

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

**“TEORÍA DE COLAS PARA LA MEJOR TOMA DE DECISIONES EN UNA
MINA A TAJO ABIERTO”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

ELABORADO POR:

HEBER BLADIMIR COSME TORRES

ASESOR

MBA.ING. VICTOR MANUEL HERNÁNDEZ DIAZ

LIMA-PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios por la oportunidad de elegir este camino.

A mi hijo por el amor incondicional para perseverar en todo este proceso.

AGRADECIMIENTO

A Dios por la oportunidad de elegir este camino.

A mí familia por su apoyo incondicional en todo este camino.

A los ingenieros de la facultad de Ingeniería de Minas por sus enseñanzas en cada una de las etapas de esta carrera. De igual manera a los ingenieros de las demás especialidades.

A los amigos de esta facultad por ser parte de este camino.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Minas, por hacer de la Ingeniería una parte importante de mi vida.

RESUMEN

La presente tesis es una investigación aplicada, la cual se desarrolló en una mina explotada por el método de tajo abierto ubicada al sur de Lima. Específicamente, en el tajo 4 o también conocida como Mina 4, donde había problemas en las operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo en el sistema pala-camión.

Las colas que formaban los camiones Euclid y CAT en las líneas de espera para ser proveídos por el servicio de carguío por la pala era demasiado alto. Luego de aplicar una adecuada supervisión y el modelo matemático de teoría de colas se logró reducir los tiempos de espera, y se obtuvo rangos aceptables: Para los camiones Euclid 0.16 horas (entre 8 a 10 minutos), y para los camiones CAT 0.083 horas (entre 5 a 6 minutos).

En cuanto al tiempo de carguío de la pala, se logró reducir el tiempo en las actividades realizadas por esta, cuyo promedio fue de 3.29 minutos. Estos tiempos tanto para los camiones y las palas se tomó aleatoriamente un tamaño de muestra 3, los cuales fueron demostrados aplicando la prueba estadística t Student.

Palabras claves: Teoría de colas, operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo, sistema pala-camión.

ABSTRACT

This thesis is an applied research, which was developed in a mine operated by the open pit method located south of Lima. Specifically, in the pit 4 or also known as Mine 4, where there were problems in the unit mining operations of loading and hauling in the shovel-truck system.

The lines that formed the Euclid and CAT trucks on the waiting lines to be provided by the loading service by the shovel was too high. After applying adequate supervision and the mathematical model of queuing theory, waiting times were reduced, and acceptable ranges were obtained: for Euclid trucks 0.16 hours (between 8 to 10 minutes), and for CAT trucks 0.083 hours (between 5 to 6 minutes).

As for the loading time of the blade, the time in the activities carried out by it was reduced, which averaged 3.29 minutes. These times for both trucks and shovels with a sample size of 3 was randomly taken, which were demonstrated by applying the t Student statistical test.

Keywords: Queue theory, unit mining operations for loading and hauling, shovel-truck system.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Generalidades	14
1.2 Planteamiento del problema	14
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo principal.....	14
1.3.2 Objetivo secundario	14
1.4 Antecedentes	15
1.5 Justificación	16
1.6 Hipótesis.....	18
1.6.1 Hipótesis Especifica	18
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Investigación de Operaciones	20
2.1.1 Origen.....	20

2.1.2	Definición	21
2.1.3	Clasificación de los modelos matemáticos	22
2.1.4	Modelos matemáticos que usa la investigación de operaciones	23
2.1.5	Campos de aplicación de la investigación de operaciones	24
2.1.6	Impacto de la investigación de operaciones en el mundo	24
2.2	Perforación Rotativa	26
2.2.1	Definición	28
2.2.2	Modelo matemático postulado por Bauer	29
2.2.3	Accesorios de las perforadoras	29
2.2.4	Variables de la perforación	31
2.2.5	Importancia de la evacuación de los detritus	32
2.3	Voladura de Rocas.....	34
2.3.1	Definición	35
2.3.2	Voladura de Producción.....	36
2.3.3	Voladura de pre corte	37
2.3.4	Explosivos y accesorios usados en la voladura	37
2.3.5	Variable Fragmentación	45
2.4	Teoría de Colas.....	48
2.4.1	Origen.....	49
2.4.2	Definición	49

2.4.3	Características	50
2.4.4	Estructura básica del modelo de colas.....	50
2.5	Fuente estadísticas usadas en teoría de colas	51
2.5.1	La distribución de Poisson.....	51
2.5.2	La distribución normal	51
2.5.3	La función exponencial	52
2.5.4	La distribución de Erlang.....	52
2.6	Distribución estadística usadas en la teoría de colas.....	52
2.6.1	La distribución de llegadas.....	52
2.6.2	Accesorios de las perforadoras.....	53
2.7	Formulación usada en líneas de espera.....	53
2.7.1	Una línea – Un canal de servicio	54
2.7.2	Una línea – Un canal de servicio	55
2.7.3	Una línea - Múltiples canales de servicio.....	56
2.8	Sistemas de colas con un solo servidor.....	57
2.8.1	Suposición 1	57
2.9	Tajos operados por mina estudio	58
2.9.1	Tajo 2.....	59
2.9.2	Tajo 4.....	59
2.10	Operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo	60

2.10.1	Indicadores clave de desempeño (KPI)	60
2.10.2	Gestión de tiempos	61
2.10.3	Disponibilidad física (DF).....	62
2.10.4	Utilización (U).....	63
2.10.5	Match Factor (MF o factor de acoplamiento).....	63
2.10.6	Carguío	63
2.10.7	Acarreo.....	65
CAPITULO III.DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		67
3.1	Metodología	67
3.2	Tipo de Investigación	67
3.3	Alcance de la Investigación	68
3.4	Diseño de la Investigación.....	69
3.5	Técnicas de Investigación.....	70
3.6	Población y muestra.....	70
3.6.1	Población.....	70
3.6.2	Muestra	71
3.7	Estrategia para prueba de hipótesis	72
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		73
4.1	Caso estudio 1.....	75
4.1.1	Camión EUCLID.....	90

4.1.2	Camión CAT	93
4.1.3	Carguío de la pala.....	96
4.2	Análisis de resultados.....	97
4.3	Contrastación de la hipótesis.....	98
4.3.1	Hipótesis Especifica H1A	98
4.3.2	Hipótesis específica H1B	99
4.3.3	Hipótesis general H1:	100
	CONCLUSIONES	101
	RECOMENDACIONES	102
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
	ANEXOS	
	ANEXO N° 1: Plano rutas de minas	
	ANEXO N° 2 Minas 2,3 y 4	
	ANEXO N° 3 Minas 2,3, y 4 proyectado al 2019	
	ANEXO N° 4 Minas 2	
	ANEXO N° 5 Minas 3	
	ANEXO N° 6 Minas 6	
	ANEXO N° 7: Depósitos de desmonte C-26/40	
	ANEXO N° 8: Depósito de desmonte C-41	
	ANEXO N° 9: Minas- estudio	

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2-1: Diseño de la investigación	19
Figura N° 2-2: Origen de la investigación de operaciones	21
Figura N° 2-3: Modelos matemáticos	22
Figura N° 2-4 Modelos que usa la I. O	23
Figura N° 2-5: Aplicación de investigación de operaciones	25
Figura N° 2-6: Perforación de banco	26
Figura N° 2-7: Partes de la perforadora general	27
Figura N° 2-8: Concepto de perforación.....	28
Figura N° 2-9: % Disponibilidad y utilización	32
Figura N° 2-10: Evacuación de detritus.....	34
Figura N° 2-11: Voladura de un banco	35
Figura N° 2-12: Voladura de rocas	36
Figura N° 2-13: Proceso de la voladura de producción.....	36
Figura N° 2-14: Pre corte convencional	37
Figura N° 2-15: Formulación típica de emulsión	39
Figura N° 2-16: Concepto de ANFO pesado	40
Figura N° 2-17: Fulminantes comunes.....	41
Figura N° 2-18: Booster.....	42
Figura N° 2-19: Retardo para cordón detonante	42
Figura N° 2-20: Mecha de seguridad	43
Figura N° 2-21: Cordón detonante	44
Figura N° 2-22: Fanel y sus componentes	45
Figura N° 2-23: Variable fragmentación	47
Figura N° 2-24: Fragmentación adecuada	47

Figura N° 2-25: Carguío y acarreo	49
Figura N° 2-26: Proceso básico de colas	51
Figura N° 2-27: P&H 16.....	64
Figura N° 2-28: P&H 34.....	64
Figura N° 2-29: P&H 32.....	65
Figura N° 2-30: P&H 36.....	65
Figura N° 2-31: Camión Euclid 277	66
Figura N° 2-32: Camión CAT 309	66
Figura N° 2-33: Camión Terex 401	66
Figura N° 3-1: Diseño de la investigación no experimental.....	69
Figura N° 4-1: Distancia de Mina 4 a la planta 2.....	73
Figura N° 4-2: Grafica de distribución camión Euclid.....	92
Figura N° 4-3: Grafica de Distribución camión CAT	94
Figura N° 4-4: Polución en rampas	95
Figura N° 4-5: Neblina en operación	95
Figura N° 4-6:Gráfica de Distribución Pala.	97
Figura N° 4-9: Tiempo de espera en la cola camión Euclid	98
Figura N° 4-10: Tiempo de espera en la cola camión CAT	99
Figura N° 4-11: Reducción de tiempo de carguío por pala	100

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Cuando se trata de tomar decisiones, los ejecutivos deben contar con una herramienta de gerencia que respalde estas decisiones, de tal manera que sean oportunas y seguras; es por ello que, los modelos que usa la investigación de operaciones son fundamentales.

En el caso de la industria minera, los modelos matemáticos de la investigación de operaciones se usan con mayor frecuencia. Específicamente, en las operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo el modelo que más se adecua es el de teoría de colas. Cabe enfatizar que este modelo no optimiza, solo se obtienen las mejores alternativas para tomar decisiones.

El desarrollo de la tesis se realizó tomando la data de la mina estudio ubicada al sur de Lima, específicamente en el tajo 4, donde había problemas de colas en el sistema pala -camión; lográndose mejorar los tiempos de espera de los camiones en la cola y el tiempo de carguío de la pala.

1.1 Generalidades

Después de haber realizado el proceso de voladura de rocas, se tiene como producto de esta una fragmentación, la cual debe ser la adecuada y de acuerdo a lo planificado. Entonces, se continua con las operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo, las cuales deben funcionar correctamente. De tal manera que en esta mina estudio no haya tiempos no productivos en las operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo (sistema pala-camión) cuyos factores que intervienen en estas operaciones deben ser los adecuados para lograr cumplir con las horas productivas planificadas.

1.2 Planteamiento del problema

¿Sera factible reducir los tiempos de espera de los camiones en el proceso de carguío y acarreo, aplicando la teoría de colas, para reducir los costos de una operación minera?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo principal

Reducir costos optimizando los tiempos de espera de los camiones en el proceso de carguío y acarreo.

1.3.2 Objetivo secundario

- Determinar la probabilidad de que no haya cola cuando un camión llegue al tajo para ser cargado.
- Determinar el proceso de acarreo de la pala para cargar un camión.

1.4 Antecedentes

El modelo matemático llamado teoría de colas tiene su origen en la congestión del tráfico telefónico, por lo que (Erlang) analiza e investiga el sistema telefónico de Copenhague, llegando a postular este modelo matemático, que en la actualidad es de mucha utilidad para la toma de decisiones. Este modelo matemático es aplicado en la industria minera mayormente al sistema pala-camión de las operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo de los tajos abiertos. Cabe resaltar, que este modelo matemático no optimiza. Pero si ayuda, proporcionado información adecuada para la toma de decisiones oportunas.

Revisando la información concerniente al tema de investigación se encontró en Lima la tesis de grado (2017), donde se aplica el modelo matemático teoría de colas para mejorar la productividad en las operaciones mineras binomiales de carguío y acarreo de la mina Tucari; estos equipos que operan en el carguío y acarreo pertenecen a la población finita, la aplicación de este modelo matemático logra reducir los tiempos no productivos de los equipos mineros (Mendoza Centeno, 2017)

Otra tesis de grado en Lima, titulada “Mejoramiento continuo de carguío y acarreo con camiones en mina Cía. Condestable S.A”, desarrolla estas operaciones desde el punto de vista de productividad de los equipos mineros teniendo en cuenta el factor tiempo en cada ciclo de las operaciones. Para identificar la incidencia de las demoras en los ciclos y luego tomar las medidas correctivas, de tal manera de mejorar estos procesos (Trujillo, 2011).

1.5 Justificación

La mina en estudio, es explotada por el método a tajo abierto. Usa el sistema pala-camión es un modelo que pertenece a la línea de espera finito, porque tanto los camiones y palas se pueden determinar, siendo las palas las que se ubican en los tajos (bancos) que han sido explotados, esperando los camiones que van a ser cargados con material fragmentado adecuadamente. Dicho material fragmentado puede ser mineral que será transportado a la planta chancadora y de ser material estéril (desmonte) va al botadero.

Para este sistema pala-camión, debe existir una relación de equivalencia entre la cuchara de la pala (yd^3) Vs. La tolva del camión (T_m), es decir la cuchara de la pala debe cargar un camión en un número de pases determinado. También, intervienen otros factores para un buen carguío y acarreo del material fragmentado en cuanto al factor tiempo, tales como:

Rampas con gradiente adecuada con un buen mantenimiento,

- Las llantas en buen estado,
- La distancia del acarreo a la planta chancadora,
- La distancia del acarreo al botadero,
- Operatividad del camión,
- Experiencia del chofer,
- Abastecimiento de combustible del camión, entre otros.

Es por eso, que esta mina superficial, ha tenido en cuenta estos factores para reducir el tiempo en la formación de colas de los camiones, porque a veces demoraban 20 minutos en la cola para poder ser cargados, es decir no había una distribución adecuada en el sistema pala-camión. Razón por la cual se ha

aplicado el modelo de teoría de colas para reducir estos tiempos no productivos.



Figura 1.5-1: Ciclo de carguío y acarreo.
Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar, que en la actualidad existen softwares para analizar las colas que se forman en los diferentes negocios, tales como: Sistemas financieros (Bancos), centrales telefónicas, centros comerciales, inclusive para las operaciones de carguío y acarreo en las unidades mineras.

En el modelo matemático teoría de colas se debe tener bien claro los conceptos claves, para obtener una adecuada solución al problema de formación de colas en las operaciones mineras binomiales de carguío y acarreo.

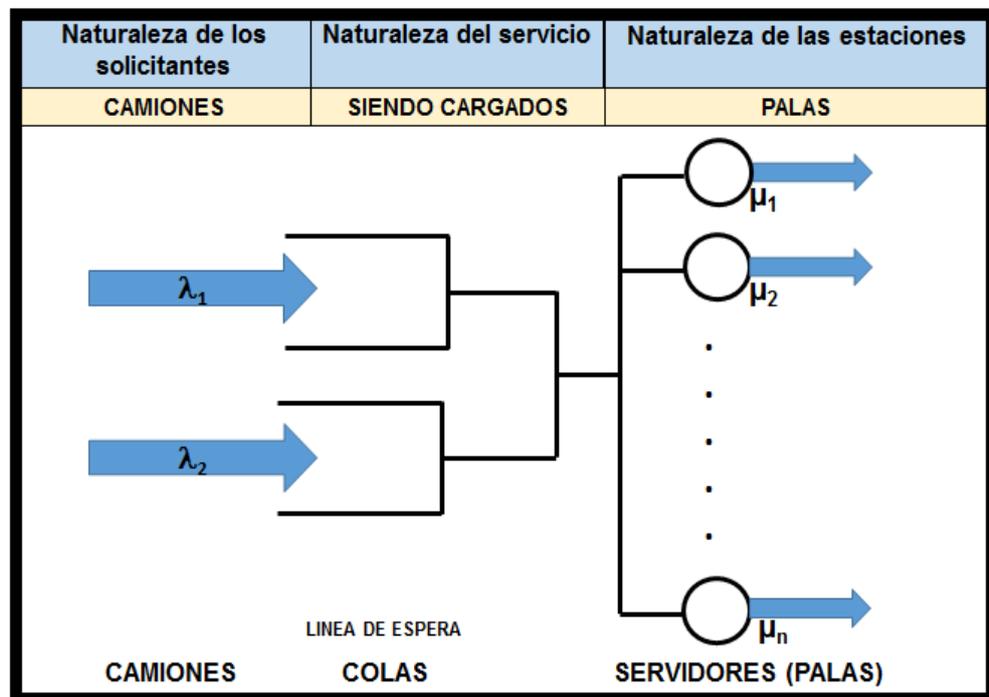


Figura 1.5-2: Conceptos claves de teoría de colas
Fuente: Elaboración propia

1.6 Hipótesis

Reducir los tiempos de espera de los camiones para ser cargados por la pala, en esta mina superficial a un 35%.

1.6.1 Hipótesis Específica

H1A: Usando el modelo matemático de teoría de colas se podrá determinar la probabilidad (%) de que no haya cola en el sistema pala-camión.

H1B: Se podrá determinar el tiempo del proceso de carguío de la pala para cargar un camión.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

Para llevar a cabo el desarrollo de esta tesis, en el marco teórico se explicará la teoría en que se fundamenta la tesis, las fuentes que la respaldan, siendo la teoría desarrollada cronológicamente en los capítulos y subcapítulos.

La metodología es una investigación aplicada a la industria minera, específicamente a las operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo, cuyo diseño de la investigación se ubica bajo la nominación de no experimental.

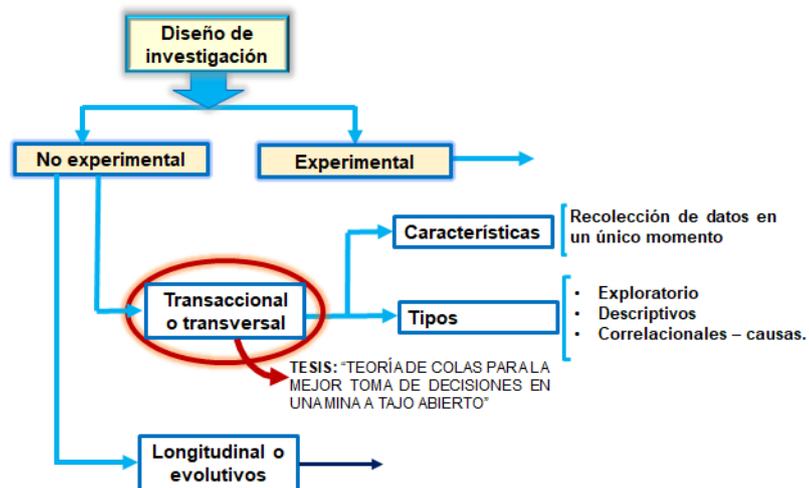


Figura N° 0-1: Diseño de la investigación
Fuente: (Sampiere, 2014)

Los niveles y diseño de la investigación se clasifican en: investigación exploratoria, investigación descriptiva e investigación explicativa. (Arias, 2006)

En cuanto al enfoque de la investigación científica, se puede clasificar en tres enfoques: Enfoque cuantitativo, enfoque cuantitativo y enfoque total. (Humberto, 2013).

2.1 Investigación de Operaciones

2.1.1 Origen

Los orígenes de la Investigación de Operaciones datan de varias décadas atrás, cuando comenzaron a hacer los primeros intentos de aplicar enfoques científicos en las gerencias de las diferentes organizaciones. Sin embargo, el comienzo de la ciencia de la Investigación de Operaciones ha sido generalmente atribuido a las actividades militares al iniciarse la II Guerra Mundial. Porque en esta guerra; había una necesidad urgente de asignar algunos recursos escasos a varias operaciones militares de la manera más efectiva.

Fue por esta razón que los altos mandos de los ejércitos ingleses y americanos llamaron a un gran número de científicos, para aplicar un enfoque científico para hacer frente a esta y a otras operaciones estratégicas. Quienes fueron los primeros equipos de trabajo que comenzaron a aplicar la Investigación de operaciones para solucionar problemas de estrategia militar en este caso.

En 1951, ya se usaba con grandes resultados, tanto en Inglaterra como en USA desde entonces la Investigación de Operaciones se ha desarrollado y aplicado en todas las ramas del saber humano.



Figura N° 0-2: Origen de la investigación de operaciones

Fuente: Elaboración Propia

2.1.2 Definición

Existen varias definiciones de investigación de operaciones, entre las cuales se tienen las siguientes:

- “Es la aplicación de métodos, técnicas y procedimientos científicos a los problemas que conforman las operaciones de un sistema; de tal manera de proveer a los encargados del control del sistema y/o a la alta gerencia con soluciones óptimas para dichos problemas”.
- “Es la toma de decisiones sobre una base científica acerca de los problemas que puedan presentarse en las operaciones que conforman sistemas industriales u organizacionales”.
- “Es ganar guerras sin realmente pelearlas”.

2.1.3 Clasificación de los modelos matemáticos

Los modelos matemáticos de la investigación de operaciones se clasifican en:



Figura N° 0-3: Modelos matemáticos

Fuente: Elaboración Propia

2.1.3.1 Determinísticos

Este modelo se caracteriza porque todas las variables limitantes están bajo el control directo de la gerencia.

2.1.3.2 Estocásticos

En este caso las variables limitantes no están bajo el control directo de la gerencia. Están sujetas a condiciones aleatorias.

2.1.3.3 Competitivo

En los modelos matemáticos de “JUEGOS” la acción de los resultados depende del comportamiento de dos o más oponentes. Minimizar la ventaja del oponente.

2.1.4 Modelos matemáticos que usa la investigación de operaciones

La investigación de operaciones usa modelos matemáticos de optimización y también modelos matemáticos que ayudan a tomar decisiones adecuadas y oportunas.

Entonces, se puede enfatizar que el modelo matemático que en esta tesis se usará corresponde a los modelos que no optimizan, pero sus resultados ayudan a tomar decisiones oportunas y adecuadas.

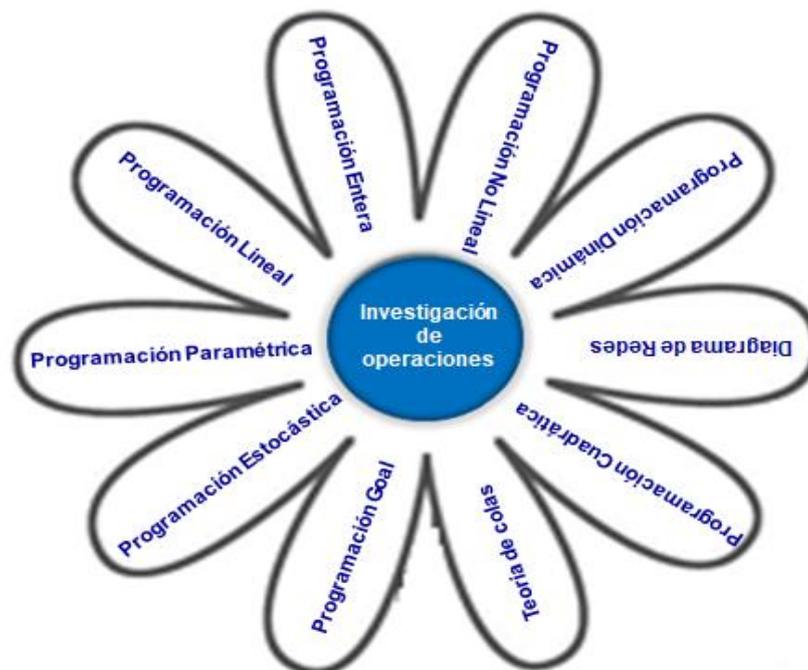


Figura N° 0-4 Modelos que usa la I. O

Fuente: Elaboración Propia

2.1.5 Campos de aplicación de la investigación de operaciones

Desde la segunda guerra mundial se viene aplicando en todas las ramas del saber humano los modelos matemáticos de la investigación de operaciones. Por ejemplo, así se mencionan algunos casos.

- En las compañías telefónicas, en los medios de transporte terrestre, aéreo, marítimo y en la operación minera unitaria de carguío y acarreo en la industria minera es típico que se aplique el modelo matemático de teoría de colas.
- En las industrias de fabricación de bienes o servicios, aplican muchas veces modelos matemáticos de optimización en los procesos de la cadena de producción.
- Para la formulación de proyectos es típico que se aplique el modelo matemático diagrama de redes. Este modelo ayuda a determinar los tiempos en las etapas de cualquier proyecto.
- En la ingeniería de sistemas, es notable la aplicación de los modelos matemáticos de la investigación de operaciones.
- También se ha demostrado la efectividad de la investigación de operaciones en la medicina, la agroindustria, la NASA, etc.

2.1.6 Impacto de la investigación de operaciones en el mundo

La investigación de operaciones conjuntamente con los metales producto de la industria minera, han influido determinadamente en el desarrollo de una nación; claro está que, para este desarrollo es indispensable la intervención del ser humano.

La historia lo reafirma y, por lo tanto, se puede enfatizar que las necesidades en cualquiera de las áreas del hombre, hace que este se reinvente y empiece a inventar, crear o mejorar bienes o servicios que satisfagan estas necesidades del ser humano.

Lo fundamental, primero es analizar el problema y luego conocer los pasos para resolver y aplicar el modelo matemático que más se adecue para dar solución al problema, pero siempre teniendo en cuenta el criterio de optimización. La investigación de operaciones a lo largo de los años ha demostrado ser una disciplina muy exitosa, principalmente para generar incrementos en la productividad en cualquier rama del saber humano que se aplique.



Figura N° 0-5: Aplicación de investigación de operaciones

Fuente: Elaboración Propia

2.2 Perforación Rotativa

La industria minera tajo abierto remueve gran volumen de material estéril para poder extraer el mineral, por lo que requiere equipos a gran escala.

En primer lugar, para cumplir con la operación minera unitaria de perforación requiere de perforadoras rotativas para perforar los taladros de diámetros y longitudes mayores que cumplan con el tonelaje de producción programado.



Figura N° 0-6: Perforación de banco

Fuente: Elaboración Propia

Las perforadoras rotativas, son máquinas diseñadas para operar con gran fuerza de avance o pull down y un par de rotaciones. Los componentes principales de la perforadora rotativa son:

- El barreno
- La broca y,

- La circulación de flujo de aire para la limpieza de los taladros. Esta variable es muy importante para la evacuación de los detritus formados en el momento de la perforación de los taladros.

En este caso, para la operación minera unitaria de perforación la mina estudio usa perforadoras rotativas, cuyas brocas tricónicas tienen diámetros \varnothing : 9 7/8", 10 5/8" y 12 1/4".



Figura N° 0-7: Partes de la perforadora general

Fuente: Elaboración Propia

2.2.1 Definición

En minería se define perforación, a la acción de un equipo llamado perforadora en perforar taladros en el macizo rocoso con el propósito de cargar con explosivos y accesorios de voladura para fragmentar la roca de manera segura y adecuada.

Otra definición es el contacto directo de la broca con el macizo rocoso para perforar taladros que serán cargados con explosivos.

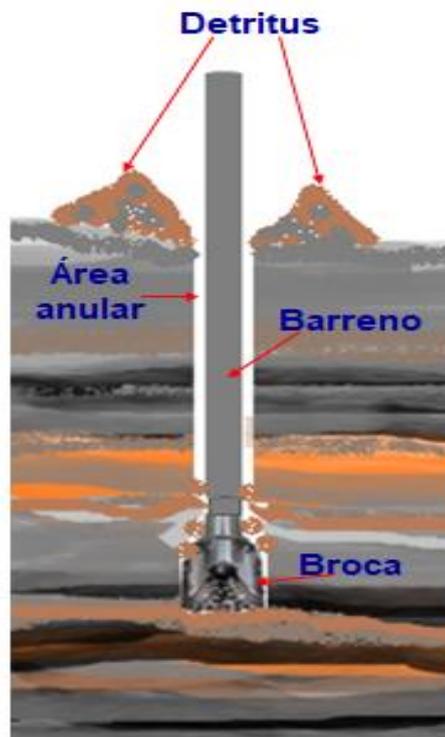


Figura N° 0-8: Concepto de perforación

Fuente: Elaboración Propia

2.2.2 Modelo matemático postulado por Bauer

El Ph. D Alan Bauer (1967) postulo un modelo matemático para perforadoras rotativas, el cual es usado en las minas a tajo abierto. Este modelo matemático sirve para determinar el rango de penetración relacionando la resistencia de compresión uniaxial, el peso por pulgada de diámetro y la velocidad de rotación.

$$PR = (61 - 28 \text{Log } Sc) \left(\frac{W}{\phi} \right) \left(\frac{RPM}{300} \right)$$

Donde:

PR = Rango de penetración (pies/hr)

Sc = Resistencia compresiva uniaxial en 1000 psi.

W/Ø = peso por pulgadas del diámetro de la broca en 1000 lb.

RPM = velocidad rotativa RPM

2.2.3 Accesorios de las perforadoras

En las perforadoras rotativas se usan los principales accesorios, tales como:

- La broca
- El barreno
- Cabezal
- Coupling
- Estabilizador
- Guiador

En cuanto a las brocas que se usan en la operación minera de perforación por la propia mina estudio, son las siguientes:

Tabla N° 0-1: Tipo de brocas y metraje

Perforadora	N° broca	Marca	Tipo	Serie	Metros
D10	422	Varel	RB-53	1423491	5,769
	428	Varel	RB-53	1427918	3,092
	433	Varel	RB-53	1427951	3,732
	443	Varel	RB-60	1361708	3,623
	449	Varel	RB-53	1427950	1,606
D11	418	Sandvik	40QX2	MO40124004	10,240
	431	Varel	RB-60	1363712	2,840
	438	Varel	RB-60	1363718	1,121
	441	Varel	RB-53	1429285	1,809
D12	318	Varel	RB-53	1396911	964
D13	421	Varel	RB-53	1427919	2,933
	427	Varel	RB-53	1427913	2,516
	434	Varel	RB-53	1427937	2,470
	440	Varel	RB-53	1423485	3,349
	447	Varel	RB-53	1427940	2,105
D14	416	Varel	RB-53	147953	3,551
	424	Varel	RB-53	1427932	4,019
	426	Varel	RB-60	1363710	2,900
	435	Varel	RB-53	1427938	4,245
	446	Varel	RB-53	1427949	4,163
D15	423	Varel	RB-60	1363714	2,820
	437	Varel	RB-60	1363711	3,137
	448	Varel	RB-53	1427915	789
D16	420	Sandvik	39QX2	MO40122009	7,586
	429	Varel	RB-53	1427941	425
	430	Varel	RB-53	1429279	2,852
	436	Varel	RB-60	1363707	2,571
	442	Varel	RB-53	1427912	512
	444	Varel	RB-53	1427935	2,650
D17	419	Sandvik	40QX2	MO40122005	5,645
	425	Sandvik	40QX2	MO40122008	6,048
	432	Varel	RB-53	1423496	2,264
	439	Varel	RB-60	1361713	2,088
	445	Varel	RB-60	1363704	3,738
	01	Varel	RB-60	1361715	837

Fuente: Elaboración Propia

Respecto a barrenos que se usan en la operación minera de perforación por la propia mina estudio, son las siguientes.

Tabla N° 0-2: Marca de barrenos y metraje

Perforadora	Marca	Metros promedio
D10	Agecomet	55,034
	Sandvik	
	MCI	
D11	Agecomet	54,618
	Sandvik	13,907
	MCI	
D12	Agecomet	53,506
	Sandvik	17,991
	MCI	
D13	Agecomet	44,679
	Sandvik	
	MCI	
D14	Agecomet	41,672
	Sandvik	
	MCI	
D15	Agecomet	63,447
	Sandvik	
	MCI	22,617
D16	Agecomet	46,953
	Sandvik	63,705
	MCI	
D17	Agecomet	74,059
	Sandvik	37,685
	MCI	

Fuente: Elaboración Propia

2.2.4 Variables de la perforación

Las variables medibles de perforación más comunes son el tiempo, la profundidad del taladro, el empuje (pool Down), el rango de penetración y la velocidad de rotación. Existen otras variables a tener en cuenta como es la vibración, la presión de aire y el caudal de agua.

Por lo general se dividen en dos grupos:

2.2.4.1 Variables de perforación independientes

El empuje y la velocidad de rotación, estas variables son controladas por el operador del equipo de perforación.

2.2.4.2 Variables de perforación dependientes

El rango de penetración y la fuerza de torción porque estas dependen de las características físico-mecánicas del macizo rocoso.

Es importante la disponibilidad de los equipos de perforación. En este caso la mina estudio cuenta con un promedio de disponibilidad de 85.4% y promedio de utilización de 71.2%.

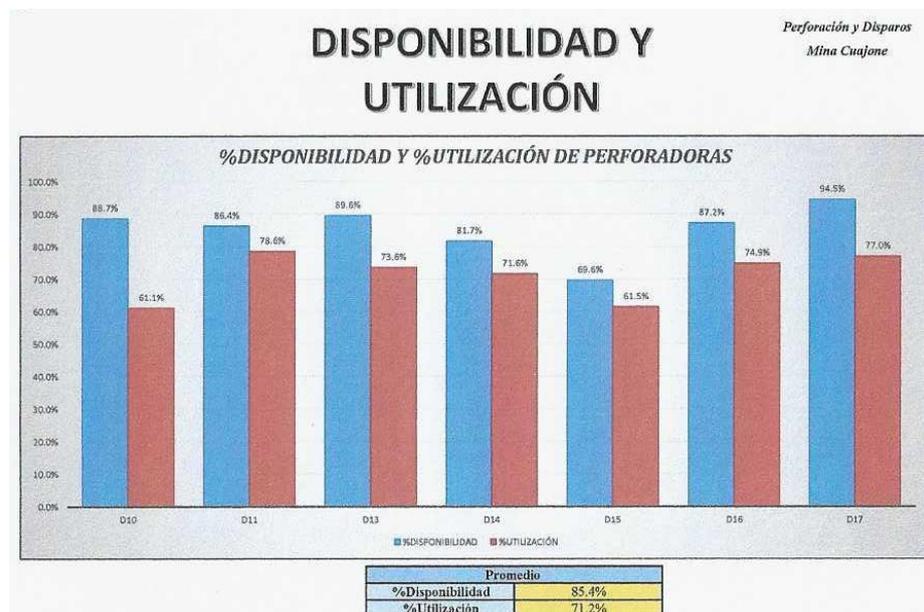


Figura N° 0-9: % Disponibilidad y utilización

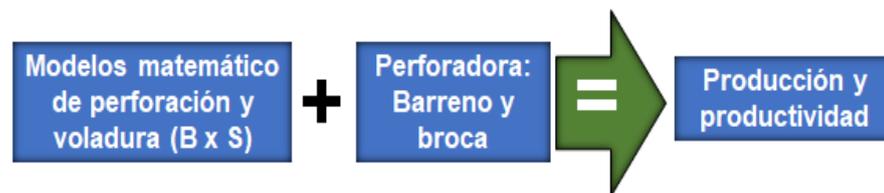
Fuente: Dpto. de mantenimiento

2.2.5 Importancia de la evacuación de los detritus

La operación minera de perforación de la mina en estudio, da mucha importancia a la evacuación de los detritus. Entonces, para obtener una eficiente perforación de los taladros, los detritus de roca formados por la perforación en los taladros, deben ser evacuados para evitar que sean triturados por los elementos cortadores de la broca; para ello se debe

suministrar una suficiente circulación de aire para evacuar dichos detritos desde el fondo de los taladros hacia la superficie. Estos salen por el área anular entre el taladro y el barreno.

También, debe suministrarse agua para controlar el polvo en el momento de la perforación.



Cuando se trata de la operación minera unitaria de perforación rotativa en tajos abiertos, se debe tener en cuenta el éxito de esta depende de una serie de factores, entre los cuales se tiene:

- Los factores relacionados directamente al equipo de perforación, tales como: el pull down, la velocidad de rotación, el desgaste prematuro de la boca, el diámetro del barreno, tipo de broca, empate en el collar y el caudal de aire necesario para la evacuación de detritos.
- Los otros factores son: las características físico mecánicas del macizo rocoso, el entrenamiento y la experiencia del perforista para lograr un paralelismo entre los taladros, lograr la profundidad y trayectoria de los taladros, etc.

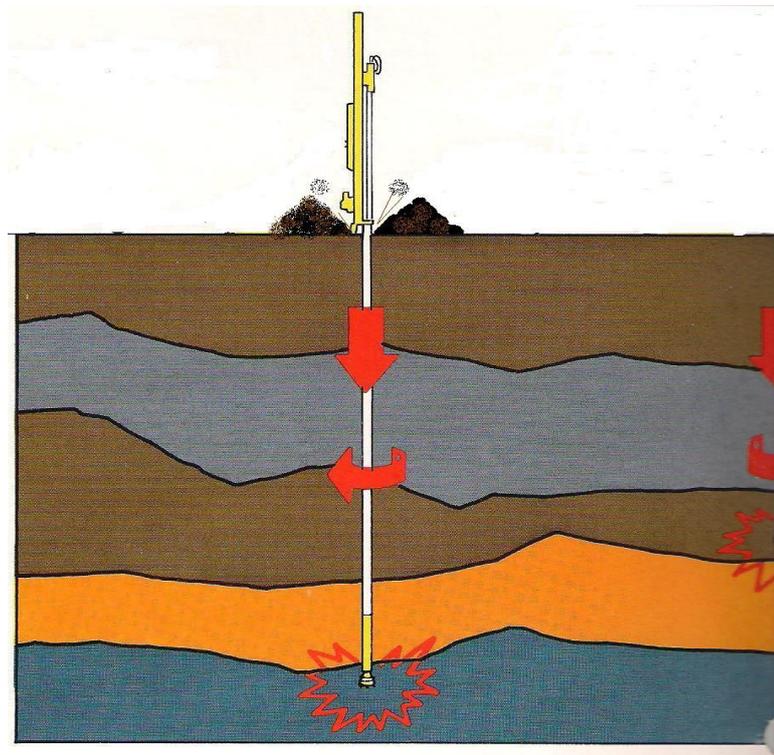


Figura N° 0-10: Evacuación de detritus

Fuente: Curso Voladura de rocas FIGMM-UNI

2.3 Voladura de Rocas

La operación minera unitaria de voladura de rocas, dentro del ciclo total de minado es determinante en cuantos a los costos operacionales. Partiendo de esta premisa se puede enfatizar que, si el proceso de la voladura de rocas tiene como producto una buena fragmentación, no habrá perforación ni voladura secundaria. De ser lo contrario se incrementarán los costos operacionales.

Entonces, netamente en la voladura de rocas previo diseño de mallas (B x S) se usan modelos matemáticos para la extracción de los minerales que se ubican dentro de los macizos rocosos, y donde el ataque mecánico (TBM) no procede por el tipo de roca y mucho menos resulta rentable, es por ello que en el mundo se usa el ataque físico-químico al macizo rocoso.

En esta mina estudio, se usa como explosivo la emulsión sensibilizada físicamente, la cual es preparada en la misma operación minera de acuerdo al tipo de macizo rocoso que se vaya encontrando a medida que se va profundizando el tajo.



Figura N° 0-11: Voladura de un banco

Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Definición

Voladura de rocas, es la segunda operación minera unitaria dentro del ciclo total de minado. Propiamente dicho, la voladura de rocas es el proceso químico, que actúa a través de la detonación de las mezclas explosivas comerciales previamente seleccionadas y diseñada la carga que va dentro de los taladros para fragmentar el macizo rocoso, de manera eficiente y cumpliendo las normativas de seguridad.



Figura N° 0-12: Voladura de rocas

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Voladura de Producción

La voladura de producción, viene a ser la voladura que se lleva a cabo para extraer los minerales que se encuentran dentro del macizo rocoso. En esta mina a tajo abierto la voladura de algunos tajos es tercerizada por empresas especializadas, y en los tajos 2, 3 y 4 lo hace la propia mina.



Figura N° 0-13: Proceso de la voladura de producción

Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Voladura de pre corte

La voladura de pre corte convencional, es para preservar la roca remanente a la labor. Es decir, el pre corte es con el objetivo de crear un plano de falla, para que en el momento de la detonación del disparo de producción no pasen las ondas a hacer daño a la roca remanente.

La mina estudio, usa el pre corte convencional, el cual tiene grandes ventajas y funciona perfectamente en los taludes.



Figura N° 0-14: Pre corte convencional

Fuente: Elaboración propia

2.3.4 Explosivos y accesorios usados en la voladura

Las mezclas explosivas comerciales que se usa en esta mina son las siguientes:

2.3.4.1 Explosivos

En primer lugar, se define que son las mezclas explosivas comerciales, las cuales están compuestas por oxidantes y combustibles.

- Entre los oxidantes más usados se tienen los siguientes: nitrato de amonio (AN), nitrato de sodio (SN), aluminio (Al), carbonato de calcio (CO₃Ca), etc.
- Entre los combustibles, se pueden mencionar los siguientes: Petróleo, Carbón, propano, Nitro metano, gas, etc.

Para sensibilizar los ingredientes anteriormente mencionados generalmente se usan explosivos intrínsecamente explosivos, tales como: nitroglicerina (NG), trinitrotolueno (TNT), pentrita (PETN), nitrocelulosa (NC), acida de Plomo, etc.

Se usa como explosivo el ANFO pesado y las emulsiones. Estas mezclas explosivas son formuladas en la propia unidad minera. Aquí se usa como ingrediente principal el nitrato de amonio de los siguientes proveedores:

- Nitrato de amonio importado de china
- Nitrato de amonio de Cachimayo (Yura)
- Nitrato de amonio de Yara
- Nitrato de amonio prillex y,
- Nitrato de amonio Acron.

Emulsiones: se usan las emulsiones sensibilizadas físicamente. Estas son formuladas de acuerdo al tipo de roca.

Las emulsiones: Fueron inventada y patentada por el Ph. D Melvin Cook. Se puede decir que la emulsión es una dispersión coloidal de una fase combustible (Fuel Oil, wax) en una solución salina (AN, SN, CaNO₃, H₂O); para impedir que se asienten al quedar en reposo, se agregan pequeñas cantidades de agentes emulsificantes (monometilaminas, sulfuros y ácidos

sulfúricos de cadena larga o coloidales liofílicos). Se ha comprobado que tiene una duración de 6 meses de vida útil y no se generan gases tóxicos al momento de la detonación, y pueden detonarse eficientemente en agua.

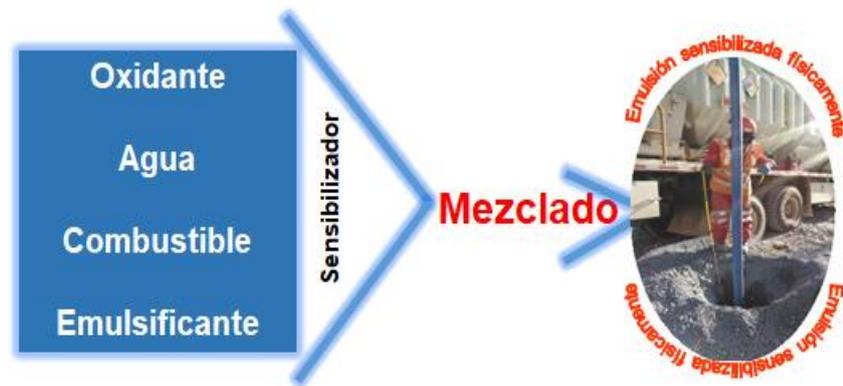


Figura N° 0-15: Formulación típica de emulsión

Fuente: Elaboración propia

ANFO pesado: Fue inventado por Melvin Cook y R. B Clay. Siendo Clay el investigador que a comienzos de la década del 80 propuso el concepto fundamental para el desarrollo de las nuevas mezclas explosivas comerciales llamadas AN/FOs pesados.

Clay, decía que el AN/FO en su composición tenía aproximadamente 50% de aire de los cuales 30% estaba dentro de los gránulos del nitrato de amonio y 70% entre los gránulos de este.

El aire que se encontraba dentro de los gránulos se aprovechaba para dar la sensibilidad; pero el aire que se encontraba entre ellos pasaba a ser un volumen perdido, con una mezcla explosiva comercial de alta densidad y resistente al agua, la mezcla explosiva comercial resultante tendrá mayor densidad y mayor resistencia al agua que el AN/FO con un costo adicional mínimo.

Con este concepto básico de Clay se ha desarrollado en forma impresionante toda la tecnología acerca de los AN/FOs pesados y actualmente se continúan usando obteniéndose buenos resultados en la voladura de rocas.

Entonces, el AN/FO pesado puede ser definido como un explosivo de la nueva generación, y que está compuesto por una mezcla de emulsión y AN/FO.

Aprovechando los intersticios vacíos de los prills del NO_3NH_4 del AN/FO. Dichos intersticios son rellenados con una emulsión matriz resultando el AN/FO pesado.

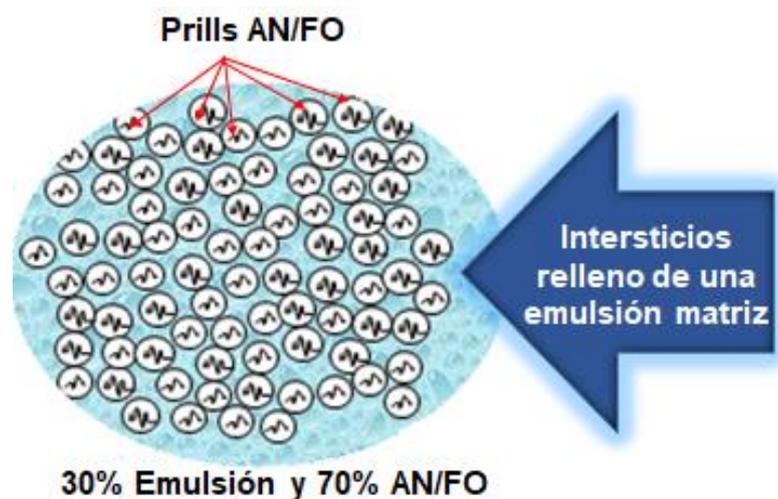


Figura N° 0-16: Concepto de ANFO pesado

Fuente: Curso de voladura de rocas

2.3.4.2 Accesorios

Los accesorios de voladura son el complemento de las mezclas explosivas comerciales. Sin estos accesorios no se podría iniciar de manera segura y eficiente un disparo primario.

En las operaciones de la mina estudio, usan el sistema de iniciación no eléctrico, cuyos accesorios de voladura son los siguientes:

- Fulminantes # 6 y 8
- Booster: HDP-1, HDP-2
- Retardos de superficie MS: 17, 25, 42, 65 y 200
- Mecha de seguridad
- Cordón detonante: 3P, 5P y 5GR
- Fanel

A continuación, se definirá los accesorios de voladura que se usan en esta unidad minera.

a) Fulminantes

Estos accesorios de voladura consisten en una cápsula cilíndrica de aluminio, cuya capsula tiene un extremo cerrada donde se carga la mezcla explosiva comercial.

Los fulminantes comunes se clasifican en: N° 6 y 8. El numero 8 tiene mayor carga explosiva.



Figura N° 0-17: Fulminantes comunes

Fuente: Famesa

b) Booster

Son explosivos que en su composición contienen explosivos intrínsecamente explosivos, tales como TNT, PETN, etc. Los cuales son usados para iniciar a los agentes de voladura, y tiene una VOD de 180 Kbars. En la unidad minera donde se desarrolla la tesis, se usan boosters HDP-1, HDP-2.



Figura N° 0-18: Booster

Fuente: Famesa

c) Retardos de superficie

Este accesorio de voladura consiste en un dispositivo plástico que en su interior lleva un fulminante de retardo. Se usa para dar la secuencia de salida de los disparos primarios. En la mina estudio se usan los siguientes: MS: 17, 25, 42, 65 y 200.

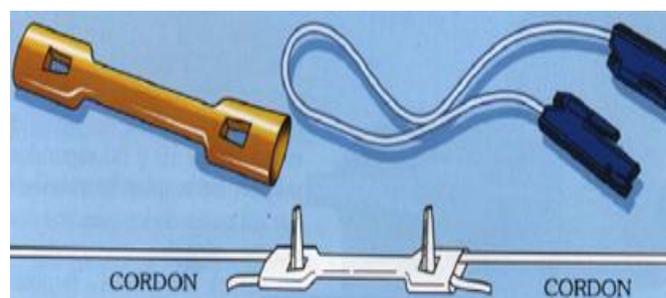


Figura N° 0-19: Retardo para cordón detonante

Fuente: Wikidot

d) Mecha de seguridad

Se define como un medio a través del cual una llama es transportada continuamente a una velocidad uniforme para proveer y propiciar la iniciación de una mezcla explosiva comercial (MEC), ya sea directa o indirectamente.

El núcleo de la mecha de seguridad está conformado por una cantidad de pólvora negra, la cual debe iniciar a las MEC que están cargadas dentro de un fulminante común (PENT y Acida de Pb); para luego iniciar a las MEC detonantes.

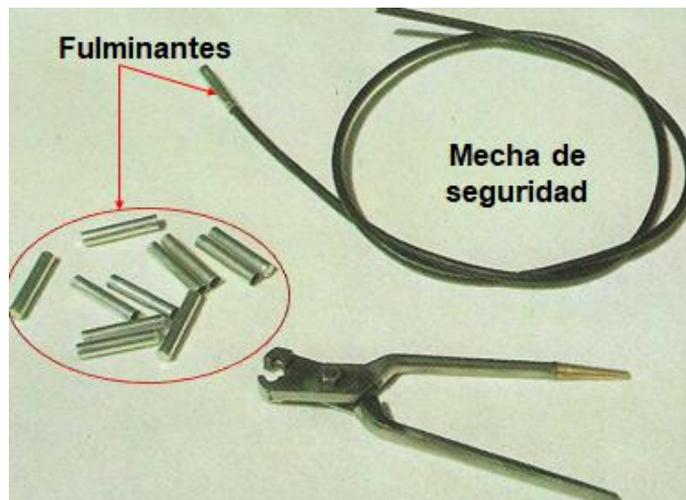


Figura N° 0-20: Mecha de seguridad

Fuente: ERT Inc

e) Cordón detonante

Este accesorio de voladura es un cordón flexible y resistente a la tracción, constituido por un núcleo continuo de un alto explosivo (pentrita - PETN), recubierto por capas protectoras textiles y sintéticas, todo lo cual está protegido por un material adecuado para darle la impermeabilidad necesaria y pueda trabajar en las condiciones más severas.

Este accesorio de voladura, se emplea para iniciar una o varias mezclas explosivas comerciales simultáneamente, puede ser simple o reforzado.

Es por ello que en esta unidad minera se usan los: 3P, 5P y 5GR, los cuales se usan dependiendo las condiciones de trabajo. En un disparo primario el cordón detonante detona y de inmediato inicia al fanel.



Figura N° 0-21: Cordón detonante

Fuente: Extraco SA

f) **Fanel**

Es producto peruano manufacturado con los mismos principios y ventajas del sistema NONEL, hecho por fabricantes peruanos (Famesa y Exsa). Este accesorio de voladura inicia a la mezcla explosiva comercial que esta al fondo del taladro y por simpatía inician los otros explosivos.

Tiene los siguientes componentes:

- Manguera fanel
- Fulminante de retardo
- La etiqueta

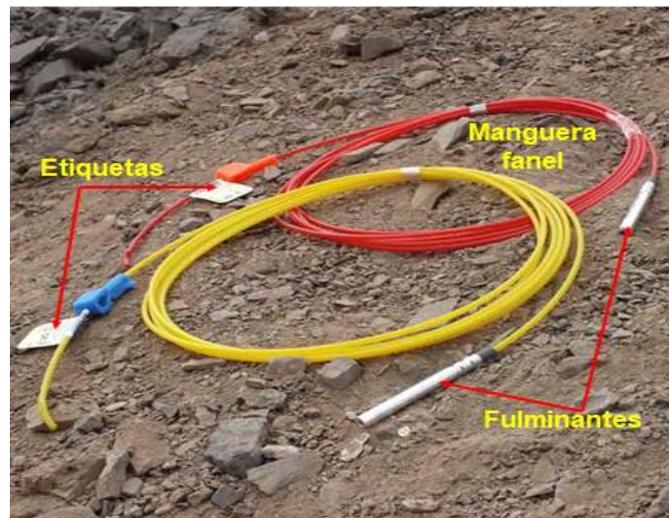


Figura N° 0-22: Fanel y sus componentes

Fuente: Famesa

2.3.5 Variable Fragmentación

La tan ansiada fragmentación “óptima” del macizo rocoso como producto de la voladura de roca en un disparo primario es el inicio del proceso para la recuperación del mineral. La fragmentación es la clave de éxito de una voladura, la cual determina los costos operacionales y la continuación del proceso de las demás operaciones mineras dentro del ciclo total de minado. Para lograr una adecuada fragmentación, esta depende de varios parámetros, tales como:

- Características físico-mecánicas del macizo rocoso (RQD, RMR, Q de Barton, densidad de la roca, existencia de agua subterránea, porosidad, la resistencia a la tensión, resistencia dinámica, contactos, fallas, pliegues, rellenos, la presencia de minerales sulfurados, etc.)
- Los parámetros de resistencia de la roca (cohesión y ángulo de fricción interna)

- Las constantes elásticas (módulo de Bulk, módulo de Young, módulo de Lamé)
- Las propiedades y especificaciones técnicas de los explosivos (densidad del explosivo, VOD, impedancia, etc.)
- La selección del modelo matemático para el diseño de las mallas de perforación y voladura (B x S)
- El diseño de carga
- La destreza del perforista
- La eficiencia del equipo de perforación, entre otros.

Entonces, se puede decir que las operaciones binomiales de perforación y voladura son los parámetros determinantes en los indicadores de rendimiento en la producción de la extracción de los minerales. No obstante, la calidad de la granulometría de la fragmentación de la roca es función directa de lo antes mencionado y determinante para el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo.

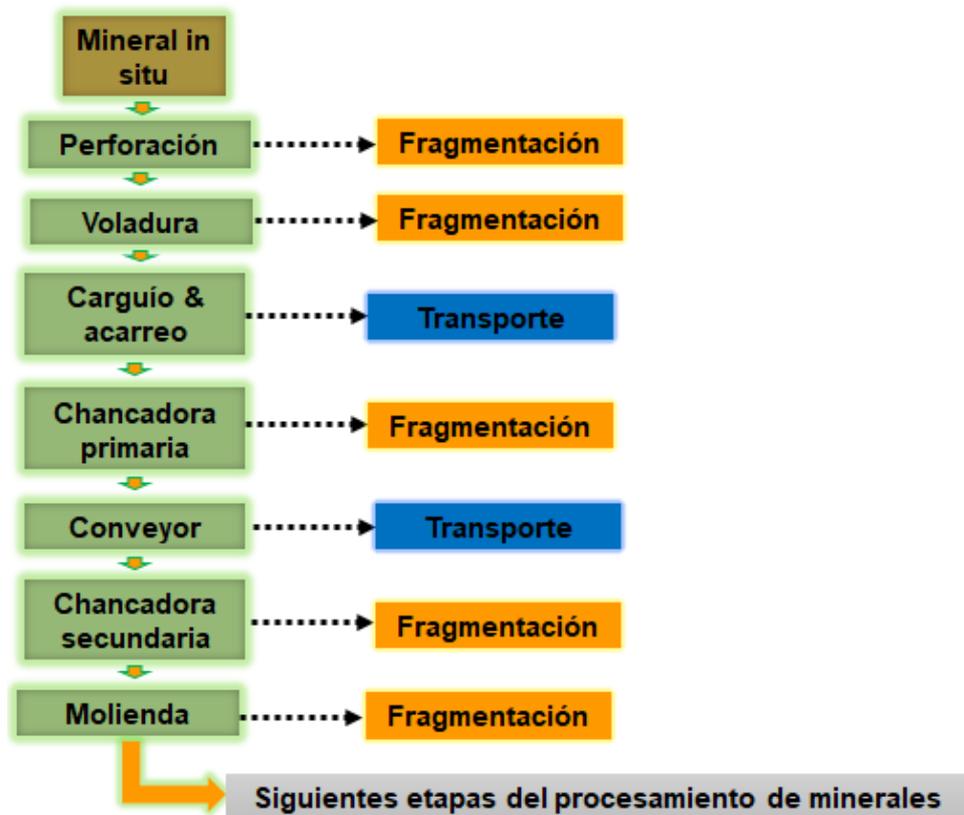


Figura N° 0-23: Variable fragmentación

Fuente: Curso Voladura de Rocas



Figura N° 0-24: Fragmentación adecuada

Fuente: Información propia

2.4 Teoría de Colas

La teoría de colas se relaciona con el estudio matemático de las líneas de espera. La formación de las líneas de espera es un fenómeno común que ocurre siempre y cuando la demanda actual de un servicio exceda la capacidad actual para proveer el servicio. Las decisiones respecto a la capacidad de proveer son hechas frecuentemente en cualquier tipo de industria.

Sin embargo, debido a que es imposible predecir con mucha precisión cuando las unidades llegaran para buscar el servicio y/o cuanto tiempo será requerido para proveer el servicio son decisiones difíciles de tomar. Proveer demasiado un servicio implicaría costos excesivos. Por otro lado, no proveer la capacidad del servicio suficiente causaría que la línea de espera se convierta en una cola excesivamente larga.

La espera excesiva también es costosa en algunos sentidos, incluso si es un costo social, este costo es una pérdida para los clientes, empleados, etc.

La teoría de colas es el estudio matemático de las líneas de espera (o colas) permitiendo el análisis de varios procesos relacionados como: la llegada al final de la cola, la espera en la cola, o también matemática etc.

La teoría de colas generalmente es considerada una rama de investigación operativa porque sus resultados a menudo son aplicables en una amplia variedad de situaciones como: negocios, comercio, industria, ingenierías, transporte y telecomunicaciones. En el contexto de la informática y de las nuevas tecnologías estas situaciones de espera son más frecuentes.



Figura N° 0-25: Carguío y acarreo

Fuente: Elaboración propia

2.4.1 Origen

El origen de la Teoría de Colas, está en el esfuerzo de Agner Kraup Erlang (Dinamarca, 1878 - 1929) en 1909 para analizar la congestión de tráfico telefónico con el objetivo de cumplir la demanda incierta de servicios en el sistema telefónico de Copenhague. Sus investigaciones acabaron en una nueva teoría denominada teoría de colas o de líneas de espera. Esta teoría es ahora una herramienta de valor en negocios debido a que un gran número de problemas pueden caracterizarse, como problemas de congestión llegada-salida (Wolff, R. W. 1965).

2.4.2 Definición

Una cola es caracterizada por el máximo número de clientes permitido que pueda contener, generalmente en minería se refiere a colas finitas.

La teoría de colas es un estudio matemático de las líneas de espera. A través de este estudio es posible aislar algunos factores, tales como:

- La longitud promedio de la línea de espera (cuántas unidades están en la cola)
- El tiempo promedio que una persona, elemento, máquina, evento, molécula, etc., etc., debe esperar en la cola antes de ser atendido
- El número estimado de elementos en el sistema total.
- El tiempo estimado que un elemento estará en el sistema total
- Las probabilidades asociadas con eventos específicos creados por la línea de espera, y muchas otras características.

2.4.3 Características

Las principales características de los procesos de las líneas de espera son las siguientes:

- Forma de llegada de los clientes
- Forma de dar el servicio por los que lo ejecuten
- Disciplina que debe mantenerse en la cola
- Capacidad del sistema
- Número de canales para dar el servicio
- Número de etapas para dar el servicio

2.4.4 Estructura básica del modelo de colas

El proceso básico asumido por la mayoría de modelos de colas es el siguiente: “clientes” requieren servicios que sean generados por los “recursos de entrada”.

Estos clientes entran al sistema de colas y se unen a esta, a veces un miembro de esta cola es seleccionado por una regla conocida por disciplina

del servicio. El servicio requerido es llevado a cabo por el cliente por un mecanismo de servicio, después que dicho cliente deja el sistema de colas.

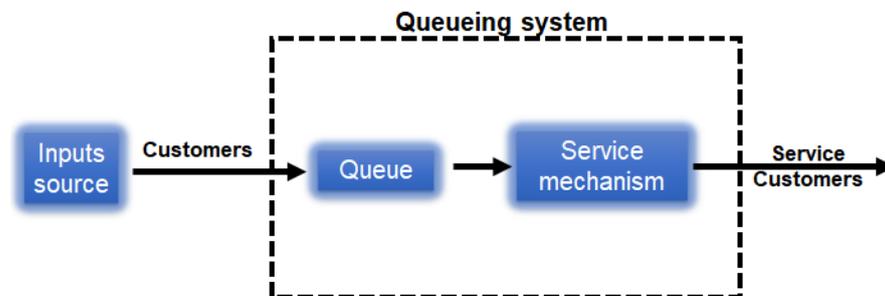


Figura N° 0-26: Proceso básico de colas

Fuente: (Hillier, 1974)

2.5 Fuente estadísticas usadas en teoría de colas

Las distribuciones que usa el modelo matemático de teoría de colas, son las siguientes:

2.5.1 La distribución de Poisson

De acuerdo a (Neville, 1964), la distribución de Poisson representa la probabilidad de un evento separado que ocurre un número específico de veces en un intervalo de tiempo o espacio dado cuando la tasa de ocurrencia del tiempo continuo está fija.

Los eventos se encuentran afectados por una sola oportunidad y, por lo tanto, la distribución de Poisson, es tal que la información acerca de la posición de uno de los eventos no predice la posición de otro evento específico.

2.5.2 La distribución normal

La curva de la ecuación de la distribución normal puede ser descrita de muchas formas. Si se requiere una curva de frecuencia de una distribución

normal, la ecuación necesariamente debe satisfacer la condición que el área bajo la curva es igual al total del número de observaciones N, según (Neville, 1964).

2.5.3 La función exponencial

En esta distribución el intervalo de tiempo es de una longitud variable, cuya media es $1/\lambda$. Siendo una constante positiva. Matemáticamente esta distribución está expresada como sigue:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

2.5.4 La distribución de Erlang

Matemáticamente esta distribución está expresada como sigue:

$$F(x) = \int_0^x f(t) dt$$

$$\text{Donde: } f(x) = \frac{(\lambda K)^K x^{K-1} e^{-\lambda K x}}{\delta(K)}$$

K y λ son constantes positivas con $K \geq 1$.

2.6 Distribución estadística usadas en la teoría de colas

De acuerdo al texto bibliográfico Investigación de operaciones, (Agreda, 1994). Estas distribuciones son las siguientes:

2.6.1 La distribución de llegadas

Que describe el tipo de llegadas, es decir, los intervalos de tiempo que transcurren entre llegadas de dos usuarios al punto A, donde se inicia la cola para solicitar el servicio. Así mismo, hay varios tipos de llegadas o entradas, las cuales se describen a continuación.

- Regulares: Cuando las llegadas se realizan a iguales intervalos de tiempo.
- Irregulares: Cuando las llegadas son separadas por intervalos de tiempo desiguales pero conocidos.
- Aleatoria (Random): Cuando las llegadas son separadas por intervalos de tiempo desiguales cuyas probabilidades son conocidas.
- No estacionarias: Cuando la probabilidades de las llegadas está en función del tiempo.
- Estacionarias: Cuando el rango de las llegadas es el mismo en cualquier tiempo o durante un periodo de tiempo dado, etc.

2.6.2 Accesorios de las perforadoras

Que describe el tiempo del servicio. Es la distribución del tiempo que se emplea en servir a los usuarios en el punto P de servicio dado. Además, algunos tipos de servicios importantes son:

- Constante: Por ejemplo un elemento de máquina en algún proceso podría funcionar en un tiempo prefijado.
- Variable: En este caso la longitud del servicio podría variar pero el modelo podría ser conocido.
- Aleatoria (Random): En este caso la probabilidad debe ser conocida debido a que los tiempo de servicio podrían ser de longitudes irregulares y de una probabilidad desconocida.

2.7 Formulación usada en líneas de espera

Estas se clasifican en:

2.7.1 Una línea – Un canal de servicio

Pertenece a la Población infinita. En este caso, las fórmulas a usarse serán las siguientes:

Hay cero unidades en el sistema, cuando el rango de las llegadas λ y del servicio μ son dados

$$P_0(t) = 1 - \frac{\lambda}{\mu} = P_r \quad (1)$$

Hay n unidades en la línea de espera más siendo servidas.

$$P_n(t) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0(t) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) = P_r \quad (2)$$

Numero esperado de unidades siendo servidas más esperando

$$E_n = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (3)$$

Numero esperado de unidades en la cola (longitud de la línea de espera no incluyendo las que están siendo servidas)

$$E_w = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (4)$$

Tiempo esperado en la cola

$$E_t = \frac{E_w}{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \quad (5)$$

Tiempo esperado en el sistema

$$E_\psi = E_t + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{(\mu - \lambda)} =$$

$$P = (N > n) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n+1} =$$

Pr (el número de unidades en la línea de espera más las que están siendo servidas es mayor que n).

En esta última formula puede ocurrir lo siguiente:

$$P(N > n) \text{ cuando } n = 0 \therefore P(N > 0) = P(1 - P_0) = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$P(N > 1) = P[1 - (P_0 + P_1)] = 1 - \left[1 - \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda(1 - \lambda)}{\mu}\right] = \frac{\lambda^2}{\mu}; \text{ etc.}$$

En este tipo de problemas las restricciones serán las siguientes: $\lambda/\mu < 1$; si esto no se cumple $P_n(t)$ no será independiente de (t).

Disciplina establecida para recibir el servicio: FIFO

2.7.2 Una línea – Un canal de servicio

Pertenecen a la Población finita. En este caso, las fórmulas a usarse serán las siguientes:

$$P_n = \binom{m}{n} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 \text{ para } 0 \leq n \leq s \rightarrow (1)$$

$$P_n = \frac{m!}{(m-n)!} \left[\frac{\lambda}{\mu}\right]^n P_0 \text{ para } s \leq n \leq m \rightarrow (2)$$

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{m!}{(m-n)!} \left[\frac{\lambda}{\mu}\right]^n \text{ para } s \leq n \leq m$$

Como se puede apreciar en las fórmulas (1) y (2) anteriores para poderlas usar se debe conocer P_0 y por otro lado se sabe que:

$$\sum_{n=0}^m P_n = 1, \text{ de donde } \left[\frac{1}{P_0} \sum_{n=0}^m P_n P_0 \right] = 1$$

Por lo tanto:

$$P_0 = \frac{1}{\frac{1}{P_0} \sum_{n=0}^m P_n} = \frac{1}{\sum_{n=0}^m \frac{P_n}{P_0}}$$

$$P_0 \frac{1}{\sum_{n=0}^m \frac{P_n}{P_0}}$$

$$E_w = m - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} (1 - P_0)$$

$$E_t = \frac{1}{\mu(1 - P_0)} (E_w) = \frac{\lambda}{\mu} \left[\frac{m}{1 - P_0} - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} \right]$$

$$E_n = E_w + (1 - P_0) = m - \frac{\mu}{\lambda(1 - P_0)}$$

$$E_\psi = E_t + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu}$$

Las restricciones en este caso serán las siguientes:

$\lambda/\mu < 1$. Disciplina establecida para dar el servicio. FIFO

2.7.3 Una línea - Múltiples canales de servicio

Formulas usadas para analizar y solucionar problemas de las líneas de espera del tipo:

$$P_0(t) = \left\{ \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \left[\frac{1}{s!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s \left(\frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right) \right] \right\}^{-1}$$

$$P_n(t) = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0(t) \text{ para } n < s$$

$$P_n(t) = \frac{1}{s! s^{n-s}} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0(t) \text{ para } n \geq s$$

$$E_w = \frac{\lambda \mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{(S-1)!(S\mu - \lambda)^2} P_0(t)$$

$$E_t = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{(S-1)!(S\mu - \lambda)^2} P_0(t) = \frac{E_w}{\lambda}$$

$$E_n = \frac{\lambda \mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{(S-1)!(S\mu - \lambda)^2} P_0(t) + \frac{\lambda}{\mu} = E_w + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$E_\psi = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{(S-1)!(S\mu - \lambda)^2} P_0(t) + \frac{1}{\mu} = E_t + \frac{1}{\mu}$$

Las restricciones para este tipo de problemas son las siguientes:

$P = \lambda/S\mu < 1$ ó $\lambda/\mu < S$. Disciplina establecida para dar el servicio: FIFO.

2.8 Sistemas de colas con un solo servidor

En un sistema de colas con un solo servidor, se hacen las siguientes suposiciones con respecto al rango en que los clientes llegan y el rango de servicio de los clientes.

2.8.1 Suposición 1

Llegadas de clientes: Se supone que los clientes llegan de acuerdo a una distribución de Poisson. Esto es.

A = Número de clientes que llegan en un intervalo específico de tiempo.

Entonces: $P\{A = n\} = \frac{e^{-\lambda} \lambda^n}{n!}, (n = 0, 1, \dots)$

Donde λ es el rango esperado (promedio) de llegada en un intervalo específico de tiempo.

La suposición de que los clientes lleguen para ser servidos de acuerdo a una distribución de Poisson implica lo siguiente:

Las llegadas ocurren “aleatoriamente”. La probabilidad de una llegada durante un intervalo específico de tiempo permanece constante y es independiente del número de llegadas previas y de la duración del tiempo de espera.

2.9 Tajos operados por mina estudio

Esta mina es explotada por el método a tajo abierto, tiene como parámetros de diseño de minado extraer por niveles (bancos) de cada 12 metros con un ancho mínimo de operación de 25 metros, con rampas de 8 a 10% y con berma de seguridad cada 3 bancos con un ancho máximo de 15 m. El mineral primario tiene un buzamiento al norte es por tal motivo que tiene como ángulo de inclinación del talud lado norte de 52°.

Las principales unidades de explotación de mineral son las minas 3-4-5-7-9 y 10 que abastece de mineral primario (PO): FG - CG, en mina 5 el mineral primario FGR, en mina 7 de cuarcita y mina 9-10 de mineral oxidado y transicional. Las características de estos tajos se muestran en la tabla siguiente.

Tabla N° 0-3: Características- Tajo

Tajo o Mina		3	4	5
Largo (m)		450	1200	1260
Ancho (m)		670	850	760
Profundidad (m)		288	348	408
Reservas minables (Tm)		13313662	78849312	79525978
Rampas (%)		8	8	8
Altura de bancos (m)		12	12	12
Bancos extraídos		11	12	21
Bancos por extraer		12	16	12
Angulo talud promedio	Caja piso (°)	45	45	45
	Caja techo (°)	52	52	52

Fuente: Elaboración propia.

2.9.1 Tajo 2

Conocido también como Mina 2 tiene el cuerpo mineralizado con buzamiento hacia el Nor-Este, y geológicamente está cortado por dacitas, andesitas y pequeños diques básicos. El mineral económicamente remanente es primario formado por magnetita con sulfuros de Hierro y leyes bajas de Cobre.

Las reservas son predominantes de mineral primario del tipo CG y FG. Las reservas minables al 30/09/2016 son de 13'464,845 TM del LFP.

2.9.2 Tajo 4

Este tajo o mina 4 se encuentra ubicada muy cerca de las plantas de chancado 1 y 2 por su ubicación estratégica es considerada como la principal fuente de abastecimiento de mineral.

El cuerpo geológico de esta mina es muy complejo, con la presencia de muchas fallas de los sistemas Repetición y La Huaca, así como la presencia de diques de diversa composición que desplaza y disloca al cuerpo de mineral, reduciendo y limitando su continuidad.

Es importante mencionar que la Compañía China Jindy en razón a un contrato firmado con la mina estudio realizó una campaña exploratoria de 21 taladros diamantinos en Mina 4, que permitió perforar 8,312 mts, que han servido para recalcular sus reservas y actualizar su diseño y futuras ampliaciones. Así también, en el año 2010 se ejecutaron 2 taladros diamantinos con un total de 730.46 mts perforados por la Empresa Prospección Minera y Geológica Shoukan S.R.L. Sus reservas minables al 30/09/2018 son de 21´409,660 TM del LFP.

Es en este tajo que se está trabajando y se ha tomado la data para el desarrollo de esta tesis. Donde la pala P&H carga los camiones, los cuales viajan a la planta 2 a una distancia de 3.57 Km y al botadero a una distancia de 3.57 Km respectivamente, claro que esta distancia depende del nivel de profundización del tajo.

2.10 Operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo

2.10.1 Indicadores clave de desempeño (KPI)

De acuerdo a Reátegui (2014). Estos indicadores comúnmente denominados "KPI" por sus siglas en inglés (key performance indicator), miden el nivel de rendimiento de un proceso y su objetivo es alcanzar las metas fijas trazadas, los resultados indican la eficiencia de los procesos.

Es de gran importancia en los proyectos la medición de indicadores para poder realizar mejoras continuas, toma de decisiones, hacer comparativos con otras empresas, ser

organizaciones competitivas y lo que es primordial culminar el proyecto generando ganancia para la empresa.

2.10.2 Gestión de tiempos

(Ramirez, 2006), indica que la gestión de tiempos es una actividad básica en el proceso productivo y consiste en el aprovechamiento al máximo del tiempo en las actividades productivas, ya que el tiempo es un recurso no renovable y obteniéndose de manera gratuita. La gestión del tiempo se basa en el estudio minucioso del empleo en la jornada diaria durante la ejecución de labores productivas, dirigida a optimizar el tiempo, estableciendo un equilibrio razonable de la jornada por medio de la obtención de datos sobre el tiempo en demoras y estableciendo metas de tiempo de trabajo efectivo. La gestión del tiempo ayuda a clasificar de manera adecuada las diversas paradas, actividades que los equipos; para la evaluación de los indicadores de desempeño, saber en qué área de soporte se necesita hacer una mejora inmediatamente.

Tabla N° 0-4: Distribución de tiempos Mina

Tiempo Total				
Tiempo programado				Tiempo no programado
Tiempo disponible		Tiempo no disponible		
Operando Efectivo (Motor Encendido)	Demoras Operativas (Motor Encendido)	Demoras no Operativas (Motor Apagado)	Programado (Planeado)	Correctivo (No planeado)

Fuente: Propia

2.10.3 Disponibilidad física (DF)

De acuerdo a los estudios de (Gamarra, 2009) y (STRACOMGYM, 2014) señalan que, este indicador como la eficiencia del área de mantenimiento. Este indicador dice que porcentaje del tiempo total programado el equipo está listo para desempeñar cualquier labor para el que está diseñado.

$$DF = \frac{\text{Horas programadas} - \text{Horas Mantenimiento}}{\text{Horas Programadas}} \times 100\%$$

Donde:

Horas Programadas: Se toma 24 horas/día y 365 días/año.

Horas Mantenimiento: Se consideras las horas de mantenimiento correctivo y programado.

2.10.4 Utilización (U)

De acuerdo a (Marther, 2005), la utilización brinda los medios para expresar el tiempo horómetro en función al tiempo programado expresada en porcentaje.

$$U = \frac{\text{Horas operación}}{\text{Horas Programadas}} \times 100\%$$

Donde:

Horas Operaciones: Horas del equipo realizando trabajos, este tiempo incluye operando efectivo y demora operativa.

Horas Programadas: Se considera 24 horas/día y 365 días/año

2.10.5 Match Factor (MF o factor de acoplamiento)

Es la relación existente entre la capacidad de producción de un equipo de transporte de movimiento de tierras (mineral), con respecto a la capacidad de carga dispuesta para dicho equipo de acarreo.

$$MF = \frac{\text{Producción Equipo de Acarreo}}{\text{Producción Equipo de Carguío}} = \frac{N.P \text{ Camión}}{C.P \text{ Pala}}$$

Donde:

N = número de camiones

C = número de Palas

P. camión = Producción de un camión

P. Pala = Producción de una Pala

2.10.6 Carguío

Una vez realizado el disparo y la limpieza del área de las rocas grandes es decir la llamada bolonería (cuando es necesario hacer perforación y voladura

secundaria se usa algún equipo auxiliar como el martillo hidráulico CAT modelo H180DS). Luego las palas comienzan a cargar el material fragmentado a los camiones, llevando el mineral a las plantas y el desmonte a la canchas o botaderos.

Las palas son eléctricas marca P&H en total 10 palas, cuyos modelos son:

- 2 palas con capacidad de cuchara de 4.6m³
- 2 palas con capacidad de cuchara de 7.9m³
- 6 palas con capacidad de cuchara de 9.11m³ (2100B/BL)
- 1 cargador frontal Komatsu
- Un cargador frontal CAT.

Las palas modelo 1900 y 2100 se les puede cambiar de cuchara, según la necesidad de la operación, siendo su capacidad de cuchara de 10, 12, 15, 20 Tm respectivamente.



Figura N° 0-27: P&H 16
Fuente: Elaboración propia



Figura N° 0-28: P&H 34
Fuente: Elaboración propia



Figura N° 0-29: P&H 32



Figura N° 0-30: P&H 36

2.10.7 Acarreo

Las palas cargan el material fragmentado a los camiones, dicha flota cuenta con 35 de camiones, cuyas capacidades nominales son:

- 5 Euclid con capacidad de tolva de 130 Tm
- 24 CAT con capacidad de tolva de 150 Tm
- 1 Terex con capacidad de tolva de 150 Tm

Estos camiones se estacionan estratégicamente al lado de las palas, y una vez cargado según el tipo de material se dirigen a las plantas o botaderos.

Las velocidades de desplazamiento de estos camiones, depende de la carga y de la pendiente a subir; las velocidades en pendientes oscilan entre 6 a 10 millas por hora, en camino plana oscila entre 20 a 30 millas por hora.



Figura N° 0-31: Camión Euclid 277

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 0-32: Camión CAT 309

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 0-33: Camión Terex 401

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se toma como referencia la información concerniente al modelo matemático llamado teoría de colas y a la investigación aplicada, dando una breve explicación al procedimiento en que se fundamenta la presente tesis

3.1 Metodología

La presente tesis se clasifica en una investigación científica aplicada con enfoque del orden cuantitativo, en la cual se establece un proceso algorítmico, de acuerdo a (Roberto Hernández Sampieri, 2014).

3.2 Tipo de Investigación

Esta tesis se enmarca en la investigación aplicada, la cual está orientada a resolver los problemas de una determinada zona, y también se llaman aplicadas porque se basan en los resultados de la investigación básica (Humberto Ñaupas Paitan, 2013).

En el caso, como se trata de las operaciones mineras unitarias de carguío y acarreo, usando el sistema pala-camión. En este sistema aplicando el modelo matemático de teoría de colas se logrará reducir los tiempos de espera de los camiones para ser cargados por las palas, tal como se muestra en las tablas del capítulo IV.



Figura N° 3-1: Sistema pala camión

Fuente: Elaboración propia

3.3 Alcance de la Investigación

Después de haber analizado la metodología propuesta por (Roberto Hernández Sampieri, 2014), se puede decir que esta tesis se ubica dentro del enfoque cuantitativo. Entonces, se estaría hablando de un alcance de investigación explicativa, según la figura 3,2.



Figura N° 3-2: Alcance de la investigación cuantitativa

Fuente: (Roberto, 2014)

De acuerdo al proceso de la investigación cuantitativa, en la tesis se abordó un alcance explicativo, al pretender reducir los tiempos en la línea de espera de los camiones para ser cargados por la pala, en este sistema es muy importante analizar estos tiempos porque en los equipos de carguío y acarreo está en juego millones de dólares en inversión.

3.4 Diseño de la Investigación

En cuanto al diseño de la investigación no experimental se refiere a una estructura, en este caso la estructura de la tesis, donde se determina que variables van a ser estudiadas. Por ejemplo, en el modelo de teoría de colas la variable es el tiempo en el sistema pala-camión.



Figura N° 3-1: Diseño de la investigación no experimental

Fuente: (Humberto, 2013)

De acuerdo a (Humberto, 2013), esta tesis encuadra en el diseño de investigación no experimental explicativa. En cuanto al desarrollo de la tesis se refiere a la influencia del tiempo en la línea de espera en el sistema pala-camión en las operaciones mineras de carguío y acarreo.

3.5 Técnicas de Investigación

Se usaron las fuentes documentales como las bibliografías (textos bibliográficos de especialidad en teoría de colas, estadística), iconográficas como la toma de fotografías concernientes del sistema pala-camión y manuscritos como la toma de tiempos durante del carguío de la pala al camión en la mina 4. Dichos tiempos fueron tomados en manuscritos y luego ingresados al archivo Excel.

El tiempo promedio que se encontró en el carguío y acarreo del sistema pala camión de la data histórica para el camión Euclid fue de 6.479 minutos y para el camión CAT fue de 6.611 minutos, esto está en función de la capacidad de la tolva del camión. Después de una constante supervisión y aplicación del modelo matemático teoría de colas se obtuvo un tiempo promedio de El tiempo promedio que se encontró en el carguío y acarreo del sistema pala camión para el camión Euclid fue de 3.522 minutos y para el camión CAT fue de 5.366 minutos, esto está en función de la capacidad de la tolva del camión.

3.6 Población y muestra

La población y muestra se determinaron en la mina 4 cuya explotación es por el método a tajo abierto. Para ello, primero se debe aclarar conceptos.

3.6.1 Población

“No es más que aquel conjunto de individuos o elementos que podemos observar, medir una característica o atributo” (Celorrio, 1992).

Teniendo en cuenta este concepto, de la mina 4 en estudio se ha tomado como población la data de los tiempos históricos de registros de tiempos para

camiones Euclid 272 y CAT 313, mientras que para la data actual se tomó los tiempos del camión Euclid 263 y CAT 305.

3.6.2 Muestra

De acuerdo a (Egg, 1995) la muestra es una “parte o fracción representativa de una población, universo o colectivo, que ha sido obtenida con el fin de investigar ciertas características del mismo”.

No todas las llegadas ni todos los servicios se pueden simular mediante una poisson/exponencial. Existen otras distribuciones que se ajustan mejor a otros procesos reales.

Por ejemplo: si las ocurrencias pueden tomar valores dentro de un rango continuo, las distribuciones son de tipo continuo. En teoría de colas son especialmente adecuadas para representar intervalos de tiempo entre eventos consecutivos.

Es función del modelador elegir la función que mejor se ajusta a la realidad, y que permite obtener resultados razonables.

En la práctica se puede considerar que son necesarios tres elementos:

- Conocer todas las distribuciones para tener un conocimiento claro de las posibilidades de caracterización una determinada distribución.
- Conocer un procedimiento para establecer, vía inferencia estadística, cual es la distribución de una determinada muestra.
- Ser capaz de calcular la media y la desviación típica (y con ella el coeficiente de variación) de un proceso en función de una muestra.

Teniendo este concepto de muestra para esta investigación se ha usado la tabla de números aleatorios y ha tomado tres muestras de la población antes y después respecto a los registros de tiempos.

3.7 Estrategia para prueba de hipótesis

En esta tesis, se realizó la estadística de prueba de t de Student, tanto para el registro de tiempos como data que se encontró y el registro de tiempos después de la aplicación del modelo matemático teoría de colas en el sistema pala-camión.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta mina estudio es explotada por el método tajo abierto, se ubica al sur de Lima, cuyo mineral es el hierro. Para llevar las operaciones binomiales de carguío y acarreo se hace mediante el sistema pala-camión.

Para el desarrollo de la tesis en el orden de investigación científica aplicada, se ha tomado la data de los tiempos del tajo 4 o también conocido como Mina 4, cuyo material fragmentado es acarreado a la planta 2 si es mineral y al botadero si es desmonte. Las distancias de la mina 4 hacia la planta 2 y botadero es de 3.57 Km respectivamente.

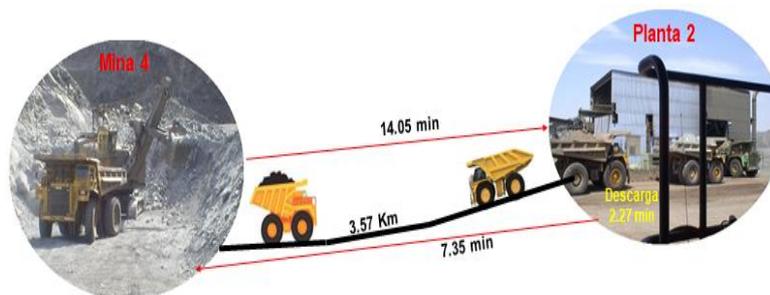


Figura N° 0-1: Distancia de Mina 4 a la planta 2

Fuente: Elaboración propia

La mina estudio, tiene una flota de camiones y palas, las cuales se muestran en las tablas siguientes.

Tabla N° 0-1: Capacidad de camiones

Marca	Modelo	Código camión N°	Capacidad Tm
Euclid	R130M	260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274	130
	R130B	275, 276, 277	130
CAT	785B	300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309	150
	785C	310, 311, 312, 313	150
Terex	MT3300AC	400, 401, 402, 403	150

Fuente: Propia

Se debe tener en cuenta la capacidad de fábrica tanto de los camiones como de la cuchara de la pala, que produce una variación in situ por el factor esponjamiento del material fragmentado.

Entonces, teniendo la capacidad de la cuchara y la capacidad de tolva de los camiones, se puede establecer en cuantos pases las palas pueden cargar los camiones. Sin embargo, para el caso se usa la pala con capacidad de cuchara de 20 Tm.

$$N^{\circ} \text{ Pases} = \frac{Tm \text{ tolva de camión}}{Tm \text{ cuchara de pala}}$$

Reemplazando valores para cargar un camión Euclid, cuya capacidad es de 130 Tm, con la pala P&H1900, se tiene:

$$N^{\circ} \text{ Pases} = \frac{130 \text{ Tm}}{20 \text{ Tm}} = 6$$

Para el resto de camiones con sus diferentes capacidades de tolva, se aplica la misma fórmula. Sin embargo, no ocurre esto en la práctica, porque los camiones no llenan completamente la tolva, el rango varía desde 3 a 5 pases.

Tabla N° 0-2: # Pases equipo de carguío.

Fuclid 130Tm			CAT & Terex 150Tm	Real
Pala	Tm	N° Pases	N° Pases	N° Pases
P&H 1900	15	8	10	4
P&H 2100B	20	6	7	5
P&H 2100BL	20	6	7	5

Fuente: Elaboración Propia

Para llevar a cabo estos casos estudio, se debe tener en cuenta las horas netas de trabajo productivo. También se debe mencionar que no todas las horas netas productivas son iguales, porque depende mucho del factor tiempo, demoras mecánicas, la disponibilidad y destreza de los operadores, etc.

4.1 Caso estudio 1

En las tablas siguientes se observa la data histórica del registro de tiempos de acarreo de los camiones Euclid y CAT para el sistema pala-camión.

Tabla N° 0-3: Data histórica de acarreo de camión Ecluid 272

CONTROL DE CAMIONES: TURNO AMANECIDA
TURNO: 6 horas netas productivas (360 minutos)

DATOS CAMION:
Operador Dany Buleje
N° EUCLID 272
HORA DE INICIO: 1:00:05 a. m.
HORA DE TERMINO: 7:42:40 a. m.

DATOS PALAS:
Operador Carlos Villaca
N° 37
Ubicación Mina 4S Nv 605
Operador Calla Cuchillo
N°
Ubicación Mina 4N Nv 569

N° viaje	Ruta	Tipo de material	Material acarreo (TM)	N° Pases	DISTANCIA (km)	TIEMPO (min)				TOTAL (min)	T. Espera en cola
						T carga	T ida	T descarga	T retorno		
1	Mina 4S: Nv 605 - C 49	Desmonte	73.2	10	3.9	11.04	15.07	0.85	10.43	37.39	1.6
2	Mina 4S: Nv 605 - C 49	Desmonte	73.2	5	3.9	4.28	15.97	0.8	10.75	31.8	
3	Mina 4S: Nv 605 - C 49	Desmonte	73.2	4	3.9	3.88	16.08	1.02	10.78	31.76	1.41
4	Mina 4S: Nv 605 - C 49	Desmonte	73.2	5	3.9	4.21	16.05	0.82	10.7	31.78	1.15
5	Mina 4S: Nv 605 - C 49	Desmonte	73.2	6	3.9	7.31	14.38	0.78	10.4	32.87	1.5
6	Mina 4N: Nv 569 - PTA 2	BL/FG	88.8	8	3.7	8.23	15	2.07	8.37	33.67	1.75
7	Mina 4N: Nv 568 - PTA 2	BL/FG	88.8	7	3.7	6.4	14.73	1.02	9.68	31.83	1.5
8	Mina 4N: Nv 569 - PTA 2	BL/FG	88.8	8	3.7	6.48	14.1	1.07	8.82	30.47	2.0
Nota: Demoras por neblina, cambio de pala, regado de rampas, otros						6.47875	15.1725	1.05375	9.99125		1.364

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 0-4: Data histórica de acarreo de camión CAT 313

CONTROL DE CAMIONES: TURNO AMANECIDA

DATOS CAMION:

Operador Carlos Guillén
N° CAT 313

DATOS PALAS:

Operador Loayza
N° 35
Ubicación Mina 4W Nv 545

Operador Serapio Quiñones
N° 298
Ubicación Mina 4W Nv 533

N° viaje	Ruta	Tipo de material	Material acarreo	N° Pases	DISTANCIA (km)	TIEMPO (min)				TOTAL (min)	T. Espera en cola
						T carga	T ida	T descarga	T retorno		
1	Mina 4: Nv545 - PTA 2	R especial	127	7	4.2	7.27	17.55	2.17	11.42	38.41	2.2
2	Mina 4: Nv533 - PTA 2	R especial	120	7	3.9	8.22	14.97	1.64	10.13	34.96	2.0
3	Mina 4: Nv533 - PTA 2	R especial	120	7	3.9	7.5	15.03	1.85	10.75	35.13	1.9
4	Mina 4: Nv545 - PTA 2	R especial	97	6	4	6.09	14.9	2.05	10.33	33.37	2.0
5	Mina 4: Nv533 - PTA 2	R especial	95	7	3.9	7.14	14.88	1.48	8.67	32.17	1.8
6	Mina 4: Nv545 - PTA 2	R especial	128	5	4	5.46	15	0.87	7.92	29.25	1.9
7	Mina 4: Nv545 - PTA 2	R especial	92	4	4	4.6	13.38	0.73		18.71	2.0
						6.61143	15.101	1.54142857	8.46		1.9714

Nota Demoras por espera en pta 2, 3 y 4, neblina en bajada de planta al pit, descanso, parada en aptio 2, otros

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para entender mejor esta operación de acarreo, primero se debe analizar las actividades que realiza la pala. Es importante analizar estas actividades por el tiempo que toma cada una, se tomará la primera actividad cuando la pala está en:

- Actividades 1: la cuchara de la pala procede a cargar el material fragmentado.
- Actividades 2: la pala levanta la cuchara con material
- Actividades 3: la cuchara de la pala hace un giro de 90° con dirección al centro de gravedad de la tolva del camión.
- Actividades 4: la cuchara descarga el material en la tolva del camión.

A parte de tomar en cuenta estas actividades, se debe tener en cuenta la destreza del chofer de la pala y la supervisión que tenga. Estas actividades son cíclicas o repetitivas en el sistema pala-camión, hasta completar de llenar la capacidad de tolva del camión.

La data histórica de la tabla 4.7, tiene un promedio de registro de 51, estos tiempos se tomaron en la operación de acarreo de la pala. Usando la tabla de números aleatorios se tomó dos muestras de esta población y luego se usó la prueba estadística t Student.

Tabla N° 0-5: Data histórica registro de tiempos de carguío de pala

FORMATO DE CONTROL DE EQUIPOS DE ACARREO					
Realizado por:			CARLOS FLORES		
Mina:	4			Destino:	PTA 2
Equipo de carguío:		P&H			
Descripción de la Condición y características del frente:					
Frente suave a regular, piso un poco desnivelado y problema con toe en frente					
N° Registro	N° Camión	Hora de llegada (Hr:min:seg)	Tiempo de espera en cola (Hr:min:seg)	Tiempo de carguío (min)	Hora de salida (Hr:min:seg)
1	306	08:38:28	08:51:50	5.9	08:55:02
2	305	08:39:05	09:02:30	5.9	09:06:29
3	301	09:01:05	09:07:05	11.0	09:11:00
4	306	09:27:10	09:28:10	5.7	09:32:00
5	302	09:34:00	09:34:30	5.7	09:38:10
6	301	09:36:52	09:38:10	4.3	09:42:20
7	305	09:45:00	09:45:25	3.9	09:48:28
8	260	09:45:30	09:48:25	4.5	09:51:50
9	310	09:55:28	09:58:30	4.2	10:02:40
10	306	09:56:10	10:02:50	7.3	10:06:25
11	302	10:01:05	10:07:20	4.7	10:11:15
12	260	10:15:05	10:15:25	5.7	10:19:32
13	301	10:21:25	10:22:35	5.9	10:26:07
14	270	10:21:45	10:27:25	4.6	10:30:00
15	305	10:27:15	10:31:30	8.2	10:36:00
16	306	10:28:13	10:37:25	6.4	10:41:05
17	260	10:46:25	10:44:40	6.5	10:49:10
18	302	10:48:49	10:51:10	7.3	10:56:45
19	301	10:52:15	10:47:05	5.5	11:02:00
20	310	10:54:54	11:04:25	5.7	11:10:10
21	270	11:00:00	11:16:05	5.8	11:20:20
22	305	11:08:30	11:20:50	5.7	11:25:20
23	260	11:14:20	11:25:10	8.2	11:28:40
24	302	11:16:35	11:28:06	7.5	11:33:30

Nº Registro	Nº Camión	Hora de llegada (Hr:min:seg)	Tiempo de espera en cola (Hr:min:seg)	Tiempo de carguío (min)	Hora de salida (Hr:min:seg)
25	306	11:22:20	11:33:10	6.1	11:39:55
26	301	11:26:15	12:59:25	7.1	13:04:05
27	305	12:52:40	12:54:20	5.9	13:09:45
28	270	12:53:30	13:09:45	5.6	13:14:04
29	260	12:58:11	13:14:20	3.6	13:18:20
30	302	13:01:50	13:17	3.6	13:23:10
31	306	13:13:20	13:24:30	5.5	13:29:50
32	303	13:17:20	13:30:15	4.6	13:35:55
33	301	13:26:45	13:47:26	3.5	13:42:30
34	305	13:34:50	13:43:21	5.5	13:49:25
35	270	13:40:40	13:39:13	5.9	13:53:36
36	260	13:48:20	13:53:45	5.6	13:57:00
37	302	13:48:35	13:57:36	5.9	14:02:20
38	306	13:50:30	14:02:10	5.6	14:07:25
39	303	13:57:20	14:08:25	5.8	14:14:06
40	301	14:12:06	14:15:26	5.9	14:19:16
41	305	14:15:09	14:19:45	5.9	14:23:50
42	302	14:23:20	14:32:25	3.7	14:37:47
43	306	14:33:21	14:39:10	3.5	14:44:06
44	303	14:36:25	14:44:30	5.8	14:49:40
45	301	14:54:50	14:55:24	5.6	15:00:50
46	302	15:00:30	15:01:25	4.8	15:05:20
47	305	15:04:56	15:05:46	3.8	15:11:05
48	306	15:07:55	15:13:36	5.6	15:18:20
49	303	15:11:29	15:20:13	4.7	15:26:10
50	302	15:28:29	15:27:41	3.6	15:31:45
51	305	15:35:48	15:35:10	5.5	15:39:40

Fuente: Elaboración propia

4.1 Caso-estudio 2

Analizando la data histórica del registro de tiempos, se tomó la decisión de:

- Que la supervisión de esta operación minera debía ser continua
- Comunicar mediante charlas informativas a los choferes de las palas la importancia de reducir tiempos en las actividades de la pala, a los choferes de los camiones que debían estar bien estacionados para facilitar el carguío de la pala, porque no se podría cumplir con la producción diaria planificada y,
- Aplicar el modelo matemático de la investigación de operaciones llamado teoría de colas.

A continuación, la data de campo para aplicar modelo matemático de la investigación de operaciones llamado teoría de colas.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \rightarrow (4.1)$$

La probabilidad de que no haya camiones en el sistema está dada por:

$$P_0 = 1 - \rho \rightarrow (4.2)$$

El número promedio de camiones en la fila, está dado por:

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \rightarrow (4.3)$$

El tiempo promedio de espera de los camiones en las colas es:

$$W_{(q)} = \frac{L_{(q)}}{\lambda} \rightarrow (4.4)$$

Se analizó la data de las tablas 4.7 y 4.8, con el fin de obtener las variables λ y μ de cada camión y reemplazarlos en las fórmulas antes mencionadas.

Para el camión Euclid 260, se tiene como data: $\lambda = 1$ y $\mu = 3$

Tabla N° 0-6:Ciclos de camión 260

N° Camión	Tiempo entre llegadas (min)	Tiempo de carguío (min)
260	25.9	4.5
260	24.1	3.7
260	22.6	3.6
260	22.3	4.6
260	21.5	3.6
260	20.9	2.6
Promedio total	2.6	15.9
	□	μ

Fuente: Elaboración Propia

Entonces, se tiene en (4.1)

$$\rho = \frac{2.6}{15.9} = 0.16$$

Luego reemplazando en (4.2)

$$P_0 = 1 - 0.16 = 0.84$$

Reemplazando datos en (4.3) el número promedio de camiones en la fila.

$$L_q = \frac{(0.16)^2}{1 - 0.16} = 0.033$$

Luego se reemplaza en (4.4), el tiempo promedio de espera de los camiones en las colas es:

$$W_{(q)} = \frac{0.033}{2.6} = 0.12 \text{ horas} = 0.74 \text{ minutos}$$

Este resultado quiere decir que en promedio un camión tiene que esperar 0.74 minutos antes de entrar al proceso de carguío por la pala. (aproximadamente un rango aceptable entre 40 a 50 segundos).

Para el camión CAT 305, se tiene como data: $\lambda = 1$ y $\mu = 4$

Tabla N° 0-7: Ciclos de camión 305

N° Camión	Tiempo llegadas (min) entre	Tiempo de carguío (min)
305	31.1	3.9
305	26.7	4.6
305	27.6	4.6
305	27.3	4.7
305	25.0	3.9
305	23.8	5.5
305	22.1	3.9
305	23.9	3.8
305	24.9	5.5
Promedio total	2.3	13.4
	□	μ

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando datos en (4.1)

$$= \frac{2.3}{13.4} = 0.17$$

Se tiene en (4.2)

$$P_0 = 1 - 0.17 = 0.83$$

Reemplazando datos en (4.3) el número promedio de camiones en la fila.

$$L_q = \frac{(0.17)^2}{1 - 0.17} = 0.037$$

Luego se reemplaza en (4.4), el tiempo promedio de espera de los camiones en las colas es:

$$W_{(q)} = \frac{0.037}{2.3} = 0.016 \text{ horas}$$

Este resultado quiere decir que en promedio un camión tiene que esperar 0.94 minutos antes de entrar al proceso de carguío por la pala. (aproximadamente un rango aceptable entre 55 a 60 segundos).

Nomenclatura usada en teoría de colas.

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ Relación de clarificación intensidad de tráfico o utilización del sistema.

ρ : Intensidad de trafico

λ : Rango de llegadas

μ : Rango de servicio

P o P_r = Probabilidad.

P_0 : Probabilidad que haya cero camiones en el sistema

L_q : Número promedio de camiones en la fila

W_q : Longitud de la línea de espera no incluyendo las unidades que están siendo servidas

Tabla N° 0-8: Data actual del acarreo de camión Euclid 263

Operador Juan Tovar
 N° 37
 Ubicación Mina 4 Nv 605

N° viaje	Ruta	Tipo de material	Material acarreo (TM)	N° Pases	DISTANCIAS		TIEMPO (min)				TOTAL (min)	T. Espera en cola (min)	Demoras (min)
					Dist. Ida	Dist. Retorno	T carga	T ida	T descarga	T retorno			
1	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	4	4.2	4.2	4.19	17.5	0.82	7.55	30.06	0.9	
2	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	4	4.2	4.2	4.17	16	0.82	7.23	28.22	0.9	
3	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	3	3.7	3.7	3.27	14.6	0.8	7.18	25.82	0.8	Cambio a pala 37
4	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	4	3.7	3.7	3.23	14.5	0.87	6.87	25.5	1.1	
5	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	4	3.7	3.7	3.76	14.6	0.9	6.02	25.25	0.9	
6	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	3	3.7	3.7	2.51	14	0.73	6.15	23.37	0.8	Espera pala limpiando frente 2.8
Nota Demora por cambio de pala, limpiado de frente, neblina, etc.							3.522	15.2	0.8233333	6.83333		0.883	

Fuente:Elaboración mina de estudio

Tabla N° 0-9:Control de acarreo Mina 4

CONTROL DE CAMIONES: TURNO DIA

DATOS CAMION:
 Operador: Juan Huamani
 N°: EUCLID 260
 H. DE INICIO: 08:53:11
 H. DE TERMINO: 11:43:00

DATOS PALAS:
 Operador: Mendoza
 N°: 35
 Ubicación: Mina 4 Nv 617

CONTROL DE CAMIONES: TURNO DIA

DATOS CAMION:
 Operador: Juan Huamani
 N°: EUCLID 263
 H. DE INICIO: 08:53:11
 H. DE TERMINO: 11:43:00

DATOS PALAS:
 Operador: Mendoza
 N°: 35
 Ubicación: Mina 4 Nv 617

Operador: Juan Tovar
 N°: 37
 Ubicación: Mina 4 Nv 605

N° viaje	Ruta	Tipo de material	Material acarreo (TM)	N° Pases	DISTANCIAS		TIEMPO (min)				TOTAL (min)	T. Espera en cola (min)
					Dist. Ida	Dist. Retorno	T carga	T ida	T descarga	T retorno		
1	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	4	4.2	4.2	4.19	17.5	0.82	7.55	30.06	0.9
2	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	4	4.2	4.2	4.17	16	0.82	7.23	28.22	0.9
3	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	3	3.7	3.7	3.27	14.6	0.8	7.18	25.82	0.9
4	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	4	3.7	3.7	3.23	14.5	0.87	6.87	25.5	1.0
5	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	4	3.7	3.7	3.76	14.6	0.9	6.02	25.25	0.9
6	Mina 4 Nv605 - Cancha 49	Encapado de roca	73.2	3	3.7	3.7	2.51	14	0.73	6.15	23.37	0.8
Nota Demora por cambio de pala, limpiado de frente, neblina, etc.							3.522	15.2	0.8233333	6.83333		

Fuente: Elaboración mina de estudio

Tabla N° 0-10: Data actual del acarreo de camión CAT 305

CONTROL DE CAMIONES: TURNO NOCHE												
DATOS CAMION:												
Operador		Felipe Asuero										
N°		CAT 305										
DATOS PALAS:												
1) Operador		Alcides Martinez										
N°		PH 32										
Ubicación		Mina 4 Nv 557										
N° viaje	Ruta	Tipo de material	Material acarreo (TM)	N° Pases	DISTANCIA (km)	TIEMPO (min)				TOTAL (min)	T. Espera en cola	
						T carga	T ida	T descarga	T retorno			
1	Mina 4: Nv 557 - PTA 2	BL/FG	125	5	3.5	5.05	16.38	1.83	8.57	31.83	0.6	
2	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	114	4	3.5	5.16	15.23	2.28	9.8	32.47	0.6	
3	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	114	4	3.5	5.52	15.42	1.85	10.15	32.94	0.5	
4	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	129	5	3.5	5.24	16.98	3.37	8.2	33.79	0.6	
5	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	117	4	3.5	5.5	15.93	2.07	7.42	30.92	0.5	
6	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	116	4	3.5	5.13	14.88	2.47	9.32	31.8	0.5	
7	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	124	5	3.5	5.38	15.97	2	9.02	32.37	0.6	
8	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	118	4	3.5	5.9	15.97	1.93	8	31.8	0.5	
9	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	122	5	3.5	5.41	15.9	2	9	32.31	0.6	
						5.36556	15.8511	2.2	8.8311			

Nota: Demoras por piso humedo, reubicación de pala, limpieza de frente, parada en patio 2, otros

Fuente: Elaboración mina de estudio.

Tabla N° 0-11: Control de acarreo turno noche

CONTROL DE CAMIONES: TURNO NOCHE											
DATOS CAMION:		Operador N°		Felipe Asuero CAT 305							
DATOS PALAS:		1) Operador N°		Alcides Martinez PH 32							
		Ubicación		Mina 4 Nv 557							
N° viaje	Ruta	Tipo de material	Material acarreo (TM)	N° Pases	DISTANCIA (km)	TIEMPO (min)				TOTAL (min)	T. Espera en cola
						T carga	T ida	T descarga	T retorno		
1	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	125	5	3.5	5.05	16.38	1.83	8.57	31.83	0.6
2	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	114	4	3.5	5.16	15.23	2.28	9.8	32.47	0.6
3	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	114	4	3.5	5.52	15.42	1.85	10.15	32.94	0.5
4	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	129	5	3.5	5.24	16.98	3.37	8.2	33.79	0.6
5	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	117	4	3.5	5.5	15.93	2.07	7.42	30.92	0.5
6	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	116	4	3.5	5.13	14.88	2.47	9.32	31.8	0.5
7	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	124	5	3.5	5.38	15.97	2	9.02	32.37	0.6
8	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	118	4	3.5	5.9	15.97	1.93	8	31.8	0.5
9	Mina 4 : Nv 557 - PTA 2	BL/FG	122	5	3.5	5.41	15.9	2	9	32.31	0.6
						5.36556	15.8511	2.2	8.8311		

Nota: Demoras por piso humedo, reubicación de pala, limpieza de frente, parada en patio 2, otros

Fuente: Elaboración mina de estudio

Tabla N° 0-12: Data actual registro de tiempos de carguío de pala

FORMATO DE CONTROL DE EQUIPOS DE ACARREO					
Realizado por:		Mauro Quspicondo			
Mina:	4			Destino:	Planta 2
Equipo de carguío:		P&H			
Material:		CG Directo		W	
Descripción de la Condición y características del banco:					
Fragmentación suave, sin pedronería					
N° Registro	N° Camión	Hora de llegada (Hr:min:seg)	Tiempo de espera en cola (Hr:min:seg)	Tiempo de carguío (min)	Hora de salida (Hr:min:seg)
1	312	08:45	8:45:20	2.5	8:47:57
2	310	08:45	8:48:05	4.19	8:51:15
3	307	08:45	8:51:20	2.7	8:54:45
4	302	08:45	8:54:50	2.6	8:58:01
5	301	08:48	8:58:10	2.6	9:01:49
6	309	08:48	9:01:55	3.1	9:06:20
7	310	09:13	9:06:25	2.7	9:16:28
8	307	09:18	9:18:10	4.17	9:20:56
9	312	09:20	9:20:59	3.27	9:24:04
10	301	09:26	9:26:50	2.7	9:30:15
11	272	09:38	9:38:20	3.23	9:41:25
12	310	09:39	9:41:30	3.2	9:45:40
13	312	09:48	9:48:10	3.76	9:51:15
14	314	09:49	9:51:20	2.8	9:54:55
15	307	09:53:00	9:54:59	2.51	9:58:30
16	302	10:01:10	10:01:15	4.5	10:03:47
17	301	10:04:42	10:04:50	2.5	10:08:05
18	267	10:10:40	10:10:45	3.98	10:13:45
19	302	10:13:35	10:13:54	3	10:17:35
20	310	10:19:02	10:19:08	2.5	10:27:58
21	314	10:22:23	10:27:59	4.22	10:31:00
22	307	10:30:26	10:31:10	4.62	10:33:35
23	270	10:32:15	10:33:40	2.5	10:37:00
24	302	10:36:05	10:37:05	4.98	10:40:05
25	301	10:39:15	10:40:08	2.6	10:45:20
26	312	10:46:15	10:46:20	6.18	10:49:12
27	310	10:54:01	10:54:08	6.3	10:57:20
28	314	10:54:10	10:57:25	5.68	11:00:55
29	307	10:59:25	11:00:59	2.5	11:03:55
30	270	11:03:45	11:03:58	4.8	11:07:03

Fuente: Elaboración mina de estudio.

4.2 Resultados de prueba t Student

Esta prueba fue desarrollada por William Sealy Gosset, bajo el seudónimo Student.

4.2.1 Camión EUCLID

Del tajo 4 o también conocida como Mina 4, se realizó una selección aleatoria de muestra de tamaño 3 para comparar el camión EUCLID 272 (guardia amanecida) versus EUCLID 263 (guardia día).

Tabla N° 0-13:Tiempo de espera en cola

Muestra (N = 3)	
Ítem	T. Espera en cola (data histórica)
1	1.60
6	1.75
4	1.15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 0-14: Tiempo de espera en cola actual

Muestra (N = 3)	
Ítem	T. Espera en cola (data actual)
1	0.9
6	0.8
4	1.0

Fuente: Elaboración Propia

Se establece la prueba de hipótesis, es decir la hipótesis nula y alternativa.

Tabla N° 0-15:Prueba de Hipotesis

Prueba de Hipótesis	
H ₀	No hay reducción en el tiempo de espera en la cola del control de camiones EUCLID.
H _a	Si hay reducción en el tiempo de espera en la cola del control de camiones EUCLID.
Nivel de confianza	Alfa = 5%

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.11 se muestran la información que fue obtenida con ayuda del programa de análisis de datos de Excel.

De modo que con los datos obtenidos se puede realizar intervalo de confianza con la media y varianza conocidas. Por tanto, el valor t student se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{\sqrt{\frac{S_a^2}{n_a} - \frac{S_b^2}{n_b}}}$$

Donde:

- X: Promedio de cada muestra
- S: Desviación estándar de cada muestra
- N: Tamaño de cada muestra.

Reemplazando:

$$t = \frac{1.5 - 0.9}{\sqrt{\frac{0.0975}{3} - \frac{0.01}{3}}} \cong 2.7764$$

Así mismo, es viable utilizar un software de análisis de datos para calcular el valor t student y realizar conclusiones.

Tabla N° 0-16: Prueba t student camión Euclid

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	T. Espera en cola (data histórica)	T. Espera en cola (data actual)
Media	1.5	0.9
Varianza	0.0975	0.01
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.05375	
Grados de libertad	4	
P (T < = t) una cola	3.169	
Valor crítico de t (una cola)	2.776	

Fuente: Elaboración Propia

Se grafica la distribución:

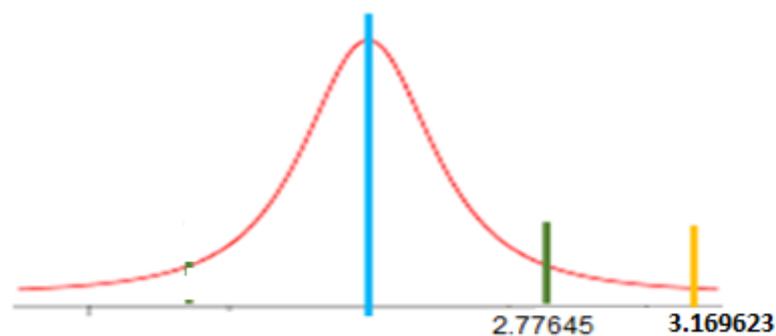


Figura N° 0-2: Grafica de distribución camión Euclid

Resultados: El valor $t = 3.1696$ es mayor que 2.7764 , es decir que t cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula, se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que sí hay reducción en el tiempo de espera (minutos) en la cola del control de camiones EUCLID. Esta reducción es posible debido a que se aplicó la teoría de colas.

4.2.2 Camión CAT

Se realizó una selección aleatoria del tamaño 3 de muestra para comparar el camión CAT 313 (guardia amanecida) versus CAT 305 (guardia noche).

Tabla N° 0-17: Tiempo de Espera en Cola CAT

Muestra (N = 3)	
Ítem	T. Espera en cola (data histórica)
2	2.0
3	1.9
6	1.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 0-18: Tiempo de Espera en Cola CAT actual

Muestra (N = 3)	
Ítem	T. Espera en cola (data actual)
2	0.6
3	0.5
6	0.5

Fuente: Elaboración Propia

Se establece la prueba de hipótesis, es decir la hipótesis nula y alternativa.

Tabla N° 0-19: Prueba de Hipótesis

Prueba de Hipótesis	
H₀	No hay reducción en el tiempo de espera en la cola del control de camiones CAT.
H_a	Si hay reducción en el tiempo de espera en la cola del control de camiones CAT.
Nivel de confianza	Alfa = 5%

Fuente: Elaboración Propia

Los siguientes datos fueron obtenidos usando el programa de análisis de datos de Excel.

Tabla N° 0-20: Prueba t student camión CAT

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	T. Espera en cola (data histórica)	T. Espera en cola (data actual)
Media	1.93	0.53
Varianza	0.33	0.33
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.33	
Grados de libertad	4	
P(T<=t) una cola	29.69	
Valor crítico de t (una cola)	2.77	

Fuente: Elaboración Propia

Se grafica la distribución:

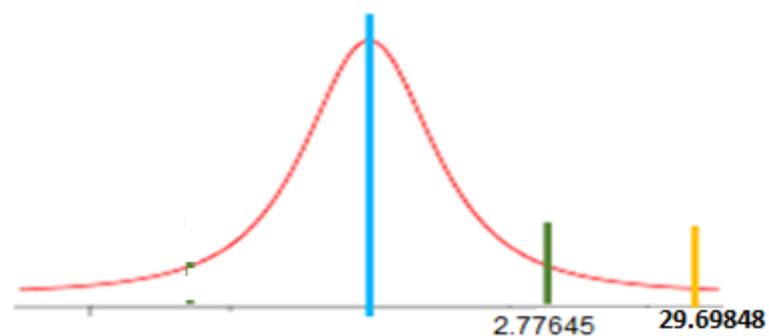


Figura N° 0-3: Grafica de Distribución camión CAT

Resultados: El valor $t = 29.698$ es mayor que 2.77645 , es decir que t cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula, se puede afirmar con un nivel de

confianza del 95% que sí hay una reducción en el tiempo de espera (minutos) en la cola del control de camiones CAT.

Esta reducción es posible debido a que se aplicó el modelo matemático de teoría de colas.



Figura N° 0-4: Polución en rampas

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 0-5: Neblina en operación

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Carguío de la pala

En cuanto a esta operación minera unitaria realizada por la pala, se llevó la prueba estadística t Student para una muestra de tamaño 3 para el tiempo de carguío de la pala de la data histórica Vs la data actual.

Tabla N° 0-21: Tiempo de Carguío Histórica

Muestra (N = 3)	
Ítem	T. Carga (data histórica)
2	5.9
20	5.7
12	5.7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 0-22: Tiempo de Carguío Real

Muestra (N = 3)	
Ítem	T. Carga (data actual)
2	4.19
20	2.5
12	3.2

Fuente: Elaboración Propia

Se establece la prueba de hipótesis, es decir la hipótesis nula y alternativa.

Tabla N° 0-23: Hipotesis

Prueba de Hipótesis	
H₀	No hay reducción en el tiempo de acarreo del control de la pala.
H_a	Si hay reducción en el tiempo del acarreo del control de la pala.
Nivel de confianza	Alfa = 5%

Fuente: Elaboración Propia

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

Tabla N° 0-24: Prueba t Student acarreo de pala

	T. acarreo (data histórica)	T. acarreo (data actual)
Media	5.766	3.296
Varianza	0.013	0.721
Observaciones	3	3
Grados de libertad	4	

P(T<=t) Una cola	4.992	
Valor crítico de t (una cola)	2.77	

Luego, se procede a graficar la distribución

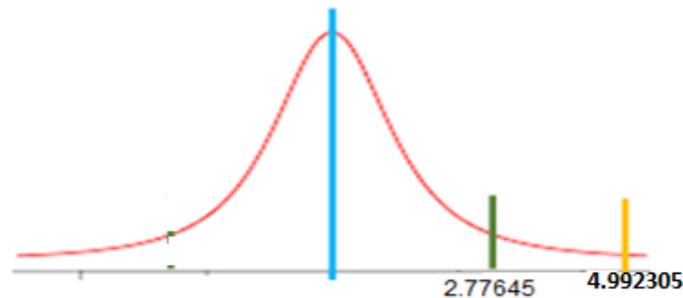


Figura N° 0-6:Gráfica de Distribución Pala.

Debido a que se obtuvo un valor $P(T \leq t)$ menor al nivel de confianza (0.05), se puede aceptar que sí hay una reducción en el tiempo de acarreo del control de la pala.

4.3 Análisis de resultados

La mina estudio explotada por el método a tajo abierto, específicamente en la mina 4 se tenía problemas en las operaciones de carguío y acarreo en el sistema pala-camión; las demoras en la cola como en el acarreo de pala para abastecer de material fragmentado a los camiones se convertía en tiempo no productivo.

Pero, cabe resaltar que existen factores incontrolables propios de la naturaleza como es la neblina, que dificulta el libre tránsito de los camiones en especial en la baja de la planta a la mina 4, haciendo que los camiones formaran cola en la planta para descargar el material, tal como se puede observar en la figura 4.5.

4.4 Contrastación de la hipótesis

Las hipótesis específicas de la tesis se contrastan con la prueba estadística t Student. Dichos resultados son concluyentes, esto quiere decir que la validación de las hipótesis específicas es evidencia suficiente para dar por aceptada la hipótesis general.

4.4.1 Hipótesis Especifica H1A

En la data histórica de los registros de tiempo de los camiones Euclid 272 se encontró un tiempo promedio de espera en la cola desde 1.36 minutos. En los camiones Euclid 263 se logró alcanzar un tiempo promedio de espera en la cola de 0.88 minutos luego de aplicar el modelo matemático de teoría de colas.

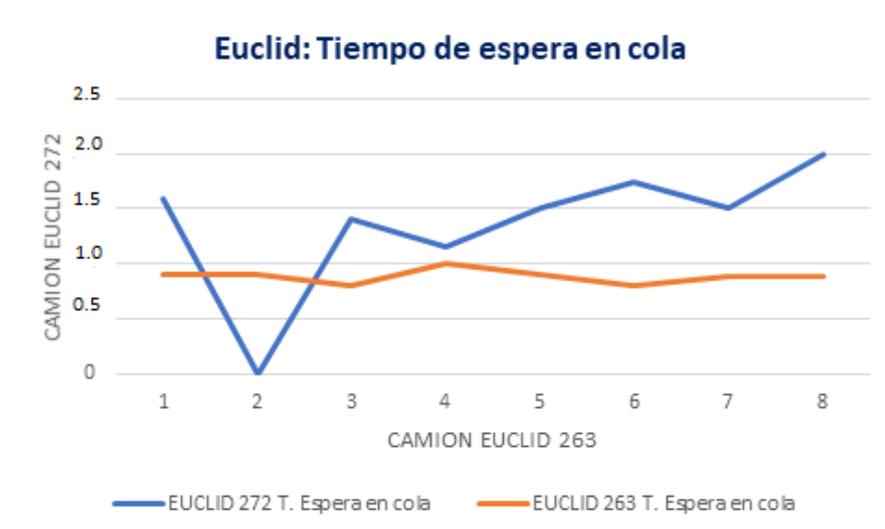


Figura N° 0-7: Tiempo de espera en la cola camión Euclid

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los camiones CAT 313 se encontró un tiempo promedio de espera en la cola de 1.97 minutos. Luego de aplicar el modelo matemático de teoría de colas, los camiones CAT 305 se logró alcanzar un tiempo promedio de espera en la cola de 0.55 minutos.

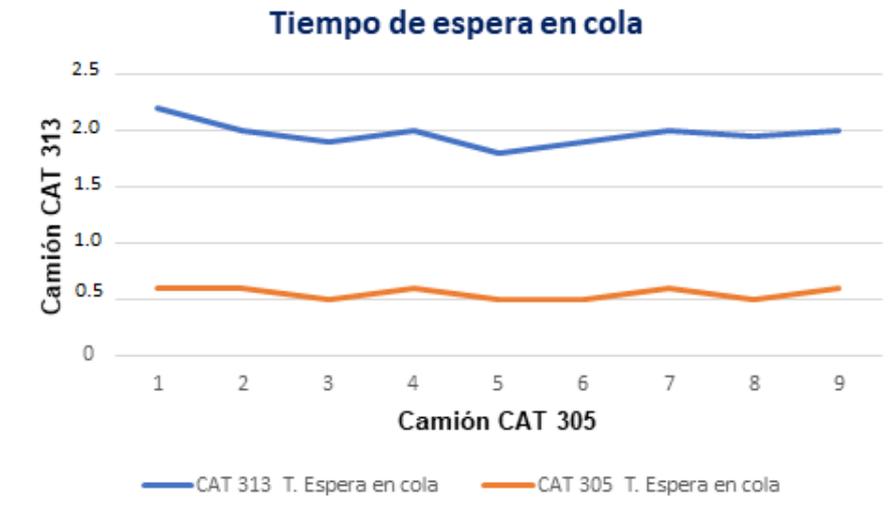


Figura N° 0-8: Tiempo de espera en la cola camión CAT

Fuente: Elaboración propia

Entonces, se puede concluir que si hubo reducción de tiempo en las líneas de espera de los camiones para ser cargados por las palas en la mina 4.

4.4.2 Hipótesis específica H1B

De acuerdo a las actividades que realiza la pala para cargar de material fragmentado a un camión, si se puede determinar el tiempo de acarreo.

Después de realizar la prueba estadística t Student para el acarreo de la pala con la data historia se tuvo una media de 5.76 minutos. Sin embargo, liderando una supervisión constante de esta operación minera se logró obtener un tiempo promedio de carguío de 3.29 minutos. Esto se observa en la tabla 4.13 del capítulo anterior.

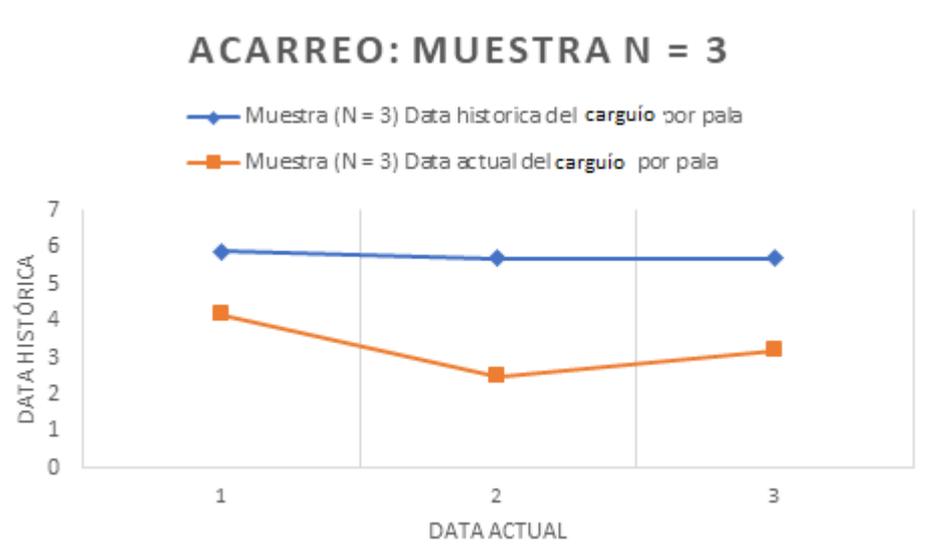


Figura N° 0-9: Reducción de tiempo de carguío por pala

Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Hipótesis general H1:

Después de la validación de las dos hipótesis específicas, se valida la hipótesis general, que si es posible reducir el tiempo de espera en la cola de los camiones aplicando el modelo de teoría de colas y la prueba estadística t Student.

- Para los camiones Eulicd 263 el tiempo promedio es de 0.012 horas que corresponde a un rango aceptable de 40 a 50 segundos que deben esperar.
- Para los camiones CAT 305, el tiempo promedio que deben esperar para ser cargados por la pala es de 0.016 horas, tiempo que corresponde a un rango entre 55 a 60 segundos.

CONCLUSIONES

- Aplicando la herramienta gerencial moderna conocida como el modelo matemático de teoría de colas, si se puede reducir los tiempos no productivos en el sistema pala-camión de la mina 4.
- Se ha demostrado con la prueba estadística t Student que para los camiones Euclid no habrá cola en el tajo es de 67%, sistema pala-camion; y se determinó una probabilidad del 75% de que no haya cola en el sistema para los camiones CAT.
- En cuanto al proceso de carguío se logró reducir el tiempo de las actividades de la pala con una adecuada y constante supervisión, de 5.76 minutos a 3.29 minutos en promedio.
- Este modelo matemático de teoría de colas contribuye con la información vital que se requiere para tomar decisiones oportunas y seguras prediciendo algunas características de la línea de espera.
- Teoría de colas sirve para encontrar un adecuado equilibrio entre el proveedor del servicio (pala) y los clientes que están esperando el servicio (camiones), logrando mantener un balance en el sistema pala-camión, es por ello que no se puede dar el lujo que esta gran cantidad de inversión no produzca por falta de liderazgo en la supervisión, capacitación y entrenamiento periódicamente de los operadores de las palas y camiones, falta de aplicación de alguna herramienta gerencial, etc.

RECOMENDACIONES

- Asumir un liderazgo en la supervisión adecuada en las operaciones mineras de carguío y acarreo del sistema pala-camión de la mina.
- Supervisar constantemente las plantas 1 y 2 para que no se formen colas en el momento de la descarga de los camiones, esto genera tiempo no productivos de los equipos y luego se forman colas en la operación minera de acarreo.
- Regar de forma continua las rampas para que no haya polución en el transporte del material fragmentado de los camiones.
- Continuar aplicando el modelo matemático de teoría de colas en las operaciones mineras de carguío y acarreo del sistema pala-camión
- Aplicar cualquiera de los modelos matemáticos de la investigación de operaciones que más se adecue a las operaciones mineras unitarias que conforman el ciclo total de minado.
- Tomar las medidas de seguridad pertinentes para reducir los riesgos de accidentabilidad o despiste de los camiones por el factor natural de la neblina.
- Capacitar continuamente a los operadores de las palas y camiones, haciéndoles entender el binomio de las operaciones mineras de carguío y acarreo; lo cual se podrá reducir los tiempos no productivos.

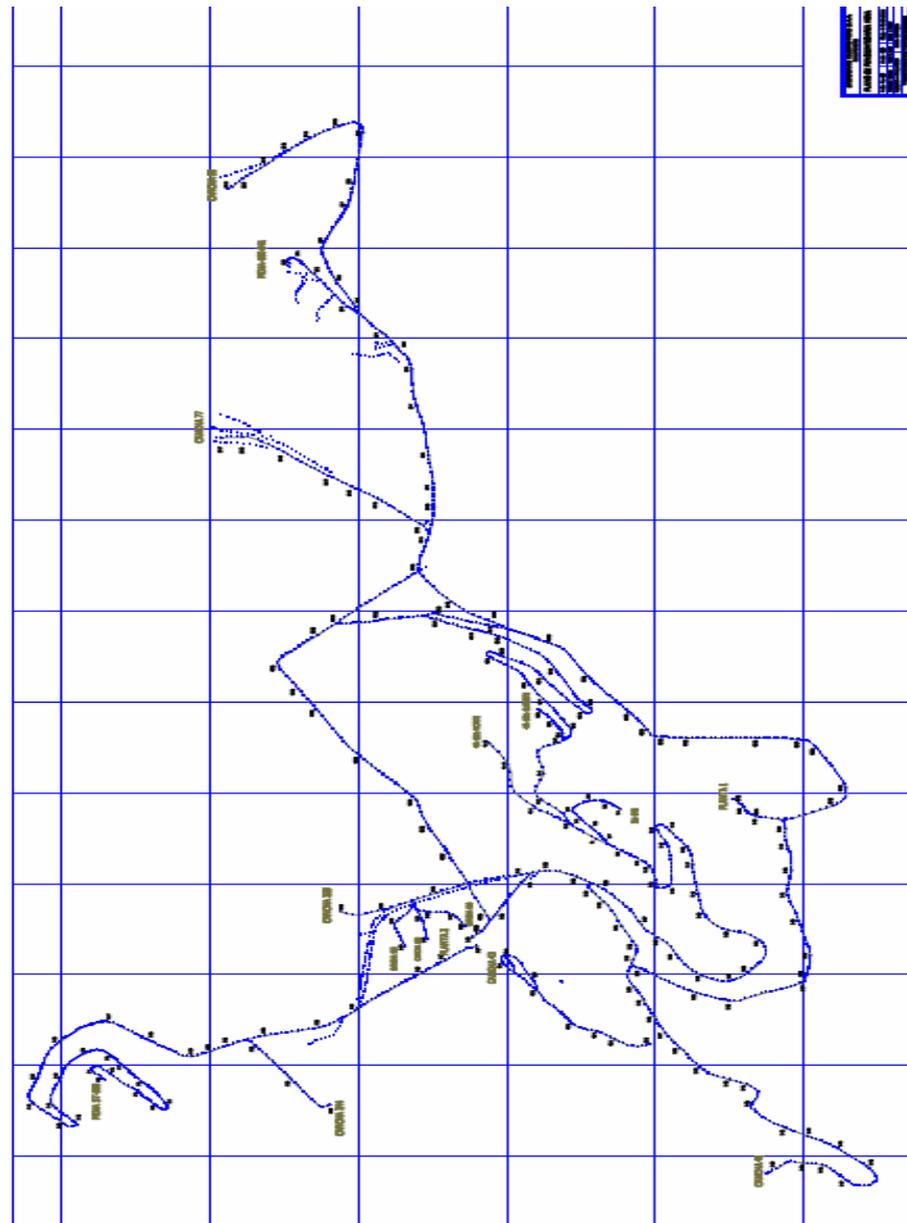
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agreda, C. (1994). *Investigación de operaciones, teoría y aplicaciones*. Lima, Perú.
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Buffa, E. (1973). *Dirección de operaciones, problemas y modelos*. México: Limusa-Wiley, S.A.
- Celorrío, A. (1992).
- Croun. (1967). *Queueing theory, recent developments and applications*.
- Egg, A. (1995).
- Erlang, A. K. (s.f.).
- Gamarra. (2009).
- Gross, D. H. (1974). *Fundamentals of queueing theory*. Copyright, by John & Sons, Inc. Toronto.
- Hillier, F. &. (1974). *Introduction to operations research*. San Fransisco, California-USA.
- Humberto Ñaupas Paitan, e. a. (2013).
- Humberto, Ñ. P. (2013). *Metodología de la Investigación*. México.
- Lee, A. (1966). *Aplied queueing theory*. New York-USA.
- Marther. (2005).

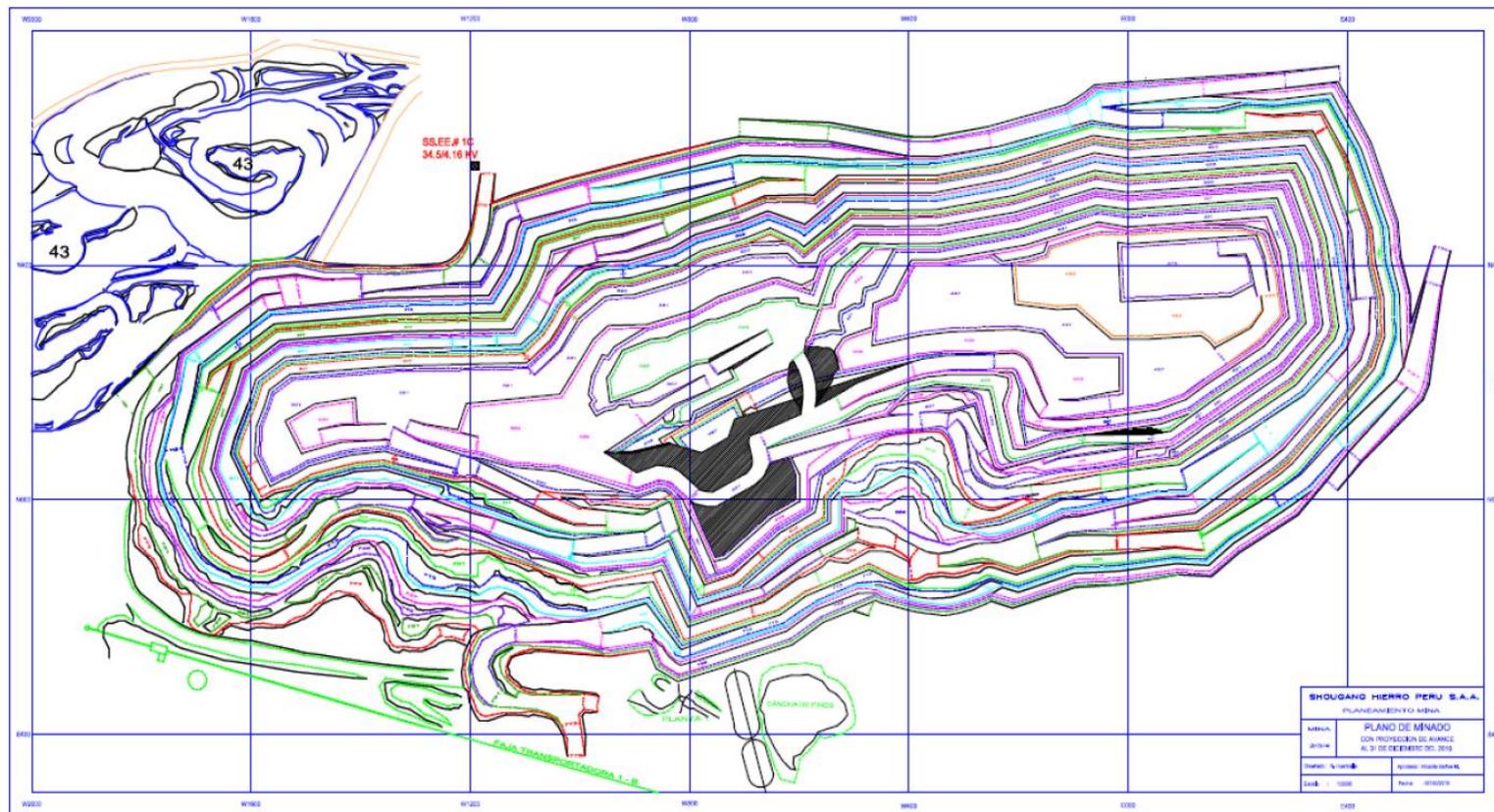
- Mendoza Centeno, A. K. (2017). *Aplicación de la teoría de colas para mejorar la productividad del carguio y acarreo en Mina Tucari*. Lima: 2017.
- Moskowitz, H. W. (1999). *Operations research techniques for managment*. Prentice hall, Incl.USA.
- Neville, K. y. (1964).
- Ramirez. (2006).
- Roberto Hernández Sampieri, e. a. (2014).
- Roberto, H. S. (2014). *Metodología de Investigación 6ta edición*. México.
- Sampiere. (2014).
- Sasieni, M, Y. A. (1967). *Investigaión de operaciones, problemas y modelos*. México: Limusa-Wiley.
- STRACOMGYM. (2014).
- Taha, H. (1995). *Investigación de operaciones,,* México: Alfaomega grupo, S.A.
- Trujillo, A. (2011). *Mejoramiento continuo de carguío y acarreo con camiones en mina Cía. Condestable S.A.*
- Wolff, R. (1965). *Problems of statistical inference for brith and death queueing model*.

ANEXOS

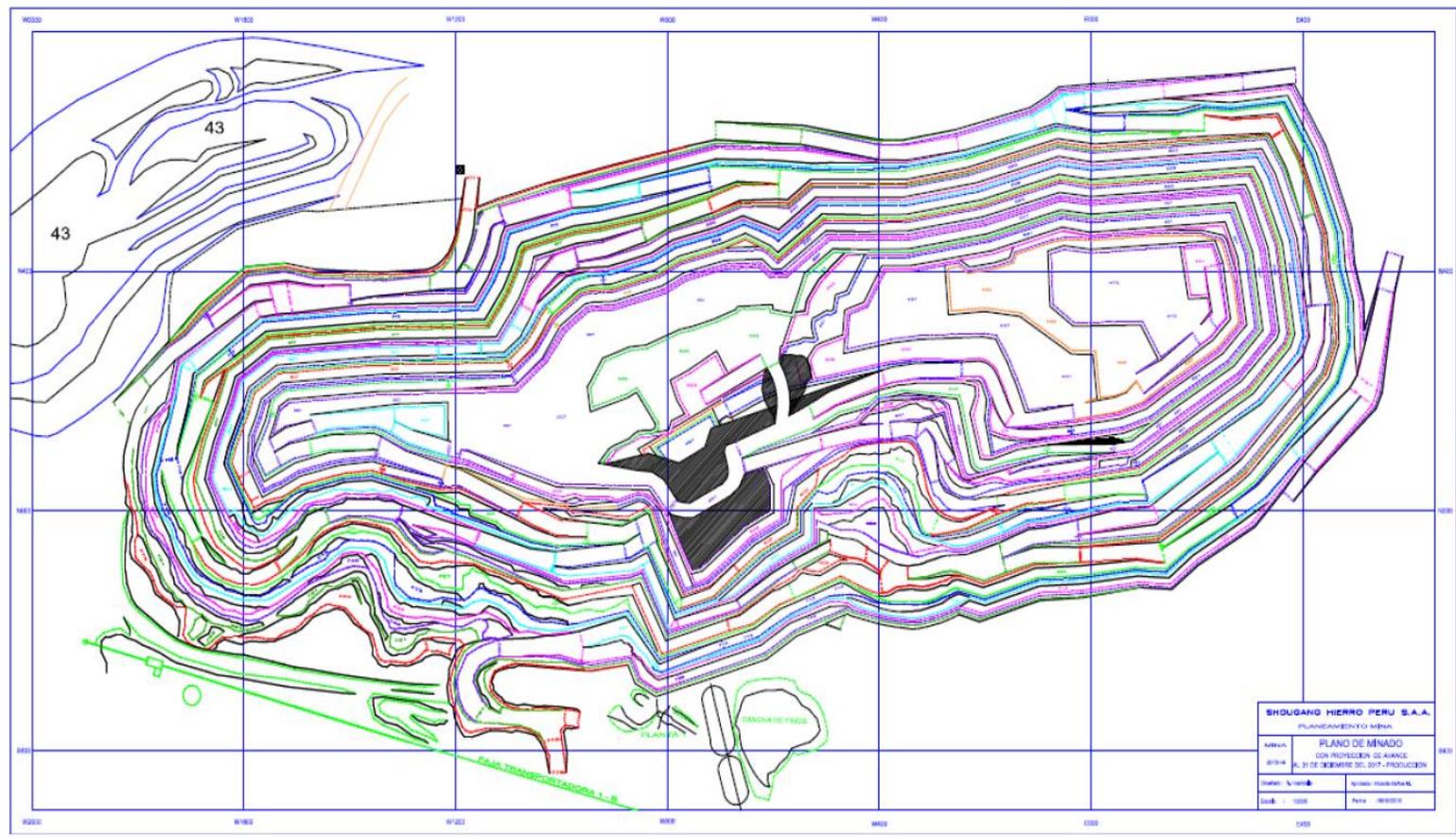
ANEXO N° 1: Plano rutas de minas.



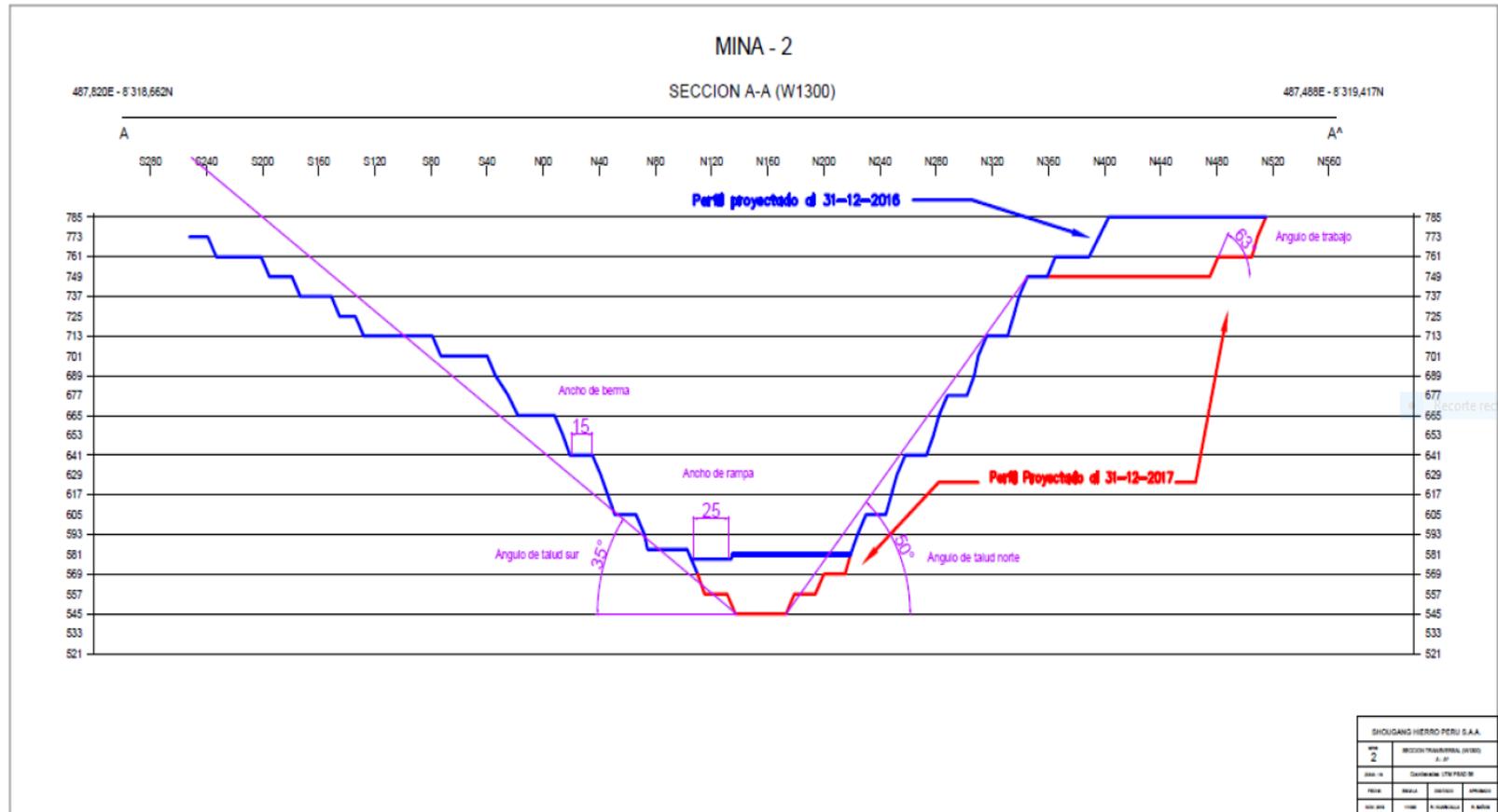
ANEXO N° 2 Minas 2,3 y 4.



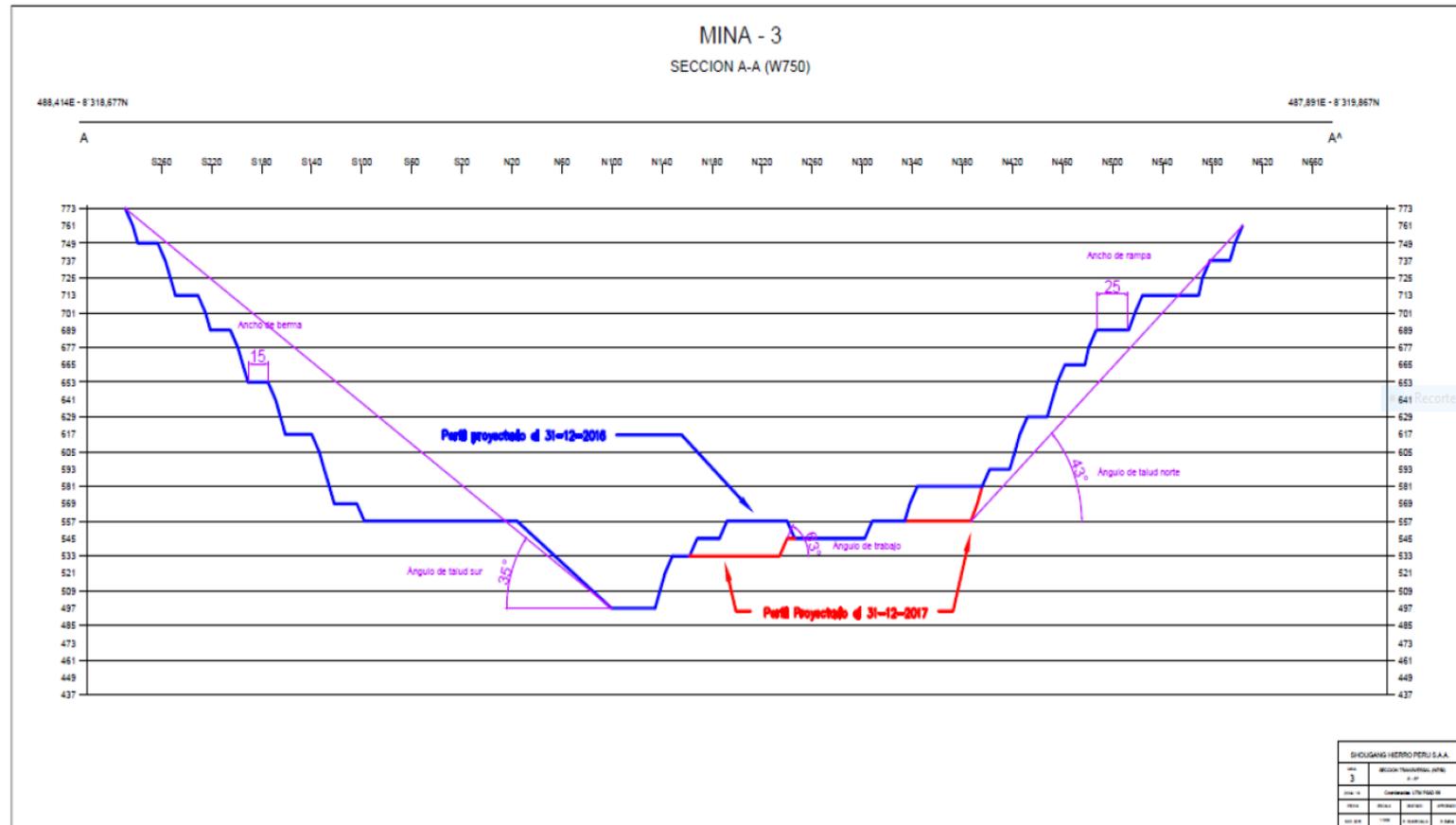
ANEXO N° 3 Minas 2,3, y 4 proyectado al 2019.



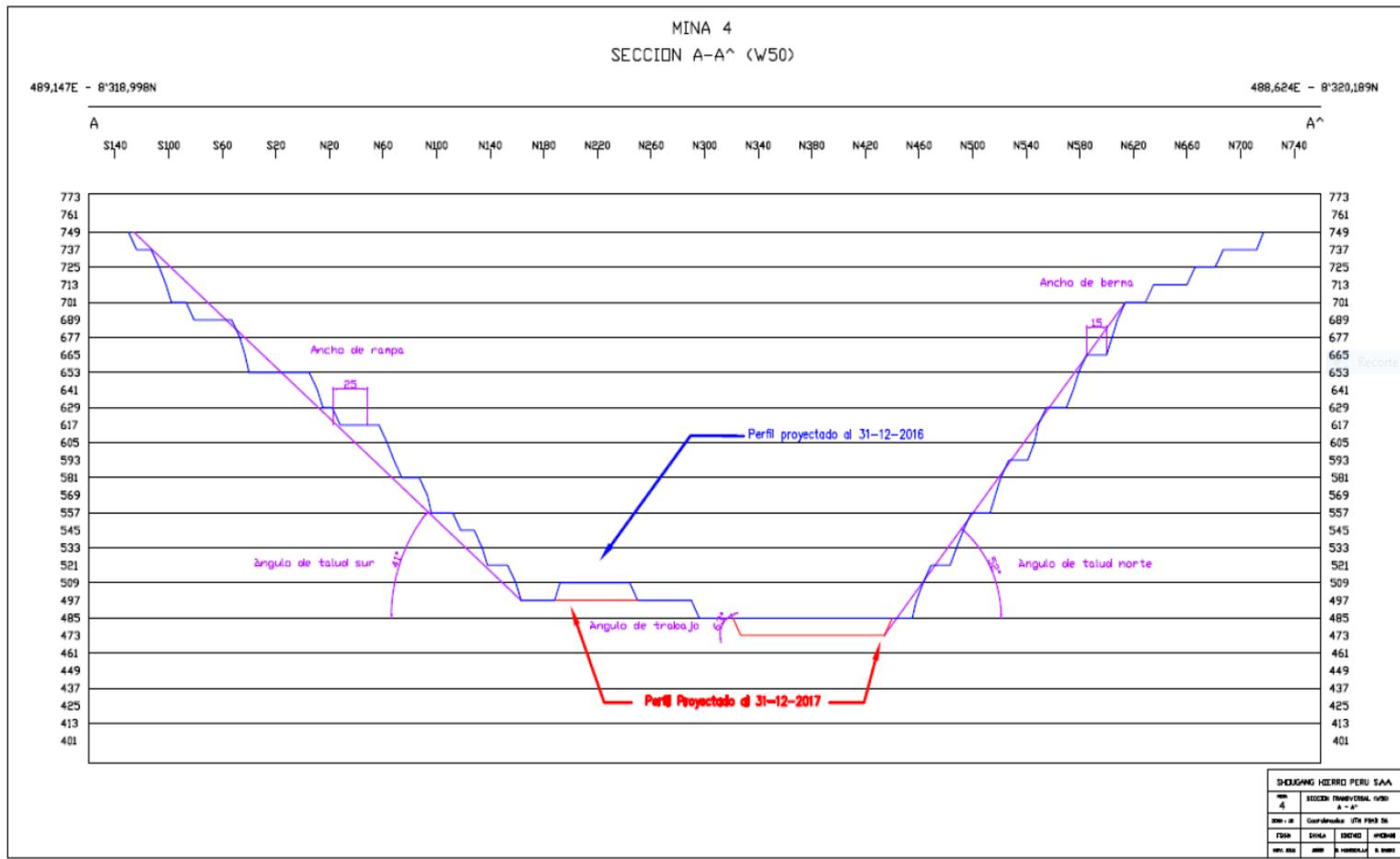
ANEXO N° 4 Minas 2.



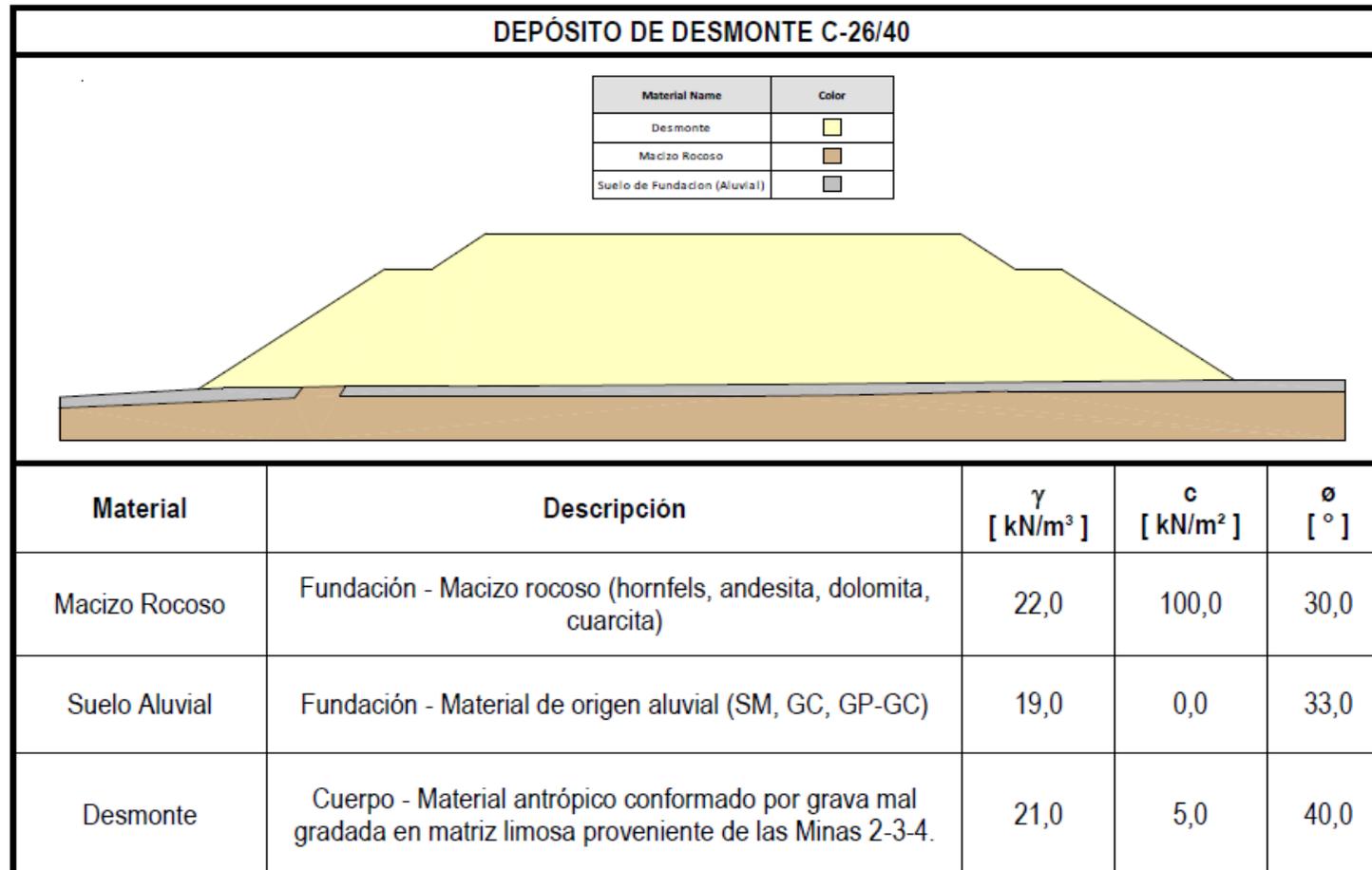
ANEXO N° 5 Minas 3.



ANEXO N° 6 Minas 6.



ANEXO N° 7: Depósitos de desmonte C-26/40



ANEXO N° 8: Depósito de desmonte C-41

