



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
Laureate International Universities

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE CARGUÍO Y
ACARREO PARA REDUCIR LOS COSTOS DEL ÁREA DE
OPERACIONES DE UNA UNIDAD MINERA.**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:
Bach. Villalobos Lescano, Miguel Alonso

ASESOR:
Dr. Ing. Mendoza de los Santos, Alberto

TRUJILLO – PERÚ
2015

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
LISTA DE ABREVIACIONES	v
PRESENTACIÓN	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPITULO 1	1
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Descripción del problema de investigación.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	6
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Justificación.....	6
1.6 Tipo de Investigación	7
1.6.1 Por la orientación.	7
1.6.2 Por el diseño.....	7
1.7 Hipótesis	7
1.8 Variables.....	7
1.8.1 Sistema de variables	7
1.8.2 Operacionalización de Variables	7
1.9 Diseño de la Investigación.....	8
CAPITULO 2	10
REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1 Antecedentes de la Investigación	11
2.2 Base Teórica	12
2.2.1 Teoría de colas.....	12
2.2.1.1 Características de los sistemas de colas	13
2.2.1.2 Medidas de desempeño	15

2.2.2 Conceptos estadísticos.....	15
2.2.2.1 Medidas de dispersión.....	15
2.2.2.2 Intervalo de confianza	17
2.2.2.3 Prueba Kolgomorov - Smirnov	18
2.2.3 Voladura en minería a cielo abierto	18
2.2.3.1 Voladura controlada	18
2.2.3.2 Evaluación de voladura	211
2.2.4 Conceptos básicos de simulación.....	21
2.2.4.1 Sistema	21
2.2.4.2 Modelo	22
2.2.4.3 Simulación.....	23
2.2.4.4 Software de simulación	25
2.2.5 Análisis económico	26
2.3 Definición de Términos	26
CAPITULO 3	27
DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD ACTUAL	27
3.1 Descripción general de la empresa	28
3.1.1 Generalidades	28
3.1.2 Geología	28
3.1.3 Perforación	29
3.2 Descripción particular del área de la empresa objeto de análisis	29
3.2.1 Diagrama de bloques del proceso.....	29
3.2.2 Análisis del proceso.....	30
3.3 Identificación del problema e indicadores actuales	31
3.3.1 Diagrama Ishikawa.....	31
3.3.2 Encuesta.....	32
3.3.3 Diagrama Pareto	33
3.3.4 Indicadores	34
3.3.4.1 Voladura periodo 2013	35

3.3.4.2 Carguío periodo 2013	38
3.3.4.3 Acarreo periodo 2013	39
3.2.4.4 Simulación del proceso de carguío y acarreo periodo 2013	41
3.2.4.4.1 Tamaño de muestra de tiempos de carguío y acarreo periodo 2013.....	42
3.2.4.4.2 Análisis de tiempos de carguío y acarreo y tiempos de arribo periodo 2013.....	43
3.2.4.4.3 Resultados de la simulación periodo 2013	50
CAPITULO 4	54
SOLUCIÓN PROPUESTA	54
4.1 Propuesta	55
4.1.1 Voladura pruebas 1 y 2.....	55
4.1.1.1 Fragmentación de roca pruebas 1 y 2.....	56
4.1.2 Carguío y acarreo pruebas 1 y 2.....	59
4.1.3 Simulación pruebas 1 y 2	61
4.1.3.1 Tamaño de muestra de tiempos de carguío y acarreo pruebas 1 y 2.....	61
4.1.3.2 Análisis de tiempos de carguío y acarreo y tiempos de arribo pruebas 1 y 2	62
CAPITULO 5	69
EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	69
5.1 Costos del periodo 2013	70
5.1.1 Consumo de materiales periodo 2013	70
5.1.2 Análisis de costos periodo 2013.....	70
5.2 Costos de pruebas 1 y 2	72
5.2.1 Consumo de materiales pruebas 1 y 2.....	72
5.2.2 Análisis de costos de pruebas 1 y 2.....	73
5.3 Costos proyectados del periodo 2015.....	74
5.3.1 Consumo de materiales proyectado periodo 2015.....	74
5.3.2 Análisis de costos proyectados periodo del 2015.....	75
CAPITULO 6	78
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
6.1 Resultados.....	79
6.1.1 Resultados de la simulación	79
6.1.1.1 Resultados simulación pruebas 1 y 2.....	79

6.1.1.2 Resultados simulación julio 2015	81
6.1.1.3 Resultados simulación setiembre 2015	82
6.1.1.4 Resultados simulación octubre 2015.....	84
6.1.1.5 Resultados simulación diciembre 2015.....	86
6.1.2 Beneficios en costos	88
6.1.2.1 Beneficio en costos pruebas 1 y 2.....	88
6.1.2.2 Beneficio en costos proyectados julio 2015.....	88
6.1.2.3 Beneficio en costos proyectados setiembre 2015	88
6.1.2.4 Beneficio en costos proyectados octubre 2015	89
6.1.2.5 Beneficio en costos proyectados diciembre 2015	89
CAPITULO 7	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
7.1 Conclusiones.....	91
7.2 Recomendaciones	92
Bibliografía.....	93
Linkografía	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Encuesta	33
-----------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Diseño de la investigación.....	8
Figura N° 2: Sistema de cola básico.....	13
Figura N° 3: Fragmentación de roca voladura controlada en superficie	38
Figura N° 4: Cargador frontal CAT-994H	39
Figura N° 5: Volquete CAT-785C	40
Figura N° 6: Prueba 1 fragmentación de roca voladura controlada por air deck	57
Figura N° 7: Prueba 2 fragmentación de roca voladura controlada por air deck	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Evolución de la producción mundial 2000-2012 (Zn, Pb, Cu y Sn en Tn; Ag y Au en Kg)	3
Gráfico N° 2: Exportaciones (Miles de millones de US\$)	4
Gráfico N° 3: Esquema de la técnica de air deck	20
Gráfico N° 4: Diagrama de bloques del proceso	30
Gráfico N° 5: Diagrama Ishikawa	32
Gráfico N° 6: Diagrama Pareto	34
Gráfico N° 7: Estructura de taladros de voladura controlada en superficie	37
Gráfico N° 8: Fragmentación de roca voladura controlada en superficie	37
Gráfico N° 9: Histograma de tiempos del ciclo de carguío periodo 2013.....	44
Gráfico N° 10: Histograma de tiempos de ida periodo 2013	45
Gráfico N° 11: Histograma de tiempos de descarga periodo 2013	46
Gráfico N° 12: Histograma de tiempos de retorno periodo 2013.....	47
Gráfico N° 13: Histograma de tiempos de cuadro periodo 2013.....	49
Gráfico N° 14: Estructura de taladros voladura controlada por air deck	56
Gráfico N° 15: Prueba 1 fragmentación de roca voladura controlada por air deck	57
Gráfico N° 16: Prueba 2 fragmentación de roca voladura controlada por air deck	58

Gráfico N° 17: Histograma de tiempos del ciclo de carguío pruebas 1 y 2	62
Gráfico N° 18: Histograma de tiempos de ida pruebas 1 y 2	64
Gráfico N° 19: Histograma de tiempos de descarga pruebas 1 y 2	65
Gráfico N° 20: Histograma de tiempos de retorno pruebas 1 y 2	66
Gráfico N° 21: Histograma de tiempos de cuadro pruebas 1 y 2	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Operacionalización de variables	8
Tabla N° 2: Porcentaje de tiempos del sistema de carguío y acarreo.....	30
Tabla N° 3: Pareto	33
Tabla N° 4: Indicadores actuales y metas proyectadas	35
Tabla N° 5: Desmonte movido periodo 2013.....	36
Tabla N° 6: Taladros utilizados periodo 2013.....	36
Tabla N° 7: Desempeño cargador 994H periodo 2013	39
Tabla N° 8: Recorrido de volquetes periodo 2013	40
Tabla N° 9: Desempeño volquete 785C periodo 2013.....	41
Tabla N° 10: Tamaño de muestra tiempos de carguío periodo 2013	43
Tabla N° 11: Tamaño de muestro tiempos de acarreo periodo 2013	43
Tabla N° 12: Reporte análisis de tiempos del ciclo de carguío periodo 2013.....	44
Tabla N° 13: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de ciclo de carguío periodo 2013	45
Tabla N° 14: Reporte análisis de tiempos de ida periodo 2013	45
Tabla N° 15: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de ida periodo 2013	46
Tabla N° 16: Reporte análisis de tiempos de descarga periodo 2013	46
Tabla N° 17: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de descarga periodo 2013	47
Tabla N° 18: Reporte análisis de tiempos de retorno periodo 2013.....	48
Tabla N° 19: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de retorno periodo 2013.....	48
Tabla N° 20: Reporte análisis de tiempos de cuadro periodo 2013.....	49
Tabla N° 21: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de cuadro periodo 2013.....	49
Tabla N° 22: Reporte locaciones periodo 2013.....	50
Tabla N° 23: Reporte locaciones de capacidad múltiple periodo 2013.....	51
Tabla N° 24: Reporte del recurso periodo 2013	51

Tabla N° 25: Reporte de variables periodo 2013	52
Tabla N° 26: Comparación entre los resultados de campo y la simulación del periodo 2013 .	53
Tabla N° 27: Recorrido de volquetes pruebas 1 y 2	55
Tabla N° 28: Desmonte movido pruebas 1 y 2.....	55
Tabla N° 29: Taladros utilizados pruebas 1 y 2	56
Tabla N° 30: Desmonte a moverse periodo 2015.....	59
Tabla N° 31: Taladros a utilizarse periodo 2015.....	59
Tabla N° 32: Recorrido de volquetes periodo 2015	59
Tabla N° 33: Desempeño pruebas 1 y 2 – Cargador 944H	60
Tabla N° 34: Desempeño pruebas 1 y 2 - Volquete 785C	60
Tabla N° 35: Resultados de campo pruebas 1 y 2	60
Tabla N° 36: Tamaño de muestra tiempos de carguío pruebas 1 y 2	61
Tabla N° 37: Tamaño de nuestro tiempos de acarreo pruebas 1 y 2	61
Tabla N° 38: Reporte análisis de tiempos del ciclo de carguío pruebas 1 y 2	63
Tabla N° 39: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de ciclo de carguío pruebas 1 y 2	63
Tabla N° 40: Reporte análisis de tiempos de ida pruebas 1 y 2	64
Tabla N° 41: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de ida pruebas 1 y 2	64
Tabla N° 42: Reporte análisis de tiempos de descarga pruebas 1 y 2	65
Tabla N° 43: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de descarga pruebas 1 y 2	66
Tabla N° 44: Reporte análisis de tiempos de retorno pruebas 1 y 2.....	66
Tabla N° 45: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de retorno pruebas 1 y 2	67
Tabla N° 46: Reporte análisis de tiempos de cuadre pruebas 1 y 2	67
Tabla N° 47: Reporte análisis de error al cuadrado de tiempos de cuadre pruebas 1 y 2	68
Tabla N° 48: HEAVY ANFO utilizado periodo 2013	70
Tabla N° 49: Accesorios utilizados periodo 2013.....	70
Tabla N° 50: Costos unitarios materiales voladura periodo 2013.....	71
Tabla N° 51: Costo materiales voladura periodo 2013	71
Tabla N° 52: Costo mano de obra voladura periodo 2013	71
Tabla N° 53: Costo horario de equipos periodo 2013	71
Tabla N° 54: Costo de equipos periodo 2013.....	72
Tabla N° 55: HEAVY ANFO utilizado pruebas 1 y 2	73
Tabla N° 56: Accesorios utilizados pruebas 1 y 2.....	73

Tabla N° 57: Costos unitarios materiales voladura pruebas 1 y 2.....	73
Tabla N° 58: Costo materiales voladura pruebas 1 y 2	73
Tabla N° 59: Costo mano de obra voladura pruebas 1 y 2.....	73
Tabla N° 60: Costo horario de equipos pruebas 1 y 2.....	74
Tabla N° 61: Costo de equipos pruebas 1 y 2	74
Tabla N° 62: HEAVY ANFO periodo 2015	75
Tabla N° 63: Accesorios a utilizarse periodo 2015	75
Tabla N° 64: Costo materiales proyectado periodo 2015.....	75
Tabla N° 65: Costo mano de obra voladura proyectado periodo 2015	76
Tabla N° 66: Costo materiales y mano de obra voladura proyectados periodo 2015	76
Tabla N° 67: Costo horario de equipos periodo 2015	76
Tabla N° 68: Costo de equipos proyectado periodo 2015	77
Tabla N° 69: Reporte locaciones - simulación pruebas 1 y 2.....	79
Tabla N° 70: Reporte locaciones de capacidad múltiple - simulación pruebas 1 y 2.....	79
Tabla N° 71: Reporte del recurso - simulación pruebas 1 y 2.....	80
Tabla N° 72: Reporte de variables - simulación pruebas 1 y 2	80
Tabla N° 73: Reporte locaciones - simulación julio 2015.....	81
Tabla N° 74: Reporte locaciones de capacidad múltiple - simulación julio 2015.....	81
Tabla N° 75: Reporte del recurso - simulación julio 2015	82
Tabla N° 76: Reporte de variables - simulación julio 2015	82
Tabla N° 77: Reporte locaciones – simulación setiembre 2015.....	83
Tabla N° 78: Reporte locaciones de capacidad múltiple – simulación setiembre 2015.....	83
Tabla N° 79: Reporte del recurso – simulación setiembre 2015	83
Tabla N° 80: Reporte de variables – simulación setiembre 2015	84
Tabla N° 81: Reporte locaciones – simulación octubre 2015	84
Tabla N° 82: Reporte locaciones de capacidad múltiple – simulación octubre 2015	85
Tabla N° 83: Reporte del recurso – simulación octubre 2015.....	85
Tabla N° 84: Reporte de variables – simulación octubre 2015	86
Tabla N° 85: Reporte locaciones – simulación diciembre 2015	86
Tabla N° 86: Reporte locaciones de capacidad múltiple – simulación diciembre 2015	87
Tabla N° 87: Reporte del recurso – simulación diciembre 2015.....	87
Tabla N° 88: Reporte de variables – simulación diciembre 2015	88

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo general proponer una mejora a través de la simulación del sistema de carguío y acarreo para reducir los costos del área de Operaciones de una unidad minera.

El diagnóstico señala que en el último trimestre del 2013 se experimentó problemas de colas en los volquetes CAT-785C asignados a rutas cortas, los cuales representaron el 12.69% de los tiempos operativos y como consecuencia el índice de utilización de estos volquetes llegó a 87.31% y su productividad a 414.47 toneladas por hora al cierre del periodo, originando el incremento de los costos por concepto de voladura, carguío y acarreo del área a \$1,505,057.84 siendo el costo unitario por tonelada igual a \$0.61 dólares.

Razón por la cual se hace necesario evaluar y analizar si el actual proceso de voladura, carguío y acarreo es el adecuado para la realidad de los cargadores del área de Operaciones asignados a operar en rutas cortas así como la cantidad de volquetes utilizados.

Demostrándose que el nuevo tipo de voladura proporciona un grado de fragmentación de roca mejor, lográndose una reducción entre el 32.13% y el 36.32%. Asimismo, a través de la simulación del sistema de carguío y acarreo con 1 cargador y 2 volquetes se pudo comprobar la baja utilización de la locación fila de espera 0.13% con un promedio de 0 volquetes esperando ser atendidos y un máximo de contenidos igual a 1. Mientras que el tiempo promedio de carguío se redujo a 3.13 minutos lo que representa una reducción del 18.49%, siendo el costo unitario por tonelada del periodo igual a \$0.38 dólares obteniéndose una reducción del 37.70% respecto al último trimestre del 2013.

Se concluye que la propuesta de mejora del sistema de carguío y acarreo permite reducir los costos del área de Operaciones garantizando el cumplimiento de manera eficaz y eficiente del plan de cierre de mina de movimiento de desmonte hacia el botadero para rutas cortas.

ABSTRACT

This research work has the general objective of improvement through simulating the loading and hauling system to reduce Operations area's costs of a mining unit.

The diagnosis indicates that in the last quarter of 2013 queuing problems were experienced in the CAT-785C trucks assigned to short routes, which accounted for 12.69% of operating time and consequently the rate of utilization of these trucks reached 87.31% and its productivity to 414.47 tons per hour at the period, causing the increase in costs for blasting, loading and hauling the area to \$ 1,505,057.84 being the unit cost per ton equals \$0.61 dollars.

Being necessary to evaluate and analyze whether the current process of controlled blasting, loading and hauling is adequate to reality of Operations area's chargers assigned to operate on short routes and the number of trucks used.

Demonstrating that the new type of blasting provides a better rock fragmentation degree, achieving a reduction between 32.13% and 36.32%. Furthermore, through the simulation of the loading and hauling system with 1 charger and 2 trucks it was noted the low utilization of the row waiting location 0.13% with an average of 0 trucks waiting to be served and a maximum of contents equal to 1 . While the average haulage time was reduced to 3.13 minutes which represents a reduction of 18.49%, being the unit cost per ton of the same period equal to \$ 0.38 dollars obtaining a reduction of 37.70% over the last quarter of 2013.

In short, the improvement of the loading and hauling system reduces Operations area's costs ensuring compliance effectively and efficiently of the plan mine closure of waste material motion to the dump for short routes.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

Bibliografía

- Bedóm, C. O. (2005). *Aplicación de la simulación para la optimización del acarreo de mineral*. Lima.
- Cobre, C. C. (2013). *Metales Preciosos: Oro y Plata. Mercado Internacional y Minería en Chile*.
- Coopers, P. W. (2013). *Industria Minera. Guía de Negocios en el Perú 2013*. Lima.
- Eduardo García, H. G. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. México: Pearson.
- EXSA. (s.f.). *Manual Práctico de Voladura*. Tacna, Perú.
- García Sabater, J. P. (2010). *Teoría de Colas*. Valencia, España.
- Nacional, U. T. (s.f.). *Simulación*. Santa Fé, Argentina.
- Quispe, Z. L. (2011). *Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en CIA. Minera Condestable S.A.* Lima.
- Rodríguez, D.E. (2013). *Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto. Análisis de prioridades según rendimiento*. Santiago de Chile.
- Sahoo, S. (2012). *Asignación de volquetes usando programación lineal y teoría de colas*. Rourkela.
- Vidal, M. A. (2010). *Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto*. Lima.

Linkografía

- Ambiental, S. P. (s.f.). Recuperado el 28 de Agosto de 2014, de http://www.legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=379&Itemid=4561
- INEI. (2013). *INEI*. Recuperado el 29 de Agosto de 2014, de <http://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

- *Investigación de Operaciones*. (s.f.). Recuperado el 09 de Octubre de 2014, de <http://inoperacioneslu.blogspot.com/p/teoria-de-colas-o-linea-de-espera.html>
- Merino, T. (2007). *El Epicentro*. Recuperado el 09 de Octubre de 2014, de <http://escuela.med.puc.cl/recursos/recepidem/epianal9.htm>
- *Mining Press*. (04 de Julio de 2014). Recuperado el 28 de Agosto de 2014, de <http://www.miningpress.com.pe/nota/261095>
- *Oocities*. (s.f.). Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de *Oocities*: http://www.oocities.org/mx/io2_jonathan/GuiaRAPIDAPROMODEL.pdf
- Ponte, R. (s.f.). *Oocities*. Recuperado el 14 de Setiembre de 2014, de <http://www.oocities.org/es/ricardo.ponte/EFPIA/T1.html>
- ProModel Corporation. (s.f.). *Simulación*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://simulacionitca.blogspot.com/2012/05/promodel.html>
- Ruiz, S. V. (s.f.). *World Press*. Recuperado el 13 de Octubre de 2014, de <http://villalana.wordpress.com/1-1-definicion-e-importancia-de-la-simulacion-en-la-ingenieria/>
- *Seguridad Minera*. (8 de Enero de 2013). Recuperado el 03 de Octubre de 2014, de <http://revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/voladura/parametros-en-la-voladura-de-rocas/>
- *Simulación*. (s.f.). Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://simulacionitca.blogspot.com/2012/05/promodel.html>
- *SPSS Free*. (s.f.). Recuperado el 10 de Octubre de 2014, de <http://www.spssfree.com/spss/analisis2.html>
- Yimg, X. (s.f.). *Modelación Matemática*. Recuperado el 13 de Octubre de 2014, de https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0CEkQFjAI&url=http%3A%2F%2Fxa.yimg.com%2Fkq%2Fgroups%2F21984115%2F1447802218%2Fname%2Fclase-1-conceptos-basicos.ppt&ei=aRg8VL3tK8_GgwTfxoAw&usg=AFQjCNHIQ8_99U3Q2RvKNWIQE