

- Capacidad del equipo:

Corresponde a la carga por ciclo que el equipo puede manejar. Depende del tamaño del lampón del equipo de empuje. Se determina utilizando la capacidad nominal especificada para el equipo (Mauricio, 2015).

- Tiempo de ciclo

Al igual que en los casos anteriores, el tiempo de ciclo consta de cuatro componentes (Marca, 2014):

- Tiempo de carga: generalmente, dependiendo de las condiciones de trabajo.

- Tiempo de transporte: depende del peso transportado, potencia del equipo, esfuerzos de tracción, condiciones del camino (pendiente) y distancia de transporte.

- Tiempo de descarga: este tiempo incluye maniobra y descarga.

- Tiempo de retorno: difiere del tiempo de transporte en que el equipo vuelve descargado y con pendiente contraria a la etapa de transporte.

La velocidad máxima de los equipos puede restringirse al trabajar en pendientes fuertes, de manera de permitir un frenado seguro en esas condiciones. El tiempo de transporte debe entonces recalcularse considerando esta velocidad máxima restringida. (Marca, 2014)

2.2.2.6. Factores que afectan el proceso de carguío y acarreo

a) Lluvias:

Las lluvias en la sierra caen de noviembre a abril con fuerte precipitación y al caer en la mina produce que las vías se vuelvan inestables y “jabonosas” ya que el material por el cual está compuesto las vías es en su mayoría arcilloso, y en el tajo de gravas tiene alto contenido de arcillas, provocando que los camiones resbalen y queden enfangados provocando demoras por rescate (Mauricio, 2015).

b) Visibilidad

Los empozamientos de agua en las vías de acarreo son producto de dejar de lado el nivelado de las vías en su debido momento para cuando empiezan las lluvias, un mal lastrado con material que en vez de lograr una vía compactada solo logra tapar un desnivel momentáneamente. Son un riesgo potencial para el daño de llantas ya que el operador al no poder apreciar lo que se encuentra por debajo de esa “laguna” (Mauricio, 2015).

c) Tormentas

Las tormentas eléctricas es considerado como un peligro de alto potencial y que muchas veces no están acompañadas con precipitaciones de lluvia, son los meses de Octubre a

Abril de cada año alta probabilidad de presencia de tormentas eléctricas. Las tormentas eléctricas son condiciones atmosféricas adversas, producidas por descargas eléctricas de gran intensidad, conocidas como rayos (Mauricio, 2015).

d) Neblina:

La neblina afecta al normal desarrollo del proceso de carguío y acarreo, haciendo que los camiones transiten más lento de lo estándar y llegando a detener las operaciones por horas o por turnos casi completos si la visibilidad es menor a 40 m. Si la visibilidad es mayor a 40 metros, se reduce la velocidad, manteniendo una distancia mínima de equipo a equipo de 60 m. (se calcula por las balizas de señalización que están colocados en la berma, una tras otra a 20 m. de distancia) (Marín, 2015).

e) Temperatura:

La temperatura puede llegar hasta 28°C en un día soleado y hasta 5° en las madrugadas, a pesar que todas las cabinas de los equipos tienen un sistema de aire acondicionado y calefacción el operador no está trabajando concentrado en su tarea, esto genera que el operador tenga un bajo rendimiento laboral.

Las temperaturas altas ocasionan levantamiento de polvo de las vías por donde transitan los camiones generando la disminución de velocidades conforme a procedimientos de operación, afectando por lo tanto a la productividad (Olazabal, 2014).

2.3. Definición de términos básicos

- **Acarreo o Transporte:** Llevar o transportar mercancías o cargas de un lugar a otro (Gómez, 2017).
- **Carguío:** Cantidad de géneros u otras cosas que componen la carga. Cargo o peso a ser transportado (Huamán, 2015).
- **Control de equipos:** Conjunto de técnicas destinadas a regular los equipos y/o maquinarias diversas (Lagos, 2012).
- **ControlSense:** aplica el concepto estratégico basado en el sistema operativo Managment: Planificar - Hacer - Verificar – Actuar. Plataforma central en la optimización de flotas y usabilidad. Indicadores de desempeño críticos para todos los niveles de supervisión. Ciclo detallado e información de actividad (Cáceres, 2012).
- **Optimizar:** Es buscar la manera más conveniente para realizar una actividad, es decir con bajos costos y que el tiempo sea el mínimo posible (Gómez, 2017).
- **Productividad:** Es la capacidad que tiene una operación para generar una cantidad de productos utilizando la menor cantidad de recursos. También es referida a la eficiencia de los productos transportados (Domínguez, 2012).
- **Sistema tecnológico:** Es aquel sistema que utiliza una tecnología de punta, lo que le permite poseer nuevas y avanzadas características de funcionamiento es capaz de analizar y generar reportes en tiempo real (Lagos, 2012).
- **Software avanzado:** Es un software que tiene la capacidad de analizar situaciones o parámetros de un equipo y tomar decisiones para poder solucionarlo, o alertar de manera segura para su inactividad permanente (Huamán, 2015).

- **Vías:** Áreas por donde transitan los Camiones de Acarreo, deben estar diseñadas para soportar la capacidad de los equipos y con el suficiente espacio para un tránsito seguro y sin inconvenientes (Huamán, 2015).

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de tablas y gráficos

3.1.1. Ubicación

La mina Constancia se ubica en el distrito de Chilloroya, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco. Se encuentra 634 km al sureste de la ciudad de Lima y 112 km al Sur de la ciudad de Cusco (distancias en línea recta), a una altitud que varía entre los 4 000 y 4 400 m.s.n.m.

La ubicación geográfica está dada por las siguientes coordenadas UTM (WGS 84 Zona 19S):

- N 8 393 167 a 8 400 860
- E 197 036 a 203 806

3.1.2. Accesibilidad

Existen tres alternativas de acceso al proyecto: a través del camino Cusco – Urcos – Sicuani - desvío a Yauri, siguiendo después por el camino hacia Velille – Santo Tomás hasta el desvío a Livitaca con un recorrido total de 308 km.

La segunda ruta, también saliendo de Cusco, es a través del camino Cusco – Urcos – Combapata – Yanaoca – Livitaca – Proyecto; este tramo es de 200 km.

La tercera ruta es partiendo de Arequipa, a través del camino Arequipa – Imata – Yauri, siguiendo después por el camino hacia Velille – Santo Tomás hasta el desvío a Livitaca, y desde ahí hacia el área del Proyecto, con un recorrido total de 358 km.

El tiempo de recorrido desde Arequipa en vehículo liviano es de aproximadamente 7 horas. Arequipa está conectada por carretera de primer orden con los puertos de Ilo- Matarani y la ciudad de Lima.

3.1.3. Topografía y fisiografía general

La topografía del área de influencia del proyecto Constancia está definida por un relieve moderado con valles de poca profundidad y cerros redondeados que alcanzan elevaciones de 4 000 a 5 000 m. Se distinguen dos superficies de Erosión, una antigua donde se encuentran algunos vestigios ubicados al sur y sobre la que se depositó el volcánico Tacaza y otra más moderna que forma los rasgos topográficos actuales.

Esta superficie de erosión presenta un drenaje dendrítico incipiente que indica la iniciación de una etapa erosiva más intensa.

Existen abundantes indicios de actividad glacial, y erosión relacionada con ella, que corresponde a la última etapa de glaciación. Esta erosión ha modelado los valles en forma de U.

3.1.4. Relieve y geomorfología

En el área de exploración se pueden distinguir tres unidades geomorfológicas:

Colinas y lomadas (Co-lo): Conformada por las cadenas de cerros de aspecto alargado, subredondeado ha redondeado, constituida por afloramientos rocosos de naturaleza sedimentaria, volcánica e intrusiva pertenecientes a las formaciones litológicas: Chilloroya, Arcurquina, Orcopampa, Alfabamba e intrusivo Apurímac.

Valles o quebradas aluviales (Av): Constituida por las áreas por donde discurren las aguas superficiales temporales y permanentes hacia el río Chilloroya; está conformada por depósitos aluvioglaciares.

Lomadas morrénicas (Lo-m): Esta unidad geomorfológica se ubica principalmente hacia la parte norte del área de exploración, destacando por su forma, dimensión y por estar conformada exclusivamente por depósitos morrénicos.

3.2. Situación actual del carguío y acarreo

El ciclo completo de explotación minera es supervisado por STRACON GYM, en coordinación con EXSA, MINE SENSE Y HUSBAY Minerals.

3.2.1. Actividades principales en mina Constancia

- Perforación

Se realiza utilizando perforadoras Pit Viper 271, con taladros de 11” de diámetro, bancos de 15 metros, 1,5 m de sobre perforación, mallas variables de 7 m x 10,5 m; 10 m x 10 m; 7,8 m x 9,0 m; 8,0 m x 8,0 m; 8,8 m x 10 m; 8,7 m x 10 m y 11 m x 11 m, Pulldow aplicado entre 2 200 y 2 800 psi, RPM entre 80 y 110. Todo ello regulado según el tipo de dureza del material al cual se enfrenta el equipo.

- Voladura

Como primera etapa de conminución del material in situ es de vital importancia aprovechar al máximo la energía química del explosivo, para este proceso es utilizado ANFO y Heavy ANFO.

Actualmente se están desarrollando pruebas con QUANTEX y detonadores eléctricos.

El diseño de bancos está sujeto a la estabilidad de taludes y a la vida de la mina; siendo la perforación apropiada con los diámetros establecidos de broca. Resaltando el principio de Gestión de Seguridad para poder generar un trabajo apropiado en cuanto a los parámetros de los bancos y diámetros de las brocas.

Como el tajo se ubica muy cerca a la comunidad, cuya vegetación y fauna merecen un especial cuidado para preservarlas. En tal sentido, se está realizando controles estrictos en la voladura de producción para no alterar el medio ambiente y cumplir con los compromisos asumidos con las comunidades vecinas.

- Acarreo

El carguío y transporte de material es monitoreado de forma remota a través de Mine Sense, este complejo software brinda al operador toda la información que necesita, como destino, densidad del tráfico, mapas de recorrido, además de comunicación en tiempo real.

3.2.2. Equipos implicados en carguío y acarreo

La flota de equipos encargados del carguío y acarreo en mina Constancia son Caterpillar e Hitachi y está conformada por camiones, palas hidráulicas, y un cargador frontal los cuales poseen características específicas que se describe a continuación:

- Camiones

CAT 793F

Son 19 en total, este equipo de 240 toneladas de capacidad, puede cargarse de manera efectiva con 5 pases; a diferencia de los equipos Hitachi, estos no presentan problemas de derrape en condiciones adversas.

Aunque puede alcanzar una velocidad de 60 Km/h cargado; requiere un mayor ángulo de giro en comparación a los equipos Hitachi.



Figura 1: Camión CAT 793F.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

HITACHI EH4000

Actualmente se cuenta con tres de ellos, cada uno de 230 tn, aunque son de menor capacidad y valor económico, es compensado en potencia, velocidad y bajo consumo de combustible ya que cuenta con un sistema eléctrico - diésel.

Este equipo tiene problemas de derrapamiento en condiciones adversas (pistas mojadas con lluvia, granizo) se ha presentado un accidente de consideración sin pérdidas fatales y actualmente continúa siendo evaluado para ver si se opta por este equipo para incrementar la flota.



Figura 2: Camiones Hitachi EH4000 – Ensamblado.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Palas hidráulicas

En Constancia se cuenta con tres palas HITACHI EX – 5600 con capacidad de cuchara de 27 m³, las cuales se distribuyen según los requerimientos de material en los diferentes frentes.

La productividad horaria de este equipo bordea las 3 750 tn/hr, aunque se espera se vea incrementada en los próximos meses por la combinación de las mismas con los camiones HITACHI EH4000, debido a sus características de alcance máximo, radio de giro, capacidad de llenado, dispositivo de tracción, fuerza de empuje, etc.



Figura 3: Pala Hitachi EX – 5600.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cargadores frontales

Se cuenta con un cargador frontal CAT 994H, de 32 toneladas de capacidad, este cargador por su gran capacidad puede realizar el carguío de los camiones 793F sin ningún problema, incluso en condiciones favorables superar la productividad de la pala. Aunque se utiliza generalmente en los Stocks de mineral.



Figura 4: Cargador frontal CAT 994H.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.3. Productividad de los equipos en carguío y acarreo con ControlSense

3.3.1. Equipos de trabajos

Guardia A:

- O1: Jhonatan Mendoza
- Supervisor de Optimización: Jose Nuñez

Guardia B:

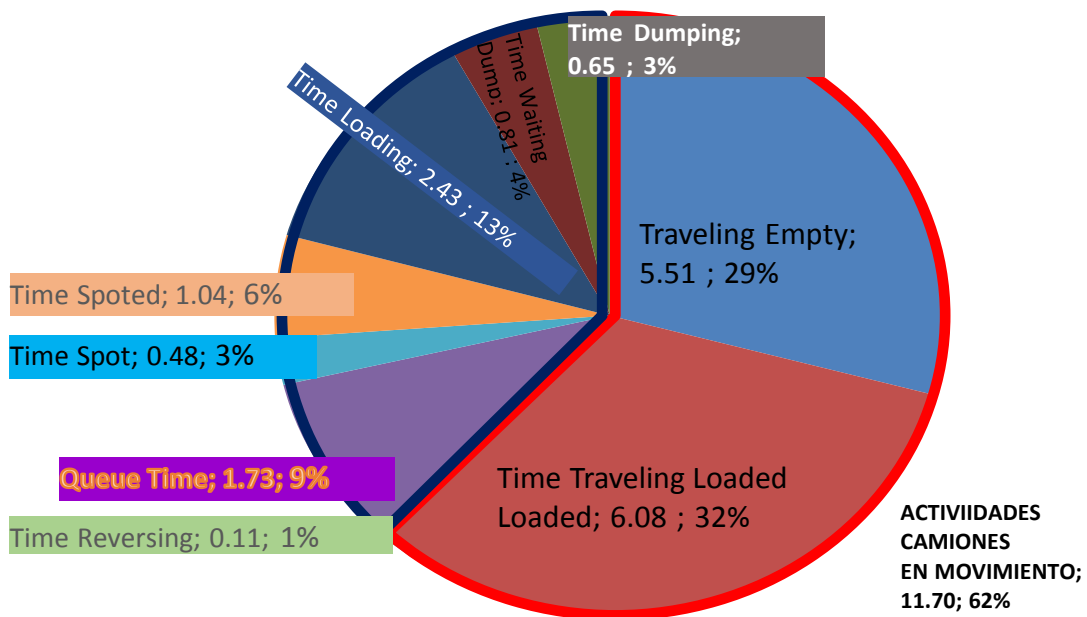
- O1: Ángel Rivera
- Supervisor de Optimización: Shneyder Choque

Guardia C:

- O1: Elio Salcedo
- Supervisor de Optimización: Juan Agreda

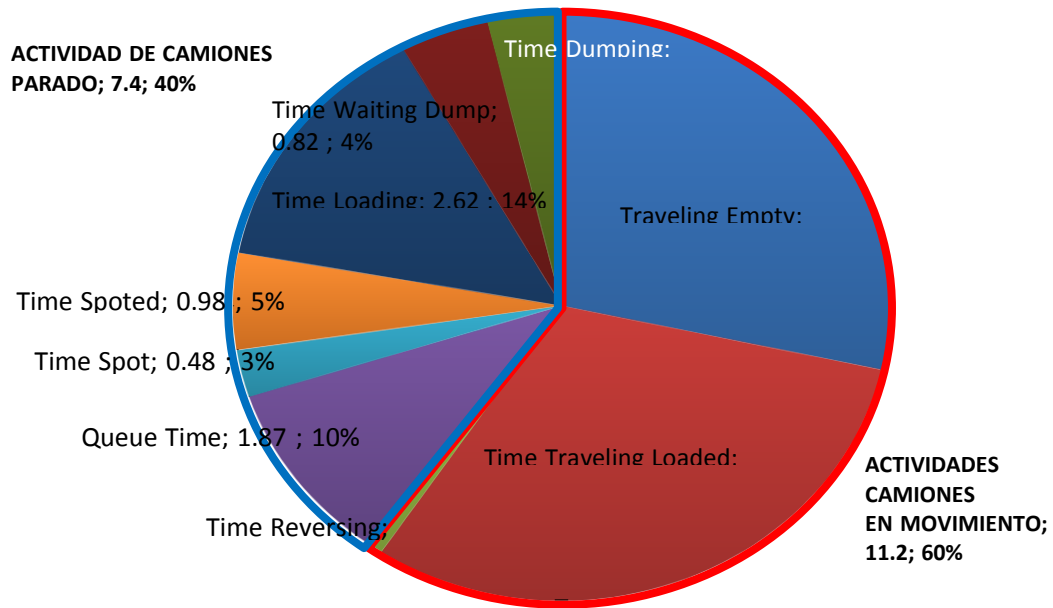
3.3.2. Rendimiento en acarreo en Mina Constanca

- Rendimiento en acarreo de la guardia A



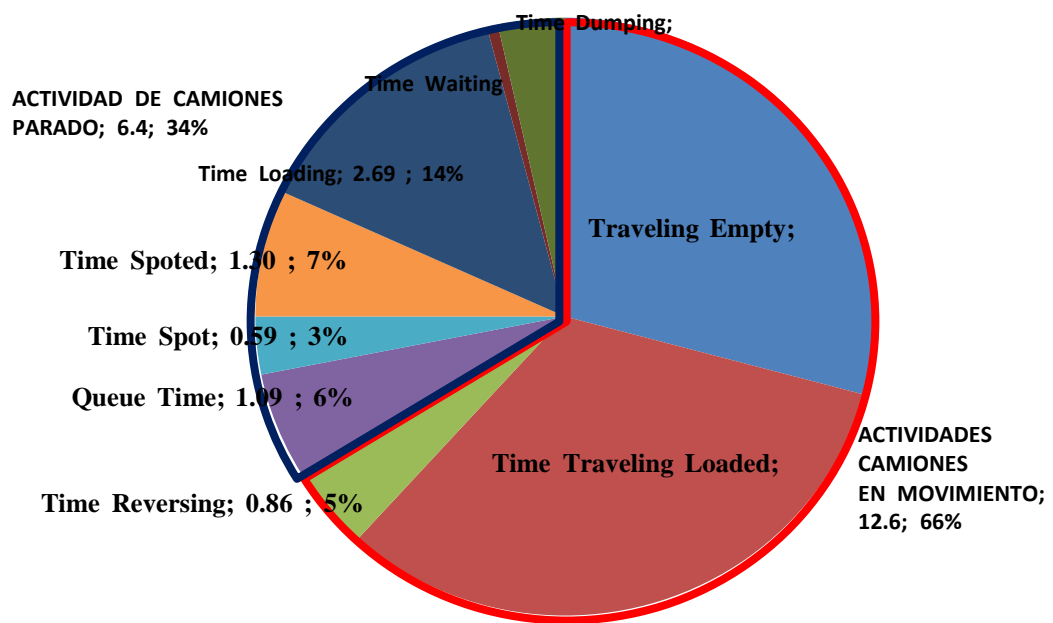
CICLO DE ACARREO 18.95 (min)

- Rendimiento en acarreo de la guardia B



CICLO DE ACARREO 18.75 (min)

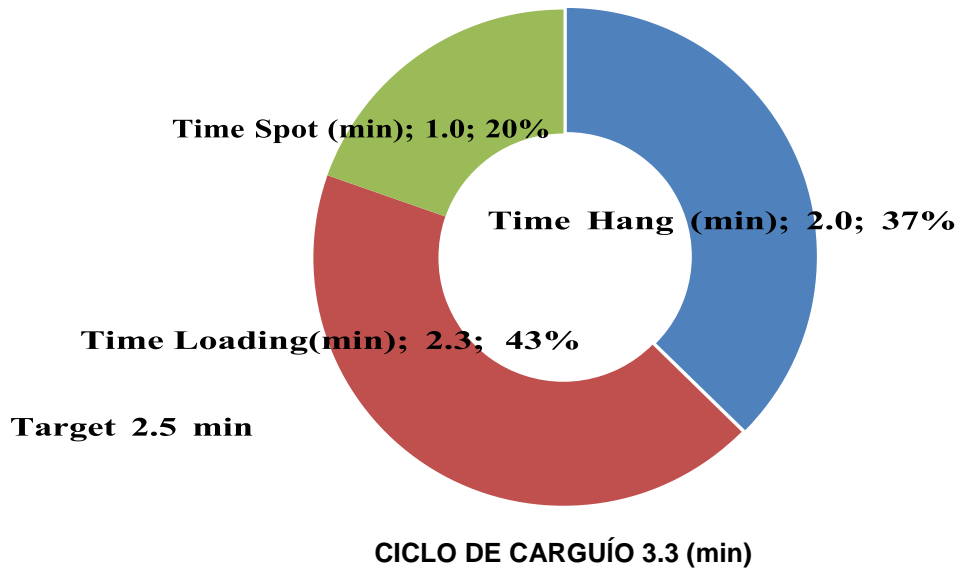
- Rendimiento en acarreo de la guardia C



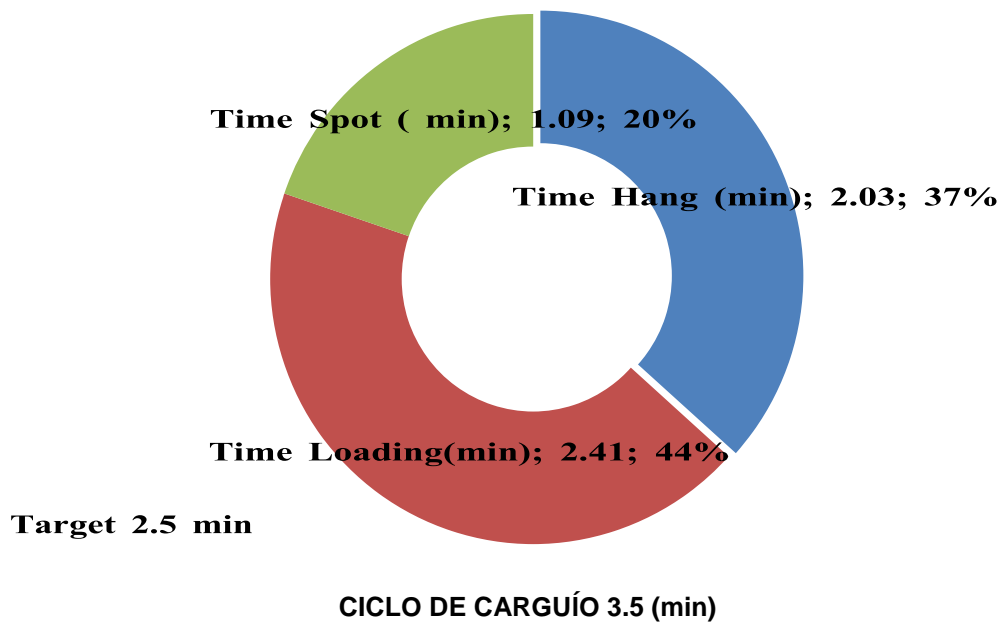
CICLO DE ACARREO 19.04 (min)

3.3.3. Rendimiento en carguío en Mina Constanca

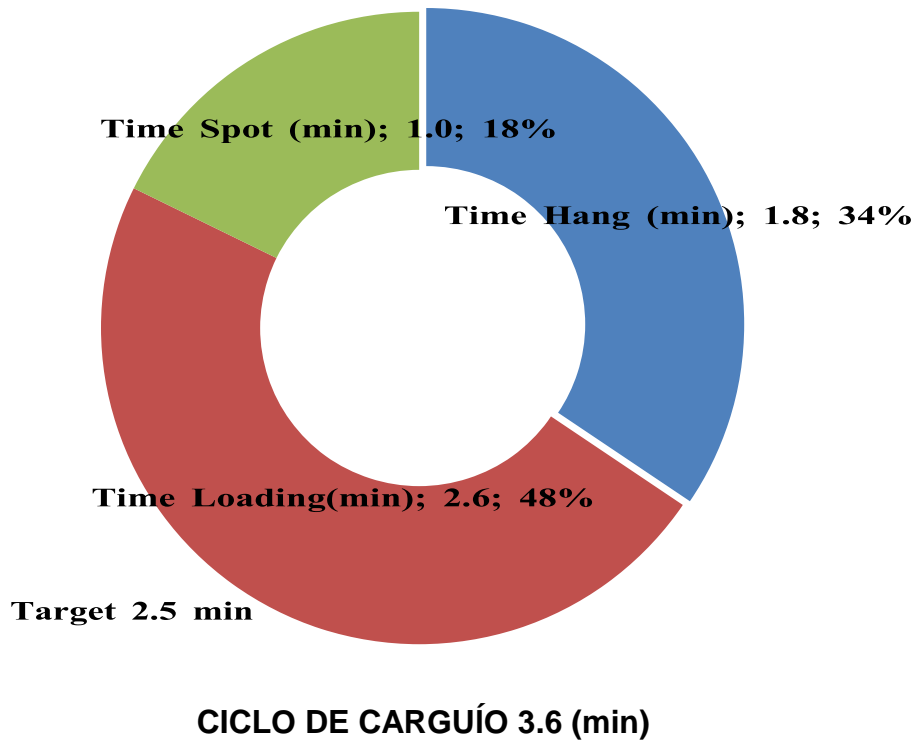
- Rendimiento de palas en carguío de la guardia A



- Rendimiento de palas en carguío de la guardia B



- Rendimiento de palas en carguío de la guardia C



3.3.4. Productividad operativa Palas Hitachi EX5600 por guardia

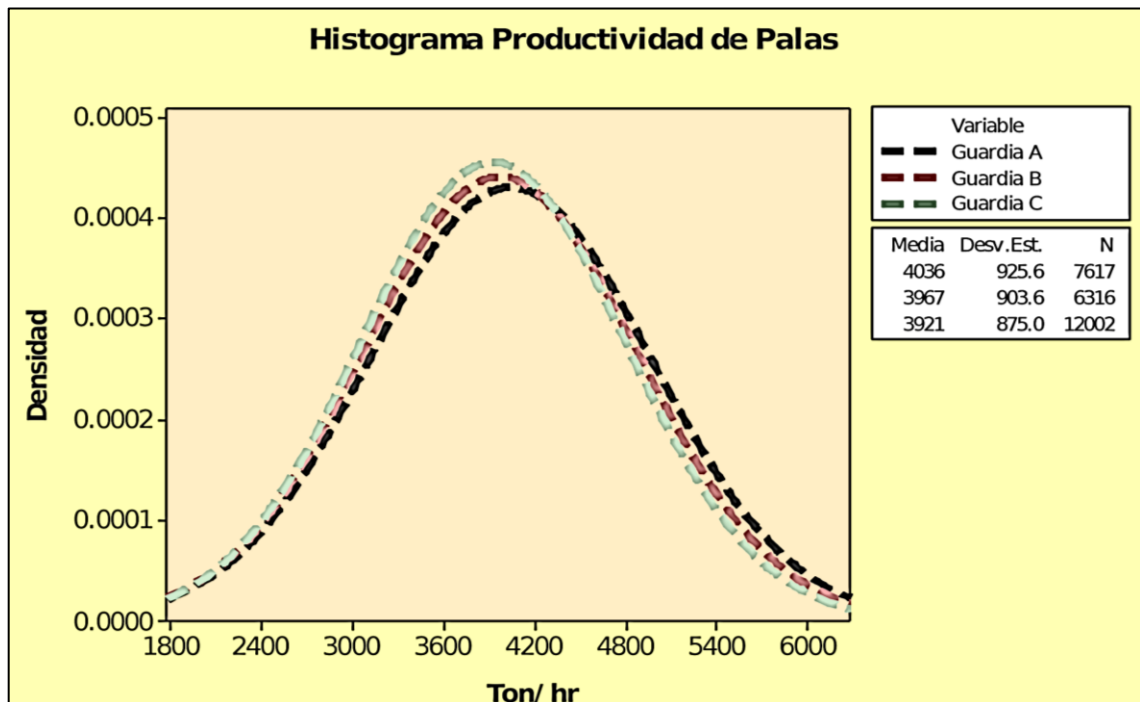


Figura 5: Productividad de palas.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.3.5. Productividad operativa cargador frontal

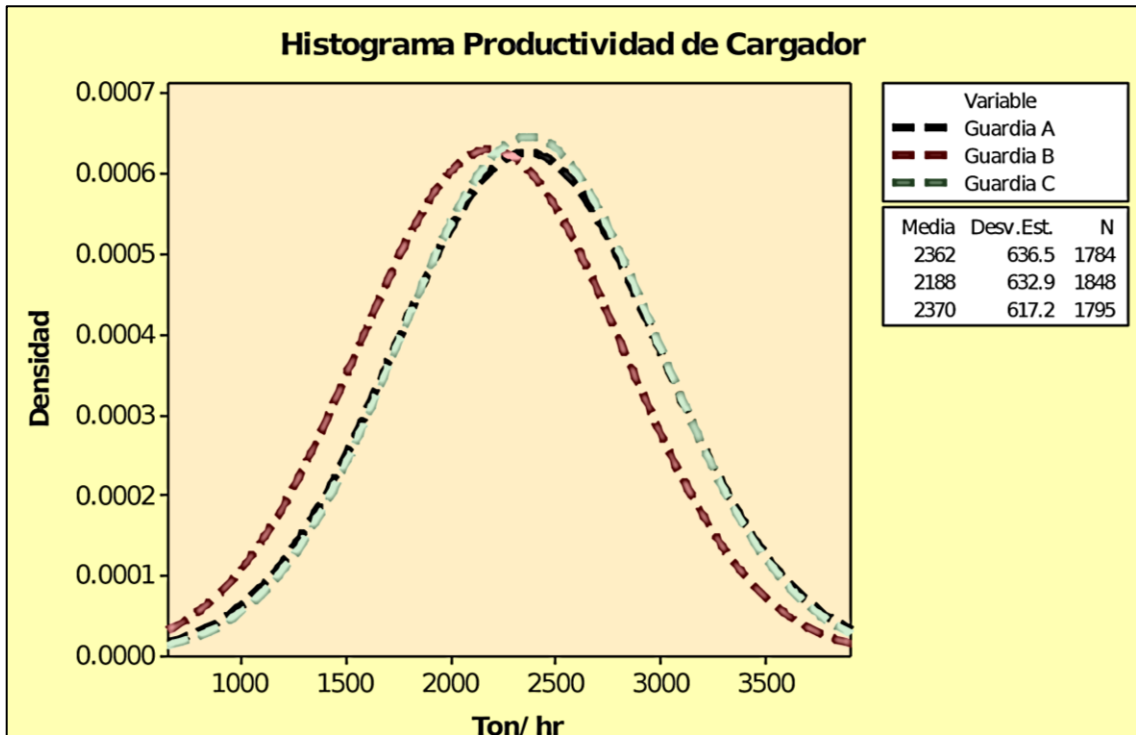


Figura 6: Productividad de cargador frontal.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.3.6. Hang Palas Hitachi EX5600

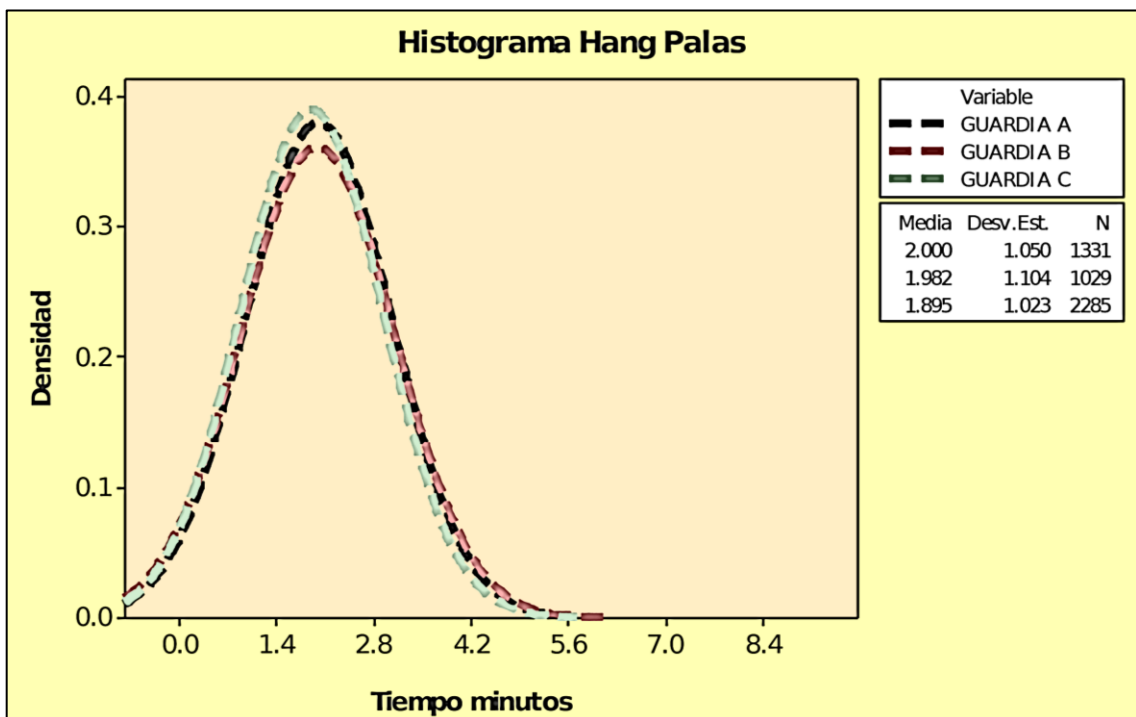


Figura 7: Productividad de Hang Palas Hitachi EX5600.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.3.7. Productividad de camiones 793F

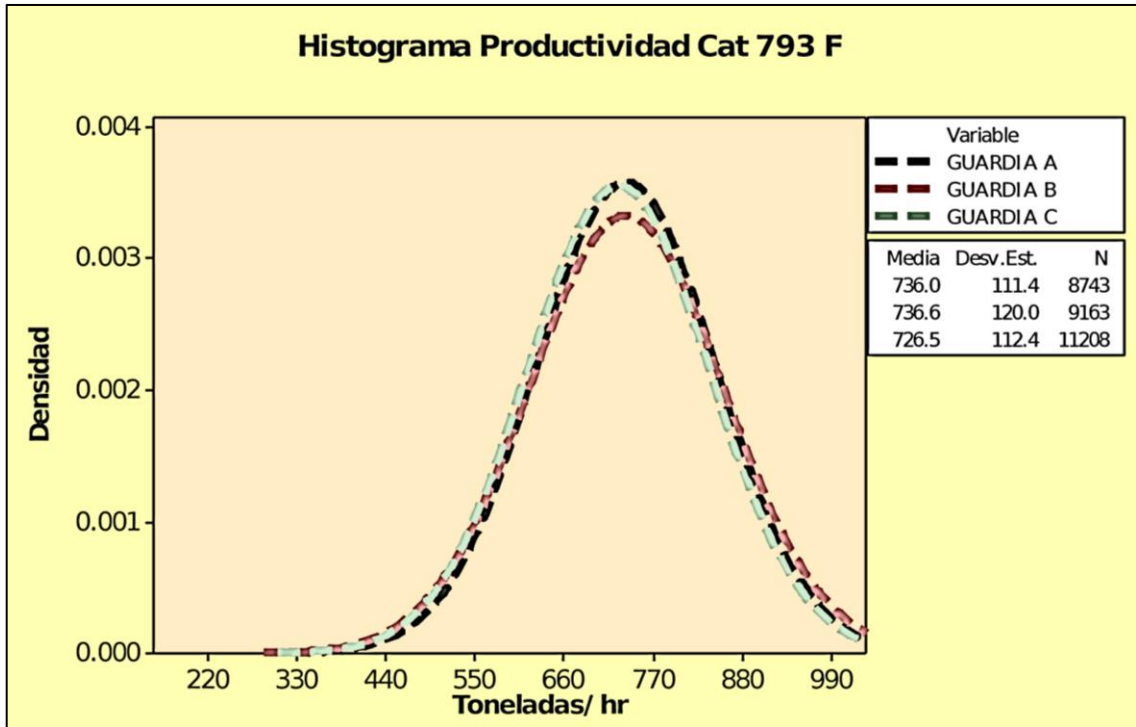


Figura 8: Productividad de CAT793F.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.3.8. Cola por guardia

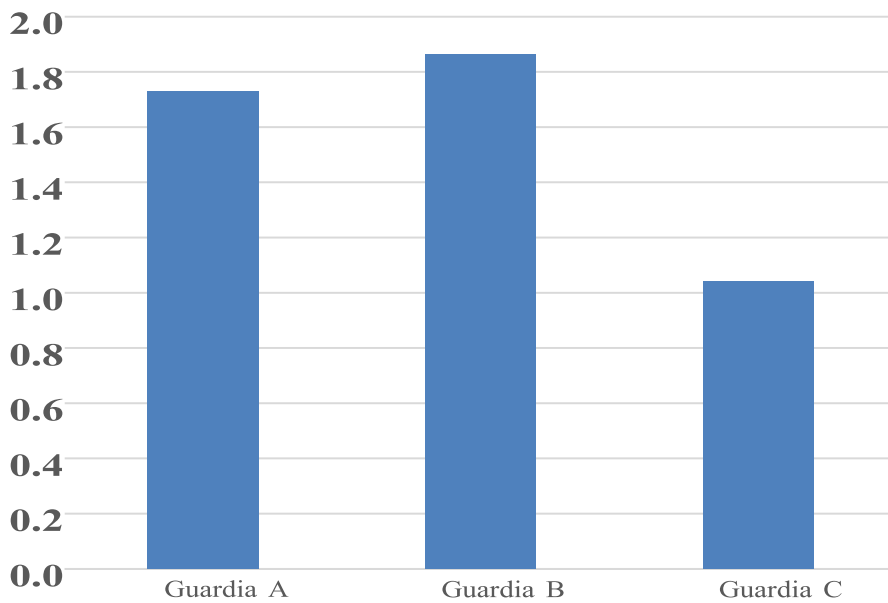


Figura 9: Queue por guardia.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.3.9. Payload VIMS por guardia

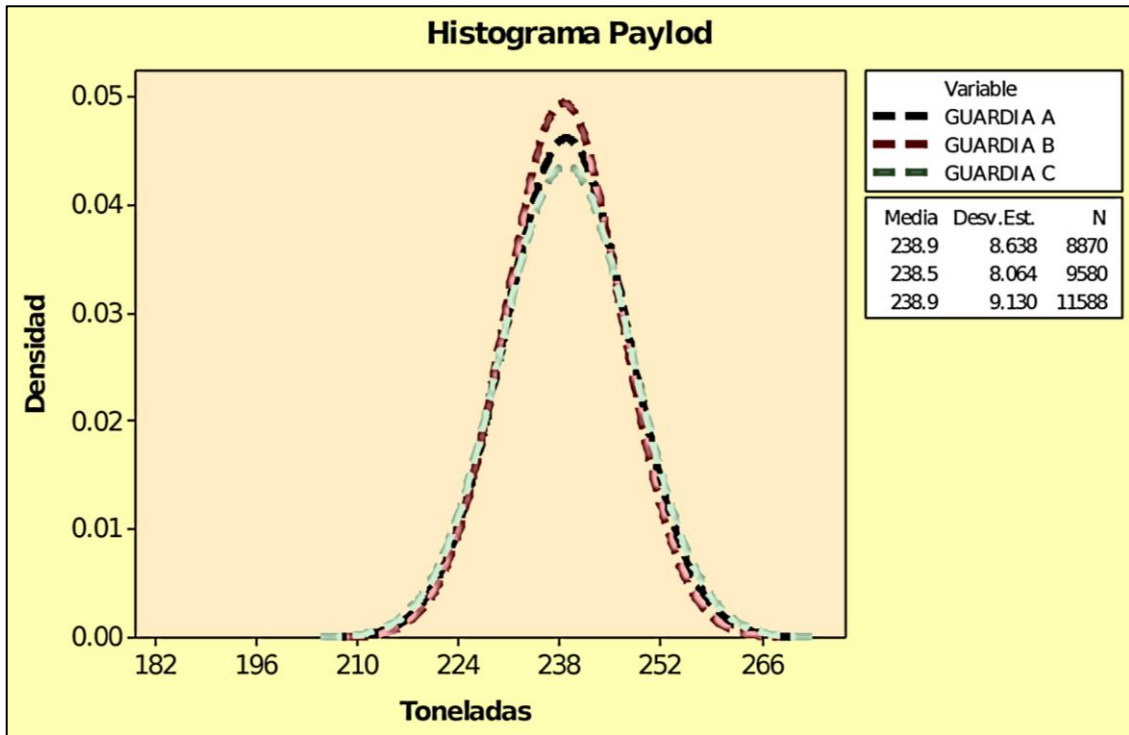


Figura 10: Payload VIMS por guardia.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.3.10. Número de pases por guardia en palas

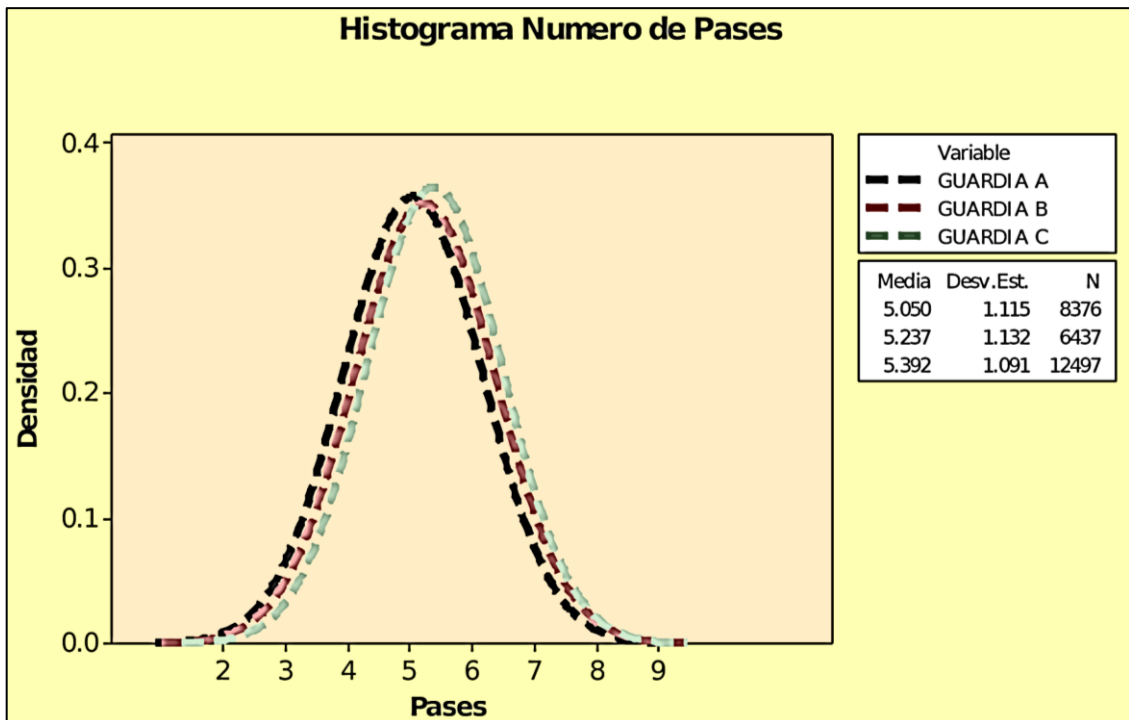


Figura 11: Número de pases.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.3.11. Tiempo esperando para descargar en chancadora (min)

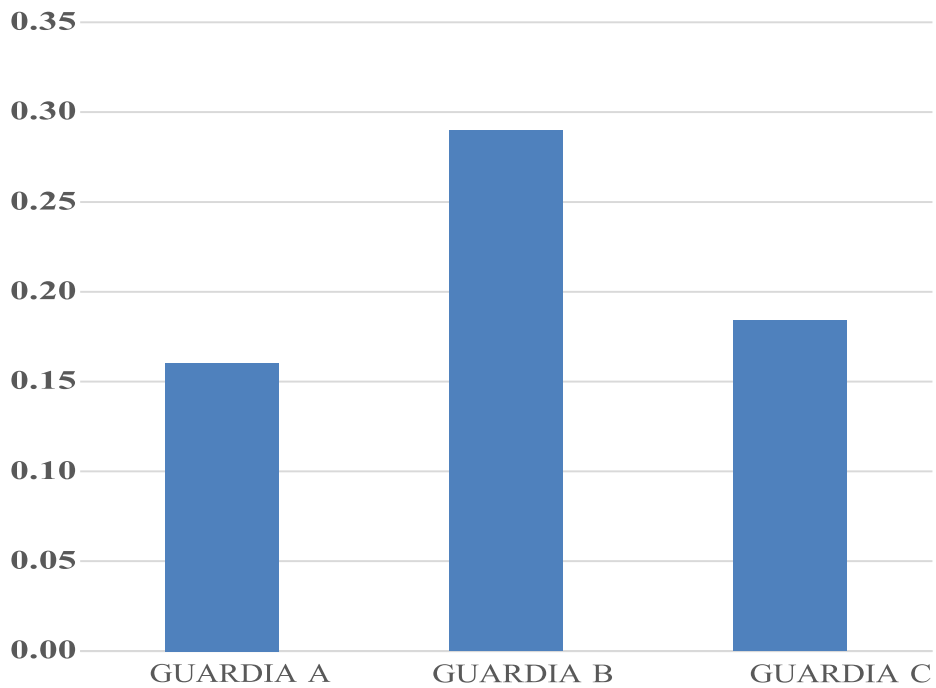


Figura 12: Tiempo para descargar en chancadora.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.3.12. Usage de las palas Hitachi

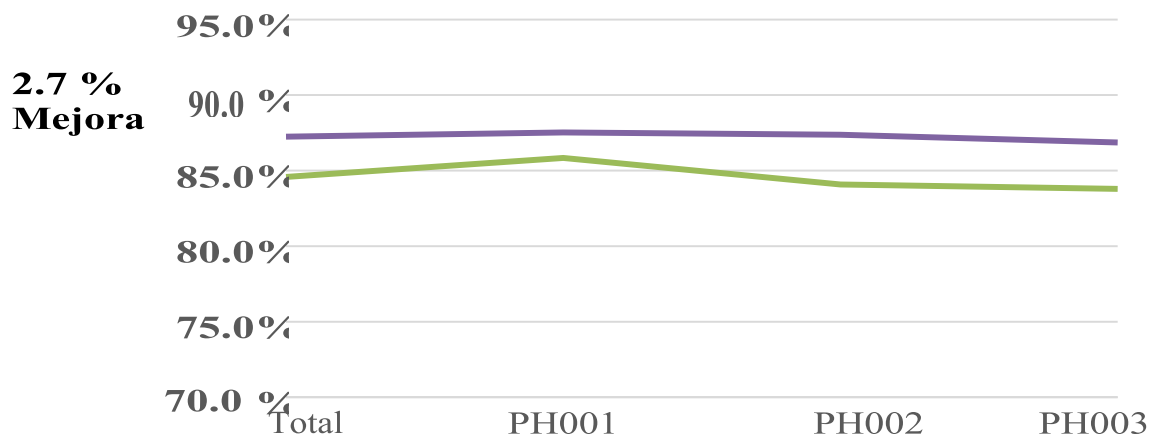


Figura 13: Usage de palas Hitachi.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.4. Control de la productividad en tiempo real

El control de la productividad en tiempo real tiene por objetivo mitigar las restricciones en la operación:

- El balance entre los ciclos de carguío y acarreo, esto se logra no permitiendo que los equipos de carguío se queden sin camiones y tengan que esperar o viceversa, que los camiones hagan cola para ser cargados.
- El cumplimiento de mezclas en porcentaje de material requerido, se logra mediante el “cabeceo”; si la chancadora ya no puede recibir un material determinado por tener una cantidad de material grueso que no puede ser procesado, el controlador buscará otra opción de descarga que desafortunadamente representará un mayor tramo por recorrer.
- Zonas de descarga en mal estado, MINE SENSE al ser informado sobre una zona de descarga en mal estado se ve en la obligación de buscar nuevas opciones de descarga, esta nueva zona en la mayoría de veces conllevará a un área con mayor distancia de acarreo y con esto una menor productividad.
- Vías en mal estado, análogamente como con las zonas de descarga, si algunas de las vías de acarreo se encuentran en mal estado, éstas tendrán que ser remplazadas por una ruta alterna que sin duda será de mayor distancia.

MINE SENSE tiene el control en tiempo real de las productividades de los equipos. La producción horaria obtenida se menciona cada hora por medio del equipo de radio, ello impacta de manera positiva en el personal, y en especial en los operadores de carguío, creando una sana competencia. De esta manera todo el personal está informado de la eficiencia de nuestras operaciones.

Mediante la pantalla de optimización de flotas se puede observar en tiempo real la ubicación de los equipos de acarreo nombrados anteriormente, así como los orígenes y destinos en los cuales trabajarán los camiones. Las cargas de los camiones, los estados del ciclo de carguío y acarreo en los camiones y palas, los tiempos de llegada estimados de los camiones a su destino, etc.

Todos estos parámetros deben ser manejados correctamente por el Asistente de Control y el Supervisor Mine SENSE con el fin de mantener el KPI dentro de los parámetros establecidos y por lo tanto controlar los valores de Queue, Hang, Payloads, etc.

La Supervisión MINE SENSE maneja todos los parámetros con reportes, reportes que son verificados a cada hora con el fin de hacer un seguimiento a la producción (cada reporte es descargado en formato Excel para analizar de forma más detallada cada parámetro de control).

Los reportes que presentaré seguidamente son los más importantes, los describiré para que luego pueda contemplarse las capturas de pantalla:

3.4.1. Táctico Report SENSE

Este reporte presenta de una forma detallada cual es la productividad horaria alcanzada por cada equipo de carguío, así como el tiempo de carga. Se puede observar a través de un gráfico de barras y una línea de tiempo comparativa.

Es posible medir en tiempo real parámetros de los equipos de carguío y acarreo como esperas, colas, disponibilidad, uso de la disponibilidad, uso, usage.

3.4.2. Pantalla optimización de flotas

Muestra en tiempo real la asignación de camiones a los equipos de carguío. La comunicación entre el controlador y los operadores se da mediante esta plataforma vía mensajes escritos.

El estado de camiones (demora, stand by, en ruta, mantenimiento, fuera de plan, etc.)

Así como la disponibilidad de las perforadoras y equipos auxiliares.

3.4.3. Mapa Mina

Esta plataforma modificable según lo que se desee visualizar, las zonas, polígonos, vías, planes de minado, etc.

La ubicación de equipos mediante coordenadas y su desplazamiento en tiempo real.

3.4.4. Táctico fin de turno – Producción por material

Utilizado para comparar el tonelaje proyectado según el plan y el tonelaje alcanzado a fin de guardia en relación a la guardia anterior.

La producción por horas entre mineral / desmonte alcanzado, así como los indicadores de rendimiento.

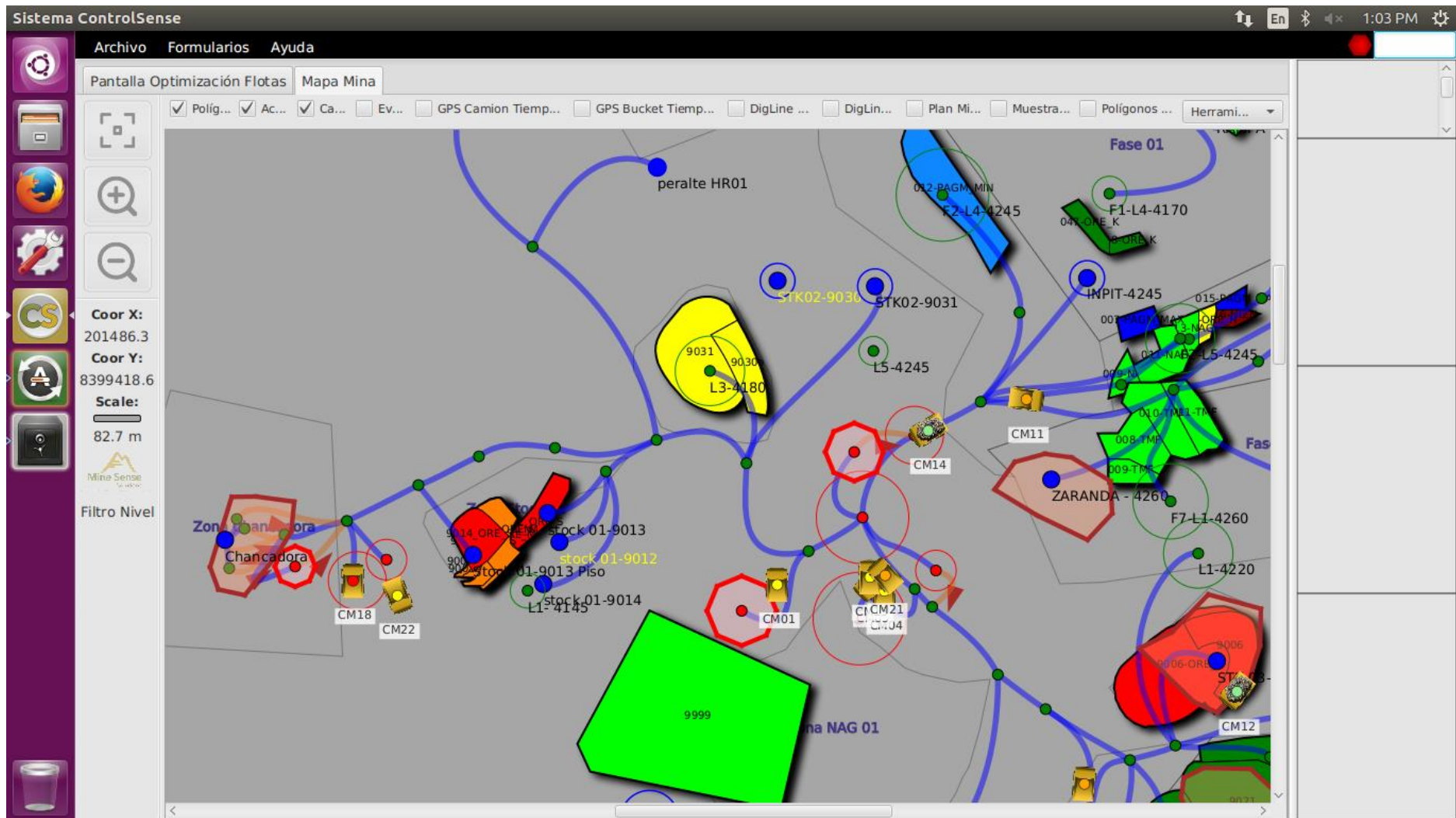


Figura 14: Mapa de vías de acarreo en mina.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Parámetros de Producción

Toneladas Totales 158,388

	Parámetros	Turno A	Turno B	Acumulado del día	
CHANCADORA	Production (t/shift)	48,462	41,370	89,832	
	Nro de Viajes Prime a la Chancadora	204	175	379	
	Nro de Viajes Rehandle a la Chancadora	0	0	0	
	Nro de Viajes a la Chancadora	205	175	380	
STOCK	Production (t/shift)	0	0	0	
	Nro de Viajes Prime al stock	0	0	0	
DESMONTE	Production (t/shift)	34,514	33,805	68,320	
	Nro de Viajes de Desmonte	146	143	289	
	Nro de Viajes Rehandle de Desmonte	0	0	0	
TMF	Production (t/shift)	0	0	0	
	Nro de Viajes Totales	0	0	0	
TOTAL	Production (t/shift)	82,976	75,412	158,388	Planeado 160,144
	Nro de Viajes Totales	351	319	670	
Estados	Demora	Esperando Chancadora		00:00:00	Suma Carguío Mina 00:00:00
	Stand By	Chancadora Parada		00:00:00	Suma Acarreo Mina 00:00:00

Figura 15: Parámetros de producción.
 Fuente: Elaboración propia, (2018).

		# Camiones por Flota			
		Ready	Delay	Stand by	Maint
793f	Promedio de Equipos en el Turno A(h)	10.86	0.33	6.36	1.45
	Promedio de Equipos en el Turno B(h)	11	0.39	6.26	1.35
Hitachi	Promedio de Equipos en el Turno A(h)	1.44	0.05	0.41	1.09
	Promedio de Equipos en el Turno B(h)	1.62	0.09	0.25	1.03
Total de Acarreo	Promedio de Equipos en el Turno A(h)	12.31	0.38	6.77	2.54
	Promedio de Equipos en el Turno B(h)	12.62	0.48	6.51	2.39
Palas	Promedio de Equipos en el Turno A(h)	1.58	0.24	0.18	0.99
	Promedio de Equipos en el Turno B(h)	1.62	0.12	0.16	1.1
		Turno Dia	Turno Noche	Promedio	Planeado
Palas	Disponibilidad Fisica	69.8%	63.3%	66.8%	62.5%
	Usage(%)	74.1%	85.4%	79%	87.2%
	Utilización(%)	51.7%	54.1%	52.8%	54.5%
	Productividad Promedio Total	3,404	3,836	3,606	3,752
	Productividad Promedio PH001(t/h)	0	0	0	3,752
	Productividad Promedio PH002(t/h)	3,490	4,137	3,751	3,752
	Productividad Promedio PH003(t/h)	3,289	3,582	3,448	3,752
	Hang(min)	0.88	0.42	0.65	1
Cargadores	Disponibilidad Fisica	99.3%	67.7%	84.9%	93.8%
	Usage(%)	78.2%	99.4%	85.9%	15.6%
	Utilización(%)	77.6%	67.3%	72.9%	14.6%
	Productividad Promedio (t/h)	2,106	1,886	2,013	1,827

Figura 16: Parámetros de producción por equipos.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

793F	Disponibilidad Fisica	91.9%	92.9%	92.4%	83.7%
	Usage(%)	61.5%	62.3%	61.9%	82.3%
	Utilización(%)	56.6%	57.9%	57.2%	73.5%
	Queue(min)	1.33	2.2	1.74	1.8
	Velocidad Cargado(km/h)	26	26	26	18.5
	Velocidad Vacío(km/h)	31	32	32	28
	EFH Vacío(km)	5.8	6.3	6.1	5.2
	EFH Cargado(km)	6.6	7.2	6.8	7
	Payload	237.9	237.5	237.7	240
	Productividad de Camiones(t/h)	574	596	584	529
Hitachi	Disponibilidad Fisica	61.8%	65.5%	63.5%	83.7%
	Usage(%)	69.8%	82.6%	75.8%	82.3%
	Utilización(%)	43.2%	54.1%	48.2%	39.8%
	Queue(min)	1.2	2.81	2.02	1.8
	Velocidad Cargado(km/h)	25	25	25	18.5
	Velocidad Vacío(km/h)	31	29	30	28
	EFH Vacío(km)	6.5	5.9	6.2	5.2
	EFH Cargado(km)	6.5	6.2	6.4	7
	Payload	233.2	234.2	233.7	240
	Productividad de Camiones(t/h)	578	579	578	529
Perforadoras	Disponibilidad Fisica	67.6%	86.2%	76.1%	93.8%
	Usage(%)	58.8%	46.7%	52.6%	0%
	Utilización(%)	39.8%	40.3%	40%	0%
	Cantidad de Taladros	35	67	102	3

Figura 17: Parámetros de producción por equipos.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Incidencias del turno día

Chancadora paró por pila alta de 12:20h a 14:10h.

PH003 en traslado a fase 2 de inicio de turno a 09:40h y en stand by. De 12:00h a 13:45h por plan de minado.

PH001 en mantenimiento programado todo el turno.

CF001 en stand by por plan de minado de 12:00h a 13:50h.

Incidencias del turno noche

CF001 paró por mantenimiento no programado de 22:30h. a 01:50h.

PH003 paró por mantenimiento no programado de 20:45h. a 21:45h.

PH002 stand by por plan de minado de 03:35h. a fin de turno.

PH001 en mantenimiento programado todo el turno.

3.5. Problemas en el acarreo de mineral en mina Constancia

Las vías de acarreo son aquellas por donde ocurre toda la circulación del equipo gigante, en mina Constancia el correcto cuidado de ellas mantendrán las condiciones operativas estándares y por ende una mayor productividad. Bajo esta premisa se pueden identificar los diversos problemas en las vías, las cuales se describen a continuación:

3.5.1. Condiciones de las vías

- Vías de acarreo resbalosas

Las precipitaciones caídas sobre las vías de acarreo producen que estas se transformen en un peligro para los operadores con riesgos potenciales muy altos como choques entre camiones, camiones que se introducen en las cunetas, etc.

Antes de describir los riesgos en forma específica, debemos conocer la diferencia entre patinar y resbalar en las vías de acarreo.

Se dice que un equipo resbala, cuando el coeficiente de rozamiento entre la llanta y el piso tiende a ser cero, es decir existe una falta de agarre entre las cocadas de las llantas y el piso, por lo tanto, el

camión sigue avanzando sin control de la dirección tanto de costado (izquierdo o derecho) o frontalmente.

Por otro lado, se dice que un equipo patina cuando las llantas posteriores se sobren revolucionan, es decir cuando no ruedan sino giran casi en el mismo lugar perdiendo el avance del equipo. El equipo puede avanzar de costado con tendencia de ir al lado derecho, hacia el lado izquierdo y/o frontalmente.

- **Lluvias**

Las lluvias al caer sobre las vías producen que éstas se vuelvan “jabonosas” ya que el material por el cual está compuesto las vías es en su mayoría arcilloso, provocando que los camiones resbalen. Asimismo, durante las madrugadas empiezan las heladas que producen que las vías con humedad tiendan a solidificarse provocando que los equipos patinen como en una pista de hielo provocando accidentes.

- **Granizo**

El granizo, produce los mismos efectos que la lluvia en la madrugada cuando se solidifica con la diferencia que el granizo no necesita un tiempo para generar vías en las cuales los camiones patinen.

El procedimiento inmediato en ambos casos es la reducción de la velocidad, seguida de la acción inmediata del supervisor en el control de accesos vías y rampas.

En lugares donde se presentan condiciones de posible derrapamiento de camiones tendrán que ser evaluados y se procederá de la siguiente manera:

Si la precipitación es ligera, el peligro es más severo, la probabilidad de que los neumáticos resbalen es inminente, entonces el lavado de la vía utilizando una cisterna como equipo auxiliar resultará apropiado.

En caso la precipitación o granizada sea moderada o abundante, se deberá proceder con el lastrado de la vía en algunas zonas, en otras se deberá escarificar la zona, a fin de encausar el agua hacia la cuneta.

Por esta razón es que se está desarrollando el plan de mantenimiento de vías, el cual comprende el reemplazo y mantenimiento de todas las vías de acarreo, con material idóneo para la capa de rodadura proveniente de la zaranda el cual posee dimensiones de 2" – 3".

- **Vía de acarreo con empozamiento de agua**

Los empozamientos de agua en las vías de acarreo son producto de dejar de lado el nivelado de las vías en su debido momento para cuando empiezan las lluvias, un mal lastrado con material que en vez de lograr una vía compactada solo logra tapar un desnivel momentánea y aparentemente.

Son un riesgo potencial para el daño de llantas ya que el operador al no poder apreciar lo que se encuentra por debajo de esa "laguna" y asumir el riesgo de pasar y seguir con su camino, podría encontrarse con una piedra puntiaguda que cause el reventón de su llanta y a la vez un daño personal que definitivamente causará pérdidas en la productividad y pérdidas a la empresa.

Asimismo, camiones, camionetas y demás equipos sobre rueda pueden verse atrapadas según la profundidad que tenga el empozamiento y el rescate de estos equipos producen pérdidas

en productividad por el tiempo invertido en decidir la forma del rescate y de tener los equipos y personal necesario.

Para prevenir cualquier incidente que pueda traer consigo las precipitaciones es que se ha desarrollado un plan de manejo de aguas a fin de identificar las zonas críticas y desarrollar las acciones necesarias para evacuar el agua hacia la presa.

Dicho plan comprende la conformación de cunetas, pozas de sedimentación, encauses, empedrados y check dams.

3.5.2. Condiciones naturales

Las condiciones naturales bajo la cuales trabajan las operaciones de Minera Constancia forman parte de las condiciones adversas a las cuales se enfrentan los operadores. Las tres que más influyen en el trabajo son las siguientes y se presentan a continuación:

- Tormentas eléctricas

Generalmente los meses de octubre a abril de cada año son temporada de tormentas eléctricas es por ello que todo personal está entrenado en el entendimiento de los tipos de alerta y los procedimientos de protección y evacuación para reaccionar a tiempo.

En sí, las tormentas eléctricas son condiciones atmosféricas adversas, producidas por descargas eléctricas de gran intensidad, conocidas como rayos, los cuales son descargas eléctricas que golpea la tierra, proveniente de la polarización que se produce entre las moléculas de agua de una nube, cuyas cargas negativas son atraídas por la carga positiva de la tierra. El rayo puede desplazarse hasta 13 Km, provocar una temperatura de más de 1 000°C, alcanzar más de 100 millones de voltios y 20,000 amperios, su velocidad puede llegar a 140,000 km/s.

Existen condiciones atmosféricas que actúan como indicadores de una posible tormenta eléctrica:

- Nubes de desarrollo vertical de color gris plomo y densas.
- Presencia de corriente estática (cabello erizado).
- Sonido de truenos.
- Llovizna permanente.
- Presencia de granizo
- Vientos fuertes.

Usando estos indicadores es como en Constancia se cuenta con tres tipos de alertas de emergencia con respecto a la proximidad de tormentas eléctricas:

- Amarilla – Alerta de advertencia - 16- 32Km - Aviso cada 20 min. Los supervisores de área deberán estar atentos a los mensajes radiales del Centro de Control de Monitoreo.
- Naranja – Alerta de peligro - 8-16 Km - Aviso cada 10 min. En esta situación todo personal que se encuentre laborando en lugares distantes se dirigirá hacia sus refugios para protegerse. Existe restricción para trabajos de voladura, trabajos en altura, izajes, trabajo a distancia, perforación, trabajo a distancia, trabajos de concreto, trabajos de alto riesgo como sea definido por el supervisor de área.
- Roja – Alerta de peligro - 0-8 Km - Aviso cada 5 min. Sin pasar por las anteriores en algunos casos debido a la amplitud del radio de detección de tormentas y la topografía del área.

Todo trabajador que se encuentre en exteriores busca refugio inmediato. Los operadores de equipo pesado podrán seguir trabajando desde el interior de sus cabinas siempre y cuando las

ventanas y puertas de estas se mantengan cerradas (obligatorio) y que la visibilidad permita operar con seguridad. En casos donde se requiera de un vigía para dirigir las actividades, primero se deberá desarrollar un protocolo para asegurar que el vigía se encuentre dentro de un refugio, vehículo liviano o equipo adecuado.

- **Calor intenso**

El calor intenso, se enfoca en 2 incidencias principales:

- **Al personal**

El calor intenso de hasta 28°C y con radiación solar persistente se presenta como un peligro de todos los días y con riesgos de cáncer a la piel y deshidrataciones que afectan a la salud del colaborador y a su vez conllevan a un bajo rendimiento laboral.

Es por ello que todas las cabinas de los equipos cuentan con un sistema de aire acondicionado indispensable, de no tenerlo el equipo es detenido y seteado con estado malogrado hasta su reparación por parte de mantenimiento.

Por otro lado, mensualmente se entregan bloqueadores a todos los colaboradores con protecciones fps.

- **A la operación**

El intenso calor trae consigo levantamiento de polvo que provoca disminución de velocidades en las vías de acarreo, parada de equipos por falta de visibilidad y por ende disminución en la productividad.

La administración correcta de las cisternas en zonas críticas y regados intermitentes para rampas, solucionan el problema.

- **Neblinas densas**

Al igual que la lluvia, la neblina es un factor que contribuye negativamente al normal desarrollo del minado, ocasionando pérdidas económicas por detener temporalmente las operaciones y mantener parados los equipos. HUBBAY protege a sus colaboradores y detiene sus operaciones bajo condiciones extremas bajo las siguientes recomendaciones:

- Transitar en las vías de acarreo sólo si tiene visibilidad, caso contrario comunicar al CONTROLADOR y al supervisor el motivo de la parada. Reiniciar cuando se despeja la neblina permita operar con normalidad.
- Reducir la velocidad, se recomienda 25 kph y la distancia mínima entre camiones de 60 metros.
- Usar señales visuales (luces) para advertir su presencia.

3.6. Optimización de vías de acarreo

3.6.1. Diseño de vías y rampas

La vía es una faja de terreno con un plano de rodadura especialmente dispuesto para el tránsito adecuado de vehículos y está destinado a comunicar entre sí los frentes de extracción con las chancadoras, botaderos y stock pile.

Criterio para tener en cuenta

- Pendiente
- Ancho
- Peralte

- Bermas
- Drenaje

Pendiente. - Es la inclinación del terreno respecto al plano horizontal. La pendiente recomendada para la construcción de rampas es de 8 % a 12 %.

Cálculo de Rampa: Se necesita construir una rampa de 320 m. de longitud, para comunicar tres niveles de 15 metros cada uno, que pendiente va tener y en una vista de planta a que longitud corresponde.

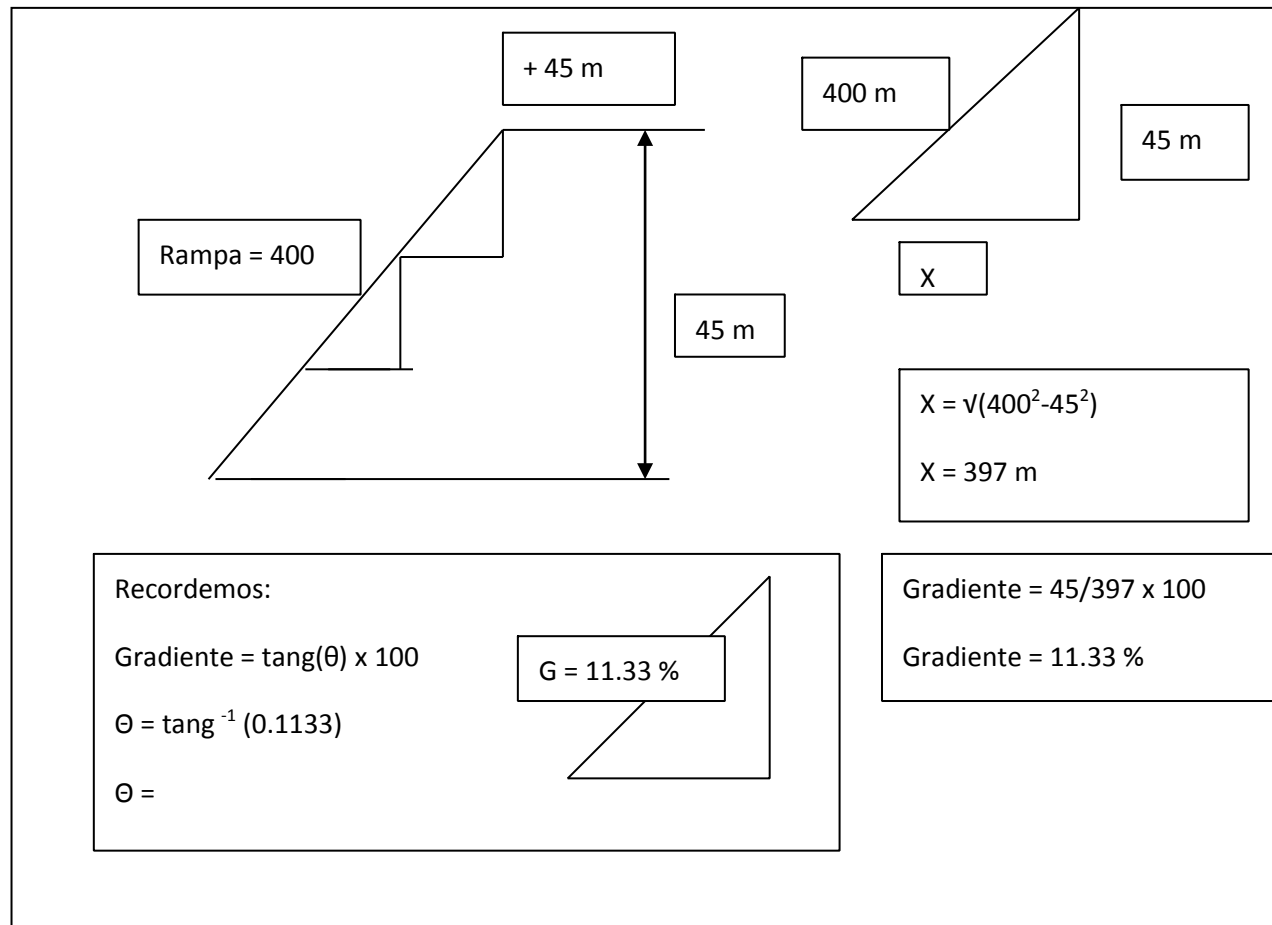


Figura 18: Cálculo de la gradiente de una rampa.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Ancho. - La vía debe conservar un ancho mínimo de 3 1/2 veces el ancho del vehículo de mayor capacidad que transite en la mina. El ancho de las vías que se recomienda puede estimarse con la siguiente expresión:

$$A = a (0.5 + 1.5n)$$

Dónde:

A: Anchura total de la vía (m) a: anchura del vehículo en (m). n: Número de carriles deseados.

Para nuestro caso son camiones CAT 793 F: a = 8.3 m.

n = 2

Reemplazando en la formula se tiene: A = 29.0 m.

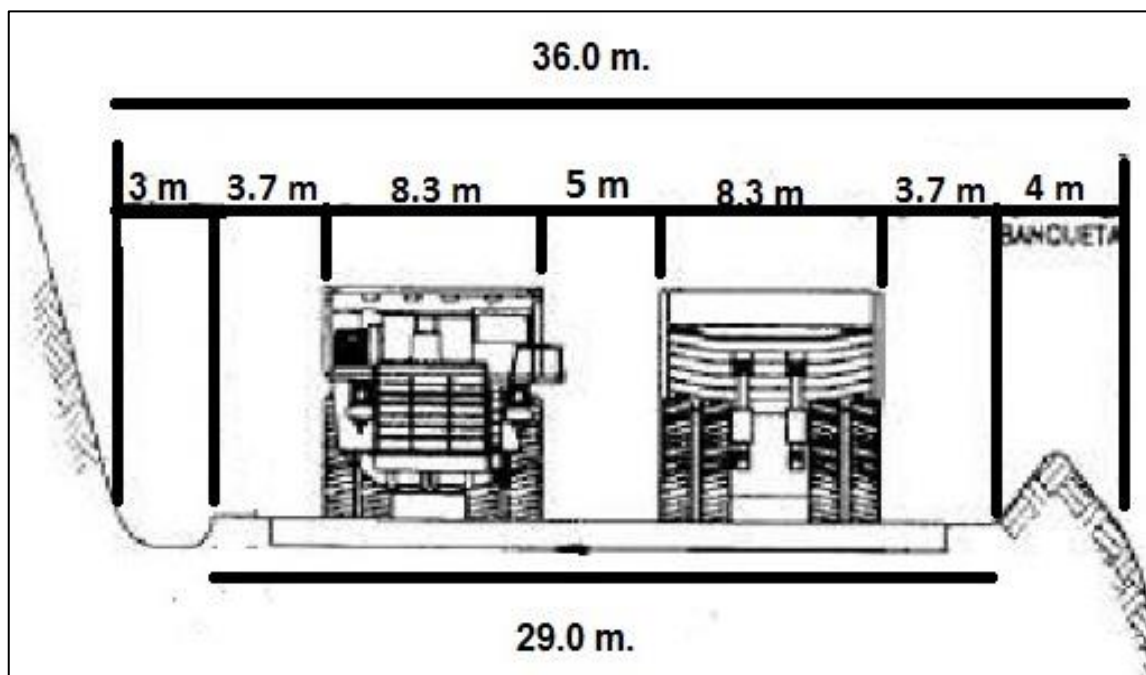


Figura 19: Grafica de Ancho de Vía considerando la Cuneta y Berma.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Peralte .- Es la sobreelevación del lado exterior de la curva que se utiliza para contrarrestar la fuerza centrífuga que aparece en las curvas, originando deslizamientos transversales e incluso vuelcos, el cual se calcula a partir de la formula siguiente:

$$e = \frac{V^2 \times f}{127.14 \times R}$$

Dónde:

e = Tangente del ángulo del plano horizontal de la vía.

V = Velocidad (km/hr)

R = Radio de la curva (m)

f = Coeficiente de fricción

Bermas.- Toda vía elevada debe estar provista de bermas, para evitar la caída de vehículos que circulan por estas a niveles inferiores en caso de pérdida o deslizamiento del vehículo. Por lo general la altura de la berma es 2/3 de la llanta del camión más grande que exista, y el ancho varío de 2.5 a 3.5 metros.

Drenaje.- Toda vía de acarreo debe tener sus drenajes bien definidos con el fin de resumir al máximo posible la cantidad de agua que de una u otra forma llega a la misma e evacuarla lo más rápido posible.

Cunetas.- Son zanjas que se hacen a ambos lados de la vida con el propósito de recibir y conducir el agua lluvia proveniente del bombeo.

Bombeo.- Es la forma de la sección transversal de la vía que tiene como fin principal el drenaje lateral del agua que cae en la vía.

3.6.2. Mantenimiento de las vías

Se debe tener un programa para el mantenimiento de las vías en el tajo y un supervisor de vías, los equipos que se pueden usar son:

- Motoniveladora CAT 14H
- Motoniveladora CAT 16H
- Motoniveladora CAT 24H

- Motoniveladora CAT 24M
- Tractor de rueda CAT 834B
- Tractor de rueda CAT 854G
- Tractor de rueda CAT 854K
- Excavadora CAT 385CLM
- Excavadora CAT 390D
- Cisternas de agua
- Rodillo para compactar

3.6.3. Entrenamiento de los operadores de equipos

Por la dimensión de la mina a tajo abierto se debe contar con un área conformada de entrenadores de los siguientes equipos.

Equipos de Carguío

- Pala eléctrica
- Pala hidráulica
- Cargadores frontales

Equipos de Acarreo

- Camiones CAT
- Camiones KOMATSU

Equipos auxiliares Perforadoras

- Tractores de carriles
- Tractores de llanta
- Motoniveladora
- Cisterna agua
- Excavadoras
- Rodillos

3.7. Evaluación de pérdidas en costos y tiempo

Tabla 2

Incidencia de dólares perdidos en los equipos (US\$).

CICLO ACARREO CAMIONES	INCIDENCIA	
Tiempo Carguío	5 676.7	0.1%
HANG – Pala Esperando Pala	5 156.7	0.1%
QUEUE – Camión Esperando Pala	12 918.8	0.3%
Tiempo de Cuadrado en Pala	6 662.5	0.2%
Tiempo de Cuadrado en Botadero	1 625.0	0.1%
Tiempo de Cuadrado en Chancadora	1 617 000.00	41.9%
Chancadora Esperando Camión	2 211 000.0	57.3%
Dólares Perdidos	3 860 039.6	100.00%

Fuente: Elaboración propia, (2018)

3.8. Proceso de contraste de hipótesis

3.8.1. Prueba de hipótesis general

Se aplicó el sistema ControlSense, con el cual se comprobó una mejora de tiempos en el despacho de equipos empleados en el carguío y acarreo de la mina Constancia, en la provincia de Chumbivilcas, departamento Cusco, 2018. Por tanto, esta hipótesis queda aprobada.

3.8.2. Prueba de hipótesis específicas

- Se describió la situación actual del carguío y acarreo, mediante ello se determinó que los equipos no obtienen su rendimiento máximo, por lo que es necesario aplicar el sistema ControlSense y optimizar dicha área de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018. Esta hipótesis queda aprobada.
- Se aplicó el sistema ControlSense con lo cual se evidencia un aumento en el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo en la

mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018. Esta hipótesis queda aprobada.

- Se determinaron los parámetros de producción que intervienen en el carguío y acarreo, con el cual se evidencio el aumento de rendimientos de los equipos con la aplicación del sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018.

CONCLUSIONES

- En el análisis de la situación actual se estudiaron los principales equipos implicados en el carguío y acarreo tales como Camiones CAT 793F y Camiones HITACHI EH4000; Palas hidráulicas HITACHI EX – 5600 y Cargador frontal CAT 994H. El tiempo promedio en el acarreo de las tres guardias es 19.91 minutos. El tiempo promedio en el carguío de las tres guardias es 3.47 minutos.
- El rendimiento de los equipos de carguío y acarreo aplicando el sistema ControlSense es de, para los camiones es 584 ton/hora, para las palas es 3,751 ton/hora, para el cargador es 2,013 ton/hora.
Asimismo, se evidenció que el esfuerzo de cambio de guardia y relevos se ve en una mejora con el ControlSense del uso de la disponibilidad física o una reducción del stand by. El ciclo de acarreo se encuentra dentro de lo programado en el plan semanal.
- Los parámetros de producción que intervienen en el carguío y acarreo, aplicando el sistema ControlSense son; la Producción (t/shift), Disponibilidad Física (%), Usage (%), Utilización (%), Productividad Promedio Total (t/h), Hang(min), Queue(min), Velocidad Cargado(km/h), Velocidad Vacío(km/h), EFH Vacío(km), EFH Cargado(km) y Payload.

RECOMENDACIONES

- Se debe hacer un cambio de guardia eficiente, las palas y los camiones deben estar sincronizados con la operación.
Llevar un control de piso, disminuir los movimientos largos de las palas.
- Elaborar los planes semanales en referencia a los datos obtenidos en el Controlsense para empezar a referenciar nuestros target.
- Crear una cultura de seguridad basado en los parámetros con el objetivo de minimizar las demoras y condiciones que nos afectan directamente.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Cáceres, R. (2012). Aplicación de Alta Precisión con ControlSense en la Perforación de Mallas de Producción en CIA. Minera Yanacocha SRL. *Tesis para optar el grado de Ingeniero de Minas*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1654/1>
- Domínguez, J. (2012). Optimización del Carguío y Acarreo por Zublin Chile Caso Minera Yanacocha. *Tesis para optar el grado de Ingeniero de Minas*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1838>
- Gómez, G. (2017). Disponibilidad de Equipos Auxiliares para Optimizar la Productividad en el Carguío y Acarreo de las Fases 01,03 y 07 del Tajo Constancia Empresa Especializada Stracon Gym S.A. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas*. Chumbivilcas, Cusco, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Obtenido de repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3252
- Hernández, R. (2006). Metodología de la Investigación. 5, 257-300. México : Interamericana Editores. Recuperado el 15 de Mayo de 2017, de <https://www.esup.edu.pe>
- Huamán, W. (2015). Estudio Comparativo entre el Sistema Minestar Health y el Sistema Convencional en el Control de Camiones Mineros en Minera Gold Fields La Cima, Cajamarca - 2015. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas*. Hualgayoc, Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/han>
- Lagos, E. (2012). Gestión Operativa del Sistema de Despacho – Estudio Técnico y Económico. *Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil de Minas*. Santiago, Chile: Universidad Nacional de Chile. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2012c/sources/lagos_ec.pdf
- Marca, W. (2014). Análisis de la Disponibilidad y Rendimiento de los Equipos de Carguío y Transporte en la Empresa Contratista Smcgsa, Mina

Colquijirca de SMBSA. *Tesis de Grado*. Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre. Obtenido de <http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/>

Marín, C. (2015). Incremento de la Productividad en el Carguío y Acarreo en Frentes que Presentan Altos Contenidos de Arcillas al Utilizar un Diseño de Lastre Adecuado, Minera Yanacocha. *Tesis de Grado*. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537>

Mauricio. (2015). Mejoramiento Continuo en la Gestión del Ciclo de Acarreo de Camiones en Minería a Tajo Abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, Las Bambas, Cerro Corona, Antapacay y Pucamarca. *Tesis Magistral en Ciencias*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2181

Olazabal, J. (2014). Factibilidad del Cambio de Sistema de Control de Mina en la Unidad Minera Toquepala. *Tesis de Grado*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica. Obtenido de tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/59

Quispe, W. (2017). Optimización de Costos de Acarreo con Equipo Mecanizado en la Unidad Minera Tambomayo CIA. de Minas Buenaventura Arequipa. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4070>

Ríos, F. (2013). Evaluación del Rendimiento de Diferentes Tipos de Rodaduras para la Optimización del Ciclo de Acarreo y Transporte del Material en Tunelería. *Tesis de Grado*. San Carlos, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3541_C.pdf

Rojas, R. (2012). Análisis, Estudio y Determinación de los Requerimientos de Información para la Implementación de un Sistema de Control de Indicadores. *Tesis para optar el grado de ingeniero civil industrial*.

Concepción, Chile: Universidad del Bío-Bío. Obtenido de http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2012/rojas_r/doc.

Silvestre, R. (2015). Optimización de Flota de Camiones Aplicando Programación Dinámica - Mina Corihuarmi. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2175/1/huaman_sr.pdf

Vásquez, E. (2013). Evaluación del Rendimiento de Diferentes Tipos de Rodaduras para la Optimización del Ciclo de Acarreo y Transporte del Material en Tunelería. *Tesis para optar grado de Ingeniero Civil*. San Carlos, Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3541_C.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Anexo 2. Instrumento de investigación – Ficha de reporte de carguío y acarreo.

Anexo 3. Instrumento de investigación – Ficha de parámetros de producción.

Anexo 1: Matriz de consistencia

Título: “OPTIMIZACIÓN DEL CARGUÍO Y ACARREO APLICANDO EL SISTEMA CONTROLSENSE EN LA MINA CONSTANCIA, CUSCO, 2018”

Tesista: AGREDA AJEN, JUAN ALBERTO.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE LA INVESTIGACION	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES E INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p>Problema principal: ¿Cómo influye la aplicación del sistema ControlSense en la optimización del carguío y acarreo de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018?</p>	<p>Objetivo General: Aplicar el sistema ControlSense para optimizar el carguío y acarreo de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018.</p>	<p>Hipótesis general: Si se aplica el sistema ControlSense se optimizará el rendimiento de los equipos empleados en el carguío y acarreo de la mina Constancia, en la provincia de Chumbivilcas, departamento Cusco, 2018.</p>			<p>Tipo de investigación El tipo de investigación será descriptivo y analítico. Nivel de investigación Se utilizará la investigación cuantitativa. Diseño de investigación El diseño de investigación será experimental (Hernández, 2006), ya que para analizar los reportes del software ControlSense se requiere un proceso sistemático, en la cual el tesista va a manipular una o más variables para controlar y medir cualquier cambio en otras variables. Población Se estudiará el área de carguío y acarreo de la mina Constancia. Muestra Se analizarán el reporte de los siguientes equipos: 3 Pallas Hitachi. 19 Camiones 793F.</p>
<p>Problemas secundarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es la situación actual del carguío y acarreo antes de aplicar el sistema ControlSense y optimizar dicha área de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018? - ¿Cuál es el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo al aplicar el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018? - ¿Cuáles son los parámetros de producción que intervienen en el carguío y acarreo, al aplicar el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018? 	<p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Describir la situación actual del carguío y acarreo para aplicar el sistema ControlSense y optimizar dicha área de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018. - Determinar el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo aplicando el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018. - Determinar los parámetros de producción que intervienen en el carguío y acarreo, aplicando el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018. 	<p>Hipótesis secundarias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si se describe la situación actual del carguío y acarreo se podrá evaluar la aplicación del sistema ControlSense y optimizar dicha área de la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018. - Con la aplicación del sistema ControlSense se determinará el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018. - Si se determinan los parámetros de producción que intervienen en el carguío y acarreo, se logrará aplicar el sistema ControlSense en la mina Constancia, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, en el año 2018. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema ControlSense - Carguío y acarreo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha de reporte de carguío y acarreo. - Ficha de parámetros de producción. 	

Fuente: Elaboración propia. (2018).

Anexo 2: Instrumento de Investigación: Ficha de reporte de carguío y acarreo

Tabla 3

Ficha de reporte de carguío y acarreo.

	Turno Día	Turno Noche	Promedio	Planeado
Equipo	Disponibilidad física			
	Usage (%)			
	Utilización (%)			
	Productividad promedio			
	Velocidad cargado			
	Velocidad vacío			
	Payload			

Fuente: Elaboración propia. (2018).

Anexo 3: Instrumento de Investigación: Ficha de parámetros de producción

Tabla 4

Ficha de parámetros de producción.

Equipo	Parámetros	Turno A	Turno B	Acumulado del día
	Número de viajes			
	Demora			
	Stand By			
	Número de viajes prime			
	Número de Viajes Rehandle			

Fuente: Elaboración propia. (2018).