

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS PROFESIONAL**

**DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES INFLUYENTES EN EL CONTROL Y  
LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO EN  
LA OPERACIÓN MINERA CERRO CORONA –  
GOLD FIELDS**

Para optar Título Profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

Presentado por:

**Bach. Doris Soledad López Martos**

Asesor:

**Ing. Roberto Severino Gonzales Yana**

Cajamarca-Perú

2018

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios quien me dio la vida y la ha llenado de bendiciones en todo este tiempo. Quiero expresar mi agradecimiento y reconocimiento con mucho cariño a mi madre por todo el esfuerzo que realiza para brindarme la educación y hacer de mí una profesional y una persona formada con ética y valores, gracias nuevamente por los sacrificios y la paciencia que demostraste y sigues demostrando todo el tiempo. Asimismo, agradezco a los docentes que tuve durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado a mi formación académica, por sus consejos y sus enseñanzas. Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos y apoyo en los buenos y malos momentos de mi vida, sin importar donde se encuentren, gracias por aportar a mi formación tanto académico como personal.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme llegar hasta este momento tan especial e importante  
en mi vida.

A mi madre, por ser la persona que me ha apoyado incondicionalmente  
durante todo el trayecto de mi vida.

A mi padre, que desde el cielo me cuida y protege para alcanzar cada una de  
mis metas trazadas.

A mis hermanos, por acompañarme en cada etapa de mi vida y mostrarme  
su apoyo en los momentos más difíciles.

A amigos, que gracias al trabajo en equipo logramos llegar hasta el final del  
camino y mantener una amistad verdadera.

A mis docentes, por el tiempo dedicado a trasmitirme su sabiduría y  
contribuir con n en el desarrollo de mi formación académica.

Doris Soledad López Martos

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Pág.</b>
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
<b>CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación: .....	3
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	3
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	4
2.1.3. Antecedentes locales.....	6
2.2. Bases teóricas .....	7
2.2.1. Carguío y Acarreo.....	7
2.2.2. Procesos involucrados en el carguío y acarreo. ....	11
2.2.3. Proceso de minado en Cerro Corona .....	14
2.2.4. Equipos de minado en Cerro Corona:.....	19
2.2.5. Sistema de Control de Flota: Control Sense.....	25
2.2.6. Método de Coeficiente de correlación de Pearson .....	34
2.2.7. Método de Correlación Lineal Múltiple .....	39
2.3. Definición de términos básicos.....	40
<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
3.1. Ubicación Geográfica.....	42
3.2. Accesibilidad .....	42
3.3. Metodología de la Investigación .....	43
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación .....	43
3.4. Procedimiento.....	44
3.4.1. Etapa de recopilación de información .....	44
3.4.2. Etapa de recolección de datos.....	44
3.4.3. Etapa de análisis de información .....	45

	<b>Pág.</b>
3.5. Definición de variables.....	46
3.5.1. Variables independientes .....	46
3.5.2. Variables dependientes .....	46
3.6. Equipos y materiales.....	48
3.7. Presentación de datos .....	48
3.7.1. Datos Históricos de Control Sense .....	48
3.7.2. Datos Históricos de Topografía .....	51
3.8. Análisis de información histórica .....	53
3.8.1. Selección de datos históricos.....	53
3.8.2. Definición del escenario del año 2017 .....	65
3.8.3. Determinación de escalas de clasificación de variables .....	71
3.9. Desarrollo de la contrastación de Hipótesis .....	92
3.9.2. Control y Optimización de la productividad de carguío.....	101
 <b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	 <b>105</b>
4.1. Análisis y discusión de la comprobación de la Hipótesis.....	105
4.1.1. Correlación de variables .....	105
4.1.2. Causalidad de la variable dependiente.....	108
4.1.3. Validación de la influencia de las variables con el principio de Pareto.....	111
4.1.4. Control y Optimización de la variable dependiente .....	114
 <b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	 <b>116</b>
5.1. Conclusiones.....	116
5.2. Recomendaciones .....	117
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	 119
ANEXOS .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Equipos de carguío en Cerro Corona.....	19
Tabla 2: Equipos de acarreo en Cerro Corona.....	21
Tabla 3: Flota de acarreo en Cerro Corona.....	22
Tabla 4: Parámetros de productividad en Cerro Corona 2017.....	30
Tabla 5: Operacionalización de variables.....	47
Tabla 6: Tabla modelo de base de datos de Control Sense.....	50
Tabla 7: Tabla modelo de base de datos topográficos.....	52
Tabla 8: Estadística inicial de RE44.....	54
Tabla 9: Estadística final de RE44.....	54
Tabla 10: Estadística inicial de RE46.....	58
Tabla 11: Estadística final de RE46.....	58
Tabla 12: Datos del escenario de Productividad Operativa de Carguío del 2017.....	66
Tabla 13: Datos del escenario de Tiempo de Carguío del 2017.....	68
Tabla 14: Datos del escenario base de Hang del año 2017.....	69
Tabla 15: Datos del escenario del ancho del frente del 2017.....	71
Tabla 16: Límites de clasificación de la Productividad Operativa de carguío.....	74
Tabla 17: Productividad Operativa de carguío promedio por escalas de clasificación.....	79
Tabla 18: Ancho del frente promedio por escala de clasificación de la Productividad.....	86
Tabla 19: Límites de escala de clasificación del Ancho del frente.....	86
Tabla 20: Tabla de escala de clasificación del Ancho del frente.....	86
Tabla 21: Límites de escala de clasificación del tiempo de carguío.....	90
Tabla 22: Tabla de escala de clasificación del tiempo de carguío.....	90
Tabla 23: Tabla de escala de clasificación del Hang.....	92
Tabla 24: Datos de Correlación Productividad de carguío – Ancho del frente.....	94
Tabla 25: Datos de Correlación Productividad de carguío - Tiempo de carguío.....	96
Tabla 26: Datos de Correlación Productividad de carguío - Hang.....	97
Tabla 27: Tabla de Datos de correlaciones entre variables.....	98
Tabla 28: Tabla resumen de datos del análisis de causalidad.....	99
Tabla 29: Tabla de datos de análisis de varianza.....	99
Tabla 30: Tabla de datos de modelo de regresión lineal múltiple.....	100
Tabla 31: Tabla combinaciones de escalas de clasificación de variables.....	102

	<b>Pág.</b>
Tabla 32: Tabla resumen de Resultados de Correlación de Variables .....	105
Tabla 33: Tabla resumen de Evaluación de Coeficientes de Correlación.....	108
Tabla 34: Tabla resumen de resultados de Causalidad de Variables.....	108
Tabla 35: Tabla resumen de Coeficientes de Pearson y Regresión Lineal Múltiple.....	110
Tabla 36: Tabla de datos para el diagrama de Pareto.....	112
Tabla 37: Tabla resumen de resultados de Control y Optimización de Productividad ....	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1: Actividades del ciclo de carguío de una excavadora .....	9
Figura 2: Actividades del ciclo de acarreo de un volquete .....	10
Figura 3: Esquema de procesos involucrados en el carguío y acarreo .....	11
Figura 4: Diagrama del proceso de minado en Cerro Corona .....	15
Figura 5: Perforadora DM45 en Cerro Corona .....	15
Figura 6: Perforadora ROC L8 en Cerro Corona .....	16
Figura 7: Características geométricas de las vías de acarreo del tajo Cerro Corona.....	19
Figura 8: Excavadora RE4 6 en Cerro Corona .....	20
Figura 9: Dimensiones de la excavadora hidráulica CAT 274D L .....	20
Figura 10: Volquete VOLVO FMX 440 .....	23
Figura 11: Volquete VOLVO FMX 480 .....	23
Figura 12: Volquete MERCEDES 444 .....	23
Figura 13: Dimensiones de los volquetes Volvo FMX 440/480.....	24
Figura 14: Dimensiones de los volquetes MERCEDES 444.....	25
Figura 15: Fórmulas de productividad.....	28
Figura 16: Fórmula de cálculo del EFH .....	29
Figura 17: Interfaz principal de la pantalla de optimización de flota en Control Sense...	32
Figura 18: Interfaz principal de la pantalla de mapa Mina en Control Sense .....	33
Figura 19: Gráfica de dispersión de relación nula .....	37
Figura 20: Gráfica de dispersión de relación positiva débil .....	37
Figura 21: Gráfica de dispersión de relación positiva muy fuerte .....	38
Figura 22: Gráfica de dispersión de relación negativa muy fuerte .....	38
Figura 23: Esquema de recolección de datos.....	45
Figura 24: Esquema del procedimiento de trabajo .....	45
Figura 25: Forma de cálculo de ancho de minado en AutoCAD.....	51
Figura 26: Relación de Disponibilidad y rendimientos en la Producción del Sistema ....	71
Figura 27: Relación de la Cantidad de Volquetes en la Producción del Sistema .....	72
Figura 28: Relación del Mínimo Costo en la Producción del sistema .....	73

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfico 1: Histograma Inicial - Productividad RE44 .....	55
Gráfico 2: Histograma Final -Productividad RE44 .....	55
Gráfico 3: Histograma Inicial – Tiempo de Carguío RE44 .....	56
Gráfico 4: Histograma Final –Tiempo de Carguío RE44 .....	56
Gráfico 5: Histograma Inicial – Hang RE44 .....	57
Gráfico 6: Histograma Final – Hang RE44 .....	57
Gráfico 7: Histograma Inicial – Productividad RE46 .....	59
Gráfico 8: Histograma Final – Productividad RE46 .....	59
Gráfico 9: Histograma Inicial – Tiempo de carguío RE46.....	60
Gráfico 10: Histograma Final – Tiempo de carguío RE46.....	60
Gráfico 11: Histograma Inicial – Hang RE46 .....	61
Gráfico 12: Histograma Final – Hang RE46 .....	61
Gráfico 13: Histograma Final – Ancho del frente RE44 .....	63
Gráfico 14: Histograma Final – Ancho del frente RE46 .....	64
Gráfico 15: Histograma de Productividad Operativa RE44 .....	65
Gráfico 16: Histograma de Productividad Operativa RE46 .....	66
Gráfico 17: Histograma de Tiempo de Carguío RE44 .....	67
Gráfico 18: Histograma de Tiempo de Carguío RE46 .....	67
Gráfico 19: Histograma de Hang RE44.....	68
Gráfico 20: Histograma de Hang RE46.....	69
Gráfico 21: Histograma del ancho del frente RE44 .....	70
Gráfico 22: Histograma del Ancho del frente RE46.....	70
Gráfico 23: Relación del Mínimo Costo en la Producción del sistema.....	74
Gráfico 24: Escala de Clasificación de Productividad Operatividad de Carguío .....	75
Gráfico 25: Performance RE44 en año 2017.....	75
Gráfico 26: Performance RE46 en año 2017.....	76
Gráfico 27: Histogramas de Productividad Operativa Baja RE44 .....	76
Gráfico 28: Histogramas de Productividad Operativa Media RE44 .....	77
Gráfico 29: Histogramas de Productividad Operativa Alta RE44.....	77
Gráfico 30: Histogramas de Productividad Operativa Baja RE46 .....	78
Gráfico 31: Histogramas de Productividad Operativa Media RE46 .....	78
Gráfico 32: Histogramas de Productividad Operativa Alta RE46.....	79

	<b>Pág.</b>
Gráfico 33: Compara tivo de confiabilidad de los equipos de carguío del 2017.....	80
Gráfico 34: Ranking de Operadores de carguío del 2017 .....	81
Gráfico 35: Intervención de Operadores de Carguío en RE44 en 2017 .....	81
Gráfico 36: Intervención de Operadores de Carguío en RE46 en 2017 .....	82
Gráfico 37: Histograma del Ancho del frente en Productividad Baja RE44.....	83
Gráfico 38: Histograma del Ancho del frente en Productividad Media RE44 .....	83
Gráfico 39: Histograma del Ancho del frente en Productividad Alta RE44.....	84
Gráfico 40: Histograma del Ancho del frente en Productividad Baja RE46.....	84
Gráfico 41: Histograma del Ancho del frente en Productividad Media RE46 .....	85
Gráfico 42: Histograma del Ancho del frente en Productividad Alta RE46.....	85
Gráfico 43: Histograma de Tiempo de carguío en Arcillas RE44 .....	87
Gráfico 44: Histograma de Tiempo de carguío en Arcillas RE46 .....	88
Gráfico 45: Histograma de Tiempo de carguío en Roca RE44 .....	89
Gráfico 46: Histograma de Tiempo de carguío en Roca RE46 .....	89
Gráfico 47: Diagrama de dispersión del punto de equilibrio Hang - Costo operativo. ...	91
Gráfico 48: Diagrama de dispersión de Correlación Productividad-Ancho del frente....	94
Gráfico 49: Diagrama de dispersión de Correlación Productividad-Tiempo de carguío .	95
Gráfico 50: Diagrama de dispersión de Correlación Productividad-Hang.....	97
Gráfico 51: Resumen de Escalas de clasificación de las variables.....	101
Gráfico 52: Ancho de frente optimizado en relación al escenario del año 2017 .....	103
Gráfico 53: Tiempo de carguío optimizado en relación al escenario del año 2017.....	103
Gráfico 54: Hang optimizado en relación al escenario del año 2017 .....	103
Gráfico 55: Productividad de Carguío optimizada en relación al escenario del 2017 ..	104
Gráfico 56: Diagrama de Pareto para la influencia de los factores en la Productividad	113

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>TON</b>	: Toneladas
<b>Hr</b>	: Hora
<b>RE</b>	: Excavadora
<b>m</b>	: Metros
<b>min</b>	: Minutos
<b>P80</b>	: 80% del material
<b>N</b>	: Total de datos
$\hat{Y}$	: Productividad Operativa de Carguío (ton/hr)
$X_1$	: Ancho del Frente (m)
$X_2$	: Tiempo de Carguío (min)
$X_3$	: Hang (%)
$\hat{Z}$	: Productividad Operativa de Carguío
$Z_1$	: Ancho del Frente
$Z_2$	: Tiempo de Carguío
$Z_3$	: Hang
<b>Hang</b>	: Espera de la excavadora por cargar un volquete
<b>Queue</b>	: Espera en cola del volquete para ser cargado
<b>CAT</b>	: Caterpillar
<b>Rompad</b>	: Depósito de mineral
<b>BCM</b>	: Metro cúbico en banco
<b>LHD</b>	: Load Haul Dump o cargador de bajo perfil
<b>KPI</b>	: Key Performance Indicator o Indicador clave de desempeño
<b>SPSS</b>	: Statistical Package for the Social Sciences (Programa estadístico)

## RESUMEN

La investigación se ha desarrollado en la operación minera Cerro Corona a tajo abierto perteneciente a la compañía Gold Fields con producción de cobre y oro, ubicada en la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca desde el año 2008, donde dentro de los procesos productivos de mayor costo están el carguío y acarreo de material, puesto que tienen la mayor cantidad de equipos involucrados (flota), alto grado de mecanización, menor rendimiento productivo por equipo y constituye un proceso de operación continuo y lento, cuyo objetivo principal fue enfocarse en la operación unitaria de carguío y determinación de los factores más influyentes que intervienen en la productividad. El estudio permitió contribuir con la optimización realizándose diversos análisis del ancho del frente, tiempo de carguío y tiempo de espera de la excavadora (hang), estableciendo un control basado en el año 2017 para cada variable involucrada, determinándose su grado de correlación y modelo de causalidad, para finalmente lograr la optimización sobre cada factor y por ende sobre la producción; pronosticando la posibilidad de incrementar hasta un 22% la productividad operativa de la excavadora al mantener los estándares mínimos óptimos en la calidad de las condiciones del frente de minado y el manejo de la flota asignada.

**Palabras claves:** Ancho del frente, tiempo de carguío, tiempo de espera de la excavadora (hang), productividad operativa.

## **ABSTRACT**

This research has been developed in the mining operation Cerro Corona open pit belonging to the company Gold Fields with copper and gold, located in the province of Hualgayoc, Cajamarca department since 2008, where the production processes of higher cost There is the loading and hauling of material, since they have the largest number of equipment involved (fleet), high degree of mechanization, lower productive performance per equipment and constitutes a continuous and slow operation process, whose main objective was to focus on the operation unitary of loading and determination of the most influential factors that intervene in productivity. The study made it possible to contribute with the optimization by performing various analyzes of the front width, loading time and waiting time of the excavator (Hang), establishing a control based on the year 2017 for each variable involved, determining its degree of correlation and model of causality, to finally achieve the optimization on each factor and therefore on the production; forecasting the possibility of increasing up to 22% the operational productivity of the excavator by maintaining optimum minimum standards in the quality of the mining front conditions and the management of the assigned fleet.

**Keywords:** Width of front, loading time, excavator wait time (hang), operational productivity.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente el sector minero sigue ganando importancia, las empresas de este rubro de todo el mundo buscan maximizar la producción, mejorar la productividad, racionalizar los procesos y mejorar la rentabilidad para maximizar la eficiencia de sus operaciones.

En Cerro Corona, se buscan continuamente nuevas oportunidades para reducir sus costos operativos y alcanzar una mayor productividad en sus diferentes operaciones unitarias, una de las cuales es el carguío, factor importante del ciclo de minado.

El carguío de material es una de las etapas más costosas del ciclo de producción, siendo en promedio 20% del costo total. Sin embargo, el trabajo diario hace que algunos aspectos elementales pasen desapercibidos. Un problema persistente son ciertos tiempos muertos: Excavadoras que esperan por volquetes para cargar, reasignación no coordinada de viajes, paradas no programadas, malas condiciones del frente de carguío, entre otros factores. Esto crea un consumo ineficiente del combustible, el cual incide indirectamente en energía desperdiciada, en el incremento de las emisiones de carbono en la atmósfera y en la elevación de costos por el servicio; por lo que se crea la necesidad de contribuir con el desarrollo de una metodología eficaz para mejorar la productividad por hora del carguío.

Es así que el problema principal se plantea con la siguiente pregunta ¿Cuáles son los factores influyentes en el carguío para optimizar la productividad operativa de éste?, asimismo se tiene problemas secundarios tales como: ¿Cuál es el impacto del ancho del frente de carguío en la productividad operativa de las excavadoras?, ¿Cuál es el impacto del tiempo de carguío de la excavadora en la productividad operativa de éstas?, ¿Cuál es el impacto del tiempo de espera de la excavadora (Hang) en la productividad operativa de dichos equipos? y ¿Cuáles son los estándares de los principales factores que permitan tener un escenario base para controlarlos y optimizarlos?

Asimismo, se toma la siguiente hipótesis para esta investigación: Es el tiempo de carguío de la excavadora, el tiempo de espera de la excavadora (Hang) y el ancho del frente de minado, los factores influyentes en la productividad operativa de carguío que permitirá incrementar un 10%, para ello necesita ser evaluada determinar el éxito del estudio.

En base a la problemática mencionada se tiene como objetivo principal: Determinar los factores más influyentes que intervienen en la productividad operativa de carguío, además de los siguientes objetivos específicos: Analizar los tiempos de carguío y los factores que influyen, al analizar las dimensiones del ancho del frente de carguío y su intervención en la productividad operativa de carguío, analizar el Hang de los equipos de carguío en estudio y establecer estándares de los factores estudiados que permitan tener un escenario base para controlarlos y optimizarlos.

Para lograr lo referido, esto se traducirá en las medidas de los indicadores clave de rendimiento a lo largo de toda la cadena de valor, pues el establecer el impacto de dichos factores y fijar estándares para tener un punto de partida que permitirá controlar y optimizar el indicador en estudio.

En el presente estudio, se presenta los antecedentes teóricos indicando investigaciones similares sobre temas de productividad de equipos en minería, seguidos de los contenidos de las bases teóricas necesarias y términos básicos para realizar, entender y validar el estudio; seguidamente, en el capítulo de materiales y métodos, se detalla el procedimiento de recolección, validación y análisis de información, así como la comprobación de la hipótesis planteada y la presentación de los resultados obtenidos; finalmente, se muestra la explicación y discusión de los temas que arribarán a conclusiones y recomendaciones a toda la investigación realizada.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes teóricos de la investigación:**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

**Escamilla et al (2011)** realizan su investigación denominada: “Estudio de Productividad del Equipo de Carga en una Mina de Mineral de Hierro a Cielo Abierto” en la que analizan la productividad de los equipos en minería y los principales factores influyentes, la cual fue realizada en una mina ubicada en el municipio de Aquila, Michoacán a petición de la propia empresa, la que se orientó hacia el equipo de carga (dos cargadores frontales Caterpillar 992) utilizados para cargar mineral y material estéril producto del derribo, con el objetivo de determinar su utilización neta, su productividad, los factores que afectan y sugerir alternativas para su mejora. Los resultados obtenidos muestran que el equipo de carga tiene en promedio una utilización neta de 4.27 horas y una productividad de 673 ton/hr en un turno de trabajo; que resultan bajas respecto al indicador meta de la empresa. Por otra parte, el desfase que más afecta al carguío es la falta de camiones para el acarreo, tanto en tiempo como en el ciclo con 1.65 horas y 10 ciclos en promedio por turno de trabajo.

En esta investigación se establece que la productividad del equipo de acarreo, sucede la obsolescencia y vida económica de los equipos; ya que además de provocar interrupciones frecuentes por falta mantenimiento preventivo, el número real de toneladas por viaje es significativamente menor al calculado, así como el rendimiento por operador es muy variable debido a falta de mayor selección de operadores para el equipo de carga, todo esto aportó a mi tesis para realizar un análisis de la confiabilidad del equipo de carguío y de la elaboración de un ranking de operadores de carguío y de su intervención en las excavadoras de la muestra durante el año 2017.

**Madrid (2015)** se enmarcó en el proyecto de automatización del proceso de carga de un cargador de bajo perfil para operaciones subterráneas en la Universidad de Chile en su tesis denominada “Determinación de granulometría y estrategia de extracción de material minero para un cargador minero por medio de mediciones laser”, cuyo objetivo principal fue diseñar y desarrollar una maqueta a escala del punto de extracción real, en la que utilizando un láser actuado por medio de un servo motor y el framework ROS, se obtiene una nube de puntos la que es procesada por un algoritmo que ocupa segmentación en tres dimensiones y finalmente utilizando esta información se entrega una línea en la que se recomienda comenzar el carguío; teniendo como resultado un sistema capaz de diferenciar las rocas relevantes del fino, obteniendo su granulometría utilizando el framework y el hardware requerido.

La relación obtenida entre la granulometría del material y el tiempo de carguío del equipo me permitió establecer la evaluación del tiempo de carguío de la excavadora mediante la diferenciación de materiales de acuerdo a su granulometría como factor influyente en la productividad operativa del equipo de carguío, es decir la fragmentación irregular del mineral y desmonte influye en la velocidad del equipo.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

**Barrientos (2014)** realiza un análisis de los principales factores influyentes en la productividad del carguío en su tesis realizada denominada: “Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto”, en cuyo trabajo se tiene como objetivo principal encontrar los cambios operacionales que tengan mejores resultados sobre las paradas programadas de cambio de turno y colación, y cómo estas afectan en la productividad diaria del sistema de carguío y transporte. La metodología del estudio corresponde a una recolección de los datos disponibles siguiendo restricciones físicas, luego un análisis exploratorio descriptivo y analítico modelando la relación entre las paradas en estudio y la productividad diaria. Además se ejecuta un modelamiento de simulación dinámica de eventos discretos que emula la realidad del sistema en estudio, el cual es validado y calibrado con la información que se tiene del sistema real. Los resultados indicaron que se observa que los días de mayor productividad son aquellos que poseen la menor duración de las paradas en estudio. Con los resultados obtenidos se logró encontrar una relación que aumenta la productividad

y en consecuencia agregar valor a un sistema ya en funcionamiento, cumpliendo así el principal objetivo del estudio. Es posible completar un estudio de este tipo adicionando más información detallada ligada a las paradas estudiadas, pudiendo realizar análisis estadísticos de las variables y el modelo de simulación pueda ser cuantificado en base a estos datos.

La alta correlación negativa encontrada por el autor entre el tiempo de ciclo total y la estimación de la productividad para cada ciclo, motivó la decisión de evaluar el tiempo de espera de la excavadora (Hang) como factor influyente de la productividad operativa de la excavadora, ya que dicho factor mide los tiempos perdidos del equipo de carguío debido a demoras operativas.

**Rojas (2006)** en su tesis denominada “Mejoramiento de la performance y gestión del dispatch en Cerro Verde” cuyo objetivo principal es mostrar cómo Dispatch es parte fundamental del negocio minero basado en el control de las operaciones en forma automática y eficiente mediante una gestión adecuada, demostrando luego el porqué es de vital importancia para una empresa de clase mundial el mantener una adecuada performance de estos sistemas y sus componentes, se demostró que esta herramienta técnica permite obtener asignaciones óptimas y dinámicas de forma automática para la flota de camiones, ya que presenta un plan de optimización donde interactúan algoritmos matemáticos que requieren de inputs lo más reales posibles para arrojar outputs óptimos, pues los algoritmos de Dispatch trabajan para tratar de eliminar los tiempos muertos de las flotas de carguío y acarreo, estos tiempos constituyen los KPIs primarios del Dispatch.

Debido a que este autor demostró que el Dispatch almacena gran cantidad de información que necesita ser analizada para encontrar conclusiones, es que en mi tesis tomo la decisión de utilizar esta herramienta que para el caso de Cerro Corona es el sistema Control Sense para la gestión de la información almacenada en su base de datos para su respectivo análisis, monitoreo y control en tiempo real el rendimiento de los equipos de carguío.

### 2.1.3. Antecedentes locales

**Marín (2015)** tiene una investigación que busca incrementar la productividad a través de la modificación de variables en su tesis denominada “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, Perú, 2015”, en la que el objetivo principal es incrementar la productividad de los equipos de carguío y acarreo en frentes que presentan altos contenidos de arcillas al realizar un diseño de lastre adecuado y en ella se comprobó que es beneficioso económicamente la planificación de lastre y que mediante el uso eficiente de equipo auxiliar se reducen los tiempos por demoras operativas. Para determinar la productividad se hizo observaciones de tiempo de carguío en frentes con diferentes condiciones de trabajo, se pudo determinar diferencias importantes en productividad del equipo de carguío en frentes donde se planificó el lastre.

La determinación de la influencia del espacio y de las condiciones del frente de minado en la productividad de los equipos de carguío en este estudio, me permitió definir la evaluación de dichos factores en calidad de influyentes sobre la productividad operativa de las excavadoras en mi tesis conocida como la variable “ancho del frente”.

**Saldaña (2013)** tiene un estudio sobre el impacto de factores que intervienen en la productividad de los equipos en minería en la tesis de nombre “Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo – Minera Yanacocha” en la que el problema principal que se intentó resolver es cómo mantener el factor de medición de eficacia y eficiencia, llamada Productividad, ante los ojos de la Gerencia y el Directorio con presencia de climas severos en épocas de invierno y verano, riesgos operacionales generados por condiciones subestándar en la mina, falta de equipos operativos para completar tareas y el factor humano como pieza clave en el cumplimiento de objetivos que generarán una calidad operativa de excelencia con trabajos seguros y con un clima laboral motivante a todos los trabajadores de la empresa, mediante la metodología utilizada se obtuvo resultado que se observan reducidos en su intento de perjudicar los valores de productividad con actividades como: lastrado de vías, realización de cunetas y sangrías, control de distancias adecuadas y como un factor importante, el factor humano dado por la capacidad en mina, los cuales son los protagonistas del logros en esta investigación.

El autor de la tesis apoyó la decisión de realizar el análisis de la influencia de los factores en las condiciones del frente y el ancho del mismo en el factor productividad operativa de las excavadoras pertenecientes a la muestra en el año 2017.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Carguío y Acarreo**

Dentro de las operaciones unitarias de mayor costo se encuentra el carguío y acarreo de material, debido a que es el proceso que cuenta con mayor cantidad de equipos mecanizados, con bajo rendimiento productivo por equipo y genera una operación unitaria de baja eficiencia.

El objetivo del proceso es “Retirar el material fragmentado del frente y transportarlo adecuadamente a su lugar de destino”, lo cual se resume: (Vidal, 2010)

- Preparación de la zona de trabajo,
- Posicionamiento de equipos de carguío y transporte,
- Carguío del material al equipo de transporte en el frente de trabajo (Carguío),
- Transporte del material al punto de descarga (Planta, acopio, botaderos, etc.),
- Descarga del material,
- Retorno del equipo de transporte al punto de carguío de acuerdo a la necesidad.

Esta secuencia se cumple hasta que haya sido retirado el material requerido de la frente. Como lo mencionamos anteriormente, este proceso productivo es el más influyente en los costos de operación (45% al 65% del costo mina), por lo que es de gran importancia garantizar un ambiente de operación apto para lograr los mejores rendimientos de los equipos involucrados, tanto en la parte física (material, equipos, mantención, disponibilidad, insumos, etc.), como en la parte humana (operadores, supervisores, etc.). (Vidal, 2010)

## ➤ **Parámetros del proceso de carguío y acarreo**

En el proceso productivo de carguío y acarreo se tiene lo siguiente:

### **a) Tiempo del carguío y acarreo**

Una vez que el material ha sido fragmentado y que se ha revisado el área verificando que la operación será segura sin tiros cortados, bolones, derrumbes, etc.), se procede a preparar la zona de carguío, para lo cual se requerirá (si es necesario) de equipos de apoyo como bulldozers, wheeldozeres, cargadores de servicio, camiones de riego, que dejen el sector apropiado para la operación unitaria de carguío. Cumplido con esto se posiciona el equipo de carguío con su correspondiente flota de equipos de transporte para iniciar la operación. (Vidal, 2010)

En minas de tajo abierto la preparación del sello no constituye una operación unitaria para el ciclo de carguío y transporte, ya que por lo general es más de una la zona a cargar y mientras los equipos de carguío y transporte operan en un sector, los equipos de apoyo están preparando otro. (Vidal, 2010)

### **b) Desarrollo del carguío y acarreo**

Fundamentalmente lo que se hace es extraer el material fragmentado desde el frente de operación por el equipo de carguío, para luego ser depositado en el equipo de transporte, lo cual se logra posicionando el equipo (cargador frontal o pala) frente al material a cargar, en un área donde tanto el equipo de carguío como los equipos de transportes puedan operar sin problemas. El equipo de carguío penetra el material volado con su balde, llenándolo y desplazándolo hacia el punto de descarga, donde el cucharón es vaciado sobre la tolva del equipo de transporte. Esto se repite hasta que el equipo de transporte alcance su llenado operacional llenándolo con los pases necesarios de acuerdo a su capacidad y sea reemplazado por otro equipo de transporte para continuar en forma cíclica hasta agotar el material de la frente de trabajo. (Vidal, 2010)

Los equipos de transporte trasladarán el material a su destino indicado, ya sea a botaderos (estéril), acopios de mineral con baja ley, acopios de lixiviación, acopios de mineral de alta ley, chancado, etc., donde procederán a descargar el material y retornar a la operación (carguío, reserva o mantenimiento). (Vidal, 2010)

### c) Equipos utilizados en el carguío y acarreo

La operación se realiza con equipos adecuados, según la descripción del proceso, es decir dependiendo de la continuidad del proceso y los equipos involucrados. Para el carguío se cuenta con variados equipos como Cargadores frontales, Palas hidráulicas de excavación frontal o retro excavadoras, Palas cable, Dragalinas, Rotopalas, etc., para el caso del transporte se cuenta con equipos como Camiones convencionales (carreteros), Camiones articulados, Camiones fuera de carretera, Ferrocarriles, Correas transportadoras, Mototrallas (auto cargadoras), etc. (Vidal, 2010)

La flota seleccionada tendrá relación directa con las características de la mina, tanto físicas, geométricas y operacionales (rendimientos exigidos). (Vidal, 2010)

### d) Ciclo de carguío

El ciclo de carguío de una excavadora consta de las siguientes 3 actividades:

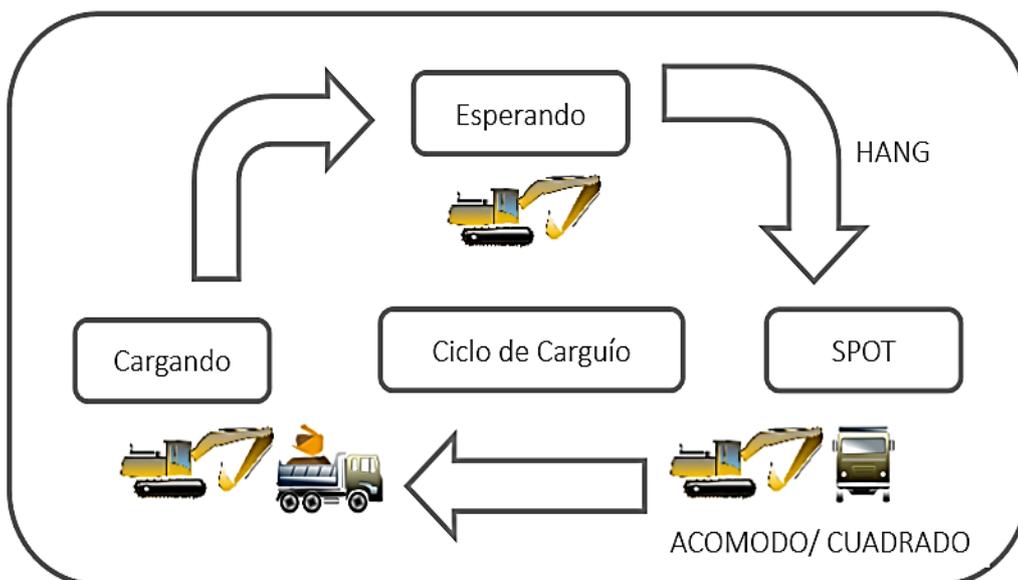


Figura 1: Actividades del ciclo de carguío de una excavadora (Mine Sense, 2017)

### e) Ciclo de acarreo

El ciclo de acarreo de un volquete consta de las siguientes 10 actividades:

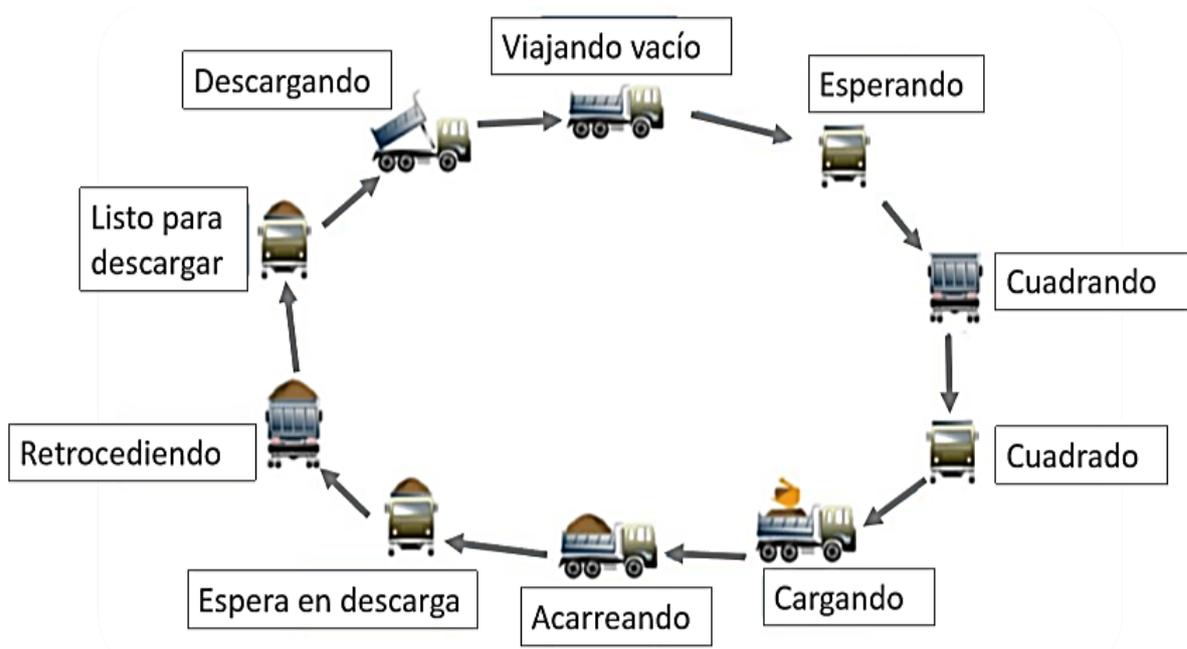


Figura 2: Actividades del ciclo de acarreo de un volquete (Mine Sense, 2017)

### f) Costo de cargar y transportar

En función de los rendimientos exigidos y alcanzados, las características de la explotación, los equipos, la operación y el mercado, se pueden obtener costos de operación que fluctúan entre un 45 a un 65% del costo global de la operación de la mina, pudiendo ser mayores o menores dependiendo de las condiciones de operación en la faena. El carguío oscila entre un 10 y un 20% del costo y el transporte entre un 35 y un 45%. (Vidal, 2010)

En cuanto a inversiones, también podemos apreciar que los montos involucrados respecto a las otras operaciones unitarias, son mucho mayores ya que un camión de 240 Ton cortas cuesta más de US\$ 2.000.000, un cargador frontal adecuado para este camión tiene un valor similar y una pala hidráulica para este tipo de camiones tiene un valor superior a los US\$ 5.000.000. Existen costos asociados a cada equipo y rendimiento

horario calculado con menores capacidades, lo cual se verá reflejado en una inversión menor. Debemos notar que la capacidad de los equipos define directamente en el rendimiento de éstos. (Vidal, 2010)

### 2.2.2. Procesos involucrados en el carguío y acarreo.

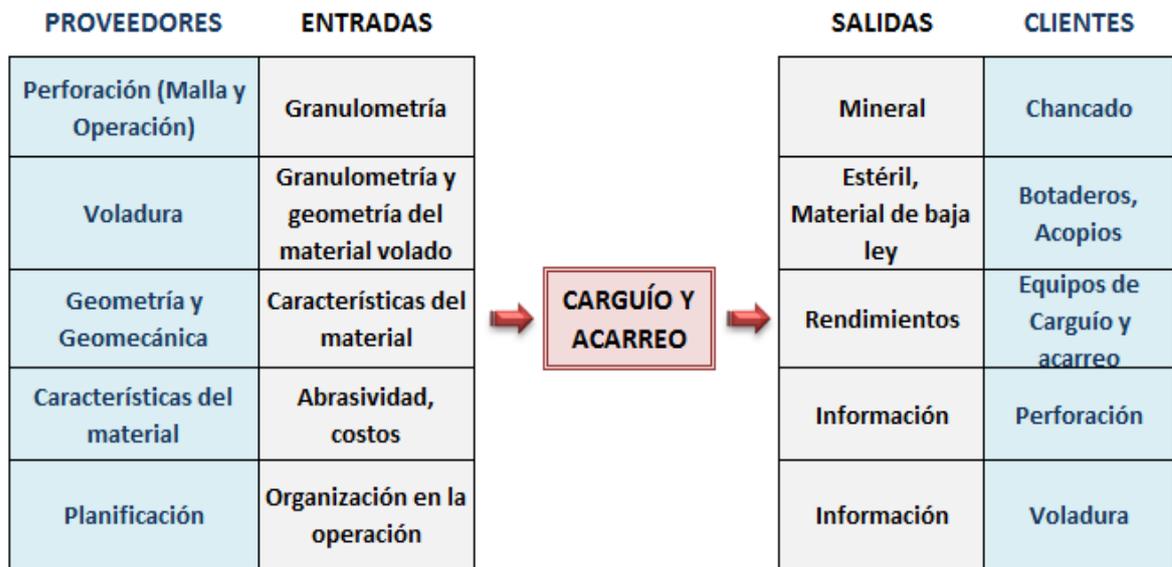


Figura 3: Esquema de procesos involucrados en el carguío y acarreo. (Barrientos, 2014)

#### a) Perforación

En la perforación utilizan malla determinará en la operación unitaria de carguío y transporte, la granulometría generada por la fragmentación del macizo rocoso y de las propiedades inherentes. Una buena malla de perforación, así como una buena perforación (tiros bien perforados según las especificaciones técnicas) garantizará primeramente la buena operación del equipo de carguío (factores de llenado adecuados, frecuencia de aparición de colpas menor, menor desgaste de los baldes, menor sometimiento a sobre esfuerzos de los equipos por choques o arranque de material, etc.), y garantizará una mejor operación del transporte (menor daño por impactos de colpas en la tolva, mejores factores de llenado, mejor descarga de materiales, etc.). (Barrientos, 2014)

La perforación requerirá que las zonas minadas por el carguío queden expeditas con taludes estables y plataformas adecuadas para el ciclaje de operaciones, es decir que sus accesos y superficies a perforar en el futuro cumplan con los mínimos requerimientos para que los equipos de perforación puedan realizar sus actividades. (Barrientos, 2014)

### **b) Voladura**

Es importante el resultado de la voladura, ya que la granulometría también dependerá de los factores de carga aplicados (u obtenidos) en los distintos sectores a volar, podríamos pensar que mientras mayor sea el factor de carga, menor será la granulometría y más fácil se haría la operación de carguío, lo cual no es necesariamente cierto, ya que existe otro factor importante en el resultado de la voladura que es la proyección del material (fly rock), la cual se incrementa con el factor de carga. Para cada tipo de equipo de carguío existe una proyección de material adecuada (para los cargadores la ola deberá ser de poca altura y de mayor extensión, para palas cable lo ideal es una ola alta y de poca extensión). El rendimiento de los equipos de carguío mejorará según la geometría de la ola de material a cargar, lo cual significará menores actividades de preparación de la zona de carguío y con ello iniciar la operación en un menor tiempo. (Barrientos, 2014)

La voladura requerirá que el material volado anteriormente efectivamente haya sido retirado, para garantizar que el talud y plataforma sean adecuados (sin material que amortigüe la voladura y baje su efectividad, además de necesitar acceso para cargar los pozos. (Barrientos, 2014)

### **c) Parámetros Geomecánicos**

Si por razones geomecánicas deberá variar el ángulo de talud, necesariamente variarán los perfiles de transporte en la operación, por ende, los costos. La posibilidad de construir bancos dobles o de mayor altura también influirá en la operación del carguío (equipos y costos), el ancho de caminos y accesos, pendientes y otros parámetros influirán en la operación y el rendimiento de los equipos. Algunos parámetros dependerán de la operación de carguío y acarreo, diseño de rampas, accesos, pendientes, etc. (Barrientos, 2014)

#### **d) Características del material**

La geología del yacimiento influirá en lo que es selectividad del material en el carguío, es muy diferente operar en un yacimiento con vetas de alta ley o con mayores exigencias de selectividad, que operar en un yacimiento masivo. La dureza y abrasividad del material influirá en los costos por el desgaste de los aceros de los equipos. La densidad del material también hará variar los costos y la capacidad de los equipos. (Barrientos, 2014)

#### **e) Servicios Mina**

Fundamental resulta que los equipos de servicios mina actúen conforme a las necesidades de la operación, por ejemplo un camino bien mantenido sin mucho polvo en suspensión permitirá desarrollar mejores maniobras a los equipos de carguío y acarreo, por lo tanto mejorará su rendimiento, además de disminuir el desgaste de neumáticos de los camiones (baja el costo), la adecuada preparación de la zona de carguío permitirá una maniobrabilidad óptima de los equipos y garantizará la buena operación mecánica de ellos (menor probabilidad de daños en los equipos). (Barrientos, 2014)

#### **f) Seguridad, Salud y Medio Ambiente**

En estas operaciones por lo general se producen algunos problemas como el levantamiento de polvo en la carga, descarga y transporte de los materiales, lo cual puede significar una disminución de los rendimientos en los equipos al disminuir la visibilidad y con el consiguiente riesgo que implica no disponer de una buena visibilidad. (Barrientos, 2014)

#### **g) Chancado**

El cliente directo de la mina es el proceso del mineral, ya que el producto final debe pasar por otras etapas de producción, en este caso podemos mencionar al chancado como primer paso para el resto del proceso del tratamiento del mineral. El chancado viene a ser una operación unitaria de la operación global de la empresa, principalmente por la

granulometría con que llega el mineral, ya que una buena fragmentación evitará problemas de reducción de tamaño previamente al chancado. La selectividad con que se realice la operación de carguío influirá con el blending adecuado en la ley con que llegue el mineral a planta y en el aprovechamiento de los recursos energéticos y de proceso. Como proveedor el chancado entregará información a la operación mina acerca de las características del material que está recibiendo y de las necesidades reales de dicho material. (Barrientos, 2014)

#### **h) Botaderos**

Fundamentalmente la operación y ubicación de botaderos necesita un tratamiento adecuado, la mina entregará el material a ser depositado en ellos y se encargará de su mantención (con equipos y personal), la tasa de crecimiento en volumen de dichos botaderos dependerá de la apropiada mantención, lo cual influirá en el transporte, ya que si agotamos nuestros botaderos cercanos antes de tiempo inevitablemente introduciremos un incremento en el costo de transporte (la ubicación influirá en los costos de transporte) y generará una baja en el rendimiento de la flota de carguío y transporte. (Barrientos, 2014)

#### **2.2.3. Proceso de minado en Cerro Corona**

El minado es un proceso sistematizado que consiste en fragmentar, extraer y transportar el material con contenido valioso de oro, cobre y desmonte del yacimiento mineralizado y de las zonas inertes y canteras de su ubicación natural en el interior de los cerros y transportarlo a las descargas del ROM PAD, botaderos y/o zona de construcción. (Guerrero, 2017)

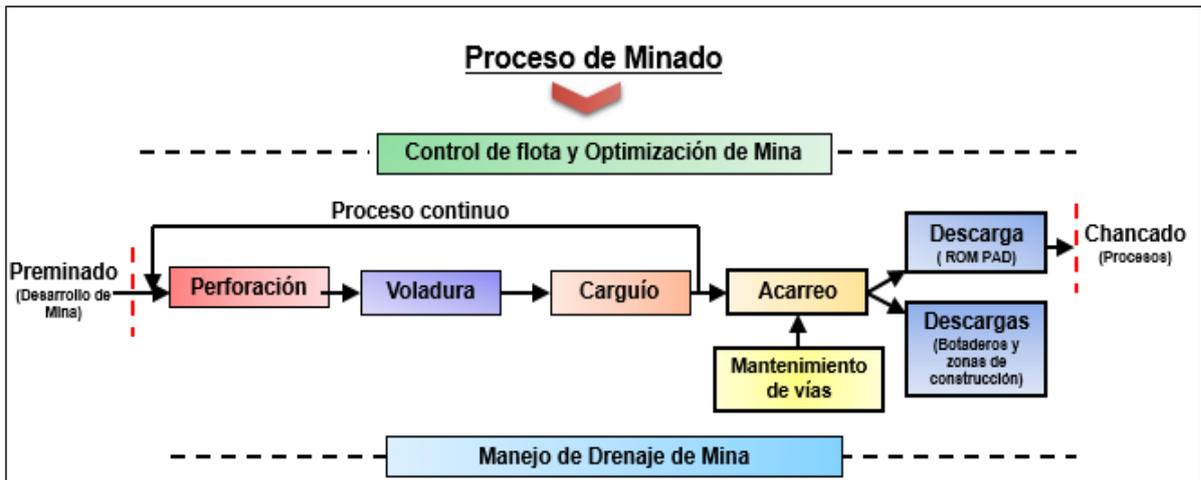


Figura 4: Diagrama del proceso de minado en Cerro Corona (Guerrero, 2017)

La explotación del tajo Cerro Corona se inicia con la identificación de los sectores de desmonte y/o mineral, para luego proceder a la perforación para la ejecución de voladuras. (Gold Fields, 2017)

En los equipos utilizados para la perforación se cuenta con 3 perforadoras con sistema rotativo, se utilizan brocas tricónicas con diámetros de 7 7/8, y 2 perforadoras con sistema roto-percutivo con martillo de fondo (Down the Hole – DTH), utilizando brocas con diámetros de 5 1/8 pulgadas. (Gold Fields, 2017)



Figura 5: Perforadora DM45 en Cerro Corona (Guerrero, 2017)



Figura 6: Perforadora ROC L8 en Cerro Corona (Guerrero, 2017)

En los equipos para el carguío de taladros se cuenta con 2 camiones fábrica de 12 toneladas, con compartimientos para emulsión, nitrato de amonio, petróleo y nitrito de sodio en solución. Los explosivos y accesorios de voladura se almacenan en el polvorín principal, en el que se tienen containers tiene una capacidad aproximada de 260 cajas de Exsaline, 2 silos de emulsión de 70 y 65 toneladas cada uno; así mismo la plataforma cerrada de NA de 300 toneladas de capacidad. (Gold Fields, 2017)

Para cumplir con el plan de explotación, se necesita realizar un máximo de dos voladuras diarias en todas las operaciones de Cerro Corona, debido a la distancia que existe entre el tajo y las demás facilidades de operación que necesitan ser atendidas, y a las dimensiones reducidas de proyectos de voladura con carácter de preparación. Las voladuras se programan entre las 7:00 y las 17:00 horas, no realizando voladuras nocturnas para no interferir con otras actividades de la Unidad Minera, y para minimizar las perturbaciones sobre la comunidad y el ambiente. (Gold Fields, 2017)

Por otro lado, Gold Fields ha incorporado el uso de detonadores electrónicos, que permiten eliminar la dispersión en los tiempos de retardo; de esa forma se garantiza que la secuencia de salida del disparo sea igual al tiempo programado. Estas aplicaciones permiten obtener una mejor fragmentación de la roca, material más homogéneo y generación de micro fracturas en la roca volada, lo cual mejora el rendimiento en las etapas de carga y transporte, disminución de mantenimiento de todos los equipos en general,

menor necesidad de voladura secundaria o uso de equipo auxiliar de trituración (picotones), aumentos de producción y reducción del consumo de energía en la planta concentradora. (Gold Fields, 2017)

Desde el punto de vista de control de las vibraciones, el uso de los detonadores electrónicos representa también una optimización, debido a que estos detonadores tienen circuitos digitales que permiten programar el tiempo y almacenamiento de energía, lo cual permite seleccionar los tiempos de retardo que reduzcan la amplificación de vibraciones por superposición de ondas. (Gold Fields, 2017)

Una vez que el material ha sido volado y que se ha revisado el área verificando que la operación será segura, se procede a preparar la zona de carguío. Cumplido con esto se posiciona el equipo de carguío con su correspondiente flota de equipos de transporte para iniciar la operación.

En el carguío y acarreo lo que se hace es extraer el material volado desde la frente de operación por el equipo de carguío, para luego ser depositado en la tolva del equipo de transporte, lo cual se logra posicionando el equipo frente al material cargado, en un área donde tanto el equipo de carguío como los equipos de transportes puedan operar sin problemas. El equipo de carguío penetra el material volado con su cucharón, llenándolo y desplazándolo hacia el punto de descarga, donde el cucharón es vaciado sobre la tolva del equipo de transporte. Esto se repite hasta que el equipo de transporte alcance su llenado operacional y sea reemplazado por otro equipo de transporte para continuar cíclicamente hasta agotar el material del frente de trabajo.

El mineral y/o desmonte fragmentados producto de las voladuras son transportados en volquetes y/o camiones con una capacidad de aproximadamente de 35 toneladas. (Gold Fields, 2017)

El material extraído del tajo es transportado hacia los siguientes destinos:

- **Mineral de Sulfuros:** el destino es la plataforma del ROM PAD, desde el cual se alimenta el mineral hacia el proceso de chancado de la planta concentradora, además también se cuenta con un Stock de baja ley para el almacenamiento del mineral cuando se crea conveniente. (Gold Fields, 2017)

- **Material sin Valor Económico:** Se cuenta con una serie de destinos que se identifican para este tipo de material. Los principales destinos para este material son los depósitos de desmonte Las Gordas/Facilidades, Mecheros, Gallardo, HLRD 10, entre otros. Los destinos que son para los procesos constructivos de la presa de relaves y el UCB/RCB. El UCB/RCB es una estructura de baja permeabilidad entre el límite de la presa de relaves y el depósito de desmontes. (Gold Fields, 2017)

➤ **Accesos y vías de acarreo (Haul road)**

Actualmente, como parte de la explotación del tajo abierto Cerro Corona, se cuenta con 3 rutas principales para la realización del minado y accesos internos dentro del tajo que se continuarán usando, las cuales se describen a continuación:

- **Vía de acarreo N° 1:** Es el ramal principal del acarreo de los materiales desde el tajo Cerro Corona hacia los diferentes destinos. Desde dicho acceso parten los demás accesos hacia los botaderos de desmonte y pilas de almacenamiento de mineral.
- **Vía de acarreo N° 2:** Es la vía principal para el acarreo de mineral.
- **Vía de acarreo N° 3:** Es la vía principal para el acarreo de los materiales hacia la presa de relaves y UCB.

Las vías de acarreo internas (rampas) corresponden al diseño interno propio del tajo; se han diseñado con un ancho total mínimo de 15 m y gradientes máximas de 10%. (Gold Fields, 2017)

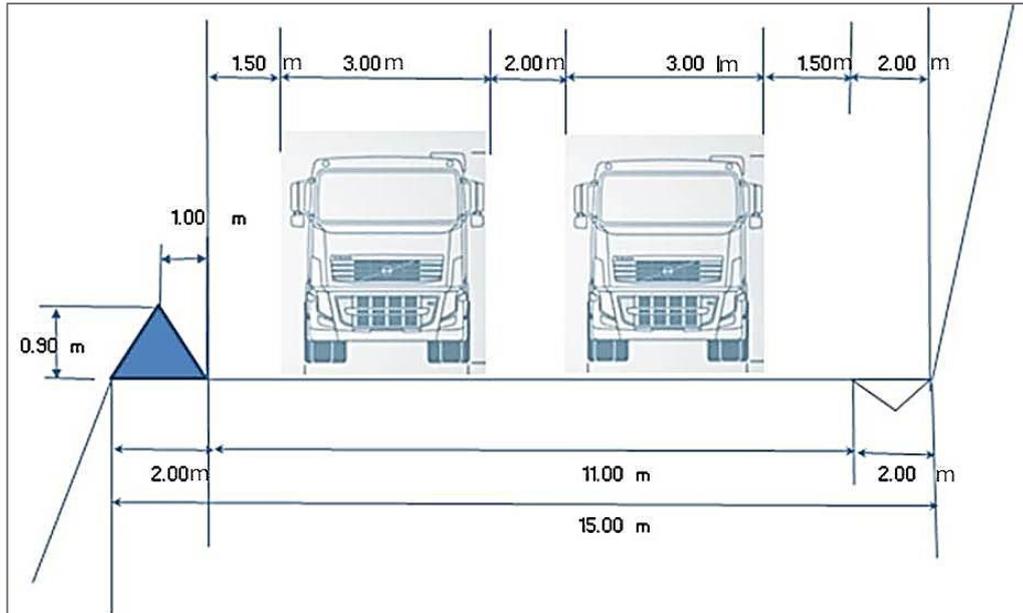


Figura 7: Características geométricas de las vías de acarreo del tajo Cerro Corona (Gold Fields, 2017)

#### 2.2.4. Equipos de minado en Cerro Corona:

##### a) Equipos de carguío:

Mayormente se cuenta con 5 frentes de minado, con un frente ocasional en Cantera cuando se requiere roca, asimismo en la operación se cuenta con 5 excavadoras de modelo CAT 374, con capacidad de cuchara de 4.6 m<sup>3</sup>, las cuales son llenadas al 95% de su capacidad, además tienen un horario de trabajo de 10 horas por turno y producen aproximadamente 60 00 toneladas de material al día.

Tabla 1: Equipos de carguío en Cerro Corona

CODIGO DE EXCAVADORA	FLOTA	Capacidad de cuchara (m <sup>3</sup> )
RE-32	CAT 374 DL	4.6
RE-33	CAT 374 DL	4.6
RE-44	CAT 374 DL	4.6
RE-46	CAT 374 DL	4.6
RE-49	CAT 374 DL	4.6



Figura 8: Excavadora RE46 en Cerro Corona (Guerrero, 2017)

Dimensiones						
Todas las dimensiones son aproximadas						
		Pluma de alcance 7,8 m (25' 7")			Pluma para excavación en gran volumen 7,0 m (23' 0")	
<b>Brazo</b>	<b>R4,67 m</b> (15' 4")	<b>R4,15 m</b> (13' 7")	<b>R3,6 m</b> (11' 10")	<b>R2,84 m</b> (9' 4")	<b>M3,0 m</b> (9' 10")	<b>M2,57 m</b> (8' 5")
<b>1</b> Altura de embarque	4.950 mm (16' 3")	4.620 mm (15' 2")	4.480 mm (14' 8")	4.250 mm (13' 11")	4.700 mm (15' 5")	4.610 mm (15' 1")
<b>2</b> Longitud de embarque	13.230 mm (43' 5")	13.310 mm (43' 8")	13.320 mm (43' 8")	13.430 mm (44' 1")	12.630 mm (41' 5")	12.670 mm (41' 7")
<b>3</b> Radio de giro de la cola	4.015 mm (13' 2")	4.015 mm (13' 2")	4.015 mm (13' 2")	4.015 mm (13' 2")	4.015 mm (13' 2")	4.015 mm (13' 2")
<b>4</b> Longitud hasta el centro de los rodillos	4.705 mm (15' 5")	4.705 mm (15' 5")	4.705 mm (15' 5")	4.705 mm (15' 5")	4.705 mm (15' 5")	4.705 mm (15' 5")
<b>5</b> Longitud de la rueda	5.870 mm (19' 3")	5.870 mm (19' 3")	5.870 mm (19' 3")	5.870 mm (19' 3")	5.870 mm (19' 3")	5.870 mm (19' 3")
<b>6</b> Espacio libre sobre el suelo	840 mm (2' 9")	840 mm (2' 9")	840 mm (2' 9")	840 mm (2' 9")	840 mm (2' 9")	840 mm (2' 9")
<b>7</b> Entrevía (embarque)*	2.750 mm (9' 0")	2.750 mm (9' 0")	2.750 mm (9' 0")	2.750 mm (9' 0")	2.750 mm (9' 0")	2.750 mm (9' 0")
<b>8</b> Ancho de transporte**	3.500 mm (11' 6")	3.500 mm (11' 6")	3.500 mm (11' 6")	3.500 mm (11' 6")	3.500 mm (11' 6")	3.500 mm (11' 6")
<b>9</b> Altura de la cabina	3.540 mm (11' 7")	3.540 mm (11' 7")	3.540 mm (11' 7")	3.540 mm (11' 7")	3.540 mm (11' 7")	3.540 mm (11' 7")
* Entrevía en posición extendida (trabajo): 3.410 mm (11' 2").						
** El ancho de transporte que se muestra corresponde a zapatas de 750 mm (30").						
Añada 150 mm (6") para zapatas de 900 mm (36").						
Reste 100 mm (4") para zapatas de 650 mm (26").						

Figura 9: Dimensiones de la excavadora hidráulica CAT 274D L (Caterpillar, 2017)

**b) Equipos de acarreo:**

Se tiene en total 56 volquetes de 3 flotas diferentes con capacidad de tolva de 13.498 m<sup>3</sup> (33.7 ton) para el acarreo de material, los cuales son distribuidos de acuerdo a la necesidad en cada uno de los frentes de minado, desplazándose desde el tajo o cantera Facilidades hacia los diferentes destinos de descarga. Dichos equipos también tienen un horario de trabajo de 10 horas por turno (día y noche) y tiene una productividad promedio de 97 ton/hr, valor que depende de la distancia del ciclo de acarreo y de la velocidad del equipo.

Tabla 2: Equipos de acarreo en Cerro Corona

<b>CANTIDAD DE VOLQUETES</b>	<b>FLOTA</b>	<b>Capacidad de tolva (m<sup>3</sup>)</b>
5 Volquetes	VOLVO FMX 440	13.498
33 Volquetes	VOLVO FMX 480	13.498
18 Volquetes	MERCEDES 444	13.498

Tabla 3: Flota de acarreo en Cerro Corona

<b>FLOTA DE ACARREO EN CERRO CORONA - 2017</b>		
<b>N°</b>	<b>FLOTA</b>	<b>CÓDIGO</b>
1	MERCEDES 444	V-226
2	MERCEDES 444	V-233
3	MERCEDES 444	V-240
4	MERCEDES 444	V-246
5	MERCEDES 444	V-263
6	MERCEDES 444	V-264
7	MERCEDES 444	V-265
8	MERCEDES 444	V-266
9	MERCEDES 444	V-267
10	MERCEDES 444	V-274
11	MERCEDES 444	V-280
12	MERCEDES 444	V-284
13	MERCEDES 444	V-287
14	MERCEDES 444	V-307
15	MERCEDES 444	V-324
16	MERCEDES 444	V-325
17	MERCEDES 444	V-326
18	MERCEDES 444	V-327
19	VOLVO FMX 440	V-1541
20	VOLVO FMX 440	V-299
21	VOLVO FMX 440	V-300
22	VOLVO FMX 440	V-301
23	VOLVO FMX 440	V-302
24	VOLVO FMX 480	V-1542
25	VOLVO FMX 480	V-1543
26	VOLVO FMX 480	V-1544
27	VOLVO FMX 480	V-1545
28	VOLVO FMX 480	V-304
29	VOLVO FMX 480	V-305
30	VOLVO FMX 480	V-314
31	VOLVO FMX 480	V-315
32	VOLVO FMX 480	V-316
33	VOLVO FMX 480	V-317
34	VOLVO FMX 480	V-318
35	VOLVO FMX 480	V-319
36	VOLVO FMX 480	V-320
37	VOLVO FMX 480	V-321
38	VOLVO FMX 480	V-322
39	VOLVO FMX 480	V-323
40	VOLVO FMX 480	V-359
41	VOLVO FMX 480	V-360
42	VOLVO FMX 480	V-361
43	VOLVO FMX 480	V-362
44	VOLVO FMX 480	V-363
45	VOLVO FMX 480	V-364
46	VOLVO FMX 480	V-365
47	VOLVO FMX 480	V-366
48	VOLVO FMX 480	V-367
49	VOLVO FMX 480	V-368
50	VOLVO FMX 480	V-369
51	VOLVO FMX 480	V-370
52	VOLVO FMX 480	V-371
53	VOLVO FMX 480	V-372
54	VOLVO FMX 480	V-373
55	VOLVO FMX 480	V-374
56	VOLVO FMX 480	V-375



Figura 10: Volquete VOLVO FMX 440 (Caterpillar, 2017)



Figura 11: Volquete VOLVO FMX 480 (Guerrero, 2017)



Figura 12: Volquete MERCEDES 444 (Guerrero, 2017)

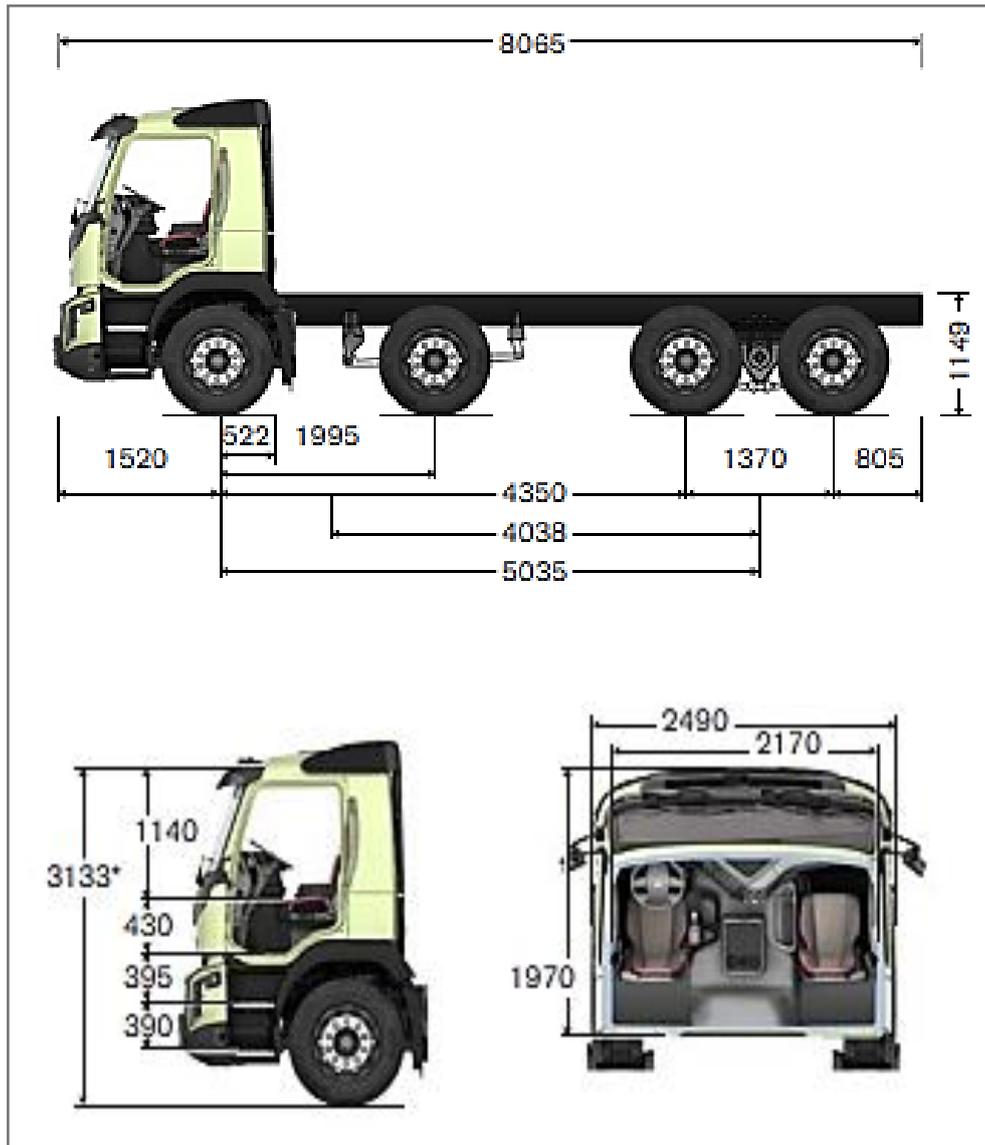


Figura 13: Dimensiones de los volquetes Volvo FMX 440/480 (Volvo, 2017)

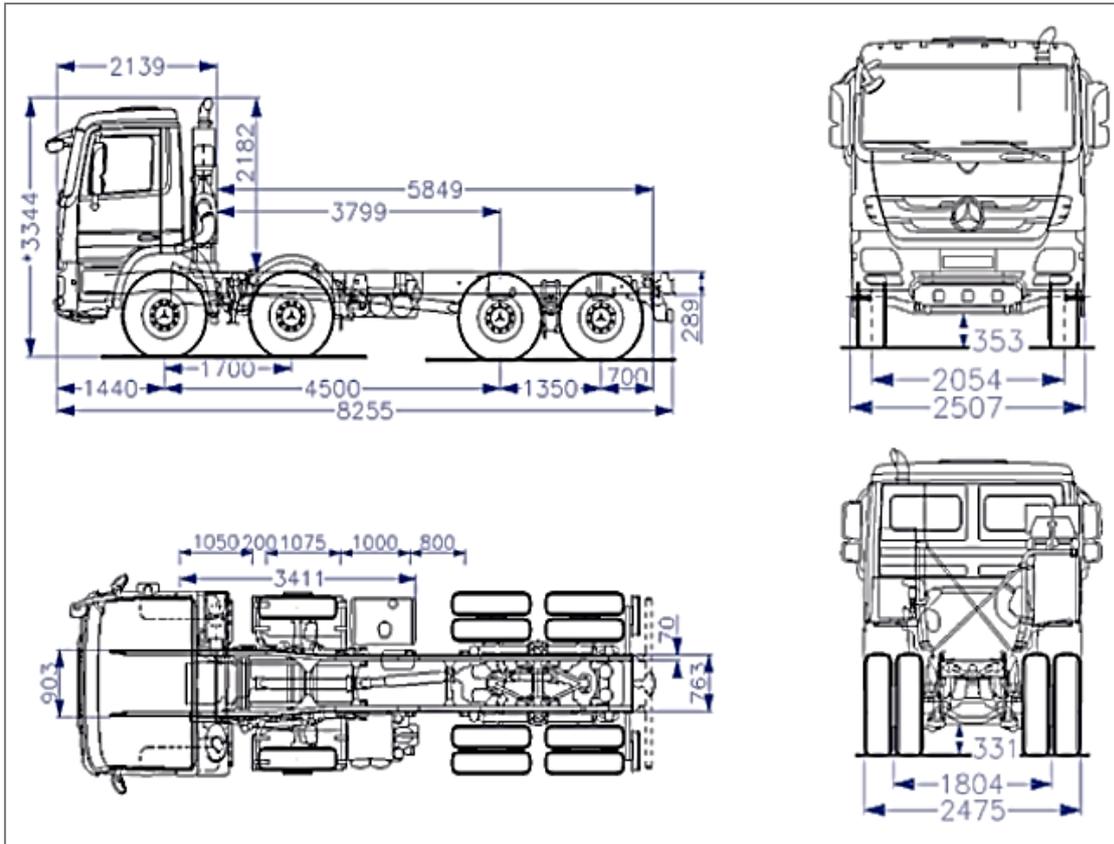


Figura 14: Dimensiones de los volquetes MERCEDES 444 (Mercedes Benz, 2017)

## 2.2.5. Sistema de Control de Flota: Control Sense

### a) Hardware y Software

Es una herramienta destinada a mejorar el control y la supervisión de los equipos de campo, utilizando el Sistema de Control de flotas de equipos de acarreo, de carguío y auxiliares, usados frecuentemente en la industria minera para el movimiento de tierras. En Cerro Corona se cuenta con dicho sistema desde finales del año 2016 y viene funcionando al 100% en todos los equipos que se tienen en la operación, contribuyendo con su control y optimización en tiempo real. (Mine Sense, 2017)

Esta herramienta presenta las siguientes características:

- Se puede ejecutar “Control Sense” en ordenadores que usen plataformas Windows, Mac OS o Linux o ser ejecutado en cualquier sistema operativo.
- Su Arquitectura de diseño está implementada en Cliente-Servidor.

- Utiliza Tecnología WEB, que facilita acceso rápido a los parámetros operativos críticos.
- Está desarrollado en el Lenguaje de Programación JAVA.
- Utiliza el gestor de base de datos POSTGRESQL.
- Permite visualizar la trayectoria de los Equipos de campo.
- Permite visualizar la velocidad de los equipos de campo.
- Permite visualizar los estados de actividades, producción y productividad de los equipos (vehículos o maquinaria).
- Trabaja de manera integrada con servidores, e quipos móviles, un Centro de Control, una red de cableado (fibra óptica) e inalámbrica (Wireless). (Mine Sense, 2017)

### **b) Estados de los equipos de campo en Control Sense**

Asimismo, debemos señalar que los equipos pueden estar en diversos estados. Esto dependerá del desarrollo de las labores dentro del campo de operaciones. Para ello, en el Sistema Control Sense, se considera cinco (5) estados que se podrán visualizar a lo largo de las actividades que desarrollan los equipos en campo; los cuales se detallan a continuación:

- **Operativo (Ready):** El presente estado indica que el equipo se encuentra realizando alguna actividad asignada por el centro de control. En este estado pueden ocurrir todos los cambios de actividad de los equipos de acarreo y carguío. Asimismo, si fuera necesario un cambio de operador del equipo de carguío, obligatoriamente tendrán que realizarse en un estado diferente a READY. Como ya lo mencionamos anteriormente, “Ready” no se podrá visualizar en la zona de estados descrita, ya que los equipos que se encuentran en este estado generalmente se encuentran realizando una actividad propia del ciclo de trabajo. En conclusión, es el tiempo que el equipo se encuentra funcionando con regularidad. (Mine Sense, 2017)
- **Demora (Delay):** Este estado nos muestra que existe una dilación, retraso o demora operativa que puede ser ocasionado por diversas razones; es decir los equipos se encuentran con el motor en funcionamiento, pero sin realizar una actividad, puesto que se trata de una demora habitual de la operación. (Mine Sense, 2017)

- **Standby:** En este estado sucede algo similar al estado “Delay”, ya que la demora es de carácter operativo. La diferencia radica en que el equipo se encuentra con el motor apagado, debido a una demora no relacionada directamente al ciclo regular de la operación. (Mine Sense, 2017)
- **Mantenimiento (Maint):** Nos muestra que el equipo se encuentra en mantenimiento, es decir que el equipo se encuentra en manos de los técnicos de mantenimiento o en el área de mantenimiento. (Mine Sense, 2017)
- **Fuera de Plan (Outofplan):** No se considera al equipo para la optimización y realización del trabajo operativo debido a diversas causas; por ejemplo, un camión nuevo por ensamblar y armar, o uno que está desarmado y que no podrá ser considerado dentro del plan operativo. Este estado nos muestra que un equipo sale de los cuatro estándares y por lo general no se encuentra considerado en el plan de operaciones. (Mine Sense, 2017)

Finalmente cabe precisar que estos estados son estados principales, ya que de ellos se desprenderán dos líneas más de estados denominados sub-estados; es decir, en la primera línea se encuentran los “Estados Principales”, en la segunda línea tendremos los sub-estados denominados “Estados Secundarios”, y en la tercera línea estarán los “Estados Detalles”. Estas dos líneas de Sub-estados, serán determinados a criterio del Administrador y de acuerdo a la incidencia o actividad que se desarrolla en el campo de operaciones. Estos sub-estados varían de acuerdo a la flota y equipo determinado. (Mine Sense, 2017)

### c) **Parámetros y fórmulas de productividad**

- **Disponibilidad% (Av):** Representa un porcentaje del tiempo total en que el equipo está disponible para la operación.
- **Uso de la Disponibilidad% (UoA):** Porcentaje que representa el tiempo relacionado directamente con la operación desde el momento en que el equipo no está en mantenimiento. Este porcentaje indica cómo se gestiona el tiempo en espera.

- **Uso% (Use):** Porcentaje que indica cómo se gestiona el tiempo de demora en la operación.
- **Usage% (Usg):** Porcentaje que indica el tiempo que el equipo estaba trabajando con respecto al tiempo en que el equipo no está en mantenimiento.
- **Utilización% (Utz):** Porcentaje que indican el tiempo que el equipo estuvo operativo con respecto al tiempo total disponible para el equipo. (Mine Sense, 2017)

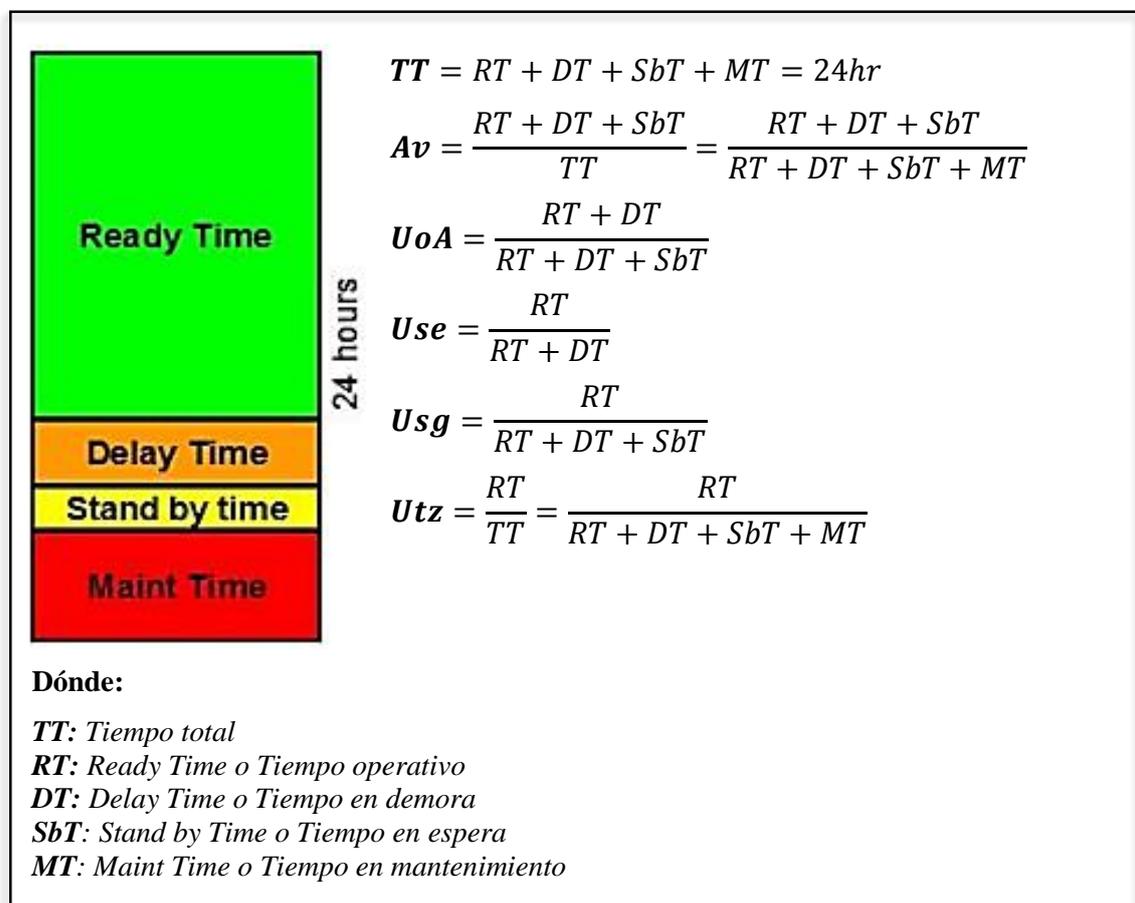


Figura 15: Fórmulas de productividad (Mine Sense, 2017)

- **Distancia Equivalente Horizontal (EFH):** Es la distancia horizontal que el camión podría recorrer en el mismo tiempo que le demanda sobre una pendiente (positiva o negativa). (Mine Sense, 2017)

$$X = V * T \quad T = \frac{X}{V}$$

$$T_{EFH} = T_{Ruta}$$

$$\frac{EFH}{V_{Horizontal}} = \frac{X_{Ruta}}{V_{Ruta}}$$

$$EFH = X_{Ruta} * \frac{V_{Horizontal}}{V_{Ruta}}$$

**Dónde:**

*X: Distancia*

*V: Velocidad*

*T: Tiempo*

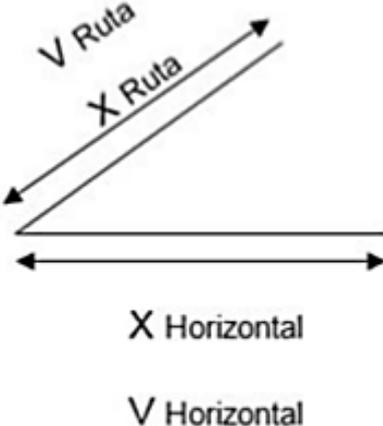


Figura 16: Fórmula de cálculo del EFH (Mine Sense, 2017)

- **Cola de camiones (Queue – min.):** Es un parámetro que indica el tiempo de espera de los equipos de acarreo en el frente de carguío, y se contabiliza desde el primer camión que se encuentra en la actividad esperando. (Mine Sense, 2017)
- **Productividad de Acarreo (t/h):** Se define como el tonelaje que transporta el camión dividido entre el ciclo de acarreo para un viaje. (Mine Sense, 2017)
- **Productividad operativa de Carguío (t/h):** Es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío, tiempo de cuadrado y espera de camiones. (Mine Sense, 2017)
- **Productividad Efectiva de Carguío (t/h):** Es la relación entre las toneladas nominales cargadas y el tiempo efectivo de carga, incluyendo el tiempo de cuadrado. Esto es lo que se produciría en una hora si el hang fuera cero. (Mine Sense, 2017)

- **Tasa de Excavación (t/h):** Es la relación entre las toneladas nominales cargadas y el tiempo de carguío, también se le denomina tasa de excavación o Digrate. (Mine Sense, 2017)
- **Espera del equipo de carguío (Hang):** Parámetro que indica el tiempo de espera de los equipos de carguío por la llegada de un equipo de acarreo y se contabiliza desde que el camión sale del carguío y no hay otros equipos de acarreo esperando en el frente de carguío. (Mine Sense, 2017)

Tabla 4: Parámetros de productividad en Cerro Corona 2017

FLOTA	PARÁMETRO DE PRODUCTIVIDAD	VALOR 2017
CARGUÍO	DISPONIBILIDAD %	93
	USO DE LA DISPONIBILIDAD (UoA) %	78
	USO%	82
	USAGE%	64
	UTILIZACIÓN %	60
	PRODUCTIVIDAD EFECTIVA (Tn/Hr)	1450
	PRODUCTIVIDAD OPERATIVA (Tn/Hr)	590
	TASA DE EXCAVACIÓN (Tn/Hr)	1930
	HANG%	55
	HANG (min)	0.8
ACARREO	DISPONIBILIDAD%	90
	USO DE LA DISPONIBILIDAD (UoA)%	84
	USO %	83
	USAGE %	70
	UTILIZACIÓN %	63
	QUEUE %	6
	QUEUE (min)	1.2
	PRODUCTIVIDAD DE ACARREO (Tn/Hr)	97

#### d) Control de Flota

Control Sense es una Aplicación del tipo Desktop (también denominada de escritorio), que funciona en una arquitectura Cliente Servidor, ya que los datos con los cuales trabaja, opera y procesa, se encuentran alojados en una base de datos centralizada. (Mine Sense, 2017)

Con esta aplicación trabajará el controlador, ejecutándola desde el Centro de Control de flota, es decir, esta aplicación estará instalada en los ordenadores pertenecientes al controlador. Es preciso mencionar que esta aplicación podrá ser ejecutada mediante los

sistemas operativos Linux, Mac OS X o Microsoft Windows. A partir de ella se controla todas las actividades en campo, tales como el proceso de carguío, de acarreo y otras actividades que forman parte del proceso de operaciones en la minería. (Mine Sense, 2017)

Tiene como objetivo principal, canalizar la optimización de los recursos, asignando y reasignando a los equipos según las necesidades o requerimientos ingresados previamente por el controlador. La aplicación trabaja de manera conjunta con el Optimizador, debido a que este último genera recomendaciones, simulaciones y proyecciones, considerando las prioridades en el desarrollo del trabajo de los equipos en campo. (Mine Sense, 2017)

Asimismo, mediante el Centro de Control de flota mediante el Control Sense se pueden crear las rutas o vías que los equipos tendrán que recorrer, estableciendo la ruta más óptima, que puede comprender el trayecto de una locación a un punto determinado. El Control Sense nos brinda un panorama general de lo que pasa en el mismo campo de operaciones, esto quiere decir que, debido a la necesidad de controlar los diversos trabajos en minería, el sistema realiza una supervisión minuciosa, permitiéndonos aplicar medidas correctivas en tiempo real, para que el trabajo logre tener mayor productividad y mejorar los procesos en operación. (Mine Sense, 2017)

Finalmente cabe señalar que el Control Sense, además de controlar los trabajos de los diferentes equipos y generar la asignación óptima, envía toda esa información que alimentará al optimizador, de la data adquirida de los trabajos en campo, hacia la base de datos contenida en los servidores, que almacenarán todos los ciclos realizados por los equipos. (Mine Sense, 2017)

#### **e) Interfaz principal del Sistema Control Sense**

El Control Sense tiene dos pantallas principales mediante las cuales desde el Centro de Control de Flota el supervisor de optimización puede utilizar todas sus herramientas para ejecutar su trabajo.

A continuación, se muestran las dos principales pantallas del Control Sense en la Unidad Minera Cerro Corona:

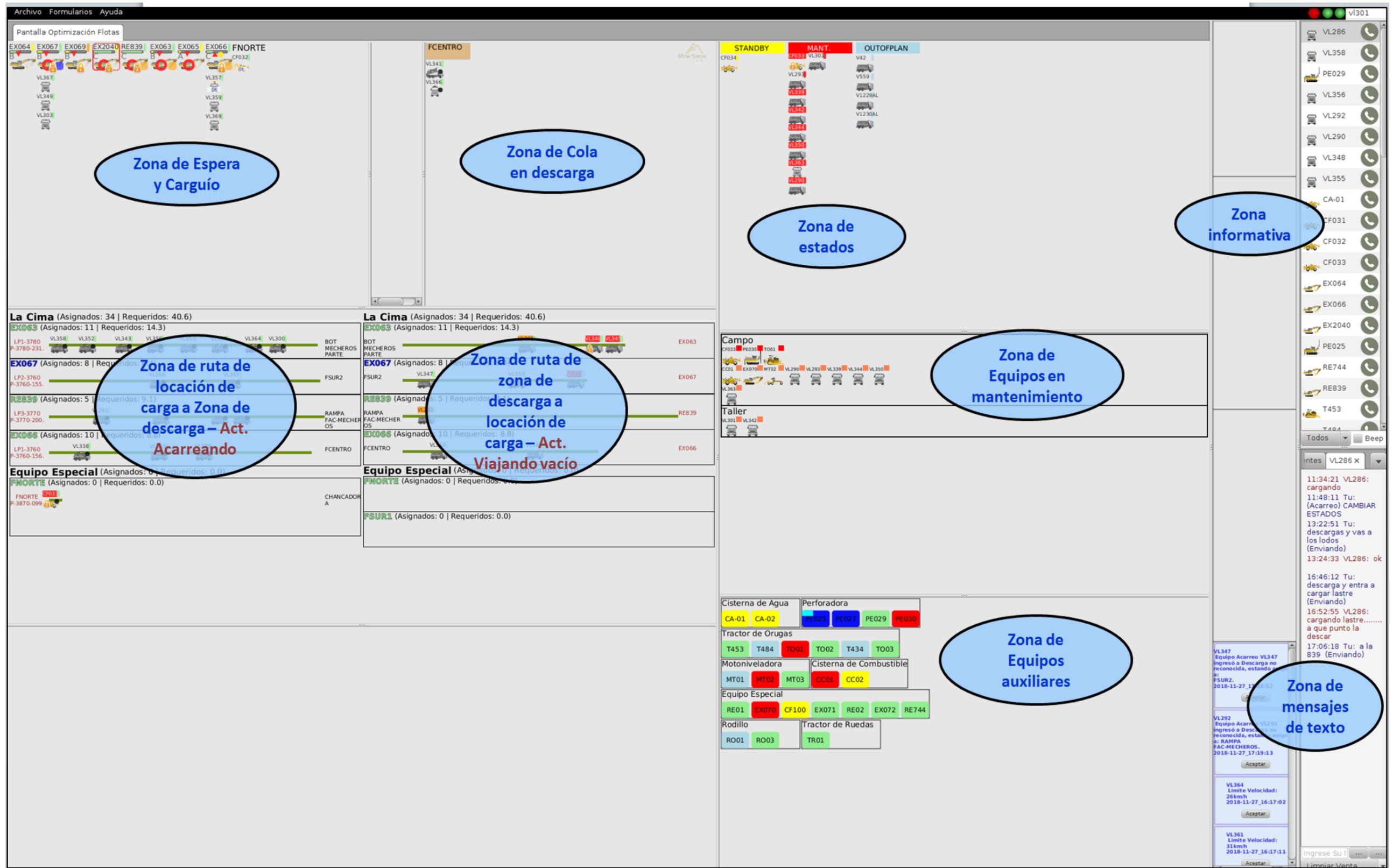


Figura 17: Interfaz principal de la pantalla de optimización de flota en Control Sense (Mine Sense, 2017)

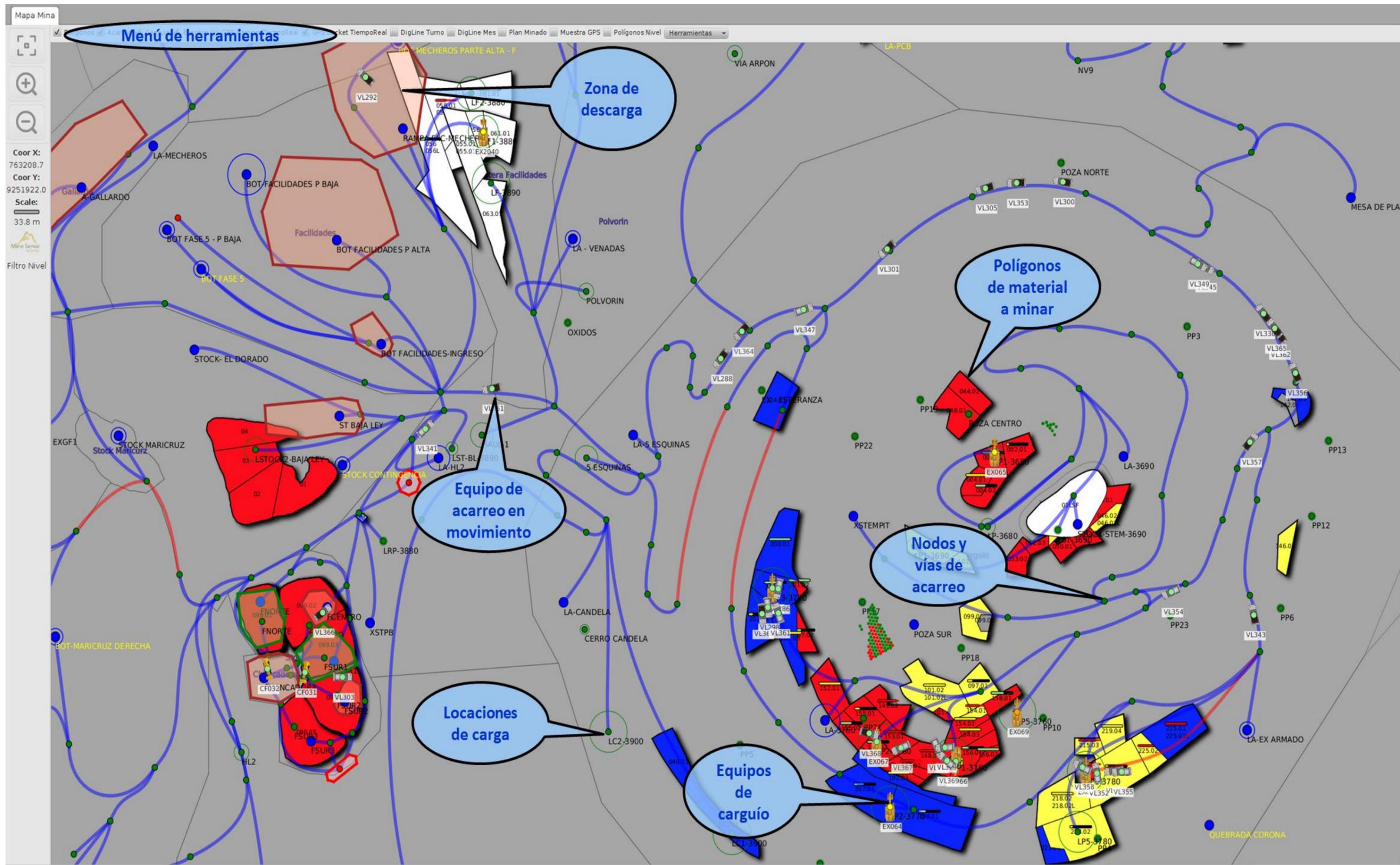


Figura 18: Interfaz principal de la pantalla de mapa Mina en Control Sense (Mine Sense, 2017)

## 2.2.6.Método de Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson, pensado para variables cuantitativas (escala mínima de intervalo), es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Adviértase que decimos "variables relacionadas linealmente". Esto significa que puede haber variables fuertemente relacionadas, pero no de forma lineal, en cuyo caso no proceder a aplicarse la correlación de Pearson.

Es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón. Se le conoce también como "coeficiente producto-momento". (Hernández, 2014)

➤ **Se simboliza:** r

El coeficiente de correlación de Pearson viene definido por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Esto es, el coeficiente de correlación de Pearson hace referencia a la media de los productos cruzados de las puntuaciones estandarizadas de X y de Y. Esta fórmula reúne algunas propiedades que la hacen preferible a otras. A operar con puntuaciones estandarizadas es un índice libre de escala de medida. (Hernández, 2014)

➤ **Hipótesis a probar:** correlacional, del tipo de "a mayor X, mayor Y", "a mayor X, menor Y", "altos valores en X están asociados con altos valores en Y", "altos valores en X se asocian con bajos valores de Y". La hipótesis de investigación señala que la correlación es significativa. (Hernández, 2014)

➤ **Variables:** dos. La prueba en sí no considera a una como independiente y a otra como dependiente, ya que no evalúa la causalidad. La noción de causa-efecto (independiente-dependiente) es posible establecerla teóricamente, pero la prueba no asume dicha causalidad. (Hernández, 2014)

➤ **Nivel de medición de las variables:** intervalos o razón.

➤ **Interpretación:** el coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a +1.00, donde:

-1.00 = Correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0.75 = Correlación negativa considerable.

-0.50 = Correlación negativa media.

-0.25 = Correlación negativa débil.

-0.10 = Correlación negativa muy débil.

0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.

+0.10 = Correlación positiva muy débil.

+0.25 = Correlación positiva débil.

+0.50 = Correlación positiva media.

+0.75 = Correlación positiva considerable.

+0.90 = Correlación positiva muy fuerte.

+1.00 = Correlación positiva perfecta (“A mayor X, mayor Y” o “a menor X, menor Y”, de manera proporcional. Cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante). (Hernández, 2014)

El signo indica la dirección de la correlación (positiva o negativa); y el valor numérico, la magnitud de la correlación. Los principales programas computacionales de análisis estadístico indican si el coeficiente es o no significativo de la siguiente manera:

$r = 0.7831$  (valor del coeficiente)

$s$  o  $P = 0.001$  (significancia)

$N = 625$  (número de casos correlacionados)

Si  $s$  o  $P$  es menor del valor 0.05, se dice que el coeficiente es significativo en el nivel de 0.05 (95% de confianza en que la correlación sea verdadera y 5% de probabilidad de error). Si es menor a 0.01, el coeficiente es significativo al nivel de 0.01 (99% de confianza de que la correlación sea verdadera y 1% de probabilidad de error). (Hernández, 2014)

- **Consideraciones:** cuando el coeficiente  $r$  de Pearson se eleva al cuadrado ( $r^2$ ), se obtiene el coeficiente de determinación y el resultado indica la varianza de factores comunes. Esto es, el porcentaje de la variación de una variable debido a la variación de la otra variable y viceversa (o cuánto explica o determina una variable la variación de la otra).

Un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) entre 0.66 y 0.85 ofrece una buena predicción de una variable respecto de la otra variable; y por encima de 0.85 implica que ambas variables miden casi el mismo concepto subyacente, son “cercanamente” un constructo semejante. (Hernández, 2014)

- **Dirección:** El signo del coeficiente de correlación de Pearson indica la dirección de la relación. Si ambas variables tienden a aumentar o disminuir a la vez, el coeficiente es positivo y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia arriba. Si una variable tiende a incrementarse mientras la otra disminuye, el coeficiente es negativo y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia abajo. (Hernández, 2014)

Las siguientes gráficas muestran datos con valores específicos del coeficiente de correlación para ilustrar diferentes patrones en la fuerza y la dirección de las relaciones entre las variables.

- **Ninguna relación:** Pearson  $r = 0$

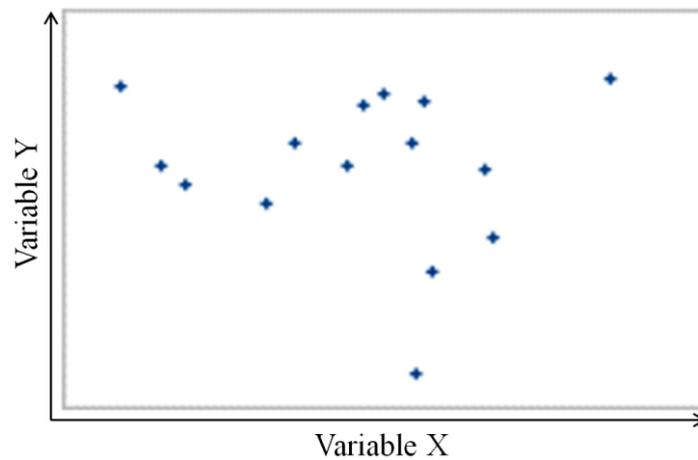


Figura 19: Gráfica de dispersión de relación nula (Hernández, 2014)

Los puntos se ubican de forma aleatoria en la gráfica, lo que significa que no existe relación lineal entre las variables. (Hernández, 2014)

- **Relación positiva débil:** Pearson  $r = 0.476$

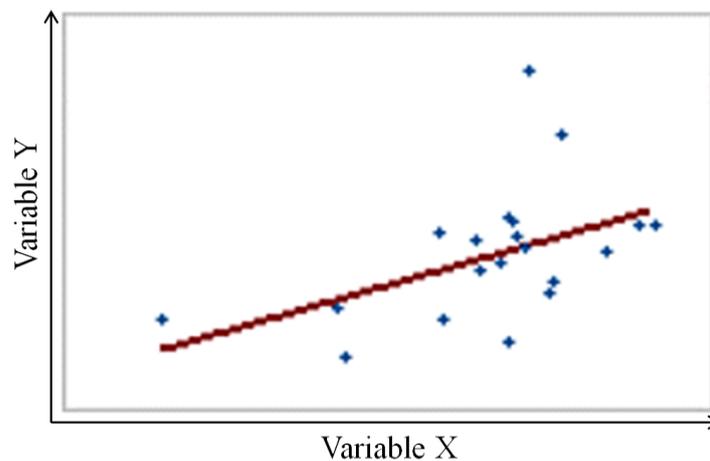


Figura 20: Gráfica de dispersión de relación positiva débil (Hernández, 2014)

Algunos puntos están cerca de la línea, pero otros puntos están lejos de ella, lo que indica que solo existe una relación lineal débil entre las variables. (Hernández, 2014)

- **Relación positiva muy fuerte:** Pearson  $r = 0.93$

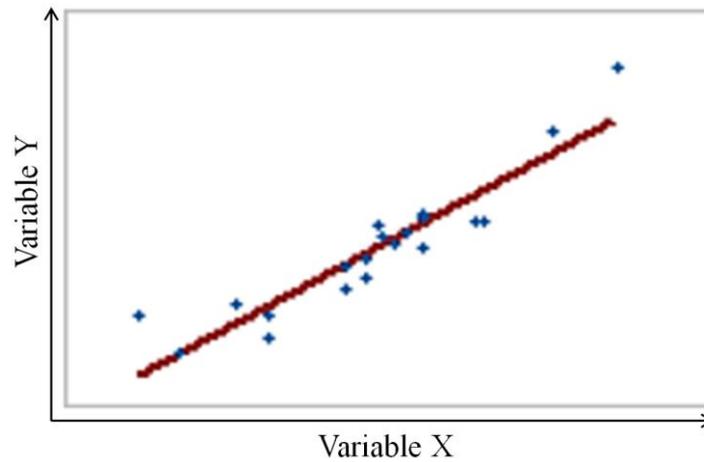


Figura 21: Gráfica de dispersión de relación positiva muy fuerte (Hernández, 2014)

Los puntos se ubican cerca de la línea, lo que indica que existe una relación lineal muy fuerte entre las variables. La relación es positiva porque a medida que una variable aumenta, la otra variable también aumenta. (Hernández, 2014)

- **Relación negativa muy fuerte:** Pearson  $r = -0.968$

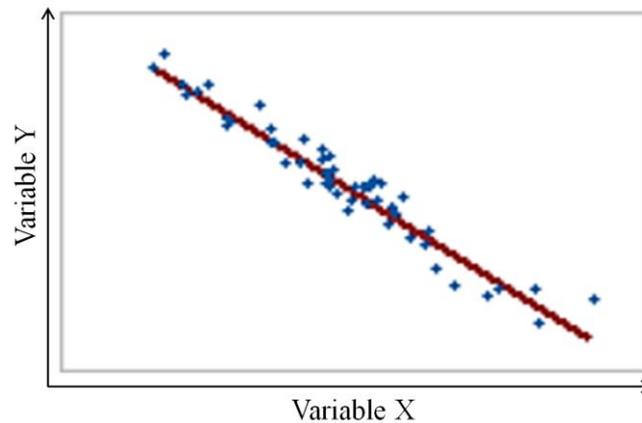


Figura 22: Gráfica de dispersión de relación negativa muy fuerte (Hernández, 2017)

Los puntos se ubican cerca de la línea, lo que indica que existe una relación negativa muy fuerte entre las variables. La relación es negativa porque a medida que una variable aumenta, la otra variable disminuye. (Hernández, 2014)

### 2.2.7. Método de Correlación Lineal Múltiple

Mediante un modelo de regresión lineal múltiple se trata de explicar el comportamiento de una determinada variable independiente y variable dependiente, (y representar con la letra Y) en función de un conjunto de k variables explicativas X1, X2,..., Xk mediante una relación de dependencia lineal (suponiendo X1 = 1):

$$Y = \beta_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_k \cdot X_k + U, \text{ siendo } U \text{ el término de perturbación o error.}$$

Para determinar el modelo anterior, es necesario hallar (estimar) el valor de los coeficientes  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ . La linealidad en parámetros posibilita la interpretación correcta de los parámetros del modelo. Los parámetros miden la intensidad media de los efectos de las variables explicativas sobre la variable a explicar y se obtienen al tomar las derivadas parciales de la variable a explicar respecto a cada una de las variables explicativas:

$$\beta_j = \frac{\partial Y}{\partial X_j}; j = 1, \dots, k$$

El objetivo es asignar valores numéricos a los parámetros  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ .

Es decir, tratar de estimar el modelo de manera que, los valores ajustados de la variable dependiente resulten tan próximos a los valores realmente observados como sea posible. (Hernández, 2014)

La regresión lineal es una técnica estadística destinada a analizar las causas de por qué pasan las cosas. A partir de los análisis de regresión lineal múltiple podemos:

- Identificar que variables independientes (causas) explican una variable dependiente (resultado)
- Comparar y comprobar modelos causales
- Predecir valores de una variable, es decir, a partir de unas características predecir de forma aproximada un comportamiento o estado. (Hernández, 2014)
- Las condiciones que se deben cumplir para poder aplicar la regresión lineal múltiple son las siguientes:
- La variable dependiente (resultado) debe ser ordinal o escalar, es decir, que las categorías de la variable tengan orden interno o jerarquía.
- Las variables independientes (causas) deben ser ordinales o escalares. (Hernández, 2014)

## ➤ Procedimiento del método

Los dos primeros pasos hacen referencia a la bondad del modelo, es decir, si el conjunto de variables independientes (causas) explican la variable dependiente (resultado).

1 – **Significación de F-test:** si es menor de 0,05 es que el modelo es estadísticamente significativo y por tanto las variables independientes explican “algo” la variable dependiente, cuánto “algo” es la R-cuadrado. (Hernández, 2014)

2 – **R cuadrado:** es cuánto las variables independientes explican la variable dependiente, indica el porcentaje de la varianza de la variable dependiente explicado por el conjunto de variables independientes. Cuanto mayor sea la R-cuadrado más explicativo y mejor es el modelo causal. (Hernández, 2014)

Los dos siguientes pasos hacen referencia a la influencia de cada una de las variables independientes:

3 – **Significación de t-test:** si es menor de 0,05 es que esa variable independiente se relaciona de forma significativa con la variable dependiente, por tanto, influye sobre ella, es explicativa. (Hernández, 2014)

4 – **Coefficiente beta ( $\beta$ ):** indica la intensidad y la dirección de la relación entre esa variable independiente (VI) y la variable dependiente (VD): cuanto más se aleja de 0 más fuerte es la relación el signo indica la dirección (signo + indica que al aumentar los valores de la VI aumentan los valores de la VD; signo – indica que al aumentar los valores de la VI, los valores de la VD descienden). (Hernández, 2014)

### 2.3. Definición de términos básicos

a) **Estéril o Desmonte:** Material no económico (Gold Fields, 2017)

b) **Mineral:** Material con valor económico (Gold Fields, 2017)

- c) **Bolonería:** Material fragmentado cuyo diámetro sea mayor a 6” en caso de mineral, 7” en caso de desmorte y 10” en caso de material de cantera. (Gold Fields, 2017)
- d) **Carguío:** Carga de material mineralizado del yacimiento para conducirlo a los posibles destinos, ya sea el chancado, stock de mineral o botaderos de estéril. (Codelco, 2017)
- e) **Acarreo o Transporte:** Movilización del estéril o el mineral, desde el lugar de remoción hasta su ubicación final. El estéril deberá ser acarreado desde el tajo hasta los depósitos de material estéril, y el mineral deberá ser acarreado desde el tajo hasta los fingers en el ROM Pad. (Gold Fields, 2017)
- f) **P80:** Refiere a que el 80% del volumen total de mineral disparado y transportado debe ser menor a un tamaño máximo de fragmentación requerido. (Gold Fields, 2017)
- g) **Ancho del frente de minado:** Longitud que tiene un frente de carguío, en el cual se posiciona la excavadora para cargar uno a uno los volquetes, ya sea a un carril o a doble carril. (Gold Fields, 2017)
- h) **Espera del equipo de carguío (Hang):** Tiempo que se encuentran esperando los equipos de carguío por la llegada de un equipo de acarreo y se contabiliza desde que el camión sale del carguío y no hay otros equipos de acarreo esperando en el frente de carguío. (Mine Sense, 2017)
- i) **Tiempo de carguío:** Actividad en la que el equipo de carguío se encuentra realizando la carga al equipo de acarreo que fue asignado a su locación. (Mine Sense, 2017)
- j) **Operador:** Persona que trabaja en obras de construcción y minería y maneja equipos de maquinaria como volquetes y excavadoras. También realiza labores simples de mantenimiento y revisión de la maquinaria. (Educaweb, 2017)
- k) **Granulometría:** Medida del tamaño de las rocas dentro de un grupo. (Madrid, 2015)

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación Geográfica**

La operación minera Cerro Corona se ubica en la región Cajamarca, provincia de Hualgayoc, distrito de Hualgayoc, en la comunidad campesina El Tingo, anexo predio La Jalca, caseríos Coymolache y Pilancones.

Asimismo, Cerro Corona se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental de los andes peruanos, hacia la vertiente continental del Atlántico, entre los 3 600 y 4 000 metros de altitud, donde se encuentran las cuencas de los ríos Tingo / La Quebrada o Tingo / Maygasbamba, y Hualgayoc / Arascorgue.

Su ubicación dista 10.6 kilómetros al noroeste de la ciudad de Hualgayoc, a 30 kilómetros al suroeste de Bambamarca (capital provincial), y a 90 kilómetros de Cajamarca (capital de la región).

#### **3.2. Accesibilidad**

##### **a) Acceso terrestre**

El acceso a la región es por vía aérea o por la carretera a Cajamarca. El viaje por tierra a la Operación Minera desde Cajamarca, es una distancia de 90 Km., y toma de 2.5 horas. La ciudad de Hualgayoc y Cerro Corona cuenta con un servicio pésimo de pistas afirmadas. Estas pistas son transitadas por transporte masivo y comercial.

### **3.3. Metodología de la Investigación**

#### **3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación**

##### **a) Tipo de investigación**

El tipo de investigación es Investigación Científica Cuantitativa, ya que destacan las pruebas estadísticas por su utilidad en la validación y análisis de los datos.

##### **b) Nivel de investigación**

El nivel de investigación es Descriptiva – Correlacional-Causal, es decir; descriptiva porque se detallan las condiciones del escenario actual y correlacional-causal porque se describen relaciones entre las variables en un momento determinado, en función de la relación causa-efecto.

##### **c) Diseño de investigación**

El diseño aplicado es no experimental transversal, ya que su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

##### **d) Método de investigación**

El método a utilizar es el Método Cuantitativo, ya que ofrece la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, otorga control sobre los fenómenos, así como un punto de vista basado en conteos y magnitudes. También, brinda una gran posibilidad de repetición y se centra en puntos específicos de tales fenómenos, además de que facilita la comparación entre estudios similares.

##### **e) Población de estudio**

Cinco excavadoras CAT 374D L que operan en la Unidad Minera Cerro Corona.

#### **f) Muestra de estudio**

Dos Excavadoras CAT 374D L de códigos RE44 Y RE46 que cuentan con sistema Control Sense durante todo el 2017.

#### **g) Unidad de análisis**

Productividades operativas de las excavadoras, su tiempo de carguío por volquete, el ancho de sus frentes de minado y en Hang (tiempo de espera por volquetes).

### **3.4. Procedimiento**

#### **3.4.1. Etapa de recopilación de información**

En esta etapa se realizó la revisión bibliográfica, referente al carguío y acarreo en minería a tajo abierto, así como investigaciones previas, informes y trabajos anteriores, los que fueron mencionados en los antecedentes e información del marco teórico, para determinar posteriormente elaborar las fichas de recolección de datos y las fuentes de donde extraerlos.

#### **3.4.2. Etapa de recolección de datos**

En esta etapa se realizó la recolección detallada de los datos de cada variable de estudio de las excavadoras pertenecientes a la muestra utilizando la base de datos almacenada del año 2017 por el Control Sense, sistema de control de Flota utilizando en Cerro Corona.

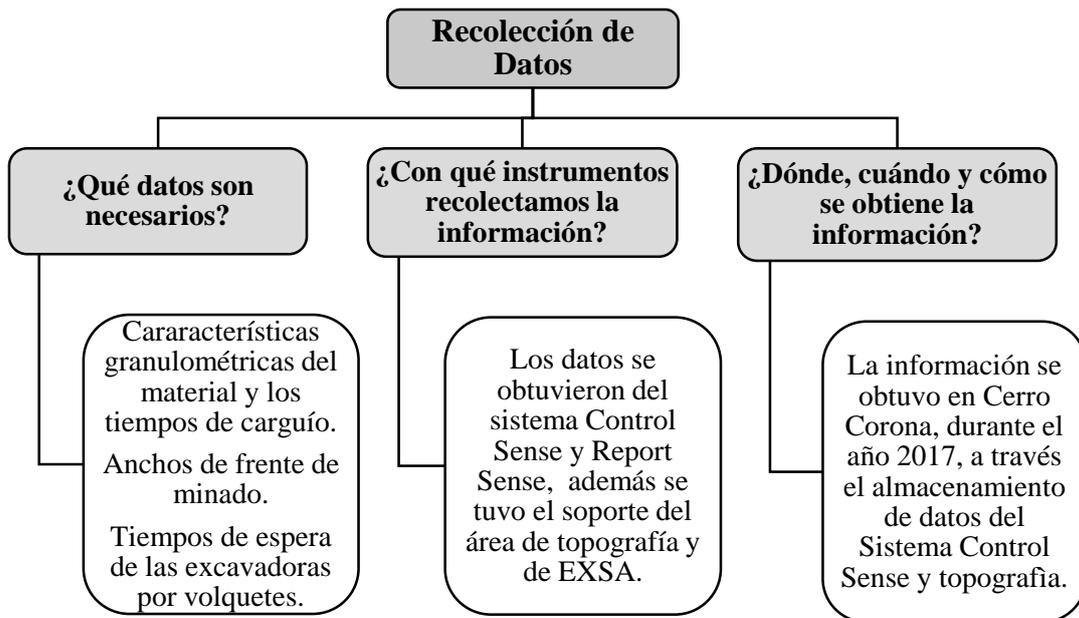


Figura 23: Esquema de recolección de datos

### 3.4.3. Etapa de análisis de información

En esta etapa se hizo el procesamiento y análisis de toda la información histórica recolectada, y de tal modo establecer escenarios y determinar correlaciones causales entre las variables para finalmente elaborar el informe final con el reporte de los resultados.

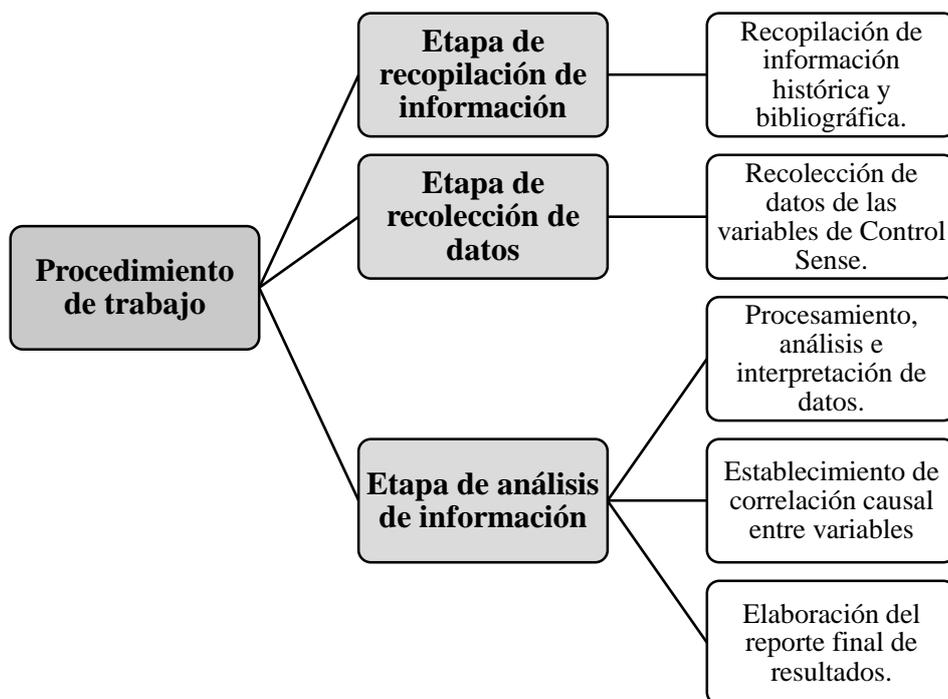


Figura 24: Esquema del procedimiento de trabajo

### 3.5. Definición de variables

#### 3.5.1. Variables independientes

- **Tiempo de carguío:** Es la actividad en la que el equipo de carguío se encuentra realizando la carga al equipo de acarreo que fue asignado a su locación. Para este estudio referimos al tiempo de carguío como el tiempo de demora la excavadora en cargar con material a un volquete en el frente de minado.
- **Tiempo de espera de la excavadora (Hang):** Es un parámetro que indica el tiempo que se encuentran esperando los equipos de carguío por la llegada de un equipo de acarreo y se contabiliza desde que el camión sale del carguío y no hay otros equipos de acarreo esperando en el frente de carguío.
- **Ancho del frente de carguío:** Es la longitud que tiene un frente de carguío, en el cual se posiciona la excavadora para cargar uno a uno los volquetes, ya sea a un carril o a doble carril.

#### 3.5.2. Variables dependientes

- **Productividad operativa del equipo de carguío:** La productividad es un indicador de la eficiencia productiva. Es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío, tiempo de cuadrado y espera de volquetes.

Tabla 5: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Unidad de medida	Escala de medición
<b>Variables Independientes (Causa)</b>					
<b>Tiempo de carguío</b>	Actividad en la que el equipo de carguío se encuentra realizando la carga al equipo de acarreo que fue asignado a su locación.	Para este estudio referimos al tiempo de carguío como el tiempo de demora la excavadora en cargar con material a un volquete en el frente de minado.	Tiempo promedio de carguío por volquete	Minutos (min)	Ordinal
<b>Hang</b>	Es un parámetro que indica el tiempo que se encuentran esperando los equipos de carguío por la llegada de un equipo de acarreo y se contabiliza desde que el camión sale del carguío y no hay otros equipos de acarreo esperando en el frente de carguío.	Operacionalmente el Hang es el tiempo promedio que un equipo de carguío espera que un equipo de acarreo llegue al frente de minado para ser cargado.	$\text{Hang (\%)} = \frac{\text{Tiempo espera}}{\text{Tiempo Ready}}$	Porcentaje (%)	Ordinal
<b>Ancho del frente de carguío</b>	La geometría es una parte de la matemática que trata de estudiar unas idealizaciones del espacio en que vivimos, que son los puntos, las rectas y los planos, y otros elementos conceptuales derivados de ellos, como polígonos o poliedros.	La geometría del frente de carguío refiere al ancho de minado que tiene la excavadora.	Medida de la longitud del ancho de frente	Metros (m)	Ordinal
<b>Variables Dependientes (Efecto)</b>					
<b>Productividad operativa del equipo de carguío</b>	La productividad se refiere a la relación entre la cantidad de productos obtenida mediante un sistema productivo y los recursos empleados en su producción. En este sentido, la productividad es un indicador de la eficiencia productiva.	Es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío, tiempo de cuadrado y espera de volquetes.	$\text{Prod. Operativa} = \frac{\text{Ton Nominal}}{\text{Tiempo Ready}}$	Toneladas por Hora (Tn/hr)	Ordinal

### 3.6. Equipos y materiales

Durante el desarrollo de la presente tesis, fue necesario aplicar técnicas de observación, descripción e interpretación, a través de trabajos de campo y gabinete, así como el empleo de materiales y equipos, tales como:

#### a) Equipos

- **Cámara fotográfica digital:** se utilizó para realizar tomas fotográficas a los frentes de minado, de tal modo tener evidencias de las condiciones de los mismos y poder establecer relaciones entre los diversos factores presentes.
- **Computadora-Laptop:** Se utilizó para la recolección, análisis e interpretación de los datos históricos con el sistema Control Sense, Report Sense, planos topográficos, MiniTAB y SPSS.

#### b) Materiales

- **Libreta y lapiceros:** Se utilizó para la anotación de datos y análisis realizados.

### 3.7. Presentación de datos

#### 3.7.1. Datos Históricos de Control Sense

Utilizando la base de datos del sistema Control Sense se recolectó toda la información histórica de las 2 excavadoras en estudio de códigos RE44 y RE46 y ambas de modelo CAT 374, las cuales fueron elegidas debido a que fueron las 2 únicas excavadoras que contaban con el sistema de alta precisión instalado y funcionando adecuadamente durante todo el año 2017.

### ➤ **Proceso de obtención de datos**

Utilizando la “Ficha de recolección de datos” que figura como anexo al informe, se procedió a la recolección de los siguientes datos específicos: Mes Gold Fields, fecha, operador, proyecto, productividad operativa (ton/hr), tiempo de carguío (min), hang (%) para ambas excavadoras de la muestra.

Tal como se ha mencionado dichos datos registrados por el Sistema de Control se Flota denominado Control Sense están almacenados, a los cuales se puede acceder de forma automática.

Para la excavadora de modelo CAT 374 y código RE46 se recogieron 6211 datos y para la excavadora del mismo modelo y de código RE44 recogieron 5808 datos históricos en tablas de la siguiente forma, sin embargo, dichos datos aún necesitaron limpieza y selección de información de acuerdo a métodos estadísticos:

Tabla 6: Tabla modelo de base de datos de Control Sense

BASE DE DATOS DE CONTROL SENSE 2017						
MES GF	FECHA	OPERADOR	PROYECTO	PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE CARGUIO	HANG (%)
Abril	1 April 2017	APOLINARIO FABIO CARHUACHIN VALVERDE	P-3720-044.01	675.36537	0.97051	0.53273
Julio	1 July 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3780-178.03	771.97129	0.96806	0.48477
Junio	1 June 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3780-177.01	662.93685	0.94621	0.54573
Junio	1 June 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3780-177.01	660.50066	1.11667	0.54956
Marzo	1 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-073.03	658.56846	1.40370	0.52012
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-082.02	748.03759	0.60909	0.55317
Marzo	24 February 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3800-166.02	619.03985	1.41556	0.54895
Marzo	24 February 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3800-166.02	569.79919	1.46842	0.52710
Marzo	24 February 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3800-166.02	620.00963	1.32417	0.48536
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-079.04M	738.57576	1.00159	0.53867
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-082.01	727.71295	1.05833	0.54086
Marzo	25 February 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-074.04	604.43852	1.75952	0.41878
Marzo	25 February 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-074.04	612.22148	0.63333	0.71422
Marzo	25 February 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-074.04	625.74037	1.90980	0.36472
Marzo	25 February 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-074.04	432.00976	1.59394	0.63058
Marzo	25 February 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3730-074.04	539.74289	1.54286	0.54863
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-082.02	721.07658	0.80159	0.48037
Marzo	26 February 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3730-061.04	588.54664	1.39000	0.54312
Marzo	26 February 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3730-061.04	499.67796	1.53333	0.51833
Marzo	26 February 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3730-061.04	588.59152	1.56944	0.40357
Marzo	26 February 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3730-070.01	575.47715	1.24222	0.55535
Marzo	1 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-073.03	419.45581	1.26146	0.70414
Mayo	1 May 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-087.01	697.20474	1.40455	0.38950
Marzo	1 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-073.04	535.77713	1.49643	0.55481
Marzo	1 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-073.04	484.74925	1.51389	0.61749
Marzo	1 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-073.04	517.45456	1.33030	0.63011
Marzo	1 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-073.04	459.96699	1.28929	0.69491
Marzo	1 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-073.01	517.71801	1.83542	0.45139
Marzo	1 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-073.01	555.85703	1.77059	0.46781
Marzo	1 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-073.03	620.91400	1.63148	0.46588
Marzo	1 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-073.03	534.77351	1.38636	0.60646
Marzo	2 March 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3720-041.02	493.90396	1.32111	0.60401
Mayo	1 May 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-087.01	695.21744	1.01591	0.53765
Marzo	2 March 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3720-041.02	626.00224	1.34649	0.49592
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-082.01	680.42254	0.52115	0.50681
Marzo	3 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3720-038.02	620.33888	1.44872	0.55434
Marzo	3 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3720-041.02	488.93843	1.94359	0.48765
Marzo	3 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3720-041.02	516.76546	1.84545	0.54286
Marzo	3 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3720-041.02	419.27317	1.98542	0.63515
Marzo	3 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3720-041.02	545.52206	1.51548	0.60242
Marzo	3 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3720-041.02	539.14992	1.32000	0.63733
Marzo	3 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3720-041.02	555.01005	1.61771	0.52937
Marzo	4 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-070.02	590.32992	1.33611	0.58004
Marzo	4 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-078.02	561.97631	0.79792	0.66822
Marzo	4 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-078.02	624.43516	1.12315	0.62084
Noviembre	1 November 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3870-077.01	692.15945	1.17500	0.47534
Noviembre	1 November 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3690-019.01	662.35854	1.11917	0.50981
Marzo	5 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-073.03	456.31223	1.84872	0.57143
Marzo	5 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-073.03	452.65794	1.81190	0.60086
Noviembre	1 November 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3870-077.01	661.36540	1.69524	0.35612
Marzo	6 March 2017	ALEX NOE NARVA SILVA	P-3730-070.02	529.79639	1.42308	0.61288
Marzo	6 March 2017	ALEX NOE NARVA SILVA	P-3730-072.02	630.47216	1.70588	0.38125
Marzo	6 March 2017	ALEX NOE NARVA SILVA	P-3730-072.02	409.27121	1.86795	0.58696
Marzo	6 March 2017	ALEX NOE NARVA SILVA	P-3730-072.02	397.23347	1.71515	0.62050
Septiembre	1 September 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3710-042.03	731.44951	0.97197	0.55384
Marzo	6 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-072.02	566.47406	1.93472	0.38191
Septiembre	1 September 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3710-042.03	695.33770	0.84621	0.66571
Marzo	7 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3720-043.01	557.60502	2.00000	0.40824
Marzo	7 March 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3720-043.03	517.61481	1.57619	0.56262
Marzo	7 March 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3720-043.01	550.76445	1.30333	0.58901
Marzo	7 March 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3730-061.04	369.06184	1.86515	0.63827
Marzo	7 March 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3730-061.04	418.68163	2.01667	0.58767
Marzo	7 March 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3730-072.02L	577.42357	0.99444	0.50973
Marzo	8 March 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3720-043.03	451.94704	1.34091	0.69196
Marzo	8 March 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3720-043.03	551.05959	1.61806	0.55537
Septiembre	1 September 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3710-042.03	680.40623	1.12609	0.55008

### 3.7.2. Datos Históricos de Topografía

Fue necesario recurrir al área de topografía para poder extraer los datos de las longitudes de ancho de los frentes en los cuales trabajaron las excavadoras en estudio RE46 y RE44 durante todo el año 2017, pues corresponde a un control de avance de minado diario en campo, cabe resaltar que dichos datos fueron recolectados después del proceso de depuración y validación estadística de los miles de datos iniciales, ya que al tener datos de fechas finales, el proceso sería más rápido y sencillo, ya que la reducción la cantidad de fechas de frentes a analizar es mucho menor.

#### ➤ Proceso de obtención de datos

El área de topografía registra diariamente el avance de minado de los frentes de trabajo del tajo, información que queda almacenada en archivos AutoCAD de las superficies topográficas día a día, es así que luego de tener la base de datos final, depurada y validada en la que se tienen las fechas y proyectos con los que se va a trabajar para cada excavadora se procedería a calcular en el AutoCAD de acuerdo a las topografías los anchos de minado de los frentes en los que cada excavadora se encontraba diariamente.

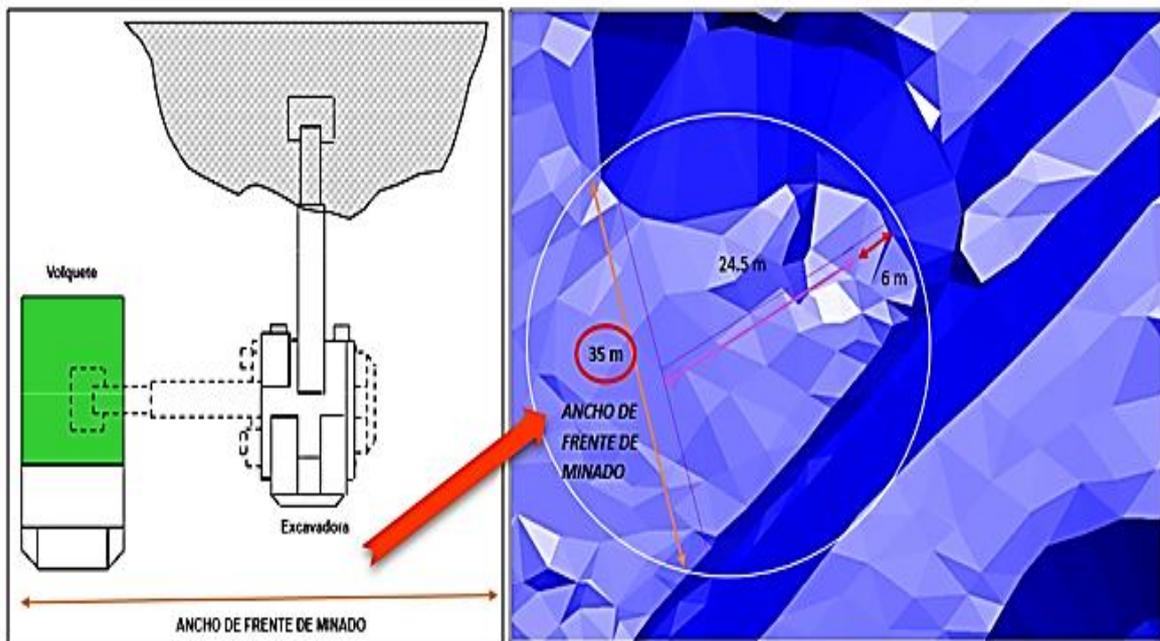


Figura 25: Forma de cálculo de ancho de minado en AutoCAD

Luego de haber calculado el ancho promedio del frente de minado de las excavadoras para cada día, se elabora una tabla de datos para el análisis estadístico respectivo, dicha tabla de 5762 datos en total, tiene el siguiente esquema:

Tabla 7: Tabla modelo de base de datos topográficos

BASE DE DATOS TOPOGRÁFICOS DE GEOMETRÍA DEL FRENTE 2017					
MES GF	FECHA	OPERADOR	PROYECTO	PRODUCTIVIDAD	ANCHO DE FRENTE
Abril	1 April 2017	APOLINARIO FABIO CARHUACHIN VALVERDE	P-3720-044.01	675.36537	37
Julio	1 July 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3780-178.03	771.97129	36
Junio	1 June 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3780-177.01	662.93685	27
Junio	1 June 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3780-177.01	660.50066	27
Marzo	1 March 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3730-073.03	658.56846	29
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-082.02	748.03759	32
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-079.04M	738.57576	32
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-082.01	727.71295	32
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-082.02	721.07658	32
Mayo	1 May 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-087.01	697.20474	32
Mayo	1 May 2017	MANUEL DIAZ HUAMAN	P-3730-087.01	695.21744	32
Mayo	1 May 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3730-082.01	680.42254	32
Abril	10 April 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3790-175.02	690.75381	37
Abril	10 April 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3790-177.02	680.50002	37
Abril	10 April 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3790-177.01	676.64889	37
Abril	10 April 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3790-175.02	663.07421	37
Junio	10 June 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-026.02	771.05306	27
Junio	10 June 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-026.02	716.95620	27
Junio	10 June 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-026.03	701.75947	27
Junio	10 June 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-026.03	659.72179	27
Abril	11 April 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3790-175.02	741.92805	37
Abril	11 April 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3790-175.02	698.54981	37
Abril	11 April 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3790-175.02	682.93757	37
Abril	11 April 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3790-175.02	663.84521	37
Julio	11 July 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3770-164.01	740.55969	32
Julio	11 July 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3710-018.01	700.37894	36
Julio	11 July 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-036.01	675.51097	36
Julio	11 July 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-036.01	666.90374	36
Julio	11 July 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-018.01	656.28726	36
Junio	11 June 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-026.02	748.89315	39
Junio	11 June 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-026.01	731.82422	27
Junio	11 June 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-026.02	728.47402	27
Junio	11 June 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3780-178.01	726.78779	27
Junio	11 June 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3710-026.01	710.40524	27
Junio	11 June 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3780-178.01	677.57347	27
Junio	11 June 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3780-178.01	659.31969	27
Junio	11 June 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3780-178.01	650.67186	27
Marzo	11 March 2017	Lino Gallardo vasquez	P-3720-042.02	667.39966	29
Marzo	11 March 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3720-042.02	658.96891	29
Mayo	11 May 2017	JOSE NEPTALI MENDOZA HUAMAN	P-3720-047.02L	695.66159	32
Abril	12 April 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3790-175.02	746.73953	37
Abril	12 April 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3790-175.02	742.79198	37
Abril	12 April 2017	ELVER MARTIN VILLEGAS SEMINARIO	P-3790-175.02	660.59089	37
Abril	12 April 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3790-175.02	656.78314	37
Julio	12 July 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3770-164.02	758.37980	32
Julio	12 July 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3770-164.02	717.37222	32
Julio	12 July 2017	SEGUNDO NOLBERTO AREVALO TARRILLO	P-3770-164.02	712.99685	32
Julio	12 July 2017	FLAVIO TADEO CULQUI CHAVEZ	P-3770-164.01	695.78051	32

### **3.8. Análisis de información histórica**

#### **3.8.1. Selección de datos históricos**

En primer lugar, fue necesario depurar y seleccionar la data recolectada, para poder trabajar con datos correctos, precisos e uniformizados de acuerdo a las medidas estadísticas y a la curva de distribución normal en los histogramas de la información histórica inicial extraída del sistema Control Sense y el área de topografía sobre la productividad operativa de carguío (variable dependiente), el tiempo de carguío, hang y anchos de frente (variables independientes). Asimismo, también fue importante tener en cuenta que los datos deberán estar por encima del 5% percentil y por debajo del 95%, para separar los que no son significativos y aleatorios.

Utilizando el programa estadístico SPSS se procedió a calcular los principales datos estadísticos nos permitan tener un panorama claro de la calidad de información tanto inicial como final, y los parámetros a los cuales nos regiremos para seleccionarla.

#### **➤ Selección de datos de Productividad operativa, tiempo de carguío y hang.**

A continuación, se tiene la tabla de la información estadística de los 6211 datos que inicialmente se recogieron del Control Sense de la excavadora RE44 de todo el año 2017 para la productividad operativa y dos de los tres factores influyentes en la primera, así como la tabla los 2981 datos finales de dicha excavadora, con los que se procedió a trabajar.

Tabla 8: Estadística inicial de RE44

**Información Estadística de datos iniciales  
RE44**

		PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE CARGUIO	HANG (%)
N	Valid	6211	6211	6200
	Missing	0	0	11
Mean		599.96	1.199	.525
Std. Error of Mean		2.049	.0143	.0025
Median		608.24	1.106	.537
Mode		1115	.0	.0
Std. Deviation		161.487	1.1249	.2006
Variance		26078.124	1.265	.040
Skewness		-.194	17.846	-.402
Std. Error of Skewness		.031	.031	.031
Kurtosis		1.075	489.318	.167
Std. Error of Kurtosis		.062	.062	.062
Range		1368	42.4	1.0
Minimum		11	.0	.0
Maximum		1379	42.4	1.0
Sum		3726376	7448.5	3252.4
Percentiles	5	323.78	.453	.149
	95	835.14	1.933	.833

Tabla 9: Estadística final de RE44

**Información Estadística de datos finales  
Seleccionados RE44**

		PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE CARGUIO	HANG (%)
N	Valid	2981	2981	2981
	Missing	0	0	0
Mean		607.74	1.103	.5371
Std. Error of Mean		2.133	.0057	.00214
Median		616.43	1.083	.5390
Mode		324 <sup>a</sup>	.9 <sup>a</sup>	.20 <sup>a</sup>
Std. Deviation		116.472	.3104	.11657
Variance		13565.759	.096	.014
Skewness		-.298	.322	-.135
Std. Error of Skewness		.045	.045	.045
Kurtosis		-.545	-.396	-.592
Std. Error of Kurtosis		.090	.090	.090
Range		511	1.5	.59
Minimum		324	.5	.20
Maximum		835	1.9	.79
Sum		1811672	3286.7	1601.15
Percentiles	5	393.65	.624	.3386
	95	784.52	1.678	.7234

Asimismo, se elaboraron histogramas que nos permitan revisar y elegir los datos estadísticamente válidos con los cuales proseguir el análisis.

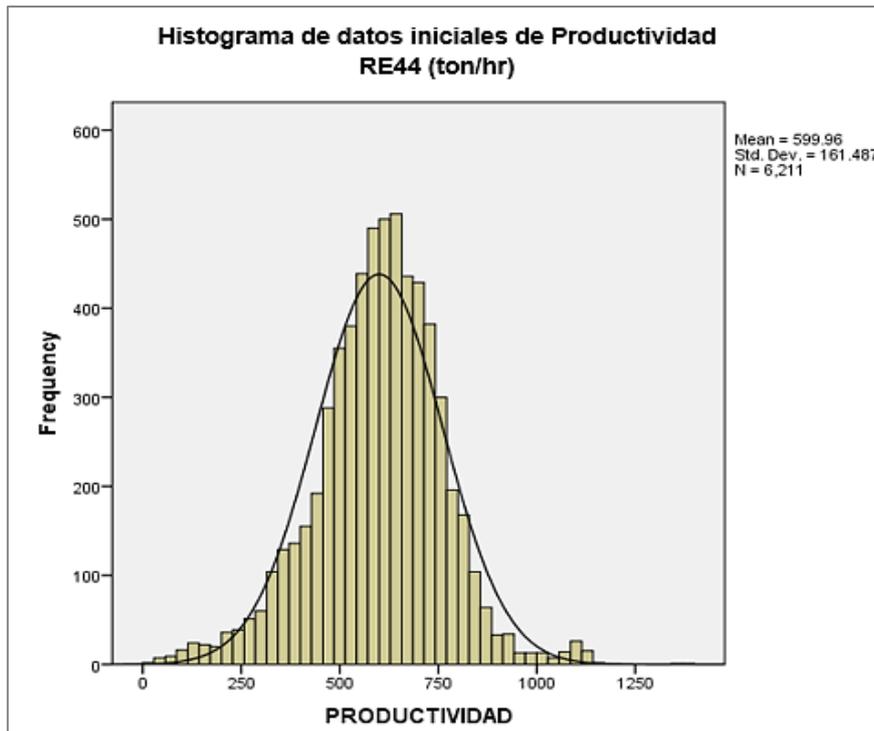


Gráfico 1: Histograma Inicial - Productividad RE44

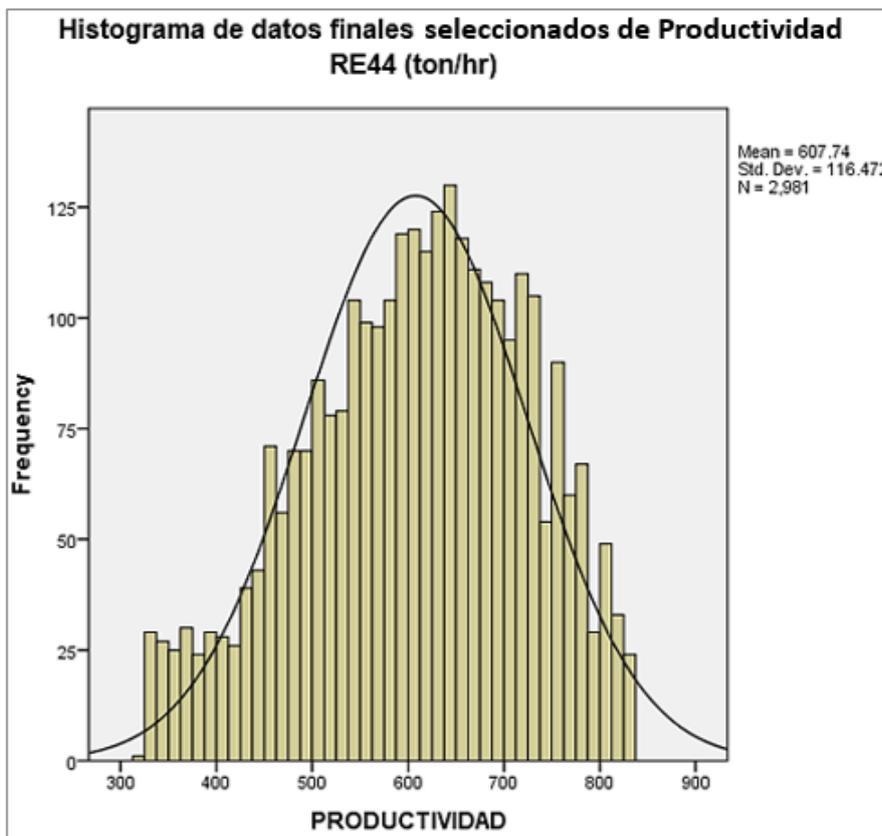


Gráfico 2: Histograma Final -Productividad RE44

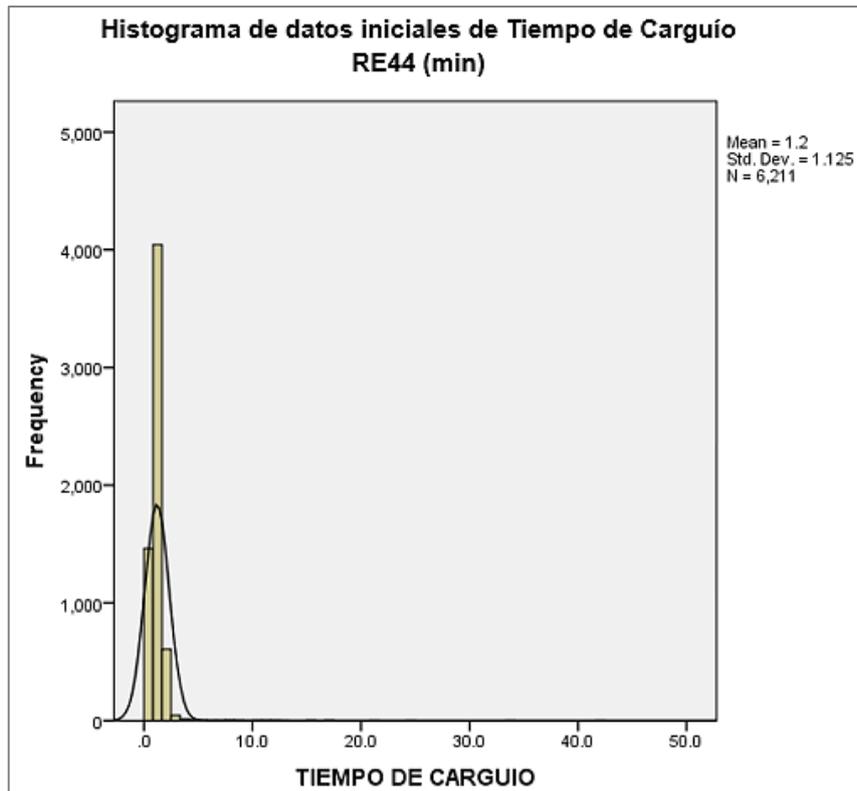


Gráfico 3: Histograma Inicial – Tiempo de Carguío RE44

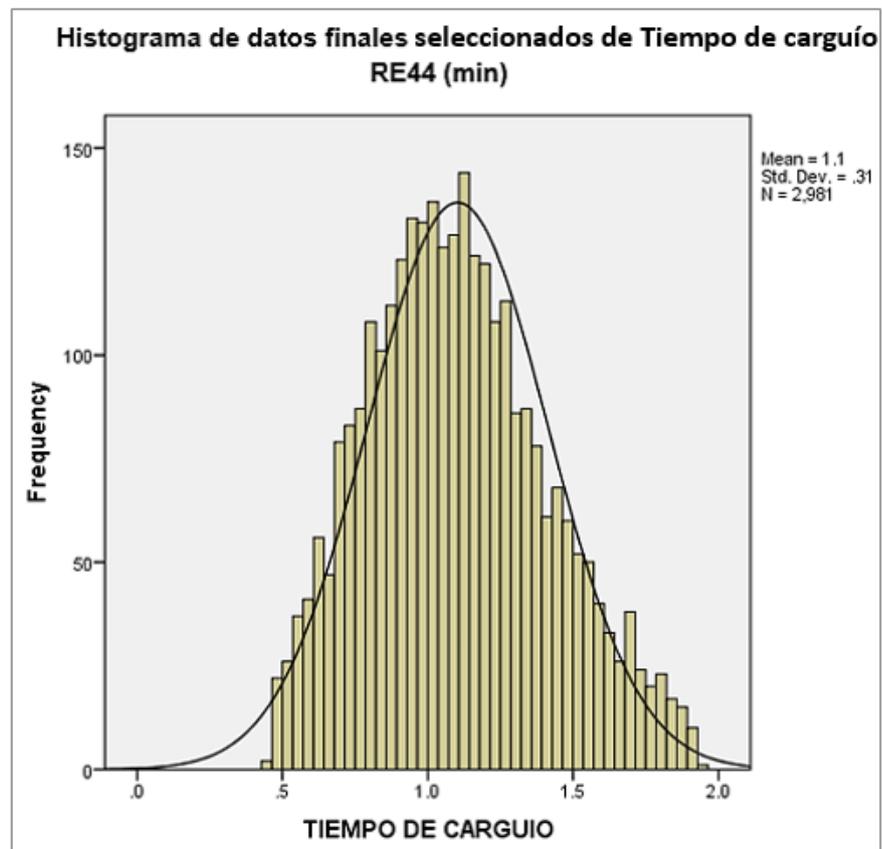


Gráfico 4: Histograma Final –Tiempo de Carguío RE44

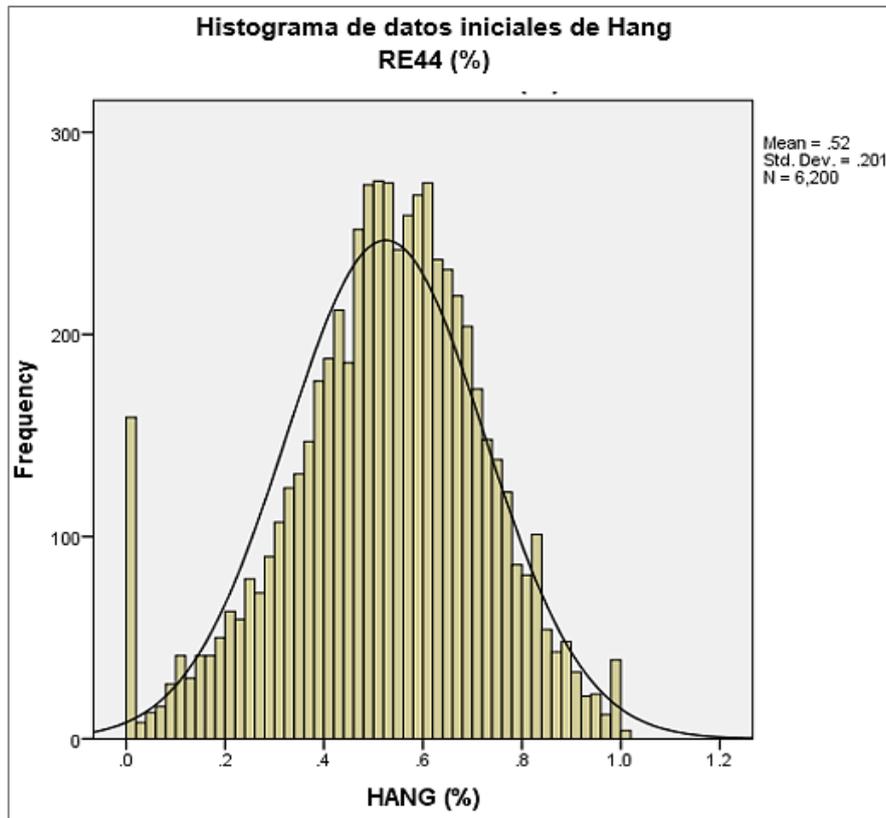


Gráfico 5: Histograma Inicial – Hang RE44

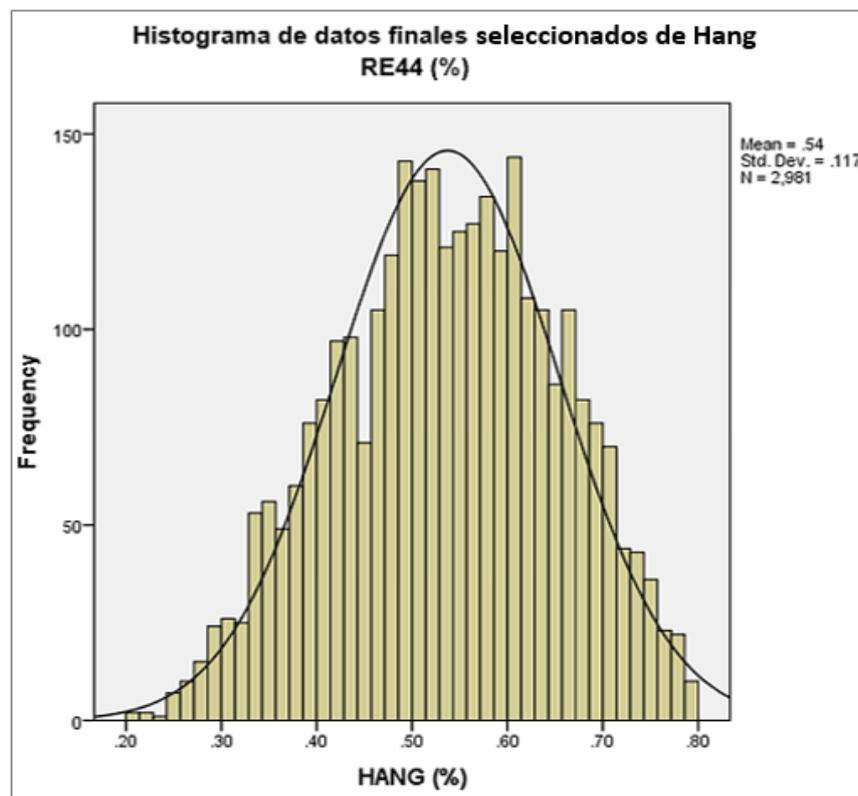


Gráfico 6: Histograma Final – Hang RE44

Del mismo modo se tiene la información estadística y los histogramas de 5808 datos iniciales extraídos del Control Sense para la excavadora RE46 y la información final junto con los histogramas elaborados a partir de los 2781 datos seleccionados para proseguir con el estudio.

Tabla 10: Estadística inicial de RE46

**Información Estadística de datos iniciales  
RE46**

		PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE CARGUIO	HANG (%)
N	Valid	5808	5808	5801
	Missing	0	0	7
Mean		551.20	1.331	.5335
Std. Error of Mean		2.052	.0129	.00267
Median		558.85	1.247	.5493
Mode		1109	.0	.00
Std. Deviation		156.369	.9813	.20362
Variance		24451.271	.963	.041
Skewness		.064	13.658	-.461
Std. Error of Skewness		.032	.032	.032
Kurtosis		1.149	308.501	.208
Std. Error of Kurtosis		.064	.064	.064
Range		1132	32.3	1.00
Minimum		25	.0	.00
Maximum		1157	32.3	1.00
Sum		3201369	7733.3	3094.98
Percentiles	5	286.70	.478	.1391
	95	778.36	2.184	.8442

Tabla 11: Estadística final de RE46

**Información Estadística de datos finales  
seleccionados RE46**

		PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE CARGUIO	HANG (%)
N	Valid	2781	2781	2781
	Missing	0	0	0
Mean		568.74	1.256	.5485
Std. Error of Mean		1.826	.0067	.00207
Median		571.90	1.221	.5514
Mode		314 <sup>a</sup>	1.4	.25 <sup>a</sup>
Std. Deviation		96.317	.3548	.10907
Variance		9276.991	.126	.012
Skewness		-.132	.295	-.154
Std. Error of Skewness		.046	.046	.046
Kurtosis		-.588	-.466	-.695
Std. Error of Kurtosis		.093	.093	.093
Range		464	1.6	.52
Minimum		314	.5	.25
Maximum		778	2.1	.77
Sum		1581665	3493.9	1525.41
Percentiles	5	405.53	.698	.3660
	95	726.99	1.900	.7209

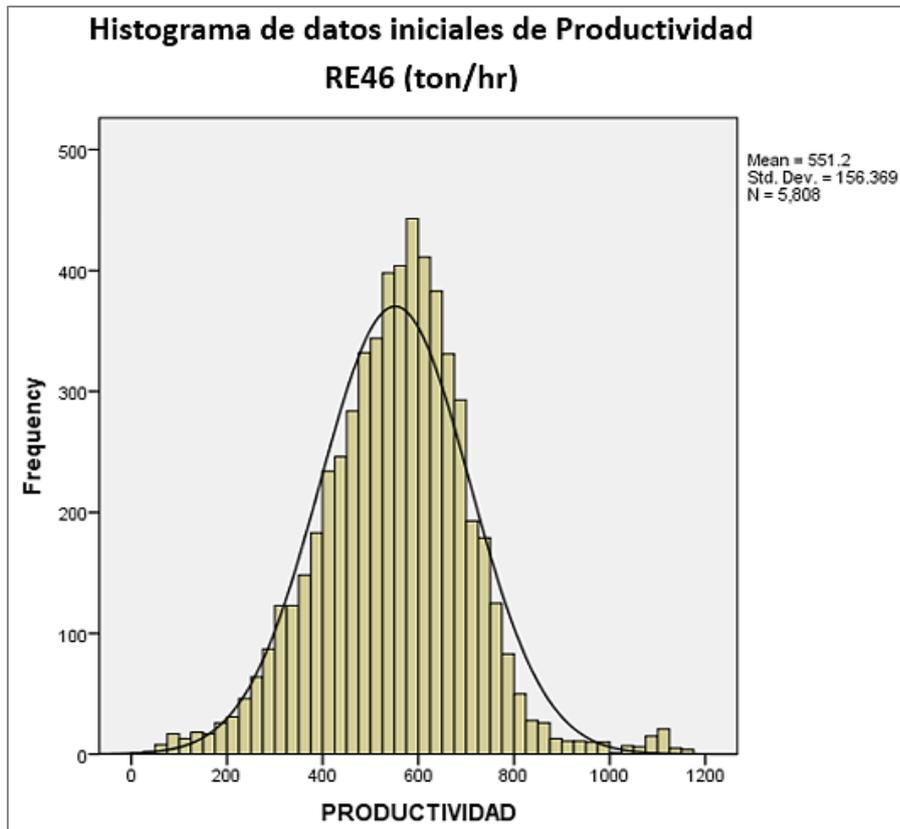


Gráfico 7: Histograma Inicial – Productividad RE46

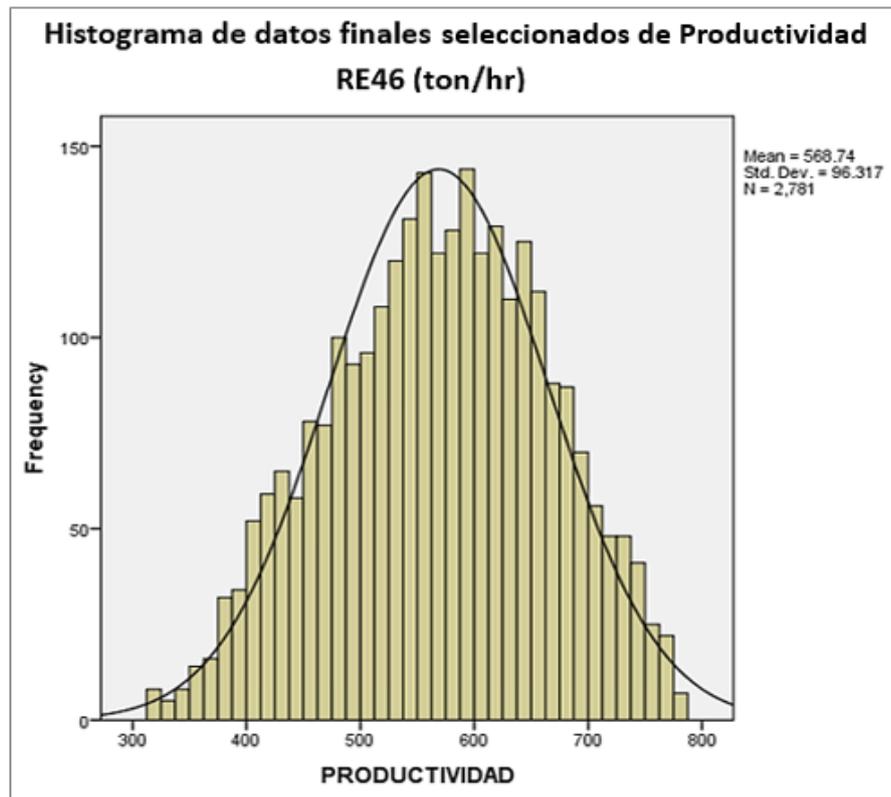


Gráfico 8: Histograma Final – Productividad RE46

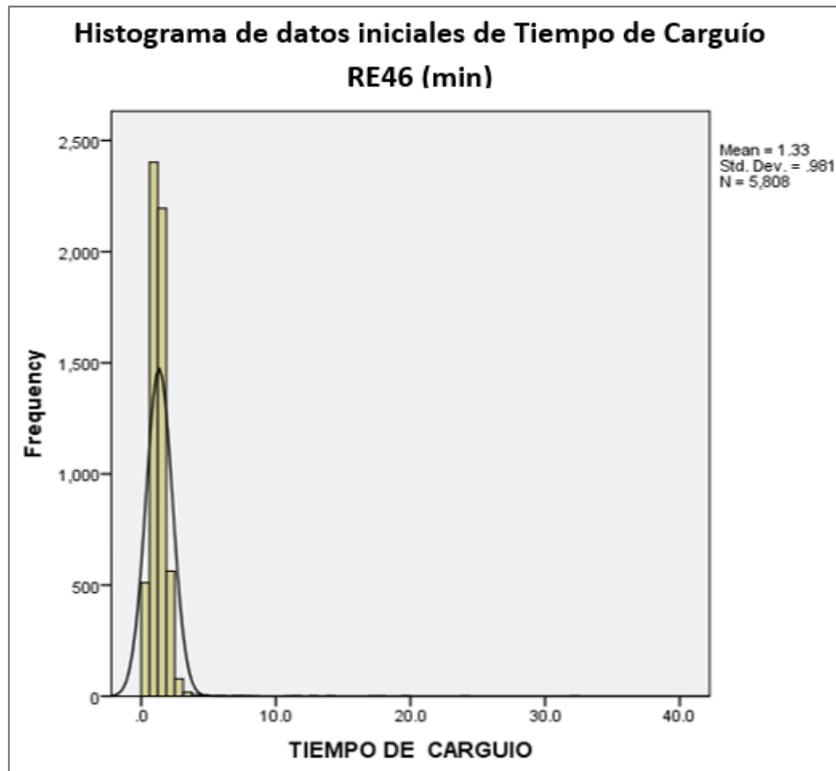


Gráfico 9: Histograma Inicial – Tiempo de carguío RE46

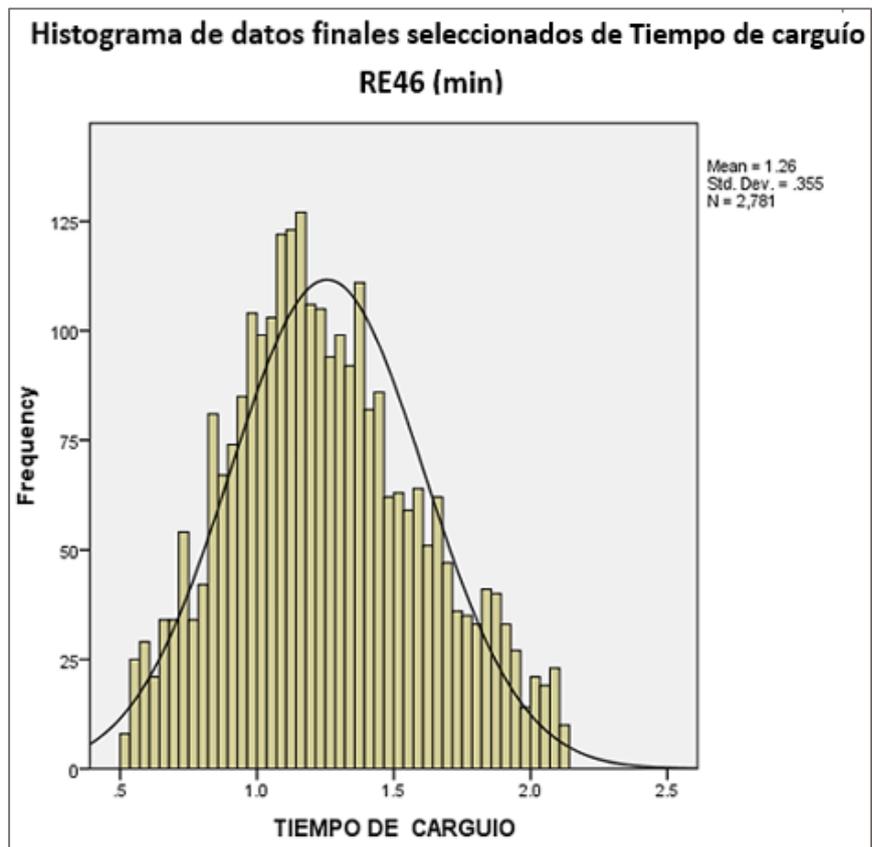


Gráfico 10: Histograma Final – Tiempo de carguío RE46

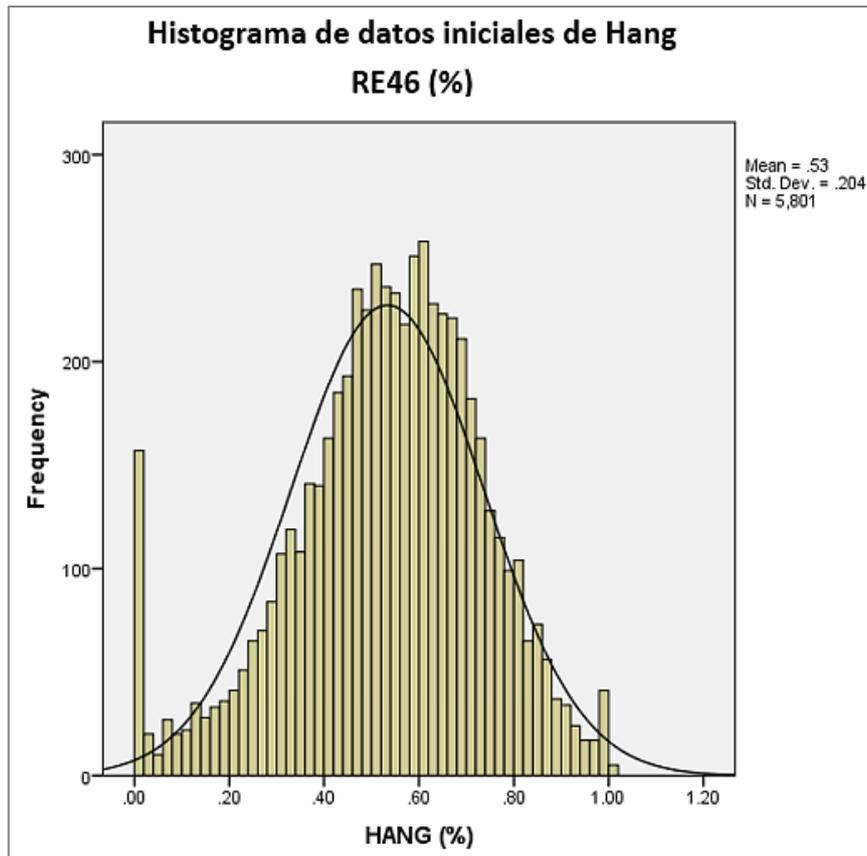


Gráfico 11: Histograma Inicial – Hang RE46

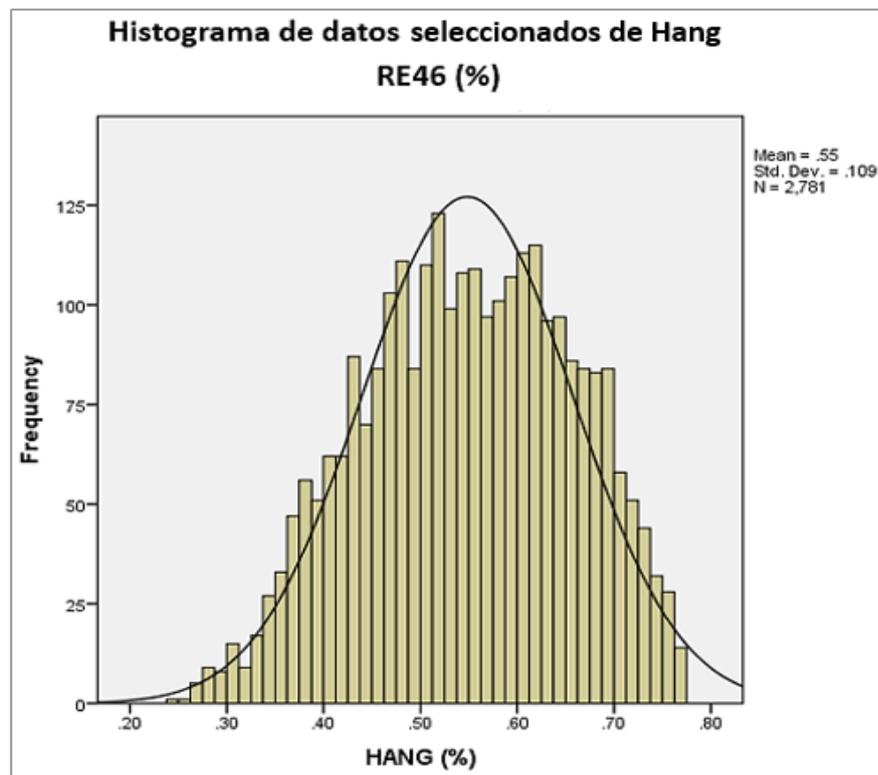


Gráfico 12: Histograma Final – Hang RE4

➤ **Descripción del análisis estadístico e histogramas elaborados sobre la Productividad Operativa, tiempo de carguío y hang:**

Respecto a las tablas de valores estadísticos de los datos iniciales y los finales de ambas excavadoras RE44 y RE46, en la comparación de sus medidas estadísticas, en primer lugar, la cantidad de datos seleccionados es menos de la mitad de los datos originales, ya que existe gran cantidad de valores aleatorios en la información histórica que perturban la confiabilidad del análisis y por eso es necesario aislarlos del estudio, asimismo se puede notar que los principales datos del error estándar de la mediana, la desviación estándar, y la varianza disminuyen considerablemente, demostrando la mejor calidad de datos para proseguir con el estudio, asimismo respecto a los histogramas, también se puede observar claramente la diferencia entre los valores iniciales y finales, ya que los primeros tienen una gran cantidad de valores cero y aleatorios que quedan fuera de la curva de distribución, mientras que los otros tienen los valores con mayor uniformidad y se refleja en la curva de distribución.

Por otro lado para seleccionar la información, se tuvo que analizar cada uno de los histogramas y las medidas estadísticas, de acuerdo a los percentiles del conjunto de datos, se decidió trabajar con datos que estén por encima del 5% percentil y por debajo del 95%, es decir separar los datos no significativos, dicha separación se hizo primero con la Productividad Operativa, luego con el Tiempo de Carguío y finalmente con el Hang, pudiendo observarse en los histogramas finales desviaciones estándar y varianzas mucho menores a las iniciales y en valores aceptables, demostrando mayor uniformidad en los datos, así como en las gráficas se observa la eliminación de los valores “cero” y los valores a los que no cogía la línea de distribución, por lo que la curtosis desciende considerablemente, lo que indica mejor calidad de la información pasando de una distribución asimétrica con curtosis positiva a distribución simétrica con curtosis negativa, finalmente se decide tomar como valor promedio y representativo de cada factor estudiado a la media, ya que se tiene una baja cantidad de valores atípicos luego de la selección realizada.

➤ **Selección de datos de anchos de frente**

Al tener una cantidad mucho menor de datos ya seleccionados en comparación a la inicial por cada excavadora, se recurrió al área de topografía para calcular todos los anchos de los frentes de minado diarios en los que cada excavadora ha trabajado; con dicha información nuevamente se construyeron histogramas, para tomar la media estadística como valor representativo por excavadora, cuya desviación estándar se encontraba dentro de un margen adecuado.

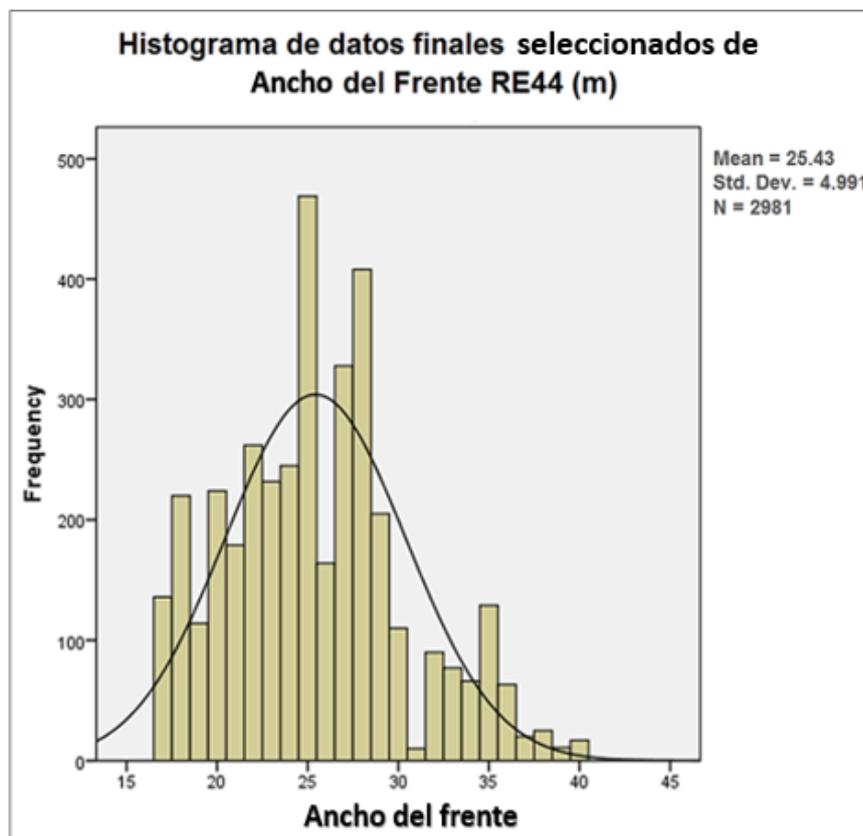


Gráfico 13: Histograma Final – Ancho del frente RE44

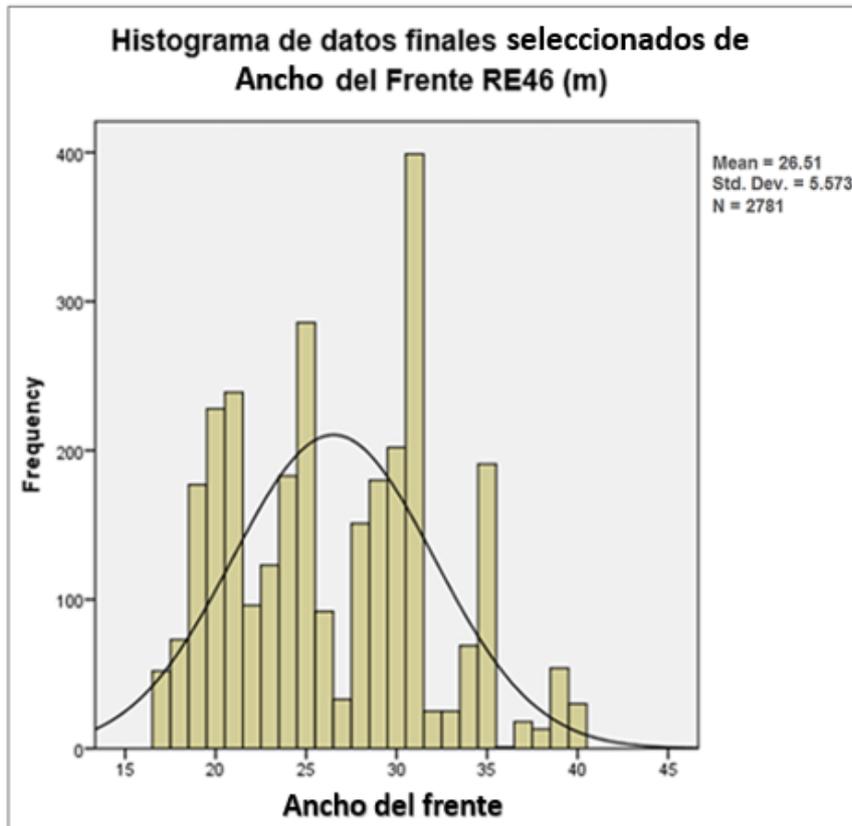


Gráfico 14: Histograma Final – Ancho del frente RE46

➤ **Descripción de los histogramas elaborados sobre el ancho del frente:**

De acuerdo a los histogramas elaborados para el ancho de frente de cada una de las excavadoras en estudio, se aprecia que los datos bajo la curva de distribución presentan mayor variabilidad en comparación con las variables anteriormente analizadas, puesto que las longitudes de los frentes de minado cambian de acuerdo a la ubicación, condiciones y necesidad de planeamiento, además la realidad de Cerro Corona muestra que algunos rangos de longitud tienen poca cantidad de datos respecto a otros, sin importar que dichos valores estén concentrados a la izquierda, derecha o al centro de la curva, demostrando el poco control que se tiene sobre ésta variable en el año 2017.

### 3.8.2. Definición del escenario del año 2017

#### a) Definición del escenario base de “Productividad Operativa”

Luego de tener la información histórica correcta y seleccionada, se procedió a analizar los datos de la variable dependiente “Productividad Operativa” estadísticamente mediante la construcción de histogramas en el programa SPSS para cada una de las excavadoras pertenecientes a la muestra, y poder determinar el valor del escenario sobre el cual debemos medir los resultados.

De acuerdo a la media encontrada para los datos de cada excavadora, se tiene lo siguiente:

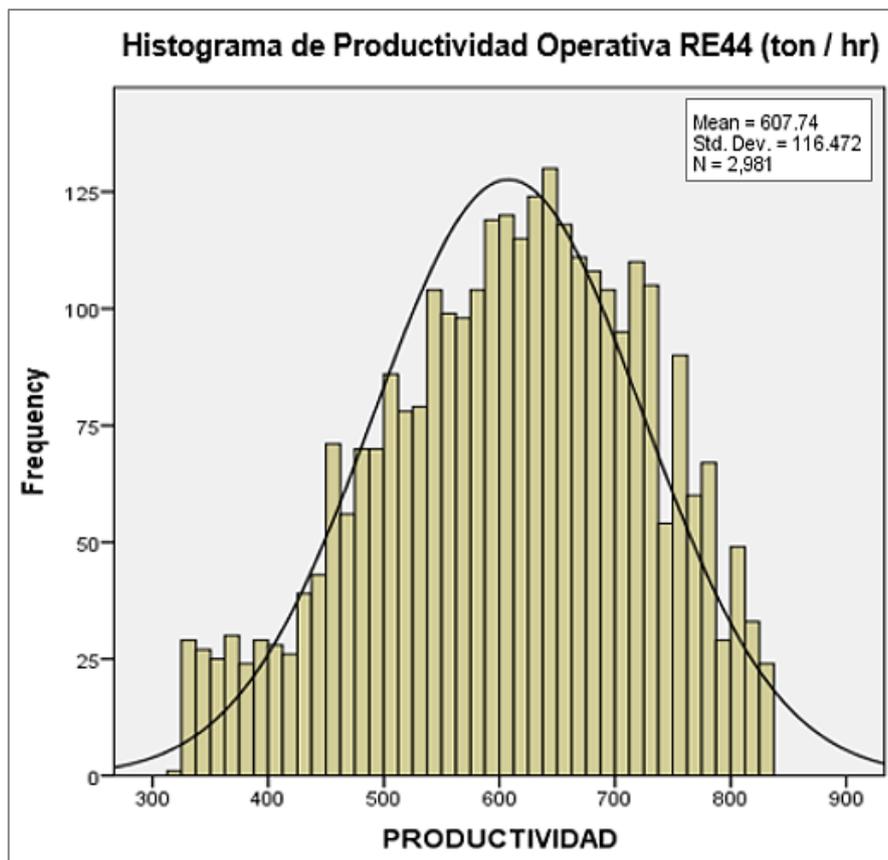


Gráfico 15: Histograma de Productividad Operativa RE44

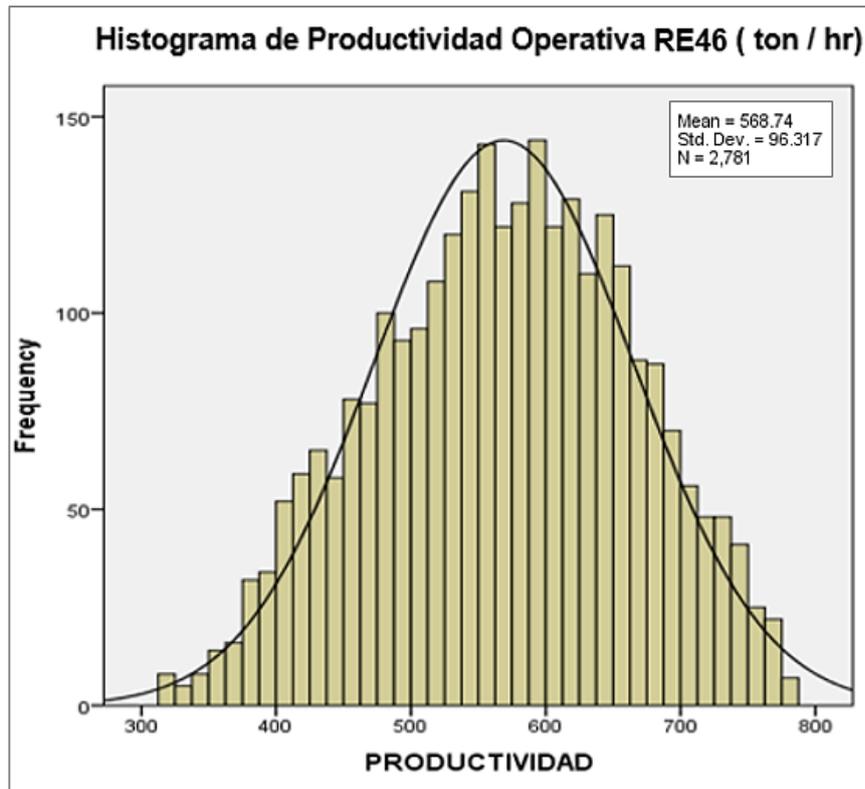


Gráfico 16: Histograma de Productividad Operativa RE46

Debido a que el histograma con el que se ha trabajado ya es elaborado de valores finales seleccionados, sin considerar aleatoriedades, se toma a la media como valor representativo promedio de la productividad operativa para ambas excavadoras y obtener un escenario, teniendo lo siguiente:

Tabla 12: Datos del escenario de Productividad Operativa de Carguío del 2017

	<b>RE44</b>	<b>RE46</b>
<b>Productividad Operativa de Carguío Promedio (Ton/hr)</b>	<b>607.74</b>	<b>568.74</b>
<b>Escenario base de Productividad Operativa de Carguío (Ton/hr)</b>	<b>590</b>	

#### **b) Definición del escenario base del “Tiempo de carguío”**

De igual forma que para la variable “Productividad Operativa”, se realizó el análisis en el programa SPSS para determinar el escenario base del “Tiempo de carguío” mediante histogramas. De acuerdo a la media encontrada para los datos de cada excavadora, se tiene lo siguiente:

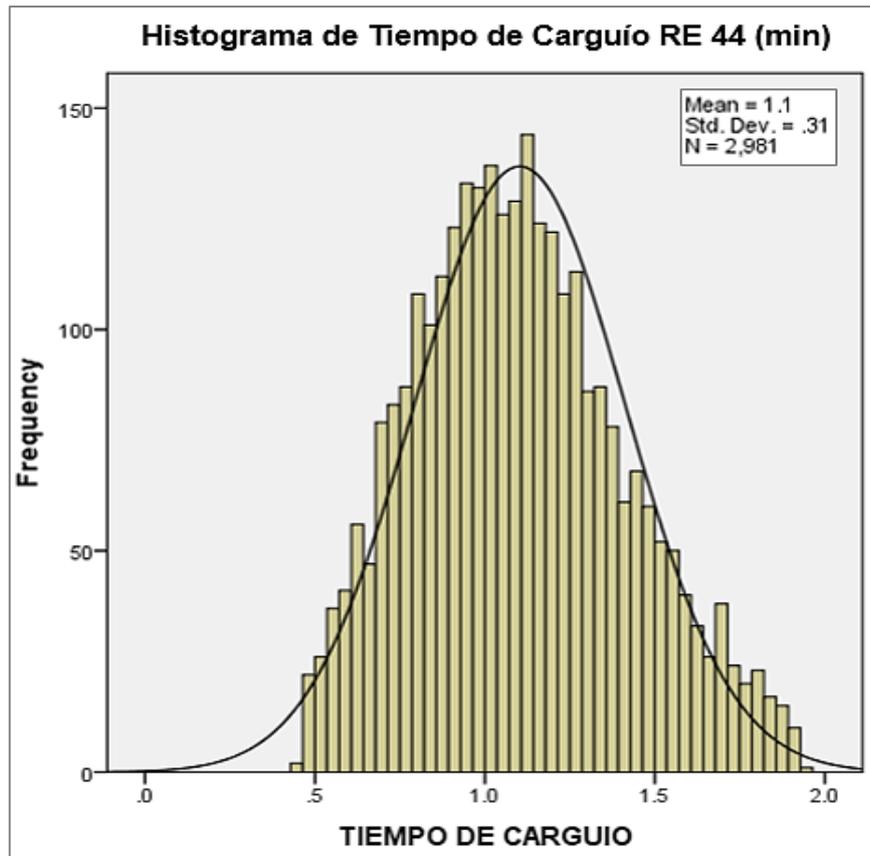


Gráfico 17: Histograma de Tiempo de Carguío RE44

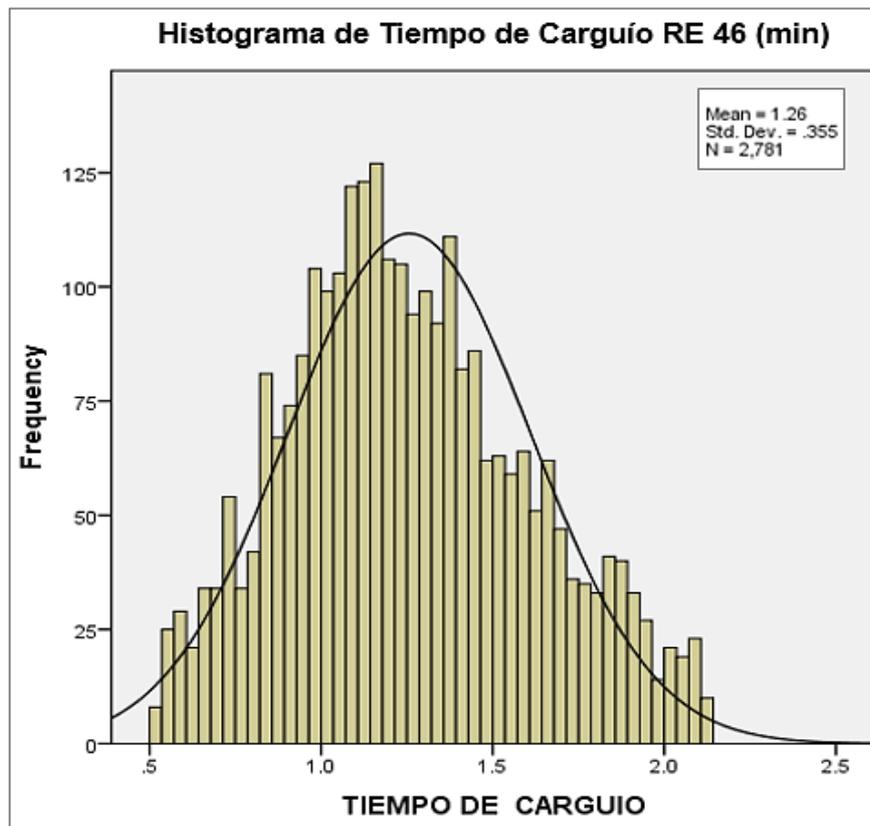


Gráfico 18: Histograma de Tiempo de Carguío RE46

Para los tiempos de carguío también se trabajó con datos uniformizados seleccionados, por lo que la media es el valor representativo de dicho factor para ambas excavadoras y definir su escenario base en la siguiente tabla:

Tabla 13: Datos del escenario de Tiempo de Carguío del 2017

	RE44	RE46
<b>Tiempo de Carguío promedio (min)</b>	<b>1.1</b>	<b>1.26</b>
<b>Escenario base de Tiempo de Carguío (min)</b>	<b>1.2</b>	

**c) Definición del escenario base del “tiempo de espera de la excavadora (Hang)”**

El “Hang” o el tiempo de espera de la excavadora por cargar a un volquete también necesitaba tener un valor a partir del cual medir los resultados de la investigación, es por eso que se analizaron los valores registrados en el Control Sense del año 2017 del Hang de las dos excavadoras en estudio, en el programa estadístico SPSS, obteniéndose lo siguiente:

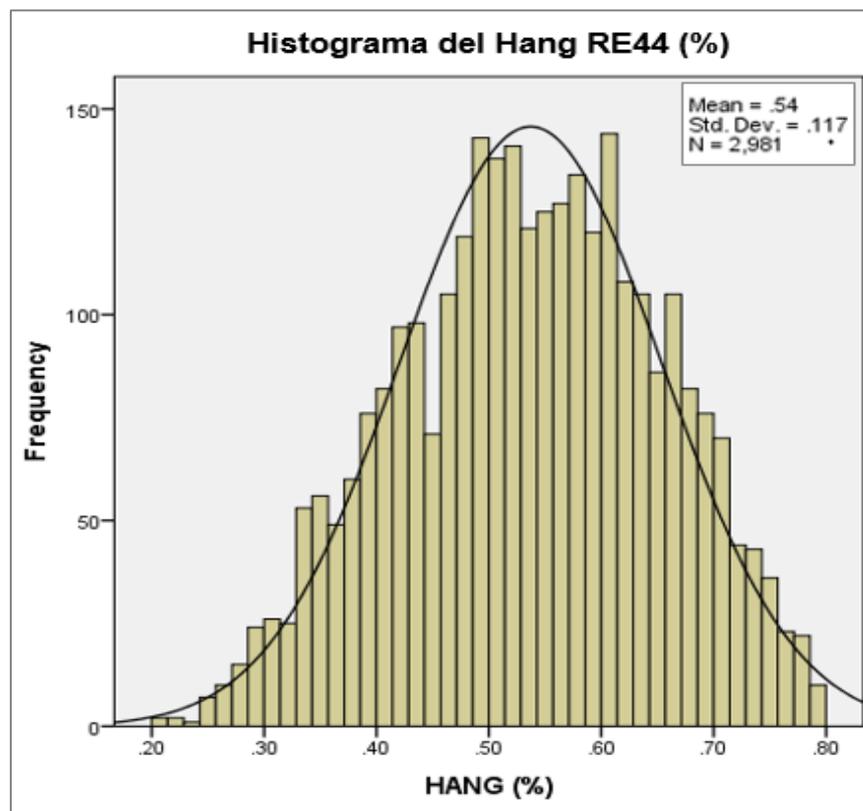


Gráfico 19: Histograma de Hang RE44

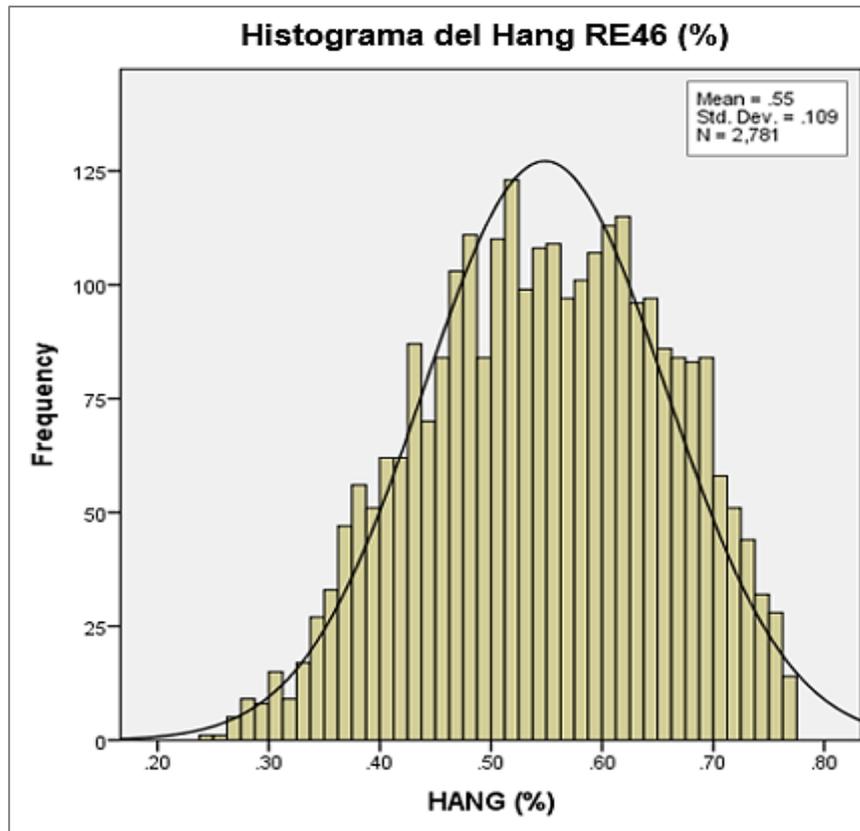


Gráfico 20: Histograma de Hang RE46

Para determinar el escenario base respecto al Hang, también se trabajó con la media estadística de los histogramas de ambas excavadoras, y a continuación se muestra lo obtenido:

Tabla 14: Datos del escenario base de Hang del año 2017

	RE44	RE46
<b>Hang (%)</b>	<b>54</b>	<b>55</b>
<b>Escenario base del Hang (%)</b>	<b>55</b>	

#### d) Definición del escenario base del “ancho del frente”

De la base de datos seleccionada con los valores de los anchos de los frentes de minado de las excavadoras de la muestra, se procedió a realizar el análisis en el programa estadístico SPSS, para también definir un valor del escenario base del ancho de minado de la media del año 2017, como a continuación se muestra:

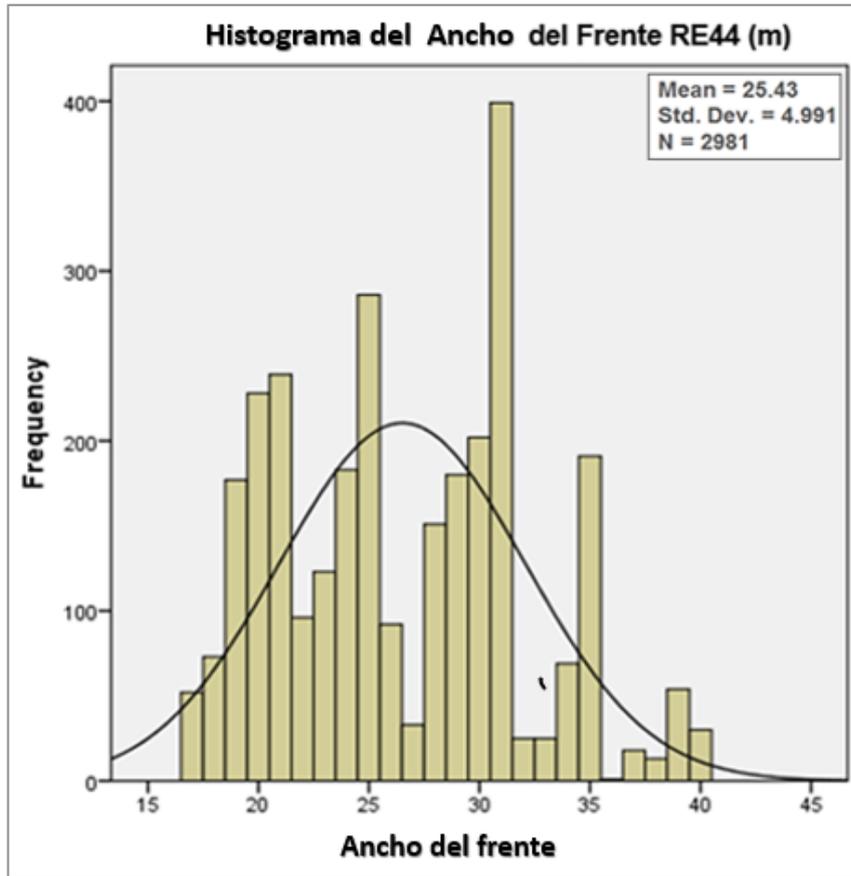


Gráfico 21: Histograma del ancho del frente RE44

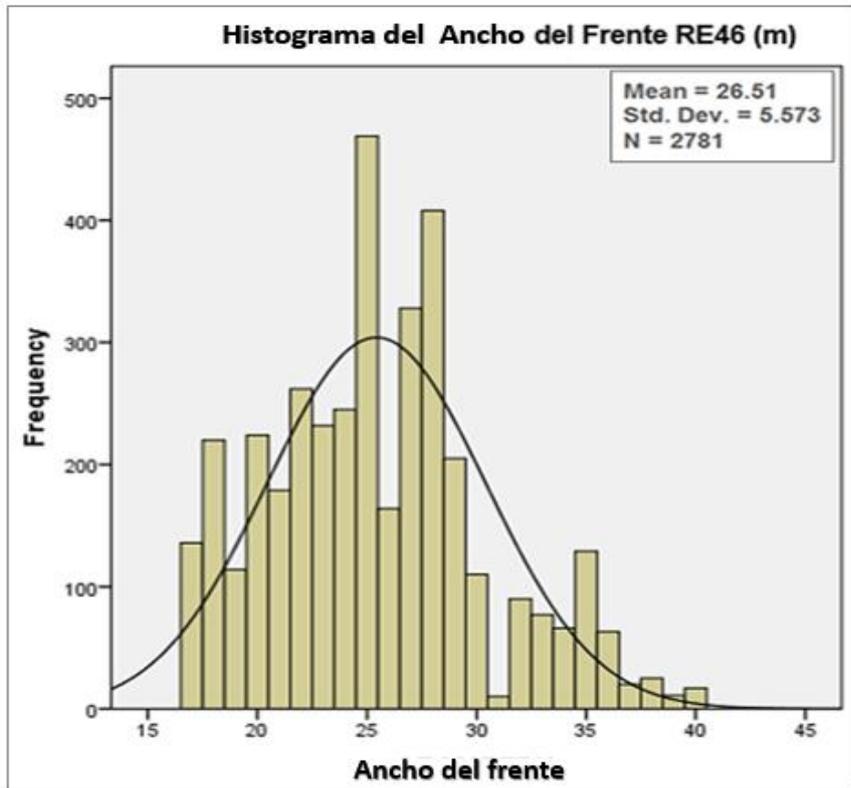


Gráfico 22: Histograma del Ancho del frente RE46

Para determinar el escenario base respecto al ancho del frente, también se trabajó con la media estadística de los histogramas de ambas excavadoras, y a continuación se muestra lo obtenido:

Tabla 15: Datos del escenario del ancho del frente del 2017

	RE44	RE46
Ancho del frente (m)	25.43	26.51
Escenario base del Ancho del frente (m)	26	

### 3.8.3. Determinación de escalas de clasificación de variables

#### a) Determinación de escalas de valores de productividad operativa

Para determinar escala de valores de productividad se tuvo que realizar una evaluación de acuerdo a los fundamentos de productividad óptima basados en un equilibrio entre el costo y la producción.

A continuación, se explica gráficas de los fundamentos:

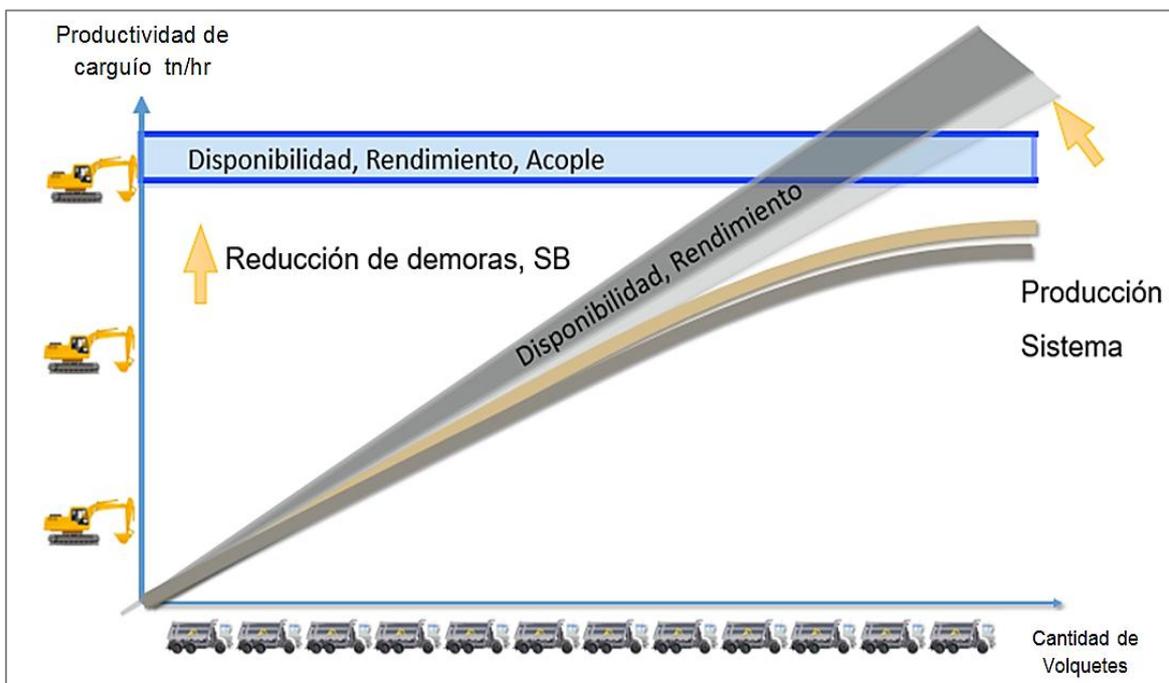


Figura 26: Relación de Disponibilidad y rendimientos en la Producción del Sistema (Mine Sense, 2017)

En la gráfica se tiene Productividad de carguío vs la Cantidad de volquetes que tiene una excavadora, en la que se representa que de acuerdo a la disponibilidad y rendimiento tanto del equipo de carguío como de acarreo y de la reducción de demoras y/o stand by de los equipos dependerá la producción.

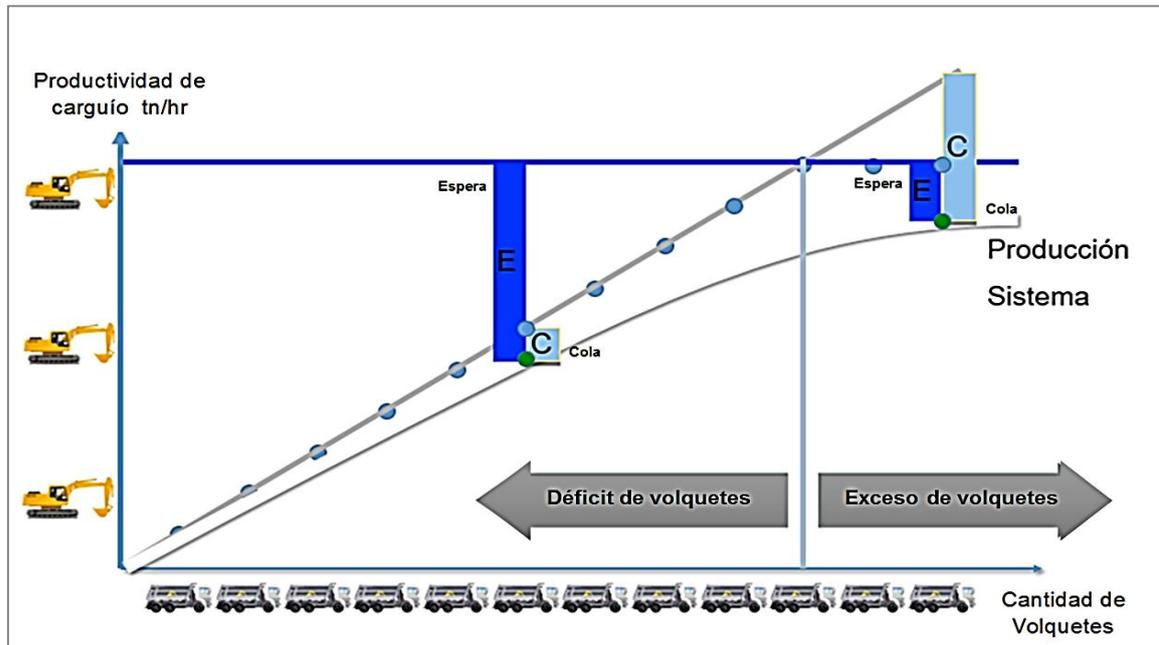


Figura 27: Relación de la Cantidad de Volquetes en la Producción del Sistema (Mine Sense, 2017)

En esta segunda gráfica al concepto anterior se le añaden las colas de volquetes y la espera de excavadora por cargar un volquete cuyo equilibrio al no tener un déficit ni un exceso de equipos de acarreo permitirá tener la producción adecuada utilizando la cantidad necesaria de recursos.

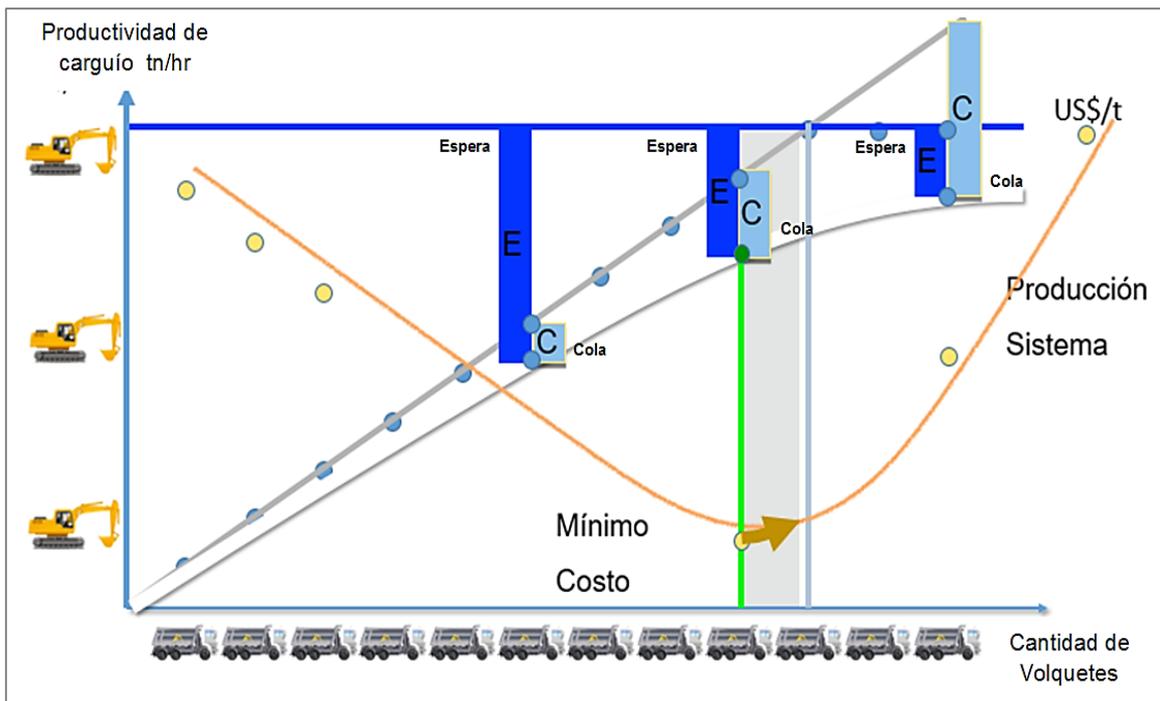


Figura 28: Relación del Mínimo Costo en la Producción del sistema  
Fuente: Mine Sense, 2017

En la gráfica final ya se observa la curva de costos en US\$/ton la que también debe mantener un punto de equilibrio con la producción utilizando los recursos óptimos, en dicho punto es donde se debe calcular cuál es la productividad y el Hang óptimos para las excavadoras.

En base a lo descrito anteriormente se hizo el análisis utilizando el programa MiniTab, el cual es más versátil para poder determinar las 3 líneas de distribución más representativas del año 2017 en cuanto a productividad operativa tanto para turno día y noche, para que de este modo se pueda elegir los mejores y peores valores y determinar los extremos para la escala.

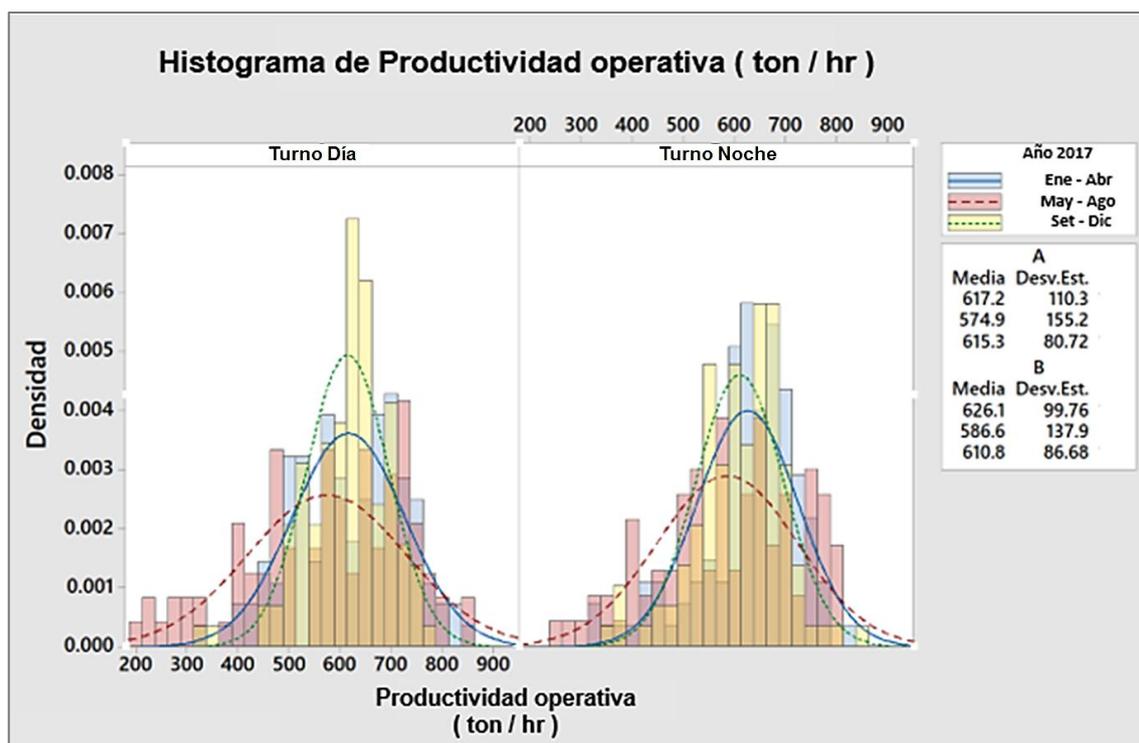


Gráfico 23: Relación del Mínimo Costo en la Producción del sistema

De acuerdo a los valores encontrados, se presenta a continuación un cuadro con los mejores y peores valores, asimismo se establece con un margen de amplitud de 5% los límites óptimo y bajo para definir las escalas de productividad operativa.

Tabla 16: Límites de clasificación de la Productividad Operativa de carguío

	Turno Día	Turno Noche
<b>Mejor Valor (Ton/hr)</b>	<b>617</b>	<b>626</b>
<b>Límite óptimo (Ton/hr)</b>	<b>650</b>	
<b>Peor Valor (Ton/hr)</b>	<b>575</b>	<b>587</b>
<b>Límite bajo (Ton/hr)</b>	<b>550</b>	

Teniendo como valor óptimo 650 ton/hr y como límite de escala medio a baja 550 ton/hr, se construyó la siguiente escala de valores de Productividad operativa de los equipos de carguío:

### Escala de Productividad Operativa de Carguío

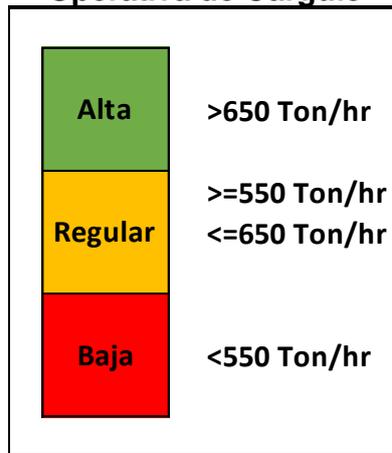


Gráfico 24: Escala de Clasificación de Productividad Operatividad de Carguío

De acuerdo a la escala determinada se evaluó el performance de las dos excavadoras de la muestra durante el 2017, de dicho análisis se tiene lo siguiente:

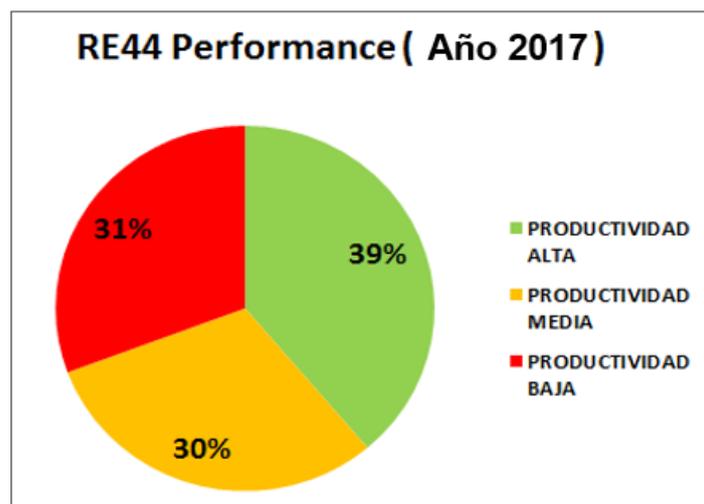


Gráfico 25: Performance RE44 en año 2017

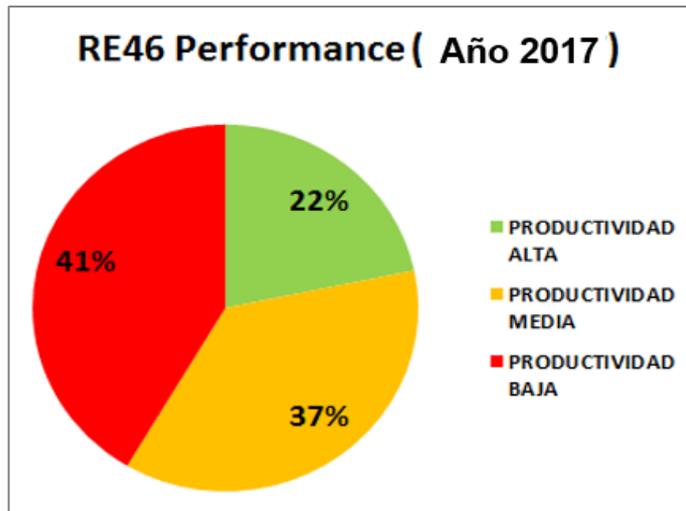


Gráfico 26: Performance RE46 en año 2017

Asimismo, también se elaboró histogramas de las 3 escalas de productividad de cada excavadora para encontrar una media por categoría:

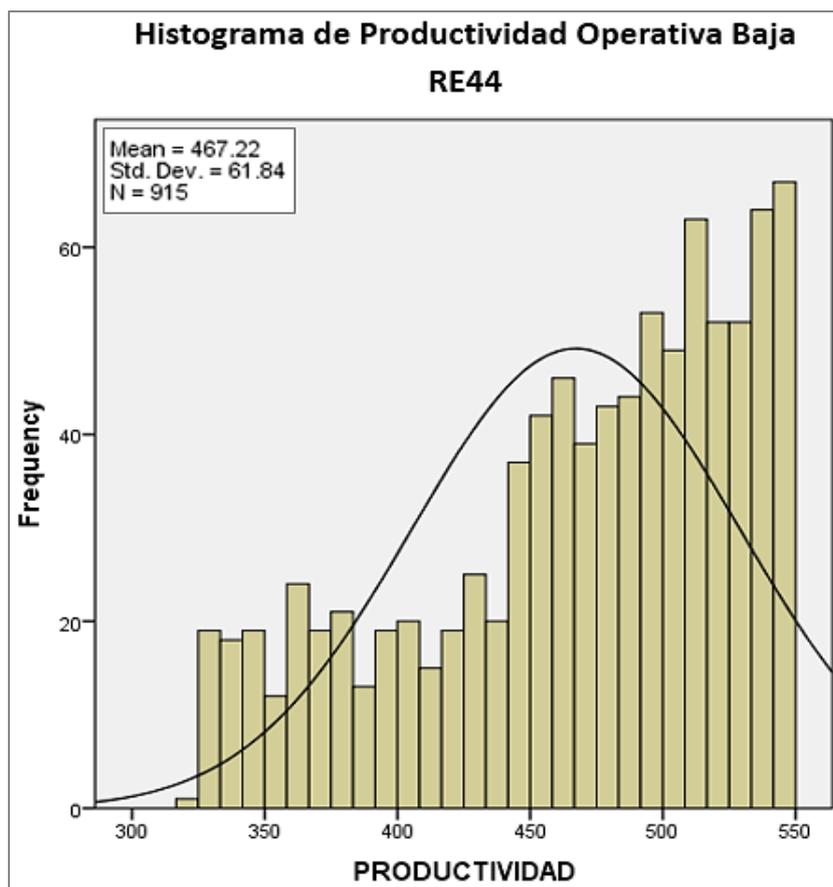


Gráfico 27: Histogramas de Productividad Operativa Baja RE44

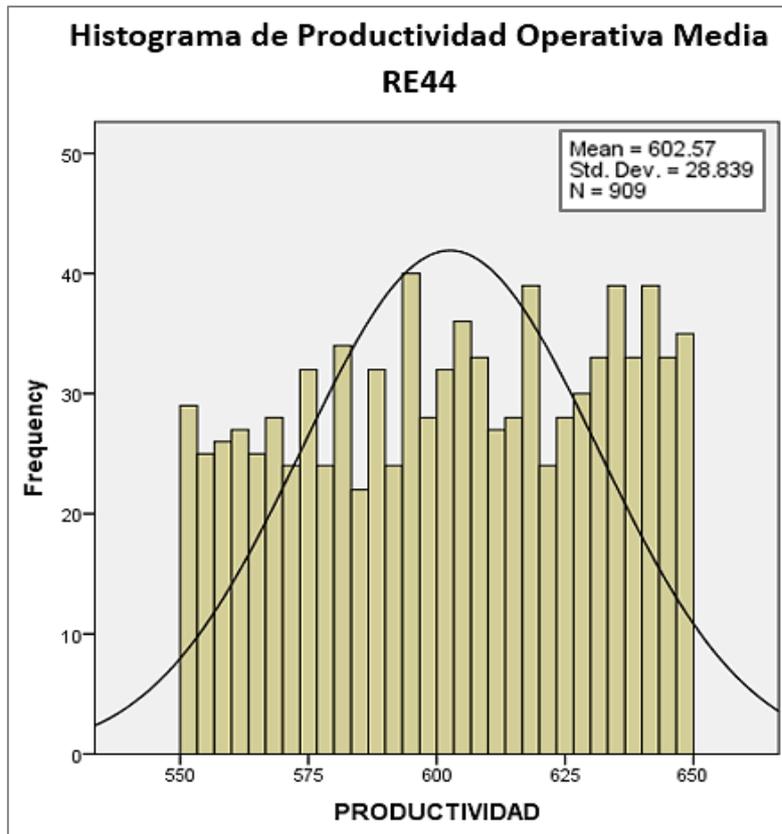


Gráfico 28: Histogramas de Productividad Operativa Media RE44

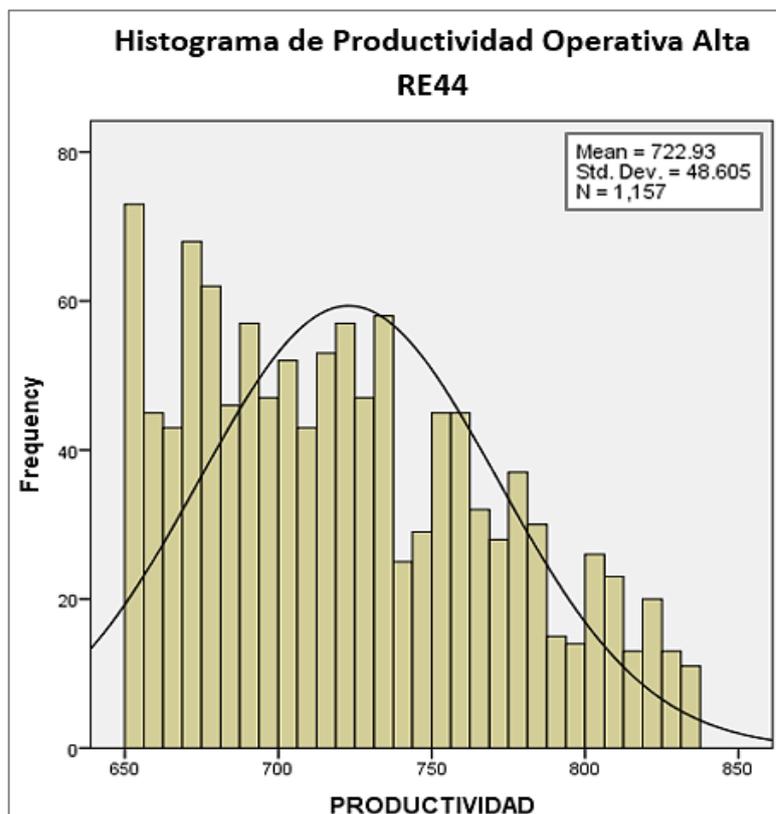


Gráfico 29: Histogramas de Productividad Operativa Alta RE44

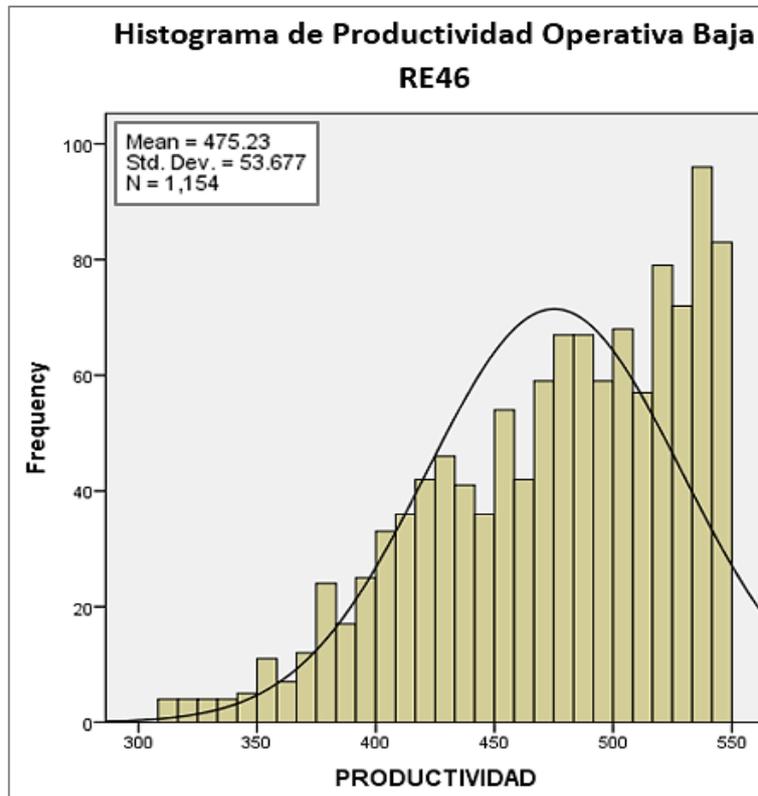


Gráfico 30: Histogramas de Productividad Operativa Baja RE46

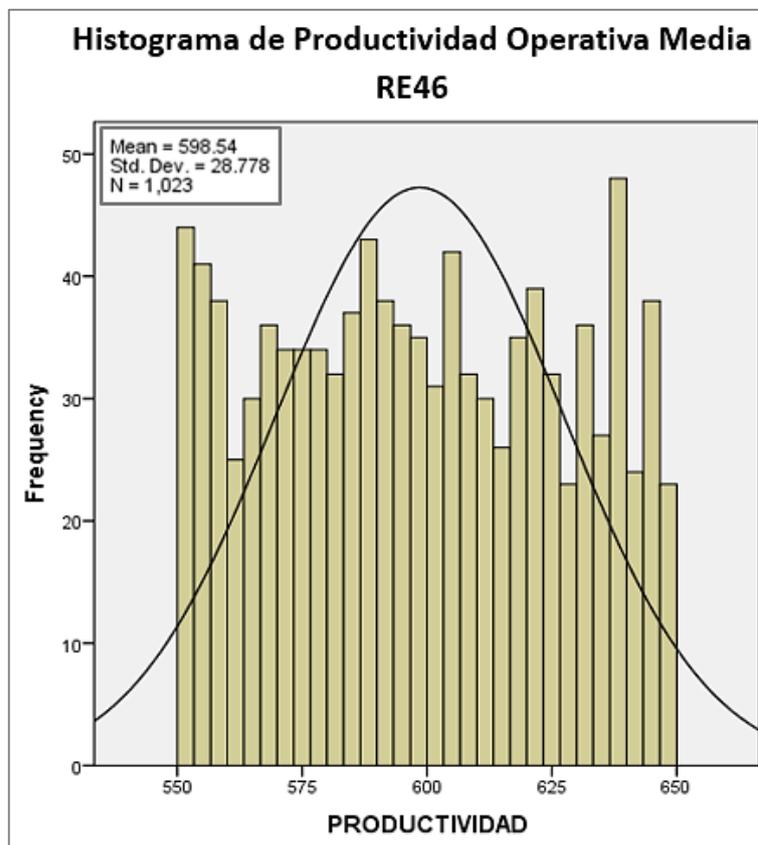


Gráfico 31: Histogramas de Productividad Operativa Media RE46

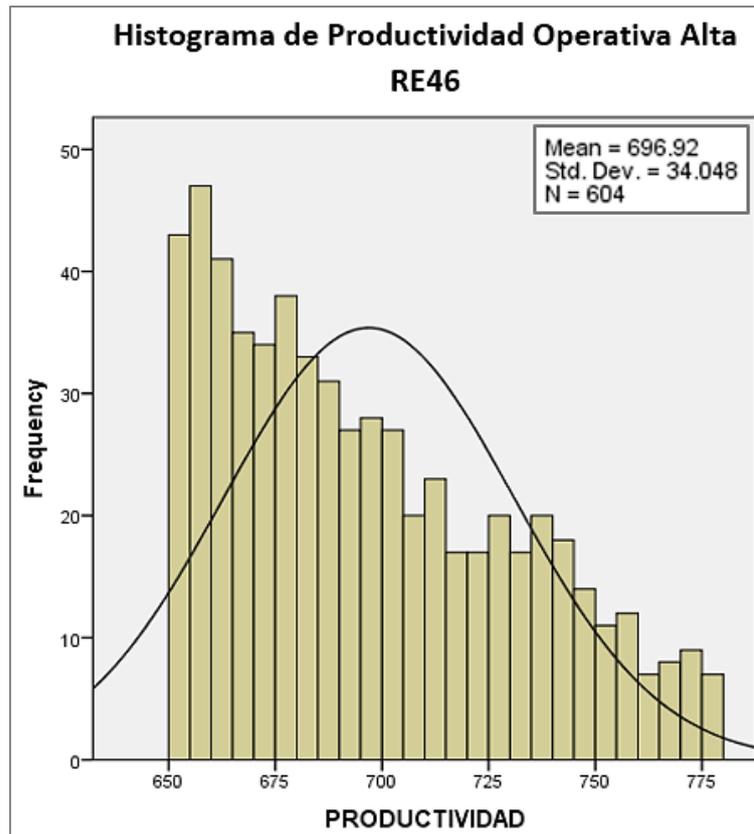


Gráfico 32: Histogramas de Productividad Operativa Alta RE46

De acuerdo a los histogramas se obtuvo lo siguiente:

Tabla 17: Productividad Operativa de carguío promedio por escalas de clasificación

	<b>RE44</b>	<b>RE46</b>
<b>Productividad Operativa Baja Promedio (Ton/hr)</b>	<b>467.22</b>	<b>473.23</b>
<b>Productividad Operativa Media Promedio (Ton/hr)</b>	<b>602.57</b>	<b>598.54</b>
<b>Productividad Operativa Alta Promedio (Ton/hr)</b>	<b>722.93</b>	<b>696.92</b>

Para descartar la intervención de otros factores que pueden afectar en el Performance de las excavadoras, se evaluó la confiabilidad mensual de cada equipo durante todo el año 2017 y se elaboró una gráfica comparativa:

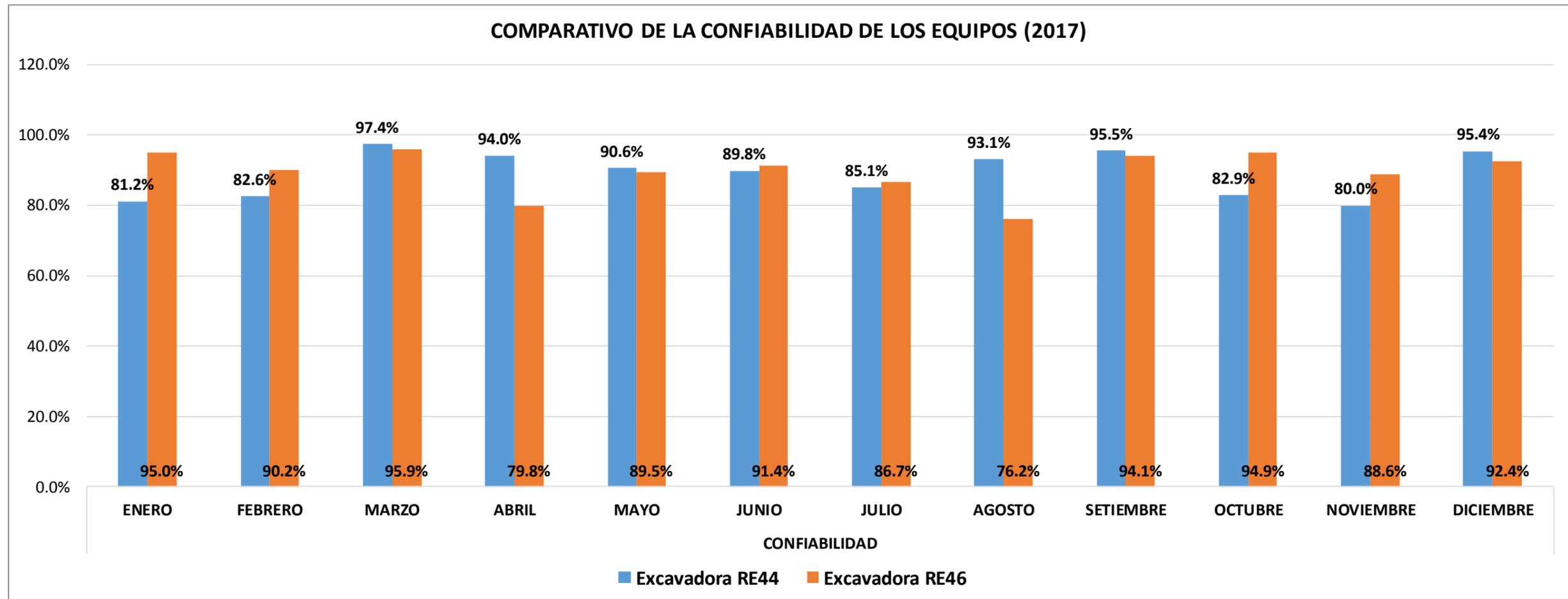


Gráfico 33: Comparativo de confiabilidad de los equipos de carguío del 2017

Del comparativo de la confiabilidad de los equipos, indicadores que se refiere a las condiciones mecánicas de las excavadoras, se tiene un promedio en la RE44 de 90.4% y en la RE46 de 89%, con lo que se puede concluir que no hay mayor diferencia de estado de ambos equipos, lo que nos indica que no ha sido la confiabilidad un factor influyente en su productividad operativa, pudiendo proceder con el análisis de otros factores.

Asimismo, se elaboró un ranking de operadores de carguío del año 2017 de acuerdo a su rendimiento efectivo (ton/hr), para determinar la calidad de operadores que tuvieron mayor intervención en operador el equipo de carguío, obteniéndose los siguientes resultados.

### RANKING DE OPERADORES DE CARGUÍO (2017)

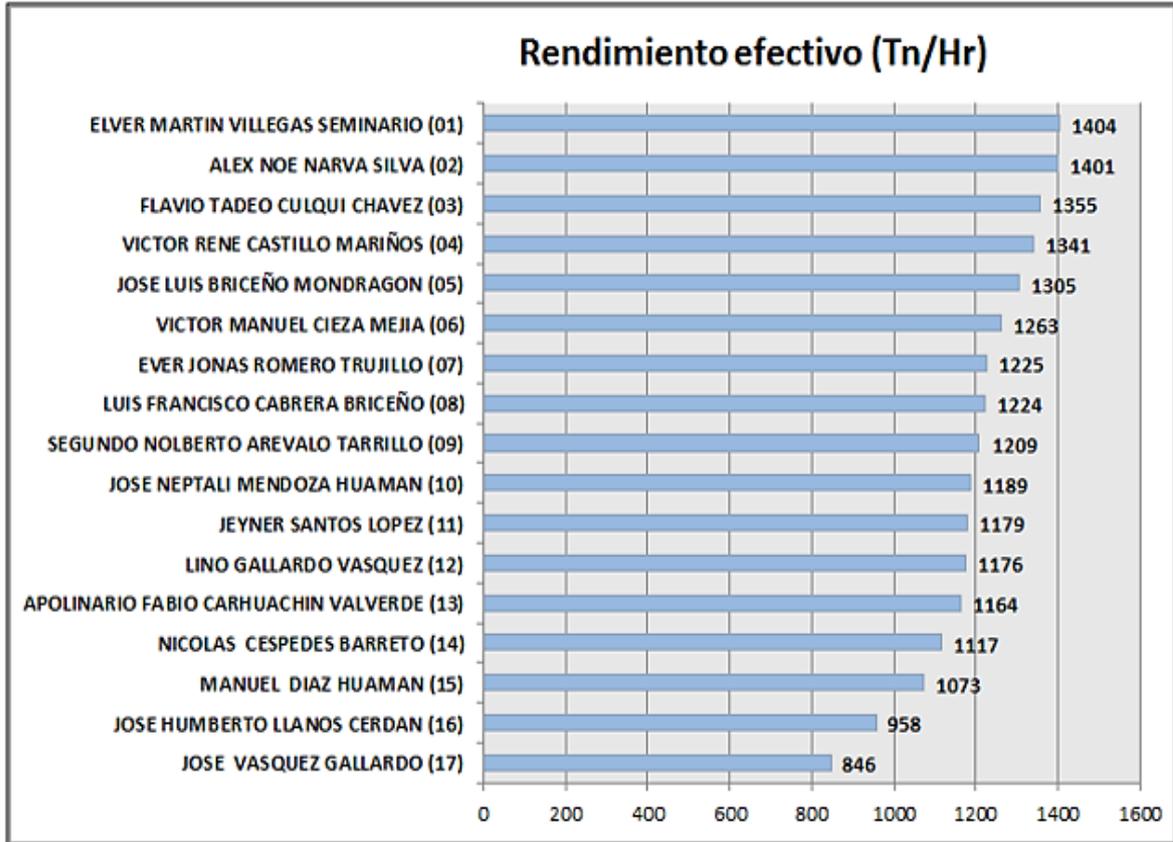


Gráfico 34: Ranking de Operadores de carguío del 2017

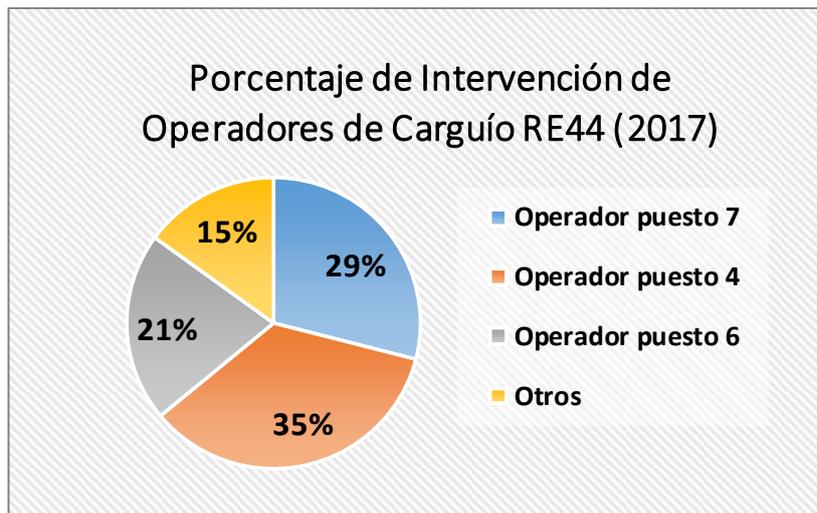


Gráfico 35: Intervención de Operadores de Carguío en RE44 en 2017

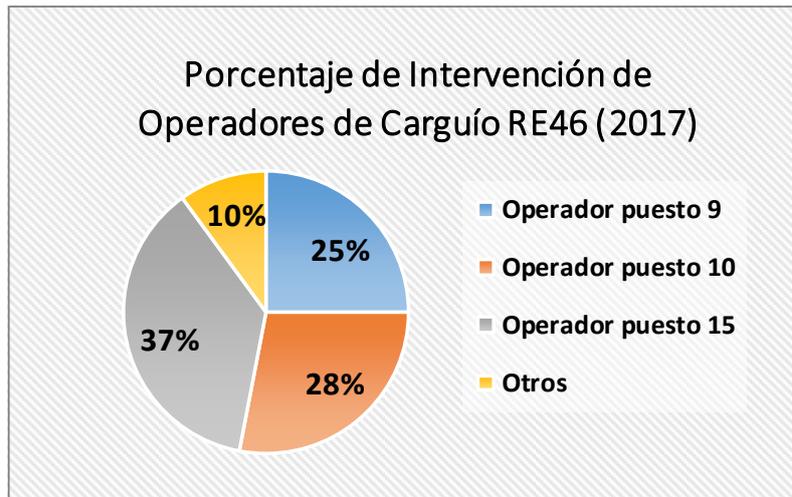


Gráfico 36: Intervención de Operadores de Carguío en RE46 en 2017

Como se observa en las gráficas en la RE44 tuvieron intervención operadores con mayor rendimiento efectivo que en la RE46, asimismo el rendimiento del operador depende de las condiciones del frente y de la habilidad del operador.

La habilidad del operador es un factor que no tiene escala de medición, ya que puede depender netamente de la destreza y entrenamiento del operador, dejando de lado los años de experiencia, sin embargo, para las condiciones del frente de minado hay muchos factores a evaluar, y que, para el presente estudio, son las llamadas variables dependientes.

#### **b) División de datos del ancho del frente de acuerdo a la escala de productividad**

Al tener la escala de productividad operativa definida, se evaluaron los anchos de los frentes de minado durante los días que se alcanzaron los valores dentro de los márgenes establecidos, para determinar si el ancho de minado tiene relación con la productividad de la excavadora, obteniéndose los resultados que a continuación se muestran:

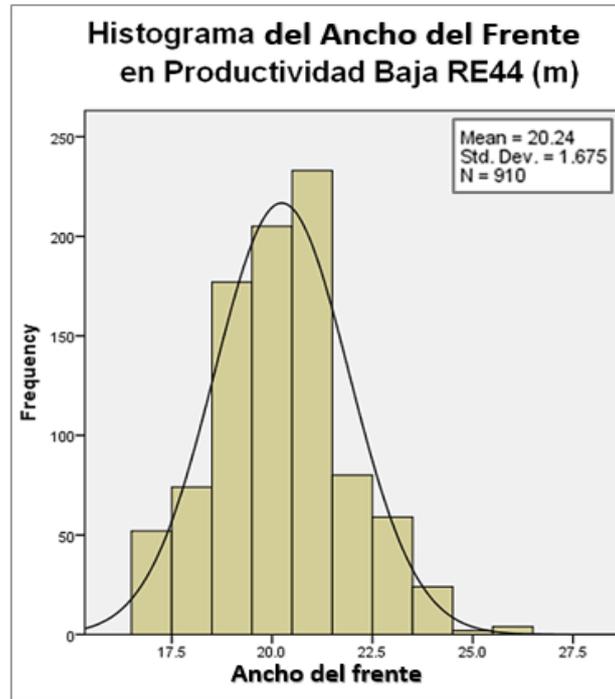


Gráfico 37: Histograma del Ancho del frente en Productividad Baja RE44

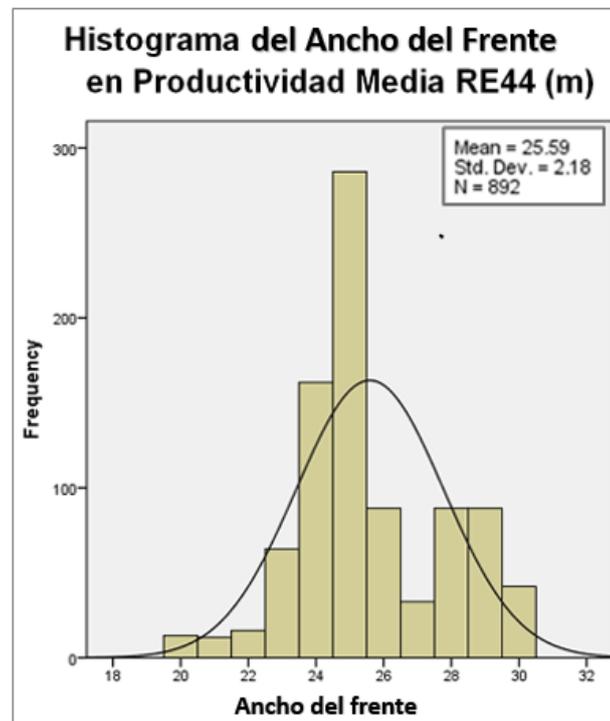


Gráfico 38: Histograma del Ancho del frente en Productividad Media RE44

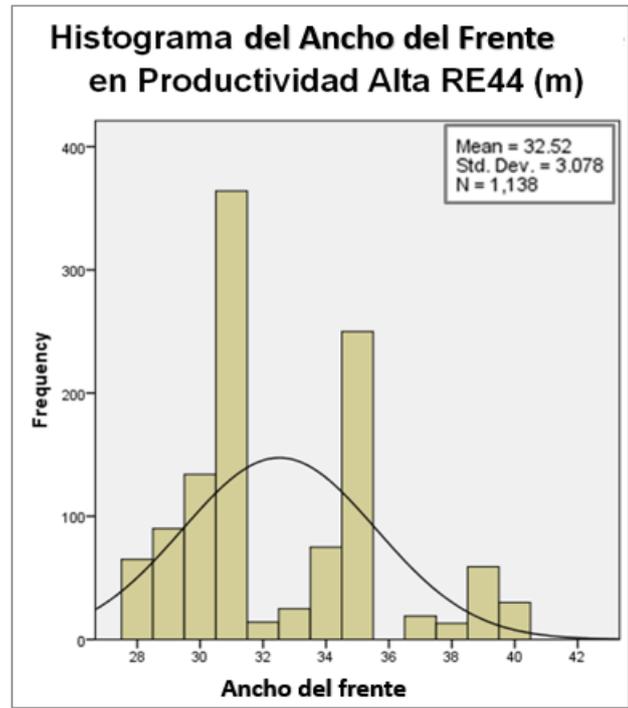


Gráfico 39: Histograma del Ancho del frente en Productividad Alta RE44

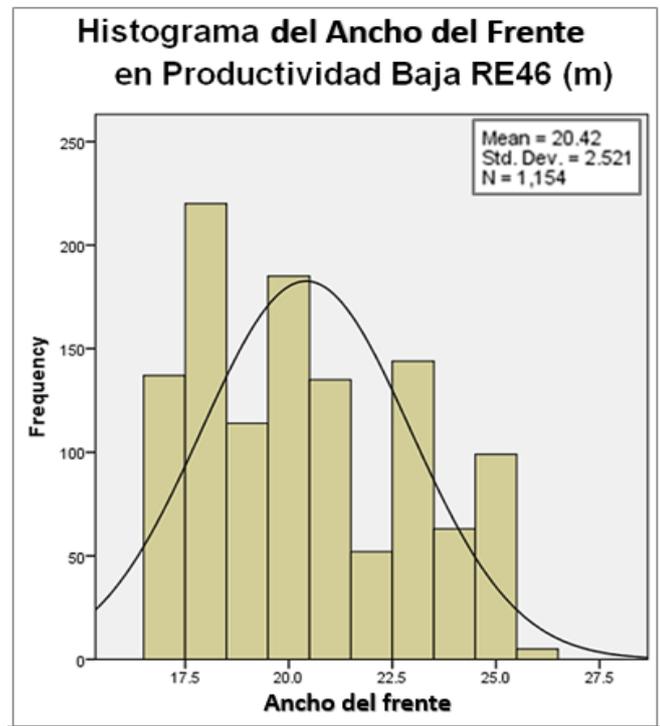


Gráfico 40: Histograma del Ancho del frente en Productividad Baja RE46

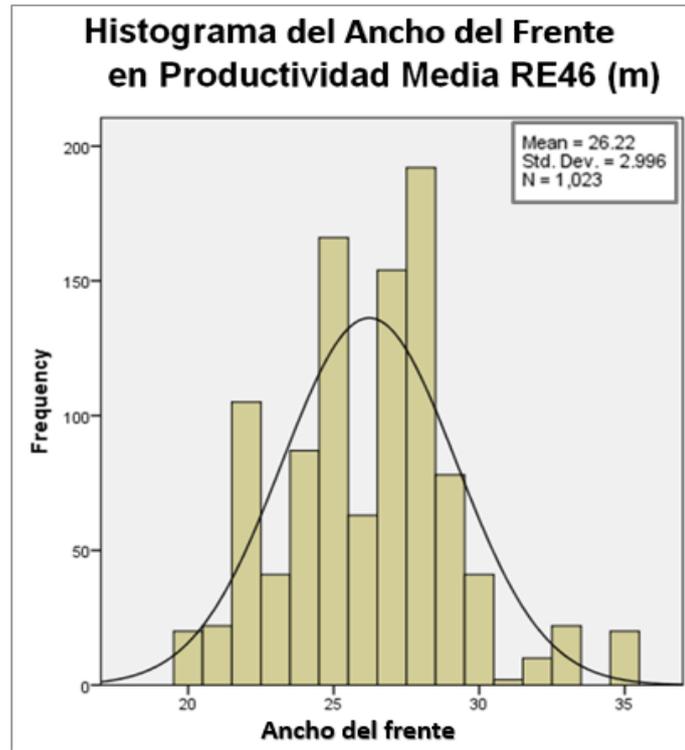


Gráfico 41: Histograma del Ancho del frente en Productividad Media RE46

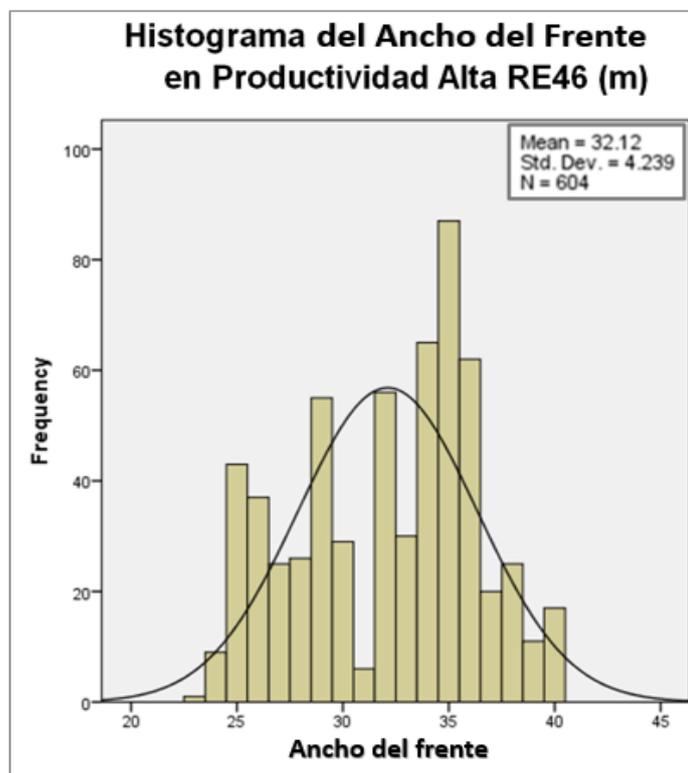


Gráfico 42: Histograma del Ancho del frente en Productividad Alta RE46

De acuerdo a los histogramas se obtuvo lo siguiente:

Tabla 18: Ancho del frente promedio por escala de clasificación de la Productividad

	<b>R44</b>	<b>RE46</b>
<b>Ancho promedio en Productividad Operativa Baja (m)</b>	<b>20.24</b>	<b>20.42</b>
<b>Ancho promedio Productividad Operativa Media (m)</b>	<b>25.59</b>	<b>26.22</b>
<b>Ancho promedio Productividad Operativa Alta (m)</b>	<b>32.12</b>	<b>32.12</b>

Por lo tanto, de acuerdo a los valores obtenidos se establece los siguientes límites de escala de clasificación para el ancho del frente de minado:

Tabla 19: Límites de escala de clasificación del Ancho del frente

	<b>RE44</b>	<b>RE46</b>
<b>Ancho de Frente en Productividad Alta (m)</b>	<b>32.5</b>	<b>32.1</b>
<b>Límite de Ancho de Frente bueno (m)</b>	<b>32</b>	
<b>Ancho de Frente en Productividad Baja (m)</b>	<b>20.2</b>	<b>20.4</b>
<b>Límite de Ancho de Frente malo (m)</b>	<b>20</b>	

Es así que se define la siguiente tabla de clasificación:

Tabla 20: Tabla de escala de clasificación del Ancho del frente

	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>CLASIFICACION</b>
<b>ANCHO DEL FRENTE (m)</b>	<b>32</b>	<b>100</b>	<b>BUENO</b>
	<b>21</b>	<b>31</b>	<b>REGULAR</b>
	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>MALO</b>

### c) División de datos de acuerdo a la granulometría

De acuerdo a investigaciones previas, se ha podido saber el concepto de que, a mayor tamaño de los fragmentos del material a minar, mayor será el tiempo de carguío para la excavadora y viceversa, sin embargo, era necesario comprobarlo mediante un análisis estadístico de los 5762 datos que se tienen en total para ambas excavadoras y poder establecer con certeza dicha relación y continuar con el estudio.

Es así que se clasificaron los proyectos que minaron cada una de las excavadoras en los dos tipos de materiales de diferencia granulométrica más marcada, los cuales son:

- **MATERIAL FINO:** Material que en Cerro Corona se denomina “Arcillas” cuyo tamaño de fragmentos tienen un máximo 15 cm, es decir el 100% del material a cargar está por debajo de esa medida, dicha clasificación pudo realizarse desde la base de datos, mediante las locaciones de descargas, ya que dichas descargas tienen una nomenclatura específica para poder identificar el material fino que se lleva a los stocks de arcilla, los cuales son utilizados posteriormente para la construcción de la presa.

Se elaboraron histogramas de los tiempos de carguío en éste tipo de material para ambas excavadoras:

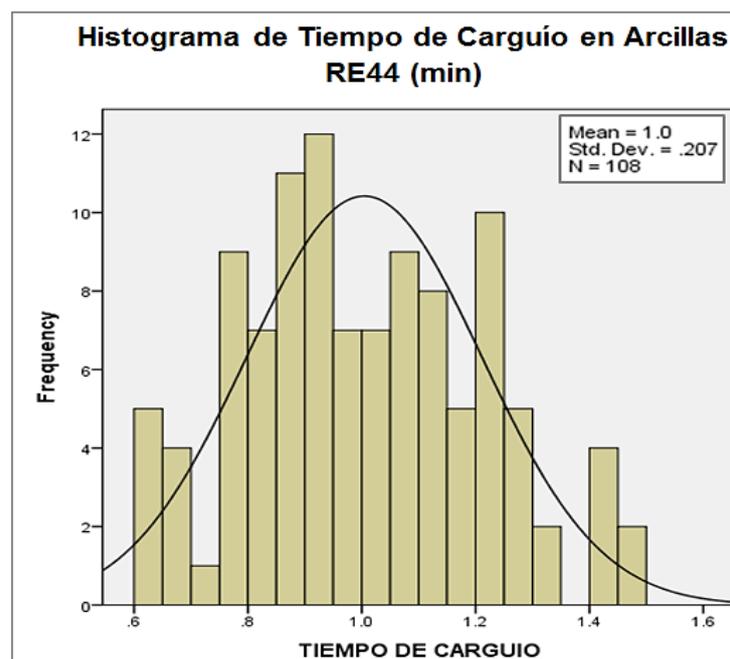


Gráfico 43: Histograma de Tiempo de carguío en Arcillas RE44

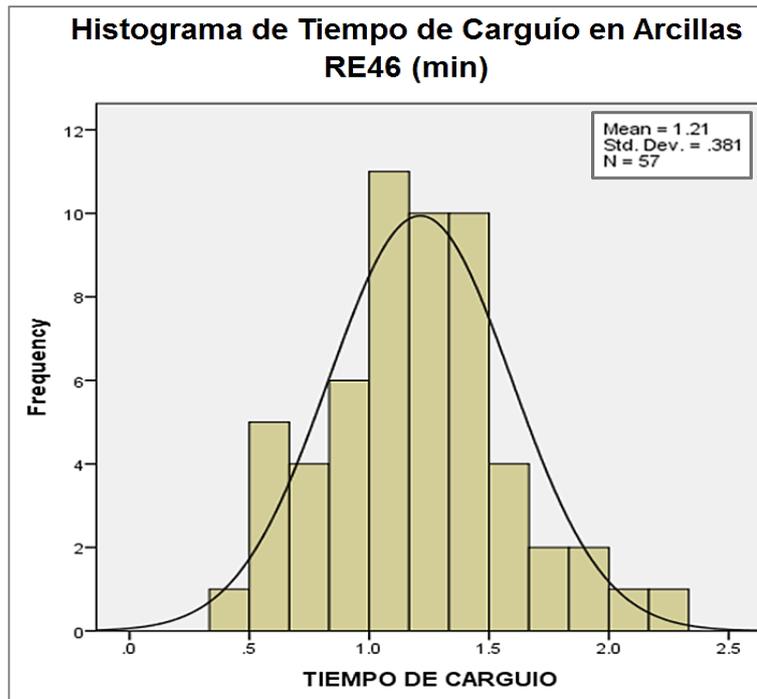


Gráfico 44: Histograma de Tiempo de carguío en Arcillas RE46

- MATERIAL GRUESO:** Material con el fragmento más grande en Cerro Corona denominado “Roca”, la que se extrae de la cantera denominada Facilidades, que se encuentra dentro del área de operaciones de la unidad minera, de la cual se explota y se extrae lastre para las vías, y principalmente roca para la construcción de la presa, cuyo material es de la granulometría P80 de 20 cm, el mayor que existe; dicha clasificación pudo realizarse de acuerdo a la zona de carga de las excavadoras pertenecientes a la muestra.

De igual forma que para las arcillas, se elaboraron histogramas para los tiempos de carguío en roca para ambas excavadoras:

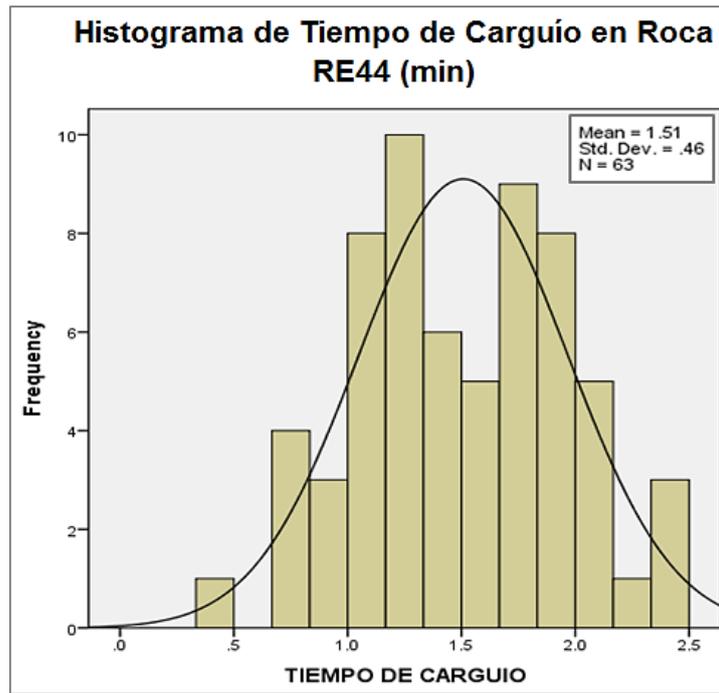


Gráfico 45: Histograma de Tiempo de carguío en Roca RE44

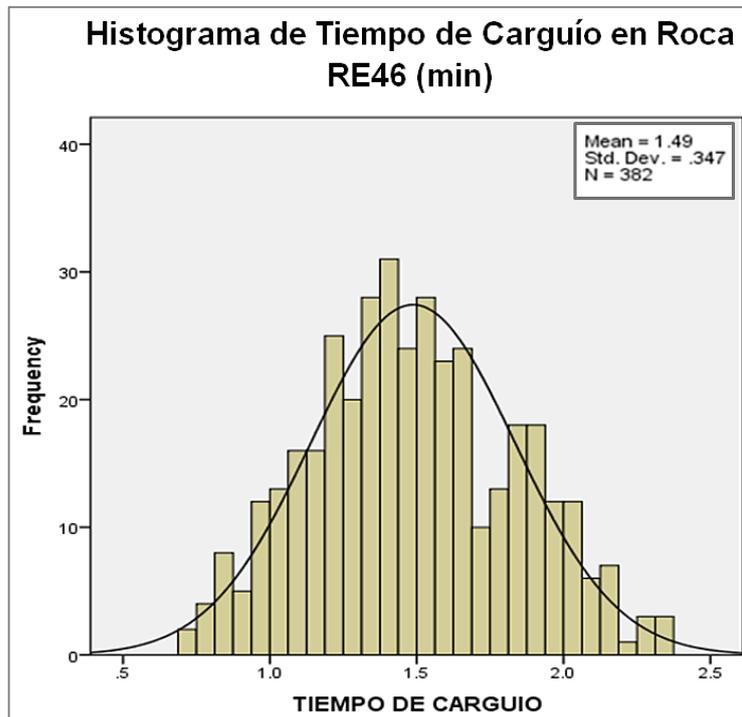


Gráfico 46: Histograma de Tiempo de carguío en Roca RE46

Es así que se obtienen los siguientes valores:

Tabla 21: Límites de escala de clasificación del tiempo de carguío

	RE44	RE46
<b>Tiempo de carguío en Arcillas (min)</b>	<b>1.0</b>	<b>1.21</b>
<b>Límite Tiempo de Carguío bueno (min)</b>	<b>1.1</b>	
<b>Tiempo de carguío en Roca (min)</b>	<b>1.51</b>	<b>1.49</b>
<b>Límite Tiempo de Carguío malo (min)</b>	<b>1.5</b>	

En base a lo obtenido anteriormente, se define las escalas de clasificación para los tiempos de carguío:

Tabla 22: Tabla de escala de clasificación del tiempo de carguío

	MIN	MAX	CLASIFICACION
<b>TIEMPO DE CARGUIO (min)</b>	<b>0.0</b>	<b>1.1</b>	<b>BUENO</b>
	<b>1.2</b>	<b>1.4</b>	<b>REGULAR</b>
	<b>1.5</b>	<b>3.0</b>	<b>MALO</b>

#### d) División de datos de acuerdo al Hang

De acuerdo al concepto referido anteriormente de tener la producción óptima al menor costo y con una espera o Hang y una cola o Queue que permitan dicho punto de equilibrio se hizo el análisis en el programa Mini Tab.

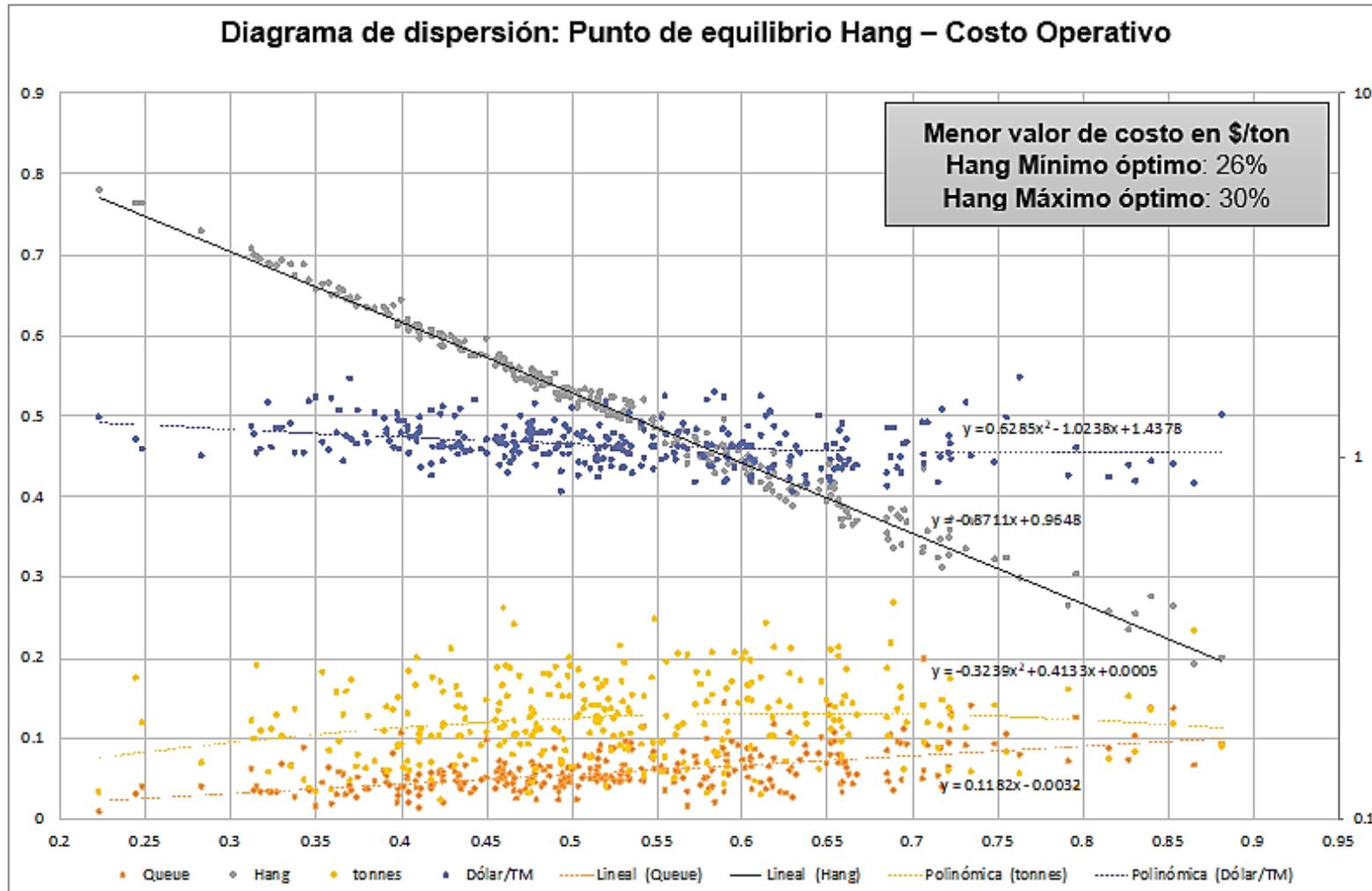


Gráfico 47: Diagrama de dispersión del punto de equilibrio Hang - Costo operativo.

En la gráfica de dispersión en la que se tiene el Queue, Hang, Toneladas o productividad operativa de carguío y el costo en \$/ton, se encuentra el menor valor de costo en \$/ton de material con el Hang más óptimo cuyo valor es 26% hasta un máximo de 30% para tener resultados beneficiosos.

Tabla 23: Tabla de escala de clasificación del Hang

HANG (%)	MIN	MAX	CLASIFICACION
	0	26	BUENO
	27	29	REGULAR
	30	100	MALO

### 3.9. Desarrollo de la contrastación de Hipótesis

El Controlar el tiempo de carguío de la excavadora, el tiempo de espera de la excavadora (Hang) y el ancho del frente de minado, los cuales son los principales factores influyentes en la productividad operativa de carguío permite incrementarla en un 10%”, tomando en primer lugar comprobar la influencia de los factores mencionados en la Productividad operativa del carguío y posteriormente demostrar que el control de las variables independientes genera la optimización y el incremento de la variable dependiente en por lo menos un 10%.

#### ➤ Comprobación de correlación y causalidad de variables

En la presente investigación se realizó la comprobación de la correlación de variables para la validación de la hipótesis mediante un análisis estadístico paramétrico de acuerdo a las siguientes características del estudio:

- La distribución poblacional de la variable dependiente es normal: el universo tiene una distribución normal.
- El nivel de medición de las variables es por intervalos o razón.
- Cuando dos o más poblaciones son estudiadas, tienen una varianza homogénea: las poblaciones en cuestión poseen una dispersión similar en sus distribuciones.

El método utilizado para determinar el grado de correlación entre cada variable independiente (Ancho del frente, tiempo de carguío y Hang) y la variable dependiente

(Productividad operativa de carguío) fue el de Coeficiente de correlación de Pearson, debido a que se ha trabajado con variables cuantitativas, y para encontrar la relación causal entre las variables se utilizó el Método de Regresión Lineal Múltiple.

#### **a) Aplicación del Coeficiente de Correlación de Pearson**

Dado dos variables, la correlación permite hacer estimaciones del valor de una de ellas conociendo el valor de la otra variable. Los coeficientes de correlación son medidas que indican la situación relativa de los mismos sucesos respecto a las dos variables, es decir, son la expresión numérica que nos indica el grado de relación existente entre las 2 variables y en qué medida se relacionan. Sabiendo que son números que varían entre los límites +1 y -1. Su magnitud indica el grado de asociación entre las variables; el valor  $r = 0$  indica que no existe relación entre las variables; los valores 1 son indicadores de una correlación perfecta positiva (al crecer o decrecer X, crece o decrece Y) o negativa (Al crecer o decrecer X, decrece o crece Y).

Se utilizó el programa estadístico SPSS para realizar el análisis de Correlación de Pearson entre la Variable Dependiente (Productividad Operativa de Carguío) y cada una de las Variables Independientes (Ancho del Frente, Tiempo de Carguío y Hang).

A continuación, se muestran las gráficas de dispersión entre cada par de variables, así como el resultado del Coeficiente de Correlación de Pearson entre cada una de ellas:

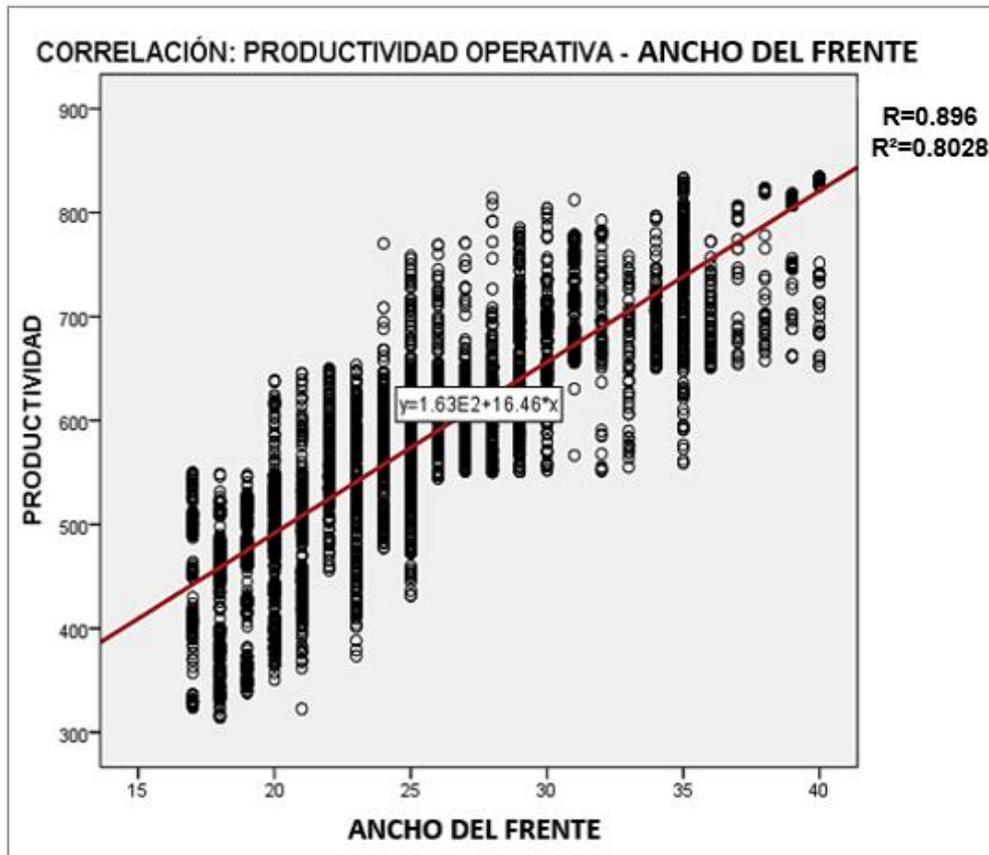


Gráfico 48: Diagrama de dispersión de Correlación Productividad-Ancho del frente

Tabla 24: Datos de Correlación Productividad de carguío – Ancho del frente

CORRELACIONES: PRODUCTIVIDAD DE CARGUÍO - ANCHO DEL FRENTE			
		PRODUCTIVIDAD	ANCHO DEL FRENTE
PRODUCTIVIDAD	Correlación Pearson	1	0.896**
	Significancia		0.000
	N	5721	5721
ANCHO DEL FRENTE	Correlación Pearson	0.896**	1
	Significancia	0.000	0.000
	N	5721	5721

\*\* Correlación es significativa al 0.01 de nivel

Como se sabe, el signo indica la dirección de la correlación, que para el caso de la variable Productividad Operativa de Carguío y el Ancho del Frente es positivo, con los siguientes resultados:

$r = 0.896$  (Valor del coeficiente perteneciente a la categoría Correlación Positiva Considerable)

s o  $P = 0.01$  (Significancia equivalente a 99 % de confianza de que la correlación sea verdadera y 1% de probabilidad de error)

$N = 5721$  (Número de casos correlacionados equivalente al total de datos analizados)

Al elevar el Coeficiente  $r$  de Pearson al cuadrado ( $r^2$ ), obtuvimos el coeficiente de determinación, el cual indica la Varianza de factores comunes.

$$r^2 = 0.8028 = 80.28 \%$$

Lo que indica que el “Ancho del frente” explica el 80.28% de la “Productividad Operativa de Carguío”.

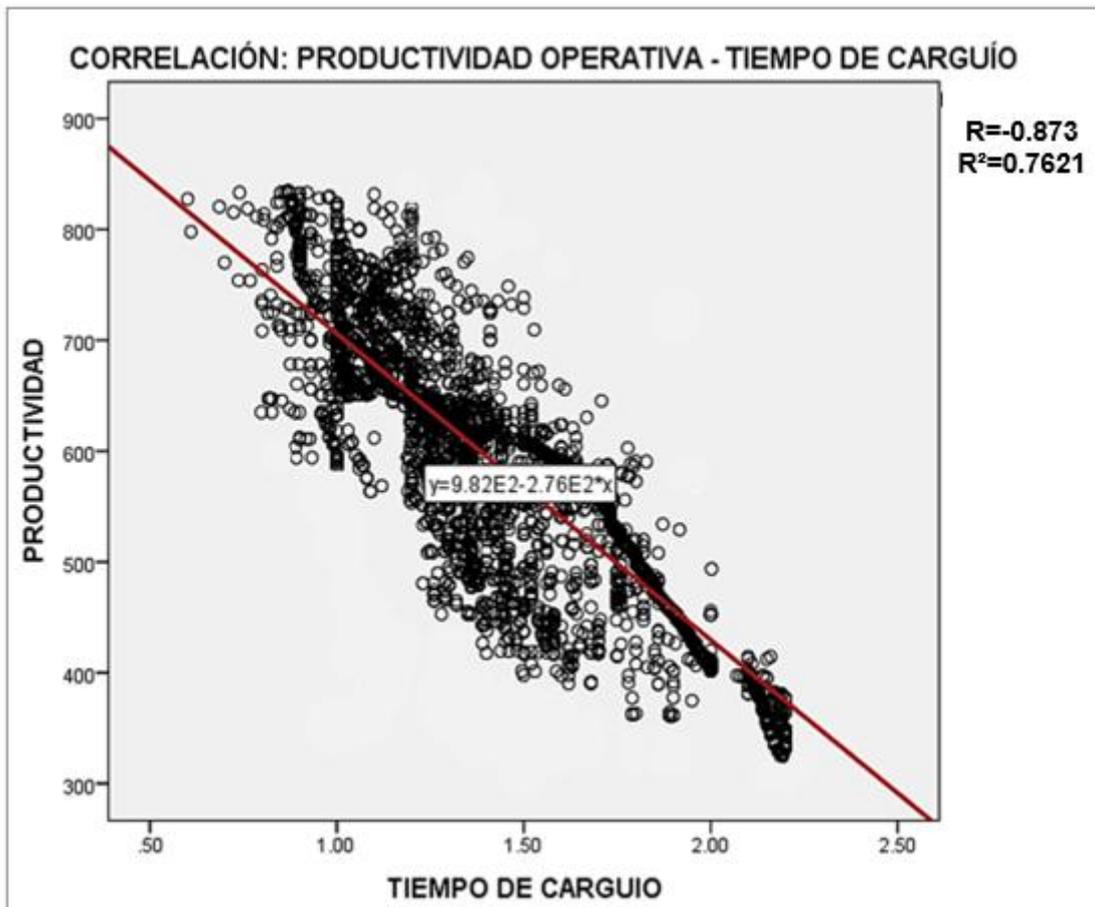


Gráfico 49: Diagrama de dispersión de Correlación Productividad-Tiempo de carguío

Tabla 25: Datos de Correlación Productividad de carguío - Tiempo de carguío

CORRELACIONES: PRODUCTIVIDAD DE CARGUÍO - TIEMPO DE CARGUÍO			
		PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE CARGUÍO
PRODUCTIVIDAD	Correlación Pearson	1	-0.873**
	Significancia		0.000
	N	5721	5721
TIEMPO DE CARGUÍO	Correlación Pearson	-0.873**	1
	Significancia	0.000	
	N	5721	5721
** Correlación es significativa al 0.01 de nivel			

En la correlación de la variable Productividad Operativa de Carguío y el Tiempo de Carguío el signo de la dirección en el diagrama de dispersión es negativo, con los siguientes resultados:

$r = -0.873$  (Valor del coeficiente perteneciente a la categoría Correlación Negativa Considerable)

$s$  o  $P = 0.01$  (Significancia equivalente a 99 % de confianza de que la correlación sea verdadera y 1% de probabilidad de error)

$N = 5721$  (Número de casos correlacionados equivalente al total de datos analizados)

Al elevar el Coeficiente  $r$  de Pearson al cuadrado ( $r^2$ ), obtuvimos el coeficiente de determinación, el cual indica la Varianza de factores comunes.

$$r^2 = 0.7621 = 76.21 \%$$

Lo que indica que el “tiempo de carguío” explica el 76.21% de la “Productividad Operativa de Carguío”.

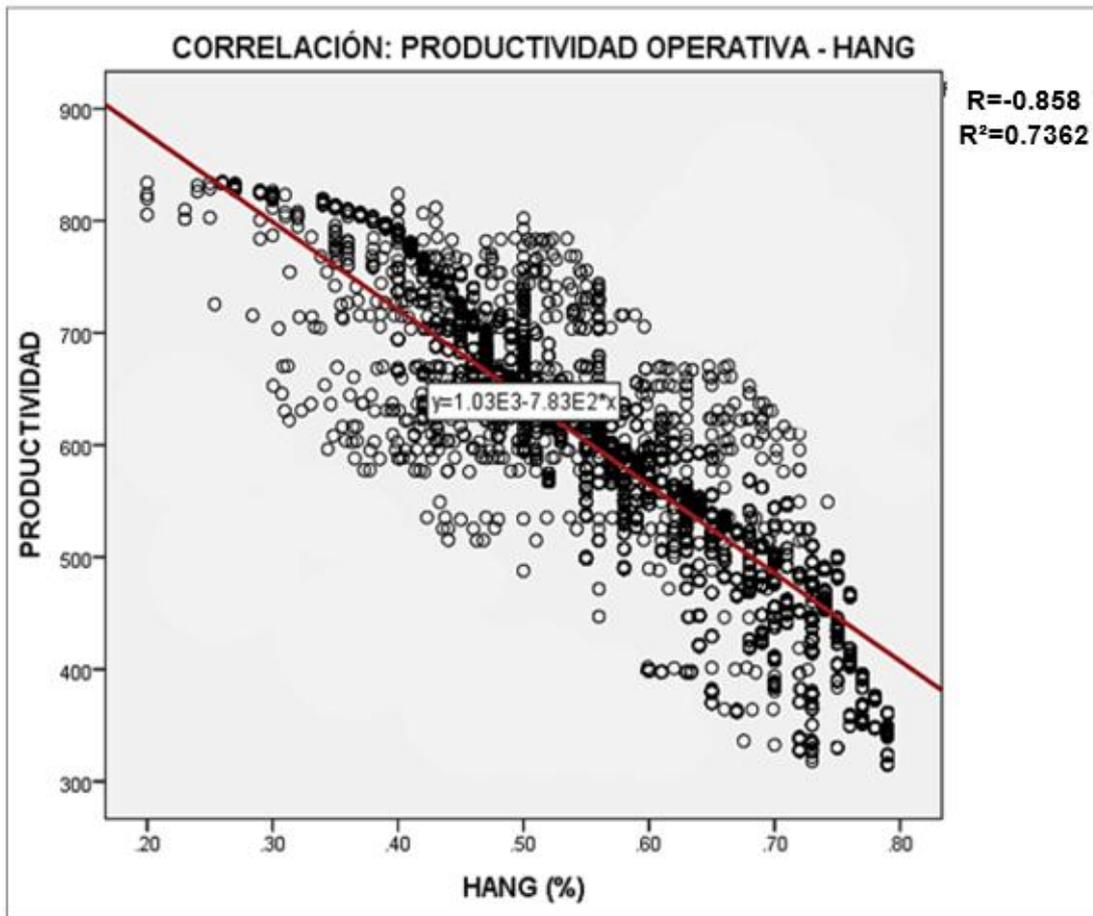


Gráfico 50: Diagrama de dispersión de Correlación Productividad-Hang

Tabla 26: Datos de Correlación Productividad de carguío - Hang

CORRELACIONES: PRODUCTIVIDAD DE CARGUÍO - HANG			
		PRODUCTIVIDAD	HANG
PRODUCTIVIDAD	Correlación Pearson	1	-0.858**
	Significancia		0.000
	N	5721	5721
HANG	Correlación Pearson	-0.858**	1
	Significancia	0.000	
	N	5721	5721

\*\* Correlación es significativa al 0.01 de nivel

El diagrama de dispersión de la correlación de la variable Productividad Operativa de Carguío y el Hang también muestra una dirección de signo negativo, con los siguientes resultados:

$r = -0.858$  (Valor del coeficiente perteneciente a la categoría Correlación Negativa Considerable)

s o  $P = 0.01$  (Significancia equivalente a 99 % de confianza de que la correlación sea verdadera y 1% de probabilidad de error)

$N = 5721$  (Número de casos correlacionados equivalente al total de datos analizados)

Al elevar el Coeficiente  $r$  de Pearson al cuadrado ( $r^2$ ), obtuvimos el coeficiente de determinación, el cual indica la Varianza de factores comunes.

$$r^2 = 0.7362 = 73.62 \%$$

Lo que indica que el “hang” explica el 73.62% de la “Productividad Operativa de Carguío”.

Es así que, de lo obtenido en cada correlación, se construye la siguiente tabla resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 27: Tabla de Datos de correlaciones entre variables

<b>CORRELACIONES</b>	Coeficiente de correlación de Pearson	Significancia	Número de casos correlacionados	Coeficiente de determinación
PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO – ANCHO DEL FRENTE	0.896	99%	5721	0.8028
PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO – TIEMPO DE CARGUÍO	-0.873	99%	5721	0.7621
PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO – HANG	-0.858	99%	5721	0.7362

### **b) Análisis de causalidad con el Método de Correlación Lineal Múltiple**

Como se sabe, el modelo de regresión lineal múltiple se utiliza para predecir el comportamiento de una determinada variable –variable dependiente o criterio- en función de otras variables – independientes o explicativas (también regresores o predictores).

Las variables consideradas en el presente estudio son:

#### **Variable dependiente:**

- ✓ Productividad Operativa de Carguío

### VARIABLES INDEPENDIENTES:

- ✓ Ancho del Frente
- ✓ Tiempo de Carguío
- ✓ Tiempo de espera de la excavadora (Hang)

Nuevamente utilizamos el programa estadístico SPSS para realizar el análisis.

El primer cuadro que muestra el programa es el resumen del modelo de lo que en las siguientes tablas se desmenuza:

Tabla 28: Tabla resumen de datos del análisis de causalidad

RESUMEN DE MODELO				
MODELO	R	R Cuadrado	Ajuste R Cuadrado	Error típico de estimación
1	0.931*	0.867	0.804	39.761

\* Predictores: (Constante), Hang, Tiempo de carguío, Ancho de frente.

De acuerdo al valor del Ajuste R cuadrado en la tabla anterior se sabe que el modelo explica un 80.4% de la variabilidad de la productividad de carguío una vez que ya ha sido corregido por el efecto de la muestra y de las variables. Por otro lado, el error típico de la estimación (raíz cuadrada de la varianza no explicada) resulta ser de 39.761.

Asimismo, en el siguiente cuadro se tiene la prueba de análisis de la varianza, nos muestra si la varianza explicada por la regresión es significativamente distinta (y superior) a la varianza no explicada es:

Tabla 29: Tabla de datos de análisis de varianza

DATOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA *					
MODELO	Suma de cuadrados	df	Media al cuadrado	F	Significancia
Regresión	58911093.51	3	19637031.17	12421.347	0.000**
Residual	9038062.342	5717	1580.910		
Total	67949155.86	5720			

\* Variable dependiente: Productividad  
\*\* Predictores: (Constante), Hang, Tiempo de carguío, Ancho de frente.

El valor de F obtenido es 12421.347, cuya probabilidad asociada según las expectativas de la Hipótesis nula es menor del 0.0001.

Por otro lado, en el cuadro final se tiene el modelo de regresión, el cual para ésta investigación es:

Tabla 30: Tabla de datos de modelo de regresión lineal múltiple

COEFICIENTES DE ECUACIÓN*					
MODELO	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Significancia
	B	Error Estandar	Beta		
(Constante)	722.424	7.631		80.37	0.000
ANCHO DE FRENTE	7.583	0.147	0.393	80.25	0.000
TIEMPO DE CARGUÍO	-115.300	2.449	-0.347	76.15	0.000
HANG	-291.619	6.961	-0.302	73.58	0.000

\* Variable dependiente: Productividad

De aquí se deduce que la ecuación de que regresión lineal múltiple es:

$$\hat{Y} = - 722.424 + 7.583 X_1 - 115.3X_2 - 291.619X_3$$

Siendo:

$\hat{Y}$ : Productividad Operativa de Carguío (ton/hr)

$X_1$ : Ancho del Frente (m)

$X_2$ : Tiempo de Carguío (min)

$X_3$ : Hang (%)

Tal como está expresada la ecuación anterior parecería que alguna variable independiente tiene poca importancia. Se debe a que la magnitud de su escala es mucho más alta que las restantes variables y su peso específico por unidad es menor.

No obstante, la ecuación de regresión en estandarizadas nos mostrará todas las variables en la misma dimensión. Así:

$$\hat{Z} = 0.393Z_1 - 0.347Z_2 - 0.302Z_3$$

Siendo:

$\hat{Z}$ : Productividad Operativa de Carguío

$Z_1$ : Ancho del Frente

$Z_2$ : Tiempo de Carguío

$Z_3$ : Hang

De la tabla final de coeficientes, si nos atenemos al valor de “t” que nos indica la significación estadística de los distintos coeficientes observaremos un valor máximo para el Ancho del frente (t = 80.25), seguido del Tiempo de Carguío (t = 76.15), y por ultimo le Hang (t = 73.58).

### 3.9.2. Control y Optimización de la productividad de carguío

Al tener definido un escenario del año 2017, y una escala de clasificación de nuestra variable dependiente y las variables independientes permitirá tener un control sobre los factores estudiados: Ancho del frente (m), Hang (%), Tiempo de carguío (min) y por ende sobre el resultado de la influencia de éstos en la Productividad Operativa del carguío (ton/hr).

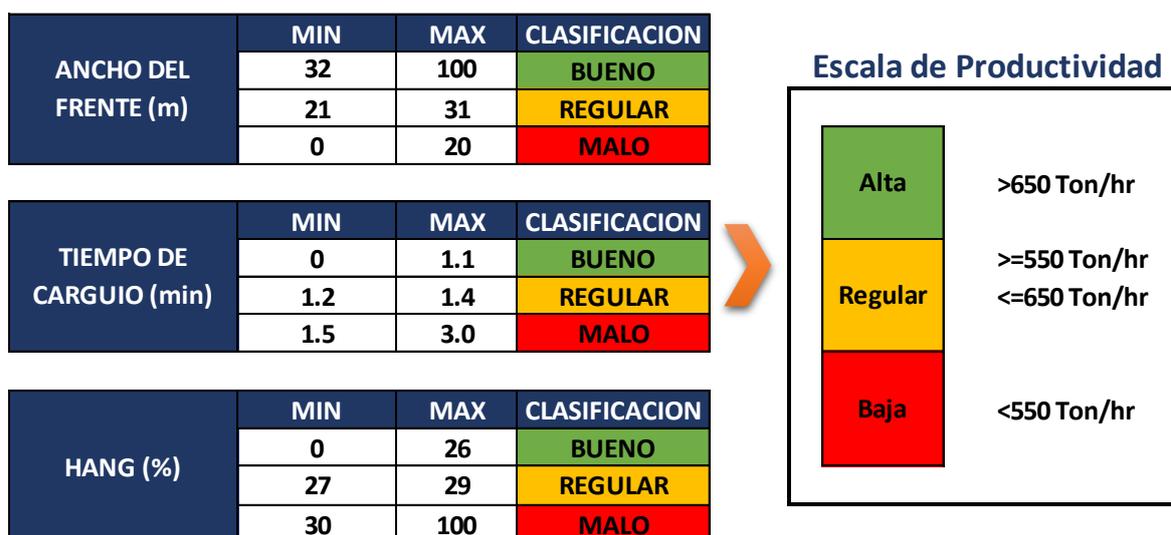


Gráfico 51: Resumen de Escalas de clasificación de las variables

Para determinar el grado de influencia de cada una de las categorías de las variables independientes (bueno, regular, malo) en la variable dependiente de éstos, se realizó un análisis de la información del 2017 para determinar rangos de Productividades operativas de carguío esperadas de acuerdo a las 27 combinaciones posibles de los factores influyentes.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la variable dependiente, basados en las diversas combinaciones posibles de las variables independientes.

Tabla 31: Tabla combinaciones de escalas de clasificación de variables

COMBINACIONES DE ESCALAS DE CLASIFICACIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES						
Nº	ANCHO DEL FRENTE	HANG	TIEMPO DE CARGUIO	COMENTARIO	PRODUCTIVIDAD (Tn/Hr)	CLASIFICACION DE PRODUCTIVIDAD
1	BUENO	BUENO	BUENO	SE ESPERA UN MÍNIMO DE	720	ALTA
2	BUENO	BUENO	REGULAR	DENTRO DE UN RANGO DE	700 - 760	ALTA
3	BUENO	BUENO	MALO	DENTRO DE UN RANGO DE	670 - 730	ALTA
4	BUENO	REGULAR	BUENO	DENTRO DE UN RANGO DE	690 - 750	ALTA
5	BUENO	REGULAR	REGULAR	DENTRO DE UN RANGO DE	690 - 750	ALTA
6	BUENO	REGULAR	MALO	DENTRO DE UN RANGO DE	670 - 730	ALTA
7	BUENO	MALO	BUENO	DENTRO DE UN RANGO DE	680 - 770	ALTA
8	BUENO	MALO	REGULAR	DENTRO DE UN RANGO DE	660 - 760	ALTA
9	BUENO	MALO	MALO	DENTRO DE UN RANGO DE	640 - 770	ALTA
10	REGULAR	BUENO	BUENO	DENTRO DE UN RANGO DE	630 - 670	REGULAR
11	REGULAR	BUENO	REGULAR	DENTRO DE UN RANGO DE	610 - 660	REGULAR
12	REGULAR	BUENO	MALO	DENTRO DE UN RANGO DE	610 - 640	REGULAR
13	REGULAR	REGULAR	BUENO	DENTRO DE UN RANGO DE	630 - 680	REGULAR
14	REGULAR	REGULAR	REGULAR	DENTRO DE UN RANGO DE	610 - 670	REGULAR
15	REGULAR	REGULAR	MALO	DENTRO DE UN RANGO DE	610 - 630	REGULAR
16	REGULAR	MALO	BUENO	DENTRO DE UN RANGO DE	590 - 630	REGULAR
17	REGULAR	MALO	REGULAR	DENTRO DE UN RANGO DE	570 - 630	REGULAR
18	REGULAR	MALO	MALO	DENTRO DE UN RANGO DE	540 - 630	REGULAR
19	MALO	BUENO	BUENO	DENTRO DE UN RANGO DE	420 - 550	BAJA
20	MALO	BUENO	REGULAR	DENTRO DE UN RANGO DE	430 - 540	BAJA
21	MALO	BUENO	MALO	DENTRO DE UN RANGO DE	450 - 520	BAJA
22	MALO	REGULAR	BUENO	DENTRO DE UN RANGO DE	460 - 510	BAJA
23	MALO	REGULAR	REGULAR	DENTRO DE UN RANGO DE	440 - 510	BAJA
24	MALO	REGULAR	MALO	DENTRO DE UN RANGO DE	440 - 520	BAJA
25	MALO	MALO	BUENO	DENTRO DE UN RANGO DE	430 - 500	BAJA
26	MALO	MALO	REGULAR	DENTRO DE UN RANGO DE	440 - 470	BAJA
27	MALO	MALO	MALO	SE ESPERA UN MÁXIMO DE	470	BAJA

De este modo, de acuerdo al escenario del 2017 establecido para cada uno de los factores influyentes, así como para la productividad operativa, al tener controlados dichos factores y optimizar los valores se tiene lo siguiente:

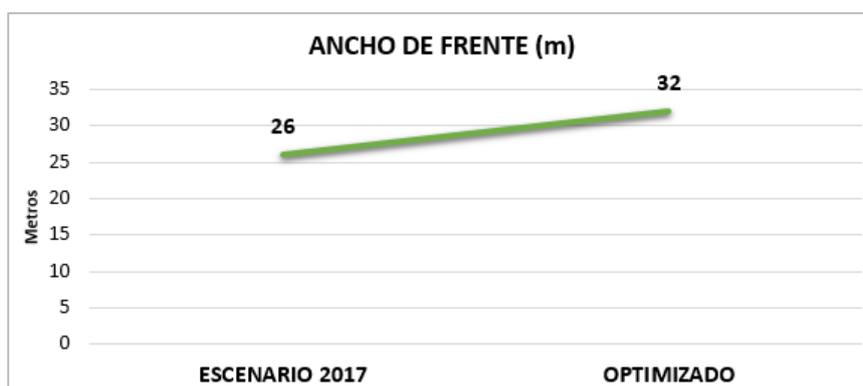


Gráfico 52: Ancho de frente optimizado en relación al escenario del año 2017

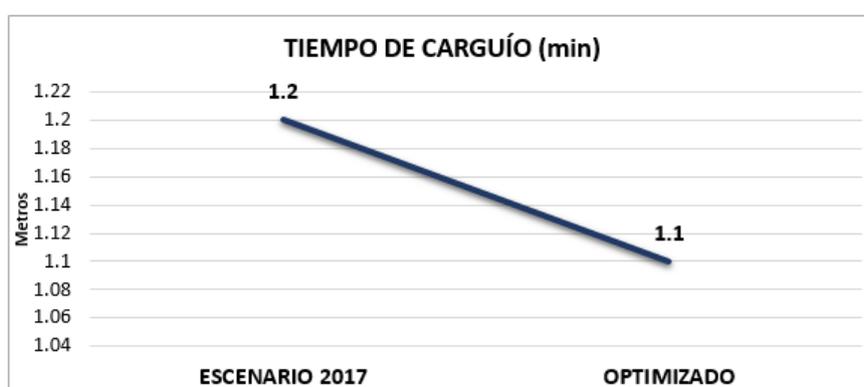


Gráfico 53: Tiempo de carguío optimizado en relación al escenario del año 2017

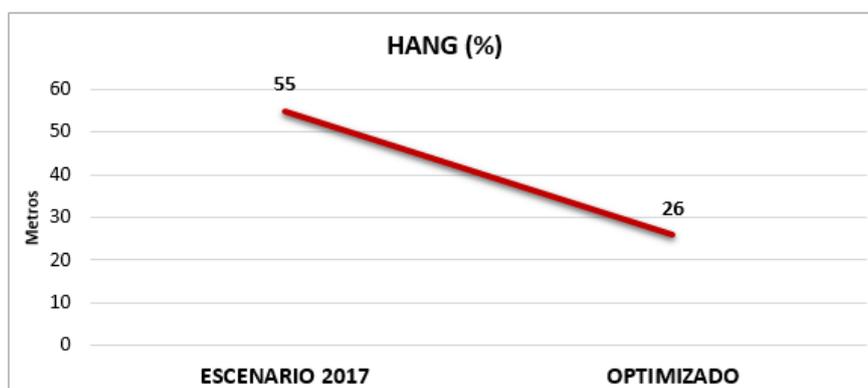


Gráfico 54: Hang optimizado en relación al escenario del año 2017

El optimizar cada uno de los factores influyentes o también llamados variables independientes en relación al escenario del 2017, se tendrá el valor de Productividad operativa de carguío con un incremento del 22% del valor del escenario base 590 ton/hr , es decir hasta 720 ton/hr, lo que representa aproximadamente un incremento de la producción en 13000 ton por día.

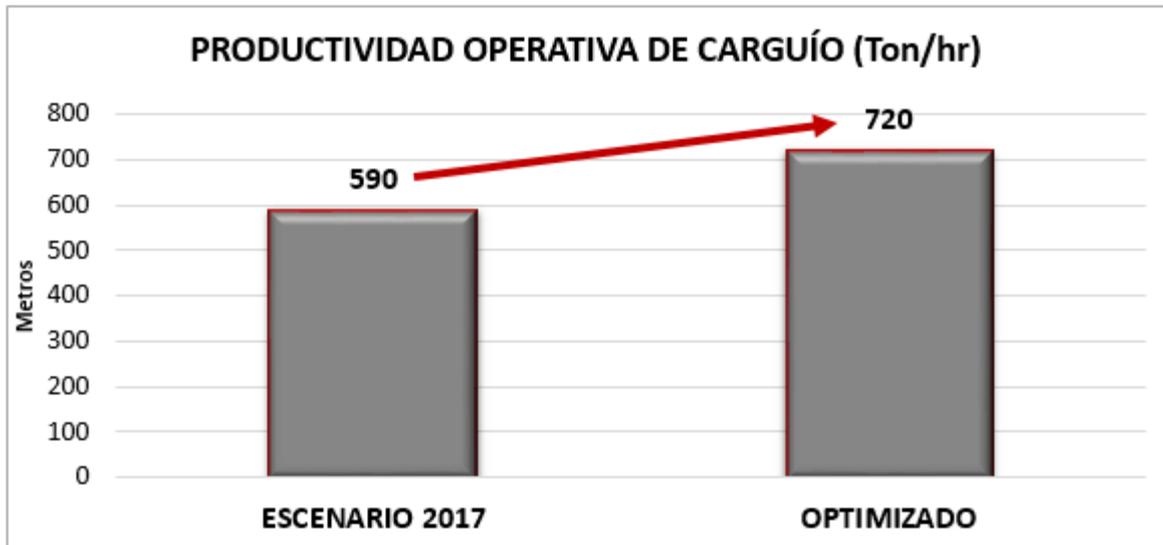


Gráfico 55: Productividad de Carguío optimizada en relación al escenario del 2017

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis y discusión de la comprobación de la Hipótesis

##### 4.1.1. Correlación de variables

Tabla 32: Tabla resumen de Resultados de Correlación de Variables

<b>CORRELACIONES</b>	Coefficiente de correlación de Pearson	Significancia	Número de casos correlacionados	Coefficiente de determinación
PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO – ANCHO DEL FRENTE	0.896	99%	5721	0.8028
PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO – TIEMPO DE CARGUÍO	-0.873	99%	5721	0.7621
PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO – HANG	-0.858	99%	5721	0.7362

De acuerdo a los resultados obtenidos que se muestran en la tabla anterior, y sabiendo que el coeficiente de correlación de Pearson es un índice de fácil ejecución e, igualmente, de fácil interpretación. Digamos, en primera instancia, que sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1. Esto es, si tenemos dos variables X e Y, y definimos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables como  $r_{xy}$  entonces:

$$0 \leq r_{xy} \leq 1$$

Se ha especificado los términos "valores absolutos" ya que en realidad si se contempla el signo el coeficiente de correlación de Pearson oscila entre  $-1$  y  $+1$ . No obstante ha de indicarse que la magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de  $+1$  (relación perfecta positiva) como de  $-1$  (relación perfecta negativa).

Para el primer caso, de acuerdo al Gráfico 48, en el análisis de correlación de Productividad Operativa de carguío y el Ancho del frente la relación es positiva pero no perfecta con un valor de coeficiente de Pearson de 0.896 (muy cercana al 1), demostrando tener una “correlación positiva considerable” (dentro de la clasificación de los coeficientes mostrada en el marco teórico); con un valor de significancia de 0.01, es decir un nivel alto de confianza de 99% de que la correlación sea verdadera y tan sólo un 1% de probabilidad de error y con el total de los datos correlacionados (5721), asimismo el coeficiente de determinación es 0.8028, lo que indica la varianza de factores comunes, dicho valor en porcentaje es 80.28%, que significa la variación de una variable debido a la variación de la otra variable y viceversa, es decir que el “Ancho del frente” explica el 80.28% de la “Productividad operativa de carguío”, lo que demuestra que casi los  $\frac{3}{4}$  de variabilidad de la variable dependiente está explicada por la variable independiente.

Esto sucede en correlaciones cargadas de componentes aleatorios, no suelen ser posible establecer relaciones funcionales exactas. Dado un cierto valor en la variable X no encontraremos uno y solo un único valor en la variable Y, para el presente caso si relacionamos el ancho del frente de minado con la productividad operativa de la excavadora obtendremos mayor rendimiento del equipo a mayor ancho, ya que la excavadora podrá a cargar a un solo carril o a doble carril según sea el valor de la variable independiente, pero será prácticamente imposible saber con exactitud el valor exacto que tendrá la variable dependiente para una medida de longitud determinada ya que existen otros factores que también intervienen.

En el segundo caso, de acuerdo a la Gráfico 49, para el análisis de correlación de Productividad Operativa de carguío y el Tiempo de carguío, la relación es negativa pero tampoco perfecta con un valor de coeficiente de Pearson de -0.873 (menor al coeficiente de la primera correlación pero también cercano al 1), es así que de igual forma se demuestra tener una “correlación positiva considerable” (dentro de la clasificación de los coeficientes mostrada en el marco teórico); con un valor de significancia de 0.01, es decir también con un nivel alto de confianza de 99% de que la correlación sea verdadera y tan sólo un 1% de probabilidad de error y con el total de los datos correlacionados (5721), pero para este caso el coeficiente de determinación es 0.7621 o un 76.21 % de variación de una variable debido a la variación de la otra variable y viceversa, es decir que “el tiempo de carguío”

explica el 76.21% de la “Productividad operativa de carguío”, dicho valor es considerable, pero menor que el de la primera correlación analizada.

En dicha gráfica de dispersión se observa que para un mismo valor o valores similares en tiempo de carguío existen diferentes posibles valores en productividad operativa. Se trata de una correlación negativa pero no perfecta. Este conjunto de puntos, denominado diagrama de dispersión o nube de puntos tiene interés como primera toma de contacto para conocer la naturaleza de la relación entre dos variables. El grosor de la nube da una cierta idea de la magnitud de la correlación; cuanto más estrecha menor será el margen de variación en Y para los valores de X, y por tanto, más acertado los pronósticos, lo que implica una mayor correlación como es en este caso.

Para el tercer caso, de acuerdo a la Gráfico 50, de análisis de correlación de Productividad Operativa de carguío y el Hang (tiempo de espera de la excavadora), la relación también es negativa pero tampoco perfecta como en el caso anterior pero con un valor de coeficiente de Pearson de -0.858 (menor al coeficiente de la primera y segunda correlación pero también cercano al 1), es así que de igual forma se demuestra tener una “correlación positiva considerable” (dentro de la clasificación de los coeficientes mostrada en el marco teórico); de igual forma con un valor de significancia de 0.01, o sea con un nivel alto de confianza de 99% de que la correlación sea verdadera y tan sólo un 1% de probabilidad de error y también con el total de los datos correlacionados (5721), sin embargo el coeficiente de determinación es 0.7362 para esta correlación, lo que indica un 73.62% de variación de una variable debido a la variación de la otra variable y viceversa, es decir que “el hang” explica el 73.62% de la “Productividad operativa de carguío”, dicho valor es considerable, pero menor que el de la primera y segunda correlación analizada.

En su diagrama de dispersión la nube de puntos es alargada y descendente nos encontramos con una correlación negativa pero tampoco perfecta. Se observa que a mayor valor del Hang, menor productividad operativa de la excavadora se espera. Igual que anteriormente no puede establecerse con exactitud el valor de la variable dependiente en función de la independiente, aunque queda clara y demostrada la tendencia existente.

A continuación, se presenta un resumen de la evaluación de los coeficientes de Pearson y por ende de los grados de la correlación de las variables independientes con la variable dependiente:

Tabla 33: Tabla resumen de Evaluación de Coeficientes de Correlación

CORRELACIONES	Coficiente de correlación de Pearson	Coficiente de determinación	Clasificación del coeficiente de correlación de Pearson	Porcentaje de variación de la Productividad respecto al factor	Orden de grado de correlación con la Productividad
PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO – ANCHO DEL FRENTE	0.896	0.8028	Correlación Positiva Considerable	80.28%	1 ° (Mayor Correlación)
PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO – TIEMPO DE CARGUÍO	-0.873	0.7621	Correlación Negativa Considerable	76.21%	2°
PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO – HANG	-0.858	0.7362	Correlación Negativa Considerable	73.62%	3°

#### 4.1.2.Causalidad de la variable dependiente

Tabla 34: Tabla resumen de resultados de Causalidad de Variables

CAUSALIDAD	Valor original en ecuación de Regresión Lineal Múltiple	Valor estandarizado en ecuación de Regresión Lineal Múltiple	Coficiente de Significación estadística
CONSTANTE	722.424	0	-
COEFICIENTE DEL ANCHO DEL FRENTE	7.583	0.393	80.25
COEFICIENTE DEL TIEMPO DE CARGUÍO	-115.300	-0.347	76.15
COEFICIENTE DEL HANG	-291.619	-0.302	73.58
ECUACIÓN FINAL DE CAUSALIDAD EN LA PRODUCTIVIDAD OPERATIVA	$\hat{Y} = -722.424 + 7.583 X_1 - 115.3X_2 - 291.619X_3$	$\hat{Z} = 0.393Z_1 - 0.347X_2 - 0.302X_3$	

Luego de haber establecido que el “Ancho del frente” es la variable con mayor correlación con la “Productividad Operativa de la excavadora”, seguido del “Tiempo de carguío” y por último el “Hang”, se evaluó la causalidad de la variable dependiente en función de las variables independientes, obteniéndose los resultados de la tabla anterior.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se sabe que se aplicó el modelo de regresión múltiple para predecir la causalidad o el comportamiento de la variable dependiente (Productividad Operativa de Carguío) en función de las variables independientes (Ancho del Frente, Tiempo de carguío, Hang).

En la prueba de análisis de la varianza, que nos muestra si la varianza explicada por la regresión es significativamente distinta (y superior) a la varianza no explicada arrojó que el valor de F obtenido es 12421.347 con una probabilidad para que la hipótesis sea nula de 0.0001, es decir en primera instancia se descarta totalmente la posibilidad de una hipótesis nula, y se acepta que existe un efecto real de las variables independientes sobre la dependiente, asimismo para determinar su relación de causalidad es necesario la estructuración de ecuación que estime un resultado de la Productividad Operativa en base a su correlación con el Ancho del frente, el Tiempo de Carguío y el Hang de la excavadora, dicha ecuación se resume en lo siguiente:

$$\hat{Y} = - 722.424 + 7.583 X_1 - 115.3X_2 - 291.619X_3$$

Donde se sabe que:

$\hat{Y}$ : Productividad Operativa de Carguío (ton/hr)

$X_1$ : Ancho del Frente (m)

$X_2$ : Tiempo de Carguío (min)

$X_3$ : Hang (%)

La ecuación de regresión lineal múltiple de las variables estandarizadas en la misma dimensión es:

$$\hat{Z} = 0.393Z_1 - 0.347Z_2 - 0.302Z_3$$

Siendo:

$\hat{Z}$ : Productividad Operativa de Carguío

$Z_1$ : Ancho del Frente

$Z_2$ : Tiempo de Carguío

$Z_3$ : Hang

Asimismo, de acuerdo a los valores de “t” que nos indica la significación estadística de los distintos coeficientes se tiene un valor máximo para el Ancho del frente ( $t = 80.25$ ), seguido del Tiempo de Carguío ( $t = 76.15$ ), y por último le Hang ( $t = 73.58$ ).

De esta forma, tanto en la ecuación estandarizada se puede notar que el coeficiente para el Ancho del frente (0.393) es superior a las otras dos variables, seguido por el coeficiente del Tiempo de carguío (-0.347) y el del Hang (-0.302), esta tendencia también se ve reflejada en la significación estadística hallada en cada una de las variables independientes.

Para finalizar la comprobación de correlaciones entre las variables, a continuación, se muestra un cuadro resumen de todos los coeficientes de Pearson, las variaciones entre variables, los coeficientes en la ecuación de regresión lineal múltiple estandarizada y la significación estadística de los coeficientes de dicho método:

Tabla 35: Tabla resumen de Coeficientes de Pearson y Regresión Lineal Múltiple

<b>Correlación y Causalidad de Variables</b>	<b>Coefficiente de correlación de Pearson</b>	<b>Porcentaje de Variación entre variables</b>	<b>Significación estadística de variables</b>	<b>Orden de grado de Significación estadística de variables</b>
<b>Productividad Operativa de Carguío – Ancho del Frente</b>	0.896	80.28%	80.25	1 ° (Mayor significación estadística)
<b>Productividad Operativa de Carguío– Tiempo de Carguío</b>	-0.873	76.21%	76.15	2°
<b>Productividad Operativa de Carguío– Hang</b>	-0.858	73.62%	73.58	3°

Como se puede observar en la tabla, todos los valores tienen la misma tendencia, es decir validan y comprueban a la variable independiente “Ancho del frente” como la variable con mayor correlación e influencia sobre la variable dependiente “Productividad Operativa de Carguío”, seguida de la variable independiente “Tiempo de Carguío”, como segundo factor de mayor influencia y, por último, pero no tan alejada de las dos anteriores, la variable independiente “Hang”, por lo que dichos resultados permitieron continuar con

la validación de la segunda parte de la Hipótesis planteada, ya que una vez comprobada la influencia directa de los factores estudiados, se procede a demostrar que el control de los mismos permitirá la optimización de la Productividad Operativa de Carguío en por lo menos el 10%.

#### **4.1.3. Validación de la influencia de las variables con el principio de Pareto.**

Con el Diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Ya que por lo general, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos.

La minoría vital aparece a la izquierda de la gráfica y la mayoría útil a la derecha. Hay veces que es necesario combinar elementos de la mayoría útil en una sola clasificación denominada otros, la cual siempre deberá ser colocada en el extremo derecho. La escala vertical es para el costo en unidades monetarias, frecuencia o porcentaje.

La gráfica es muy útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar a cabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos.

Las ventajas del Diagrama de Pareto pueden resumirse en:

- Permite centrarse en los aspectos cuya mejora tendrá más impacto, optimizando por tanto los esfuerzos.
- Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras y ser resueltas.
- Su visión gráfica del análisis es fácil de comprender y estimula al equipo para continuar con la mejora.

Es por todo ello que se decidió aplicar este método para validar las correlaciones encontradas entre las variables y demostrar cuáles son las variables de mayor influencia sobre la productividad operativa, utilizando los porcentajes de significación estadística encontrados de cada variable independiente.

Tabla 36: Tabla de datos para el diagrama de Pareto

<b>Nº</b>	<b>FACTORES</b>	<b>Frecuencia absoluta</b>	<b>Frecuencia absoluta acumulada</b>	<b>Frecuencia relativa unitaria %</b>	<b>Frecuencia relativa acumulada</b>
<b>1</b>	Ancho del frente	4593	4593	27.91	27.91
<b>2</b>	Tiempo de carguío	4360	8953	26.50	54.41
<b>3</b>	Hang	4212	13165	25.59	80.00
<b>4</b>	Capacidad del operador	1500	14665	9.12	89.12
<b>5</b>	Confiabilidad del equipo	1000	15665	6.08	95.19
<b>6</b>	Otros factores	791	16456	4.81	100.00

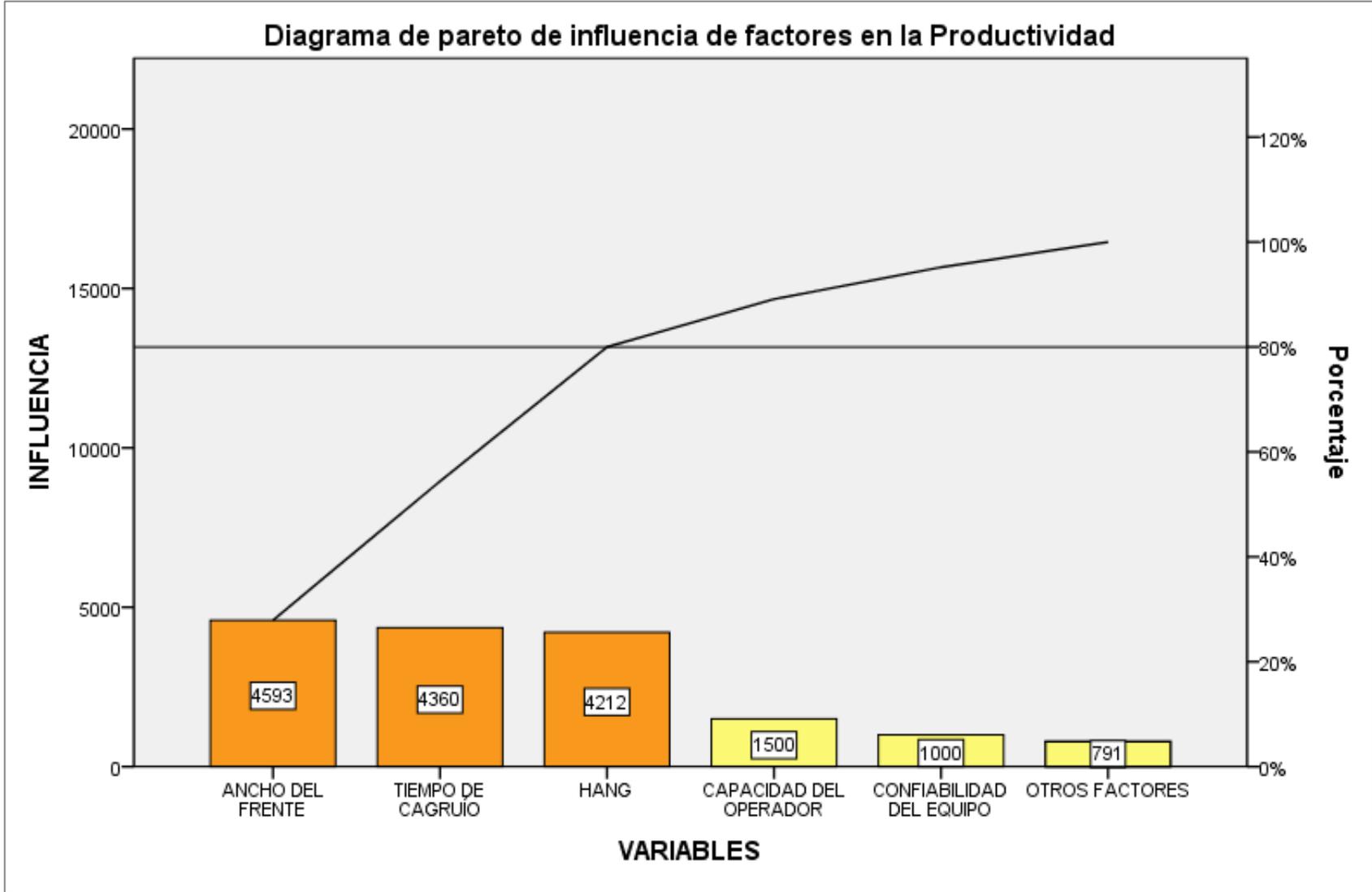


Gráfico 56: Diagrama de Pareto para la influencia de los factores en la Productividad

De acuerdo al gráfico de Pareto elaborado se comprueba que las variables independientes estudiadas y tomadas en la hipótesis como las más influyentes sobre la Productividad Operativa de Carguío: El ancho de frente, el tiempo de carguío y el hang, realmente representan el 80% de la variabilidad de ésta, mientras que el 20% faltante ya es impactado por factores como la capacidad del operador, confiabilidad del equipo, entre otros que pueden presentarse en el frente de minado.

#### 4.1.4. Control y Optimización de la variable dependiente

Tabla 37: Tabla resumen de resultados de Control y Optimización de Productividad

<b>VARIABLES DE ESTUDIO</b>	<b>Valor del escenario del año 2017</b>	<b>Valor mínimo optimizado</b>	<b>Porcentaje de mejora</b>
<b>ANCHO DEL FRENTE</b>	26 m	32 m	23%
<b>TIEMPO DE CARGUÍO</b>	1.2 min	1.1 min	8.3%
<b>HANG</b>	55 %	26 %	54.5%
<b>PRODUCTIVIDAD OPERATIVA DE CARGUÍO</b>	<b>590 ton/hr</b>	<b>720 ton/hr</b>	<b>22%</b>

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla anterior referentes a los valores del escenario del año 2017 y a los valores mínimos óptimos necesarios para cada factor analizado y su impacto en el incremento de la Productividad Operativa de carguío, se discute lo siguiente:

El tener una escala de clasificación determinada de las variables independientes o factores influyentes: “Ancho del Frente”, “Tiempo de Carguío” y “Hang”, así como de la variable dependiente denominada “Productividad Operativa de Carguío”, definitivamente permite tener un control de cada uno de dichos valores y por ende la identificación de oportunidades de mejora para la optimización de cada uno de ellos.

De acuerdo al grado de correlación o influencia de cada variable independiente sobre la dependiente, en primer lugar se priorizó el “Ancho del Frente”, en segundo lugar el

“Tiempo de Carguío” y en tercer lugar el “Hang” para llevar a cabo cada una de las 27 posibles combinaciones según la información histórica del año 2017, la escala de clasificación de los factores y la relación de causalidad con la “Productividad Operativa de Carguío”, y obtener como resultados los rangos de posibles valores esperados de dicha variable dependiente, permitiendo tener una visión clara de lo que se espera de acuerdo a las condiciones que se tienen en los frentes de minado.

Por otro lado, se estableció un escenario del año 2017, para que a partir de ella se pueda medir la optimización de los factores influyentes, así como al objetivo final que es el incremento de la Productividad Operativa de carguío a partir de ellos.

Sólo optimizando los factores hasta el valor mínimo para que se encuentren dentro de la escala de clasificación para ser considerados “Buenos”, es decir si se incrementa de 26 metros de “ancho de frente de minado” promedio en el 2017 hasta 32 metros, ampliando y mejorando el frente para permitir el carguío a doble carril adecuado; si disminuimos el “tiempo de carguío” de 1.2 minutos del año 2017 hasta 1.1 minutos mejorando la fragmentación y disminuyendo la granulometría del material a minar y si disminuimos el “Hang” del año 2017 de 55% hasta 26% teniendo un adecuado control y manejo de las demoras operativas de la flota asignada desde el Dispatch, es posible incrementar la Productividad Operativa de carguío de 590 ton/hr promedio del 2017 hasta 720 ton/hr lo menos, lo que significa un 22% más que el valor del escenario base, que en 5 frentes diarios durante las 20 horas que se trabajan por día, representa un aumento de la producción diaria de 13000 toneladas de material movido, pudiendo incluso mejorarse dichos resultados al tener mayor optimización de los factores influyentes demostrados, todo esto gracias al control y la optimización de los mismos, tal como se planteó en la hipótesis.

Por lo tanto, de acuerdo todo lo corroborado anteriormente, la hipótesis del presente estudio queda comprobada, validada y aceptada como verdadera, habiendo obtenido mejores resultados que los esperados.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

- La investigación de carácter descriptiva, correlacional-causal determinó y validó los factores influyentes medibles, denominados en el presente estudio variables independientes, las que fueron clasificadas de acuerdo al grado de correlación, definiendo como el de mayor influencia al ancho del frente con 80%, en segundo lugar, el tiempo de carguío con 76% y en tercer lugar el hang con 74% de influencia, y siendo comprobados por el modelo de causalidad y el principio de Pareto.
  
- La fragmentación del material es un factor determinante para el tiempo de carguío de una excavadora, mientras más fino sea el equipo tendrá mayor facilidad para cargar un volquete en menor tiempo y no se tendrán demoras por arreglos de frente y/o separación de bolones, lo que genera que el equipo de carguío sea más productivo por tener mayor parte del tiempo en estado operativo por eso en el estudio se evaluó el tiempo de carguío en los dos extremos granulométricos del material de Cerro Corona.
  
- Las dimensiones del ancho del frente de minado, es el factor de mayor influencia en la productividad operativa de carguío, ya que la diferencia de rendimiento entre una excavadora que carga a un solo carril con una que carga a doble carril es considerable pues mientras más ancho sea el frente de carguío, mayor espacio tendrán los volquetes para el retroceso y cuadrado en el frente por ambos lados de la excavadora con mayor comodidad y rapidez y por ende facilitar el trabajo de la excavadora e incrementar su producción operativa.

- El Hang o tiempo de espera de una excavadora para cargar un volquete es controlado y optimizado en tiempo real desde el Control Sense, que es el Sistema de Control de Flota en Cerro Corona, dicho factor también es influyente en la Productividad Operativa de carguío, ya que determina el tiempo perdido de una excavadora durante su estado operativo dado por demoras que tenga el equipo por las condiciones del frente o por flota no tener en su flota de acarreo la cantidad necesaria de volquetes, incrementando el hang e impactando de forma negativa en la Productividad Operativa del carguío, de acuerdo a la correlación demostrada en el estudio.
- Tener control sobre los factores que influyen en la Productividad Operativa de Carguío, permite también poder controlar ésta y a partir de ello optimizarla. Las escalas de clasificación dan una visión de la calidad de las condiciones en las que se encuentra el frente de carguío y del resultado esperado de mejorar o empeorar alguno de los factores estudiados, asimismo el escenario base del 2017 fue el principal eje de medición de la optimización, ya que a partir de ella se pudo evaluar el éxito de la investigación, validando la hipótesis como cierta con resultados más favorables de los esperados.

## **5.2. Recomendaciones**

- Mejorar el trabajo conjunto entre los supervisores de campo y los supervisores de optimización que se encuentran en el Dispatch, ya que en el Control Sense se tienen los datos medibles en tiempo real, los que se pueden monitorear y optimizar tomando acciones en el frente de minado.
- Utilizar las escalas de clasificación establecidas en el estudio para cada factor y evaluar los resultados en la Productividad Operativa de las excavadoras mediante pruebas experimentales en campo en los frentes de minado para complementar el estudio.
- Utilizar el escenario del año 2017 definido en la investigación para la medición de posteriores resultados de los controles aplicados a los factores estudiados en los frentes de minado, así como de la implementación de alternativas de optimización.

- Evaluar la intervención de factores externos asociados al rendimiento de las excavadoras e identificar su grado de relación e interacción con los ya estudiados para mantener la eficacia del control y optimización de la productividad operativa de carguío.
  
- Implementar mejoras en la operación que permitan reducir los tiempos improductivos, incrementar la utilización de las excavadoras y optimizar costos en Cerro Corona, basadas en los resultados obtenidos en el trabajo de investigación para tomar las acciones adecuadas y por ende contribuir a la competitividad de la empresa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrientos Gonzáles, VM. 2014. Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto. Tesis Ing. Civil de Minas. Chile. Universidad de Chile. 69p.
- Codelco educa. 2017. Proceso productivo del cobre (en línea, sitio web). Consultado 08 nov. 2017. Disponible en [https://www.codelcoeduca.cl/site/edic/base/port/proceso\\_productivo.html](https://www.codelcoeduca.cl/site/edic/base/port/proceso_productivo.html).
- Dep. Of Mining engineering. Performance evaluation of bucket based excavating, loading and transport (belt) equipment - an OEE aproach. 19 Agos. 2017. 16p.
- Escamilla López, M. Meza Jiménez, J. Llamas Cabello, R. 2011. Estudio de Productividad del Equipo de Carga en una Mina de Mineral de Fierro a Cielo Abierto. Revista Conciencia Tecnológica. Colima, México. 5p.
- Guerrero Valqui, JR. 2017. Proceso productivo de Cerro Corona. In Aniversario de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas UNC (6,2016, Cajamarca, Perú). 25p.
- Gutiérrez Pulido, H. 2010. Calidad total y productividad. Tercera Edición. Mexico DF, Mexico, Mc Graw Hill/Interamericana editores S.A. 383p.
- Gold Fields. 2017. Alcance de operación: Servicio de Minado. 1. Cajamarca, Perú. 58p.
- Gold Fields. 2017. Modificación de Estudio de Impacto Ambiental: Optimización de Operaciones de Mina.8. Cajamarca, Perú. 211p.
- Gold Fields.2017. Proceso productivo (en línea, sitio web). Consultado 28 oct. 2017. Disponible en <https://www.goldfields.com.pe/operaciones.html>.

- Hernandez Sampieri, R. 2014. Metodología de la Investigación. Sexta edición. México. Interamericana Editores S.A. 634p.
- Hissem, B; Vilim, P. 2012. Loading and Hauling. Quarry Academy, Improving Process, Instilling experience. Colorado, Estados Unidos. 65p.
- Ingeniería de Minas. 2012. Operaciones Unitarias: Carguío y Transporte (en línea, sitio web). Consultado 20 set. 2017. Disponible en <http://ingenieroenminas.com/operaciones-unitarias-carguio-y-transporte/>.
- Madrid Carrasco, AA. 2015. Determinación de granulometría y estrategia de extracción de material minero para un LHD minero por medio de mediciones laser. Tesis Ing. Civil eléctrico. Chile. Universidad de Chile. 74p.
- Marín Aguilar, CA. 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, Perú, 2015. Tesis Ing. de Minas. Perú. Universidad Privada del Norte. 74p.
- Mine Sense.2017. Manual de Operación: Administrador. Primera Edición. Cajamarca, Perú. 280p.
- Mine Sense.2017. Módulo de operadores de Carguío CP. Primera Edición. Cajamarca, Perú. 27p.
- Rojas Tinoco, SA. 2006. Mejoramiento de la performance y gestión del dispatch en Cerro Verde. Tesis Ing. de Minas. Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 138p.
- Saldaña Tumbay, AD. 2013. Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo - Minera Yanacocha. Tesis Ing. de Minas. Lima, Peru, Universidad Nacional de Ingeniería. 246 p.
- SMI (Sustainable Minerals Institute). 2012. Productividad en la minería: Ahora viene la parte difícil. London, Inglaterra. 20p.

Trucks Dekho.2017. Specifications of Volvo FMX 440 (en línea, sitio web). Consultado 06 set. 2017. Disponible en <https://trucks.cardekho.com/en/trucks/volvo/fmx-440/specifications>.

Vidal Loli, MA. 2010. Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a Cielo abierto. Tesis Ing. de Minas. Perú. 66p.

## **ANEXOS**

ANEXO 1. Fichas de recolección de datos.

ANEXO 2. Cuadro resumen de información histórica recolectada

ANEXO 3. Plano 01: Plano de ubicación de la Unidad Minera Cerro Corona - Gold Fields

ANEXO 4. Plano 02: Plano geológico local Unidad Minera Cerro Corona - Gold Fields

ANEXO 5. Plano 03: Plano general de la Operación Minera Cerro Corona - Gold Fields

**FICHA DE REGISTRO DE DATOS DE CONTROL SENSE**

Mes Gold Fields:

Código de la excavadora:

Fecha de registro:

Turno del registro:

Nombre del operador:

Cuadro de datos del frente de minado:

HORARIO	PROYECTO MINADO	TIPO DE MATERIAL	DESCARGA DEL MATERIAL	PRODUCTIVIDAD OPERATIVA (ton/hr)	TIEMPO DE CARGUÍO (min)	HANG (%)

**Validado por:**

 **GOLD FIELDS**  
*Elmo Quiroz Espinoza*  
**Elmo Quiroz Espinoza**  
SUPERVISOR DE MINA  
CIP: 194422

  
ROSA MARLENY LÓPEZ MARTOS  
INGENIERA DE SISTEMAS  
REGISTRO COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU N° 163384

**FICHA DE REGISTRO DE DATOS TOPOGRÁFICOS**

Mes Gold Fields:

Código de la excavadora:

Fecha de registro:

Turno del registro:

Cuadro de datos del frente de minado:

FECHA	PROYECTO MINADO	TIPO DE MATERIAL	GEOMETRÍA DEL FRENTE (m)

**Validado por:**

 GOLD FIELDS LA CIMA S.A.  
  
-----  
Iván Balboa Galvez  
TOPOGRAFO MINA

 GOLD FIELDS  
  
-----  
Elmo Quiroz Espinoza  
SUPERVISOR DE MINA  
CIP: 194422

ANEXO 2: RESUMEN DE DATOS HISTÓRICOS RECOLECTADOS					
MES GF	SEMANA	PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE CARGUIO	HANG (%)	ANCHO DE FRENTE
Enero	S1	669.17525	0.91944	0.36655	35
Enero	S2	702.00558	1.12576	0.36963	35
Enero	S3	686.83891	0.97436	0.63395	35
Enero	S4	668.23922	1.29259	0.46873	35
Febrero	S1	657.91524	1.53250	0.35896	38
Febrero	S2	724.66315	1.21667	0.49766	30
Febrero	S3	720.02209	1.02464	0.48624	30
Febrero	S4	676.02204	1.03056	0.48942	30
Marzo	S1	668.28443	1.05980	0.61668	24
Marzo	S2	711.83854	1.36316	0.47492	26
Marzo	S3	569.85192	1.27368	0.57989	38
Marzo	S4	674.80195	1.22381	0.51336	38
Abril	S1	675.36537	0.97051	0.53273	37
Abril	S2	741.92805	0.83077	0.50066	37
Abril	S3	654.25486	0.98016	0.53940	37
Abril	S4	662.40792	0.91111	0.60483	33
Mayo	S1	696.38286	1.08667	0.54837	32
Mayo	S2	696.65497	0.68182	0.67750	32
Mayo	S3	652.27853	1.20439	0.55962	27
Mayo	S4	598.53722	1.12692	0.56524	29
Junio	S1	701.75947	1.16961	0.50750	27
Junio	S2	661.20400	0.98333	0.60076	39
Junio	S3	699.91624	1.43864	0.36369	28
Junio	S4	652.53979	0.89417	0.53340	36
Julio	S1	700.37894	1.08542	0.46628	36
Julio	S2	696.82533	0.96984	0.54582	35
Julio	S3	703.66630	1.50833	0.41010	35
Julio	S4	657.74811	0.88810	0.66667	34
Agosto	S1	688.12903	0.96894	0.65310	35
Agosto	S2	760.14992	1.30000	0.44874	35
Agosto	S3	681.89638	1.55500	0.37053	29
Agosto	S4	550.82888	1.18148	0.39745	26
Septiembre	S1	653.96980	0.92727	0.61593	28
Septiembre	S2	632.39694	1.35965	0.42455	24
Septiembre	S3	707.83658	0.86957	0.63944	26
Septiembre	S4	610.00664	1.06087	0.54137	21
Octubre	S1	651.04403	0.90133	0.47652	34
Octubre	S2	715.87177	1.17319	0.44056	24
Octubre	S3	707.21410	1.19259	0.43930	20
Octubre	S4	666.79306	1.27813	0.50480	26
Noviembre	S1	674.71310	1.03810	0.51366	25
Noviembre	S2	707.90181	1.48864	0.42150	27
Noviembre	S3	694.02071	1.63417	0.39989	30
Noviembre	S4	645.94562	1.23067	0.39760	31
Diciembre	S1	612.11277	0.86728	0.49803	26
Diciembre	S2	678.77608	0.93333	0.46001	24
Diciembre	S3	679.16732	1.93667	0.32043	25
Diciembre	S4	674.43668	1.67000	0.31936	30