

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“RELEVO DE OPERADORES DE CAMIÓN DE ACARREO EN EL HORARIO DE REFRIGERIO EN BAHÍAS A NIVEL, DE MANERA SEGURA Y EFICIENTE”

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

**ELABORADO POR
ERLY TOPALAYA ÑAUPARI**

**ASESOR
MBA. ING. VICTOR MANUEL HERNÁNDEZ DÍAZ**

LIMA-PERU

2022

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mis padres: Clelia y Florencio quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba.

AGRADECIMIENTO

Gracias a mi alma mater Universidad Nacional de ingeniería y a todos mis profesores por haberme formado durante cinco años de manera muy exigente y poder ser un ingeniero de minas íntegro.

Gracias a mi persona, por haberme esforzado cada día para poder terminar de manera satisfactoria esta tesis y poder aportar con un grano de arena al desarrollo de la minería en el Perú.

INDICE GENERAL

	Pág
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
INDICE GENERAL	3
RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCION.....	11
OBJETIVOS.....	13
HIPÓTESIS.....	14
METODOLOGÍA	15
CAPÍTULO I	16
GENERALIDADES	16
1.1 UBICACIÓN DE MINA	16
1.2 ACCESIBILIDAD	17
1.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LA MINA	17
1.3.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	17
1.3.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	17
1.4 ESTRATIGRAFÍA	18
1.5 MINERALIZACIÓN	19
1.5.1. MINERALIZACIÓN HIPÓGENA.....	20

CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	21
2.1 OPERACIONES MINA	21
2.2 EXTRACCIÓN DE MINERAL A TAJO ABIERTO	23
2.3 ACTIVIDADES UNITARIAS	23
2.3.1 PERFORACIÓN	23
2.3.2 VOLADURA	24
2.3.3 CARGUÍO	24
2.3.4 ACARREO	25
2.3.5 DESCARGA EN CHANCADORAS Y BOTADEROS	25
2.3.6 CAPACITACIÓN DEL PERSONAL DE MINA	25
2.3.7 DISPONIBILIDAD MECÁNICA, UTILIZACIÓN Y EFICIENCIA EFECTIVA.....	26
CAPÍTULO III	27
TEORIA DE COLAS.....	27
3.1 GENERALIDADES	27
3.2 SUPESTOS DEMOSTRADOS	29
3.3 PROCESO SIMPLE DE GESTIÓN DE COLAS.....	31
3.4 MODELO DE COLAS DE UNA SOLA ETAPA CON MÚLTIPLES COLAS Y MÚLTIPLES SERVIDORES EN PARALELO	32
CAPITULO IV.....	38
ANALISIS DE RELEVO DE OPERADOR EN EL HORARIO DEL REFRIGERIO	38
4.1 INTERVALOS DE CONFIANZA.....	39
4.1.1 Relaciones funcionales para obtener intervalos de confianza.	39
4.1.2 Intervalos de confianza para la data real tomada	40
4.1.3 Interpretación de los intervalos de confianza	44
4.1.4 Longitud de cola esperada por turno.....	46
4.1.5 Análisis de colas por turno	47
4.1.6 Resultados en el cambio de guardia por turno aplicando el modelo de colas subscrito líneas arriba.....	48
4.1.7 Interpretación de los resultados del modelo de colas planteado por turno	51
4.2 DEMOSTRACION DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD PARA LOS SUPUESTOS MÁS REPRESENTATIVOS.....	54

4.2.1 Demostración del tipo de distribución de las tasas de llegadas de camiones a las bahías a nivel.....	54
4.2.2 Prueba de Hipótesis de bondad de ajuste Chi-Cuadrado.	55
4.2.3 Registro de datos para el análisis de colas.....	58
4.2.4 Registro de datos	58
CAPITULO V.....	66
INCREMENTO EN EL TIEMPO OPERATIVO DE CAMIONES DURANTE EL HORARIO DE REFRIGERIO (RELEVO DE OPERADOR).....	66
5.1 DEFINICIÓN DE LOS TÉRMINOS RELACIONADOS.....	67
5.2 RELEVO DE OPERADOR	69
5.2.1 Demora para Cambio de Operador para el periodo 2017	69
5.2.2 Tiempo promedio de Cambio de Operador y optimización para el periodo 2018.....	70
CAPITULO VI.....	73
OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION DURANTE EL HORARIO DE REFRIGERIO (CAMBIO DE OPERADOR).....	73
6.1 TONELADAS CARGADAS.....	74
CAPITULO VII.....	81
PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (PETS)	81
7.1 PROCEDIMIENTO DE RELEVO DE OPERADORES DE CAMION EN BAHIAS A NIVEL	81
7.1.1 Objetivo / Alcance.....	81
7.2. RESPONSABLES.....	82
7.2.1 Supervisor de Operaciones Mina (O7).....	82
7.2.2 Auxiliar de Operaciones Mina (O71).....	82
7.2.3 Despachador mina (D1/D2).	82
7.2.4. Operador de camión.	82
7.3 REQUERIMIENTOS:.....	82
7.4 PROCEDIMIENTO.....	83
7.4.1 Asignación de Camiones	83
7.4.2 BAHIA DE CAMBIO EN CALIENTE A NIVEL DE PISO	85
7.5 EXCEPCIONES	99
7.6 CONSIDERACIONES	100
7.7. ABREVIATURAS.....	100
CONCLUSIONES.....	101

RECOMENDACIONES..... 103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 105

INDICE DE FIGURAS

Figura 1,1	Geología de la unidad minera	18
Figura 1,2	Esquema Litológico (Mirando al NE)	19
Figura 6,1	Tonelaje movido por mes	80
Figura 7,1	Bahia cambio en caliente	85
Figura 7,2	Carril principal	86
Figura 7,3	Zona de espera	87
Figura 7,4	Ingreso de camiones	88
Figura 7,5	Llanta posición 2 coincide con el ditche	89
Figura 7,6	Circulina freno de parqueo está encendido	91
Figura 7,7	Circulina del freno de parqueo está encendido	92
Figura 7,8	Bajar escalera rebatible	93
Figura 7,9	Zona de espera	94
Figura 7,10	Operador de acerca a escalera rebatible	95
Figura 7,11	Abrir la puerta que se usa como cierre perimetral	96
Figura 7,12	Bahía de relevo	97

INDICE DE TABLAS

Tabla 4,1	Cantidad de llegadas a las bahías a nivel	60
Tabla 6,1	Producción de toneladas cargadas, diciembre 2017	74
Tabla 6,2	Producción de toneladas cargadas, enero 2018	75
Tabla 6,3	Producción de toneladas cargadas, febrero 2018	76
Tabla 6,4	Producción de toneladas cargadas, marzo 2018	77
Tabla 6,5	Producción de toneladas cargadas, abril 2018	78
Tabla 6,6	Producción de toneladas cargadas, mayo 2018	79
Tabla 6,7	Resumen de producción	79

RESUMEN

El presente proyecto nos demuestra la factibilidad y viabilidad de la construcción de Sistemas de relevo de operador en bahías a nivel, en este caso se presenta para el horario del refrigerio, estas bahías también pueden ser usados para relevos en general, para esto se tiene que analizar el lugar estratégico donde va estar ubicado nuestro sistema de relevo para poder tener un mejor flujo de clientes y de esta manera el relevo sea más rápido y seguro.

Hemos planteado como objetivo reducir el tiempo de relevo de operador y en consecuencia incrementar el tonelaje movido, para ello hemos recurrido al método de observación y análisis en campo.

De acuerdo al estudio realizado y puesto en marcha nuestro proyecto, hemos logrado reducir el tiempo promedio de cambio de operador de 2.96 minutos a 1.9 minutos, ahorrando un tiempo promedio por camión de 1.06 minutos, lo cual es un ahorro de tiempo significativo y en consecuencia nuestro proyecto es viable.

ABSTRACT

This project shows us the feasibility and viability of the construction of operator relay systems in bays at level, in this case it is presented for the refreshment schedule, these bays can also be used for relays in general, for this you have to analyze the strategic place where our replacement system will be located in order to have a better flow of customers and in this way the replacement is faster and safer.

We have set the objective of reducing the operator replacement time and consequently increasing the tonnage moved, for this we have resorted to the method of observation and analysis in the field.

According to the study carried out and launched our project, we have managed to reduce the average time of operator change from 2.96 minutes to 1.9 minutes, saving an average time per truck of 1.06 minutes, which is a significant time saving and consequently our project is viable.

INTRODUCCION

El horario de refrigerio en el cual todos y cada uno de los operadores tienen derecho a un tiempo de refrigerio que por ley y convenio colectivo con los trabajadores es de 45 minutos por trabajador en el turno de día y 55 minutos por trabajador en el turno noche.

Es constante la búsqueda de oportunidades de mejora durante el horario de refrigerio, para cada turno correspondiente: Turno día de 11:30am a 03:00 pm y para el turno noche de 00:00 am a 04:00 am, en dicho horario, cada uno de los trabajadores ingresa de manera correlativa a los diversos parqueos a los que son asignados por el despachador D2, para llevarlos a las salas de descanso o comedor o que sean relevados por personal de 08 horas, sobretiempos o relevos que se tiene, ocasionando que los equipos de carguío tengan ausencia de camiones generando pérdidas en toneladas cargadas para la operación.

Adicionalmente a esto, en el turno noche, hay operadores que voluntariamente desean pasar su refrigerio en el camión, esto involucra un ahorro de tiempo y recurso de bajar al operador, trasladarlo a la zona de comedor o descanso, controlar el tiempo de refrigerio por operador que como mencionamos anteriormente era de 55 minutos en el turno de noche, demora por traslado que es alrededor de 20 a 30 minutos , que es lo que nos ahorramos, en agradecimiento a esto,

se le brinda 10 minutos adicional de refrigerio solo al operador que comunica de manera voluntaria tomar su refrigerio en el camión, de acuerdo a la cantidad de voluntarios se realiza un cronograma de tiempo y parqueos seguros donde no circula muchos camiones para que pasen su refrigerio y el tiempo es controlado directamente por el despachador D2.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Describir el propósito del relevo de operadores en bahías a nivel de manera segura y eficiente.

Objetivos específicos:

Los objetivos específicos del presente trabajo de investigación son los siguientes:

- Reducir el tiempo promedio de cambio de operador en el horario de refrigerio.
- Incrementar el tonelaje movido por turno.
- Programar el mantenimiento de las bahías a nivel diariamente.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

- A través del relevo de operadores de camión de acarreo en el horario de refrigerio, en bahías a nivel, de manera segura y eficiente, lo que se quiere lograr es reducir el tiempo de relevo en el horario de refrigerio, en consecuencia, incrementar las horas operativas y el tonelaje movido.

Hipótesis Específicas

- Demostrar de forma cuantitativa la reducción del tiempo de relevo en el horario de refrigerio, calcular el tiempo promedio de relevo de operadores en bahías a nivel y el tiempo promedio de relevo de operadores en parqueos convencionales.
- En base al estudio realizado debemos realizar un cálculo aproximado de cuanto tonelaje adicional estamos moviendo gracias al uso de las bahías a nivel.
- Debido al relevo de operadores en las bahías con camiones vacíos y cargados, siempre se desprende material insignificante de la tolva de los camiones pero que afectan el relevo de operadores, es por eso que se programa de forma diaria el mantenimiento de dichas bahías, en coordinación directa entre el Supervisor de acarreo O71 y el Supervisor de equipos auxiliares O6 para el envío de un tractor de ruedas a la zona y realice el mantenimiento adecuado.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada para hacer realidad este proyecto es bastante práctica y consiste en lo siguiente:

Observaciones y análisis en campo durante las actividades de los diferentes equipos de carguío y acarreo en el tajo, indagaciones frecuentes por los problemas que existen en la operación a causa de los fenómenos presentados durante el avance del carguío y acarreo, las demoras significativas que afectan el ciclo de acarreo como por ejemplo las demoras de refrigerio, para eso se realizó observaciones en campo, calcular la hora de llegada, ingreso, salida, cola, servicio de los camiones en las bahías de relevo, así como también se realizó consultas a la base de datos de SQL para poder extraer información histórica de las demoras correspondientes.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

La compañía minera es una empresa de capitales norteamericanos La cual extrae cobre y cuya concesión minera se encuentra en la provincia, departamento y región de Arequipa que se encuentra al sur del Perú.

1.1 UBICACIÓN DE MINA

El asiento minero se encuentra ubicado a 30 km de la ciudad de Arequipa, a una altitud de 2700 m en los distritos de Uchumayo y Yarabamba, Provincia de Arequipa.

Sus coordenadas geográficas se localizan entre los 71° 34' de longitud Oeste y 16° 33' de latitud Sur, con elevaciones que fluctúan entre los 2200 y 2900 m.s.n.m.

1.2 ACCESIBILIDAD

La zona es accesible por dos rutas, mediante la carretera Panamericana antigua que se encuentra asfaltada y tomando un desvío totalmente asfaltado antes de llegar desde Arequipa a Lima.

La distancia de la Mina a la ciudad de Lima, en línea recta es de aproximadamente 1000 Km y al puerto de Matarani por carretera de 124 Km. Ambas rutas totalmente asfaltadas en el gobierno de Alberto Fujimori.

1.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LA MINA

1.3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Se encuentran, ubicados a 30 Km. al SO de Arequipa, son yacimientos del tipo pórfido de cobre y molibdeno, emplazados en el segmento sur del Batolito de la Costa.

1.3.2. GEOLOGÍA LOCAL

Localmente se tiene rocas plutónicas intruidas por rocas sub volcánicas porfiríticas de composición calco alcalina, las mismas que también han intruido a rocas metamórficas, volcánicas y sedimentarias, con edades que van desde el Precámbrico hasta el terciario inferior. Remanentes de ignimbritas, cenizas y arenas volcánicas, corresponden a los últimos eventos ocurridos en el área.

Las rocas plutónicas que engloban a los pórfidos sub volcánicos, genéticamente relacionados a los depósitos de cobre porfirítico, conforman, el complejo intrusivo conocido como La Caldera, estos pórfidos están alineados según dirección NO – SE, que es la

misma de la Cordillera de los Andes. Fisiológicamente, presentan una topografía madura con cerros redondeados de baja altura, quebradas secas y drenaje dendrítico.

1.4 ESTRATIGRAFÍA

Dentro del Área que comprende el presente estudio afloran rocas ígneas, intrusivas y extrusivas, metamórficas y sedimentarias que abarcan en el tiempo geológico desde el Precámbrico hasta el Reciente.

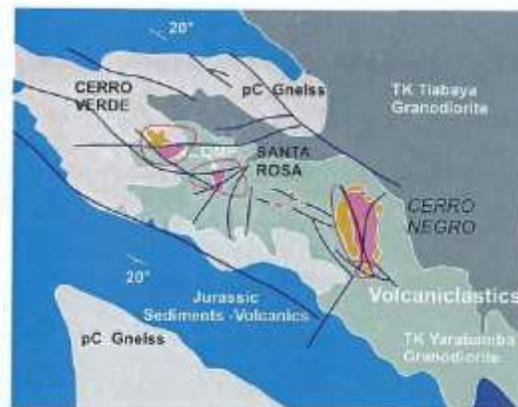


Figura. 1,1 geología de la unidad minera

Fuente: (Bidgood, T. 1999)

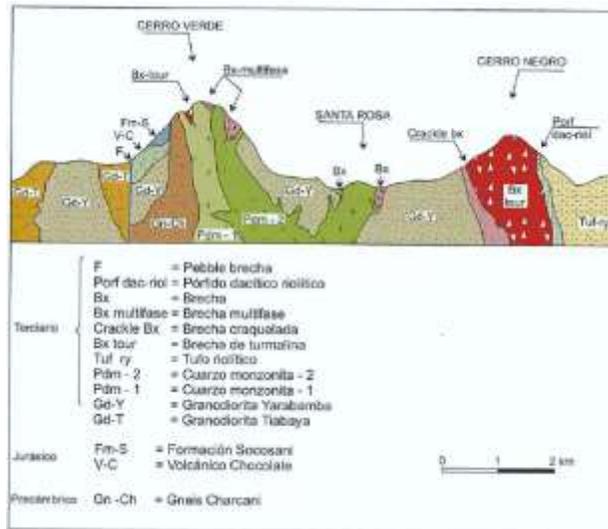


Figura 1,2 Esquema Litológico (Mirando al NE)

Fuente: (Núñez F. Mollepaza, S. Salas, P. 2000)

1.5 MINERALIZACIÓN

La distribución vertical por zonas es el siguiente: Zona Lixiviada, con limonita, jarosita, goethita, hematita. Zona de óxidos y mixtos, con brocantita, neotosita, malaquita, tenorita, antlerita, crisocola, calcantita y cuprita.

La calcopirita es el principal mineral de mena como sulfuro primario. Además se tiene cuarzo y algunas brechas con turmalina.

Las mineralización de cobre se presenta, 54% en la granodiorita Yarabamba, 24% en el Gneis de Charcani y 22% en los pórfidos monzoníticos – tonalíticos y brechas silíceas de cuarzo y turmalina.

Como alteraciones hipógenas se tiene un núcleo de mayor temperatura, de alteración potásica con ensamblaje de ortosa-biotita/anhidrita, biotita-ortosa/anhidrita, cobre primario mayor de 0,6 % y abarca el 80 % del área total.

La alteración fílica es de mayor amplitud en la granodiorita y gneis, en menor proporción se presenta en el pórfido monzonítico-tonolítico con ensamblaje de sericita cuarzo-sericita-pirita; cobre primario mayor de 0,6 % cubre el 20 % del área total. La alteración argílica ocurre en pequeñas áreas de la granodiorita con el ensamblaje cuarzo-caolín.

La alteración propilítica ocurre en la periferia a menor temperatura, con el ensamblaje clorita-epídota/calcita. La silicificación se encuentra cerca a los contactos de las brechas con la granodiorita y en el contacto pórfido-gneis.

El depósito es de forma elíptica y las dimensiones en sección horizontal son 1 200 m por 850 m.

1.5.1. MINERALIZACIÓN HIPÓGENA

La mineralización hipógena corresponde a los minerales primigenios.

Los sulfuros más importantes son pirita y calcopirita, en menor proporción ocurren: molibdenita, enargita, cobres grises, como también bornita y covelita primarias; otros sulfuros primarios como la esfalerita y galena tienen una ocurrencia esporádica. Otros sulfuros primarios presentes en esta zona son molibdenita, bornita, tetraedrita, galena, esfalerita y calcosita mayormente diseminados.

Los principales minerales hipógenos son pirita y calcopirita con los siguientes minerales accesorios: galena, esfalerita, molibdenita y tentatita. Esporádicamente se presentan mackinawita, cubanita, pirrotita y bornita. La enargita y la luzonita se presentan muy raramente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 OPERACIONES MINA

En la actualidad, la compañía minera explota sus reservas mineras constituidas por sulfuros primarios y secundarios a un ritmo aproximado de 250000 toneladas métricas diarias (TMD) de movimiento total. Dentro de esta cantidad, se extrae aproximadamente 108000 TMD de sulfuros primarios, 50000 TMD de material lixiviable, 102000 TMD de material de mediana y baja ley, y los procesa mediante una planta concentradora y otra de lixiviación en pilas, para producir en su planta de extracción por solventes y circuito electrolítico (SX/EW), cobre electrolítico de alta pureza en forma de cátodos. Los cátodos de cobre y el concentrado de cobre son transportados por camiones al puerto de Matarani, desde donde se exportan a mercados internacionales.

Las operaciones unitarias realizadas para la extracción de material consisten en cuatro etapas: perforación, voladura, carguío y acarreo, además de las operaciones auxiliares que se vienen realizando. Los camiones llevan distintos tipos de material a su respectivo destino: desbroce al botadero, mineral de baja ley va directamente a la mina; es decir al

pad de lixiviación (ROM) y mineral de alta ley a las chancadoras que luego irán a la planta concentradora.

Actualmente se cuenta con la siguiente flota para sus operaciones de perforación, carguío y acarreo:

- 78 camiones CAT 793D de 240 TM
- 4 camiones CAT 789B de 180 TM
- 2 palas hidráulicas O&K RH200 de 27 yd³ – Diesel (45 TM)
- 1 pala eléctrica 1700
- 1 pala eléctrica 2800
- 8 palas eléctricas 4100
- 1 cargador frontal CAT 992
- 2 cargadores frontales CAT 994

En la mina tenemos cuatro operaciones unitarias principales: perforación, voladura, carguío y acarreo. Además de otras operaciones auxiliares, construcción de mina, capacitación del personal.

2.2 EXTRACCIÓN DE MINERAL A TAJO ABIERTO

Este tipo de extracción se utiliza cuando los yacimientos presentan una forma regular y están ubicados en la superficie o cerca de esta, de manera que el material estéril que lo cubra pueda ser retirado a un costo tal que pueda ser absorbido por la explotación de la porción mineralizada.

Este sistema de extracción permite utilizar equipos de grandes dimensiones, ya que el espacio no está restringido como es en el caso de minas subterráneas, aunque su operación puede estar limitada por el clima, como es el caso de las minas ubicadas en la alta cordillera o la zona central del país.

2.3 ACTIVIDADES UNITARIAS

2.3.1 PERFORACIÓN

La operación de perforación consta de realizar taladros a distancias regulares entre sí, generalmente entre 6 y 9 m. dependiendo de la dureza del material y de la profundidad del taladro, estos taladros presentan alturas que varían entre los 15 y 17 m. dependiendo de la altura del diseño del banco, en el que se introducen los explosivos, los cuales permiten la detonación y posterior fragmentación de la roca.

Para realizar las perforaciones, se utilizan grandes equipos de perforación rotatoria (Perforadora IRDDM2 y PV271), equipados con barrenos de carburo de tungsteno de 9/4 pulgadas de diámetro y brocas de 11 pulgadas de diámetro, los que permiten perforar un hoyo de hasta 17 m. de longitud en solo 20 minutos.

2.3.2 VOLADURA

En cada taladro cargado con explosivos, se introduce un iniciador Booster y dos detonantes (uno de encendido manual y otro electrónico), éste último se detona mediante control remoto. Se establece una secuencia de detonaciones entre los distintos taladros de una voladura, de manera que la roca sea fragmentada en etapas partiendo de la cara expuesta del banco hacia adentro, con diferencias de tiempo de fracciones de segundo entre cada detonación.

El producto obtenido es la roca mineralizada fragmentada, la cual debe presentar un tamaño suficientemente pequeño (en promedio 7 pulgada) como para ser cargada y transportada por los equipos mineros y alimentar a la chancadora primaria, en donde se inicia el proceso de reducción de tamaño en un sistema en línea hasta llegar a la planta de tratamiento.

2.3.3 CARGUÍO

El material detonado es cargado en camiones de gran tonelaje mediante gigantescas palas eléctricas o cargadores frontales. Estos equipos llenan los camiones en una operación continuada desde que queda disponible el banco después de la voladura.

Las palas eléctricas tienen la capacidad de cargar hasta 120 toneladas de material por vez, por lo que realizan de dos a tres movimientos o pases para cargar un camión. Los cargadores tienen menor capacidad y en minas de gran tamaño son utilizados solo para trabajos especiales. Una pala necesita un frente de carguío mínimo de 65 m. de ancho para así poder minar hacia ambos lados para así poder mejorar la productividad de dicha pala.

2.3.4 ACARREO

Para el transporte de material tanto mineralizado o estéril, se utilizan camiones de gran tonelaje, por ejemplo, de capacidades de 180, 240 y 320 toneladas.

Estas transportan el material desde el frente de carguío a sus diferentes destinos ya sean chancadoras para el mineral o depósitos y botaderos para materiales de mediana, baja ley y desmonte.

2.3.5 DESCARGA EN CHANCADORAS Y BOTADEROS

EQUIPOS AUXILIARES

Para que la flota de equipo de camiones produzca de forma óptima, es necesario contar con un excelente trabajo de los equipos auxiliares, los cuales se encargan del mantenimiento de accesos para los equipos de acarreo, preparar los frentes de minado para que las palas no pierdan tiempo en el carguío. Así también comprende el regadío de las rutas para eliminar el polvo, el bombeo continuo de los niveles inferiores y la señalización de la mina.

2.3.6 CAPACITACIÓN DEL PERSONAL DE MINA

Esta área depende directamente de la superintendencia de mina y se encarga de capacitar en forma teórica y práctica al personal nuevo, así como también reforzar al personal o quiere aprender a operar otro equipo, elaborar procedimientos de trabajo seguro, videos de charlas de seguridad y evalúa permanentemente al personal de operaciones mina.

2.3.7 DISPONIBILIDAD MECÁNICA, UTILIZACIÓN Y EFICIENCIA EFECTIVA

Los índices operacionales de disponibilidad mecánica y utilización para los equipos de mina se calculan en base a estándares de la corporación:

Disponibilidad Mecánica (%)

$$D = \frac{T - DM}{T}$$

Utilización (%)

$$U = \frac{HO}{T - DM}$$

Eficiencia Activa (%)

$$E = D \times U$$

Dónde:

- D = Disponibilidad Mecánica
- U = Utilización
- E = Eficiencia Activa
- T = Tiempo Total
- DM = Demora mecánica (incluye las programadas y no programadas)
- HO = Horas Operativas

CAPÍTULO III

TEORIA DE COLAS

3.1 GENERALIDADES

Se podría aseverar con toda certeza que cualquier persona alguna vez ha formado parte de una cola o línea de espera, con la finalidad de recibir un bien o servicio.

Las colas o líneas de espera se presentan, cuando los clientes o usuarios llegan a un lugar demandando un servicio. Si la persona que ofrece el servicio no está disponible inmediatamente y el cliente decide esperar, entonces se forma una línea de espera. Estas son frecuentes en la vida cotidiana, por ejemplo: para cobrar un salario o estipendio, para abordar algún medio de transporte, para entrar a algún lugar, o para comprar algún producto. Sin embargo, resulta inusitado el hecho de que algo tan común e inadvertido como son las colas, haya sido y lo sigue siendo objeto de estudio de las ciencias, y específicamente de una de las técnicas analíticas modernas de la investigación de operaciones: la Teoría de Colas.

La Teoría de Colas surgió a principios del siglo XX, cuando el problema de la congestión de tráfico que se presentaban en las redes telefónicas fue estudiado por primera vez desde un enfoque científico por el danés Agner Kraup Erlang. A partir de ese entonces esta teoría se ha aplicado a multitud de problemas de la vida real.

El estudio de las colas es importante ya que proporciona tanto una base teórica del tipo de servicio que se puede esperar de un determinado recurso, como la forma en la cual puede ser diseñado. La teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de línea de espera. Dichos modelos sirven para encontrar un balance entre el costo del servicio y el costo asociado a la espera por ese servicio.

Es válido aclarar que no concierne a esta teoría alcanzar la meta de la investigación de operaciones: la toma de decisiones óptimas. En lugar de ello brinda información sobre el comportamiento del sistema de colas, para mejorarlo en función de la satisfacción de los clientes o usuarios, y del desempeño de quienes ofrecen el servicio.

Modelo de colas con una sola etapa de servicio

El termino sistema de colas es usado para indicar un conjunto de uno o más líneas de espera con un servidor o un conjunto de servidores que proveen el servicio para estas líneas de espera indicadas. Los resultados de este sistema son presentados asumiendo

que la política FIFO en la disciplina de la cola en las líneas de espera existente y el comportamiento de las colas o líneas de espera es; cola más corta cola que es ocupada por el siguiente camión (ahorro en tiempo).

- Usando el mismo concepto de modelo, las unidades de servicio en el sistema, están dispuestas en 2 filas que constan de 6 servidores, con lo cual las dos filas de servidores están aptas para formar una cola con 6 servidores, donde las llegadas de los camiones cada cierto intervalo de tiempo (tiempo de refrigerio) suceden de manera secuencial y ordenada e ingresan a cada uno de los servidores para ser atendidos generándose una tasa de servicios. Además, para este modelo los siguientes supuestos son hechos:

3.2 SUPESTOS DEMOSTRADOS

- Las llegadas de los camiones siguen un proceso de POISSON.
- El número de camiones que ingresan al sistema de servicio (Relevo en Bahías) durante un periodo de tiempo $(t, t+s)$ solamente depende de la longitud del periodo de tiempo (duración) (s) , pero no de la relación con el tiempo de inicio (t) .
- Si el intervalo de tiempo es lo suficientemente pequeño, abra a lo sumo un camión llegando a la cola o siendo servido durante el tiempo $(t, t+s)$.
- El número de camiones que llegan en el intervalo $(t, t+s)$ permiten una distribución de Poisson y sus llegadas en el Sistema de Relevo, un proceso de Poisson.
- Un proceso de Poisson es como una secuencia de eventos “aleatoriamente espaciados en el tiempo”.

- El tiempo entre las inter-llegadas de los camiones de un proceso de Poisson, tienen una distribución exponencial.
- Entonces:

$$P(T_i > t) = P_o(t) = e^{-\mu * t}$$

Luego:

$$P(T_i \leq t) = F_{ti}(t) = 1 - e^{-\mu * t} \quad \text{Y} \quad f_{ti}(t) = \mu * e^{-\mu * t} \quad ; \text{ para } t > 0$$

*Fuente: Fundamentals of Queueing Theory” por Donald Gross y Carl Harris

Donde:

T_i = Tiempo hasta la próxima llegada desde T_o hasta T_i , por ejemplo: $(T_i - T_o)$.

T_o = Tiempo inicial

t = Tiempo entre inter llegadas (aleatorio)

μ = Tasa promedio de servicio

F = Frecuencia acumulada

Similarmente, las variables aleatorias $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n, \dots$ de los tiempos entre las inter llegadas son independientes uno del otro y cada uno tiene una distribución exponencial con una media $(1/\mu)$.

Tiempos de servicio son distribuidos exponencialmente.

Así como para el número de llegadas que siguen una distribución de Poisson, para el tiempo de servicios se ha demostrado utilizando la prueba de bondad de ajuste de T de Student, para los datos recolectados en campo mediante una serie de cálculos y demostraciones.

Unidades de servicio idénticos (servicio de cambio de operador similar en todas las bahías).

Numero finito de camiones en el sistema de colas (Por ejemplo, capacidad de cola limitada 14 camiones como máximo en el sistema de relevo).

- Disciplina de atención en la cola FIFO (primero en ingresar, primero en ser servido).
- Los camiones que ingresan de diferentes zonas o lugares de la operación (PIT, DUMP, PAD, STOCK-PILE, OIL STATION, etc.) son atendidos de la misma manera conforme ingresan, respetando estrictamente el orden de llegada.
- Todos los camiones que llegan al sistema de relevo serán servidos en tiempos aproximadamente distribuidos por igual, vale decir en un orden claro que el primero que ingresa es el primero en salir, por supuesto también que los camiones podrán escoger aleatoriamente la cola más corta en las dos líneas, de tal manera de disminuir el tiempo de espera.

3.3 PROCESO SIMPLE DE GESTIÓN DE COLAS

Los clientes que requieren un servicio, son generados en el tiempo por una fuente de entrada (camiones). El servicio requerido, es luego interpretado como un mecanismo de

servicio, después que los camiones abandonan el sistema de colas. Entonces para el sistema de relevo se tiene ya definido un modelo de colas el cual es: Una cola, Servidores Múltiples.

3.4 MODELO DE COLAS DE UNA SOLA ETAPA CON MÚLTIPLES COLAS Y MÚLTIPLES SERVIDORES EN PARALELO

Es muy importante distinguir en este modelo 3 sub-procesos característicos del sistema:

- Proceso de llegadas

Es una parte de proceso que incluye la llegada de los camiones, tipos de estos y un tipo de demanda; distancias de llegada ya sea determinísticas probabilísticas y la intensidad en las llegadas que se presenta en el sistema de relevo. Los procesos suceden evento tras evento, por ejemplo: La llegada de Camiones colocan a estos ya sea en un servidor en la cola para ser servido y al mismo tiempo se programa el próximo evento para la llegada del próximo camión en algún tiempo en adelante; vale decir que los camiones llegan cada cierto intervalo de tiempo independientes entre sí, con cierta probabilidad de ocurrencia o no ocurrencia.

- Proceso de espera

En esta parte del proceso incluye la longitud de colas que se forman en algún momento en el sistema, disciplina de servicio (FIFO). Esto incluye el evento “empezar a servir el próximo camión de la cola o en el sistema”, lo cual lleva al camión de la cola al servicio y al mismo tiempo da el paso para el servicio del próximo camión en adelante, con la probabilidad de formar o no formar colas según el proceso de llegadas y la capacidad de servidores.

- Proceso de servicio

En esta parte incluye el tipo de un servidor, tasa de servicio y tiempo de servicio. Esto incluye el evento “camión servido”, lo cual da paso al siguiente evento “empezar a servir el próximo camión de la cola o en el sistema”.

MODELO DE COLAS PARA EL ANÁLISIS EN ESTUDIO

El modelo planteado y etiquetado para este sistema es el conocido como: M/M/C/K/FIFO.

Dónde:

- M = representa la distribución exponencial Markoviana de los intervalos de inter-llegadas de los camiones.
- M = representa la distribución exponencial Markoviana de los tiempos de servicio.
- C = representa el número de servidores
- K = representa en número específico limitado de clientes en el sistema.
- FIFO = representa la disciplina de servicios en el sistema (primero en llegar-primero en ser servido).

Para nuestro análisis el modelo planteado será: M/M/12/14/FIFO, lo que significa que la capacidad de unidades en nuestro sistema está limitada a 14 como máximo.

PARÁMETROS PARA EL MODELO DE COLAS PLANTEADO (MODELO DE MÚLTIPLES COLAS, MÚLTIPLES SERVIDORES EN PARALELO)

Definiciones:

- N = Número de clientes a ser relevados.
- N = número total de clientes (camiones) en el sistema (en la cola y siendo servidos).
- C = número de servidores en paralelo (unidades de servicio conocido como bahías).
- λ = tasa de llegadas por unidad de tiempo.
- μ = tasa de servicio por unidad de tiempo.
- $C*\mu$ = tasa de servicio cuando el número de servidores en el sistema es mayor a uno ($C>1$)
- P = congestión o tráfico en el sistema de servicio, factor de utilización ($\lambda / (\mu*C)$), (el factor esperado de tiempo en el cual el servidor está ocupado, lo cual es la capacidad del servicio siendo utilizado sobre la llegada de los camiones).
- P_n = probabilidad que hayan n camiones en el sistema estable.
- L = número promedio de clientes en el sistema.
- L_q = número promedio de clientes esperando en la cola.
- W_q = tiempo promedio de espera de clientes en la cola.
- W = tiempo promedio de espera de los clientes en el sistema.
- R = número promedio de clientes que se atienden por término promedio.

NOTACIONES Y SUS DESCRIPCIONES EL SISTEMA ES DE CONDICIÓN CONSTANTE (EQUILIBRIO ENTRE AMBOS EVENTOS).

- P_0 = Probabilidad de estado constante de que no haya ningún camión en el sistema de Relevó.

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} + \left(\frac{r^c}{c!} * \left(\frac{(1 - \rho^{K-c+1})}{(1 - \rho)} \right) \right) \right]^{-1} ; \rho \neq 1$$

P_n = probabilidad de estado constante de n camiones en el sistema de Relevó.

$$P_n = \frac{\lambda^n}{c^{n-c} * c! * \mu^n} ; c \leq n \leq K$$

L_q = número promedio de camiones en la línea de espera (cola), capacidad limitada a 14 camiones, uno en cada fila.

$$L_q = \frac{P_0 * r^c * \rho}{c! * (1 - \rho)^2} * \left[(1) - (\rho^{K-c+1}) - \left((1 - \rho) * (K - c + 1) * (\rho^{K-c}) \right) \right]$$

L = número promedio de camiones en el sistema esperando y siendo servidos, teniendo la restricción de la capacidad máxima del sistema a 14 camiones.

$$L = L_q + r * (1 - P_k)$$

W_q = tiempo promedio de espera que un camión pasa en la cola, aun sin ser atendido.

$$W_q = \left(\frac{L}{\lambda * (1 - P_k)} \right) - \left(\frac{1}{\mu} \right)$$

W = Tiempo promedio que un camión espera en el sistema.

$$W = \left(\frac{L}{\lambda * (1 - P_k)} \right)$$

*Fuente: Fundamentals of Queueing Theory” por Donald Gross y Carl Harris

LONGITUD ESPERADA PARA CADA COLA (2 COLAS)

Debemos tener en cuenta que los camiones que llegan a los servidores, en este caso a las bahías de relevo siguen una distribución poissoniana, también el diseño de las bahías es cumpliendo las dimensiones como para que el camión CAT 793 y Komatsu 930 E puedan ingresar sin problemas y se repta el orden de llegada de los camiones, las bahías cuentan con dos plataformas en forma lineal y doce bahías en forma paralela, puede haber máximo dos camiones en cola esperando a ser atendidos.

SIMULACIÓN DE COLAS

El propósito de este trabajo es la aplicación de la simulación Montecarlo a la obtención de resultados esperados en un sistema de colas con un solo canal. El análisis se orienta a tipificar problemas cuyas distribuciones de probabilidad del número de arribos y de servicios son diferentes a la distribución de Poisson; concretamente se trabaja con distribuciones empíricas. Se trata de calcular los parámetros esperados de decisión a partir de un procedimiento manual de simulación, en el entendido de que las fórmulas analíticas no se aplican a estos casos.

Cuando los intervalos, entre llegadas sucesivas, es aleatorio entonces surge la aleatoriedad en simulaciones. El tiempo t , entre clientes (intervalo t) (llegadas al Sistema de Relevo), es representado por una distribución exponencial, de esta manera se generan los tiempos de llegada para los próximos clientes de esta distribución; ahora tenemos lo siguiente:

$$t = -\left(\frac{1}{\mu}\right) * \ln(R)$$

Donde:

R = es el número aleatorio con distribución uniforme tomado de manera aleatoria

μ = es el tiempo de servicio promedio.

CAPITULO IV

ANALISIS DE RELEVO DE OPERADOR EN EL HORARIO DEL REFRIGERIO

En la compañía minera contamos con aproximadamente 9 parqueos convencionales

En este tipo de sistema los clientes (camiones) son servidos con la disciplina (FIFO). La toma de tiempos fue realizada por el despachador D2, que es el encargado de la gestión de los camiones con el sistema Dispatch.

La data recolectada, en los formatos, son editados en un formato Excel en digital para poder calcular los parámetros requeridos del análisis del sistema de colas. En primer lugar, se calcula los intervalos de confianza para estimar la tasa de servicio, la tasa de llegada de los clientes y su respectiva desviación. Luego se realiza el análisis para el modelo que implica 12 servidores distribuidos en dos líneas en paralelo de 6 servidores cada una, una para cada fila respectivamente, mientras que la segunda parte es realizada a través de simulación de colas para el sistema con las características dadas líneas arriba.

También se estima intervalos de confianza para tasas promedio de servicio y tasas promedio de llegadas. Asumiendo tiempo de servicio y tiempo de llegadas con características $N(0,1)$ y con 95% de confianza.

4.1 INTERVALOS DE CONFIANZA

La elaboración de intervalos de confianza se realiza con la finalidad de obtener rangos de valores que permitan ver la variación del parámetro que se desea analizar a través de cierto grado de confianza en la muestra, de esta manera poder ajustar los valores y obtener los mejores resultados.

La mejor interpretación del intervalo de confianza es; se construye un intervalo a través de una muestra dada de tamaño N con cierto grado de confianza (%) para el parámetro a analizar, entonces tenemos la seguridad de que si al elegir una muestra de tamaño determinado el grado de confianza en porcentaje nos dará la probabilidad que el parámetro a analizar estará en ese intervalo.

4.1.1 Relaciones funcionales para obtener intervalos de confianza.

Intervalo de confianza para tiempos entre llegadas al 95% de confianza.

$$((\text{Tiempo medio de llegada} + 1.96 \times SE(\text{tiempo medio de llegada}))^{-1};$$

$$(\text{Tiempo medio de llegada} - 1.96 \times SE(\text{tiempo medio de llegada}))^{-1})$$

Donde:

$$SE(\text{tiempo de llegada}) = SD(\text{tiempo medio de llegada})/\sqrt{n}$$

$$N = \text{numero de llegadas}$$

Intervalo de confianza para tiempos de servicio al 95% de confianza.

$$((\text{tiempo medio de servicio} + 1.96 * SE(\text{tiempo de servicio}))^{-1}$$

$$(\text{tiempo medio de servicio} - 1.96 * SE(\text{tiempo medio de servicio}))^{-1})$$

4.1.2 Intervalos de confianza para la data real tomada

➤ **Marzo turno día:**

Se tiene:

Media (tiempo de servicio) = 1.93 min / camión.

SD (tiempo de servicio) = 0.53 min / camión.

Media (tiempo de llegada) = 2.52 min / camión.

SD (tiempo de llegada) = 0.93 min / camión.

N (promedio) = 41

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{N}} = \frac{0.53}{\sqrt{41}} = 0.083 \text{ min / camión.}$$

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de servicio:

Media (tiempo de servicio) -1.96 * SE (tiempo de servicio)=

$$1.93 - 1.96 \times 0.083 = 1.77 \text{ min / camión.}$$

Media (tiempo de servicio)+1.96 * SE (tiempo de servicio)=

$$1.93 + 1.96 \times 0.083 = 2.09 \text{ min / camión.}$$

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de servicio:

$$\frac{1}{\text{media}(\text{tiempo de servicio}) + 1.96 * SE(\text{tiempo de servicio})} = \frac{1}{1.93 + 1.96 * 0.083} =$$

$$0.48 \text{ camión/min} \times 60 = 29 \text{ camión/hora.}$$

$$\frac{1}{\text{media}(\text{tiempo de servicio}) - 1.96 * SE(\text{tiempo de servicio})} = \frac{1}{1.93 - 1.96 * 0.083} =$$

$$0.566 \text{ camión/min} \times 60 = 34 \text{ camión / hora.}$$

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de llegadas:

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{N}} = \frac{0.93}{\sqrt{41}} = 0.15 \text{ min / camión.}$$

$$\text{media(tiempo de llegada)} - 1.96 * SE(\text{tiempo de llegada}) =$$

$$2.52 - 1.96 * 0.15 = 2.226 \text{ min / camión.}$$

$$\text{media(tiempo de llegada)} + 1.96 * SE(\text{tiempo de llegada}) =$$

$$2.35 + 1.96 * 0.093 = 2.814 \text{ min / camión.}$$

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de llegada:

$$\frac{1}{\text{media(tiempo de llegada)} + 1.96 * SE(\text{tiempo de llegada})} = \frac{1}{2.52 + 1.96 * 0.15} =$$

$$0.355 \text{ camión/min} * 60 = 21 \text{ camión / hora.}$$

$$\frac{1}{\text{media(tiempo de llegada)} - 1.96 * SE(\text{tiempo de llegada})} = \frac{1}{2.35 - 1.96 * 0.093} =$$

$$0.449 \text{ camión/min} * 60 = 27 \text{ camión / hora.}$$

➤ Marzo turno noche:

Intervalos de confianza para la data tomada en turno noche.

Se tiene:

Media (tiempo de servicio) = 2.02 min / camión.

SD (tiempo de servicio) = 0.95

Media (tiempo de llegada) = 2.50 min / camión.

SD (tiempo de llegada) = 0.87

N (promedio) = 40

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{N}} = \frac{0.95}{\sqrt{40}} = 0.15 \text{ min/camión}$$

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de servicio:

Tenemos el siguiente intervalo: [1.73 – 2.31] min/camión

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de servicio:

Tenemos el siguiente intervalo: [26 – 35] camión/ hora

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de llegadas:

Tenemos el siguiente intervalo: [2.230 – 2.770] min/camión

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de llegada:

Tenemos el siguiente intervalo: [21 – 27] camión / hora

➤ **Abril turno día**

Intervalos de confianza para la data tomada en turno Noche.

Se tiene:

Media (tiempo de servicio) = 1.90 min / camión.

SD (tiempo de servicio)= 0.50 min / camión.

Media (tiempo de llegada) = 2.83 min / camión.

SD (tiempo de llegada) = 1.1 min / camión.

N (promedio) = 37

$SE = 0.082$ min / camión.

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de servicio:

Tenemos el siguiente intervalo: [1.739 – 2.061] min/camión

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de servicio:

Tenemos el siguiente intervalo: [29 – 34] camión / hora

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de llegadas:

Tenemos el siguiente intervalo: [2.477 – 3.183] min/camión

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de llegada:

$$\frac{1}{\text{media}(\text{tiempo de llegada}) + 1.96 * SE(\text{tiempo de llegada})} = \frac{1}{1.9 + 1.96 \times 0.18} =$$

0.314 camión/min x 60 = 19 camión/hora.

$$\frac{1}{\text{media}(\text{tiempo de llegada}) - 1.96 * SE(\text{tiempo de llegada})} = \frac{1}{1.9 - 1.96 \times 0.18} =$$

0.404 camión/min x 60 = 24 camión/hora.

Tenemos el siguiente intervalo: [19 – 24] camión / hora

➤ **Abril turno noche**

Intervalos de confianza para la data tomada en turno Noche.

Se tiene:

Media (tiempo de servicio) = 1.75 min / camión.

SD (tiempo de servicio) = 0.52 min / camión.

Media (tiempo de llegada) = 2.55 min / camión.

SD (tiempo de llegada) = 0.8 min / camión.

N (promedio) = 37

$SE = 0.085$ min / camión.

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de servicio:

Tenemos el siguiente intervalo: [1.583 – 1.917] min / camión

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de servicio:

Tenemos el siguiente intervalo: [31 – 38] camión / hora

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de llegadas:

Tenemos el siguiente intervalo: [2.29 – 2.81] min / camión

95% de confianza para el intervalo de confianza del tiempo de llegada:

Tenemos el siguiente intervalo: [21 – 26] camión / hora

4.1.3 Interpretación de los intervalos de confianza

➤ **Marzo turno día**

El tiempo de servicio puede variar desde **1.77** hasta **2.09** minutos por camión y el tiempo entre llegadas puede variar desde **2.226** hasta **2.814** minutos por camión, a simple vista podemos darnos cuenta que casi no habrá camiones esperando en cola, además observamos que la frecuencia de llegada varía desde **21** hasta **27** clientes por hora y en las bahías podemos atender desde **24** hasta **34** servicios en una hora, teniendo en cuenta de los 12 servidores disponibles, por lo que podemos darnos cuenta que el relevo en bahías a nivel es eficiente.

➤ **Marzo turno noche**

Rango del tiempo de servicio: [1.73 – 2.31] minutos / camión

Rango del tiempo entre llegadas: [2.230 – 2.770] minutos / camión

Rango de frecuencia de llegada: [21 - 27] clientes / hora

Rango de atención en bahía: [26 - 35] servicios / hora

➤ **Abril turno día**

Rango del tiempo de servicio: [1.739 – 2.061] minutos / camión

Rango del tiempo entre llegadas: [2.477 – 3.183] minutos / camión

Rango de frecuencia de llegada: [19 - 24] clientes / hora

Rango de atención en bahía: [29 - 34] servicios / hora

➤ **Abril turno noche**

Rango del tiempo de servicio: [1.583 – 1.917] minutos / camión

Rango del tiempo entre llegadas: [2.29 – 2.81] minutos / camión

Rango de frecuencia de llegada: [21 - 26] clientes / hora

Rango de atención en bahía: [31 - 38] servicios / hora

4.1.4 Longitud de cola esperada por turno

➤ **Marzo turno día**

Se puede encontrar la longitud de cola esperada usando data empírica (tomada de campo) y con una serie de relaciones planteadas para el modelo líneas arriba. En el ensayo, el número de camiones esperando en la cola es calculado y es prácticamente nulo su valor es $3.0025E-12$ de unidades por minuto y el numero promedio de camiones en el sistema es: 0.77 unidades por minuto.

➤ **Marzo turno noche**

$$Lq = 4.86981E-12 \text{ und / min}$$

$$L = 0.80 \text{ und / min}$$

Donde:

Lq : Número promedio de clientes en cola

L = Número promedio de clientes en el sistema

➤ **Abril turno día**

$$Lq = 4.53217E-13 \text{ und / min}$$

$$L = 0.66 \text{ und / min}$$

Donde:

Lq : Número promedio de clientes en cola

L = Número promedio de clientes en el sistema

➤ **Abril turno noche**

$$Lq = 7.04159E-13 \text{ und / min}$$

$$L = 0.68 \text{ und / min}$$

Donde:

Lq : Número promedio de clientes en cola

L = Número promedio de clientes en el sistema

4.1.5 **Análisis de colas por turno**

➤ **Marzo turno día**

En el turno, los clientes llegan en una tasa promedio de 24 camiones por hora, esto depende de la cantidad de relevos y disponibilidad de bahías con los que se cuenta en el sistema, para relevar tantos camiones según existan en la operación un promedio de 29 camiones pueden ser servidos por hora en el sistema de cambio de guardia según las características con las que se ha descrito el mismo.

➤ **Marzo turno noche**

En el turno, los clientes llegan en una tasa promedio de 24 camiones por hora, esto depende de la cantidad de relevos y disponibilidad de bahías con los que se cuenta, para relevar tantos camiones según existan en la operación un promedio de 30 camiones pueden ser servidos por hora en el sistema de cambio de guardia y esto básicamente depende del tiempo de servicio por unidad, según las características con las que se ha descrito el mismo.

➤ **Abril turno día**

En el turno, los clientes llegan en una tasa promedio de 21 camiones por hora, esto depende de la cantidad de relevos y disponibilidad de bahías con los que se cuenta en el sistema para poder hacer el llamado de unidades, como se puede observar la cantidad de llegadas es mayor en comparación a febrero, debido a la mayor cantidad de camiones que se tuvo por relevar en estas fechas un promedio de 31 camiones pueden ser servidos por hora en el sistema de cambio de guardia según las características con las que se ha descrito el mismo.

➤ **Abril turno noche**

En el turno, los clientes llegan en una tasa promedio de 24 camiones por hora, lo cual depende de la cantidad de relevos y disponibilidad de bahías con los que se cuenta, para relevar tantos camiones según existan en la operación un promedio de 34 camiones pueden ser servidos por hora en el sistema de cambio de guardia según las características con las que se ha descrito el mismo.

4.1.6 Resultados en el cambio de guardia por turno aplicando el modelo de colas subscrito líneas arriba.

Los parámetros y las características correspondientes en el modelo M/M/12/14/FIFO, obviamente asumiendo un sistema de condición estable son:

➤ **Marzo turno día**

C: número de servidores en paralelo (unidades de servicio conocido como bahías) = 12

K = 14

λ : tasa de llegadas = 0.4 camiones por minuto.

μ : tasa de servicio = 0.52 camiones por minuto.

$C*\mu$: tasa de servicio para los 12 servidores (sistema) = $12*0.52 = 6.24$ camiones por minuto

ρ : congestión o tráfico en el sistema de servicio = $\frac{\lambda}{C*\mu} = 0.0641$

$r = \frac{\lambda}{\mu} = 0.769$

Utilización del sistema de cambio de guardia = $\rho = 6.41\%$

Probabilidad que todos los servidores estén libres = $P_0 = 0.46$

Numero promedio de clientes en la cola (L_q) = $3.0025E-12$ camiones

Numero promedio de clientes en el sistema (L) = 0.77 camiones

Tiempo promedio que invierten los clientes en la cola (W_q) = $7.50644E-12$ minutos

Tiempo promedio que invierten los clientes en el sistema (W) = 1.92 minutos

➤ **Marzo turno noche**

C : número de servidores en paralelo (unidades de servicio conocido como bahías) =
12

$K = 14$

λ : tasa de llegadas = 0.40 camiones por minuto.

μ : tasa de servicio = 0.50 camiones por minuto.

$C*\mu$: tasa de servicio para los 12 servidores (sistema) = $12*0.50 = 6$ camiones por minuto

ρ : congestión o tráfico en el sistema de servicio = $\frac{\lambda}{C*\mu} = 0.0667$

$r = \frac{\lambda}{\mu} = 0.8$

Utilización del sistema de cambio de guardia = $\rho = 6.67\%$

Probabilidad que todos los servidores estén libres = $P_0 = 0.45$

Numero promedio de clientes en la cola (L_q) = $4.86981E-12$ camiones

Numero promedio de clientes en el sistema (L) = 0.8 camiones

Tiempo promedio que invierten los clientes en la cola (Wq) = 1.21743E-11 minutos

Tiempo promedio que invierten los clientes en el sistema (W) = 2 minutos

➤ **Abril turno día**

C: número de servidores en paralelo (unidades de servicio conocido como bahías) =
12

K = 14

λ : tasa de llegadas = 0.35 camiones por minuto.

μ : tasa de servicio = 0.53 camiones por minuto.

$C*\mu$: tasa de servicio para los 12 servidores (sistema) = $12*0.53 = 6.36$ camiones por minuto

ρ : congestión o tráfico en el sistema de servicio = $\frac{\lambda}{C*\mu} = 0.055$

$r = \frac{\lambda}{\mu} = 0.660$

Utilización del sistema de cambio de guardia = $\rho = 5.50\%$

Probabilidad que todos los servidores estén libres = $P_0 = 0.52$

Numero promedio de clientes en la cola (Lq) = 4.53217E-13 camiones

Numero promedio de clientes en el sistema (L) = 0.66 camiones

Tiempo promedio que invierten los clientes en la cola (Wq) = 1.29496E-12 minutos

Tiempo promedio que invierten los clientes en el sistema (W) = 1.87 minutos

➤ **Abril turno noche**

C: número de servidores en paralelo (unidades de servicio conocido como bahías) =
12

K = 14

λ : tasa de llegadas = 0.39 camiones por minuto.

μ : tasa de servicio = 0.57 camiones por minuto.

$C*\mu$: tasa de servicio para los 12 servidores (sistema) = $12*0.57 = 6.84$ camiones por minuto

ρ : congestión o tráfico en el sistema de servicio = $\frac{\lambda}{C*\mu} = 0.057$

$r = \frac{\lambda}{\mu} = 0.684$

Utilización del sistema de cambio de guardia = $\rho = 5.70\%$

Probabilidad que todos los servidores estén libres = $P_0 = 0.50$

Numero promedio de clientes en la cola (L_q) = $7.04159E-13$ camiones

Numero promedio de clientes en el sistema (L) = 0.68 camiones

Tiempo promedio que invierten los clientes en la cola (W_q) = $1.80589E-12$ minutos

Tiempo promedio que invierten los clientes en el sistema (W) = 1.75 minutos

4.1.7 Interpretación de los resultados del modelo de colas planteado por turno

➤ Marzo turno día

De acuerdo a los resultados que tenemos, se puede afirmar que la capacidad del sistema para cubrir el servicio de todas las unidades es excesiva y puede ajustarse a un número menor de unidades de servicio (bahías). Se puede observar que la probabilidad que los servidores estén ocupados es mínima y su valor es 6.41% . El numero promedio de clientes esperando en la cola es aproximadamente cero y su valor es $L_q = 3.0025E-12$ camiones por 12 servidores con los que se cuenta, El numero promedio de clientes esperando en el sistema es $L = 0.77$ camiones, en cola y siendo servidos. El tiempo promedio que los clientes invierten en la cola es $W_q = 7.50644E-12$ minutos, lo cual es un tiempo aproximadamente nulo con lo cual es bastante bueno diríamos en los que respecta a las colas y el tiempo promedio que los clientes invierten en el sistema es $W = 1.92$ minutos; con lo cual queda demostrado también que el único tiempo que invierten los camiones al llegar al

cambio de guardia es únicamente el tiempo de servicio ya que el tiempo en cola es despreciable y aproximadamente igual a cero, por lo tanto no debería haber ningún tipo de demora o colas en el cambio de guardia durante los relevos. Estos resultados son válidos para el modelo M/M/12/14/FIFO; planteado en el nuestro análisis.

➤ **Marzo turno noche**

De acuerdo a los resultados que tenemos, se puede afirmar que la capacidad del sistema para cubrir el servicio de todas las unidades es excesiva y puede ajustarse a un número menor de unidades de servicio (bahías). Se puede observar que la probabilidad que los servidores estén ocupados es mínima y su valor es 6.67%. El número promedio de clientes esperando en la cola es aproximadamente cero y su valor es $L_q = 4.86981E-12$ camiones por 12 servidores con los que se cuenta, El número promedio de clientes esperando en el sistema es $L = 0.8$ camiones, en cola y siendo servidos. El tiempo promedio que los clientes invierten en la cola es $W_q = 1.21743E-11$ minutos, lo cual es un tiempo aproximadamente nulo con lo cual es bastante bueno diríamos en los que respecta a las colas y el tiempo promedio que los clientes invierten en el sistema es $W = 2$ minutos; con lo cual queda demostrado también que el único tiempo que invierten los camiones al llegar al cambio de guardia es únicamente el tiempo de servicio ya que el tiempo en cola es despreciable y aproximadamente igual a cero, por lo tanto no debería haber ningún tipo de demora o colas en el cambio de guardia durante los relevos. Estos resultados son válidos para el modelo M/M/12/14/FIFO; planteado en el nuestro análisis.

➤ **Abril turno día**

De acuerdo a los resultados que tenemos, se puede afirmar que la capacidad del sistema para cubrir el servicio de todas las unidades es excesiva y puede ajustarse a un número menor de unidades de servicio (bahías). Se puede observar que la probabilidad que los servidores estén ocupados es mínima y su valor es 5.50 %. El

numero promedio de clientes esperando en la cola es aproximadamente cero y su valor es $L_q = 4.53217E-13$ camiones por 12 servidores con los que se cuenta, El numero promedio de clientes esperando en el sistema es $L = 0.66$ camiones, en cola y siendo servidos. El tiempo promedio que los clientes invierten en la cola es $W_q = 1.29496E-12$ minutos, lo cual es un tiempo aproximadamente nulo con lo cual es bastante bueno diríamos en los que respecta a las colas y el tiempo promedio que los clientes invierten en el sistema es $W = 1.89$ minutos; con lo cual queda demostrado también que el único tiempo que invierten los camiones al llegar al cambio de guardia es únicamente el tiempo de servicio ya que el tiempo en cola es despreciable y aproximadamente igual a cero, por lo tanto no debería haber ningún tipo de demora o colas en el cambio de guardia durante los relevos. Estos resultados son válidos para el modelo $M/M/12/14/FIFO$; planteado en el nuestro análisis.

➤ **Abril turno noche**

De acuerdo a los resultados que tenemos, se puede afirmar que la capacidad del sistema para cubrir el servicio de todas las unidades es excesiva y puede ajustarse a un número menor de unidades de servicio (bahías). Se puede observar que la probabilidad que los servidores estén ocupados es mínima y su valor es 5.70 %. El numero promedio de clientes esperando en la cola es aproximadamente cero y su valor es $L_q = 7.04159E-13$ camiones por 12 servidores con los que se cuenta, El numero promedio de clientes esperando en el sistema es $L = 0.68$ camiones, en cola y siendo servidos. El tiempo promedio que los clientes invierten en la cola es $W_q = 1.80589E-12$ minutos, lo cual es un tiempo aproximadamente nulo con lo cual es bastante bueno diríamos en los que respecta a las colas y el tiempo promedio que los clientes invierten en el sistema es $W = 1.75$ minutos; con lo cual queda demostrado también que el único tiempo que invierten los camiones al llegar al cambio de guardia es únicamente el tiempo de servicio ya que el tiempo en cola es despreciable y aproximadamente igual a cero, por lo tanto no debería haber ningún

tipo de demora o colas en el cambio de guardia durante los relevos. Estos resultados son válidos para el modelo M/M/12/14/FIFO; planteado en el nuestro análisis.

4.2 DEMOSTRACION DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD PARA LOS SUPUESTOS MÁS REPRESENTATIVOS

4.2.1 Demostración del tipo de distribución de las tasas de llegadas de camiones a las bahías a nivel.

- Para la demostración de este tipo de variable se utiliza el Test Chi Cuadrado para poder dar validez a la data y afirmar que tiene el tipo de distribución propuesta. A continuación, se desarrolla la prueba para la demostración de esta variable probabilística.
- La distribución propuesta para esta variable es la de Poisson, la cual tiene ciertas particularidades en el fenómeno probabilístico que se analiza en este caso el número de llegadas.
- El número de llegadas en intervalos de tiempo no superpuestos es estadísticamente independiente.
- La distribución estadística del número de llegadas en intervalos de tiempo iguales es estadísticamente equivalente.
- Si el número de llegadas sigue una distribución de Poisson, el tiempo entre llegadas sigue una distribución exponencial de media $(1/\lambda)$.
- Para conocer que definen un proceso de Poisson solo es necesario conocer el número medio de llegadas (λ) .

- Si el proceso de llegada es Poisson, los tiempos de llegada son completamente aleatorios con una función de probabilidad uniforme sobre el periodo analizado.

4.2.2 Prueba de Hipótesis de bondad de ajuste Chi-Cuadrado.

Chi-cuadrado consiste en comparar las frecuencias observadas en la muestra con las que deberían haberse obtenido en una población que perteneciese a una distribución de probabilidad específica. De allí determinamos si la variable tiene la distribución postulada (o teórica) o si no la tiene. La prueba puede aplicarse tanto a distribuciones discretas como continuas, aunque previamente se puede establecer una partición conveniente del espacio muestral en sucesos mutuamente excluyentes: para el caso de las discretas la cual se va analizar, esta partición puede darse “naturalmente”.

La prueba entonces, quiere discernir si una población tiene o no una determinada distribución y por lo tanto las hipótesis adecuadas son:

$$H_0: F_X = F_0$$

$$H_1: F_X \neq F_0$$

Donde F_X es la verdadera distribución de la variable de interés X , y F_0 es la distribución postulada o propuesta y que está totalmente especificada. Supongamos, entonces, que establecimos una partición del espacio muestral de la data en k sucesos mutuamente excluyentes cada uno con probabilidad teórica p_i y por lo tanto $\sum_{i=1}^k p_i = 1$. de allí, se compara la frecuencia esperada si la distribución postulada fuera cierta en cada intervalo $n \cdot p_i$ (que es la probabilidad p_i multiplicada por el tamaño muestral n), con la observada en cada uno de ellos y que notamos n_i , por medio del siguiente estadístico:

$$\chi^2_{k-1} = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$$

Donde:

X_{k-1}^2 = Frecuencia observada

n_i = Tamaño muestral

p_i = Probabilidad

Con las siguientes propiedades:

Como:

$$\sum_{i=1}^k P_i = 1 \Rightarrow n \sum_{i=1}^k P_i = \sum_{i=1}^k n * P_i = n$$

Como los k sucesos son excluyentes:

$$\sum_{i=1}^k n_i = n$$

Por medio del contraste de razón de verosimilitudes se puede demostrar que la distribución asintótica (es decir, cuando n tiende a infinito) del mencionado estadístico es, como se puede intuir a partir de su notación, una chi-cuadrado con $(k - 1)$ grados de libertad.

Por lo tanto, y como el estadístico compara la frecuencia teórica con la observada o propuesta, se rechaza H_0 cuando éste es “grande” y por ello, la región crítica para un nivel de riesgo (α) nos queda:

$$\mathfrak{R} = \left\{ X_{k-1}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n * p_i)^2}{n * p_i} \geq X_{k-1, 1-\alpha}^2 \right\}$$

Donde:

\mathcal{R} = Región crítica

χ^2_{k-1} = Estadístico de prueba chi cuadrado

n_i = Frecuencia observada

n = Tamaño muestral

p_i = Probabilidad

Observaciones:

Como la distribución del estadístico es asintótica ello crea una dificultad en cuanto a qué tamaño de muestra es aceptable. En general, se considera que la aproximación es buena si las frecuencias esperadas para cada suceso son mayores o iguales a cinco ($n p_i \geq 5$, para toda i).

Los grados de libertad corresponden a la cantidad de sucesos mutuamente excluyentes menos uno, dado que la relación $\sum_{i=1}^k n_i = n$, implica que sólo $k-1$ eventos son independientes.

Si las frecuencias esperadas para algún suceso son menores que 5, se debe agrupar con algún otro, reduciéndose en tal caso los grados de libertad: éstos son siempre un grado menos que los sucesos finales considerados.

Si es necesario estimar algún parámetro, entonces el estadístico pierde un grado de libertad por cada parámetro estimado.

La forma del estadístico es coherente con los que pretende medir. En primer lugar $(n_i - n \cdot p_i)$ evalúa qué tan lejos están las observaciones de los valores teóricos. Luego, $(n_i - n \cdot p_i)^2$ evita que las diferencias en más y en menos se compensen. Y por último

la división entre $n \times \pi$, “estandariza” el cociente, de tal forma que diferencias en magnitud tengan siempre la misma distribución.

Bajo todas estas consideraciones para la demostración de la distribución de llegadas a CG (λ), se plantea la dinámica para lograr el objetivo planteado a continuación. Para ello se elabora una secuencia de procedimiento de registro de datos para poder tratar la data tomada en campo de una manera especial y poder transfórmala para que se adapte a modelo que se plantea. A continuación, se muestran los pasos para lograr lo propuesto:

4.2.3 Registro de datos para el análisis de colas

- **Mediciones necesarias para el análisis:**
 - Se toma la hora de llegada de cada unidad (camión) a CG (sistema).
 - Hora en que el cliente comienza a ser atendido.
 - La hora en que el cliente termina de ser atendido.

4.2.4 Registro de datos

Ahora para poder determinar el comportamiento de las colas, se registra en los datos:

- La cantidad de clientes que llegan por unidad de tiempo.
- El tiempo de servicio de cada cliente.
- En primer lugar, se demostrará el tipo de distribución de probabilidad que tiene el comportamiento de las llegadas a las bahías a nivel. Para ello se realiza el trabajo de gabinete con la data tomada de la siguiente manera:
- La cantidad de clientes que llegan a las bahías a nivel por unidad de tiempo es un promedio alrededor del cual se comporta el modelo y el cálculo es aritmético.

- Se establece el tiempo inicial y el tiempo final del intervalo en el cual sucede todo el proceso de llegadas, así:

Tiempo total = Tiempo final – Tiempo inicial

Durante el intervalo de este tiempo total se cuentan la cantidad de llegadas.

Se divide la cantidad de llegadas entre la duración de tiempo del intervalo total. Este promedio se expresa en unidades de:

$$\lambda = \frac{\text{clientes}}{\text{unidad de tiempo}}$$

- **Demostración del tipo de distribución para las llegadas a las bahías a nivel (λ)**

Para demostrar que la cantidad de llegadas por unidad de tiempo siguen una distribución de probabilidad Poissoniana, se ha elegido la data tomada de dos turnos tanto en el turno día como el turno noche, de tal manera de demostrar que cumple este escenario analizado.

Para la data tomada en campo, se tiene una muestra de 41 clientes distribuidos de la siguiente manera para la fecha tomada el día: 02/03/2018 en el turno Día.

Tabla 4,1 Cantidad de llegadas a las bahías a nivel

Nº	Nº camión	Hora llegada	Hora ingreso	Hora salida	T. en cola	T. servicio	T. interlegadas
1	120	11:35:05 a.m.	11:35:44 a.m.	11:37:04 a.m.	00:00:39	00:01:20	00:00:00
2	116	11:36:25 a.m.	11:36:55 a.m.	11:38:40 a.m.	00:00:30	00:01:45	00:01:20
3	151	11:37:54 a.m.	11:38:46 a.m.	11:40:41 a.m.	00:00:52	00:01:55	00:01:29
4	133	11:39:26 a.m.	11:40:08 a.m.	11:41:42 a.m.	00:00:42	00:01:34	00:01:32
5	103	11:41:33 a.m.	11:42:00 a.m.	11:44:05 a.m.	00:00:27	00:02:05	00:02:07
6	150	11:43:08 a.m.	11:43:44 a.m.	11:46:09 a.m.	00:00:36	00:02:25	00:01:35
7	153	11:45:20 a.m.	11:45:52 a.m.	11:48:07 a.m.	00:00:32	00:02:15	00:02:12
8	103	11:46:24 a.m.	11:46:55 a.m.	11:49:09 a.m.	00:00:31	00:02:14	00:01:04
9	161	11:48:52 a.m.	11:49:42 a.m.	11:51:20 a.m.	00:00:50	00:01:38	00:02:28
10	114	11:51:11 a.m.	11:51:39 a.m.	11:53:06 a.m.	00:00:28	00:01:27	00:02:19
13	193	11:58:06 a.m.	11:58:45 a.m.	12:00:37 p.m.	00:00:39	00:01:52	00:01:18
14	109	12:01:33 p.m.	12:02:00 p.m.	12:03:24 p.m.	00:00:27	00:01:24	00:03:27
15	160	12:03:34 p.m.	12:04:09 p.m.	12:06:07 p.m.	00:00:35	00:01:58	00:02:01
16	173	12:05:44 p.m.	12:06:17 p.m.	12:08:50 p.m.	00:00:33	00:02:33	00:02:10
17	110	12:07:40 p.m.	12:08:11 p.m.	12:10:48 p.m.	00:00:31	00:02:37	00:01:56
18	122	12:09:55 p.m.	12:10:40 p.m.	12:12:29 p.m.	00:00:45	00:01:49	00:02:15
19	111	12:12:21 p.m.	12:13:17 p.m.	12:15:00 p.m.	00:00:56	00:01:43	00:02:26
20	193	12:15:31 p.m.	12:16:09 p.m.	12:17:28 p.m.	00:00:38	00:01:19	00:03:10
21	127	12:17:26 p.m.	12:18:02 p.m.	12:19:20 p.m.	00:00:36	00:01:18	00:01:55
22	175	12:19:18 p.m.	12:19:58 p.m.	12:21:20 p.m.	00:00:40	00:01:22	00:01:52
23	139	12:22:41 p.m.	12:23:26 p.m.	12:25:05 p.m.	00:00:45	00:01:39	00:03:23
24	135	12:25:26 p.m.	12:26:17 p.m.	12:28:32 p.m.	00:00:51	00:02:15	00:02:45
25	155	12:28:15 p.m.	12:29:08 p.m.	12:31:46 p.m.	00:00:53	00:02:38	00:02:49
26	128	12:31:58 p.m.	12:32:49 p.m.	12:35:37 p.m.	00:00:51	00:02:48	00:03:43
27	192	12:34:27 p.m.	12:34:59 p.m.	12:37:51 p.m.	00:00:32	00:02:52	00:02:29
28	106	12:37:39 p.m.	12:38:14 p.m.	12:41:03 p.m.	00:00:35	00:02:49	00:03:12
29	112	12:40:28 p.m.	12:41:05 p.m.	12:42:20 p.m.	00:00:37	00:01:15	00:02:49
30	150	12:42:32 p.m.	12:43:20 p.m.	12:44:39 p.m.	00:00:48	00:01:19	00:02:04
31	171	12:45:18 p.m.	12:46:00 p.m.	12:47:26 p.m.	00:00:42	00:01:26	00:02:46
32	163	12:48:27 p.m.	12:49:17 p.m.	12:51:46 p.m.	00:00:50	00:02:29	00:03:09
33	104	12:51:56 p.m.	12:52:48 p.m.	12:54:25 p.m.	00:00:52	00:01:37	00:03:29
34	189	12:54:16 p.m.	12:55:12 p.m.	12:57:31 p.m.	00:00:56	00:02:19	00:02:20
35	174	12:57:22 p.m.	12:57:55 p.m.	12:59:32 p.m.	00:00:33	00:01:37	00:03:06
36	187	01:02:23 p.m.	01:02:54 p.m.	01:05:44 p.m.	00:00:31	00:02:50	00:05:01
37	177	01:05:39 p.m.	01:06:16 p.m.	01:08:35 p.m.	00:00:37	00:02:19	00:03:16
38	191	01:08:21 p.m.	01:08:51 p.m.	01:11:39 p.m.	00:00:30	00:02:48	00:02:42
39	178	01:11:19 p.m.	01:12:05 p.m.	01:13:23 p.m.	00:00:46	00:01:18	00:02:58
40	123	01:15:32 p.m.	01:16:21 p.m.	01:17:40 p.m.	00:00:49	00:01:19	00:04:13
41	157	01:18:06 p.m.	01:18:58 p.m.	01:20:23 p.m.	00:00:52	00:01:25	00:02:34

Fuente: Elaboración propia

Se tiene la data real tomada lista para poder realizar la prueba de Poisson, acatando al procedimiento ordenado con el que se realiza la demostración:

- Se presenta el tiempo de llegada del primer cliente y del último cliente, transformado ya en minutos.

Nº	Nº camión	Hora llegada	Hora ingreso	Hora salida	T. en cola	T. servicio	T. interlegadas
1	120	11:35:05 a.m.	11:35:44 a.m.	11:37:04 a.m.	00:00:39	00:01:20	00:00:00
41	157	01:18:06 p.m.	01:18:58 p.m.	01:20:23 p.m.	00:00:52	00:01:25	00:02:34

El promedio de la cantidad de llegadas por unidad de tiempo en 41 clientes en un tiempo total de 103.02 minutos es:

$$\lambda = 41/103.02 = 0.40 \text{ clientes/minuto.}$$

- Se elige un segmento de tiempo (ancho de clase) de tantos minutos según se sea el caso de tal manera de poder trabajar adecuadamente con la data que se tiene; no existe un criterio para definirlo pero se tomara de acuerdo a la data que se tiene y como lo mejor que se pueda trabajar, de tal manera de obtener los mejores resultados; así:

INTERVALOS		Frecuencia de llegadas
0	15	9
15	30	6
30	45	7
45	60	5
60	75	5
75	90	4
90	105	5
TOTAL		41

- Se cuenta la frecuencia de ocurrencia de cantidad de llegadas por segmento de tiempo.

Llegadas por segmento de 15 min	Frecuencia
0 a 4	1
5 a 6	4
7 a 8	1
9 a mas	1
TOTAL	7

- Se calcula la frecuencia esperada con la fórmula, utilizando la fórmula de la probabilidad de Poisson propuesta:

$$P(X) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{X!}$$

Intervalos		Frecuencia	Numero camiones xi	Frecuencia específico	Prob. Observada h(xi)	x(i)*h(xi)	Prob. Postulada
0	15	9	0	0	0.00	0.00	0.00
15	30	6	1	0	0.00	0.00	0.02
30	45	7	2	0	0.00	0.00	0.05
45	60	5	3	0	0.00	0.00	0.10
60	75	5	4	1	0.14	0.57	0.14
75	90	4	5	3	0.43	2.14	0.16
90	105	5	6	1	0.14	0.86	0.16
			7	1	0.14	1.00	0.13
			8	0	0.00	0.00	0.10
			9	1	0.14	1.29	0.06
				7	1.00	5.86	

λ calculado = 5.86 clientes/minuto

- Se calcula la probabilidad esperada con el conteo de frecuencias de ocurrencia de cantidad de llegadas por segmento.

Llegadas por segmento de 15 min	Frecuencia	Prob Postulada agrupada
0 a 4	1	0.30
5 a 6	4	0.32
7 a 8	1	0.23
9 a mas	1	0.06
	7	0.93

- Se mide la bondad de ajuste con la prueba Chi-cuadrado.

$$X_{k-1}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(ni - (n * pi))^2}{n * pi}$$

Llegadas por segmento de 15 min	Frecuencia	Prob Postulada agrupada	Frecuencia Postulada	Chi
0 a 4	1	0.30	2.13	0.60
5 a 6	4	0.32	2.27	1.31
7 a 8	1	0.23	1.63	0.24
9 a mas	1	0.06	0.45	0.68
	7	0.93	6.48	2.84

$$X_{k-1}^2 = 2.84$$

- Ahora con el número de grados de libertad que se tiene y el nivel de confianza planteado se procede a evaluar en las tablas de distribución Chi-Cuadrado.

$$\left\{ X_{k-1}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(ni - n * pi)^2}{n * pi} < X_{k-1, 1-\alpha}^2 \right\}$$

La estadística de prueba tiene m-k-1 grados de libertad: donde m es el número de clases para los cuales se ha comparado las frecuencias observadas y las esperadas; entonces

se aplica $m-1$ y luego se resta un grado adicional de libertad por cada parámetro de la población que tenga que ser estimado de los datos de la muestra. Las frecuencias observadas también se combinan por lo que m debe disminuirse en uno.

Se plantea la prueba de hipótesis:

- La variable de interés es el número de llegadas promedio de clientes al CG por unidad de tiempo.
- H_0 : el número de llegadas de clientes a CG, tiene una distribución de Poisson.
- H_1 : el número de llegadas de clientes a CG, no tiene una distribución de Poisson.
- $\alpha = 5\%$
- Grados de libertad = 8
- El estadístico de prueba es:

$$X_{k-1}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n * p_i)^2}{n * p_i}$$

- Se rechaza la opción de H_0 , si $X_{k-1}^2 > X_{5,0.95}^2$
- Mediante la utilización de tablas de distribución Chi-Cuadrado

$$X_{8,0.95}^2 = 11.07$$

- Mediante los cálculos del estadístico de prueba resulta:

$$X_0^2 = 2.84$$

- Las conclusiones de los resultados se deducen:

$$X_{k-1}^2 < X_{5,0.95}^2 \rightarrow 2.84 < 11.07$$

Por lo tanto, queda demostrado que bajo estos resultados no es posible rechazar H_0 (hipótesis nula), entonces podemos afirmar que el tipo de distribución de las llegadas promedio de clientes a las bahías a nivel siguen una distribución de Poisson.

CAPITULO V

INCREMENTO EN EL TIEMPO OPERATIVO DE CAMIONES DURANTE EL HORARIO DE REFRIGERIO (RELEVO DE OPERADOR)

Una de las bases fundamentales para la producción es la disponibilidad que brinda mantenimiento hacia el área de Operaciones Mina a través de la flota que entrega para ser utilizada en las diferentes tareas según corresponda. Es de vital importancia tener un alto porcentaje de disponibilidad sobre el target propuesto, para que a partir de ello, se pueda optimizar la utilización en la operación.

Es muy importante saber los términos relacionados a la utilización del equipo, de tal manera de tener un panorama general y administración de los tiempos según el estado en el cual se encuentran; para el caso en estudio será los camiones. Los términos relacionados son:

- Horas totales del equipo
- Horas disponibles de equipo
- Horas de equipo malogrado
- Horas de equipo operativo

- Demoras (delays)
- Stand-By
- Disponibilidad mecánica (availability)
- Uso de la disponibilidad
- Uso del equipo
- Usage del equipo

Saber el significado de estos términos es entender la importancia que tienen cada uno de ellos para una mejor administración de la flota; en base a esto se podrá administrar cuantos equipos son necesarios para hacer un balance óptimo entre carguío y acarreo.

5.1 DEFINICIÓN DE LOS TÉRMINOS RELACIONADOS

Horas malogrado (HM).

Son las horas en que el equipo no está disponible para producir, ya sea por reparación correctiva o programada y por reparación preventiva o programada

Horas disponibles (HD)

Establece que las horas disponibles del equipo son las horas en que el equipo está disponible para producir; es decir, a disposición de operaciones mina, al mismo tiempo realiza un bosquejo con sus respectivas

definiciones que se muestra en la Figura

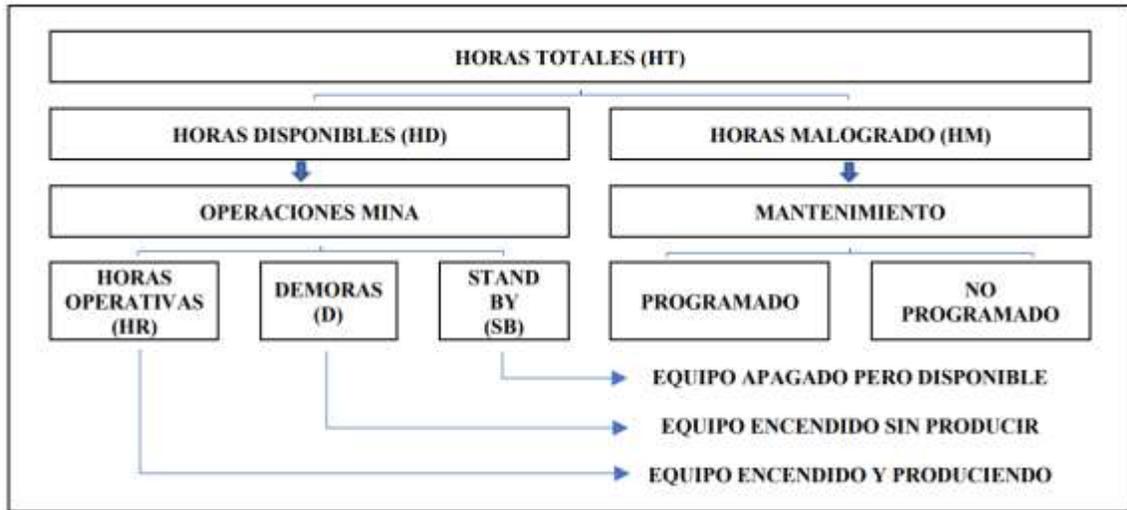


Figura 5,1 Diagrama de horas utilizadas en los equipos.

Fuente: Elaboración propia

Horas operativas (HR).

Son las horas en que el equipo está operativo y haciendo trabajo productivo.

Demora (D).

Es el tiempo en que el equipo está operativo, pero no realizando trabajo productivo. Algunas demoras son: limpieza de tolva, cambio de operador o cambio de guardia, relleno combustible, disparo, esperando instrucciones o supervisor, servicios higiénicos, revisión y chequeo, perfilando, esperando topógrafo y traslados por propios medios

Stand by (SB).

Es el tiempo en que el equipo está disponible mecánicamente, pero apagado por consideraciones operativas. Ejemplos de paradas por stand by son: equipo de carguío parado por falta de equipo de transporte, equipo de transporte parado por falta de equipo de carguío, parada por condiciones inseguras, falta de frente, falta de grifo o cisterna, equipo listo en mantenimiento, falta de operador y refrigerio.

Disponibilidad mecánica (DM)

Es el porcentaje del tiempo total que el equipo está disponible para operaciones. Es una medida de la eficiencia de Mantenimiento, por lo que es controlada por ellos.

$$DM = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas malogrado}}{\text{Horas totales}} * 100 \%$$

Utilización (UT)

Es la fracción del tiempo, expresada en porcentaje (%), en la cual el equipo es operado por cada hora en que este está en condiciones de cumplir su objetivo de diseño o físicamente disponible.

$$UT = \frac{\text{Horas Operativas} + \text{Demoras}}{\text{Horas Totales} - \text{Horas malogrado}} * 100 \%$$

5.2 RELEVO DE OPERADOR

Demora operativa característica que consiste en el intercambio entre el operador titular y el operador relevo del camión que opera, esta demora ocurre en cada guardia a la hora del refrigerio.

5.2.1 Demora para Cambio de Operador para el periodo 2017

MES	MEDIA DE SERVICIO minutos/camión	DESVIACION ESTANDAR DE SERVICIO minutos/camión
MARZO DÍA	2.89	1.14
MARZO NOCHE	3.02	1.12
ABRIL DÍA	2.95	1.17
ABRIL NOCHE	2.98	1.16

De acuerdo a la data histórica desde el año 2017, podemos darnos cuenta que hay una demora significativa del cambio de operador en el horario de refrigerio, entonces dicha evaluación nos permite plantear una oportunidad de mejora al momento de relevar a los operadores en bahías.

5.2.2 Tiempo promedio de Cambio de Operador y optimización para el periodo 2018

El cuadro adjunto muestra los tiempos promedio de servicio por camión en minutos para cada fecha y turno indicado anteriormente.

MES	MEDIA DE SERVICIO minutos/camión	DESVIACION ESTANDAR DE SERVICIO minutos/camión
MARZO DÍA	1.93	0.53
MARZO NOCHE	2.02	0.95
ABRIL DÍA	1.9	0.5
ABRIL NOCHE	1.75	0.52

Analizando los promedios por turno y comparando antes y después de implementar las bahías a nivel tenemos:

Periodo 2017

MES	MEDIA DE SERVICIO minutos/camión	DESVIACION ESTANDAR DE SERVICIO minutos/camión
DÍA	2.92	1.155
NOCHE	3	1.14

Periodo 2018

MES	MEDIA DE SERVICIO minutos/camión	DESVIACION ESTANDAR DE SERVICIO minutos/camión
DÍA	1.915	0.515
NOCHE	1.885	0.735

Ahorro de la media del tiempo de servicio.

MES	MEDIA DE SERVICIO minutos/camión
DÍA	1.005
NOCHE	1.115

El ahorro total en tiempo promedio de cambio de operador (μ) es de **1.06** minutos por camión y aproximadamente **42.4** horas operativas mensuales.

Éste ahorro de tiempo por camión es debido a una mejor administración del tiempo en el horario de refrigerio realizando el relevo de operadores en estas bahías a nivel, ya que el relevo en dichas bahías es bastante rápido y seguro y también está ubicado en un lugar estratégico con el objetivo de que los tiempos de interlegada de los camiones a las bahías no sea muy variable.

Este ahorro de tiempo está relacionado de manera directamente proporcional a la utilización de los camiones.

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo Total}}$$

$$\textit{Utilización} = \frac{\textit{Tiempo operativo}}{\textit{Tiempo Disponible}}$$

CAPITULO VI

OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION DURANTE EL HORARIO DE REFRIGERIO (CAMBIO DE OPERADOR)

La buena producción de toneladas cargadas va de la mano con la óptima administración de los equipos de carguío y acarreo estableciendo el mejor balance entre ambos, entonces lo que se quiere es una buena capacidad para producir la mayor cantidad de toneladas sin la necesidad de utilizar equipos extras, gastando combustible adicional, gastando neumáticos y ciertos dispositivos mecánicos.

6.1 TONELADAS CARGADAS

- **Año 2017**

- Diciembre – 2017

Tabla 6,1 Producción de toneladas cargadas, diciembre 2017.

PALA	TM /MES
P06	1952310
P09	926310
P07	1196910
P10	1052310
P11	980310
P12	1830460
P14	1016310
P15	2366310
P16	2387910
P17	2804310
P18	3470310
P19	2777310
P20	3069510
TOTAL	25830580

Fuente: Elaboración propia

La producción total equivalente es 25830580 toneladas movidas por mes.

- **Año 2018**

- Enero 2018

Tabla 6,2 Producción de toneladas cargadas, enero 2018.

PALA	TM /MES
P06	1676310
P09	975400
P07	1496310
P10	1106310
P11	1016310
P12	2456310
P14	1112310
P15	2402310
P16	1562310
P17	2834310
P18	3152310
P19	2516310
P20	2996310
TOTAL	25303120

Fuente: Elaboración propia

La producción total equivalente es 25303120 toneladas movidas por mes.

- Febrero 2018

Tabla 6,3 Producción de toneladas cargadas, febrero 2018.

PALA	TM /MES
P06	1679680
P09	968310
P07	1376310
P10	1376310
P11	716310
P12	2156310
P14	1166310
P15	2456310
P16	2734110
P17	2919510
P18	2774310
P19	2471310
P20	2831310
TOTAL	25626400

Fuente: Elaboración propia

La producción total equivalente es 25626400 toneladas movidas por mes.

- Marzo 2018

Tabla 6,4 Producción de toneladas cargadas, marzo 2018.

PALA	TM /MES
P06	1776000
P09	1116000
P07	1416000
P10	1590000
P11	1035000
P12	1893600
P14	973800
P15	2370000
P16	2412600
P17	2808000
P18	2919000
P19	2703900
P20	2913600
TOTAL	25927500

Fuente: Elaboración propia

La producción total equivalente es 25927500 toneladas movidas por mes.

- Abril 2018

Tabla 6,5 Producción de toneladas cargadas, abril 2018.

PALA	TM /MES
P06	1875240
P09	1008000
P07	1261200
P10	1121400
P11	1158000
P12	1891200
P14	937380
P15	2894160
P16	2922720
P17	2977800
P18	2934000
P19	2919120
P20	2896500
TOTAL	26796720

Fuente: Elaboración propia

La producción total equivalente es 26796720 toneladas movidas por mes.

- Mayo 2018

Tabla 6,6 Producción de toneladas cargadas, mayo 2018.

PALA	TM /MES
P06	1737600
P09	978000
P07	1341000
P10	1348800
P11	1184400
P12	2308200
P14	1020300
P15	2760000
P16	2954400
P17	3000000
P18	2871000
P19	2581800
P20	2138700
TOTAL	26224200

Fuente: Elaboración propia

La producción total equivalente es 26224200 toneladas movidas por mes.

Tabla 6,7 Resumen de producción desde diciembre del 2017 hasta abril 2018.

MES	TM/MES
dic-17	25830580
ene-18	25303120
feb-18	25626400
mar-18	25927500
abr-18	26796720
may-18	26224200

Fuente: Elaboración propia

Figura 6,1 Tonelaje movido por mes



Fuente: Elaboración propia

La gran ventaja de optimizar el tiempo de relevo de operadores en el horario de refrigerio, permite lograr un beneficio según los periodos mencionados anteriormente y con la cantidad de flota en el plan de minado, un total promedio aproximado mensual de **21589** toneladas cargadas adicionales para un escenario de 40 camiones en promedio relevados en las bahías a nivel por turno.

CAPITULO VII

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (PETS)

7.1 PROCEDIMIENTO DE RELEVO DE OPERADORES DE CAMION EN BAHIAS A NIVEL

7.1.1 Objetivo / Alcance

Objetivo: Establecer los pasos necesarios para obtener un proceso seguro de relevo de operadores de camión haciendo uso de las bahías de cambio de operador.

Alcance: El presente procedimiento debe ser aplicado por el personal supervisor encargado del proceso de relevo de operadores, así como también por todos los operadores de camión de acarreo.

7.2. RESPONSABLES

7.2.1 Supervisor de Operaciones Mina (O7).

Responsable de coordinar el relevo de operadores durante el turno, verificar las condiciones de seguridad de las bahías de cambio de operadores y asegurarse que el personal que realiza la tarea cumpla con el presente procedimiento.

7.2.2 Auxiliar de Operaciones Mina (O71).

Asiste al supervisor de Operaciones Mina O7 en los relevos de operadores durante el turno; entre otros trabajos relacionados a la operación.

7.2.3 Despachador mina (D1/D2).

Gestionar la asignación óptima de los camiones de acarreo para el relevo de operadores cuando se requiera.

7.2.4. Operador de camión.

Entender y cumplir el presente procedimiento todos los protocolos de seguridad; además de realizar el IPERC Continuo.

7.3 REQUERIMIENTOS:

Requerimiento de Personal

CANTIDAD	DESCRIPCION
01	Supervisor senior de operaciones Mina "O1"
01	SUPERVISOR

01	AUXILIAR OPERACION MINAS
01	OPERADOR DE CAMION DE ACARREO

Requerimiento de Equipo de Protección Personal

CANTIDAD	DESCRIPCION
1	EPP Basico

Requerimiento de Equipos / Herramientas

CANTIDAD	DESCRIPCION
-	Radio motorola

Requerimiento de Materiales

CANTIDAD	DESCRIPCION
-	N.A

7.4 PROCEDIMIENTO

7.4.1 Asignación de Camiones

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
01		D1/D2	a) Realizar las coordinaciones con O7 para asignar a los operadores de camión que harán relevo en la bahía. La comunicación

entre el personal de Dispatch y el O7 es importante para hacer un relevo de operadores seguro y efectivo.

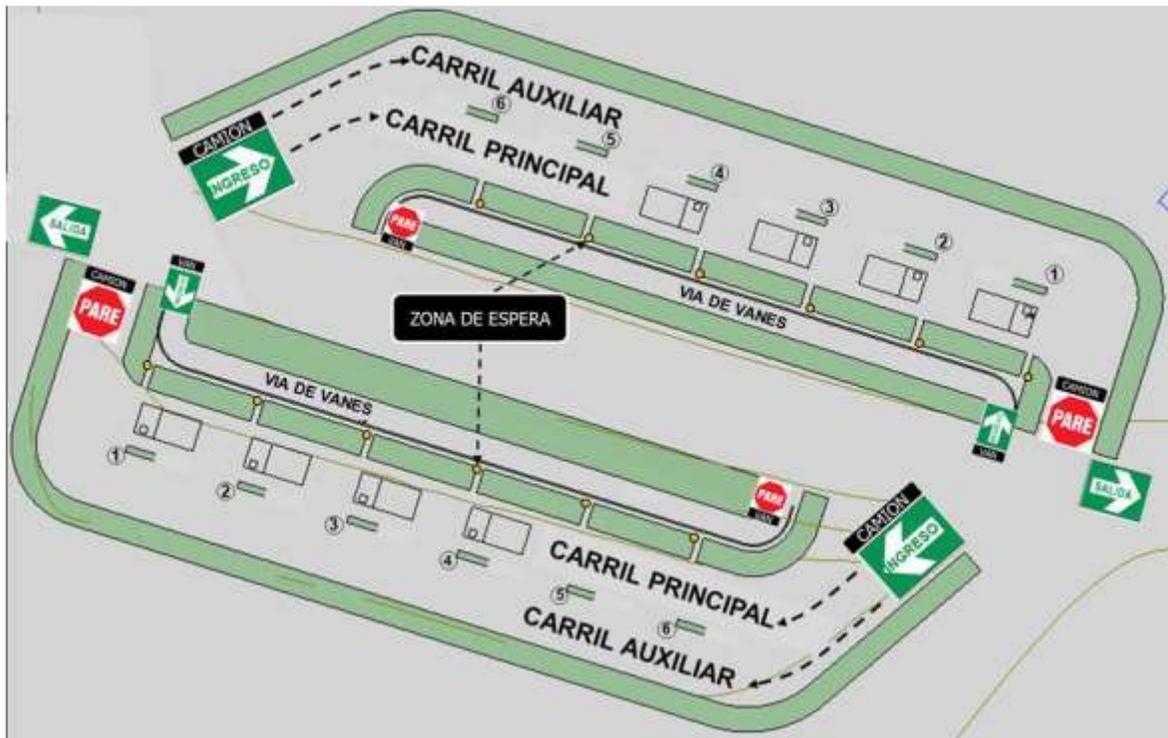
COORDINACIÓN

CON O7

02	ASIGNAR CAMIONES	D1/D2/ O7	a) Asignar los camiones a las bahías de cambio en caliente de acuerdo a los espacios disponibles, según su ubicación.
03	VERIFICAR EFICACIA DEL PROCESO DE RELEVO	O7	<p>a) Asegurar el riego del acceso de camiones en las bahías de relevo.</p> <p>b) Realizar la verificación de la eficacia del proceso a fin de evitar colas en las bahías.</p>

7.4.2 BAHIA DE CAMBIO EN CALIENTE A NIVEL DE PISO

Figura 7,1 Bahía cambio en caliente



Fuente: Elaboración propia

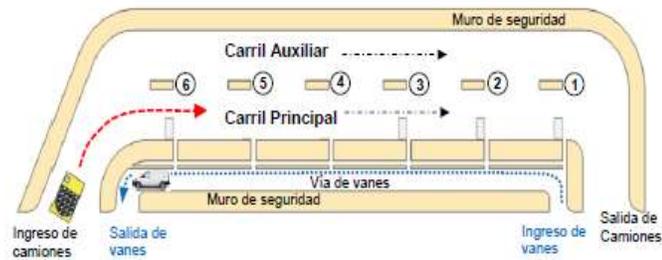
- a. Las bahías de cambio en caliente a nivel de piso tienen un solo sentido en sus dos carriles para los camiones.
- b. El carril pegado a los puntos de cambio será el carril principal.
- c. El otro carril será el carril auxiliar, el mismo que será utilizado sólo para salir de la bahía en caso haya equipos parados adelante y que estén con una demora prolongada.

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
----	------	-------	----------------------

- a) El ingreso de las vanes que trasladan a los operadores de camión para relevo es en sentido contrario al de la vía de camiones. Cambiar a frecuencia COORD MINA para realizar las coordinaciones de relevo.

1
 INGRESAR VAN DE
 A LA ZONA PASAJEROS
 DE /
 ESPERA OPERADOR
 ENTRANTE

Figura 7,2 Carril principal



Fuente: Elaboración propia

- b) La van debe ir dejando operadores en cada zona de espera, él operador entrante se ubicará y permanecerá en dicha zona junto al acceso peatonal para realizar el relevo con el operador saliente.

Figura 7,3 Zona de espera

1
 INGRESAR VAN DE
 A LA ZONA PASAJEROS
 DE /
 ESPERA OPERADOR
 ENTRANTE



Fuente: Elaboración propia

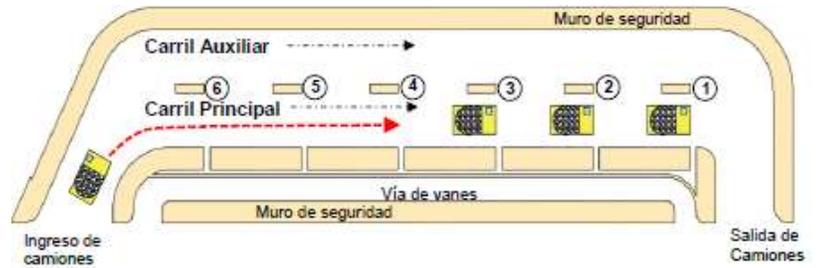
2
 INGRESO
 DEL OPERADOR
 CAMION A SALIENTE
 LA BAHIA
 DE
 RELEVO

- a) La actividad se realizará con camiones CAT 793 o Komatsu 930, vacíos o cargados.
- b) Ingresar con el camión a la bahía sólo si ha sido asignado por despacho, asignación automática o vía radial por el OX/O7/O71.
- c) Cambiar a frecuencia COORD MINA para realizar las coordinaciones de relevo.
- d) Reducir gradualmente la velocidad e ingresar por el carril principal de la bahía. La velocidad de ingreso será **no mayor a 10 Km/hr.**

CUADRAR
EL
CAMIÓN
3 EN LA OPERADOR
BAHÍA SALIENTE
RELEVO

- a) Cuadrar el camión por orden de llegada en la bahía más próxima a la salida (la de más adelante). En caso haya bahías ocupadas por otros camiones en proceso de relevo, se utilizará la bahía inmediatamente después del último camión. En el caso de la figura mostrada el camión que está ingresando debería de usar la bahía #4.

Figura 7,4 Ingreso de camiones



Fuente: Elaboración propia

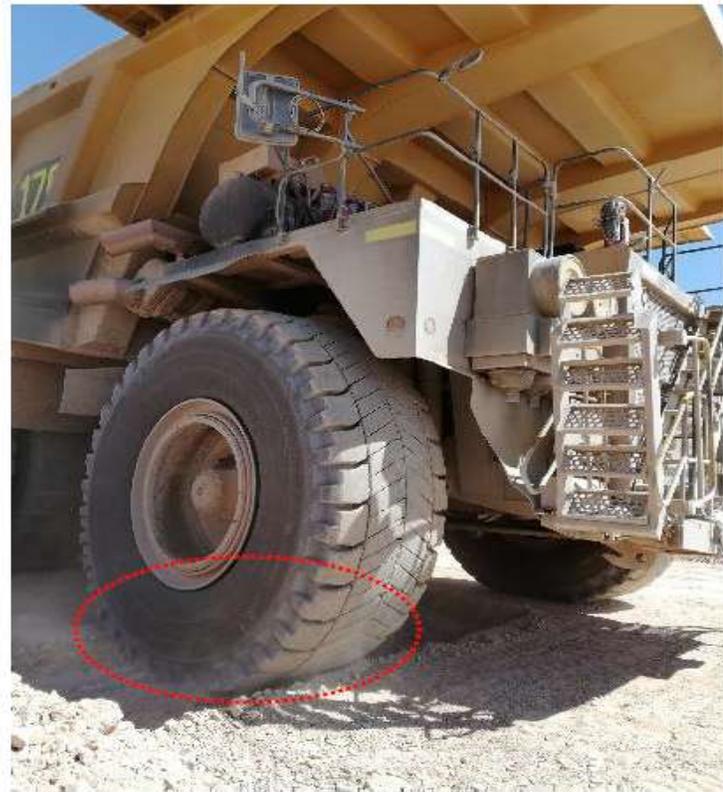
b) Utilizar las bahías en forma ordenada y secuencialmente, es decir, cada camión que llegue al parqueo se ubicará en la bahía uno tras de otro.

c) El operador de camión deberá verificar que no haya personas merodeando en la vía Principal y Auxiliar de camiones.

d) Ubicar el camión de tal forma que la llanta de la posición 2 coincida con el ditche de la bahía, además de tomar como referencia el letrero de la bahía del lado izquierdo, lo cual deberá quedar a la altura de la cabina del operador del camión. Esto hará que coincida la escalera rebatible con el ingreso a la zona de espera.

Figura 7,5 Llanta posición 2 coincide con el ditch

3 CUADRA
R EL OPERAD
CAMIÓN OR
EN LA SALIENT
BAHÍA E
RELEVO



Fuente: Elaboración propia

e) Sí las bahías de relevo se encuentran llenos (ocupados), no esperar en cola fuera de estas, salvo que el supervisor de operaciones lo autorice.

f) Aplicar el freno de parqueo para camiones CAT. Para camiones Komatsu aplicar freno de parqueo y botón REST. Antes de salir de la cabina del camión Komatsu el operador debe verificar que los indicadores de estado / Luz de advertencia en el panel superior estén conectados/aplicados.

- a) El operador saliente se asegurará que la circulina del freno de parqueo este encendida; caso contrario retornará a la cabina del camión para verificar la activación del freno de parqueo.

VERIFICA OPERADOR
R
ENCENDI SALIENTE
DO DE
CIRCULI
NA DEL

Figura 7,6 Circulina freno de parqueo está encendido



Fuente: Elaboración propia

- 4
- VERIFICA OPERADOR
R SALIENTE
ENCENDI
DO DE
CIRCULI
NA DEL
CAMION
- b) Una vez detenido el camión, el operador entrante se asegurará de que la circulina del freno de parqueo del camión este encendida; caso contrario el operador entrante descargará el camión (si está cargado) en la zona asignada y lo llevará a malogrados para su reparación.

Figura 7,7 Circulina del freno de parqueo está encendido



Fuente: Elaboración propia

- c) El operador entrante no se acercará al camión hasta que el operador saliente haya descendido y este en el piso.

a) Bajar la escalera rebatible hasta que coincida con el nivel piso, evitando que golpee; utilizar los tres puntos de apoyo para descender del camión y cerrar la puerta que se usa como cierre perimetral.

Figura 7,8 Bajar escalera rebatible

5 BAJAR LA
ESCALE
RA OPERADOR
REBATIB SALIENTE
LE



Fuente: Elaboración propia

a) El relevo se hace hombre a hombre en la zona de espera, por ningún motivo el operador entrante ingresará al perímetro de seguridad del camión.

6 REALIZA EL RELEVO
OPERADOR ENTRANTE Y SALIENTE

Figura 7,9 Zona de espera



Fuente: Elaboración propia

- a) Informar al operador entrante los eventos resaltantes ocurridos en el equipo.

7
INFORMA
R
ESTADO OPERAD
DEL OR
CAMIÓN SALIENT
E

- a) Acercarse hacia la escalera rebatible y verificar si existe alguna posible fuga de aceite o fluidos del camión.

Figura 7,10 Operador de acerca a escalera rebatible

8
SUBIR AL OPERADOR
CAMIÓN ENTRANTE



Fuente: Elaboración propia

- b) Abrir la puerta que se usa como cierre perimetral, subir la escalera rebatible y al llegar a la altura de la cabina observar en todo momento al exterior del camión para asegurarse que no exista equipos o personas en la zona de tránsito.

OPERADOR

SUBIR AL ENTRANTE

CAMIÓN

Figura 7,11 Abrir la puerta que se usa como cierre
perimetral



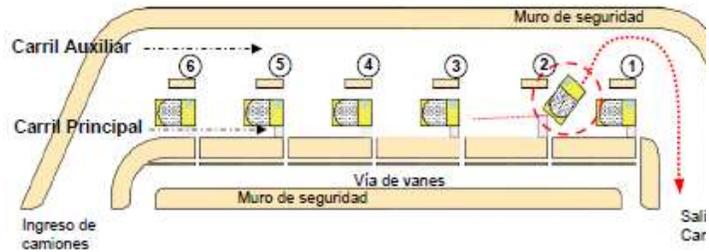
Fuente: Elaboración propia

c) Posicionarse en la cabina para poder operar el equipo.

9 DEL
CAMIÓN OPERADOR
DE LA ENTRANTE
BAHÍA DE
RELEVO

a) En caso de que haya un camión inoperativo dentro de una bahía, el operador del camión posterior a este, podrá utilizar la vía del carril auxiliar para salir de la bahía; para ello debe tocar dos veces la bocina del camión y salir a una velocidad no mayor a 5 km/hr. Al llegar al carril auxiliar el operador del camión se asegurará que no exista camiones transitando por dicha vía y la velocidad será no mayor a 10 km/hr.

Figura 7,12 Bahía de relevo



Fuente: Elaboración propia

b) El operador del camión detenido, luego de salir operativo se asegurará que a su alrededor no haya tránsito de camiones ni personas para continuar la marcha.

c) Abrochar el cinturón de seguridad, colocar su código y estado operativo además de verificar el destino.

d) Tocar dos veces la bocina, esperar 5 segundos e iniciar la marcha, considerando que la velocidad de salida no sea mayor a 10 Km/hr.

e) Mantener la trayectoria del acceso de la bahía hasta la ubicación del disco pare.

f) Realizar la inspección del equipo dentro de las 3 horas siguientes de haber hecho el relevo.

g) Activar la Frecuencia Operaciones Mina antes de salir del circuito de las bahías de relevo.

10	SALIR DE LA ZONA DE ESPERA	VAN PASAJEROS Y/O OPERADOR	DE	a) El operador saliente para retirarse debe esperar el recojo de la van o dirigirse por el acceso peatonal hasta la ubicación de la van.
		SALIENTE		b) El operador de la van activará la Frecuencia Operaciones Mina antes de salir de la vía de vanes.

7.5 EXCEPCIONES

Quando no sea posible cumplir con alguno de los controles críticos del presente procedimiento, se debe completar el proceso de variación, previo al establecimiento de otros controles iguales o superiores.

7.6 CONSIDERACIONES

“Sin perjuicio, de lo desarrollado en el presente reglamento, documento de gestión de Seguridad y Salud Ocupacional que establece condiciones y especificaciones mínimas que los trabajadores deben cumplir, todo trabajador tiene como responsabilidad la identificación de peligros y evaluación de los riesgos, cumpliendo con implementar los controles previos al inicio de cada trabajo, de acuerdo con lo establecido en el Art. 44 del D.S. 024-2016-EM”.

7.7. ABREVIATURAS

- a) OE: Operador de camión entrante
- b) OS: Operador de camión saliente
- c) O7/O71: Supervisor de Operaciones Mina
- d) D1/D2: Despachador de turno
- e) OX: Supervisor de Despacho Mina

CONCLUSIONES

- Se llegó a demostrar que, la tasa de llegada, siguen una distribución Poisson.
- El modelo del sistema de servicio planteado para el relevo de operadores en bahías a nivel se ajusta muy bien y los datos arrojados confiables.
- El tiempo promedio de cambio de operador se redujo de 2.96 minutos a 1.9 minutos, ahorrando un tiempo promedio por camión de 1.06 minutos.
- El ahorro en tiempo mensual gracias a la implementación de las bahías a nivel es de 42.4 horas mensuales.
- La cantidad de toneladas cargadas adicionales en promedio mensual se incrementa en 21589 toneladas mensuales con una ganancia adicional aproximado de 160 911 USD mensual para el relevo de 40 camiones en las bahías a nivel.
- Se enumeró las bahías para que los operadores de camión tengan una mejor orientación y el relevo sea fácil, rápido y sencillo.
- El mantenimiento rutinario y correctivo de las vías de acceso a las bahías a nivel para la flota gigante es de vital importancia para garantizar la seguridad y la rapidez en esta actividad.
- Realizar el cambio de operador de algunos equipos de carguío durante la ausencia de camiones ayuda a contrarrestar y equilibrar el ciclo de minado durante el horario de refrigerio.

- El aumento del porcentaje de uso de la flota de minado es muy importante para incrementar las horas operativas de los equipos y de esta manera se realizar mayor cantidad de cargas por hora.
- El intervalo de refrigerio se ha mejorado mucho en el día y en la noche, evitando sobrepasar los límites según el acuerdo del convenio colectivo, dando como resultado la mínima cantidad de equipos parados por operador en refrigerio.

RECOMENDACIONES

- Se tiene que capacitar al personal continuamente y elaborar un nuevo procedimiento escrito de trabajo seguro, con la finalidad de evitar cualquier incidente y/o accidente que podría ocurrir en el relevo de operadores en las bahías a nivel.
- Antes de poder plantear un modelo de colas a un sistema de servicio se debe demostrar las condiciones necesarias y suficientes para utilizarlas dentro de ellas: cantidad promedio de llegadas por intervalo de tiempo (λ), etc. y poder establecer bien el tipo de distribución que tienen estas.
- Las funciones y responsabilidades de cada supervisor deben estar bien definidas por si exista algún tipo de duda en las áreas de trabajo. Así como también deben estar bien definidas las zonas de trabajo bajo su cargo.
- Se debe realizar el relevo de operadores en el horario de refrigerio correspondiente de día y de noche para garantizar e incrementar la confianza y tener un buen clima laboral con los trabajadores.
- Debe existir como mínimo una persona encargada del relevo de operadores e el horario de refrigerio ya que servirá de apoyo para: coordinar tiempo, camas para descanso, deslizar algunas bahías, verificar la llegada de almuerzos e insumos alimenticios para el personal.
- El controlador dispatch debe cumplir un rol fundamental para llevar la coordinación y el control de todas las unidades y operadores para verificar que todos hayan tomado su refrigerio en el horario que corresponde.

- Para tener un mejor performance en el tiempo de interlegada de los camiones, se recomienda tener a los camiones cuyos operadores aun no hayan tomado su refrigerio cerca de las bahías para poder asignarlos de manera rápida a las bahías a nivel.
- Cada operador que ingresa con el camión a las bahías a nivel, debe utilizar la bahía donde menos congestión ocasione, de tal manera que los demás camiones que ingresan consecutivos también ingresen a las otras bahías libres.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

“Manual Modular Mining Systems”, Sistema de Despacho.

Factory Physics (Hopps and Spearman) y Manufacturing Systems Modelling and Analysis (Curry y Feldman)

GARCÍA SABATER. JOSÉ PEDRO “Teoría de colas”, Universidad Politécnica de Valencia. España, curso 2010-2011.

<http://www.csun.edu/~vcmg0j3/ch12notes>. Apuntes sobre simulación MC con Excel.

<http://www.geocities.com/wallStreet/9245/vba.html>: Página Web donde se muestran algunos ejemplos de simulación MC con Excel y VBA.

MANUEL CÓRDOVA ZAMORA. “Estadística Descriptiva e Inferencial”, quinta edición, Lima- Perú

Parte de estos apuntes están basados en la fundamental obra “Fundamentals of Queueing Theory” por Donald Gross y Carl Harris.

RUFINO MOYA C. /GREGORIO SARAIVA A. “Probabilidades e Inferencia Estadística”. Perú, Reimpresión – 2004.