

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**



**TESIS**

**“ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RELEVO E IMPLEMENTACIÓN DE  
BAHÍAS A RAS DEL SUELO EN MINERÍA SUPERFICIAL, UTILIZANDO  
TÉCNICAS DE SIMULACIÓN”**

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

**ELABORADO POR:  
LUIS ALFREDO PALOMINO SECCA**

**ASESOR:  
M.Sc. ING. JOSE ANTONIO CORIMANYA MAURICIO**

**LIMA- PERU**

**2022**

*Dedicatoria:*

*A mis padres Alejandro y Gregoria; que me enseñaron con su ejemplo que en épocas de crisis siempre se encuentran oportunidades para salir adelante, estas enseñanzas y en especial en estos tiempos de pandemia son el aliciente para continuar y ver el futuro con esperanza.*

*Agradecimientos:*

*A mis profesores de la Universidad Nacional de Ingeniería por las enseñanzas y motivación que me brindaron durante mi etapa universitaria.*

*A mi asesor M.Sc.Ing Jose Antonio Corimanya Mauricio, especialista Dr. Alfredo Marín Suarez, por sus sugerencias y aportes dados durante la elaboración de esta tesis, también agradezco a todos los que han aportado con ideas y esfuerzo, estos fueron muy útiles e importantes para concluir este proyecto de investigación, la lista sería larga si nombraría a todos, sin embargo creo necesario nombrar a dos de ellos, Jhon Hualan y Junior Pumacayo, ambos egresados de la UNI que con mucho entusiasmo apoyaron en la realización del proyecto*

## RESUMEN

El mejoramiento continuo de la eficiencia en los procesos de producción ha pasado de ser una necesidad a ser un deber de las compañías mineras, de esa forma se busca aprovechar mejor los recursos y minimizar los impactos negativos que la actividad minera genera, además las compañías mineras son muy sensibles ante caídas de precios de los metales, por ello esta investigación se enfoca en el proceso de acarreo de una mina de tajo abierto ubicada al sur del Perú, al cual hace mención está investigación, ya que representa el 52.2% de su costo total. En ese sentido esta investigación tiene como propósito implementar bahías para cambio de guardia en caliente con el fin de reducir el tiempo de relevo de los operadores de camiones mineros, haciendo más eficiente el sistema de acarreo. En esta investigación experimental se evaluó el tiempo que toma en realizar el relevo antes y después de la implementación de las bahías de cambio en caliente, para ello se generaron balizas en el sistema dispatch para almacenar los tiempos de entrada y salida del servicio de toda la flota de camiones en distintos parqueos y bahías durante todos los meses del año 2019, teniendo un total de 6,604 muestras de los parqueos y 3,118 muestras de las bahías a ras del suelo y 3,173 muestras de las bahías a desnivel; entre estos dos tipos de bahías se optó por la implementación de las bahías al ras del suelo por su bajo costo y la rapidez de construcción. Los resultados obtenidos indican que existe diferencia estadísticamente significativa al implementar las bahías a ras del suelo, considerando un nivel de significancia de 0.05, un factor F calculado de 4,318.95 y un factor F crítico de 3.84. Además, esto se ve reflejado en la reducción del tiempo promedio de relevo, de 14.42 minutos con una desviación estándar de 6.67 minutos en los parqueos a 6.72 minutos con una desviación estándar de 2.06 minutos en las bahías a ras del suelo.

Una de las limitaciones de esta investigación se da en la obtención de los tiempos de servicio, ya que solo se calcula por la hora de entrada y salida de los camiones del sistema, pudiendo haber estado en el sistema con otro propósito que no sea el relevo, por ejemplo: pueden estar parqueados por voladura o por condiciones climáticas adversas. Por otro lado, no se puede asegurar de forma implícita que el incremento de la producción durante el 2019 se debe a la implementación de las bahías para cambio en caliente, dado que durante todo el tiempo que duró el experimento se incrementó también el número de camiones mineros de 127 camiones en enero a 137 camiones a finalizar el mes de diciembre del 2019.

Como resultado de esta investigación se deberá considerar zonas para cambio en caliente en los diseños futuros de las carreteras perimetrales, también considerar trabajos de movimiento de tierras para generar múltiples plataformas en zonas estratégicas alrededor de la mina.

Aunque esta implementación no es la primera en la industria minera, sin embargo, es original ya que incluye un modelo de simulación de eventos discreto en el lenguaje GPSS/H, con el cual se evaluar la eficiencia del sistema de relevo y adicionalmente se enlaza esta simulación con el software de animación PROOF, para generar la animación que represente dicho sistema.

## ABSTRACT

The continuous improvement of the efficiency in the production processes has happened of being a need to be a duty of the mining companies, in this way companies looking for use better his resources and minimize the negative impacts the mining activity generates, also the mining companies are very sensitive when metal prices going down, For this reason, this investigation focuses in the process of hauling material in the mine located in the south area of Peru, which this research mentions since it represents 52.2% of its total cost. In that sense, this research aims to implement "hot shift bays" in order to reduce the relief time of mining truck operators, making the transport system more efficient. In this experimental research, we evaluated the time it takes to carry out the relay before and after the implementation of the "hot shift bays", for this reason, beacons were generated in the dispatch system to store the entry and exit times of the entire fleet of trucks in different parking lots and bays during all the months of the year 2019, having a total of 6604 samples of the parking lots and 3118 samples of the bays at ground level and 3173 bays at a different level; Between these two types of bays, the implementation of bays at ground level was chosen for its low cost and speed of construction. The results obtained indicate that there is a statistically significant difference when implementing the bays at ground level, considering a significance level of 0.05, a calculated F-factor of 4318.95 and a critical F-factor of 3.84. This is also reflected in the reduction of the average relay time from 14.42 minutes with a standard deviation of 6.67 minutes in the parking lots to 6.72 minutes with a standard deviation of 2.06 minutes in the bays at ground level.

One of the limitations of this research is in obtaining the service times, as it is only calculated by the time the trucks enter and leave the system, and may have been in

the system for a purpose other than relief, for example: they may be parked due to blasting or adverse weather conditions. On the other hand, it cannot be implicitly assured that the increase in production during 2019 is due to the implementation of “hot shift bays”, as the number of mining trucks increased from 127 trucks in January to 137 trucks by the end of December 2019.

As a result of this research, “hot shift bays” should be considered for future perimeter road designs, also consider earthmoving work to generate multiple platforms in strategic areas around the mine.

Although this implementation is not the first in the mining industry, it is nevertheless original as it includes a discrete event simulation model in the GPSS/H language, with which the efficiency of the relay system is evaluated and additionally this simulation is linked to the PROOF animation software, to generate the animation representing the relay system.

## INDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I GENERALIDADES.....</b>	<b>3</b>
1.1 ASPECTOS GENERALES .....	3
1.1.1. Ubicación.....	3
1.1.2. Tipo de yacimiento .....	3
1.1.3. Descripción de la mina .....	3
1.1.4. Requerimiento de mineral para los procesos.....	4
1.1.5. Equipos de carguío y acarreo .....	4
1.2 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	6
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
1.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	9
1.4.1. Objetivos Generales .....	9
1.4.2. Objetivos Específicos .....	9
1.5 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN .....	9
1.6 HIPÓTESIS GENERALES Y ESPECÍFICAS .....	10
1.6.1. Hipótesis general.....	10
1.6.2. Hipótesis específica.....	10
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1. ANTECEDENTES REFERENCIALES .....	11
2.2. BASES TEÓRICAS Y CIENTÍFICAS .....	18

2.2.1.	Teoría de colas .....	18
2.2.2.	Disciplina de cola.....	19
2.2.3.	Especificación de un sistema de colas .....	21
2.2.4.	Medidas de eficacia de un sistema de colas .....	21
2.2.5.	Fórmulas de Little para condiciones estacionarias en sistema M/M/1	22
2.2.6.	Distribución exponencial.....	23
2.2.7.	Modelo de Simulación .....	23
2.2.8.	Tipos de Simulación .....	24
2.2.9.	Lenguajes de Simulación.....	25
2.2.10.	Generación de números aleatorios .....	25
2.2.11.	Requisitos de un generador de números pseudoaleatorios.....	26
2.2.12.	Software de animación PROOF-P5.....	29
2.2.13.	Animación con PROOF .....	32
2.2.14.	Archivo *ATF con GPSSH.....	38
2.2.15.	Definición de Términos .....	65
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>78</b>
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	78
3.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	79
3.3.	POBLACIÓN .....	79
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	80
3.5.	VALIDÉZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS:.....	80
3.6.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS .....	80

3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	80
<b>CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN DE BAHÍAS PARA CAMBIO DE GUARDIA EN CALIENTE.....</b>	<b>82</b>
4.1. CÁLCULOS Y APLICACIONES.....	82
4.2. DESCRIPCIÓN DE TIEMPO DE RELEVO EN PARQUEOS. ....	83
4.3. RESUMEN DE TIEMPO DE RELEVO EN LOS PARQUEOS.....	96
4.4. DESCRIPCIÓN DEL TIEMPO DE RELEVO EN LAS BAHÍAS A DESNIVEL. 98	
4.5. RESUMEN DE TIEMPO DE RELEVO EN LAS BAHÍAS A DESNIVEL...	103
4.6. ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE BAHÍAS A DESNIVEL Y PARQUEOS.....	105
4.7. IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBA PILOTO DE BAHÍAS A RAS DEL SUELO.....	106
4.8. DESCRIPCIÓN DEL TIEMPO DE RELEVO EN LAS BAHÍAS A RAS DEL SUELO.....	110
4.9. RESUMEN DE TIEMPO DE RELEVO EN LAS BAHÍAS A RAS DEL SUELO 115	
4.10. GENERACIÓN DE MODELO DE SIMULACIÓN DEL CAMBIO EN CALIENTE TINAJONES.....	115
4.10.1. Diagrama de bloques.....	122
4.10.2. Código GPSS.....	123
4.10.3. Validación del Modelo. ....	125
4.10.4. Resultados de la simulación.....	126
4.10.5. Análisis de sensibilidad del modelo.....	127

4.10.6. Simulación Proof.....	129
<b>CAPÍTULO V ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>140</b>
5.1. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.....	140
5.1.1. Hipótesis general.....	140
5.1.2. Hipótesis específica.....	144
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>147</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>149</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>150</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Generadores congruenciales lineales mixtos. ....	29
Tabla 3,1 Población de la investigación .....	79
Tabla 4,1 Parqueos disponibles.....	83
Tabla 4,2 Bahías a desnivel.....	98
Tabla 4,3 Costos de bahías a desnivel "Aglomerador" .....	99
Tabla 4,4 Costos de bahías a desnivel "Arroyo". ....	102
Tabla 4,5 Bahías a ras del suelo.....	111
Tabla 4,6 Tiempos correspondientes al tramo T1. ....	116
Tabla 4,7 Tiempos correspondientes al tramo T2. ....	117
Tabla 4,8 Tiempos correspondientes al tramo T3. ....	117
Tabla 4,9 Tiempos correspondientes al tramo T4. ....	118
Tabla 4,10 Tiempos correspondientes al tramo T5. ....	118
Tabla 4,11 Tiempos correspondientes al tramo T6. ....	118
Tabla 4,12 Tiempos correspondientes al tramo T7. ....	119
Tabla 4,13 Producción Toneladas por Turno de 12 horas.....	126
Tabla 4,14 Estadísticas de servicios (Palas).....	126
Tabla 4,15 Estadísticas de Colas.....	126
Tabla 4,16 Estadísticas de Multiservicio. ....	127
Tabla 4,17 Producción.....	127
Tabla 4,18 Costo total según número de camiones. ....	127
Tabla 5,1 Estadísticas de Producción 2019. ....	140
Tabla 5,2 Producción mensual por camión 2019. ....	142
Tabla 5,3 Resumen de estadísticas de parqueos y bahías a ras del suelo. ....	144
Tabla 5,4 Análisis de varianza (ANOVA) entre parqueos y bahías a ras del suelo.....	144

Tabla 5,5 Estadísticas de delta C. ....	145
---	-----

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2,1 Distribución exponencial .....	23
Figura 2,2 Generación del Layout. ....	34
Figura 2,3 Generación de una clase. ....	35
Figura 2,4. Generación del Path. ....	36
Figura 2,5 Código del archivo CHAP2A.ATF. ....	37
Figura 2,6 Captura de pantalla de la animación. ....	38
Figura 2,7 Programa CHAP10A.GPS. ....	40
Figura 2,8 Salida de programa CHAP10A.....	41
Figura 2,9 Programa CHAP10B.GPS. ....	43
Figura 2,10 Ejecución del programa CHAP10B.GPS. ....	43
Figura 2,11 Programa CHAP10C.GPS .....	44
Figura 2,12 Salida del programa CHAP10C.GPS. ....	45
Figura 2,13 Programa CHAP10B.GPS. ....	47
Figura 2,14 Salida del programa CHAP10B.GPS. ....	47
Figura 2,15 Programa CHAP10E.GPS. ....	50
Figura 2,16 Salida del programa CHAP103.GPS.....	50
Figura 2,17 Programa CHAP10F.GPS.....	51
Figura 2,18 Salida del programa CHAP10F.GPS.....	51
Figura 2,19 Programa CHAP10G.GPS .....	53
Figura 2,20 Salida del programa CHAP10G.GPS.....	53
Figura 2,21 Programa CHAP10H.GPS. ....	55
Figura 2,22 Archivo CHAP10.ATF. ....	55
Figura 2,23 Generación del Layout CHAP10H.LAY. ....	56

Figura 2,24 Captura de pantalla de la animación.....	57
Figura 2,25 Programa CHAP10I.GPS.....	58
Figura 2,26 Layout modificado.....	58
Figura 2,27 Captura de pantalla de la animación CHAPTER10I.LAY.....	59
Figura 2,28 Programa CHAP10J.GPS.....	60
Figura 2,29. Ejecución del programa CHAP10J.GPS .....	60
Figura 2,30 Programa CHAP10K.GPS.....	61
Figura 2,31 Generación del archivo Layout.....	62
Figura 2,32 Código CHAP10K.GPS en el cual se resalta la clase.....	63
Figura 2,33 Creación de la clase TRUCK.....	63
Figura 2,34 Generación del Path.....	64
Figura 2,35 Captura de pantalla de la animación.....	65
Figura 2,36 Vista superior de un corredero metálico.....	67
Figura 2,37 Vista inferior de corredera metálica.....	67
Figura 2,38 Vista general de bahías "Aglomerador".....	68
Figura 2,39 Esquema de bahías de cambio en caliente a desnivel.....	68
Figura 2,40 Sección típica de bahía para cambio en caliente a desnivel .....	69
Figura 2,41 Esquema de bahías de cambio en caliente a ras del suelo.....	71
Figura 2,42 Vista satelital de bahías a ras del suelo.....	72
Figura 2,43 Diseño estándar para parqueos de camiones Caterpila CAT 793 y Komatsu .....	73
Figura 2,44 Diseño estándar para equipos auxiliares cargador frontal y moto niveladores.....	74
Figura 2,45 Diseño estándar para equipos auxiliares tractor de orugas y tractor de ruedas.....	75

Figura 2,46 Vista general de los parqueos y bahías para cambio en caliente en los tajos 04/03/2019. ....	76
Figura 4,1 Ubicación de parqueos "Dinámico" .....	84
Figura 4,2 Histograma de tiempo de relevo correspondiente a mayo 2019.....	85
Figura 4,3 Histograma de tiempo de relevo correspondiente a junio 2019. ....	86
Figura 4,4 Resumen estadístico del parqueo "Dinámico" 2019.....	87
Figura 4,5 Ubicación del parqueo "SR6". ....	88
Figura 4,6 Histograma de tiempo de relevo parqueo "SR6" abril 2019.....	89
Figura 4,7 Histograma de tiempo de relevo parqueo "SR6" mayo 2019.....	90
Figura 4,8 Histograma de tiempo de relevo parqueo "SR6" junio 2019. ....	91
Figura 4,9 Resumen estadístico del parqueo "SR6" 2019.....	92
Figura 4,10 Ubicación de parqueo "Aglomerador". ....	93
Figura 4,11 Histograma de tiempo de relevo parqueo "Aglomerador" septiembre 2019. ....	94
Figura 4,12 Histograma de tiempo de relevo parqueo "Aglomerador" octubre 2019. ....	95
Figura 4,13 Resumen estadístico parqueo "Aglomerador" 2019. ....	96
Figura 4,14 Gráfica de puntos del tiempo de relevo diferenciado por parqueos.....	97
Figura 4, 15 Resumen de estadísticas básicas del tiempo de relevo en parqueos..	97
Figura 4,16 Diseño de bahías "Aglomerador". ....	99
Figura 4,17 Vista de las bahías "Aglomerador". ....	100
Figura 4,18 Vista satelital de las bahías "Aglomerador". ....	100
Figura 4,19 Resumen estadístico de bahías "Aglomerador". ....	101
Figura 4,20 Vista general de las bahías "Arroyo". ....	102
Figura 4,21 Resumen estadístico del tiempo de relevo en las bahías "Arroyo". ....	103
Figura 4,22 Gráfica de puntos de tiempo de relevo diferenciado por bahías.....	104

Figura 4,23 Resumen de estadísticas básicas del tiempo de relevo en bahías a desnivel. ....	105
Figura 4,24 Vista general del diseño de bahías "TNJ". ....	108
Figura 4,25 Vista satelital de las bahías "TNJ". ....	108
Figura 4,26 Histograma cambio en caliente "TNJ". ....	109
Figura 4,27 Resumen estadístico de bahías para cambio en caliente "TNJ".....	110
Figura 4,28 Vista general de bahías "Presidencia". ....	111
Figura 4,29 Vista del relevo en las bahías "Presidencia". ....	112
Figura 4,30 Resumen estadístico de las bahías "Presidencia".....	112
Figura 4,31 Diseño de bahías "CULVERT 3". ....	113
Figura 4,32 Vista satelital de las bahías "Culvert 3". ....	114
Figura 4,33 Resumen estadístico de las bahías "Culvert 3".....	114
Figura 4,34 Estadísticas del tiempo de relevo en bahías a ras del suelo. ....	115
Figura 4,35 Topografía de la fase 6 y el botadero TNJ. ....	116
Figura 4,36 Resumen de tiempo de relevo en la bahía piloto en segundos. ....	120
Figura 4,37 Diagrama de bloques GPSS. ....	122
Figura 4,38 Función Costo Total. ....	129
Figura 4,39 Captura de pantalla de la animación en bahías ....	138
Figura 5,1 Número de camiones y número de bahías.....	141
Figura 5,2 Toneladas mensuales por camión y número de bahías. ....	143
Figura 5,3 Delta C y Número de bahías por periodo. ....	146

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales costos de las empresas mineras es el costo de acarreo, y en el caso particular del compañía minera al cual hace referencia esta investigación, este costo representa el 52.2% de costo total, he ahí la importancia de enfocar dicha operación unitaria y estudiar sus componentes; es así que se observa que la demora operativa respecto al tiempo que toman los operadores para realizar el relevo en el cambio de guardia o refrigerio presenta mucha variabilidad, que va entre rangos de 6.74 minutos a 22.10 minutos, abriendo la posibilidad de poder mejorar estos tiempos; por esta razón la pregunta central de la investigación es ¿Será posible implementar bahías a ras del suelo para cambio de guardia en caliente y reducir el tiempo de relevo?, además se plantea la siguiente hipótesis: La implementación de bahías a ras del suelo para cambio de guardia en caliente incrementará la producción.

Esta investigación es de tipo Aplicativo, descriptivo y de diseño experimental, ya que se realiza el experimento (implementación de bahías), se recolecta los resultados con el fin de describir los efectos producidos por el factor bahías en la variable dependiente (tiempo de relevo), se realizará las estadísticas básicas y el análisis de varianza (ANOVA) para rechazar o aceptar la hipótesis propuesta. El objetivo central de esta investigación es analizar el sistema de relevo e implementar bahías a ras del

suelo para cambio de guardia en caliente y con ello reducir el tiempo de relevo de los operadores de camión.

Esta investigación se ha estructurado en 4 capítulos. En el capítulo I “Marco Teórico” se presenta los antecedentes referenciales de las investigaciones más significativas realizadas anteriormente que guardan relación con esta tesis; también se presenta las bases teóricas y científicas con los cuales se analizarán los datos obtenidos y finalmente se incluyen definiciones de términos usados. Además, se presenta los comandos más relevantes del lenguaje de programación GPSS/H para enlazar la simulación con el software de animación PROOF (P-5). En el capítulo II “Metodología de la investigación” se expone la metodología a ser utilizada, como: el tipo de investigación, diseño, la población objeto de estudio, la técnica e instrumento de recolección de datos, la validez, confiabilidad del instrumento y la técnica para el análisis de los resultados. En el capítulo III “Implementación de bahías para cambio de guardia en caliente” se presentarán las estadísticas de las tres formas distintas de realizar el relevo: en parqueos, bahías a desnivel y bahías a ras del suelo, se realizará el análisis de varianza (ANOVA) para constatar la hipótesis general y finalmente el Capítulo IV “Análisis y Discusión de resultados”.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1.1. Ubicación**

Por políticas de privacidad de información de la compañía minera en la cual se desarrolla esta investigación se la denominará “Mina modelo de cobre”; esta mina explota sus reservas por el método de tajo abierto y se encuentra ubicado al sur del Perú en el departamento de Arequipa.

#### **1.1.2. Tipo de yacimiento**

La mina modelo de cobre que hace referencia esta investigación es un yacimiento tipo pórfido de cobre de baja ley.

#### **1.1.3. Descripción de la mina**

Al iniciar esta investigación la producción de material movido era de novecientas cincuenta mil toneladas por día (950 ktpd), es necesario precisar este detalle puesto que a la fecha que se termina en redactar esta tesis, la mina aún sigue incrementando su flota adquiriendo camiones mineros Komatsu K930.

El mineral extraído es procesado por los métodos de lixiviación y flotación, obteniendo cátodos de cobre y concentrado de cobre respectivamente. Actualmente se explota tres tajos, los cuales llamaremos Amadís, Gaula y Manbrino ubicados de este a oeste respectivamente.

El material minado de los tajos tiene diferentes destinos; pudiendo ser: Botaderos, Pads de lixiviación, chancadoras primarias, depósitos dinámicos o material destinado a distintos proyectos para construcción de plataformas, estos destinos son asignados según las leyes y características del material minado.

#### **1.1.4. Requerimiento de mineral para los procesos**

Para el proceso de concentrado cuenta con dos chancadoras primarias:

- “Chancadora Norte” con un requerimiento de doscientas sesenta mil toneladas por día (260ktpd)
- “Chancadora Sur” con un requerimiento de ciento veinte mil toneladas por día (120ktp).

Para el proceso de lixiviación cuenta con:

- Una chancadora primaria “Hidro Chan”, para óxidos de alta ley, con un requerimiento de cuarenta mil toneladas por día (40ktpd).

Para el proceso de lixiviación Pad-ROM:

- Los óxidos de baja ley son enviados directo al Pad sin pasar por un chancado previo.

#### **1.1.5. Equipos de carguío y acarreo**

Tiene una producción de material movido de novecientas cincuenta mil toneladas por día (950ktpd) y para ello cuenta con los siguientes equipos:

**Camiones**

- Noventa y tres (93) camiones mineros marca Cat-793 de 240 Tm de capacidad de carga.
- Veintiocho (28) camiones minero marca Kom- 930 de 300 Tm de capacidad de carga.

**Palas**

- Nueve (09) palas eléctricas marca P&H 4100
- Tres palas hidráulicas (03) marca P&H 2800

**Perforadoras**

- Doce (12) PIT VIPPER
- Cinco (05) Rock drill Atlas Copco Rock L-8

**Cargadores Frontales**

- Tres (03) cargadores frontales tipo Cat-994F
- Tres (03) cargadores frontales tipo Cat 992

**Cisterna**

- Seis (06) Cisternas tipo Cat 777 (20K Gal)
- Siete (07) Cisternas tipo Cat 789 (40k Gal)

**Tractores sobre Orugas**

- Diecinueve (19) tractores tipo D10R/T
- Seis (06) tractores tipo Cat D11R

**Tractores sobre Llantas**

- Trece (13) tractores tipo Cat 824

#### **Motoniveladora**

- Siete (07) tractores tipo Cat 16M
- Dos (02) tractores tipo Cat 24M

#### **Rodillos-Compactadores**

- Dos (02) rodillos Boomag 219 y tres (03) Cat CS76X

#### **Excavadoras**

- Cinco (05) excavadoras Cat 390 y una (01) Cat 336

### **1.2 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

El mejoramiento continuo de la eficiencia en el proceso de producción ha pasado de ser una necesidad a ser un deber de las empresas, ya que al mejorar la eficiencia de sus operaciones unitarias se aprovechan mejor los recursos (recursos que cada vez son más escasos), por consecuencia se reducen los costos trayendo consigo un incremento de producción y sobre todo se aprovecha mejor el tiempo, el cual es el recurso más importante de todos.

Estas mejoras por lo general se dan por innovaciones tecnológicas al reemplazar maquinaria obsoleta por otra de última tecnología, la cual en la mayoría de los casos involucra una fuerte inversión.

Sin embargo, también se puede mejorar la eficiencia manteniendo los mismos recursos cambiando solo el método de trabajo; basta con detectar las tareas críticas en las operaciones unitaria y de todas esas determinar cuáles son las que entorpecen el sistema; una vez identificada la tarea critica se debe analizar la causa, el problema y la consecuencia y de esta manera plantear soluciones.

En la industria minera para explotar los recursos minerales se tiene las siguientes operaciones unitarias: perforación, voladura, carguío, acarreo, chancado y molienda; está investigación analizará las operaciones unitarias de carguío y acarreo, puesto que representan el mayor costo de producción.

Para un mejor análisis trataremos las operaciones unitarias de carguío y acarreo como un sistema, el cual llamaremos "Sistema de transporte Pala-camión" que consta del proceso de carguío del material por las Palas o Cargadores Frontales a los distintos tipos de camiones, para que estos acarren el material hacia los destinos asignados, pudiendo ser: botaderos, chancadoras, Pads de lixiviación, depósitos dinámicos o destinado a proyectos en el cual se requiera movimiento de tierras.

La problemática actual de la industria minera y en particular de la mina modelo que hace referencia esta investigación se da por las demoras excesivas al realizar el relevo de los operadores de camiones mineros en las horas de refrigerio y cambio de guardia, a causa de un ineficiente sistema de relevo; trayendo como consecuencia la disminución de la productividad del sistema de transporte Pala-Camión.

Existen varios factores que hacen que este sistema de relevo sea ineficiente; por ejemplo: Insuficiente personal de sobre tiempo que realicen el relevo mientras los operadores se encuentran en refrigerio, tener un solo comedor ubicado al lado sur de la mina, insuficiente cantidad de parqueos, áreas reducidas para construir parqueos (fases angostas), parqueos alejados del comedor y vestuarios, etc.

En esta investigación se analizará solo los factores físicos como:

- La ubicación y cantidad de parqueos.
- Capacidad de los parqueos (número máximo de camiones que pueden ser atendidos en las zonas de parqueo en un mismo periodo de tiempo)

- Tiempo de relevo en los parqueos y bahías de cambio en caliente.
- Principales rutas de acarreo.
- Flujo de acarreo y el tiempo de arribo para determinar el número de bahías que debe contar cada zona de cambio en caliente.
- El plan de minado para determinar el tiempo de vida de los parqueos y zonas de cambio en caliente.

Para un adecuado análisis se debe conceptualizar el relevo de operadores a los camiones como un subsistema del sistema de transporte Pala-Camión. El cual llamaremos “sistema de relevo” que puede ser realizado tanto en los parqueos o en las bahías de cambio en caliente.

Actualmente la mina cuenta con diez zonas de parqueos y dos zonas de bahías a desnivel para realizar el cambio de guardia, esta investigación analizará los tiempos de relevo en los parqueos y en las bahías, con el fin de implementar bahías a ras del suelo que son de menor costo y rápida construcción y de esta manera elevar la eficiencia de nuestros activos.

Por otro lado, el inicio de nuevas fases de minado va a impactar la mayoría de los parqueos actuales, por ello surge la necesidad de reemplazarlos por estructuras que ocupen menos área y que se encuentren cerca de las rutas principales.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Será posible implementar bahías a ras del suelo para cambio en caliente y reducir el tiempo de relevo de los operadores de camiones mineros en la mina modelo de tajo abierto ubicada al sur del Perú?

## **1.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS**

### **1.4.1. Objetivos Generales**

- Analizar el sistema de relevo e implementar bahías a ras del suelo para cambio de guardia en caliente.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Disminuir el tiempo de relevo de los operadores de camión con el uso de las bahías a ras del suelo.
- Generar un modelo de simulación con GPSS/H para representar el sistema de relevo en las bahías para cambio en caliente.
- Desarrollar algoritmos de animación en el lenguaje PROOF para representar el sistema de relevo de forma visual.
- Reducir el Delta-C con el uso de las bahías a ras del suelo para el cambio en caliente.

## **1.5 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación se propone analizar los tiempos de relevo en una mina de tajo abierto ubicada al sur del Perú en el departamento de Arequipa; para evaluar una posible implementación de bahías de cambio en caliente a ras del suelo, que reemplacen a los parqueos existentes, para ello se controlaron los tiempos de relevo en cambio de guardia durante todos los meses del año 2019, adicionalmente esta investigación ayudará en la toma de decisiones cuando se requiera implementar bahías para cambio en caliente en minería superficial, puesto que se detalla los tiempos que tardan los operadores de camiones en hacer el relevo, así como también se muestra un estándar para la construcción de las estructuras y adicionalmente se

presenta un modelo de simulación de eventos discretos en lenguaje de programación GPSS/H y PROOF, aportando así el uso de técnicas de simulación para afrontar problemas reales de la industria minera.

## **1.6 HIPÓTESIS GENERALES Y ESPECÍFICAS**

### **1.6.1. Hipótesis general**

- El cambio en caliente usando las bahías a ras del suelo incrementa la producción de mina.

### **1.6.2. Hipótesis específica**

- El cambio en caliente con bahías a ras del suelo disminuye el tiempo de relevo de los operadores de camión en la mina a tajo abierto.
- El modelo de simulación con GPSS/H representará el funcionamiento del sistema de relevo de las bahías a ras del suelo.
- Los algoritmos de animación en el lenguaje PROFF representará el sistema de relevo de forma visual.
- El cambio de guardia con bahías a ras del suelo reduce el Delta-C.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se presenta los antecedentes referenciales, de las investigaciones más significativas realizadas anteriormente que guardan relación con esta tesis; también se presenta las bases teóricas y científicas con los cuales se analizarán los datos obtenidos y finalmente se incluyen definiciones de términos usados.

Además, se presenta los comandos más importantes de programas en GPSS/H para enlazar la simulación con el software de animación PROOF, para ello se presentan ejemplos didácticos que muestran paso a paso como construir el código y generar una animación.

#### **2.1. ANTECEDENTES REFERENCIALES**

A continuación, se presentan las investigaciones y artículos que guardan relación con esta investigación, los cuales han sido publicados con anterioridad.

Esta investigación tiene como objetivo principal reducir el tiempo de relevo, para ello se planteó implementar bahías a ras del suelo para realizar el relevo de los operadores de camiones mineros en caliente, para dicha implementación se

construyeron bahías piloto cerca de un botadero y se analizó el tiempo que tarda en realizar el relevo versus el tiempo que demora en realizar el relevo en los parqueos.

Se hace uso de técnicas estadísticas principalmente el análisis de la varianza para la constatación de hipótesis, también se elabora un modelo de simulación de eventos discretos en GPSS/H (versión más avanzada del GPSS) el cual será enlazado con el software de animación PROOF-P5; para representar mediante una animación el sistema de relevo en las bahías de cambio en caliente.

A continuación, se muestran las publicaciones más relevantes las cuales están ordenadas por antigüedad.

MARÍN, A. (1974). *Simulación con GPSS. IV seminario latinoamericano de investigación operativa aplicada a la industria minera (O.E.A)*. Seminario llevado a cabo en la Universidad de Chile, departamento de minas, Santiago de Chile. Esta publicación fue desarrollada con el objetivo de servir de guía a los asistentes al IV Seminario de Investigación Operativa Aplicada a la Industria Minera (O.E.A). Se trató de mostrar las circunstancias en que la simulación discreta es aplicable, para lo cual se presentaron algunos conceptos básicos de simulación, así como el programa de aplicación GENERAL PURPOSE SIMULATION SYSTEM (GPSS) diseñado por IBM, cuyo manejo requiere de instrucciones que constituyen el lenguaje GPSS, de las cuales se presentaron solo las básicas, cuya aplicabilidad se muestra en algunos problemas que han sido resueltos en forma completa en el computador IBM 360/40 del centro de computación de la Universidad de Chile.

AGREDA, C (1975). *Técnicas de la simulación aplicada al problema del transporte del mineral en la mina Marcona (uso de la computación electrónica)*. Aplica técnicas de simulación al sistema de transporte en la mina Marcona desarrollando la simulación usando el lenguaje de simulación FORTRAN (IBM).

LIMAYLLA, H. (1984). *Simulación computarizada del acarreo en una mina a cielo abierto: una introducción al GPSS*. Universidad Nacional de Ingeniería. Este estudio trató sobre la generación de un modelo de simulación para minería a cielo abierto haciendo uso del lenguaje de programación GPSS (General Purpose Simulator System) de IBM con el propósito de brindar apoyo en la toma de decisiones.

CANO, D., DE LA CRUZ, E., HUARAZ, J., WONG, J., GUTIERREZ, M., (2009). *Modelo probabilístico del transporte de mineral en minería superficial*. Presentado en el 29 convención minera. Arequipa-Perú. El marco teórico de esta investigación aplicada a la ingeniería de minas está constituido por la aplicación de modelos matemáticos probabilísticos con la ayuda de lenguajes de simulación discreta evento - evento. Estos lenguajes de simulación utilizan los conceptos del Teorema de Límite Central de A. Liapounov, de la Teoría de Colas, el método de Montecarlo de John Von Neumann, entre otros, para aproximarse a la realidad. El modelo matemático probabilístico presentado en este trabajo, se diseñó y programó haciendo uso del lenguaje de simulación GPSS World versión estudiantil, para ser aplicado en las operaciones de transporte de mineral a tajo abierto, y se validó con datos de campo tomados durante una práctica pre profesional de un grupo de estudiantes en la unidad de producción minera Paragsha de Cerro de Pasco; el modelo ha sido desarrollado para reproducir y estudiar la operación del sistema de transporte de mineral en una guardia, que tiene una duración de ocho horas, permitiéndonos simular la producción en toneladas de mineral a través del modelo, estimar el porcentaje de utilización de los equipos de carguío: palas y cargadores frontales, y también estimar el número de camiones que pueden presentarse en la cola de cada unidad de carga y descarga. Este modelo matemático puede ser utilizado para el diseño de nuevas rutas, diseño de una nueva flota de transporte, entre otras aplicaciones; es decir, como una

herramienta de predicción del comportamiento de futuras operaciones de transporte de mineral en minería superficial. Este trabajo fue desarrollado por el Grupo de Investigación de la Escuela de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la UNI y dirigido por el Dr. Alfredo Marín Suárez.

MEZA, J. E. (2011). *Desarrollo de un modelo para la aplicación de simulación a un sistema de carguío y acarreo de desmonte en una operación minera a tajo abierto*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Este trabajo de investigación desarrolló un modelo a seguir para aplicar los conceptos de la simulación de sistemas a un sistema de carguío y acarreo en una operación minera a tajo abierto en el sur del país. Dando como resultado un modelo partiendo de la formulación del problema, seguido la recolección de datos, el análisis de los datos, la descripción de la lógica a seguir para representar la realidad, la verificación y la validación del modelo, el análisis de los resultados, la formulación de escenarios alternativos y la elección del mejor escenario.

GUZMÁN, J. (2012). *Simulación del sistema de carguío y transporte mina Chuquicamata*. Universidad de Chile. Chile. En la mina Chuquicamata en el 2012 se realizó un análisis detallado de alternativas usando la simulación dinámica de eventos discretos y cadenas de Markov para tomar la decisión si es necesario trasladar una de las dos chancadoras primarias de la superficie al interior del Pit. Operativamente se planteó dos condiciones: camiones pueden o no bajar cargados por las rampas. Para el caso en que los camiones no pueden bajar cargados, no se recomienda el traslado de la chancadora al interior del pit. En el caso de que los camiones puedan bajar cargados, a pesar de la mejora en la evaluación económica, el beneficio asociado al traslado siguió siendo marginal y altamente sensible a la productividad alcanzada por el sistema de chancado al interior mina. El proyecto de

traslado se hubiese vuelto atractivo si el precio del cobre se hubiera acercado a los costos de producción, lo cual no se preveía en un futuro cercano. En el caso de los modelos de Markov se reafirmó la decisión con respecto a no trasladar una chancadora E4 al interior del Pit.

GIUBERGIA, A., RIESCO, D. PRINTISTA, M., & GIL, V. (2012). *Estereotipos UML para aplicar en un ambiente de simulación de procesos mineros*. XVIII Congreso argentino de ciencias de la computación. Dpto. de Minería, UNSL, Chacabuco. San Luis – Argentina. En este estudio se plantea que el diseño de estructuras de un sistema y la descripción de su conducta se puede llevar a cabo eficientemente a través del Lenguaje de Modelado Unificado (UML), el cual permite, a su vez, introducir mecanismos de extensión (estereotipos y perfiles) inherentes al mismo lenguaje, para crear dominios específicos. En este trabajo, se muestra cómo esos mecanismos propuestos por UML para definir un metamodelo se aplican a un dominio concreto de simulación, referido al área de procesos mineros, específicamente a situaciones de carga y transporte de mineral. A partir de allí se proponen un conjunto de estereotipos, cuyas equivalencias con las clases de UML, se obtuvieron por ser éstas las que más se le aproximan semánticamente. Esto permite utilizar a UML como una técnica de pre-simulación para definir el dominio, garantizando un modelo bien formado, que responde a los requisitos sostenidos por la OMG (Object Management Group).

BAUDINO, M., GIL-COSTA, V, GIUBERGIA, A., GUERRERO, R. & PRINTISTA, M. (2012). *Modelos de simulación: selección y reemplazo de equipos para proyectos mineros*. XIV workshop de investigadores en ciencias de la computación, facultad de ciencia físico matemáticas y naturales de la Universidad Nacional de San Luis. Chacabuco-Argentina. Esta investigación a abordar el estudio

y análisis mediante el uso de herramientas de simulación, de un yacimiento minero para obtener las características relevantes que permitan definir la maquinaria más adecuada para el proceso de minado.

GÓMEZ, G. (2014). Paper: *Optimización y análisis del proceso de cambio de guardia en caliente y sistema de relevos de camiones CAT- 793F*. Universidad San Agustín de Arequipa. Arequipa –Perú. El análisis demuestra que al hacer uso del cambio en caliente para el relevo de operadores de los camiones mineros (CAT 793F) se logra aumentar la utilización de los camiones, además brinda consideraciones para el uso de los cambios en caliente.

BARRIENTOS, V. (2014). *Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto*. Universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería de minas. Santiago de Chile. El principal objetivo de este estudio fue encontrar los cambios operacionales que tengan mejores resultados sobre las detenciones programadas de cambio de turno y colación, y cómo estas afectan en la productividad diaria del sistema de carguío y transporte, para ello se desarrolló un modelo de simulación dinámica de eventos discretos que emula la realidad del sistema en estudio, el cual es validado y calibrado con la información que se tiene del sistema real. Los resultados indican que se observa que los días de mayor productividad son aquellos que poseen la menor duración de las detenciones en estudio, entre otros factores. El modelo permite construir nuevos escenarios a partir del caso base, donde se agregan cambios operacionales ligados a agregar la posibilidad de que los camiones puedan realizar cambios de turno cargado, que se varíe la posición del estacionamiento respecto a la chancadora y el cambio del tipo de camiones. Los escenarios con cambio de turno con los camiones cargados y

donde estacionamiento está más cercano a la chancadora, aumentan la productividad diaria y disminuyen el total de las detenciones en estudio. Por otra parte, al cambiar el tipo de equipos de transporte hacia uno de mayor velocidad se logra que las detenciones disminuyan, mientras que un análisis en la productividad diaria no es posible de realizar debido a que es necesario cambiar la flota de transporte. Finalmente se recomienda realizar la implementación de que el camión pueda realizar el cambio de turno cargado y además acercar el estacionamiento a la chancadora. El resultado de un escenario combinando ambas estrategias logra un aumento de un 4.2% en la productividad diaria y disminuye en un 10.6% la duración de las detenciones. Esto se traduce en un aumento del beneficio económico de 4.07 M US\$ mensualmente. Con los resultados obtenidos se logró encontrar un escenario que aumenta la productividad, y, en consecuencia, agregar valor a un sistema ya en funcionamiento, cumpliendo así el principal objetivo del estudio. Es posible completar un estudio de este tipo agregando más información detallada ligada a las detenciones estudiadas, pudiendo realizar análisis estadísticos específicos y el modelo de simulación pueda ser calibrado en base a estos datos.

Chura, M. (2018). *Reducción de demoras operativas por cambio de turno con la implementación de módulo de cambio de guardia en la unidad minera Cuajone*. Universidad de Moquegua. Moquegua – Perú. En esta investigación se implementó un módulo de cambio de guardia en el sistema Jigsaw para sistematizar la información de ubicación, estado de los equipos, operador saliente, etc., Con lo cual se logró reducir una de las demoras operativas con mayor influencia en la productividad de mina Cuajone, en 14 días se ahorró el 22% de horas empleadas en el Cambio de guardia, ganando 195 horas efectivas.

## **2.2. BASES TEÓRICAS Y CIENTÍFICAS**

### **2.2.1. Teoría de colas**

La teoría de cola es el estudio de la espera en las distintas modalidades. Usa los modelos de colas para representar los tipos de sistemas de líneas de espera (sistemas que involucran colas de algún tipo) que surgen en la práctica. Las fórmulas para cada modelo indican cuál debe ser el desempeño del sistema correspondiente y señalan la cantidad de espera que ocurrirá, en una gama de circunstancias.

Por lo tanto, estos modelos de líneas de espera son muy útiles para determinar cómo operar un sistema de colas de la manera más efectiva. Proporcionar demasiada capacidad de servicio para operar el sistema implica costo excesivo; pero al no contar con suficiente capacidad de servicio la espera es excesiva con todas sus desafortunadas consecuencias. Los modelos permiten encontrar un balance adecuado entre el costo de servicio y la cantidad de espera. (Hillier & Lieberman, 2002, pag.834).

La teoría de colas estudia el comportamiento de sistemas donde existe un conjunto limitado de recursos para atender las peticiones generadas por los usuarios, de tal manera que cuando un usuario envía una tarea al sistema, ésta podría tener que esperar para ser atendida por algún recurso, o, incluso, podrá ser rechazada si el sistema no tiene capacidad suficiente para almacenarla en espera para ser atendida.

El estudio de estos sistemas implicará el modelado no solo del sistema en sí, sino también del comportamiento aleatorio del tráfico ofrecido por los usuarios al sistema. Este tráfico ofrecido por los usuarios se modela mediante dos procesos estocásticos: proceso de llegadas de las tareas y procesos de servicio demandado por las mismas, usualmente considerados independientemente entre sí.

El conjunto más amplio de resultados analíticos en teoría de colas se encuentra para los procesos de llegad de Poisson y proceso de servicio demandado aleatorio puro modelado por variables aleatorias con distribución exponencial, que caracterizan al sistema de espera en los que tanto las llegadas de tareas de usuarios como la demanda que realizan son completamente aleatorias, en el sentido de que la evolución del sistema solo depende de su condición presente y no de su pasado. Si bien en la práctica surgen otros modelos de colas con caracterización del tráfico mediante otros tipos de procesos, su análisis matemático es más complejo y no se dispone, en la actualidad, de una solución general para todos los casos posibles de interés.

Para el estudio de sistemas modelados mediante modelos de colas cuya solución analítica se desconoce, o bien es muy difícil de obtener, se suele recurrir a técnicas de simulación que, mediante el empleo de programas de computación, permiten obtener estimaciones de los parámetros de interés del comportamiento del sistema. (Pazos, Suárez, Díaz, 2003, pag.7)

### **2.2.2. Disciplina de cola**

Establece el modo de acceso a los recursos del sistema por las tareas que están esperando en la cola. Hay muchos tipos de disciplinas, siendo las más utilizadas:

- FCFS (First come First served), también llamada FIFO (first In First Out). Sirve a las tareas en el orden de llegada al sistema. No siempre es la más conveniente, ya que si hay una tarea muy larga monopolizar
- SJF (Shortest job first), también conocida como SIFO (Shortest In First Out). Sirve primero a aquellas tareas cuya demanda de servicio sea menor.

- LCFS (Last Come First served), llamada también LIFO (Last In First Out). La última tarea en llegar es la primera en servirse.
- RR (Round Robin). Se reparte el tiempo del recurso equitativamente entre todas las tareas que esperan.

Dependiendo de la decisión que se tome cuando se produce la llegada al sistema de una tarea considerada más prioritaria que algunas de las que en ese momento ocupa alguno de los recursos, la disciplina de gestión de cola se suele clasificar en los siguientes grupos:

**Con apropiación (Preemptive).** La tarea menos prioritaria, de aquellas que ocupan un recurso, debe abandonar el recurso y cederle el puesto a la tarea más prioritaria. Existen dos tipos de disciplinas con apropiación:

**Sin pérdida (Resume).** La tarea desplazada del recurso no pierde el trabajo realizado hasta ese momento, con lo que cuando vuelve al recurso podrá continuar donde quedó. En el caso de un computador multitarea esto se consigue mediante una operación de cambio de contexto.

**Con pérdida (No Resume).** A la tarea desplazada del recurso no se le permite almacenar la información necesaria para poder continuar en el futuro su trabajo en el punto donde lo dejó, lo cual implica que cuando ésta acceda nuevamente al recurso deberá volver a realizar su trabajo desde el principio.

Esta disciplina de gestión de cola da lugar a sistemas no conservativos, ya que se destruye trabajo.

**Sin apropiación (No preemptive).** En este caso, aunque se produzca la llegada de una tarea más prioritaria que alguna de las que está disfrutando de algún recurso del

sistema, ésta deberá esperar a que termine de servirse alguna tarea del sistema para disfrutar de un recurso. (Pazos, Suárez, Díaz, 2003, pag 11,12).

### 2.2.3. Especificación de un sistema de colas

Distribución del tiempo entre llegadas / Distribución del tiempo de servicio / Número de servidores / Número máximo de clientes en el sistema / Disciplina de la cola.

M: exponencial

D: degenerada (tiempos constantes)

E: Erlang (Gamma)

G: general

### 2.2.4. Medidas de eficacia de un sistema de colas

Tasa de llegada

$\frac{1}{\lambda}$  Tiempo medio entre llegadas consecutivas

$\mu$  Tasa de servicio

$\frac{1}{\mu}$  Tiempo medio de servicio

$\rho$  Factor de utilización (intensidad de tráfico): fracción de tiempo que están ocupados los servidores  $\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$ ; habitualmente  $\rho < 1$

N Estado del sistema, número de clientes en el sistema (cola + servicio)

L Número medio de clientes en el sistema  $L = E[N]$

$N_q$  Longitud de la cola, número de clientes en la cola.

$L_q$	Número medio de clientes en cola	$L_q = E[N_q]$
$T$	Tiempo de estancia de los clientes en el sistema	
$W$	Tiempo medio de estancia de los clientes en el sistema	$W = E[T]$
$T_q$	Tiempo de espera de los clientes en la cola	
$W_q$	Tiempo medio de espera de los clientes en la cola	$W_q = E[T_q]$
$\check{c}$	Número medio de servidores ocupados	

### 2.2.5. Fórmulas de Little para condiciones estacionarias en sistema M/M/1

La condición estacionaria se produce cuando la distribución del número de clientes en el sistema se conserva a través del tiempo.

Número medio de clientes en el sistema/cola = tasa de llegada x tiempo medio de los clientes en el sistema/cola.

$$L = \lambda W L_q = \lambda W_q$$

Tiempo medio de los clientes en el sistema = tiempo medio de los clientes en la cola + tiempo medio de servicio.

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Número medio de clientes en el sistema = número medio de clientes en la cola + factor de utilización (número medio de clientes siendo atendidos).

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

No pueden utilizarse si hay tasas de servicio diferentes.

### 2.2.6. Distribución exponencial

T Variable aleatoria tiempo entre llegadas o tiempo de servicio.

$$f_T(t) = \begin{cases} \alpha e^{-\alpha t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad \text{Estrictamente decreciente en } t$$

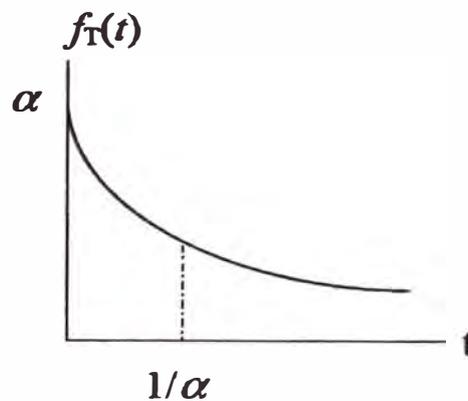


Figura 0,1 Distribución exponencial

Fuente: Elaboración propia

Probabilidad de una llegada después del instante  $t$ .

$$P\{T > t\} = e^{-\alpha t} \quad \text{Var}(T) = 1/\alpha^2$$

### 2.2.7. Modelo de Simulación

Para Hamdy A. Taha en su libro Investigación de Operaciones 7ma edición, capítulo 18, página 639. La simulación es la mejor alternativa de la observación de un sistema. Nos permite recopilar información pertinente acerca del comportamiento del sistema al paso del tiempo. La simulación no es una técnica de optimización. Más bien se usa para estimar las mediciones del desempeño de un sistema modelado.

La simulación moderna suele manejar situaciones que se pueden describir en el contexto de una línea de espera o cola. La simulación no se limita a eso, porque casi cualquier situación de funcionamiento se puede considerar como alguna forma de línea de espera. Esta es la razón por la que la simulación ha gozado de aplicaciones tan tremendas en las redes de comunicaciones, manufactura, control de inventario, comportamiento del cliente, pronósticos económicos, sistemas biomédicos y estrategias y tácticas bélicas.

Un precursor de la simulación de nuestros días es la técnica de Monte Carlo, esquema dirigido hacia la estimación de parámetros estocásticos o determinísticos con base en el muestreo aleatorio. La diferencia principal entre las dos técnicas es que en el método de Monte Carlo el elemento tiempo no es factor pertinente. Como ejemplos de las aplicaciones Monte Carlo está la estimación del área de una curva o, en forma más general, la evaluación de integrales múltiples, la estimación de la constante  $\pi$  ( $\cong 3.14159$ ), y la inversión de matrices.

### **2.2.8. Tipos de Simulación**

Para Hamdy A. Taha en su libro *Investigación de Operaciones* 7ma edición, capítulo 18, página 644. La ejecución actual de la simulación suele basarse en la idea de usar el muestreo juntamente con el método de Monte Carlo. Es distinta porque se ocupa de estudiar el comportamiento de sistemas reales como una función del tiempo. Existen dos clases de modelos de simulación.

Modelos continuos, que manejan sistemas cuyo comportamiento cambia continuamente con el tiempo. Esos modelos suelen usar ecuaciones en diferencias y diferenciales para describir las interacciones entre los distintos elementos del sistema. Un ejemplo característico es el estudio de la dinámica demográfica mundial.

Modelos discretos, relacionados principalmente con el estudio de líneas de espera, cuyo objetivo es determinar medidas como el tiempo de espera promedio y el tamaño de la cola. Esas medidas sólo cambian cuando entra o sale un cliente del sistema. En todos los demás momentos nada sucede en el sistema, desde el punto de vista de reunir datos estadísticos. Los instantes en lo que suceden los cambios, en puntos discretos en el tiempo, dan lugar al nombre de simulación de evento discreto.

### **2.2.9. Lenguajes de Simulación**

Para Hamdy A. Taha en su libro Investigación de Operaciones 7ma edición, capítulo 18, página 673. Algunos paquetes comerciales modernos dominan en la actualidad el mercado de la simulación, como son Arena, AweSim y GPSS/H, para mencionar sólo unos pocos. En estos paquetes se hace un uso intenso de interfaz con el usuario para simplificar el proceso de creación del modelo de simulación. También proporciona funciones de animación, donde se puede observar visualmente los cambios en el sistema. Sin embargo, al usuario con experiencia, le podrá parecer que esas interfaces reducen el desarrollo de un modelo de simulación hasta un ritmo de "cámara lenta". No es de sorprender que algunos usuarios prefieran escribir modelos de simulación en lenguajes de programación tan generales como C, Basic y FORTRAN.

### **2.2.10. Generación de números aleatorios**

Uno de los primeros algoritmos de generación de secuencias de números pseudoaleatorios del que se tiene noticia fue el propuesto por von Neumann y metrópolis en los años 40. El método consistía en lo siguiente:

- Se establece un número de cuatro dígitos,  $Z_0$ , que llamaremos semilla.

- Cada valor  $Z_{(i+1)}$  se obtendrá a partir del valor  $Z_i$  tomando los cuatro dígitos centrales del número  $Z_i^2$ . Si el número  $Z_i^2$  no tiene ocho dígitos se completará con ceros por su izquierda hasta que sí los tenga y entonces es cuando se selecciona el valor  $Z_{(i+1)}$ .
- Aunque intuitivamente parece ser un buen método, la secuencia presenta una fuerte tendencia a cero, de la que, además, no se recupera (Von Neumann, 1951).
- En la actualidad, y debido a su buen comportamiento, los generadores congruenciales lineales y los múltiplemente recursivos, como su extensión lógica, son los más habituales en la generación de secuencias de números pseudoaleatorios.

#### **2.2.11. Requisitos de un generador de números pseudoaleatorios**

Sobre la definición de aleatoriedad (Niederreiter, 1978; Ripley, 1987) y sobre las características que un generador de números pseudoaleatorios ha de satisfacer para poder considerarlo un generador adecuado (Park y Miller, 1988) se ha escrito y debatido abundantemente; sin embargo, parece ampliamente aceptado que las cuatro características siguientes son deseables en un generador de números pseudoaleatorios:

**Aleatoriedad.** Deberá generar números distribuidos de forma aproximadamente uniforme en el intervalo  $[0,1]$ . Además, no debe haber correlación entre las muestras.

**Eficiencia.** La eficiencia se mide en tiempo y en cantidad de memoria; será deseable que las muestras se generen lo más rápido posible y que el generador precise de poca memoria para hacerlo.

**Periodo máximo.** Es útil que la secuencia que se genere sea lo mayor posible, para reducir la probabilidad de que se produzca una repetición durante una simulación. El periodo máximo establece el número de muestras que se puede obtener antes de repetir la secuencia.

**Secuencia reproducible.** El tener una secuencia que se pueda reproducir tiene como principal ventaja el poder repetir exactamente la misma simulación para facilitar las tareas de depuración y verificación de los programas. Además, podremos utilizar la misma secuencia para varias simulaciones y mejorar la precisión de los resultados mediante alguna técnica de reducción de varianza.

#### 2.2.11.1. Generadores Congruenciales lineales de números pseudoaleatorios

Estos generadores fueron introducidos por Lehmer (1951) y todos ellos tienen en común que la secuencia que genera satisface la expresión recursiva:

$$Z_i = (a * Z_{i-1} + c) \bmod m \quad 0 \leq Z_i \leq m - 1,$$

Donde la elección de  $a$ ,  $c$  y  $m$  caracteriza unívocamente al generador.

Todos ellos, incluido el  $Z_0$ , son números enteros no negativos:

$a$ : multiplicador que deberá satisfacer  $a < m$ .

$c$ : incremento que satisfará  $c < m$ . La elección de este parámetro implicará la inclusión del generador dentro de uno de los dos siguientes subconjuntos:

$c = 0 \rightarrow$  Generador congruencial multiplicador.

$c \neq 0 \rightarrow$  Generador congruencial mixto.

$m$ : se denomina módulo y satisface que  $m > 0$ . Era usual su elección como potencia de 2 para una mayor eficiencia en los cálculos.

$Z_0$ : recibe el nombre de semilla o valor inicial de la secuencia y deberá ser tal que,  $Z_0 < m$ .

Los números pseudoaleatorios que se obtienen serán de la forma:

$$U_i = \frac{Z_i}{m} \quad 0 \leq U_i \leq 1$$

La secuencia se repetirá con el período  $p \leq m$ , por lo que el generador alcanza el período máximo si  $p=m$ .

Su carácter de repetitividad, común a todos los generadores de números pseudoaleatorios, que establece que cualquier número generador  $Z_i$  está totalmente determinado por los valores que caracterizan el generador  $m$ ,  $a$ ,  $c$  y por la semilla escogida  $Z_0$ :

$$z_i = (a^i z_0 + \frac{c * (a^i - 1)}{a - 1}) \text{ mod } m$$

Es precisamente el origen de los inconvenientes del método.

De todas formas, es necesario notar que, si se eligen los parámetros de forma adecuada, la secuencia obtenida podrá superar diferentes pruebas estadísticas que valoren positivamente el comportamiento de los  $U_i$  como variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (Fishman, 1978; Knuth, 1997)

#### **2.2.11.2. Generadores Congruenciales mixtos**

Las condiciones siguientes, teorema de Hull y Dobell (1962), aseguran que el generador lineal congruencial mixto que las satisfaga tendrá período máximo:

- El único entero positivo que exactamente divide a “m” y a “c” es el 1, es decir, son primos entre sí.
- Si “q” es un número primo que divide a “m”, entonces q también divide a “a-1”.
- Si 4 divide a “m”, entonces 4 también divide a “a-1”.

Sin embargo, además del período máximo, es necesario tener en cuenta otros factores para la elección de los parámetros del generador, como sus propiedades estadísticas y una mayor sencillez de los cálculos necesarios para obtener la secuencia.

En la tabla siguiente se indican los generadores congruenciales lineales mixtos propuestos por Coveyou y MacPherson (1967) y por Kobayashi (1978):

Tabla 2.1. Generadores congruenciales lineales mixtos.

Parámetro	Kobayashi	Coveyou y MacPherson
a	314,159.269	$5^{15}$
c	453,806.245	1
m	$2^{31}$	$2^{35}$

Fuente: Teorema de Hull y Dobell (1962).

### 2.2.12. Software de animación PROOF-P5

La siguiente información es un resumen respecto al Software PROFF del libro Discrete Simulation and Animation for mining engineers de John R, Sturgul. Al cual se le ha agregado capturas de pantalla para una mejor comprensión.

PROOF-P5 es la quinta generación de Proof Animation.- Wolverine Software; y es un animador 2D de alto rendimiento que se basa en los puntos fuertes de su predecesor, P4.

Proof Animation es una familia de software de animación de sistema de propósito general para PC y consiste en:

- Una capacidad de dibujo similar a CAD para crear diseños y definir formas y caminos
- Un conjunto de comandos de animación y la capacidad de procesar secuencias generadas por programas de estos comandos.
- Un conjunto de comandos de presentación y la capacidad de procesar secuencias personalizadas de estos comandos.

Proof se proporciona de dos formas, como un programa independiente controlado por archivos y como una biblioteca de funciones que se pueden llamar desde un programa en ejecución. La mayoría de los usuarios de Proof utilizan la versión independiente de Proof. Sus modelos de simulación escriben archivos de seguimiento, que luego son reproducidos por Proof. Este modo de funcionamiento se denomina animación post procesada. Cuando se utilizan las versiones de biblioteca de Proof, una aplicación transmite comandos de seguimiento directamente a Proof, sin tener que utilizar archivos de seguimiento. Este modo de funcionamiento se denomina animación concurrente. El flujo de comandos así descrito puede estar contenido en un archivo post procesado o transmitido uno a la vez desde un programa en ejecución.

Proof se denomina "propósito general" por dos razones. Primero, debido a que funciona independientemente de cualquier software de simulación o lenguaje de programación específico y tiene un conjunto de comandos documentado abiertamente, Proof es compatible con una amplia variedad de software. En segundo lugar, la naturaleza flexible del conjunto de comandos permite la animación de muchos tipos de sistemas de muchas formas diferentes.

Proof crea representaciones precisas y fluidas de sistemas complejos. Proof no crea secuencias fotorrealistas o efectos de dibujos animados, cuadro por cuadro. La mayoría de las animaciones creadas con Proof representan objetos que se mueven a través de un dibujo estático, llamado diseño, que tiene un carácter más esquemático que artístico. Para muchos usuarios, los diseños se crean a partir de dibujos CAD importados.

#### **2.2.12.1. Características del Proof:**

- Cuando se ejecuta como post procesador, Proof no está conectado a ningún lenguaje o herramienta de simulación durante el transcurso de una animación. El post procesamiento permite la explotación completa de la potencia de procesamiento y el hardware de gráficos, maximizando el rendimiento. También permite que las animaciones se ejecuten en una computadora diferente a la que se usó para ejecutar la simulación, quizás en una ubicación diferente. El post procesamiento permite un estudio más profundo del comportamiento del sistema a largo plazo mediante la ejecución rápida de la animación y el avance rápido. Finalmente, y quizás lo más importante, las animaciones pueden basarse en modelos desarrollados bajo una amplia variedad de software de simulación, o incluso bajo un lenguaje de programación que no sea de simulación u otro entorno de software.
- Las versiones de biblioteca de Proof ofrecen la oportunidad de visualizar sistemas simulados a medida que se ejecutan las simulaciones.

Proof proporciona un punto de vista "isométrico" (desde arriba y hacia un lado) en cualquier orientación de rotación.

- Debido a su orientación similar a CAD, Proof facilita y fomenta las representaciones visuales "a escala" de sistemas complejos.
- Proof proporciona una proporción constante (aunque ajustable) de tiempo animado a tiempo de "reloj de pared". La variación en el número de objetos en movimiento no hace que la animación se acelere ni se desacelere. Así, Proof también facilita la percepción "a escala" del paso del tiempo simulado.
- Proof es impulsada por comandos ASCII que pueden ser generados fácilmente manualmente por personas o automáticamente por software. La generación manual de comandos de seguimiento no es práctica para animaciones reales. La mayoría de los usuarios utilizan software de modelado o programación para crear automáticamente las secuencias de comandos de animación.

También es teóricamente posible crear archivos de diseño a mano o con un programa, pero la mayoría de los usuarios utilizan las capacidades de dibujo de Proof para crear diseños.

### **2.2.13. Animación con PROOF**

Para poder generar una animación con PROOF se requiere de un Layout (Diseño) y un archivo ATF (Automatic trace file). El Layout para la animación está compuesto por las siguientes tres partes:

- Diseño (Layout), muestra todos los elementos de la animación que no se mueven, pero permanecen estáticos. Esto se hace desde la opción Draw.
- Clases (classes), es usado para generar los objetos que se muevan en la animación. Estos podrían ser los camiones en la mina, puede haber varios objetos que se crean a partir de una sola clase. Por ejemplo, en la mina, la

clase podría ser un camión, en la animación los objetos que se crean a partir de esta clase serían diferentes camiones.

- Caminos (Path), son los caminos en donde se moverán los objetos, estos se crean desde el módulo Path.

ATF (Automatic trace file): es un archivo que deberá tener el mismo nombre del Layout con extensión “.ATF”; este archivo maneja la simulación y está conformado por comandos que están separados por incrementos de tiempo que PROOF usa para mover los objetos, escribir mensajes, cambiar colores, etc. Existen dos formas básicas para crear el archivo “.ATF”, el primero es hacerlo manual línea por línea y la segunda forma, mucho más conveniente, es dejar que el programa GPSS/H construya el archivo, dado que el archivo “.ATF” puede tener miles de líneas de longitud, esta es la única forma lógica de crear este archivo para la mayoría de animaciones.

A continuación, se realizará una simulación sencilla, en donde se mostrará un cuadrado que se moverá en 30 unidades de tiempo sobre una línea recta, para ello se debe abrir PROOF y hacer click en Mode → Draw. Crear una línea que inicie en las coordenadas (20,30) hasta (60,30) en la pantalla; por defecto se mostrará de color rojo.

### **Crear el Layout**

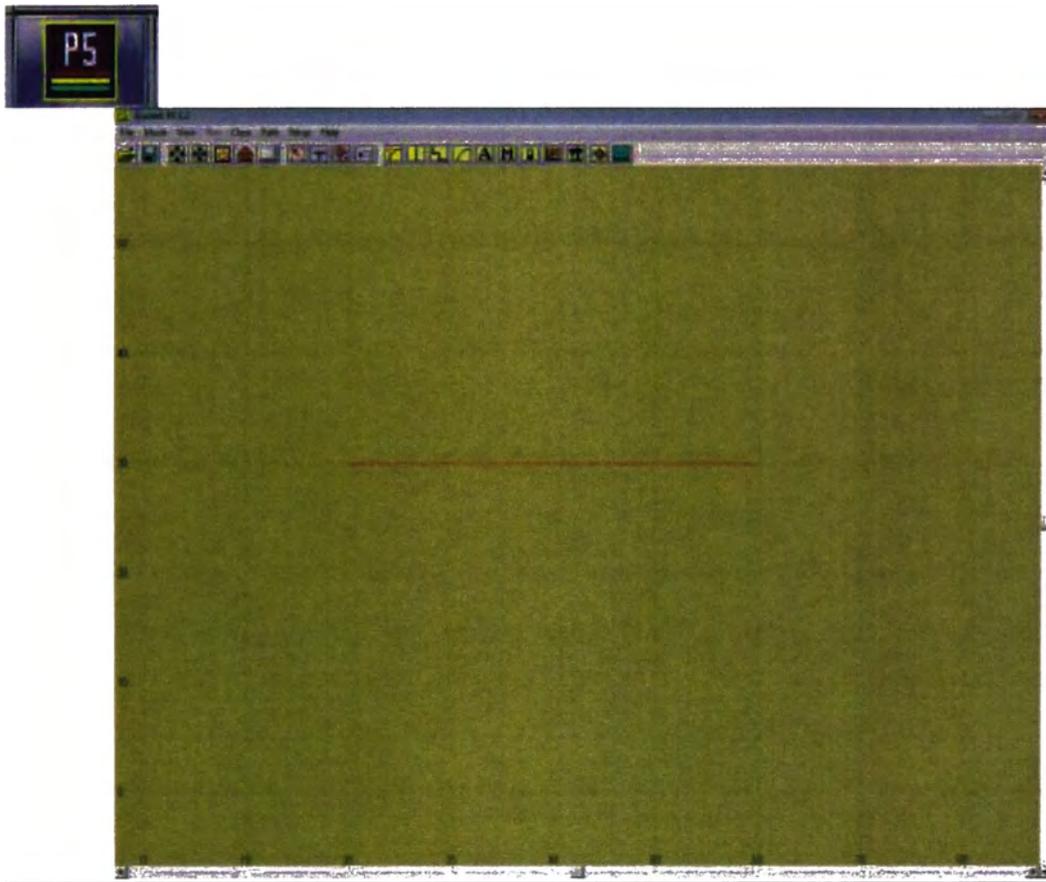


Figura 0,2 Generación del Layout.

Fuente: Elaboración propia

### **Crear clase y Objeto**

Cada clase necesita un nombre, se recomienda usar letras mayúsculas, en el ejemplo la clase se llamará "SQUARE" y tendrá como objeto un cuadrado; para ello hacemos click en Mode → Class, notamos que la ventana de dibujo tiene menores escalas,

esto se debe a que los objetos que se crearán se moverán en el diseño anteriormente creado.

Usamos la herramienta de dibujo para generar un cuadrado de 2 unidades de lado; la coordenada (0,0) es llamado "hot point" y esta son coordenadas relativas respecto a la ruta o al diseño, como se muestra en la siguiente figura.

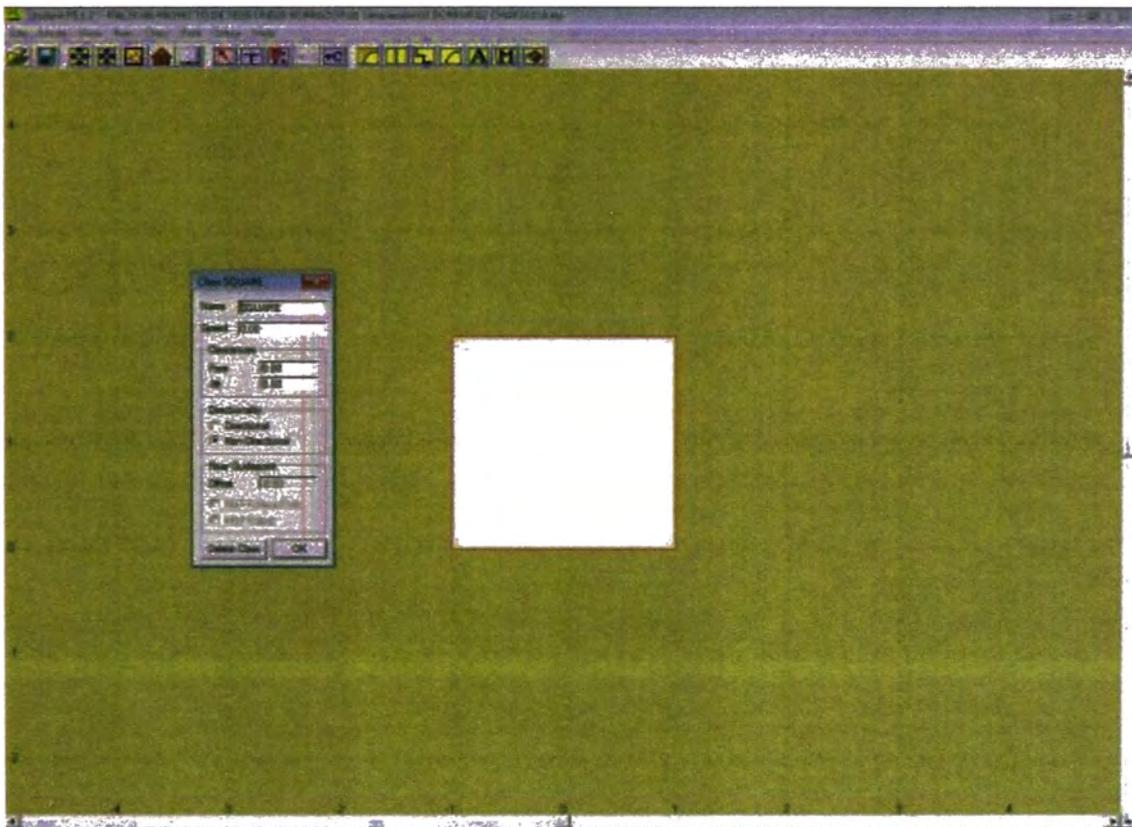


Figura 0,3 Generación de una clase.

Fuente: Elaboración propia

### **Crear Path**

Necesitamos crear la ruta donde se moverá el objeto, click en mode → Path, se mostrará la ventana de dibujo de color plomo y el Layout sombreado. Click en el icono

+P, colocar nombre P1 y seleccionar el Layout, la dirección de la flecha indica el sentido en la cual se moverá nuestro objeto.

Nota. Seleccionar solo una vez para no generar más de un path, este es un error muy común.

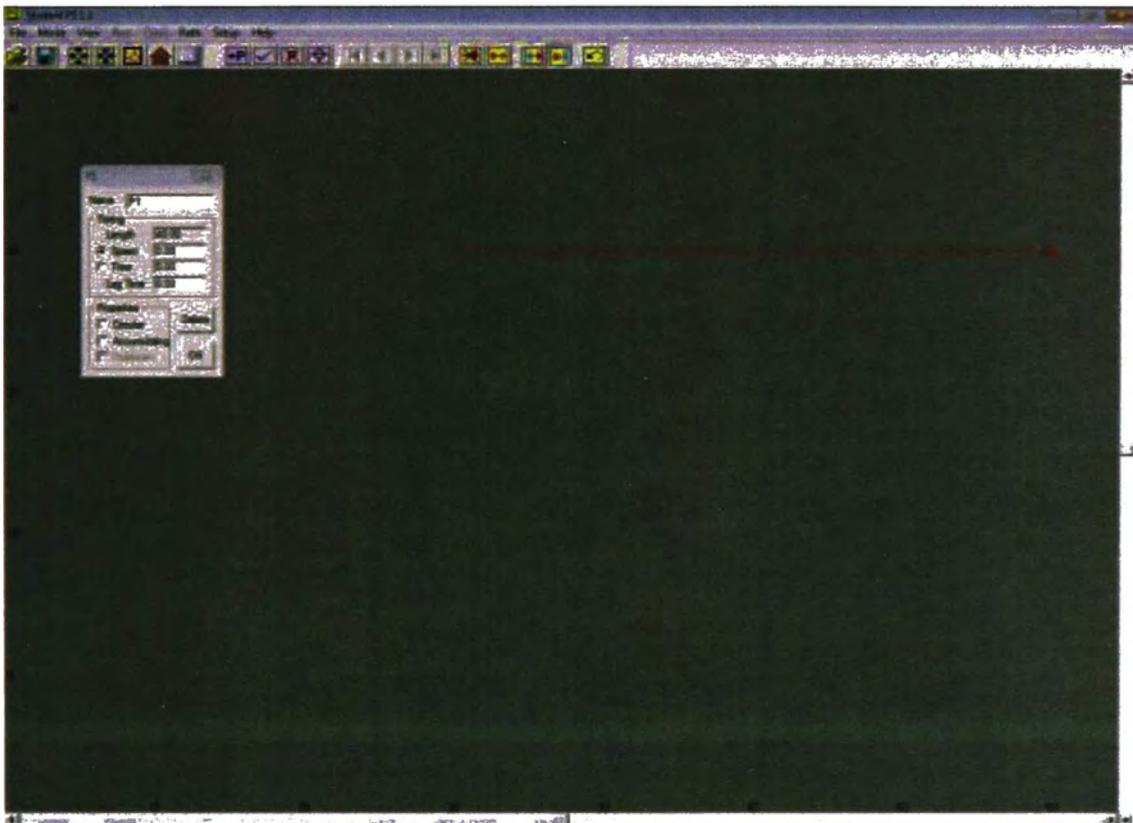


Figura 0.4. Generación del Path.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente guardar el Layout que hemos creado como: CHAP2A.LAY

### **Generar archivo .ATF**

Ahora debemos generar el archivo \*ATF, el cual deberá tener el mismo nombre del Layout con extensión \*ATF, para ello abrir un block de notas y escribir lo siguiente:



```

CHAP2A.ATF: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
TIME 0.0000
CREATE SQUARE S1
PLACE S1 ON P1
SET S1 TRAVEL 30.0000
TIME 30.0000
END

```

Figura 0,5 Código del archivo CHAP2A.ATF.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, una breve explicación de los comandos:

- TIME 0.0000 ; inicio de la simulación.
- CREATE SQUARE S1 ; crea el objeto "S1" en la clase "SQUARE".
- PLACE S1 ON P1 ; posiciona el objeto "S1" en la ruta P1.
- SET S1 TRAVEL 30.0000 ; tiempo de recorrido.
- TIME 30.0000 ; tiempo de simulación.
- END ; fin de simulación.

Guardar este archivo como CHAP2A.ATF en la misma carpeta del Layout, luego cargar desde File→ Open Layout + ATF→ start animation.

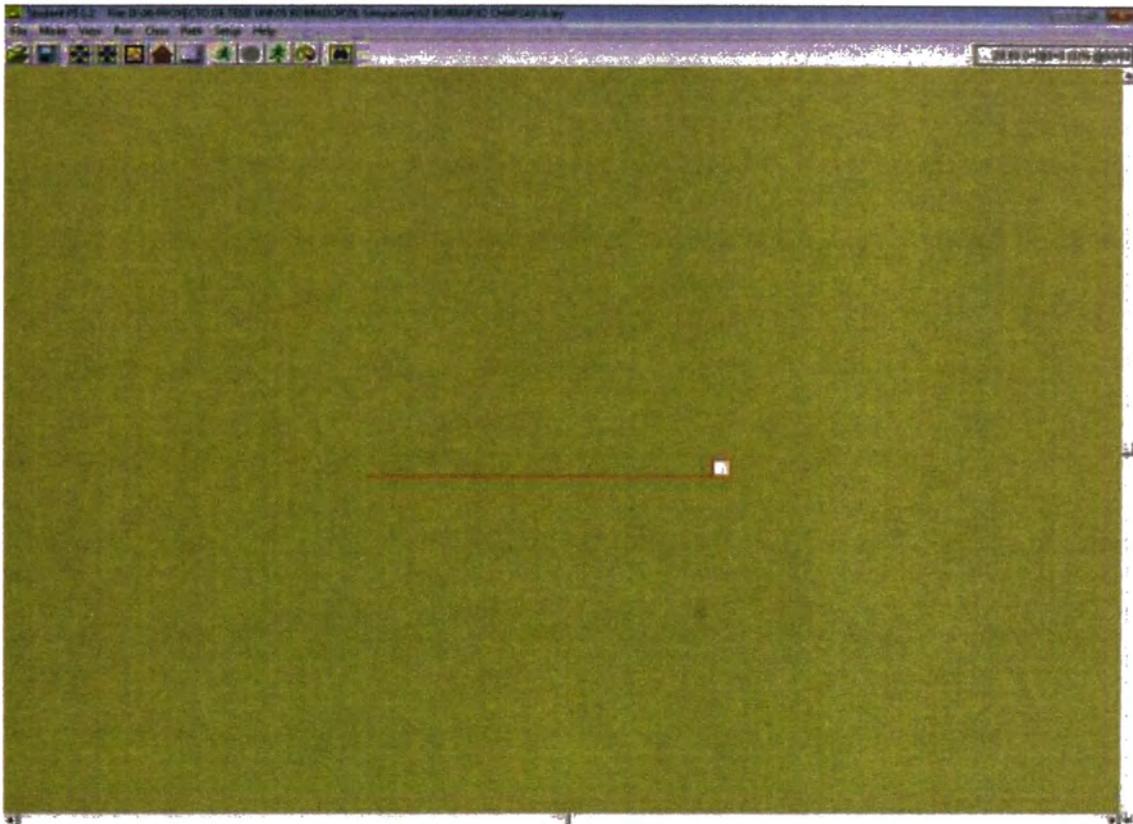


Figura 9,6 Captura de pantalla de la animación.

Fuente: Elaboración propia

Hasta aquí si se sigue cada uno de los pasos mencionados, no sería complicado generar otras animaciones.

#### **2.2.14. Archivo \*ATF con GPSSH**

Se presentará la forma en que GPSS / H crea archivos ATF. Esto es esencial para hacer cualquier archivo ATF extenso que se utilizará con el archivo LAY en PROOF; comprender este proceso es esencial para generar animaciones complejas.

### **2.2.14.1. CREACIÓN DE ARCHIVOS ATF, PUTSTRING, BPUTSTRING, BPUTPIC, PUTPIC y atributos numéricos estándar.**

Se presentará la forma en que GPSS / H crea archivos. Esto es esencial para hacer cualquier archivo .ATF extenso que se utilizará con el archivo .LAY en PROOF. Estos archivos se crean con los comandos PUTSTRING, BPUTSTRING, BPUTPIC, PUTPIC los cuales se detalla a continuación:

#### **a) LA DECLARACIÓN PUTSTRING**

Pone texto en la pantalla, la forma más fácil de poner una sola línea de texto en la pantalla es mediante la declaración PUTSTRING. Este nombre se deriva de PUT a STRING (de texto), esto generalmente se coloca antes de cualquier bloque o después de la declaración START. Por lo tanto, estas declaraciones se ejecutan durante la compilación (antes de que el programa sea ejecutado realmente) o cerca del final del programa. Si se colocan después de la instrucción START, se ejecutarán después de ejecutar el programa principal. La forma general es la siguiente:

```
PUTSTRING (' any text')
```

Cualquier texto aparecerá en la pantalla como está escrito. Por ejemplo,

PUTSTRING ('HELLO, MY GOOD MAN') dará como resultado que la línea de texto se coloque en la pantalla comenzando en la posición 1. Será:

```
HELLO, MY GOOD MA
```

Si quieres una línea en blanco, pones:

```
PUTSTRING (' ')
```

Puede ser difícil de ver en este ejemplo, pero hay dos espacios entre los apóstrofes.

Algunos otros ejemplos de PUTSTRING podría ser el siguiente:

PUTSTRING ('This is a program to simulate a barber shop')

Observe que los caracteres en minúscula están permitidos en PUTSTRING.

PUTSTRING (' This is goodbye, my dear Mr. Jones')

El espacio después de la primera comilla tendrá el texto impreso con un espacio antes, ya que las comillas se usan en PUTSTRING para indicar qué texto se va a imprimir, no puede tener una comilla impresa directamente por PUTSTRING.

El siguiente programa GPSS / H, CHAP10A.GPS, utiliza varios PUTSTRING:

```

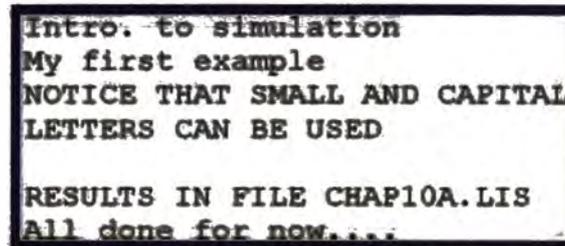
SIMULATE
*****
PROGRAM CHAP10A.GPS
EXAMPLES OF PUTSTRING
*****
PUTSTRING (' ')
PUTSTRING (' ')
PUTSTRING (' ')
PUTSTRING (' Intro. to simulation')
PUTSTRING (' My first example')
PUTSTRING (' NOTICE THAT SMALL AND CAPITAL')
PUTSTRING (' LETTERS CAN BE USED')
PUTSTRING (' ')
SERVTIME 10,4
ADVANCE 9,5
TERMINATE
SERVTIME 100
TERMINATE 1
FINISH 1
PUTSTRING (' ')
PUTSTRING (' RESULTS IN FILE CHAPTER10A.LIS')
PUTSTRING (' All done for now....')
END

```

Figura 0,7 Programa CHAP10A.GPS.

Fuente: (Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.(p.152).

Cuando se ejecuta el programa, una parte de la pantalla sería la siguiente que se muestra en la figura:



```

Intro. to simulation
My first example
NOTICE THAT SMALL AND CAPITAL
LETTERS CAN BE USED

RESULTS IN FILE CHAP10A.LIS
All done for now...

```

Figura 0.8 Salida de programa CHAP10A.

Fuente: (Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.153).

También existe la forma de bloque de PUTSTRING, que es simplemente, BPUTSTRING ('text'); cuando se usa este Bloque, cada vez que una transacción lo atraviesa, la línea de texto, text, se coloca en la pantalla, de hecho, este bloque es el que se utilizará al interactuar el programa GPSS / H con los archivos de diseño de animación. Por lo tanto, es muy importante.

#### **b) DECLARACIÓN PUTPIC Y BLOQUE BPUTPIC**

GPSS / H permiten otra forma de personalizar la salida de un programa, uno puede dirigir la salida de la siguiente manera:

- A la pantalla.
- A un archivo de salida.

La instrucción PUTSTRING se usa solo para enviar resultados a la pantalla, para muchos programas que son solo para simulación y que no implican ninguna animación, es lo suficientemente simple como para enviar la salida a la pantalla. Sin embargo, para grandes ejemplos de simulación, la salida puede ser demasiado grande y la salida debe enviarse a un archivo y examinarse cuando el programa termina de ejecutarse. Para crear un archivo que se utilizará con el archivo de diseño

en PROOF, es esencial que la salida se dirija hacia un archivo de salida. Además, uno puede hacer que los resultados del programa también se incluyan en la salida. Esto no se puede hacer usando una instrucción PUTSTRING.

Primero, aprendamos cómo crear resultados en GPSS/H usando el bloque BPUTPIC y la declaración PUTPIC. La forma general del bloque BPUTPIC es la siguiente:

BPUTPIC      FILE = (*label*),      LINES = (*integer*), *list*

La lista, *list*, contiene los elementos para formar parte del archivo de salida separados por comas, las LÍNEAS = (*entero*) se refieren al número de líneas en la salida, la declaración PUTPIC significa PUT a PICture, que es la forma en que GPSS / H envía la salida a un lugar específico; si se omite el FILE = (*label*), la salida se enviará a la pantalla de la PC.

A continuación, examinemos algunas muestras del bloque BPUTPIC:

BPUTPIC      LINES = 1

Hello, this is a line that will be on the screen

Cuando una transacción pasa a través de este bloque, la línea de código,

Hello, this is a line that will be on the screen

Se muestra en la pantalla.

Observe que el texto está en mayúsculas y minúsculas. Esto es aceptable para la salida.

**Ejemplo 3.-** Considere el siguiente programa CHAP10B.GPS, cuando lo ejecute, verá las tres líneas de salida de texto en la pantalla. Estos comenzarán en la posición 3, ya que aquí es donde se encuentran en las líneas después del Bloque BPUTPIC, ellos pueden ubicarse en cualquier lugar de la pantalla usando espacios (teniendo en

cuenta que solo se muestran unos 80 caracteres en la línea de la pantalla de una PC).

```

SIMULATE
*****
* PROGRAM CHAP10B.GPS *
* EXAMPLE OF BPUTPIC *
* BLOCK *
*****
          GENERATE      1
          BPUTPIC      LINES=5
This is the first line of output

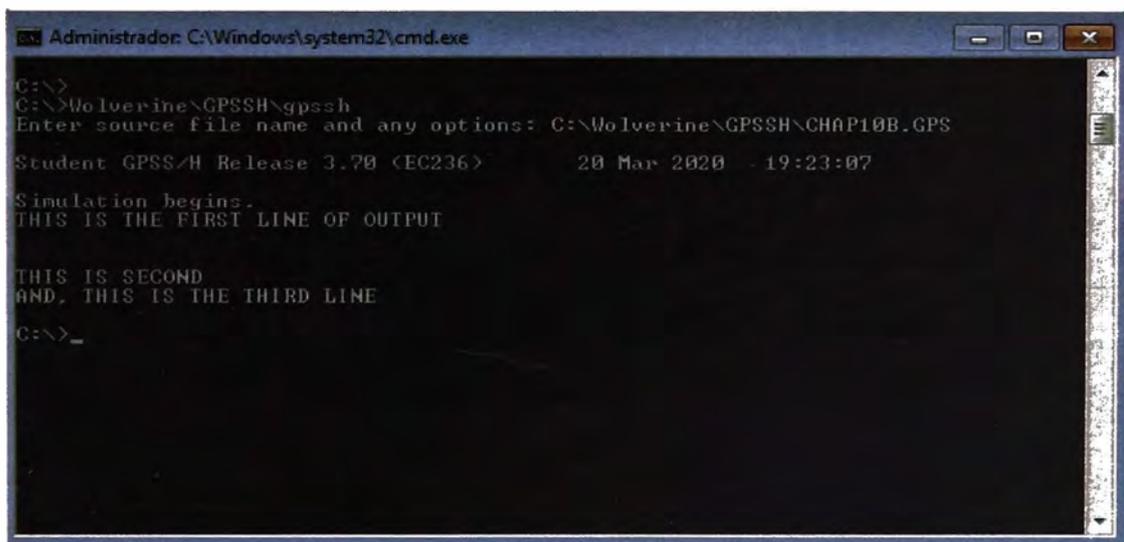
This is the second
And, this is the third line
          TERMINATE    1
          START        1
          END

```

Figura 0,9 Programa CHAP10B.GPS.

Fuente: (Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.154).

Al ejecutar este programa se obtendrá la siguiente salida:



```

Administrador: C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\>
C:\>Wolverine\GPSSH\gpssh
Enter source file name and any options: C:\Wolverine\GPSSH\CHAP10B.GPS
Student GPSSH Release 3.70 (EC236)      20 Mar 2020 - 19:23:07
Simulation begins.
THIS IS THE FIRST LINE OF OUTPUT

THIS IS SECOND
AND, THIS IS THE THIRD LINE
C:\>_

```

Figura 0,10 Ejecución del programa CHAP10B.GPS.

Fuente: Elaboración propia

### c) DECLARACIÓN PUTPIC

La instrucción PUTPIC se ejecuta solo una vez (a menos que esté en un bucle DO). Se ejecutará durante la compilación o después de que termine el programa, dependiendo de dónde se encuentre. Por ejemplo, modifiquemos el programa CHAP10B.GPS para convertirlo en CHAP10C.GPS de la siguiente manera:

```

*****
* PROGRAM CHAP10C.GPS *
* EXAMPLE OF PUTPIC *
* STATEMENT *
*****
      PUTPIC      LINES=1
This line is on the screen before the program is executed
      GENERATE    1
      BPUTPIC     LINES=5

This is the first line of output
This is the second
And, this is the third line
      TERMINATE   1
      START       2
      PUTPIC      LINES=2
This is placed on the screen after execution
THE END
      END

```

Figura 0,11 Programa CHAP10C.GPS

Fuente: (Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.155).

Al ejecutar este programa se obtendrá la siguiente salida:

```

Administrador: C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\>Wolverine\GPSSH\gpssh
Enter source file name and any options: C:\Wolverine\GPSSH\CHAP10C.GPS
Student GPSS/H Release 3.70 (EC236)      20 Mar 2020   19:38:35
Simulation begins.
THIS LINE IS ON THE SCREEN BEFORE THE PROGRAM IS EXECUTED

THIS IS THE FIRST LINE OF OUTPUT
THIS IS SECOND
AND, THIS IS THE THIRD LINE

THIS IS THE FIRST LINE OF OUTPUT
THIS IS SECOND
AND, THIS IS THE THIRD LINE
THIS IS PLACED ON THE SCREEN AFTER EXECUTION
THE END
C:\>

```

Figura 0,12 Salida del programa CHAP10C.GPS.

Fuente: Elaboración Propia.

#### d) CREACIÓN DE ARCHIVOS ATF: DECLARACIÓN DE FILEDEF

Si se quiere tener un registro permanente (guardado) de la salida o si la salida toma más de una página, es conveniente escribir la salida en un archivo separado. Crear un archivo de salida también es esencial para crear archivos .ATF que se utilizarán con el diseño en PROOF para ejecutar las animaciones. Por lo tanto, el siguiente es un tema muy importante. Es esencial que esta declaración se entienda y se use correctamente.

La forma de hacer estos archivos de salida en GPSS / H es un proceso de dos pasos, el primero implica definir el nombre del archivo de salida, este puede ser cualquier nombre con cualquier extensión deseada. La declaración para hacer esto es la siguiente:

(*label*) FILEDEF 'output file name and *destination*'

FILEDEF significa DEFINICIÓN DE ARCHIVO, las comillas son esenciales; la (etiqueta) es un artificio que se utiliza al crear el archivo, si no se especifica ninguna

ruta sino solo el nombre del archivo, el archivo se escribirá en el subdirectorio donde se encuentra GPSS / H.

Si PROOF se encuentra en el subdirectorio C: \ PROOF>, la forma más común de FILEDEF será la siguiente:

*(label)* 'C:\PROOF\*(name)*.ATF

Esta es una declaración, por lo que tiene que venir a cualquier parte antes de que se haga referencia por primera vez; esta y otras especificaciones similares generalmente aparecerán al comienzo del programa justo después de la declaración SIMULATE.

Modifiquemos el programa CHAP10B.GPS para convertirlo en CHAP10D.GPS. Ahora, cuando se ejecuta el programa, no habrá salida en la pantalla, en cambio, la salida se ubicará en el subdirectorio C: \. La salida estará en el archivo: CHAP10D.OUT

En este caso, habrá dos líneas en blanco al comienzo de la salida, a diferencia de la situación en la que la salida se envía a la pantalla.

La siguiente sección presentará algunos de los diversos datos de salida que uno podría querer colocar en el archivo.

Cuando uno usa el bloque BPUTPIC o el bloque PUTPIC, es irrelevante si uno tiene el

LÍNEAS = (número) o el ARCHIVO = (etiqueta) primero o segundo.

```

SIMULATE
*****
PROGRAM CHAP10D.GPS          *
MODIFICATION OF CHAP10B.GPS *
THIS ILLUSTRATES THE        *
CREATION OF AN OUTPUT FILE  *
*****
MYOUT    FILEDEF    'CHAP10D.OUT'
         GENERATE    1
         BPUTPIC     LINES=5, FILE=MYOUT

This is the first line of output
This is the second
And, this is the third line
         TERMINATE   1
         START       1
         END

```

Figura 0,13 Programa CHAP10B.GPS.

Fuente :( Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.157).

El archivo de salida se muestra en la Figura:

```

(blank line)
(blank line)
This is the first line of output
This is the second
And, this is the third line

```

Figura 0,14 Salida del programa CHAP10B.GPS.

Fuente :(Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.157).

Además, los programas siguientes pueden mostrar los mismos resultados.

Programa 1:

```
BPUTPIC    FILE = MYOUT,    LINES = 2
```

```
THIS IS THE FIRST LINE OF OUTPUT
```

*MY NAME IS MARY*

Programa 2:

*BPUTPIC    LINES = 2,    FILE = MYOUT*

*THIS IS THE FIRST LINE OF OUTPUT*

*MY NAME IS MARY*

### **e) ALGUNOS ATRIBUTOS NUMÉRICOS ESTÁNDAR COMUNES**

Echa un vistazo a cualquier archivo de la lista. Siempre verá el valor del reloj (en realidad, dos valores, uno para el reloj absoluto y otro para el reloj relativo), usaremos el valor del Reloj absoluto aquí; observe también que siempre hay un conteo de Bloques de las veces que una transacción ingresó o salió del bloque. Si quedan transacciones en el sistema cuando finaliza el programa, estas se dan bajo el conteo actual, todos estos (y muchos más elementos) se denominan atributos numéricos estándar (SNA) y se les da nombres. Estos son los que se enumeran a continuación:

AC1	Absolute Clock
N(label)	Block count—total
W(label)	Block count—current

Cuando se crea una transacción, se le asigna un número; este número se almacena en XID1 y es muy importante para hacer animaciones, rara vez nos importa cuál es este número, solo que cada uno es único. Recuerde que las transacciones se crean durante la compilación (cuando una transacción está programada para ingresar al sistema) o durante la ejecución (cuando una transacción abandona el bloque GENERATE), el número de cada transacción generalmente no es importante para el programa, solo el hecho de que cada uno es único. Casi todos los archivos “.ATF”

que se crean utilizando un programa GPSS / H utilizarán esta numeración de la transacción.

Los SNA proporcionados anteriormente pueden usarse en el programa o escribirse en la pantalla durante la ejecución del programa (que también es bueno para la depuración) o al final del programa. Cómo hacer esto será cubierto a continuación.

Cuando el valor de un SNA se va a escribir en la pantalla o en un archivo, es necesario proporcionar una especificación de campo donde se va a escribir el valor; esto se hace usando asteriscos (\*), estos se pueden dar con puntos decimales. Por ejemplo, suponga que el valor del tiempo de simulación, AC1, es de 56.78 unidades de tiempo. Si uno tuviera la línea de código

```
BPUTPIC AC1
```

```
The time is ***.**
```

Cuando una transacción ejecuta este bloque, la salida sería:

```
The time is 56.78
```

En el caso de que el campo especificado por los asteriscos sea demasiado pequeño para el número, el valor todavía se coloca en el campo, pero esto puede distorsionar la salida. En general, es mejor que la apariencia de la salida permita una longitud de campo suficiente para que los valores de las variables se ajusten sin tener ninguna distorsión.

Consideremos un ejemplo del uso de estos SNA en programas GPSS / H.

**Ejemplo 4.-** Estudio del SNA AC1 (hora del reloj)

Examine el archivo, CHAP10E.GPS. Este es un programa para generar los tiempos en que las transacciones se colocan en la simulación. Estos tiempos están dados por AC1.

```

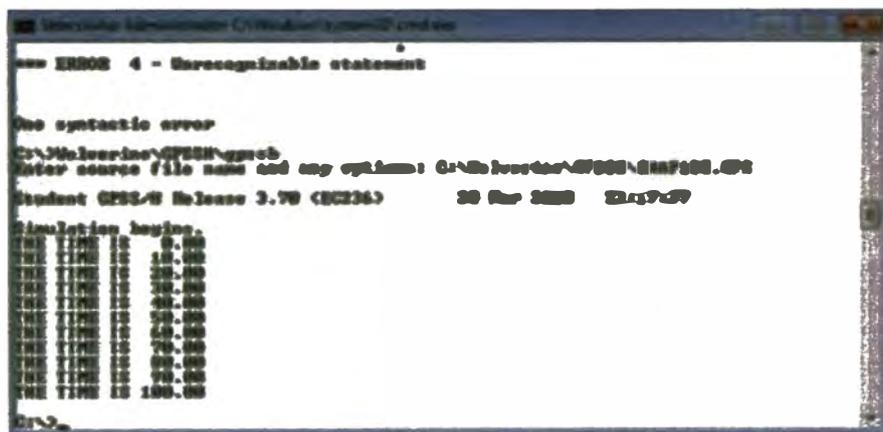
SIMULATE
*****
* CHAP10E.GPS PROGRAM TO *
* ILLUSTRATE THE SNA AC1 *
* WHICH IS THE CLOCK TIME *
*****
      GENERATE      10,,0
      BPUTPIC       AC1
THE TIME IS ***.**
      TERMINATE     1
      START         11
      END

```

Figura 9.15 Programa CHAP10E.GPS.

Fuente: (Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.159).

Al ejecutar el programa CHAP10E.GPS se mostrará como sigue:



```

***
*** ERROR 4 - Unrecognizable statement
***
Do syntactic error
C:\Mulewin\GPSH\gnch
Enter source file name and any options: C:\Mulewin\GPSH\CHAP10E.GPS
Student GPS/G Release 3.70 (DC236) 30 Sep 2000 21:17:07

Simulation begins
TIME TIME 10 0.00
TIME TIME 10 10.00
TIME TIME 10 20.00
TIME TIME 10 30.00
TIME TIME 10 40.00
TIME TIME 10 50.00
TIME TIME 10 60.00
TIME TIME 10 70.00
TIME TIME 10 80.00
TIME TIME 10 90.00
TIME TIME 10 100.00

```

Figura 9.16 Salida del programa CHAP103.GPS.

Fuente: Elaboración propia

**Ejemplo 5.-** Este ejemplo ilustrará los SNA proporcionados por AC1, W (etiqueta) y N (etiqueta). El programa GPSS / H lo proporciona CHAP10F.GPS.

```

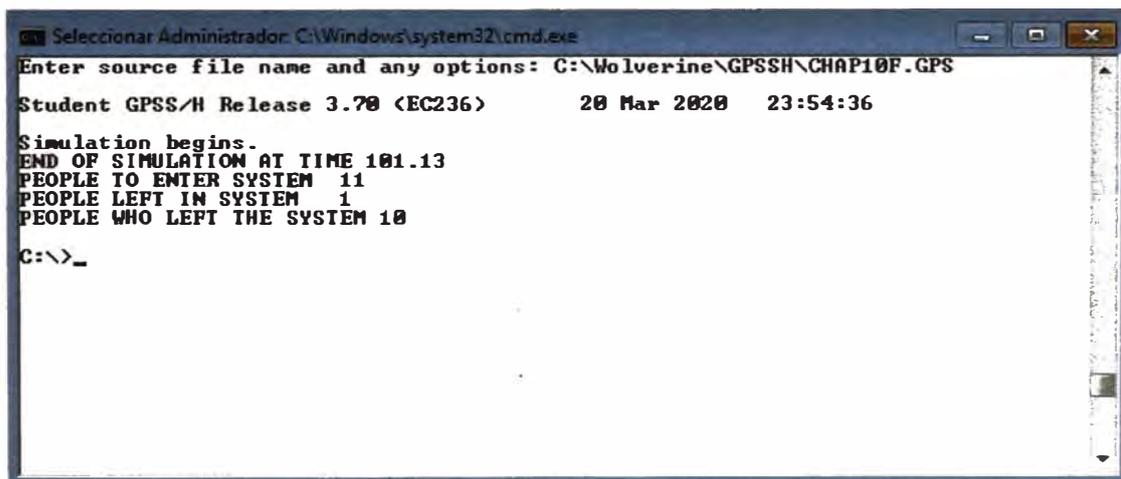
SIMULATE
*****
* PROGRAM CHAP10F.GPS THIS *
* SHOWS HOW THE THREE SNA *
* AC1, N(LABEL) AND W(LABEL) *
* CAN BE USED FOR OUTPUT *
*****
PEOPLE GENERATE 10,2,0
INSYS ADVANCE 11,1
LEFT TERMINATE 1
START 10
PUTPIC LINES=4,AC1,N(PEOPLE),W(INSYS),N(LEFT)
END OF SIMULATION AT TIME ***.***
PEOPLE TO ENTER SYSTEM **
PEOPLE LEFT IN SYSTEM *
PEOPLE WHO LEFT THE SYSTEM **
END

```

Figura 9,17 Programa CHAP10F.GPS.

Fuente: (Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.160).

La salida es como se muestra en la siguiente figura:



```

Seleccionar Administrador: C:\Windows\system32\cmd.exe
Enter source file name and any options: C:\Wolverine\GPSSH\CHAP10F.GPS
Student GPSS/H Release 3.70 <EC236>      20 Mar 2020   23:54:36
Simulation begins.
END OF SIMULATION AT TIME 101.13
PEOPLE TO ENTER SYSTEM 11
PEOPLE LEFT IN SYSTEM 1
PEOPLE WHO LEFT THE SYSTEM 10
C:\>_

```

Figura 9,18 Salida del programa CHAP10F.GPS.

Fuente: Elaboración propia

Es esencial que el número de líneas se corresponda exactamente con las líneas reales como se especifica en la declaración PUTPIC, no tener las líneas de salida correspondientes a la especificación `LINES = (número)` es uno de los errores más comunes al escribir el código. Si hay demasiada salida para que la lista vaya más allá de una línea, se puede usar el guión bajo (`_`) para continuar el PUTPIC a la siguiente línea.

Por ejemplo: `PUTPIC LINES = 1,N(BLOCK1),N(BLOCK2),W(BLOCK3),_AC1`

Tenga en cuenta que, aunque solo haya una línea en la salida, todavía debe ser el plural `LINES = 1`. Si se omite, se supone que solo habrá una línea de salida.

La introducción incorrecta de una declaración BPUTPIC puede provocar uno de los errores más comunes al escribir el código GPSS / H, siempre es una buena idea regresar y verificar las `LINES= n` para asegurarse de que las líneas en el PUTPIC corresponden a las líneas reales que escribió; lo mismo vale para asegurarse de que los campos de salida correspondan a la variable en La salida.

#### **Ejemplo 6.-** Creación de archivos de salida

Considere el siguiente programa GPSS / H que se almacena como `CHAP10G.GPS`, no habrá salida en la pantalla, la salida estará en el archivo `MYOUT.OUT` en el mismo subdirectorio en el que se ejecutó el programa. Cada vez que una transacción pasa por el bloque BPUTPIC, se escribe una línea de salida en el archivo `MYOUT.OUT`.

```

*****
* PROGRAM 10G.GPS *
* ILLUSTRATING THE SNA XID1 *
*****
          SIMULATE
MYFIRST  FILEDEF  'MYOUT.OUT'
          GENERATE 10
          BEUPPIC  FILE=MYFIRST,LINES=2,AC1,XID1
TIME *.****
The transaction's ID is **
          TERMINATE 1
          START    10
          END

```

Figura 0,19 Programa CHAP10G.GPS

Fuente :( Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.161).

Al ejecutar el programa CHAP10G.GPS se obtiene el archivo ATF de nombre  
"MYOUT.OUT", a continuación, se muestra las líneas que se generaron:

```

TIME 10.0000
The transaction's ID is 1
TIME 20.0000
The transaction's ID is 2
TIME 30.0000
The transaction's ID is 3
TIME 40.0000
The transaction's ID is 4
TIME 50.0000
The transaction's ID is 5
TIME 60.0000
The transaction's ID is 6
TIME 70.0000
The transaction's ID is 7
TIME 80.0000
The transaction's ID is 8
TIME 90.0000
The transaction's ID is 9
TIME 100.0000
The transaction's ID is 10

```

Figura 0,20 Salida del programa CHAP10G.GPS.

Fuente :( Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.161).

Cuando se va a utilizar el programa GPSS / H para crear un archivo ".ATF", es importante que siempre se use el valor del reloj como la primera línea en el bloque

BPUTPIC, esto se debe a que PROOF necesita tener el valor del reloj en la primera línea en una secuencia de comandos.

#### **f) CREAR UN ARCHIVO DE ANIMACIÓN**

Escriba el programa de simulación y cree el archivo de animación que coloca el valor del tiempo de la simulación y los números de ID de transacción en la pantalla para el siguiente ejemplo.

**Ejemplo 7.-** Una persona viene cada  $10 \pm 1.5$  unidades de tiempo, la persona permanece en la pantalla durante 7 unidades de tiempo y luego desaparece, simule por 100 unidades de tiempo.

El archivo CHAP10H.LAY debe crearse por separado utilizando PROOF, una vez que se ejecuta el programa CHAP10H.GPS, se crea el archivo CHAP10H.ATF y este último archivo se debe ubicar en la misma dirección donde se almacena el Layout (CHAP10H.LAY). Es necesario que ambos archivos estén juntos para poder generar la animación.

Después de ejecutar el programa, el mensaje en la pantalla es para dar el número de personas que se han creado, el número que se encuentra actualmente en el sistema y el número que se ha ido.

```

SIMULATE
*****
PROGRAM CHAP10H.GPS
THIS MAKES A SIMPLE ANIMATION
*****
ATF      FILEDEF      'CHAP10H.ATF'
GENERATE 10,1.5
SPUTPIC  FILE=ATF,LINES=3,AC1,AC1,MD:
TIME *.****
WRITE M1 ***.***
WRITE M2 **
ADVANCE 7
TERMINATE
GENERATE 100
TERMINATE 1
START 1
PUTPIC  FILE=ATF,LINES=2,AC1
TIME *.****
END
END

```

Figura 9,21 Programa CHAP10H.GPS.

Fuente :( Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.162).

Al ejecutar este programa se genera el archivo CHAP10H.ATF, tal como se muestra:

```

CHAP10H.ATF (New)
WRITE M1 0.31
WRITE M2 1
TIME 19.3089
WRITE M1 19.31
WRITE M2 3
TIME 30.0283
WRITE M1 30.03
WRITE M2 4
TIME 50.1405
WRITE M1 36.14
WRITE M2 5
TIME 48.0025
WRITE M1 48.00
WRITE M2 6
TIME 55.8078
WRITE M1 58.81
WRITE M2 7
TIME 60.6290
WRITE M1 60.63
WRITE M2 8
TIME 72.7074
WRITE M1 70.71
WRITE M2 9
TIME 90.5845
WRITE M1 90.58
WRITE M2 10
TIME 90.3621
WRITE M1 90.36
WRITE M2 11
TIME 100.0000
END

```

Figura 9,22 Archivo CHAP10.ATF.

Fuente: Elaboración propia

Para poder ver la simulación debemos generar el Layout, como sigue:

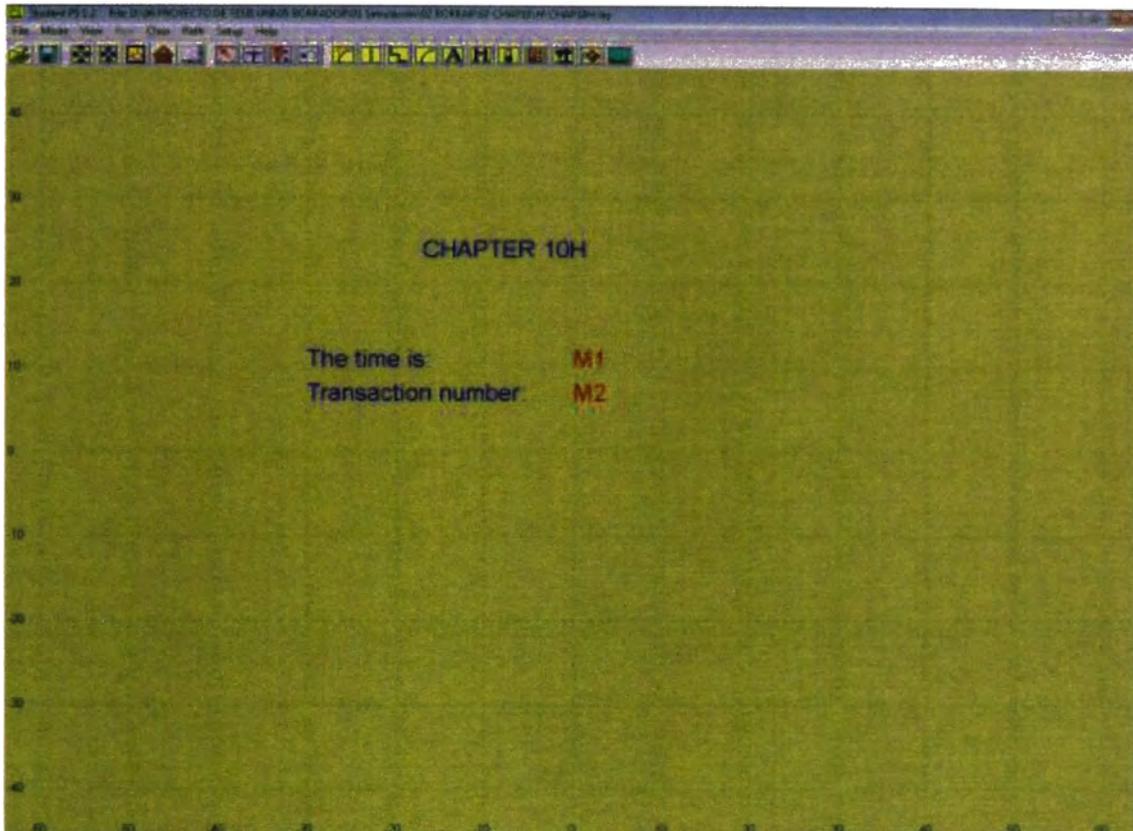


Figura 0,23 Generación del Layout CHAP10H.LAY.

Fuente: Elaboración propia

Para generar el texto estático se debe hacer lo siguiente: Mode→Draw→Draw Static Text (A)

Para generar el texto dinámico se debe hacer lo siguiente: Mode→Draw→Draw a Message (M)

Una vez finalizado el layout podemos ejecutar la animación.

File→Open Layout + Trace (\*ATF)

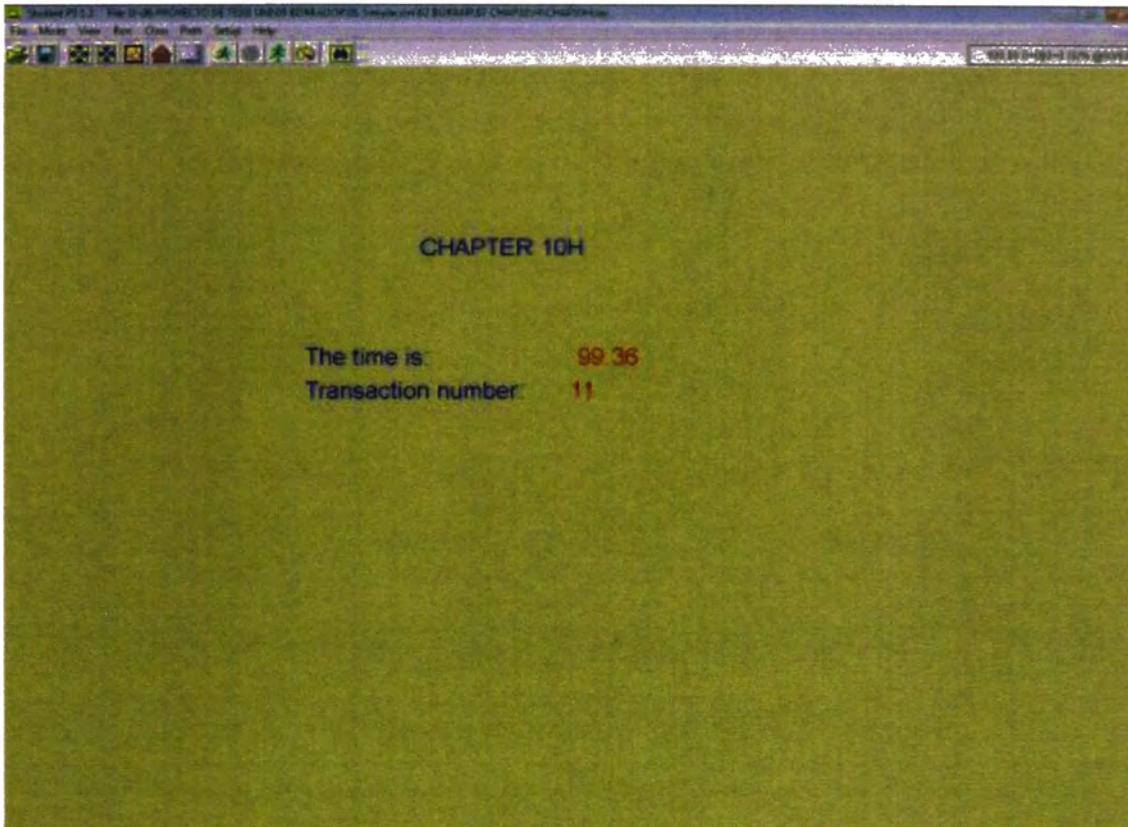


Figura 0,24 Captura de pantalla de la animación.

Fuente: Elaboración propia

El texto en azul son textos estáticos y los textos de color rojo son textos dinámicos. Estos últimos dependen del archivo \*ATF generado al ejecutar el programa \*GPS.

Esto se almacena como programa CHAP10I.GPS. Tenga en cuenta que, para obtener los resultados deseados, era necesario agregar etiquetas a los tres bloques:

GENERATE 10,0

ADVANCE

TERMINATE



El texto en azul son textos estáticos y los textos de color rojo son textos dinámicos, estos últimos dependen del archivo \*ATF generado al Correr el programa CHAPTER10I.GPS

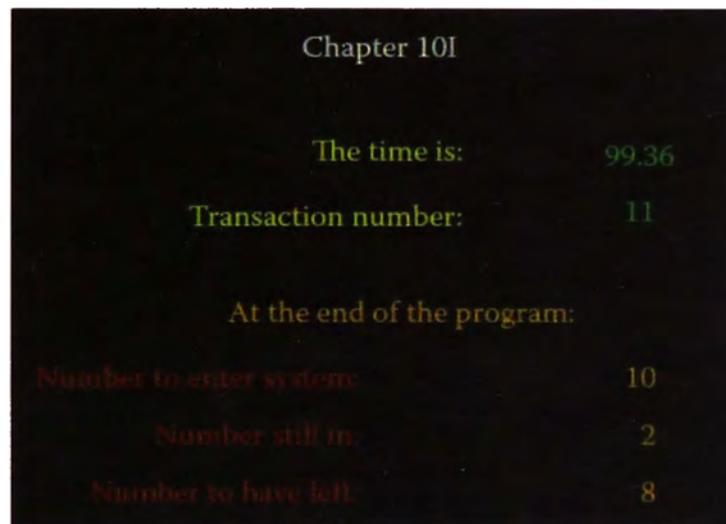


Figura 0,27 Captura de pantalla de la animación CHAPTER10I.LAY

Fuente: (Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers. (p.163).

**Ejemplo 8.-** Considere el caso de un camión minero que viaja en una ruta de A hacia B, los camiones aparecen en A cada 10 unidades de tiempo y viajan al punto B en 8 unidades de tiempo, posteriormente los camiones abandonan el sistema.

Escriba el código GPSS / H para simular y luego animar este sistema, simule por 100 unidades de tiempo.

### Solución

El programa para hacer la simulación es bastante corto. Es CHAP10J.GPS y se muestra en la siguiente figura.

```

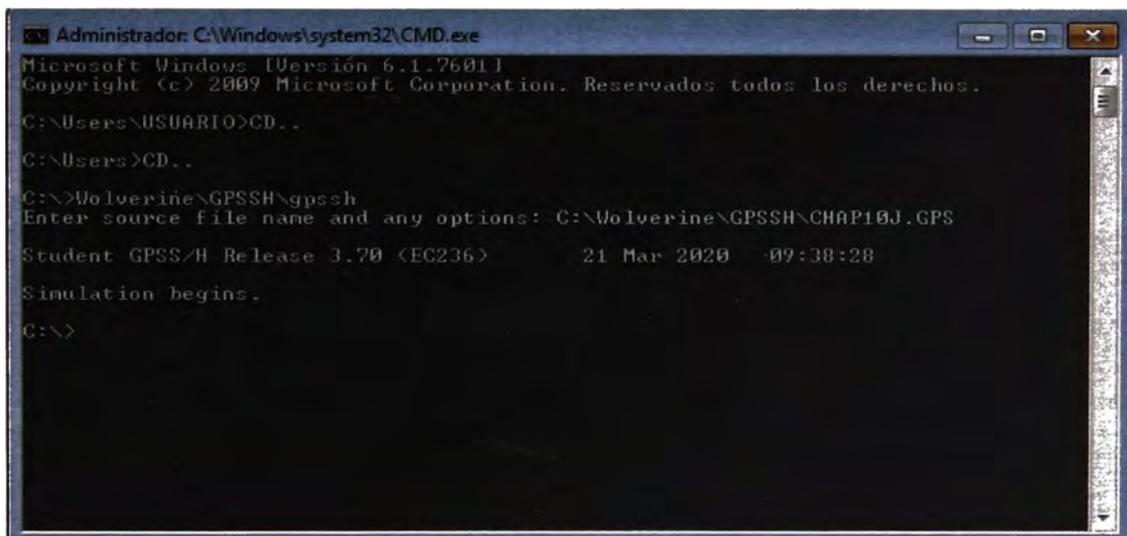
SIMULATE
*****
* PROGRAM CHAP10J.GPS *
* SIMULATION FOR EXAMPLE 10.6 *
*****
GENERATE 10,,0 TRUCK COMES ALONG AT A
ADVANCE 8 TRAVEL TO B
TERMINATE TRUCK LEAVES
GENERATE 100
TERMINATE 1
START 1

```

Figura 0,28 Programa CHAP10J.GPS.

Fuente: (Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.164).

Ejecutar el programa CHAP10J.GPS desde el CMD.



```

Administrador: C:\Windows\system32\CMD.exe
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\USUARIO>CD..
C:\Users>CD..
C:\>Wolverine\GPSSH\gpssh
Enter source file name and any options: C:\Wolverine\GPSSH\CHAP10J.GPS
Student GPSS/H Release 3.70 (EC236) 21 Mar 2020 09:38:28
Simulation begins.
C:\>

```

Figura 0,29. Ejecución del programa CHAP10J.GPS

Fuente: Elaboración propia

El programa de animación está dado por el programa CHAP10K.GPS, este programa debe estudiarse cuidadosamente, ya que las líneas de código para crear los

camiones, colocarlos en un camino y hacer que recorran este camino se repetirán varias veces en los ejemplos de diseño de minas. El programa es el siguiente:

```

C:\MSDOS\GPSS> CHAP10K.GPS
*****
* PROGRAM CHAP10K.GPS *
* ANIMATION OF *
* EXAMPLE 10.6 *
*****
ATF SIMULATE "C:\msdos\gpss\chapl0k.atf" ;DEFINE FILE
GENERATE 10,0,0 ;TRUCK COMES ALONG
SPUTPIC FILE=ATF,LINES=4,AC1,X101,X105,X101
TIME ** ****
CREATE TRUCK T*
PLACE T* ON PA
SET T* TRAVEL $
ADVANCE SPUTPIC $ ;TRAVEL TO $
FILE=ATF,LINES=1,AC1,X101
TIME ** ****
DESTROY T*
TERMINATE 200 ;TRUCK LEAVES
GENERATE 1
TERMINATE 1
START 1
SPUTPIC FILE=ATF,LINES=2,AC1
TIME ** ****
END END
  
```

Figura 0.30 Programa CHAP10K.GPS.

Fuente :( Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.164).

Al ejecutar el programa CHAP10K.GPS se genera el archivo CHAP10K.ATF en la ruta que se especifica, como se mencionó anteriormente este archivo ATF tiene la secuencia lógica de la simulación.

Para concluir con la animación debemos generar el Layout.

MODE→DRAW

Dibujamos la línea que representará la ruta en la cual se moverá el objeto y adicionamos los textos A y B.

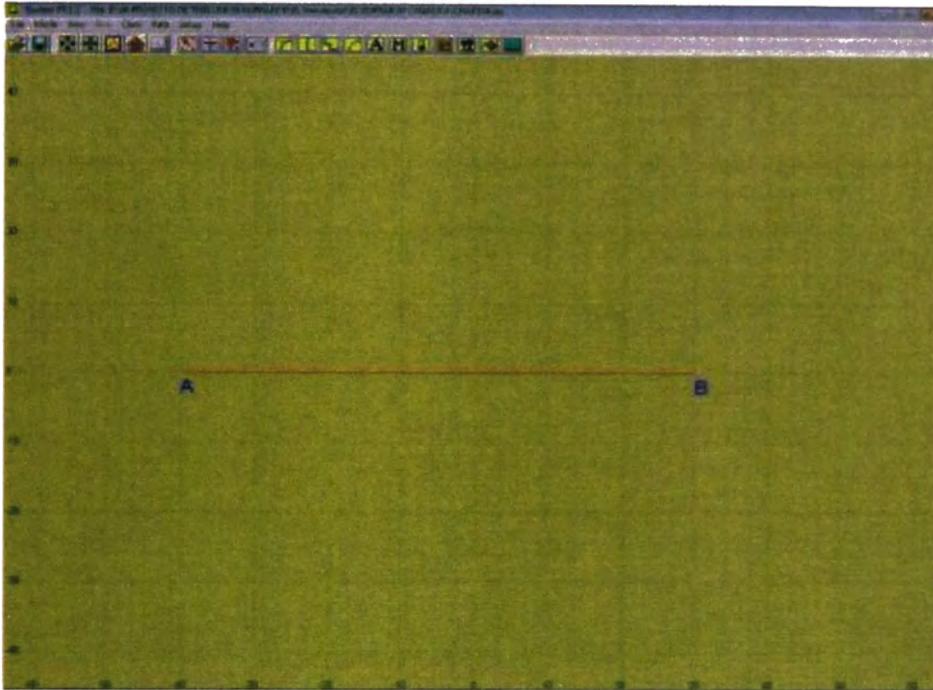


Figura 0,31 Generación del archivo Layout.

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de elementos que pueda tener una animación dependerá del usuario, pudiendo insertar imágenes, textos, o inclusive importar diseños desde Autocad, pero como el objetivo de este tutorial es que los estudiantes puedan culminar una animación con éxito se presenta diseños muy básicos.

Una vez finalizado el diseño se debe crear la clase, se debe tener presente que las clases deben ser nombradas de forma idéntica al cual han sido nombradas en el código GPSS/H.

```

*****
* PROGRAM CHAP10K.GPS *
* ANIMATION OF *
* EXAMPLE 10.6 *
*****
SIMULATE
ATF FILEDEF 'C:\\no\\ver\\ne\\gpss\\\\CHAP10K.ATF'
GENERATE 10,0,0 ;TRUCK COMES ALONG
BRUTPIC FILE=ATF,LINES=4,AC1,XID1,XID1,XID1
TIME ** ****
CREATE TRUCK T*
PLACE T* ON P1
SET T* TRAVEL 8
ADVANCE ;TRAVEL TO 8
BRUTPIC FILE=ATF,LINES=2,AC1,XID1
TIME ** ****
DESTROY T*
TERMINATE ;TRUCK LEAVES
GENERATE 100
TERMINATE 1
START 1
BRUTPIC FILE=ATF,LINES=2,AC1
TIME ** ****
END
END

```

Figura 0,32 Código CHAP10K.GPS en el cual se resalta la clase.

Fuente :( Sturgul. 2016) Discrete Simulation and animation for Mining Engineers.  
(p.164).

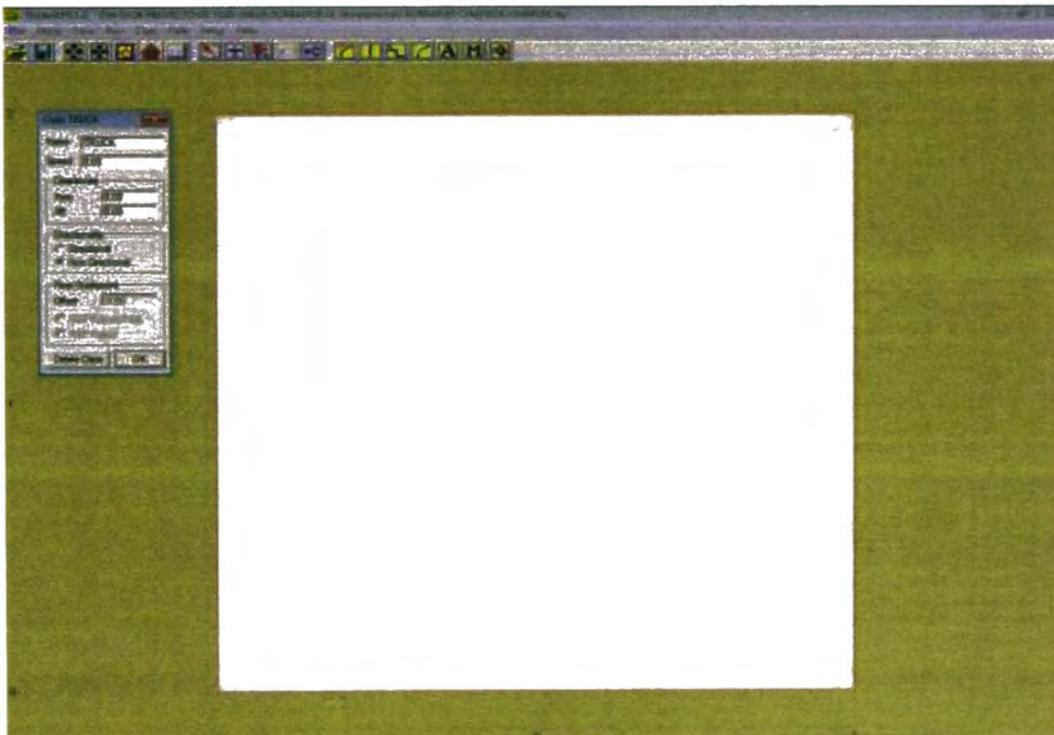


Figura 0,33 Creación de la clase TRUCK.

Fuente: Elaboración propia

Ahora generamos el PATH, el cual nombraremos P1, tal cual como se nombra en el código GPS. Por fines prácticos se genera un cuadrado el cual representará al camión minero.

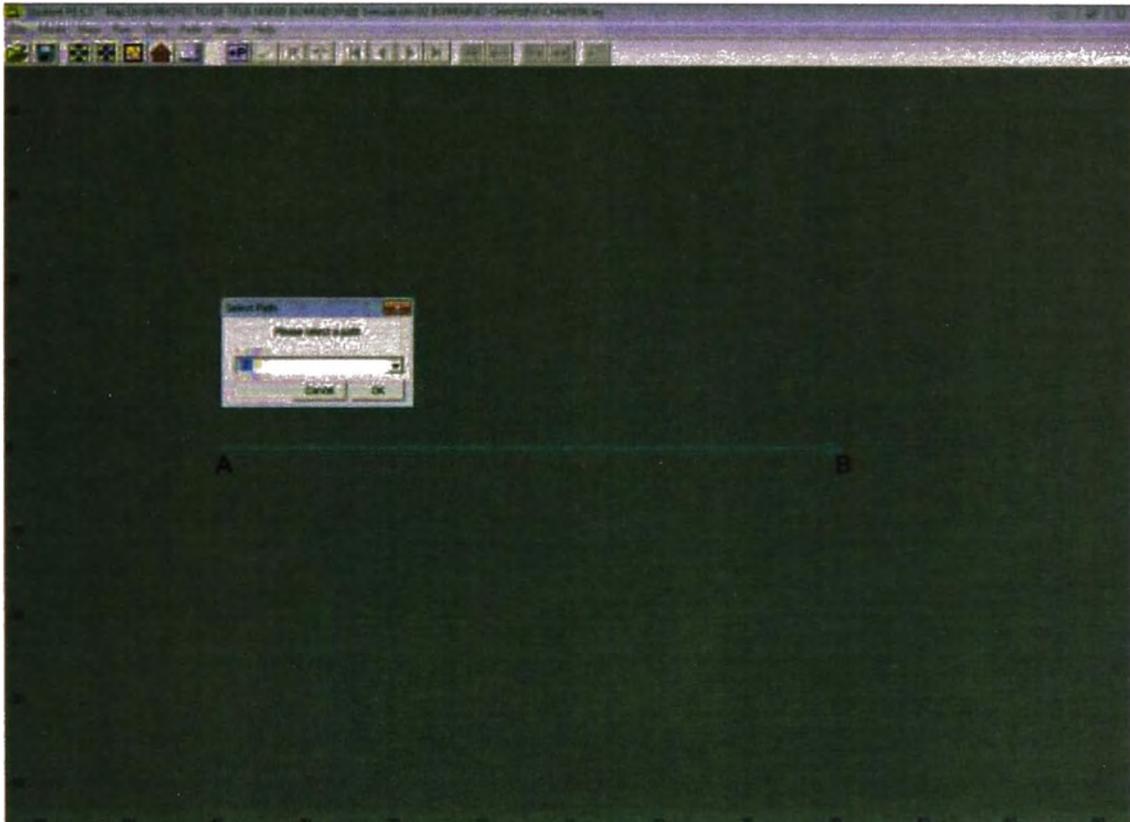


Figura 0,34 Generación del Path.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente ejecutamos la simulación. File→Open Layout + Trace (\*ATF)

Como se mencionó anteriormente, los archivos LAY y ATF deberán estar en una misma carpeta.



Figura 0,35 Captura de pantalla de la animación.

Fuente: Elaboración propia

De esta manera hemos culminado con éxito la animación de un programa GPSS/H.

## 2.2.15. Definición de Términos

### 2.2.15.1. Bahías para cambio en caliente

Son estructuras que se utilizan para realizar el cambio de operador de los camiones mineros, con la peculiaridad de que el camión se mantiene encendido, con el freno de mano listo para continuar su trayecto.

### **2.2.15.2. Bahías para cambio en caliente a desnivel**

Tiene como fin realizar el relevo a nivel de la cabina del operador, para ello se hace uso de terraplenes y estructuras metálicas las cuales contienen correderas que se extiende hasta la cabina haciendo un puente entre el terraplén y la cabina.

El sistema de relevo en las bahías de cambio en caliente a desnivel está compuesto por los siguientes pasos:

- Asignación de zona de cambio en caliente (inicio del sistema).
- Traslado hacia la zona asignada.
- El operador entrante extiende la corredera.
- El operador saliente sale del camión sin apagarlo y dejando activado el freno de mano.
- Realizar el relevo mediante las correderas.
- Continuar trayecto.
- Descarga de material.
- Dirigirse hacia algún parqueo, maniobras de cuadro y parqueo.
- Realizar el check-list. (la inspección del equipo se realiza dentro de las 3 horas siguientes de haber realizado el relevo).
- Continuar trayecto.

Todos estos pasos consumen tiempos variables y la totalidad de este tiempo está catalogado como demoras operativas.

Como se observa en los pasos el nuevo operador tiene las siguientes 3 horas para realizar la inspección del equipo.

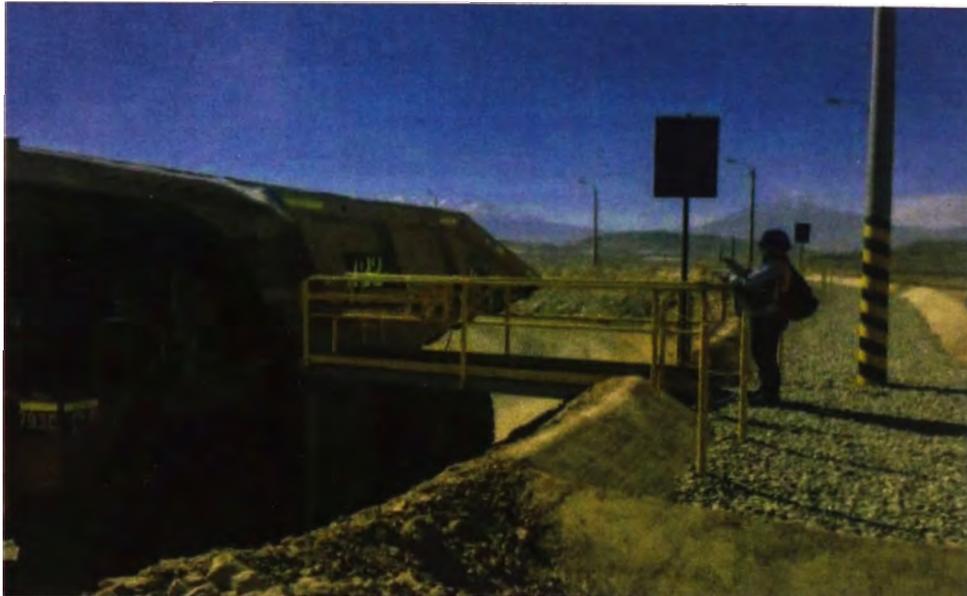


Figura 0,36 Vista superior de un corredero metálico.

Fuente: Elaboración propia

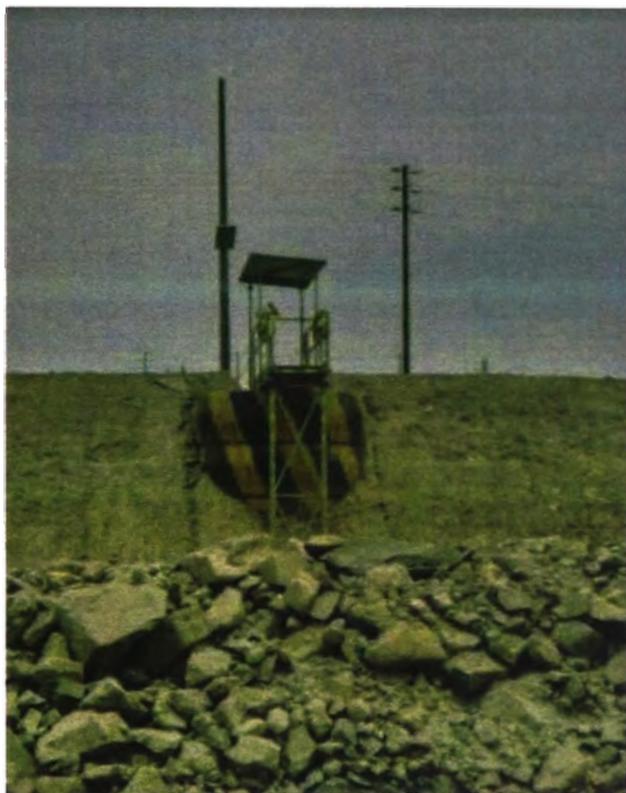


Figura 0,37 Vista inferior de corredera metálica.

Fuente: Elaboración propia



Figura 0,38 Vista general de bahías "Aglomerador"

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta un esquema de bahías para cambio en caliente a desnivel del piso para una vía de doble sentido.

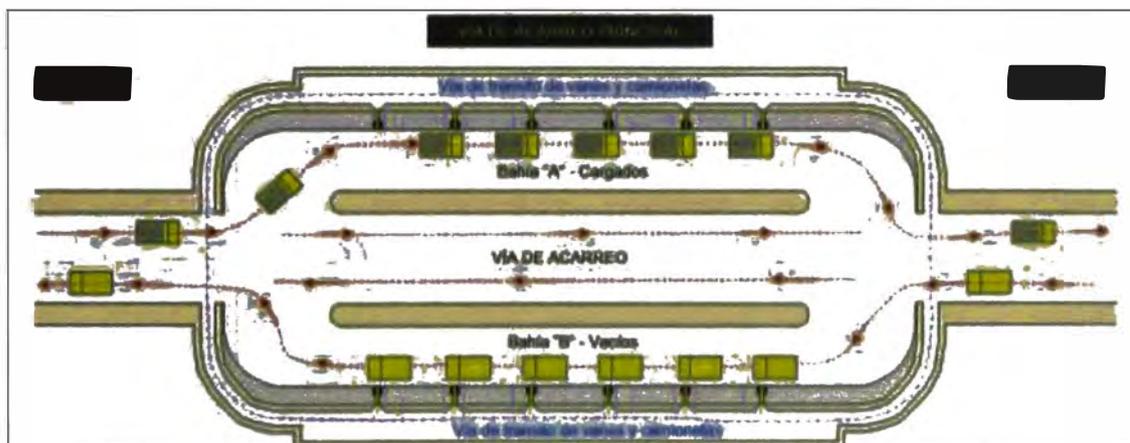
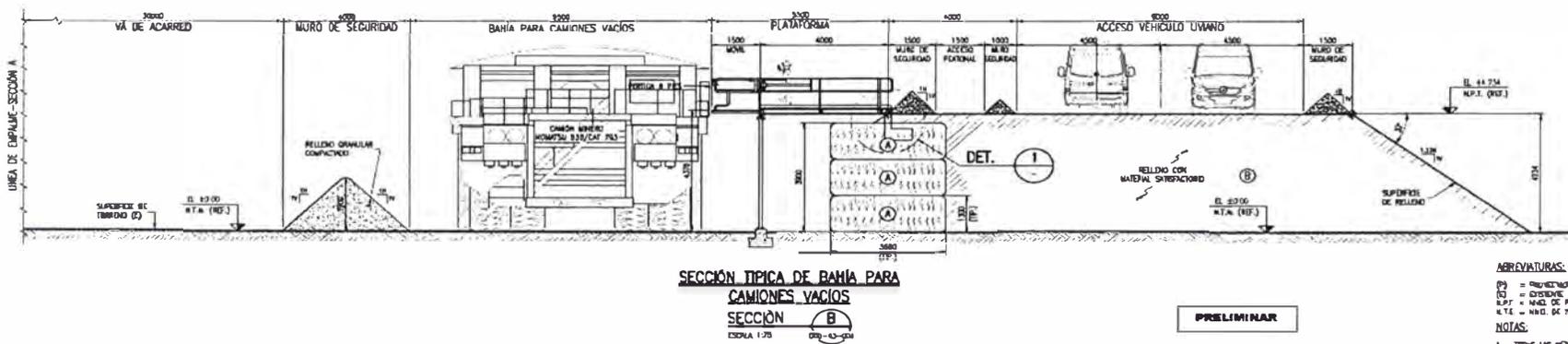
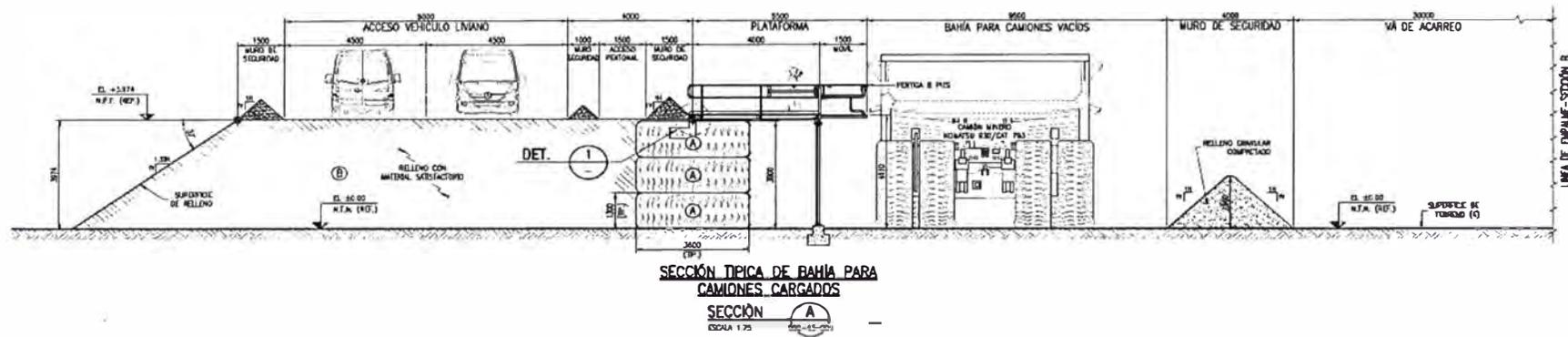


Figura 0,39 Esquema de bahías de cambio en caliente a desnivel.

Fuente: Área de Proyectos Mina.



PRELIMINAR

- ABREVIATURAS:**
- (P) = PAVIMENTO
  - (C) = CIMENTACION
  - R.P.T. = NIVEL DE PLATAFORMA ESTABLECIDA
  - N.T.A. = NIVEL DE TORREDAO ESTABLECIDA
- NOTAS:**
1. TODAS LAS MEDIDAS SE ENCUENTRAN EN METROS SALVO INDICAR
  2. TODOS LOS ANGELOS DEBERAN SER 90°
  3. TOPOGRAFIA PROPORCIONADA POR IPI

Figura 0,40 Sección típica de bahía para cambio en caliente a desnivel

Fuente: Área de Proyectos Mina. Cambio en caliente a ras del suelo

Básicamente está compuesto por muros los cuales delimitan las áreas, como: vías de acarreo, vía de equipo liviano y senderos peatonales.

Consiste en realizar el relevo de los operadores sin usar el terraplén antes mencionado. En este caso el operador desciende de la cabina hasta el suelo, y se aproxima a una zona segura en donde el otro operador se encuentra esperándolo, el operador entrante asciende hacia la cabina y continua el recorrido.

Para la construcción de las bahías de cambio en caliente a ras del piso solo se requiere generar una superficie horizontal y posteriormente construir los muros que dividirán las vías.

Para conformar los muros por lo general se usa el desmonte proveniente de la mina sin ningún tratamiento previo, es decir el desmonte es descargado y con ayuda de un cargador se va conformando los muros a diseño.

Los pasos para realizar el relevo en las bahías a ras del suelo son:

- Asignación de zona de cambio en caliente (inicio del sistema).
- Traslado hacia la zona asignada.
- Descender del camión sin apagarlo y dejando activado el freno de mano.
- Realizar el relevo.
- Continuar trayecto.
- Descarga de material.
- Dirigirse hacia algún parqueo.
- Maniobras de cuadro y parqueo.
- Continuar trayecto.

- Realizar la inspección del equipo dentro de las 3 horas siguientes de haber hecho el relevo (fin del sistema).

Todos estos pasos consumen tiempos variables y la totalidad de este tiempo está catalogado como demoras operativas.

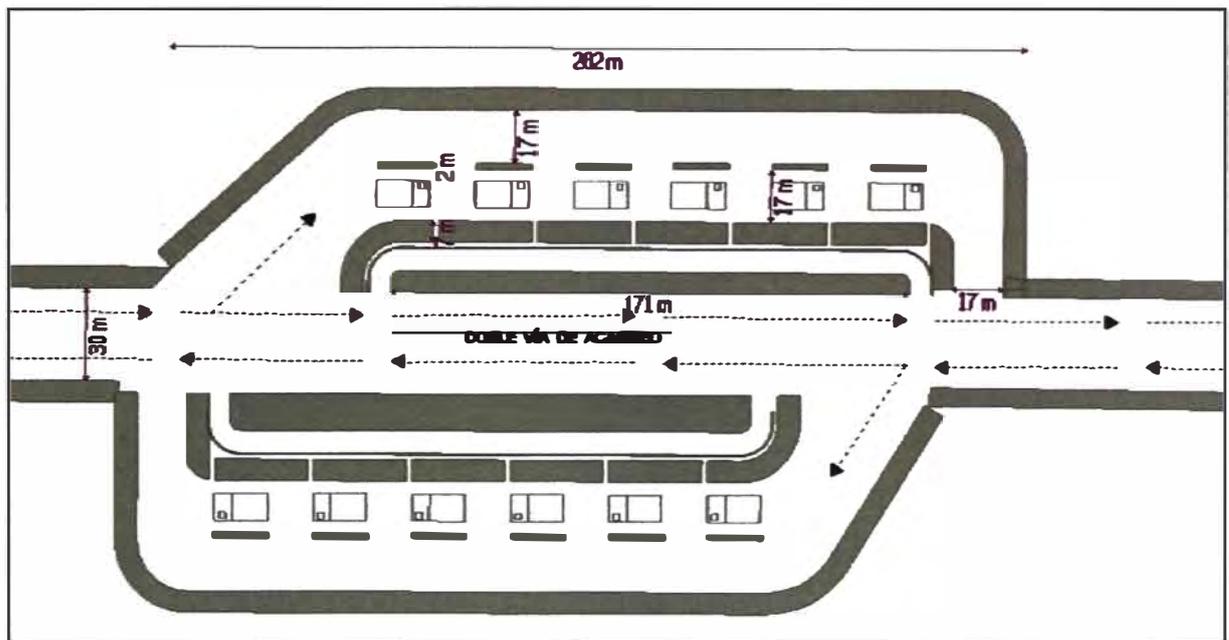


Figura 2.41 Esquema de bahías de cambio en caliente a ras del suelo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 0,42 Vista satelital de bahías a ras del suelo.

Fuente: Google Earth

### 2.2.15.3. Parqueos

Es el lugar físico destinado para estacionar los vehículos, en nuestro caso los vehículos son los camiones Caterpila modelo CAT 793, Komatsu modelo KOM930 y Equipos auxiliares. Los parqueos están ubicados en distintas zonas alrededor de los tajos.

Los parqueos son usados para hacer relevos de operadores, el sistema de relevo en los parqueos está compuesto por los siguientes pasos:

- Asignación de un parqueo al operador del camión (inicio del sistema).



### Parqueo para equipos auxiliares

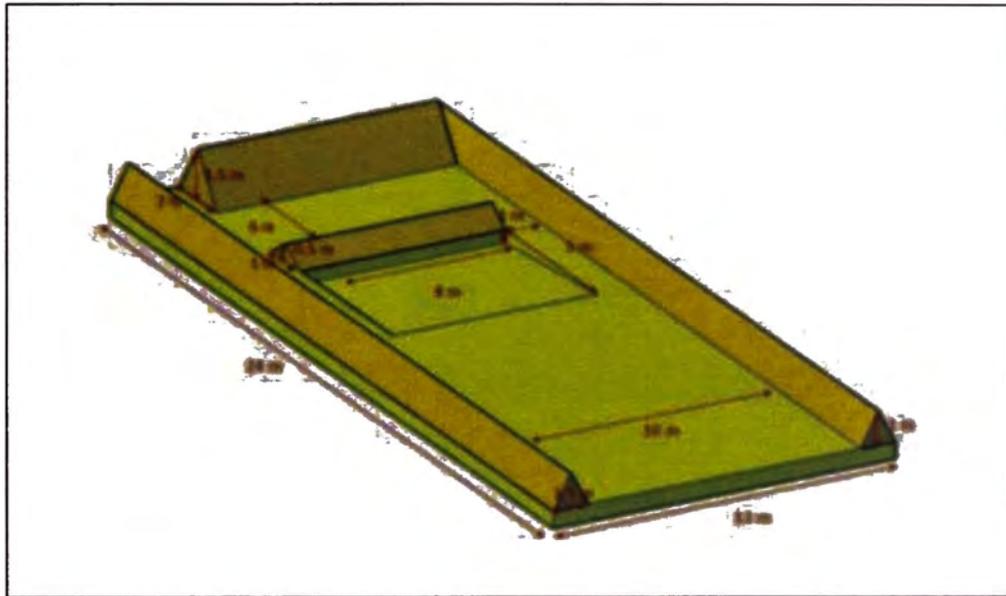


Figura 0,44 Diseño estándar para equipos auxiliares cargador frontal y moto niveladores.

Fuente: Elaboración propia

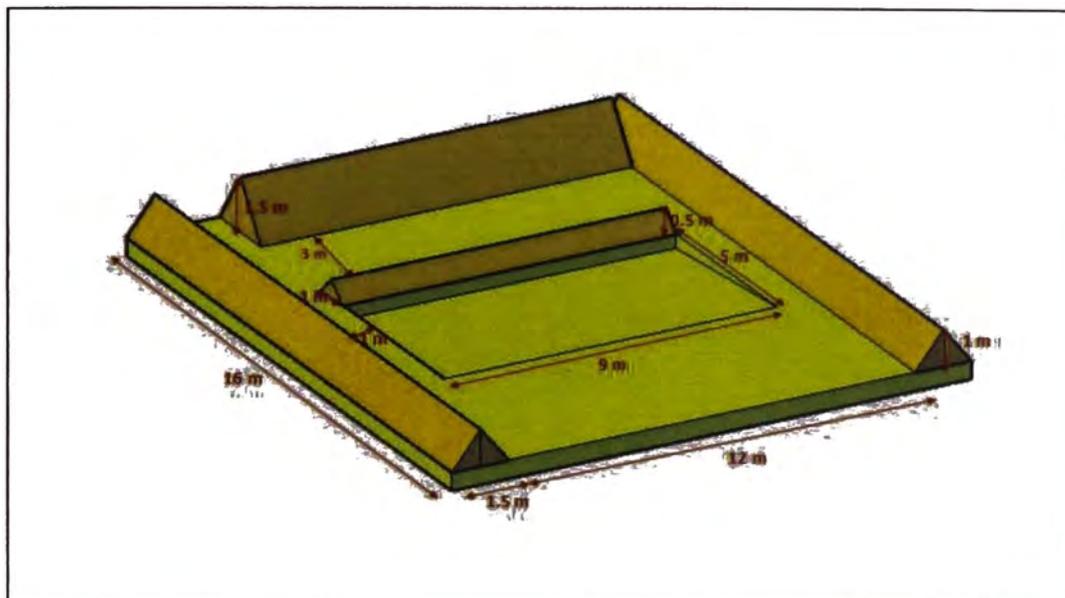


Figura 2,45 Diseño estándar para equipos auxiliares tractor de orugas y tractor de ruedas.

Fuente: Elaboración propia

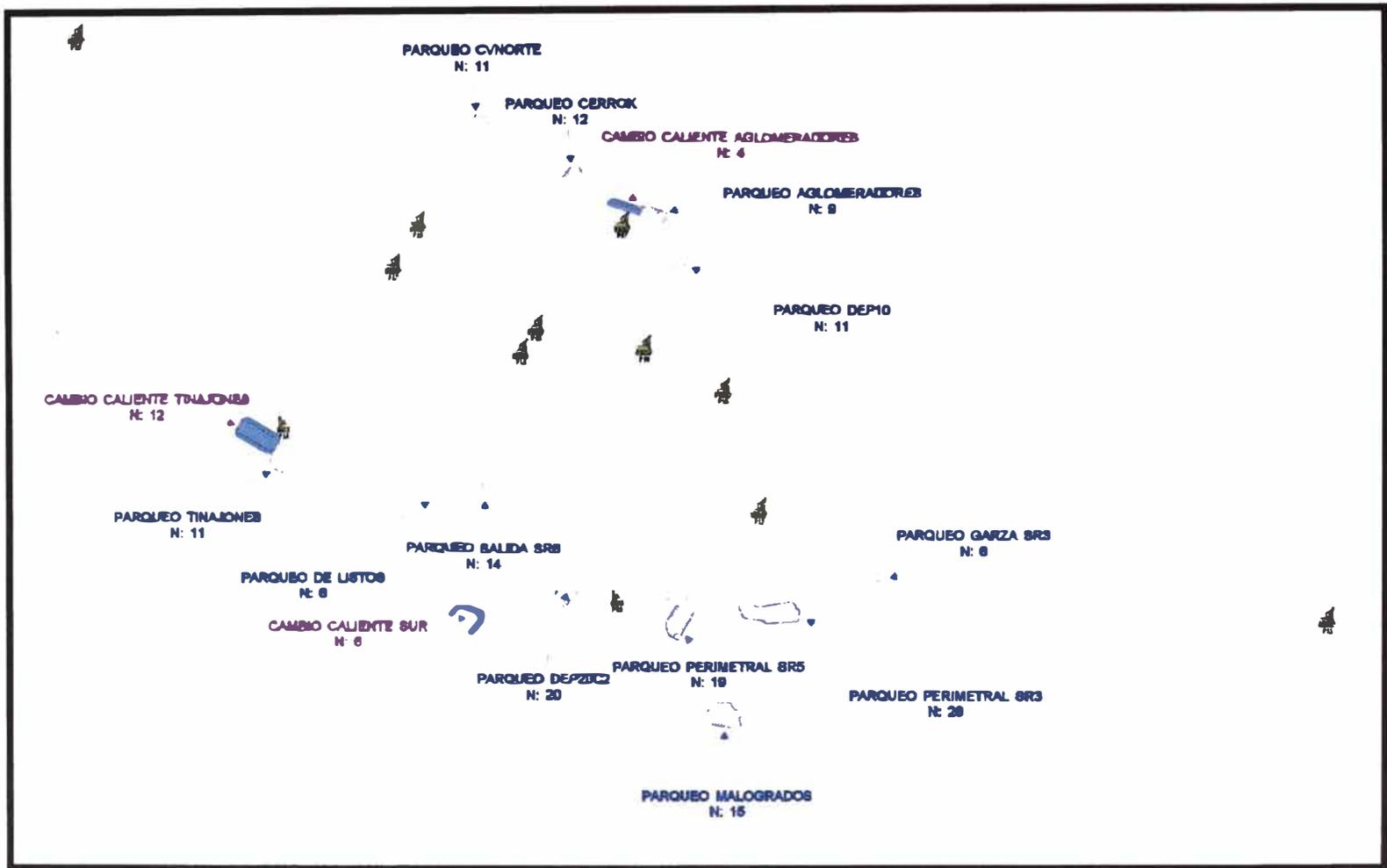


Figura 0,46 Vista general de los parques y bahías para cambio en caliente en los tajos 04/03/2019.

Fuente: Elaboración propia

#### **2.2.15.4. Sistema Dispatch**

Es un sistema de gestión de datos mineros de gran escala, utiliza la tecnología.

#### **2.2.15.5. Hora de Refrigerio**

Es el periodo de tiempo en el cual los operadores realizan la ingesta de sus alimentos, este periodo se da entre las 11:30 horas hasta las 15:00 horas.

#### **2.2.15.6. Balizas**

Son puntos virtuales en el sistema dispatch, que se crean dentro de las rutas de acarreo, estos detectan a los camiones que pasan por ella y van almacenando información del Camión, como: coordenadas, tiempo de arribo, tipo de camión, etc.

Se hace uso de estas balizas para obtener la hora de entrada a un parqueo o cambio en caliente.

#### **2.2.15.7. Cambio de guardia**

Se realiza cuando los operadores han cumplido su jornada laboral, en el caso particular de la mina modelo las guardias son de 12 horas

#### **2.2.15.8. Delta C**

Es un indicador que muestra la eficiencia del ciclo de acarreo, es resultado de la diferencia del ciclo real menos el ciclo objetivo.

#### **2.2.15.9. Equivalent Flat Houl (EFH).**

Es el equivalente del perfil de acarreo de ida en horizontal.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

En el presente capítulo se expone la metodología a ser utilizada, como: el tipo de investigación, diseño, la población objeto de estudio, la técnica e instrumento de recolección de datos, la validez y confiabilidad del instrumento y la técnica para el análisis de los resultados.

En ese sentido el propósito de esta investigación es analizar el sistema de relevo e implementar bahías para cambio de guardia en caliente y reducir el tiempo de relevo.

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Los métodos de la investigación se clasifican de acuerdo con la naturaleza de los problemas de investigación en (Arango Quintero, 2012):

- Básico: este es usado para abordar problemas teóricos y/o conceptuales.
- Aplicado: se lleva a cabo para abordar problemas prácticos.
- Exploratorio: este es usado cuando no se tiene (o se tiene muy poca) información sobre los fenómenos, este constituye el primer acercamiento al problema.

- Descriptivo: este tipo de trabajos se llevan a cabo cuando ya se conoce la problemática a tratar, pero se quiere medir con precisión.
- Explicativa: en este caso ya se conocen cuáles son los problemas e inclusive se han medido en forma precisa; de lo que se trata ahora es de establecer relaciones entre distintos aspectos de la realidad.

Considerando este autor, la investigación es de tipo Aplicativo, Descriptivo.

### **3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación es de tipo experimental puro, puesto que se realiza el experimento y se recolecta los resultados con el fin de comparar el tiempo de relevo antes y el después de la implementación.

Creswell (2009) denomina a los experimentos como estudios de intervención, porque un investigador genera una situación para tratar de explicar cómo afecta a quienes participan en ella en comparación con quienes no lo hacen. Es posible experimentar con seres humanos, seres vivos y ciertos objetos.

### **3.3. POBLACIÓN**

La población de esta investigación estuvo constituida por todos los camiones mineros de la mina modelo, en la tabla siguiente se observa los detalles.

3.1  
Tabla 0,1 Población de la investigación

Tipo de camión	Cantidad
----------------	----------

Komatsu K930	40
Caterpillar Cat 793	93
<b>TOTAL</b>	<b>133</b>

Fuente: Elaboración Propia.

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Como se quiere obtener los tiempos que tarda cada operador en realizar el relevo, como instrumento se utilizó el sistema dispatch en el cual se generaron balizas para recolectar los datos de entrada y salida de los camiones en los distintos parqueos y bahías, de tal forma que la diferencia entre la salida y entrada nos da el tiempo de servicio de cada camión.

### **3.5. VALIDÉZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS:**

Está investigación usa como instrumento de recolección de datos el sistema dispatch, el cual es de uso universal en las compañías mineras.

### **3.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS**

Para el análisis de datos se utilizó el paquete computarizados MINITAB (versión 16) y Excel 2010. Con ayuda de estas herramientas se calculan las estadísticas básicas y se realiza el análisis de varianza (ANOVA) para la comprobación de la hipótesis nula, o aceptar la hipótesis alternativa el cual quiere decir que al menos un grupo de datos observados tiene media distinta, también se puede inferir que al menos un factor genera efectos estadísticamente significados en la muestra.

### **3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

Para llevar a cabo la investigación se realizó los siguientes procedimientos:

- Se detectó el problema, se analizaron las causas y las posibles alternativas de solución.
- Se seleccionaron las variables (método de relevo y tiempo de relevo).
- Se elaboró el tema de la investigación.
- Se genera la matriz de consistencia.
- Se recopiló información sobre las variables.
- Se definió la metodología del experimento.
- Se ejecutó una prueba piloto (construcción de bahías a ras del suelo en el botadero "TNJ").
- Se recopiló la data en tres parqueos y 4 bahías mediante el sistema dispatch.
- Se desarrolló el análisis e interpretación de resultados, con las herramientas estadísticas Excel y MINITAB.
- Finalmente se generó un modelo de simulación en lenguaje GPSS/H del sistema de relevo.

## **CAPÍTULO IV**

### **IMPLEMENTACIÓN DE BAHÍAS PARA CAMBIO DE GUARDIA EN CALIENTE**

Como se mencionó anteriormente existe la necesidad de reducir el tiempo que toma realizar el relevo de los operadores en cambio de guardia, con ese fin se implementará bahías a ras del suelo para realizar el cambio de guardia en caliente y realizar una sustitución paulatina de los parqueos por las bahías.

En este capítulo se presentará las estadísticas de las tres formas distintas de realizar el relevo: en parqueos, bahías a desnivel y bahías a ras del suelo. Se realizará el análisis de varianza (ANOVA) para comprobar la hipótesis, si dicha implementación genera efectos estadísticamente significativos en la muestra.

#### **4.1. CÁLCULOS Y APLICACIONES.**

A continuación, se presentará las estadísticas básicas de los tiempos de relevo de los diferentes parqueos y bahías de cambio en caliente que cuenta la mina, esta información fue extraída de la base datos dispatch en periodos distintos correspondientes al año 2019, para obtener los tiempos se crearon balizas en el sistema dispatch, los cuales fueron ubicados en parqueos y bahías de cambio en

caliente, obteniendo la hora de entrada y salida de los camiones que han hecho uso del recurso.

Para realizar las estadísticas se utilizó el software estadístico MINITAB, además para mayor referencia se muestra una imagen de la ubicación de cada parqueo y bahías seguida de los histogramas del tiempo de relevo.

#### **4.2. DESCRIPCIÓN DE TIEMPO DE RELEVO EN PARQUEOS.**

La mina cuenta con 8 parqueos disponibles los cuales están ubicados alrededor de los tajos, los parqueos por lo general ocupan grandes áreas, porque tienen vías independientes, tanto para camiones y equipos livianos (Vanes o camionetas). En la tabla siguiente se muestra una tabla con los parqueos y sus capacidades de atención.

Tabla 4,1 Parqueos disponibles

<b>N°</b>	<b>Parqueos</b>	<b>Capacidad</b>
1	Aglomerador	4
2	Cerro K	12
3	Culvert N3	10
4	Cv6	11
5	Dinámico	20
6	Listos	6
7	Perimetral Sur	28
8	Sr6	14

Fuente: Elaboración propia.

De todos estos se recolectó los tiempos de relevo en los parqueos “Dinámico”, “SR6” y “Aglomerador”, se escogió estos tres parqueos porque fueron los más usados para realizar el relevo; a continuación, se detallarán los tiempos de relevo de los parqueos mencionados.

### **TIEMPO DE RELEVO EN EL PARQUEO “DINÁMICO”.**

El parqueo “Dinámico” tiene capacidad para 20 camiones, este parqueo se encuentra ubicado en la zona sur de los tajos, al lado de un depósito dinámico y cerca de una de las chancadoras primarias razón por la cual es uno de los parqueos más usados de toda la mina.



Figura 4,1 Ubicación de parqueos “Dinámico”

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis del tiempo que dura realizar el relevo de los operadores en el parqueo “Dinámico” se consideró la data de la base de datos dispatch de los meses los meses 05 (mayo) y 06 (junio) del 2019. Obteniendo los siguientes resultados:

Estadísticas del tiempo de relevo correspondiente al mes mayo del 2019 en el parqueo “Dinámico”

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante el mes de mayo del 2019; para ello se analizó 1994 datos de entrada; obteniendo una media de 14.90 minutos y una desviación estándar de 7.999 minutos.

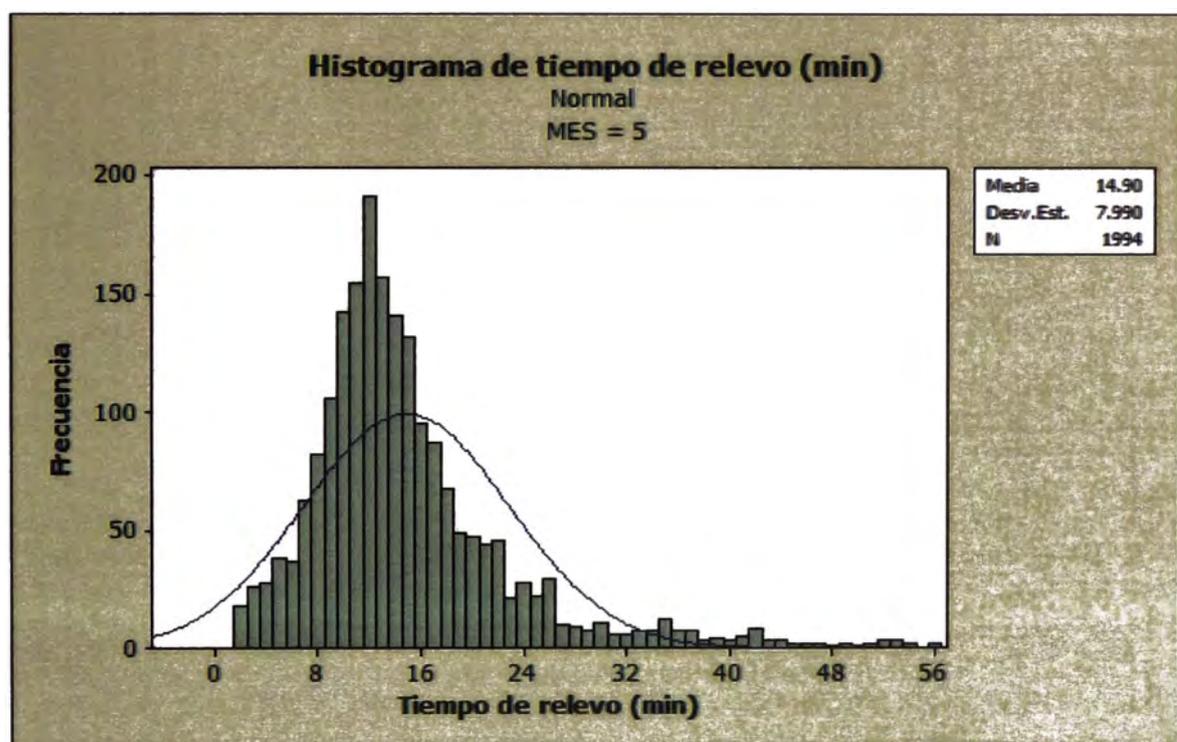


Figura 4,2 Histograma de tiempo de relevo correspondiente a mayo 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Estadísticas del tiempo de relevo correspondiente al mes junio del 2019 en el parqueo “Dinámico”.

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante el mes de junio del

2019; para ello se analizó 2166 datos de entrada; obteniendo una media de 15.16 minutos y una desviación estándar de 8.050 minutos.

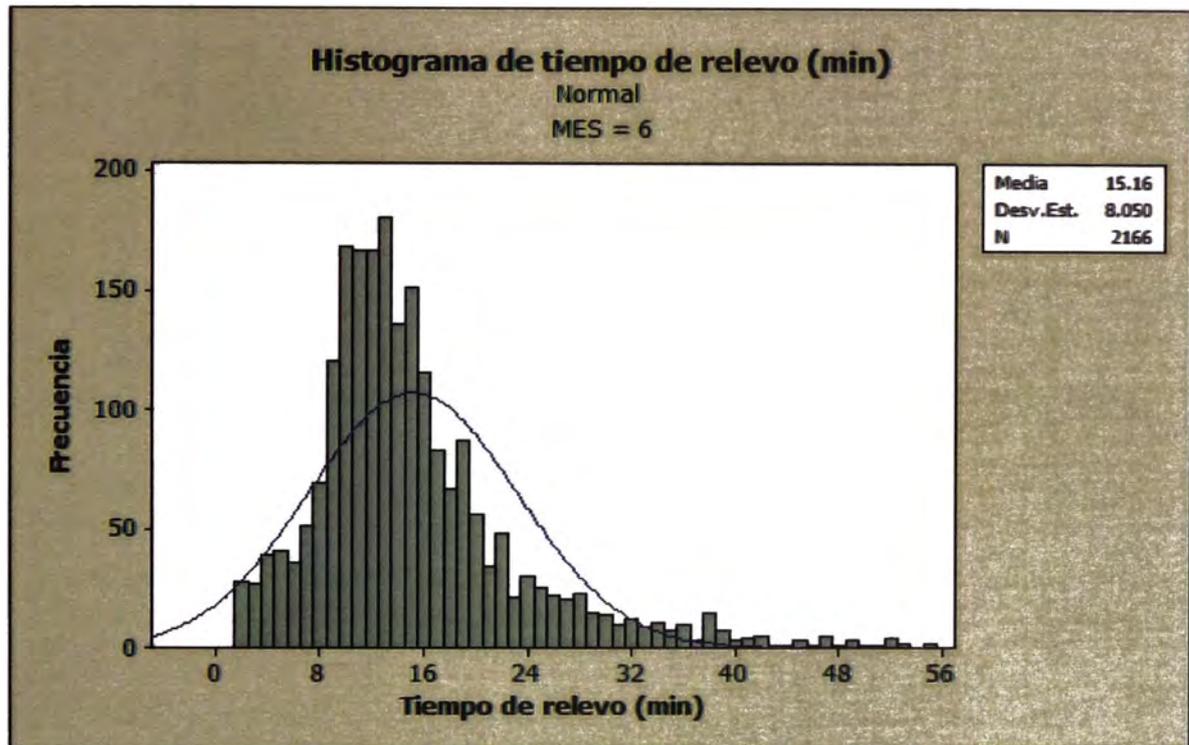


Figura 4,3 Histograma de tiempo de relevo correspondiente a junio 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Resumen de estadísticas del tiempo de relevo correspondiente a los meses de mayo y junio del 2019 en el parqueo "Dinámico".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante los meses de mayo y junio del 2019; para ello se analizó 4160 datos de entrada; obteniendo una media de 15.036 minutos y una desviación estándar de 8.022 minutos.

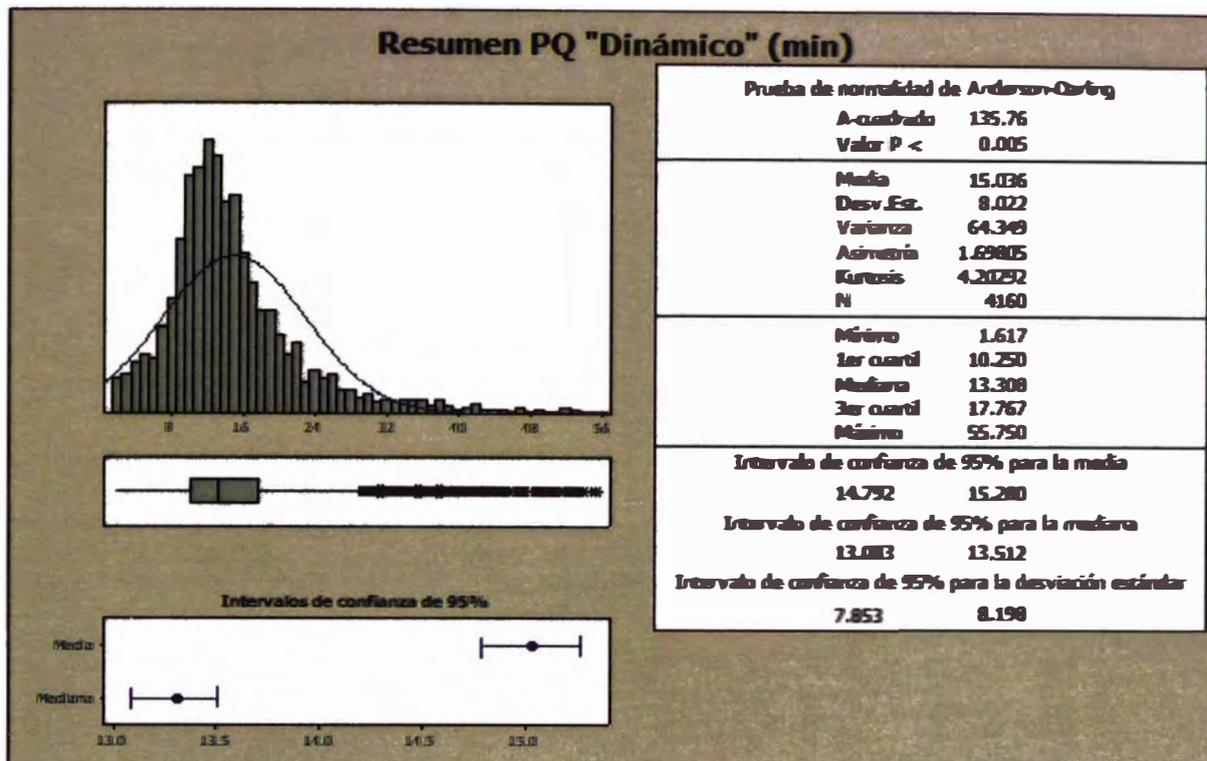


Figura 4,4 Resumen estadístico del parqueo "Dinámico" 2019.

Fuente: Elaboración propia.

### TIEMPO DE RELEVO EN EL PARQUEO "SR6"

El parqueo "SR6" tiene capacidad para 14 camiones, se encuentra ubicado en una intersección de salidas de fase.

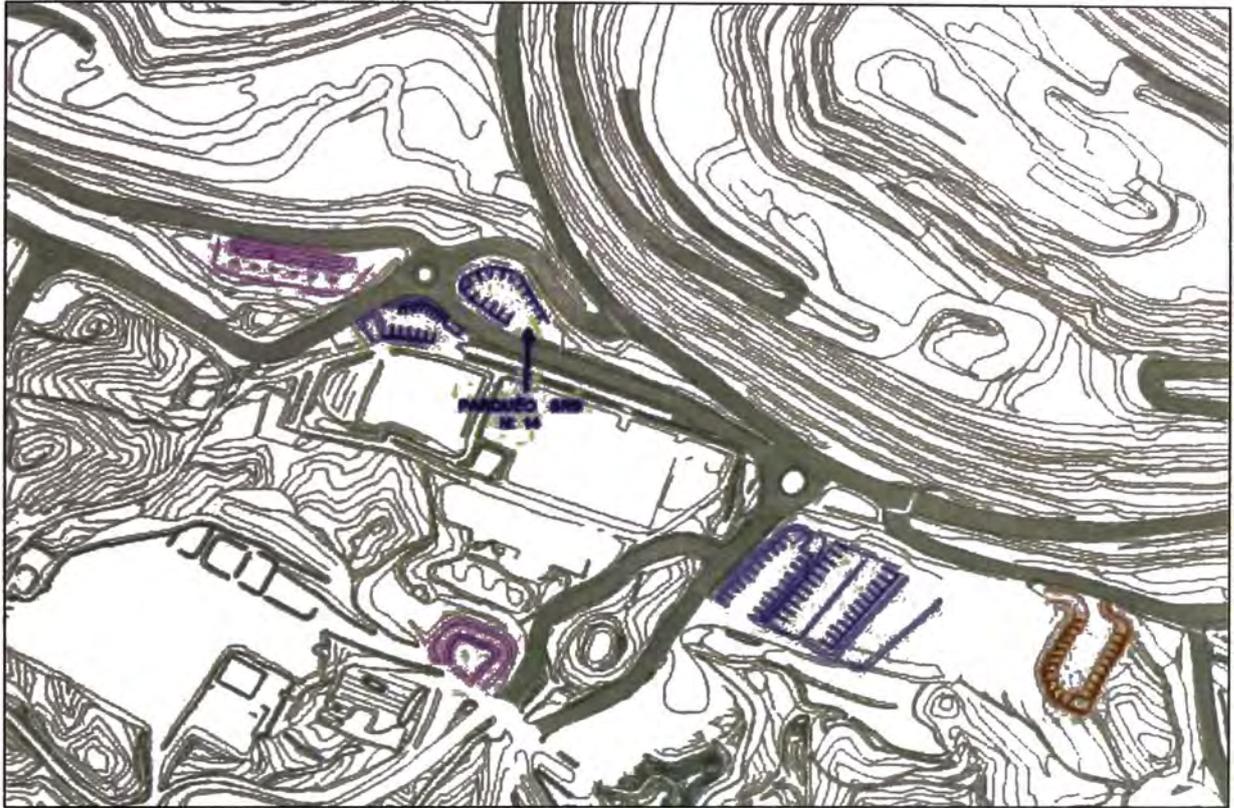


Figura 4,5 Ubicación del parqueo "SR6".

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis del tiempo que dura realizar el relevo de los operadores en el parqueo "SR6" se consideró la data de los siguientes meses: 04 (abril), 05 (mayo) y 06 (junio) del 2019. Obteniendo los siguientes resultados:

Estadísticas del tiempo de relevo correspondiente al mes de abril del 2019 en el parqueo "SR6".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante el mes de abril del 2019; para ello se analizó 607 datos de entrada; obteniendo una media de 14.81 minutos y una desviación estándar de 8.108 minutos.

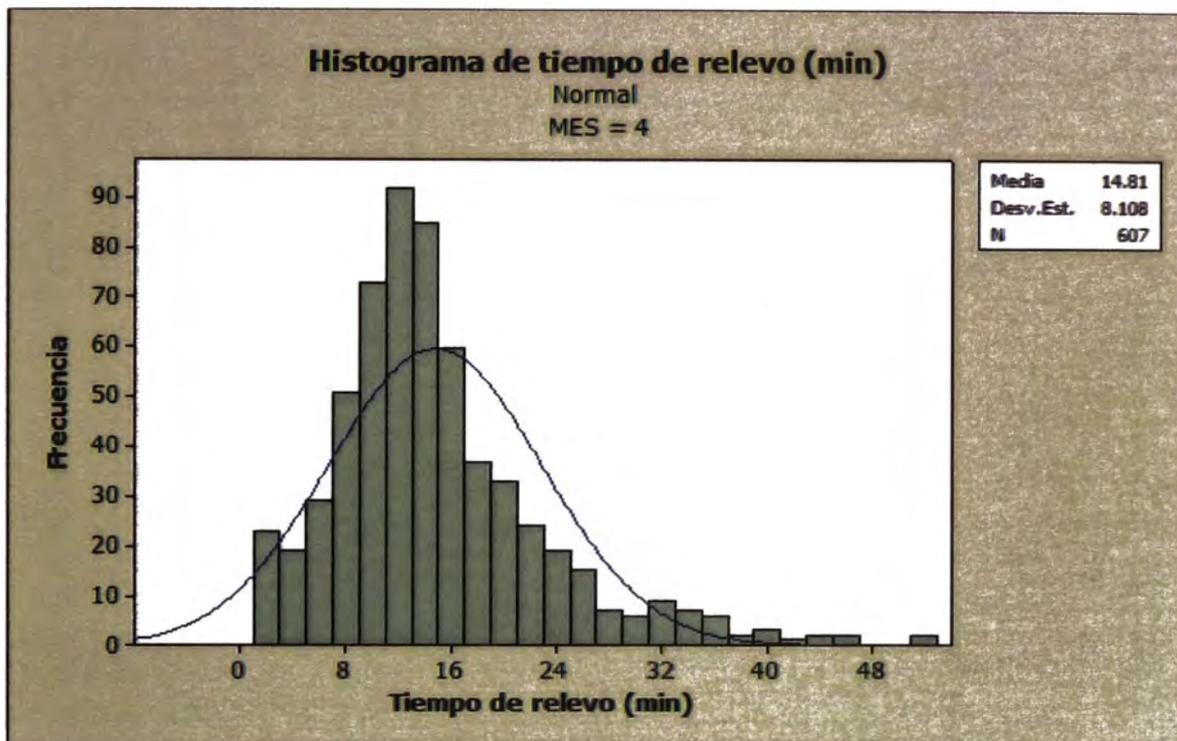


Figura 4,6 Histograma de tiempo de relevo parqueo "SR6" abril 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Estadísticas del tiempo de relevo correspondiente al mes de mayo del 2019 en el parqueo "SR6".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante el mes de mayo del 2019; para ello se analizó 398 datos de entrada; obteniendo una media de 12.87 minutos y una desviación estándar de 8.443 minutos.

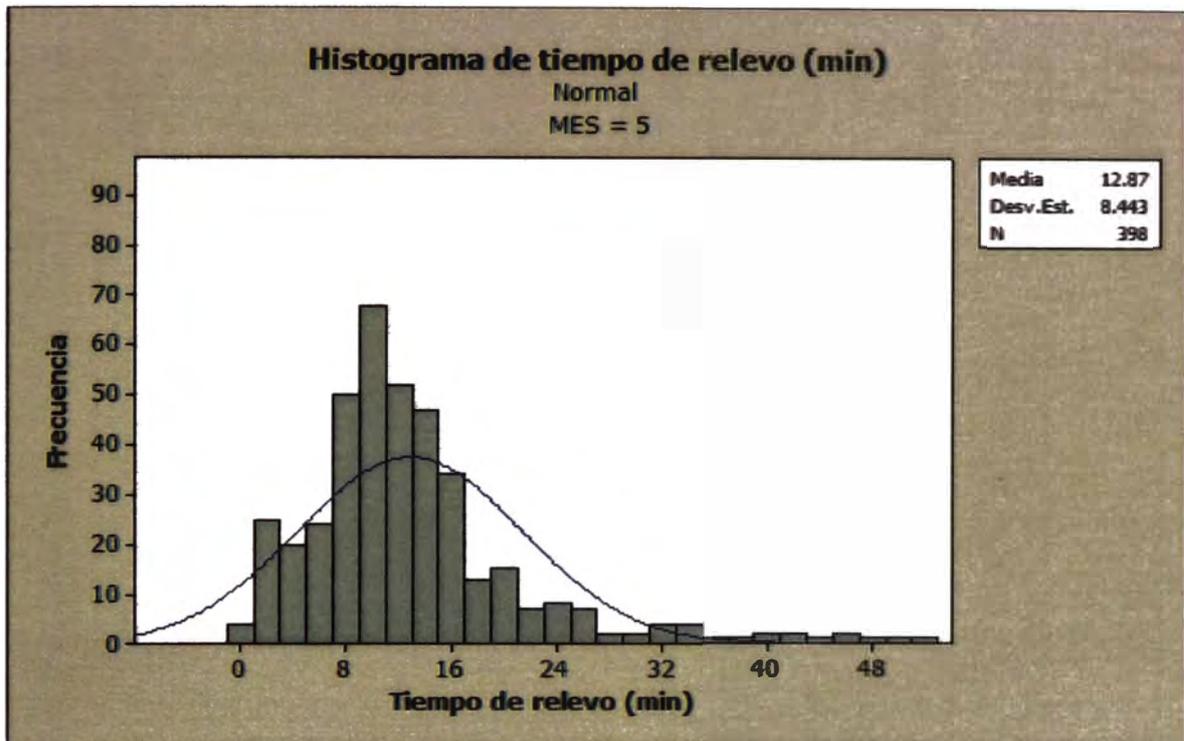


Figura 4,7 Histograma de tiempo de relevo parqueo "SR6" mayo 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Estadísticas del tiempo de relevo correspondiente al mes de mayo del 2019 en el parqueo "SR6".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante el mes de junio del 2019; para ello se analizó 467 datos de entrada; obteniendo una media de 13.38 minutos y una desviación estándar de 7.779 minutos.

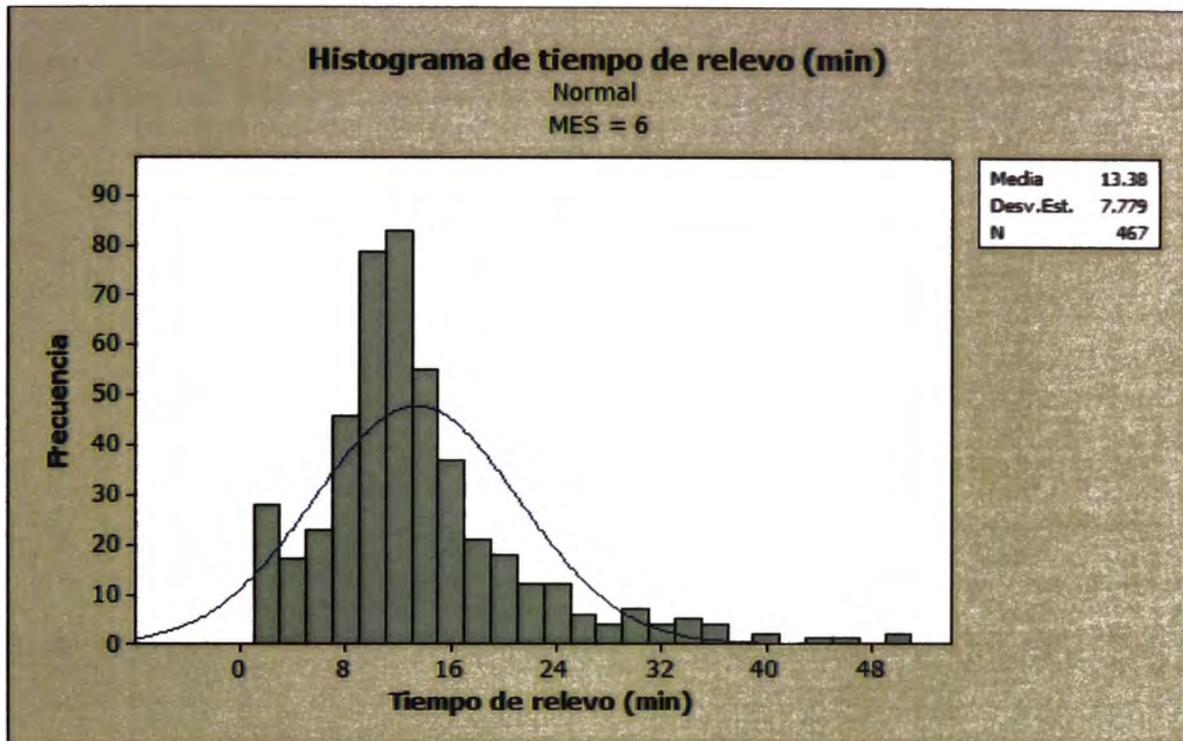


Figura 4,8 Histograma de tiempo de relevo parqueo "SR6" junio 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Resumen de estadísticas del tiempo de relevo correspondiente a los meses de abril, mayo y junio del 2019 en el parqueo "SR6".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante los meses de abril, mayo y junio del 2019; para ello se analizó 1472 datos de entrada; obteniendo una media de 13.829 minutos y una desviación estándar de 8.136 minutos.

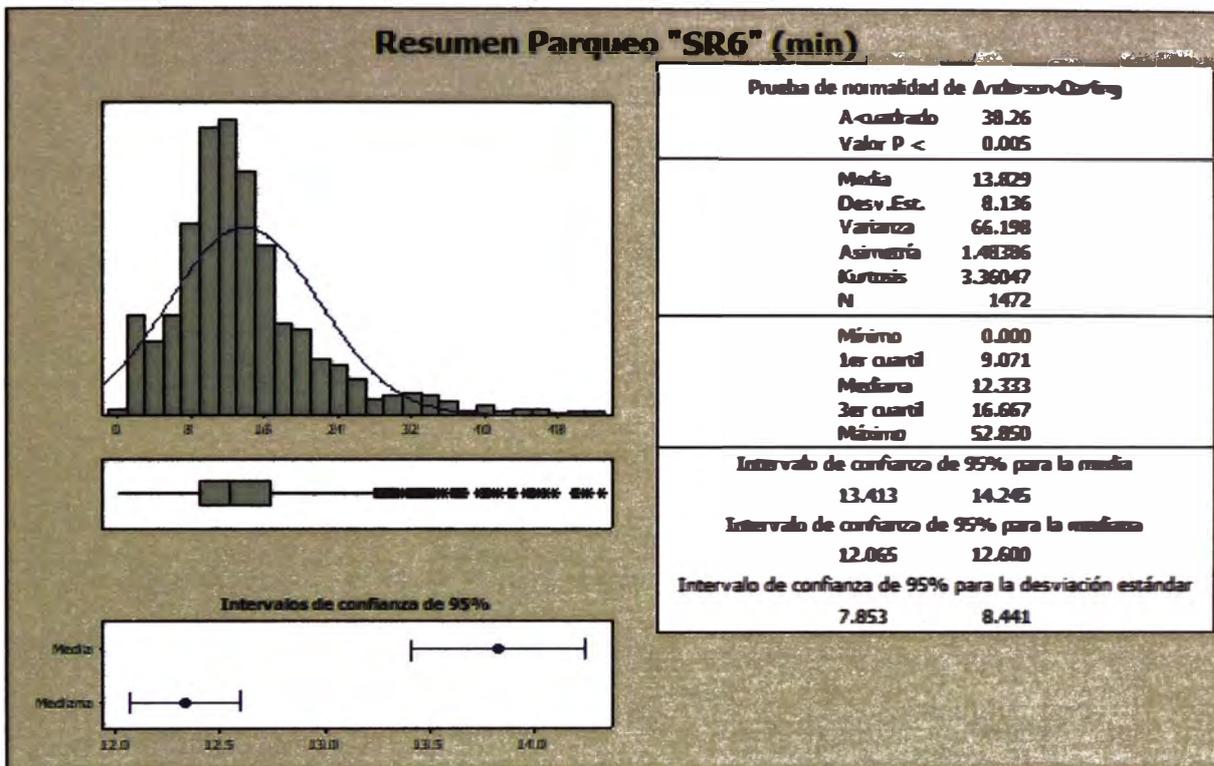


Figura 4,9 Resumen estadístico del parqueo "SR6" 2019.

Fuente: Elaboración propia.

### TIEMPO DE RELEVO EN EL PARQUEO "AGLOMERADOR"

El parqueo "Aglomerador" tiene capacidad para 9 camiones, se encuentra ubicado a la salida de una de las fases.



Figura 4,10 Ubicación de parqueo "Aglomerador".

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis del tiempo que dura realizar el relevo de los operadores en el parqueo "Aglomerador" se consideró la data de los meses de septiembre y octubre del 2019. Obteniendo los siguientes resultados:

Estadísticas del tiempo de relevo correspondiente al mes de septiembre del 2019 en el parqueo "Aglomerador".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante el mes de septiembre del 2019; para ello se analizó 700 datos de entrada; obteniendo una media de 12.73 minutos y una desviación estándar de 4.312 minutos.

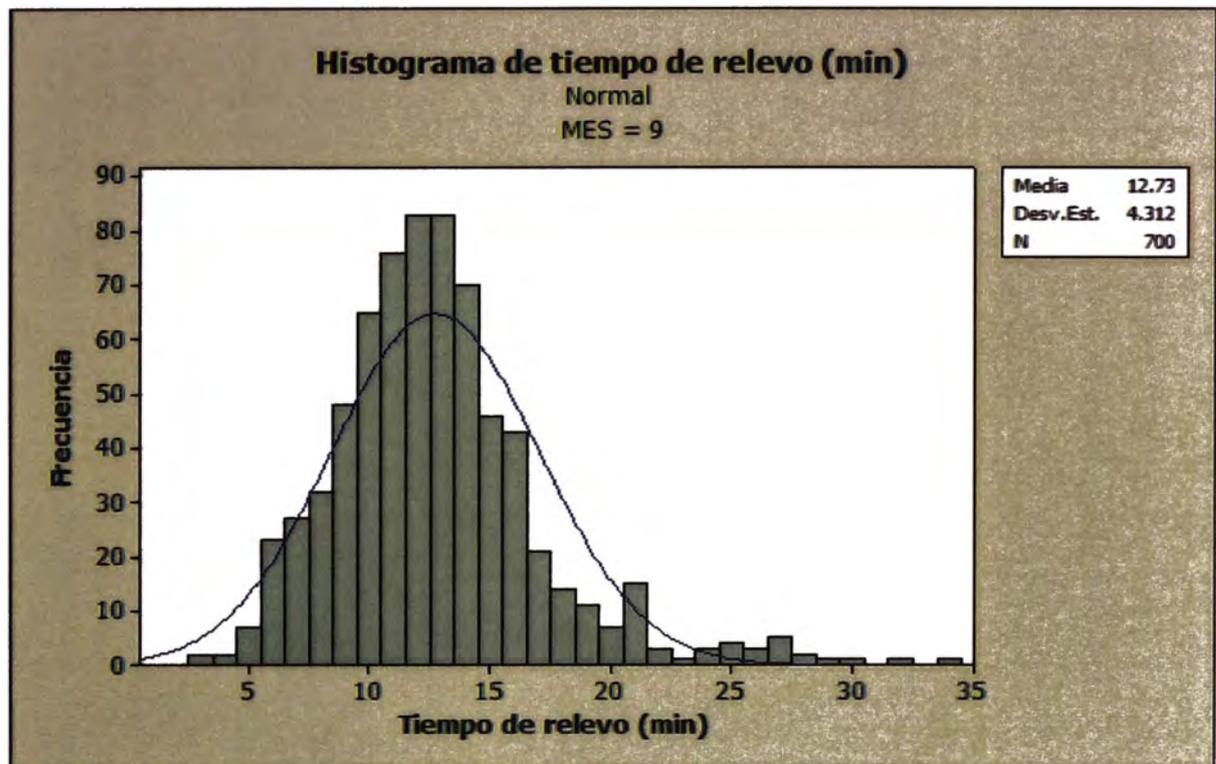


Figura 4,11 Histograma de tiempo de relevo parqueo "Aglomerador" septiembre 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Estadísticas del tiempo de relevo correspondiente al mes de octubre del 2019 en el parqueo "Aglomerador".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante el mes de septiembre del 2019; para ello se analizó 276 datos de entrada; obteniendo una media de 12.63 minutos y una desviación estándar de 4.934 minutos.

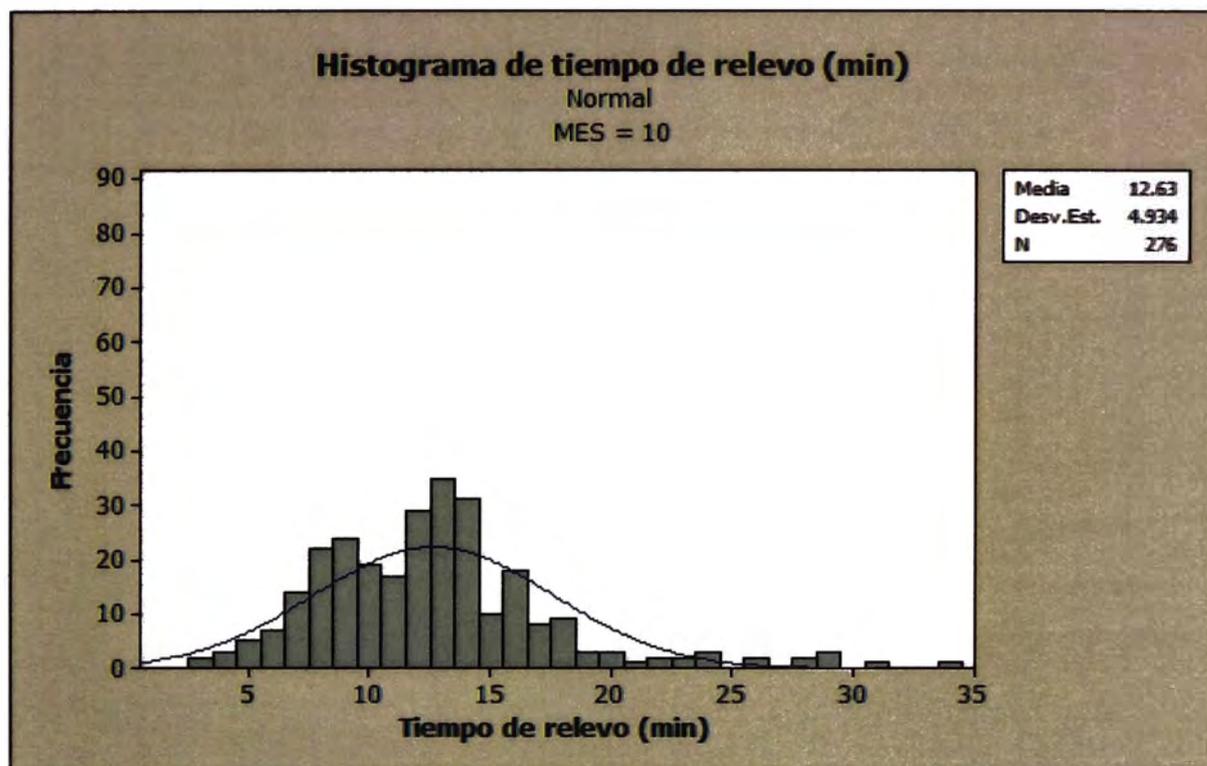


Figura 4,12 Histograma de tiempo de relevo parqueo "Aglomerador" octubre 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Resumen de estadísticas del tiempo de relevo correspondiente a los meses septiembre y octubre del 2019 en el parqueo "Aglomerador".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante los meses de septiembre y octubre del 2019; para ello se analizó 976 datos de entrada; obteniendo una media de 12.701 minutos y una desviación estándar de 4.494 minutos.

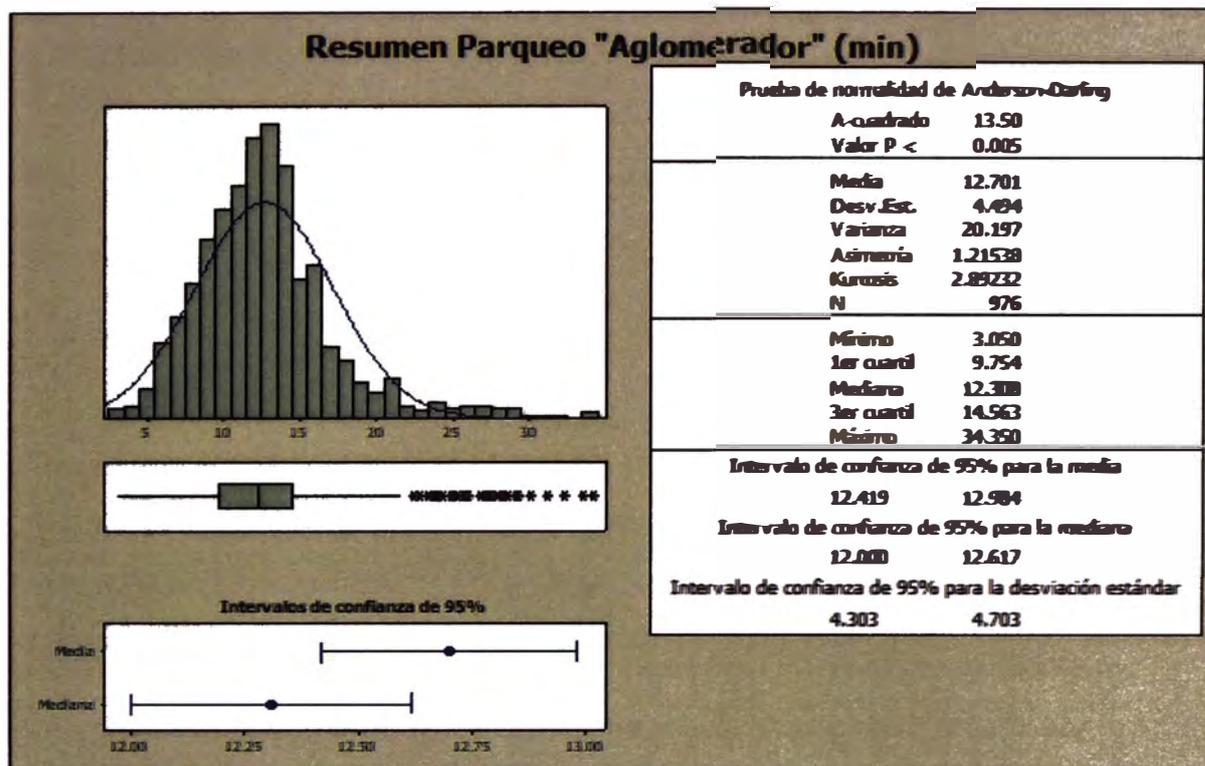


Figura 4,13 Resumen estadístico parqueo "Aglomerador" 2019.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. RESUMEN DE TIEMPO DE RELEVO EN LOS PARQUEOS.

Con los datos de los tres parqueos analizados se presenta la gráfica de puntos, donde cada punto representa 16 observaciones, adicionalmente se muestra un resumen de las estadísticas básicas del tiempo de relevo en los parqueos, considerando la data de los tres parqueos, un total de 6608 muestras.

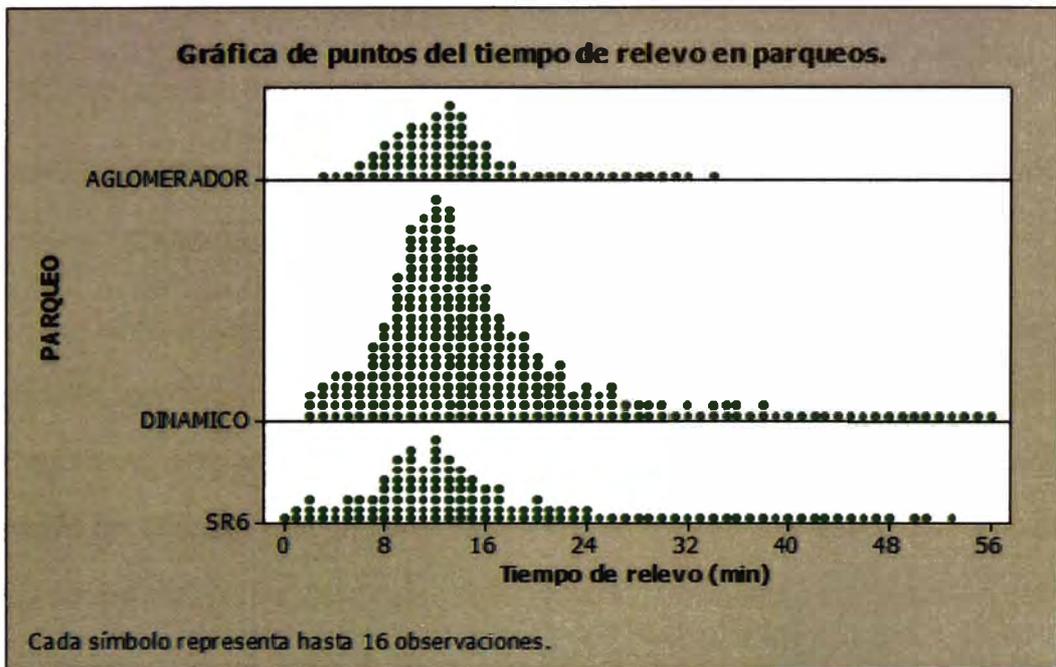


Figura 4,14 Gráfica de puntos del tiempo de relevo diferenciado por parques.

Fuente: Elaboración propia.

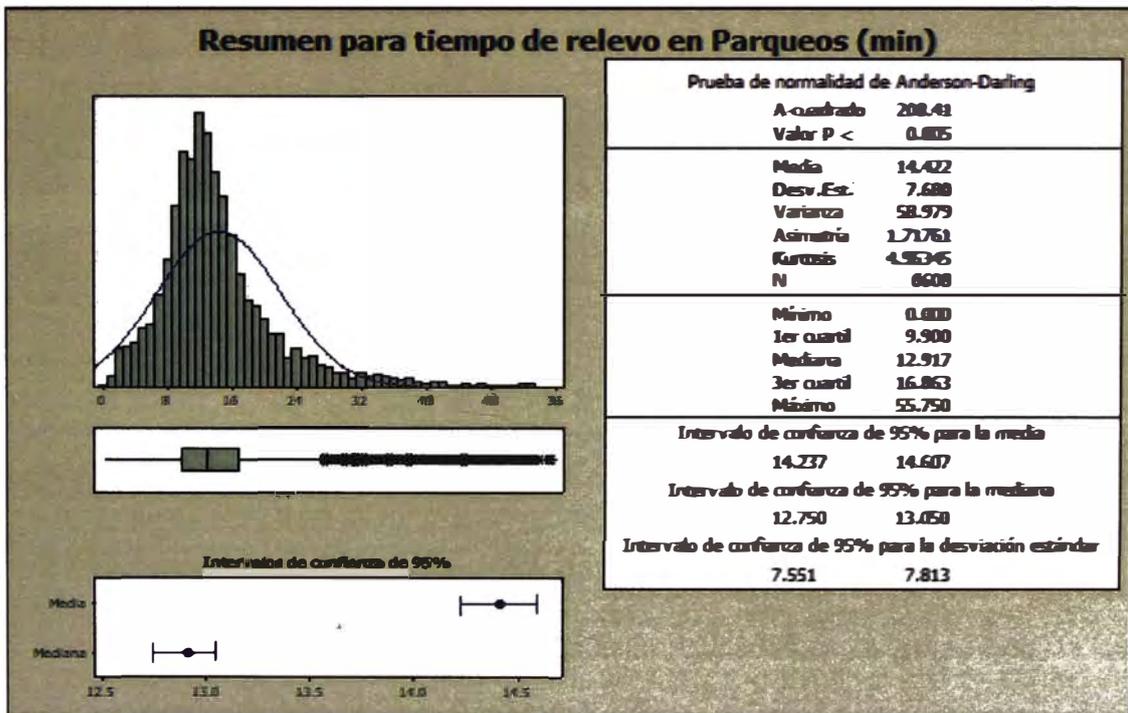


Figura 4, 15 Resumen de estadísticas básicas del tiempo de relevo en parques.

Fuente: Elaboración propia.

Con los tiempos de relevo de los tres parqueos analizados se obtiene una media de 14.422 minutos con una desviación estándar de 7.680 minutos.

#### **4.4. DESCRIPCIÓN DEL TIEMPO DE RELEVO EN LAS BAHÍAS A DESNIVEL.**

La mina cuenta con dos zonas de bahías para cambio en caliente a desnivel (Terraplén con estructuras metálicas), llamados “Aglomerador” y “Arroyo”, estas bahías se encuentran ubicadas al norte y sur de los tajos respectivamente, ambas cerca de las chancadoras primarias; estas fueron construidas a inicios del año 2018 y son parte de un primer intento de implementación de bahías para realizar el cambio en caliente de los operadores en la hora de cambio de guardia, pero dado su alto costo de implementación y la falta de sustentación científica quedó frustrado este primer intento.

Tabla 4,2 Bahías a desnivel.

<b>N°</b>	<b>Bahías a Desnivel</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Implementación</b>
1	Aglomerador	4	2018
2	Arroyo	6	2018

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se muestrearán los detalles de las bahías a desnivel y estadísticas básicas del tiempo de relevo.

#### **BAHÍAS A DESNIVEL “AGLOMERADOR”**

Consta de 4 bahías a desnivel, las cuales están ubicadas en la zona norte de los tajos, en una de las vías de alto tránsito.



Figura 4,16 Diseño de bahías "Aglomerador".

Fuente: Elaboración Propia.

Estas bahías están compuestas por un terraplén y 4 estructuras metálicas con correderas que forman un puente metálico entre la cabina del camión y el piso del terraplén.

Tabla 4,3 Costos de bahías a desnivel "Aglomerador".

Descripción	C/U	Número de Bahías	Total
Costo de correderas metálicas	\$10,000	4	\$40,000
Costo de construcción de terraplén	\$10,000	4	\$40,000
<b>Costo total</b>			<b>\$80,000</b>

Fuentes: Elaboración Propia.

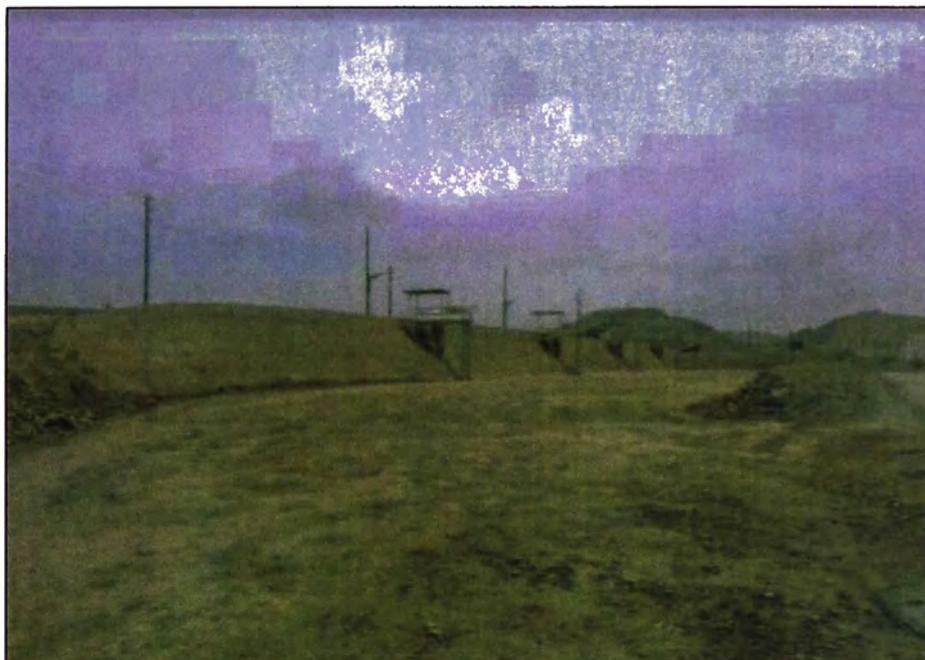


Figura 4,17 Vista de las bahías "Aglomerador".

Fuentes: Elaboración Propia.

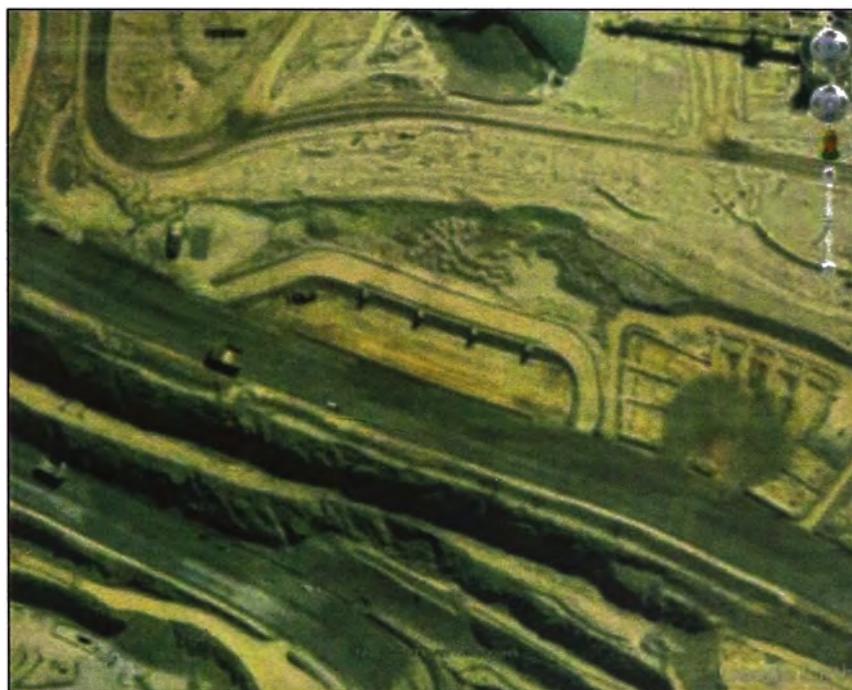


Figura 4,18 Vista satelital de las bahías "Aglomerador".

Fuentes: Elaboración Propia.

Resumen de estadísticas del tiempo de relevo correspondiente a los meses septiembre, octubre y noviembre del 2019 en las bahías a desnivel "Aglomerador".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2019; para ello se analizó 748 datos de entrada; obteniendo una media de 5.955 minutos y una desviación estándar de 2.862 minutos.

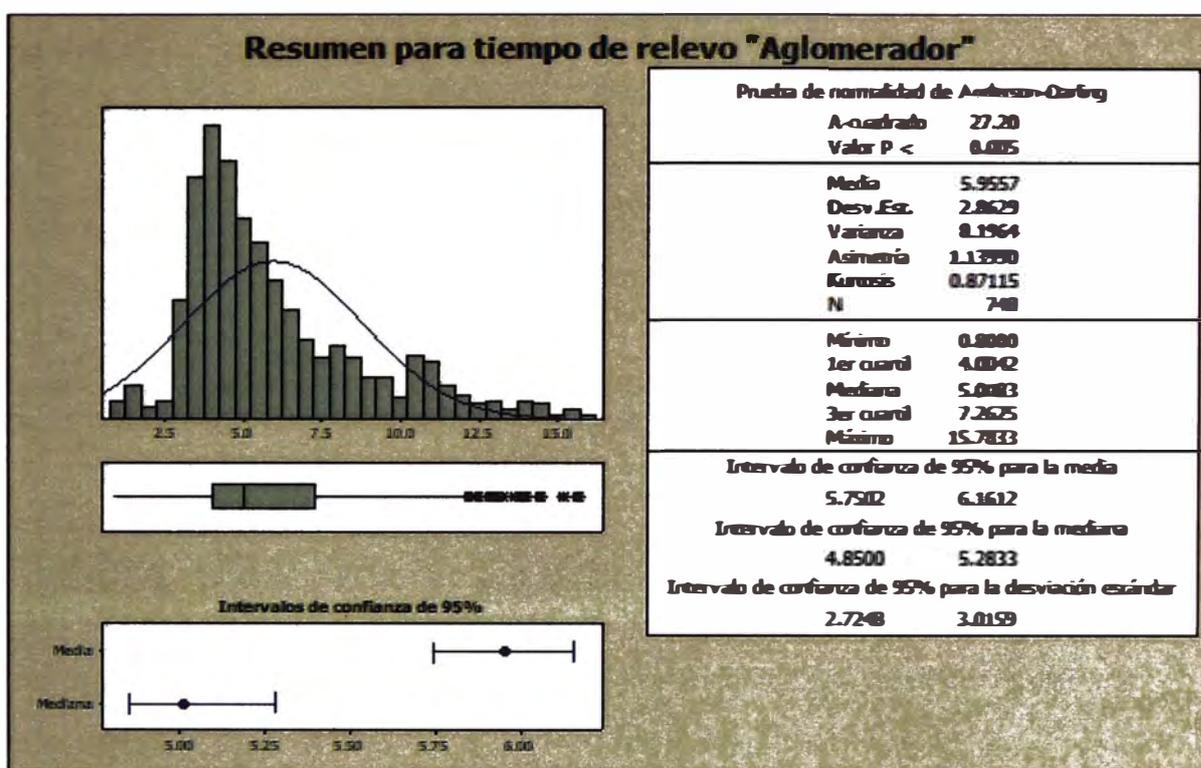


Figura 4,19 Resumen estadístico de bahías "Aglomerador".

Fuentes: Elaboración Propia.

### **BAHÍAS A DESNIBEL "ARROYO"**

Consta de 6 bahías a desnivel, las cuales están ubicadas en la zona Sur de los tajos, entre el grifo y la chancadora Sur.



Figura 4,20 Vista general de las bahías "Arroyo".

Fuentes: Elaboración Propia.

Estas bahías están compuestas por un terraplén y 6 estructuras metálicas con correderas que forman un puente metálico entre la cabina del camión y el piso del terraplén.

Tabla 4,4 Costos de bahías a desnivel "Arroyo".

Descripción	C/U	Número de Bahías	Total
Costo de correderas metálicas	\$10,000	6	\$60,000
Costo de construcción de terraplén	\$10,000	6	\$60,000
<b>Costo total</b>			<b>\$120,000</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Resumen de estadísticas del tiempo de relevo correspondiente a los meses enero, febrero, marzo del 2019 en las bahías a desnivel "Arroyo".

En el siguiente gráfico muestra el histograma del tiempo en minutos que tardaron en realizar el relevo de los operadores de camiones mineros durante los meses de enero, febrero, marzo del 2019; para ello se analizó 2428 datos de entrada; obteniendo una media de 5.1682 minutos y una desviación estándar de 1.399 minutos.

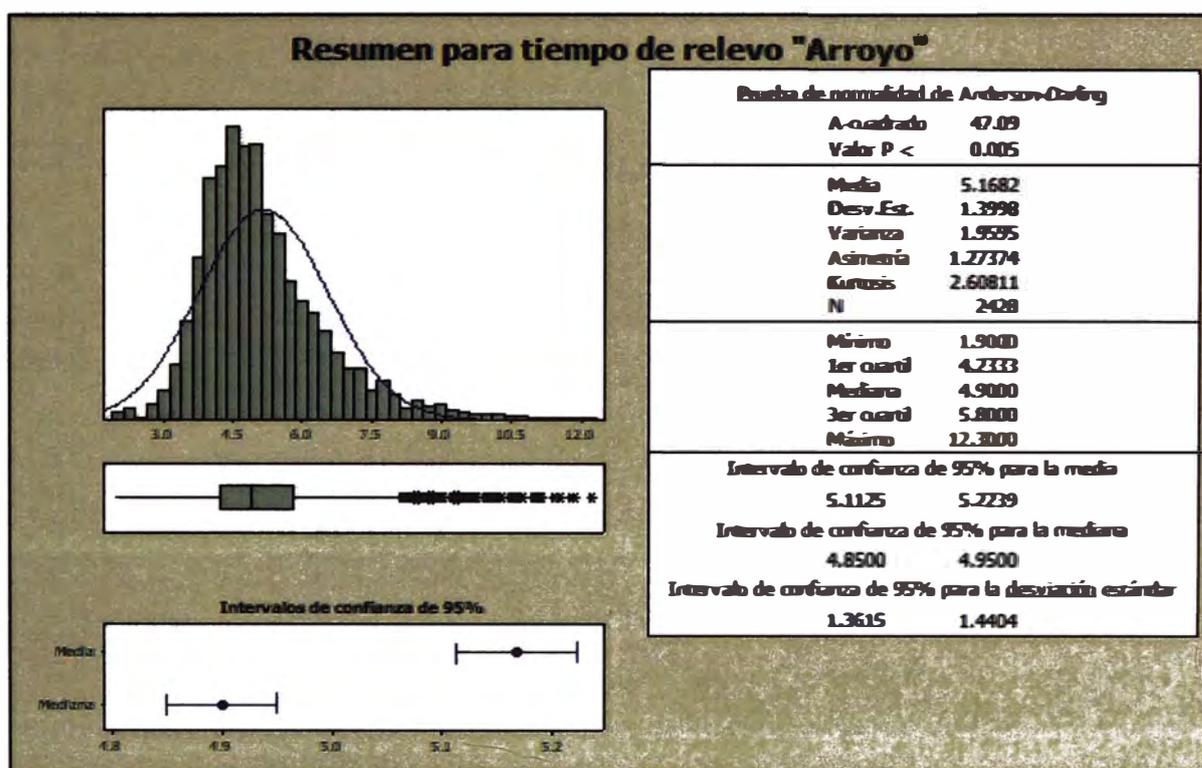


Figura 4,21 Resumen estadístico del tiempo de relevo en las bahías "Arroyo".

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.5. RESUMEN DE TIEMPO DE RELEVO EN LAS BAHÍAS A DESNIVEL.

Con los datos de las dos bahías a desnivel analizados se presenta la gráfica de puntos, donde cada punto representa 16 observaciones, adicionalmente se muestra

un resumen de las estadísticas básicas del tiempo de relevo en las bahías, considerando la data de las dos bahías a desnivel, un total de 3176 muestras.

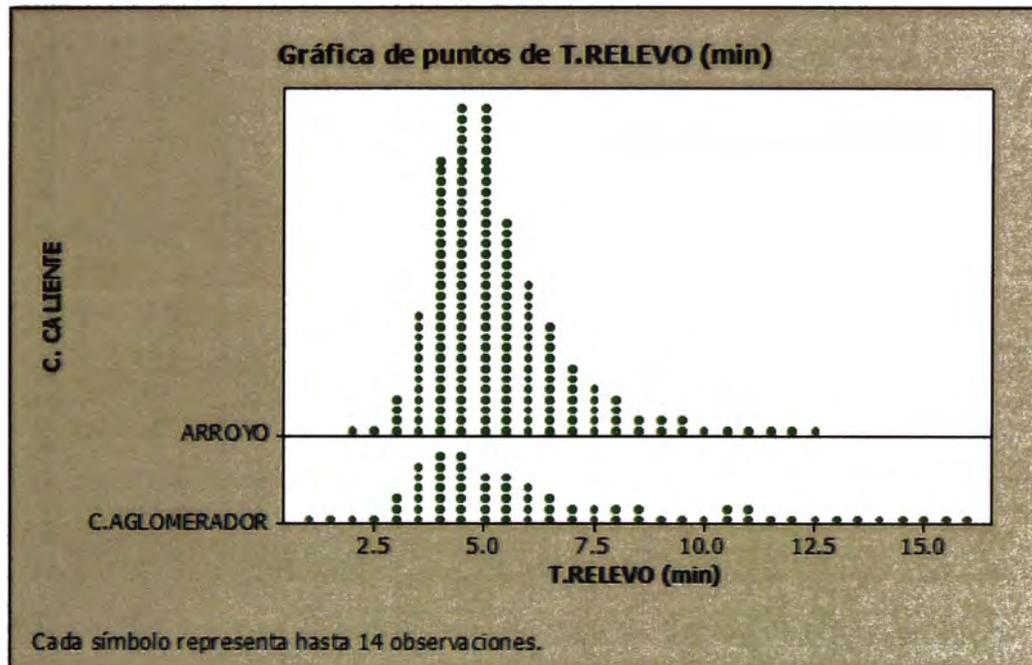


Figura 4,22 Gráfica de puntos de tiempo de relevo diferenciado por bahías.

Fuente: Elaboración Propia.

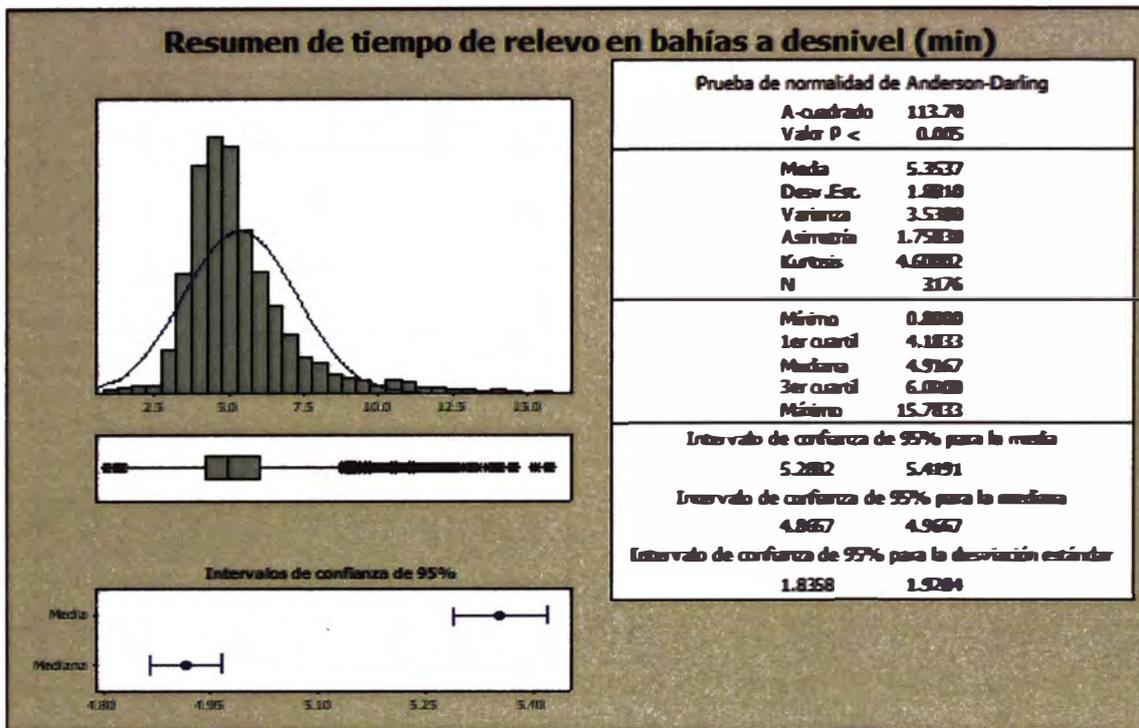


Figura 4,23 Resumen de estadísticas básicas del tiempo de relevo en bahías a desnivel.

Fuente: Elaboración Propia.

Con los tiempos de relevo de las bahías a desnivel analizadas se puede concluir que la media es igual a 5.35 minutos con una desviación estándar de 1.88 minutos.

#### 4.6. ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE BAHÍAS A DESNIVEL Y PARQUEOS.

Con los tiempos promedios de relevo entre los parqueos y las bahías a desnivel generamos la siguiente tabla:

Tabla 4,5 Resumen de estadísticas parqueos y bahías a desnivel.

RESUMEN				
Grupos	Muestras	Suma	Promedio	Varianza
Parqueos	6604	95302.52	14.43	58.89
Bahías a desnivel	3176	17003.25	5.35	3.54

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4,6 Análisis de varianza (ANOVA) entre parqueos y bahías a desnivel.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	176712.76	1	176712.76	4318.95	0.00	3.84
Dentro de los grupos	400073.29	9778	40.92	-	-	-
<b>Total</b>	<b>576786.05</b>	<b>9779</b>	-	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

Con el método del análisis de varianza se puede afirmar que existe diferencia estadísticamente significativa entre ambos métodos (Parqueos y Bahías a desnivel), con un nivel de significancia de 0.05, un valor F-calculado de 4318.95 y un valor de F-crítico de 3.84. Rechazando de esta forma la hipótesis nula.

En otras palabras, el factor (bahías a desnivel) produce efectos significativos en la variable dependiente (tiempo de relevo), reduciendo el tiempo promedio de 14.43 minutos a 5.35 minutos.

#### **4.7. IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBA PILOTO DE BAHÍAS A RAS DEL SUELO.**

Con anterioridad a este trabajo de investigación, hubo intentos fallidos de implementación de bahías para cambio en caliente a desnivel, pero por ser de alto costo se desistió de su implementación, quedando solo dos de este tipo en funcionamiento. Por tal motivo se planea implementar bahías de cambio en caliente a ras del suelo, el cual es de bajo costo, puesto que para su construcción solo se requiere muros divisorios de las vías y senderos peatonales; para los muros se usa

material directo de mina sin ningún tratamiento previo, tampoco requieren estructuras metálicas.

Para la implementación de las bahías de cambio en caliente a ras del suelo se realizó una prueba piloto la cual se llevó a cabo en el mes de enero del 2019 en el botadero "BOTNJ"; para lo cual se construyeron 6 bahías a cada lado de la vía principal de acarreo, haciendo un total de 12 bahías; se tomaron los tiempos que demoró cada camión en realizar el relevo.

Uno de los objetivos de esta prueba fue demostrar de forma empírica que el tiempo de relevo usando las bahías de cambio en caliente a ras del suelo es menor que el tiempo de relevo usando los parqueos, además elaborar un procedimiento para realizar el relevo en las bahías a ras del suelo de forma segura.

Se consideró el botadero el "BOTNJ" puesto que era el botadero más cercano a la Fase #6 del tajo Amadís en donde se encontraban operando tres palas eléctricas (P07, P21 Y P20) y las tres en desbroce con lo cual se aseguraba un flujo continuo de los camiones hacia el botadero.



Figura 4,24 Vista general del diseño de bahías "TNJ".

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4,25 Vista satelital de las bahías "TNJ".

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se muestra las estadísticas del tiempo de relevo de los operadores de camión usando las bahías para cambio en caliente a ras del suelo. Obteniendo los siguientes resultados:

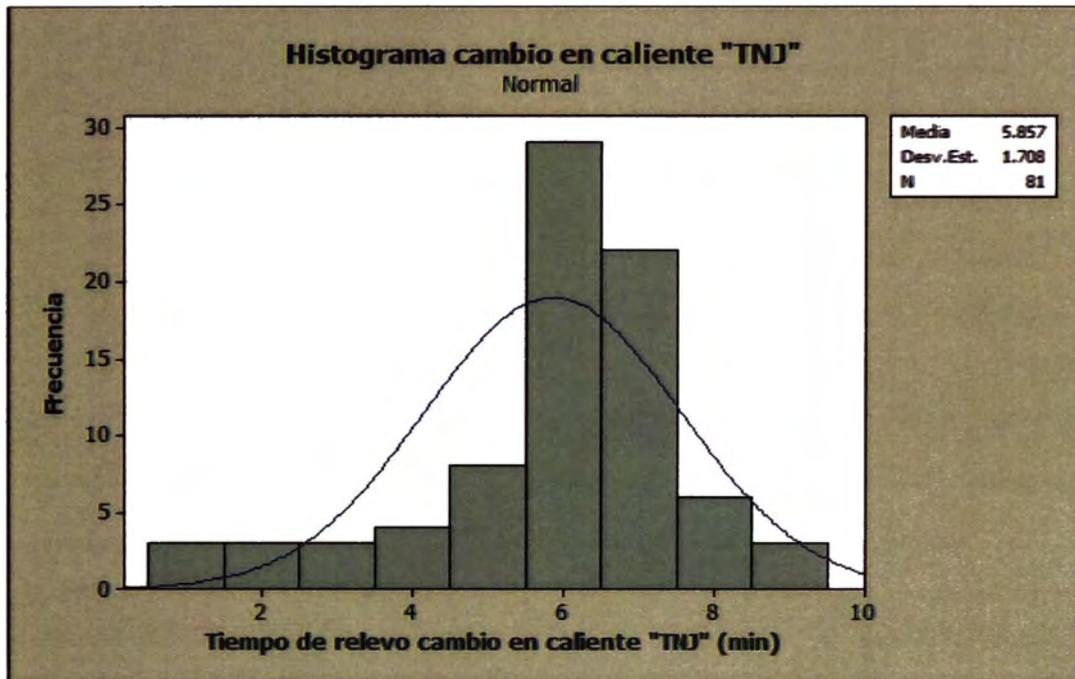


Figura 4,26 Histograma cambio en caliente "TNJ".

Fuente: Elaboración Propia.

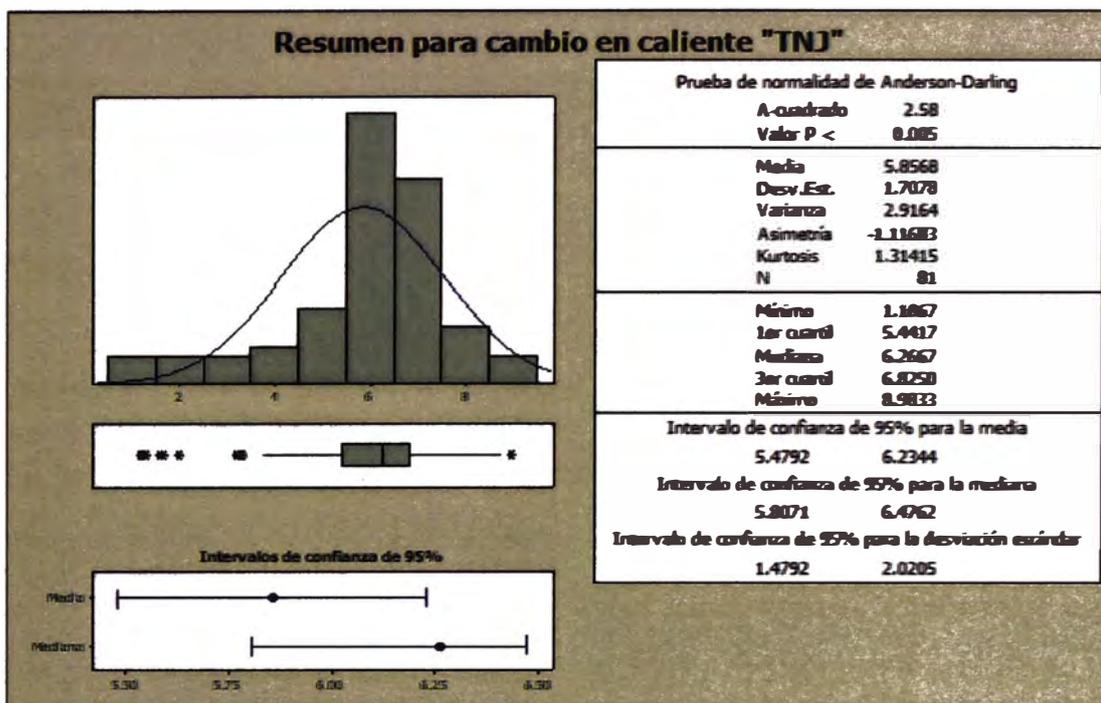


Figura 4,27 Resumen estadístico de bahías para cambio en caliente "TNJ".

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que el tiempo para realizar el relevo en las bahías tiene como media 5.856 minutos y una desviación estándar 1.707 minutos confirmando así la hipótesis inicial que el tiempo de relevo en las bahías es menor que el tiempo de relevo usando los parqueos.

Después de esta prueba piloto se inició el plan para la construcción de otras bahías para cambio en caliente a ras del suelo, una de ellas fue construida dentro de la fase 6 del tajo Amadís y el otro ubicado en el botadero "Culvert 3".

#### 4.8. DESCRIPCIÓN DEL TIEMPO DE RELEVO EN LAS BAHÍAS A RAS DEL SUELO.

Después de la prueba piloto, se inició un plan para construir más bahías a ras del suelo, esta tesis analizará las dos primeras bahías construidas.

Tabla 4,5 Bahías a ras del suelo.

N	Bahías a ras del Suelo	Capacidad	Implementación
1	Culvert #3	5	sep-19
2	Presidencia	6	abr-19

Fuente: Elaboración Propia.

### BAHÍAS A RAS DEL SUELO "PRESIDENCIA".

Las bahías "Presidencia" se encuentra dentro de la fase N°6 del tajo Amadís, para ello se tuvo que hacer una modificación de dicha fase para generar una plataforma en la cual fue posible construir las bahías, estas bahías inicio su funcionamiento en abril del 2019 con seis bahías disponibles.



Figura 4,28 Vista general de bahías "Presidencia".

Fuente: Elaboración Propia.

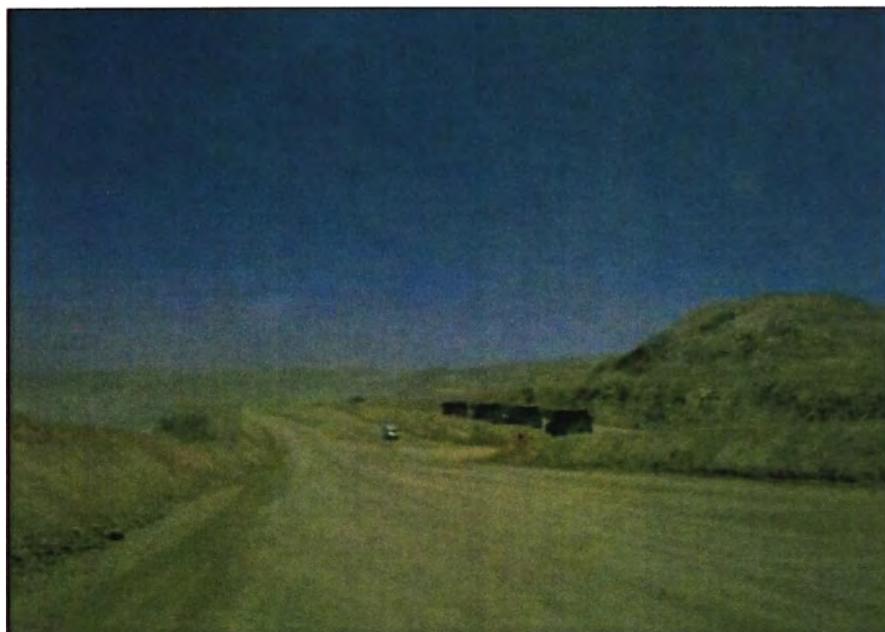


Figura 4,29 Vista del relevo en las bahías "Presidencia".

Fuente: Elaboración Propia.

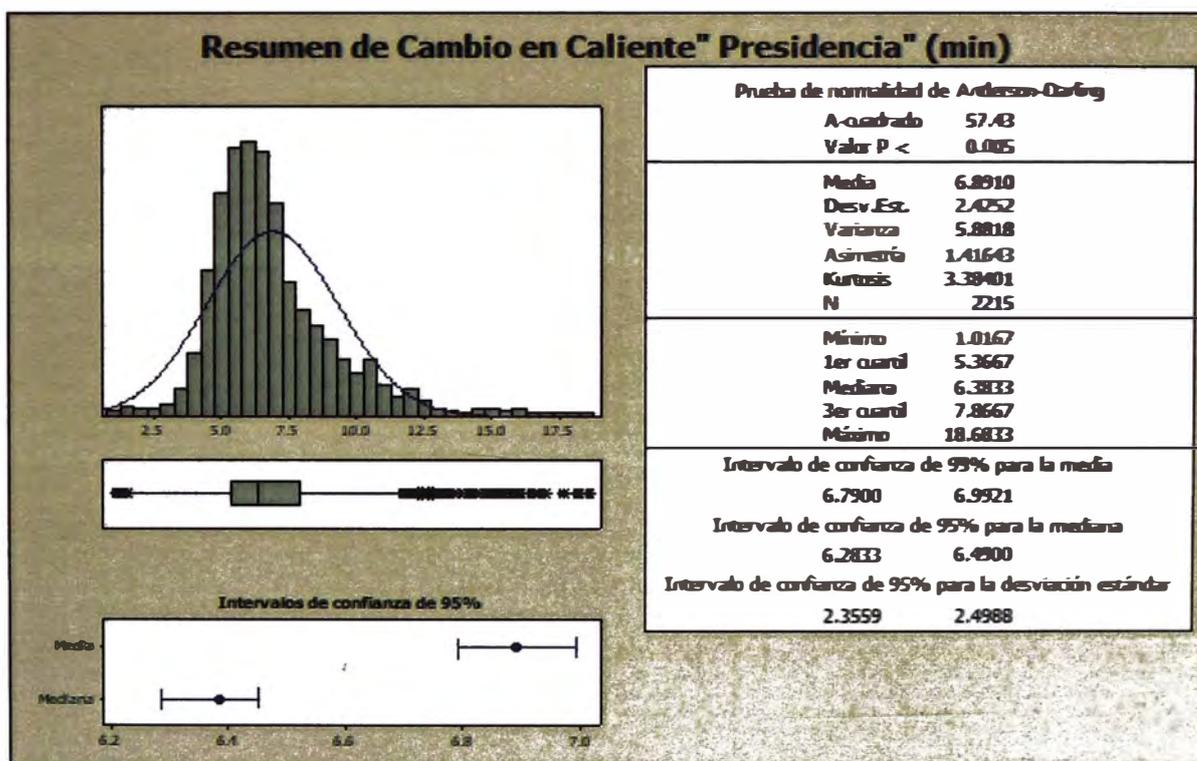


Figura 4,30 Resumen estadístico de las bahías "Presidencia".

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que el tiempo de relevo en las bahías a ras del suelo “Presidencia” tiene una media de 6.89 minutos y una desviación estándar de 2.45 minutos.

### **BAHÍAS A RAS DEL SUELO “CULVERT 3”**

Construido cerca al botadero “Culvert 3”, dicho botadero es relevante puesto que al profundizar la fase N°6 del tajo Amadís será el botadero más cercano. Inició su funcionamiento en septiembre del 2019 con cinco bahías disponibles.



Figura 4,31 Diseño de bahías “CULVERT 3”.

Fuente: Elaboración Propia.

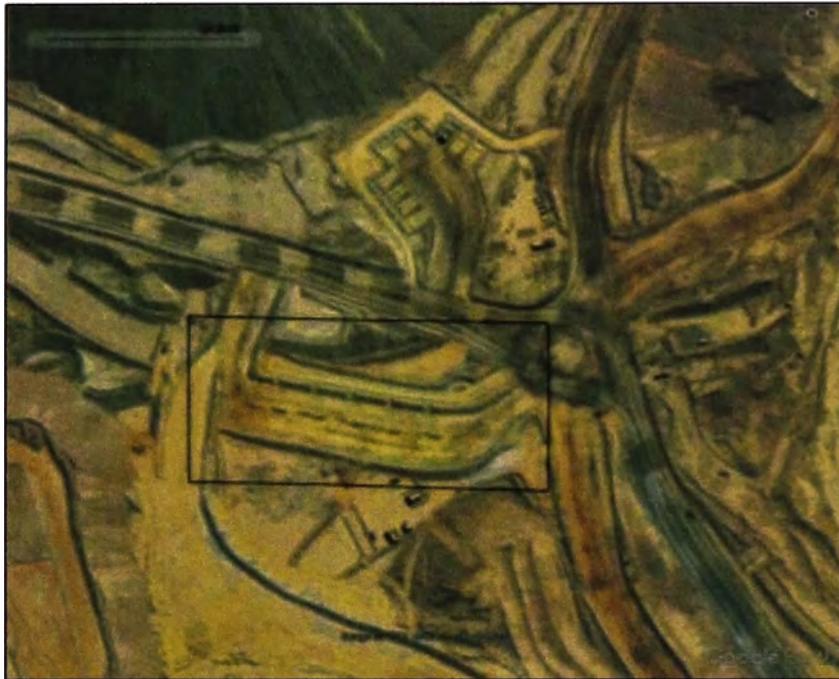


Figura 4,32 Vista satelital de las bahías "Culvert 3".

Fuente: Elaboración Propia.

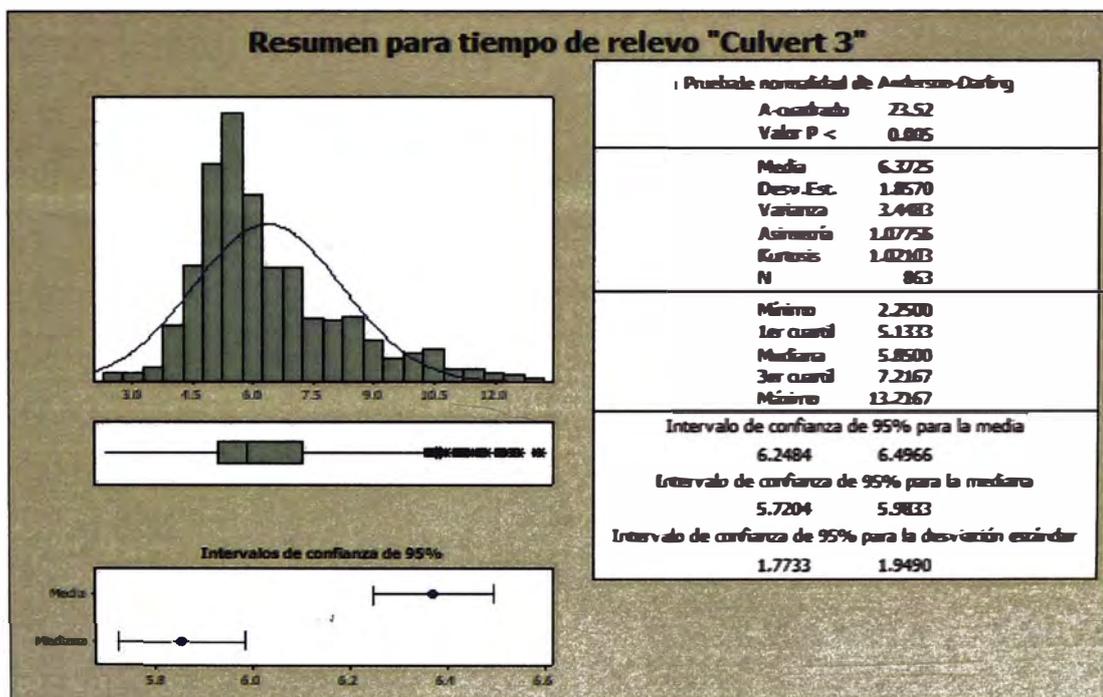


Figura 4,33 Resumen estadístico de las bahías "Culvert 3".

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que el tiempo de relevo en las bahías a ras del suelo “Culvert 3” tiene como media 6.37 y una desviación estándar de 1.85 minutos.

#### 4.9. RESUMEN DE TIEMPO DE RELEVO EN LAS BAHÍAS A RAS DEL SUELO

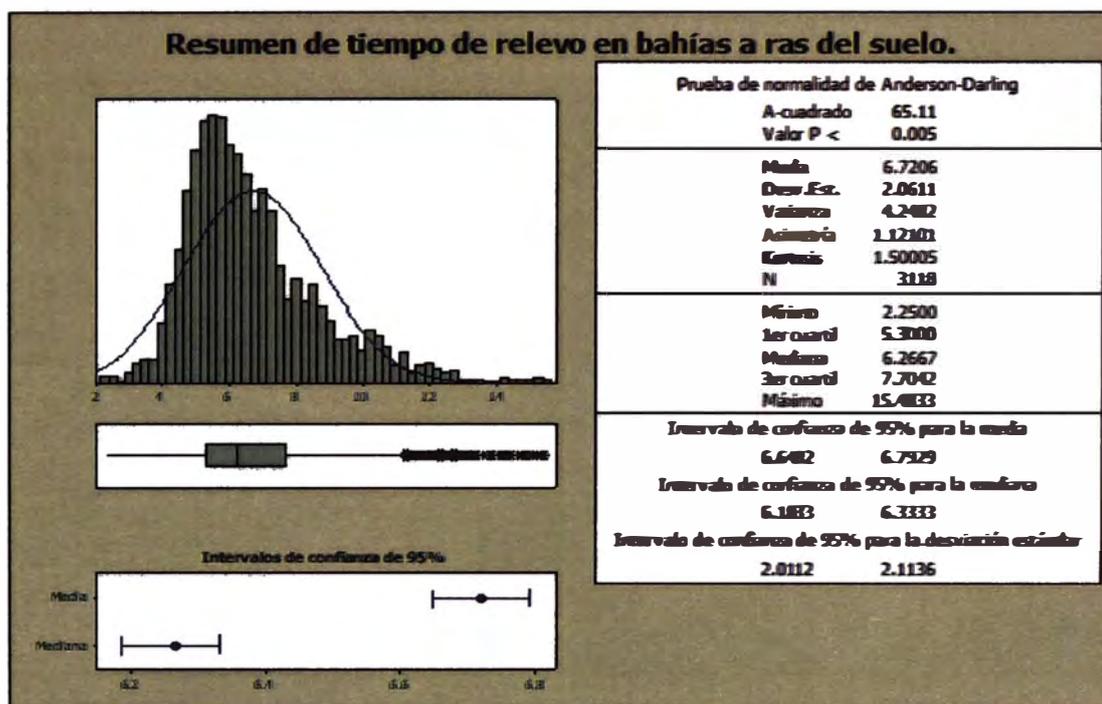


Figura 4,34 Estadísticas del tiempo de relevo en bahías a ras del suelo.

Fuente: Elaboración Propia.

Con los tiempos de relevo de las bahías a ras del suelo analizadas se puede concluir que la media es igual a 6.72 minutos con una desviación estándar de 2.06 minutos.

#### 4.10. GENERACIÓN DE MODELO DE SIMULACIÓN DEL CAMBIO EN CALIENTE TINAJONES

Para generar el modelo se requirió los datos estadísticos del tiempo que tarda el camión minero en recorrer cada tramo, tiempo de carguío, tiempo de descarga y el tiempo que tarda en realizar el relevo.

Además, se consideró la fase N° 6 del tajo Amadís, que se encontraba en desbroce y todo el desmote minado tenía como único destino el botadero “BOTTNJ”. En este botadero se construyó la primera zona de bahías a ras del suelo en ella se realizó la prueba piloto de relevo de los operadores de camión.

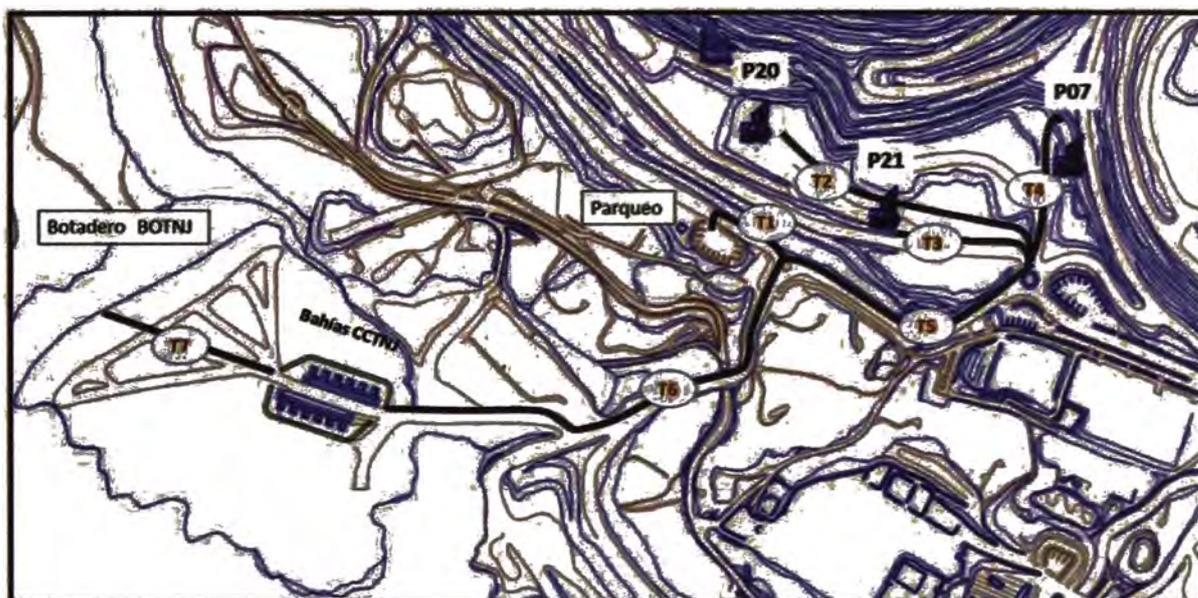


Figura 4,35 Topografía de la fase 6 y el botadero TNJ.

Fuente: Elaboración Propia.

Se presentan tablas con las estadísticas de los tiempos obtenidos de todos los tramos usados para el acarreo de material, para ello se generaron balizas en el sistema dispatch con el fin de almacenar los tiempos de entrada y salida de cada camión al pasar por cada baliza, los tramos están identificados desde el tramo T1 al T7.

A continuación, se muestran las tablas de tiempos de acarreo de los tramos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7

Tabla 4,6 Tiempos correspondientes al tramo T1.

<b>T1</b>	<b>Distancia (m)</b>	322
	<b>Inclinación promedio</b>	0.0%

<b>Dirección</b>	<b>Estado</b>	<b>Tiempo Cronómetro</b>	<b>Promedio (seg)</b>
<b>Ida</b>	<b>Vacío</b>	00:00:41	41.00
<b>Ida</b>	<b>Cargado</b>	00:00:58	58.00
<b>Regreso</b>	<b>Vacío</b>	00:00:36	36.00
<b>Regreso</b>	<b>Cargado</b>	00:00:39	39.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4,7 Tiempos correspondientes al tramo T2.

<b>T2</b>	<b>Distancia (m)</b>	710
	<b>Inclinación promedio</b>	3.9%

<b>Dirección</b>	<b>Estado</b>	<b>Tiempo Cronómetro</b>	<b>Promedio (seg)</b>
<b>Ida</b>	<b>Vacío</b>	00:01:35	95.00
<b>Ida</b>	<b>Cargado</b>	00:01:47	107.00
<b>Regreso</b>	<b>Vacío</b>	00:01:33	93.00
<b>Regreso</b>	<b>Cargado</b>	00:01:43	103.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4,8 Tiempos correspondientes al tramo T3.

<b>T3</b>	<b>Distancia (m)</b>	455
	<b>Inclinación promedio</b>	0.5%

<b>Dirección</b>	<b>Estado</b>	<b>Tiempo Cronómetro</b>	<b>Promedio (seg)</b>
<b>Ida</b>	<b>Vacío</b>	00:01:08	68.00
<b>Ida</b>	<b>Cargado</b>	00:01:17	77.00

<b>Regreso</b>	<b>Vacio</b>	00:01:01	61.00
<b>Regreso</b>	<b>Cargado</b>	00:01:06	66.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4,9 Tiempos correspondientes al tramo T4.

<b>T4</b>	<b>Distancia (m)</b>	426
	<b>Inclinación promedio</b>	9.9%

<b>Dirección</b>	<b>Estado</b>	<b>Tiempo Cronómetro</b>	<b>Promedio (seg)</b>
<b>Ida</b>	<b>Vacio</b>	00:01:07	67.00
<b>Ida</b>	<b>Cargado</b>	00:01:17	77.00
<b>Regreso</b>	<b>Vacio</b>	00:01:25	85.00
<b>Regreso</b>	<b>Cargado</b>	00:01:30	90.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4,10 Tiempos correspondientes al tramo T5.

<b>T5</b>	<b>Distancia (m)</b>	706
	<b>Inclinación promedio</b>	7.8%

<b>Dirección</b>	<b>Estado</b>	<b>Tiempo Cronómetro</b>	<b>Promedio (seg)</b>
<b>Ida</b>	<b>Vacio</b>	00:01:40	100.00
<b>Ida</b>	<b>Cargado</b>	00:03:27	207.00
<b>Regreso</b>	<b>Vacio</b>	00:01:50	110.00
<b>Regreso</b>	<b>Cargado</b>	00:01:54	114.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4,11 Tiempos correspondientes al tramo T6.

<b>T6</b>	<b>Distancia (m)</b>	1391
	<b>Inclinación promedio</b>	3.9%

<b>Dirección</b>	<b>Estado</b>	<b>Tiempo Cronómetro</b>	<b>Promedio (seg)</b>
------------------	---------------	--------------------------	-----------------------

<b>Ida</b>	<b>Vacío</b>	00:03:15	195.00
<b>Ida</b>	<b>Cargado</b>	00:04:49	289.00
<b>Regreso</b>	<b>Vacío</b>	00:02:42	162.00
<b>Regreso</b>	<b>Cargado</b>	00:02:44	164.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4,12 Tiempos correspondientes al tramo T7.

<b>T7</b>	<b>Distancia (m)</b>	729
	<b>Inclinación promedio</b>	-0.7%

<b>Dirección</b>	<b>Estado</b>	<b>Tiempo Cronómetro</b>	<b>Promedio (seg)</b>
<b>Ida</b>	<b>Vacío</b>	00:01:17	77.00
<b>Ida</b>	<b>Cargado</b>	00:01:39	99.00
<b>Regreso</b>	<b>Vacío</b>	00:01:54	114.00
<b>Regreso</b>	<b>Cargado</b>	00:01:50	110.00

Fuente: Elaboración Propia.

Para obtener el tiempo que tarda en realizar el relevo, usaremos los datos obtenidos de la prueba piloto.

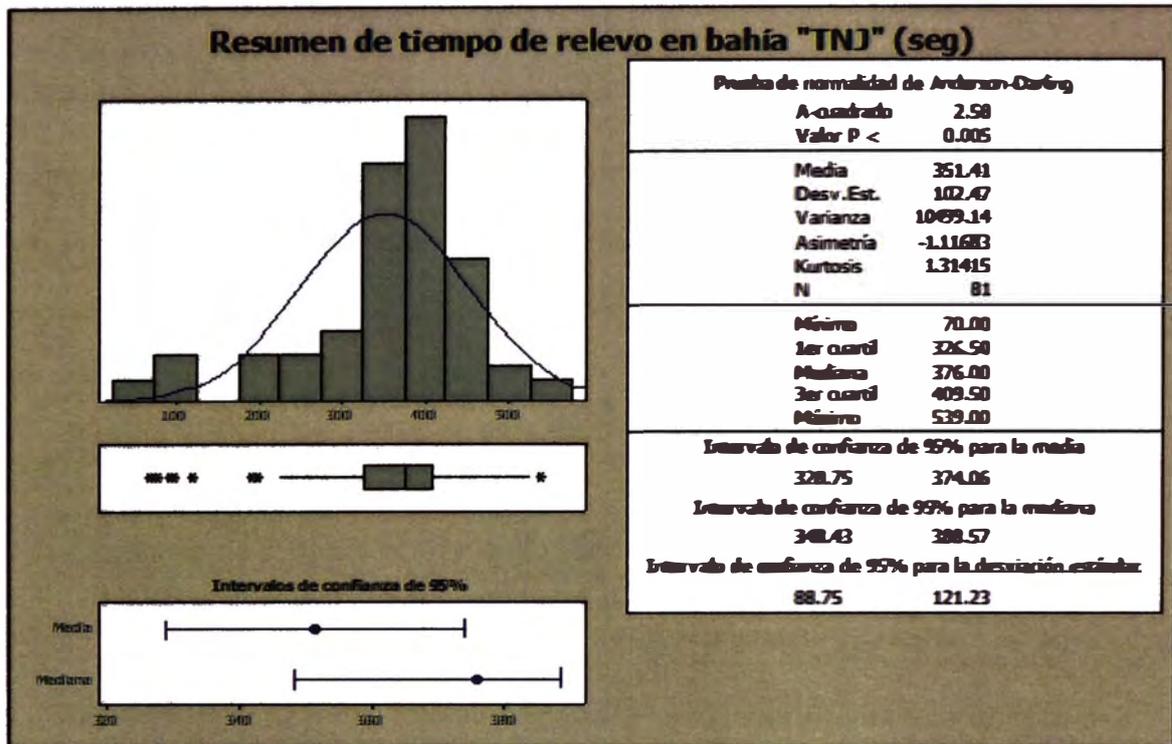


Figura 4,36 Resumen de tiempo de relevo en la bahía piloto en segundos.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar el tiempo promedio para realizar el relevo en las bahías es de 351.41 segundos (5.856 minutos) con una desviación estándar de 102.47 segundos (1.707 minutos).

Antes de iniciar la codificación en GPSS mostraremos el diagrama de bloques. Luego se presentará el código en GPSS con la explicación de los bloques y finalmente se presentará el código en lenguaje GPSS/H para la simulación en PROOF.

Utilizamos parámetros del GPSS para saber si un operador de camión hizo o no el relevo, para ello se define el parámetro P3 igual a 1 (para cuando el camión aún no ha usado las bahías para realizar el relevo) y P3 igual a 2 (para cuando ya se realizó el relevo), adicionalmente definimos el botadero llamado "BOT" como un proceso STORAGE con capacidad para atender a 3 camiones en simultáneo, también definimos a las bahías como ESTORAGE con capacidad para atender a 6 camiones

como máximo en simultaneo, las bahías están separadas en cada lado de la vía y los nombrados como "CCALIENT1" Y "CCALIENT2".

También utilizamos atributos numéricos SNA (variables que describen el estado del sistema a lo largo de la simulación), estos atributos pueden ser usados como argumentos de otras funciones como, por ejemplo: C1 en cual representa el tiempo de simulación.

Consideraciones para la simulación:

- Tiempo de simulación (Ts): 43200 segundos, equivalentes a 12 horas.
- Número de camiones: 22 camiones de 240 toneladas cada uno.

La simulación empieza a las 7:30 am (esta hora representa el tiempo cero), el periodo de refrigerio se da entre las 11:30hrs y 15:00hrs, entonces en la simulación esto sucederá entre los segundos [12600-27000], esto quiere decir que dentro de este intervalo los camiones usan las bahías de cambio en caliente para hacer el relevo.



### 4.10.2. Código GPSS

```

****SIMULACIÓN: CAMBIO EN CALIENTE "TNJ" POR REFRIGERIO ****
        INITIAL  X$TMDES,0
        INITIAL  X$TMP07,0
        INITIAL  X$TMP20,0
        INITIAL  X$TMP21,0
BOT      STORAGE  3
CCALIEN1 STORAGE  6
CCALIEN2 STORAGE  6
*****TIEMPOS DE ACARREO*****
T1       EQU      41
T2C      EQU      103
T3C      EQU      66
T4C      EQU      67
T5C      EQU      207
T6C      EQU      289
T7C      EQU      99
T1V      EQU      41
T2V      EQU      95
T3V      EQU      68
T4V      EQU      90
T5V      EQU      110
T6V      EQU      162
T7V      EQU      114
*****INICIO DE SIMULACION*****
        GENERATE 60,15,0,22           ;GNR 30 CAMIONES
        ASSIGN   3,1                 ;P3=1 AÚN NO RELEVA
        ADVANCE  T1V
DISTRI    ADVANCE  T5V
        TRANSFER 0.80,AP07,AP2021
AP07     ADVANCE  T4V
        QUEUE   QPALA07
        SEIZE   PALA07
        DEPART  QPALA07
        ADVANCE 168,30
        SAVEVALUE TMP07+,240
        RELEASE PALA07
        ADVANCE T4C

```

```

RUTBOT  ADVANCE  T5C
        ADVANCE  T6C
        TEST GE  C1,14400,SALIR1      ;REFRIGERIO [14400-
27000]
        TEST LE  C1,27000,SALIR1      ;REFRIGERIO [14400-
27000]
        TEST E   P3,1,SALIR1          ;SI NO HA RELEVADO
        GATE SNF CCALIEN1,SALIR1      ;RELEVO CAMIONES
CARGADOS
        ENTER    CCALIEN1
        ADVANCE  351.41,102.47
        ASSIGN   3,2                  ;P3=2 OPERADOR RELEVADO
        LEAVE    CCALIEN1
SALIR1  ADVANCE  T7C
        QUEUE    QBOT
        ENTER    BOT
        DEPART   QBOT
        ADVANCE  100,35
        SAVEVALUE TMDDES+,240
        LEAVE    BOT
        ADVANCE  T7V
        TEST GE  C1,14400,SALIR2      ;REFRIGERIO [14400-
27000]
        TEST LE  C1,27000,SALIR2      ;REFRIGERIO [14400-
27000]
        TEST E   P3,1,SALIR2
        GATE SNF CCALIEN2,SALIR2      ;RELEVO CAMIONES VACIOS
        ENTER    CCALIEN2
        ADVANCE  351.41,102.47
        ASSIGN   3,2
        LEAVE    CCALIEN2
SALIR2  ADVANCE  T6V
TSIMULA TEST L   C1,43200,FIN          ;TIEMPO 12*60*60
        TRANSFER ,DISTR1
AP2021  TRANSFER 0.5,AP21,AP20
AP20    ADVANCE  T2V
        QUEUE    CP20
        SEIZE    PALA20
        DEPART   CP20

```

```

ADVANCE 106,15
SAVEVALUE TMP20+,240
RELEASE PALA20
ADVANCE T2C
TRANSFER ,RUTBOT
AP21 ADVANCE T3V
QUEUE CP21
SEIZE PALA21
DEPART CP21
ADVANCE 106,20
SAVEVALUE TMP21+,240
RELEASE PALA21
ADVANCE T3C
TRANSFER ,RUTBOT
FIN ADVANCE T1V
TERMINATE 1
START 22 ; ELIMINA CAMIONES DEL SISTEMA

```

\*\*\*\*NOTA: las líneas de código que están resaltadas en azul y en cursiva son instrucciones para el relevo en las bahías\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*FIN DE SIMULACIÓN\*\*\*\*\*

#### 4.10.3. Validación del Modelo.

El promedio total de toneladas minadas reales es de 155,000 toneladas por turno y el modelo muestra 159,360 toneladas por turno, esta diferencia representa el 3%, con lo cual queda validado el modelo de simulación.

Tabla 4,13 Producción Toneladas por Turno de 12 horas.

PALAS	PROMEDIO REAL (tpt)	SIMULACIÓN (tpt)
P07	35,000	29,280
P20	60,000	64,560
P21	60,000	65,520
<b>Total</b>	<b>155,000</b>	<b>159,360</b>

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.10.4. Resultados de la simulación

Al ejecutar el código el GPSS arroja el siguiente reporte:

##### Estadísticas de Servicios:

Tabla 4,14 Estadísticas de servicios (Palas).

Facility	Entries	Util.	Ave.time	Avail.	Owner	Pend	Inter	Retry
Pala21	273	0.643	105.397	1	0	0	0	0
Pala20	269	0.633	105.406	1	0	0	0	0
Pala07	122	0.458	168.29	1	0	0	0	0

Fuente: Reporte de GPSS.

##### Estadísticas de Colas.

Tabla 4,15 Estadísticas de Colas.

Queue	Max	Cont.	Entry	Entry(0)	Ave.cont	Ave.time	Ave.(-0)	Retry
Cp21	5	0	273	105	0.4	69.2	112.4	0
Cp20	3	0	269	116	0.3	47.6	83.7	0
Cp07	2	0	122	75	0.1	43.9	114.0	0
Qbot	2	0	664	634	0.0	0.8	17.0	0

Fuente: Reporte de GPSS.

### **Estadísticas de Multiservicio.**

Tabla 4,16 Estadísticas de Multiservicio.

Storage	Cap.	Rem.	Min.	Max.	Entries	Avl.	Ave.c.	Util.
Bot	3	3	0	3	664	1	1.496	0.499
Bahía 1	6	6	0	6	14	1	0.124	0.021
Bahía 2	6	6	0	6	8	1	0.065	0.011

Fuente: Reporte de GPSS.

### **Estadísticas de Producción.**

Tabla 4,17 Producción.

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
TMD5	0	159360
TMP07	0	29280
TMP20	0	64560
TMP21	0	65520

Fuente: Reporte de GPSS.

Con este reporte se puede validar el modelo de simulación, al hallar la diferencia porcentual de los esperado vs lo obtenido:

#### **4.10.5. Análisis de sensibilidad del modelo.**

Se analizará el costo total según el número de camiones, teniendo en cuenta que el costo de acarreo por tonelada (0.91 \$/tn) y el costo por hora (353.45 \$/h). Analizamos el costo total y no las toneladas acarreadas, puesto que al incrementar camiones en el sistema se generan más demoras en las colas de los servicios.

Tabla 4,18 Costo total según número de camiones.

Número de camiones	Toneladas Acarreadas	Costo de Acarreo (\$)	Demoras en Colas (segundos)	Costo de Demoras (\$)	Costo Total (\$)
22	159,360	145,018	21,182	2,080	147,097
<b>24</b>	<b>172,320</b>	<b>156,811</b>	<b>26,749</b>	<b>2,626</b>	<b>159,437</b>
26	183,840	167,294	52,513	5,156	172,450
28	193,680	176,249	89,381	8,776	185,024
30	201,840	183,674	153,027	15,024	198,699
32	212,880	193,721	255,372	25,073	218,793
34	218,160	198,526	477,420	46,873	245,399
36	221,040	201,146	825,186	81,017	282,164
38	226,080	205,733	1,035,826	101,698	307,431
40	222,960	202,894	2,501,339	245,583	448,476

Fuente: Elaboración Propia.

Con lo cual tenemos el costo total en función del número de camiones en el sistema, generamos la función y la ajustamos a una función polinómica de orden 2, derivamos esta función para obtener el punto de inflexión de "y".

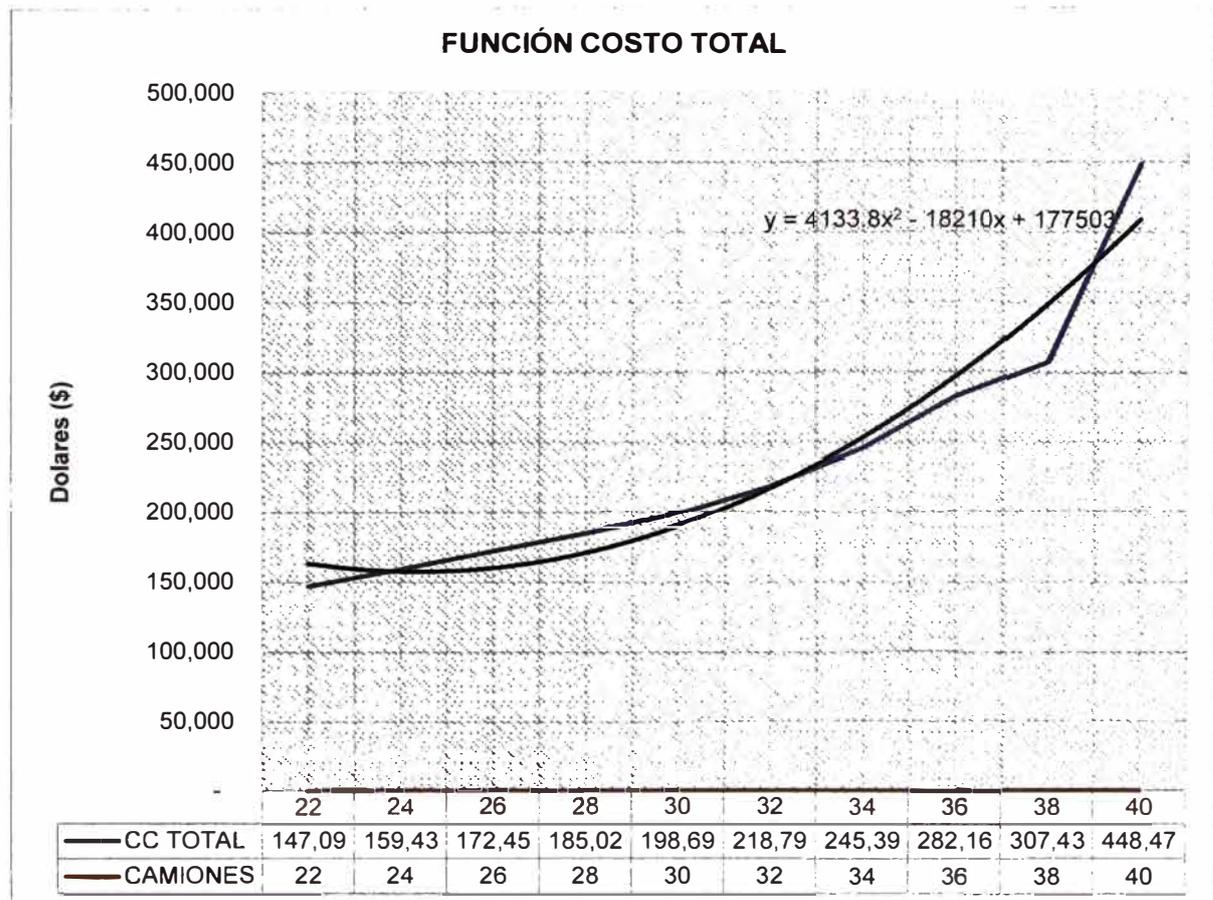


Figura 4,38 Función Costo Total.

Fuente: Elaboración Propia.

Derivando la función "y" se obtiene  $x=2.20$ , al reemplazar en la función se obtiene el valor que minimiza la función "y" que es igual a 157.448 \$, buscamos este valor en la tabla anterior para hallar el número de camiones requeridos para hacer más eficiente nuestro sistema y nos muestra que el número de camiones que minimiza el costo es de 24.

#### 4.10.6. Simulación Proof.

A continuación, se muestra el código GPSS/H para generar el archivo ATF y realizar la animación, la simulación se centra en las bahías de cambio en caliente omitiendo los servicios de las palas y las rutas hasta antes de ingresar al botadero.

```

SIMULATE
ATF      FILEDEF      'Calien.ATF'
        INTEGER &ID, &ID1
        BLET         &ID=0
        BLET         &ID1=0
BOT      STORAGE      3
*****
        GENERATE     50,20,0,30
        BPUTPIC
        FILE=ATF,LINES=4,AC1,XID1,XID1,XID1
TIME **.**
                                           ;Primer camino
CREATE ATRUCK T*
PLACE    T* ON PI1
SET T* TRAVEL 20
        ADVANCE      20
****Cambio de turno*****
        TEST LE      C1,500,RUTBOT1           ;PERIODO DE REFRIGERIO
ENTRE [16200-28800]
        TEST GE      C1,120,RUTBOT1
        BLET         &ID=&ID+1
        ASSIGN       1,&ID
        ASSIGN       2,1
        TEST LE      P1,4,RUTBOT1
        BPUTPIC      FILE=ATF,LINES=3,AC1,&ID,AC1
TIME **.**
WRITE ID **.*
WRITE TIEMPO * **

****PRIMERA BAHIA
BHCC4    TEST E P1,1,BHCC3
***** CAMINO1
CAM1     BPUTPIC
                                           FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME ** **
PLACE    T* ON PI1
SET T* TRAVEL 20
        ADVANCE      20
***** CAMINO2
CAM2     BPUTPIC
                                           FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME ** **

```

PLACE T\* ON PI12  
 SET T\* TRAVEL 20  
 ADVANCE 20

\*\*\*\*\* CAMINO3

CAM3 BPUTPIC FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1

TIME \*\* \*\*

PLACE T\* ON PI13  
 SET T\* TRAVEL 20  
 ADVANCE 20

\*\*\*\*\* CAMINO4

CAM4 BPUTPIC FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1

TIME \*\* \*\*

PLACE T\* ON PI14  
 SET T\* TRAVEL 20  
 ADVANCE 20

TEST E P2,1,CAM5

BHC4 SEIZE BH4  
 ADVANCE 80  
 RELEASE BH4

CAM5 BPUTPIC

FILE=ATF,LINES=4,AC1,XID1,XID1,XID1

TIME \*\*. \*\*

SET T\* CLASS BTRUCK

PLACE T\* ON PI15

SET T\* TRAVEL 20  
 ADVANCE 20

TRANSFER ,CAM11 ;;VUELVE A LA

CARRETERA

\*\*\*\*\*TRAMO3

BHCC3 TEST E P1,2,BHCC2

BPUTPIC

FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1

TIME \*\*. \*\*

PLACE T\* ON PI11

```

SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20
***** CAMINO2
      BPUTPIC                               FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE T* ON PI12
SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20
***** CAMINO3
      BPUTPIC                               FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME ** **
PLACE T* ON PI13
SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20

BHC3 SEIZE BH3
      ADVANCE 80
      RELEASE BH3
      ASSIGN 2,2
      TRANSFER ,CAM4
***** TRAM2
BHCC2 TEST E P1,3,BHCC1

***** CAMINO1
      BPUTPIC                               FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE T* ON PI11
SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20
***** CAMINO2
      BPUTPIC                               FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE T* ON PI12
SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20

BHC2 SEIZE BH2
      ADVANCE 80
      RELEASE BH2

```

ASSIGN 2,2  
TRANSFER ,CAM3

\*\*\*\*\* TRAM1

BHCC1 TEST E P1,4,RUTBOT1

\*\*\*\*\* CAMINO1

BPUTPIC FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1

TIME \*\*.\*\*

PLACE T\* ON PI11

SET T\* TRAVEL 20

ADVANCE 20

BHC1 SEIZE BH1

ADVANCE 80

RELEASE BH1

ASSIGN 2,2

TRANSFER ,CAM2

\*\*\*\*Se incorpora a la carretera

RUTBOT1 BPUTPIC FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1

TIME \*\*.\*\*

PLACE T\* ON PI21

SET T\* TRAVEL 20

ADVANCE 20

ASSIGN 3,2

CAM11 BPUTPIC FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1

TIME \*\*.\*\*

PLACE T\* ON PI22

SET T\* TRAVEL 20

ADVANCE 20

TRANSFER ,BOTAD

BOTAD ENTER BOT

ADVANCE 90

LEAVE BOT

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*DE VUELTA\*\*\*\*\*

```

                BPUTPIC                                FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
                ;Primer camino
PLACE T* ON PV21
SET T* TRAVEL 20
                ADVANCE      20

                TEST LE      C1,500,RUTBOT2            REFRIGERIO      [16200-
28800]
                TEST GE      C1,120,RUTBOT2
                TEST E P3,2,RUTBOT2
                BLET          &ID1=&ID1+1
                ASSIGN       1,&ID1
                ASSIGN       2,1
                TEST LE P1,4,RUTBOT2
                BPUTPIC      FILE=ATF,LINES=3,AC1,&ID,AC1
TIME **.**
WRITE ID **.*
WRITE TIEMPO * **

*****
****PRIMERA BAHIA
BHCC4V      TEST E P1,1,BHCC3V
***** CAMINO1
CAM1V       BPUTPIC                                FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE      T* ON PV23
SET T* TRAVEL 20
                ADVANCE      20
***** CAMINO2
CAM2V       BPUTPIC                                FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE      T* ON PV24
SET T* TRAVEL 20
                ADVANCE      20

***** CAMINO3
CAM3V       BPUTPIC                                FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE      T* ON PV25

```

```

SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20

***** CAMINO4
CAM4V      BPUTPIC                      FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE      T* ON PV26
SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20

      TEST      E P2,1,CAM5V

BHC4V      SEIZE      BH4V
      ADVANCE 80
      RELEASE BH4V

CAM5V      BPUTPIC
      FILE=ATF,LINES=4,AC1,XID1,XID1,XID1
TIME **.**
SET T* CLASS BTRUCK
PLACE      T* ON PV27
SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20
      TRANSFER ,CAM22                      ;;VUELVE      A      LA
CARRETERA

*****TRAMO3
BHCC3V     TEST E P1,2,BHCC2V
      BPUTPIC                      FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE      T* ON PV23
SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20

***** CAMINO2
      BPUTPIC                      FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE      T* ON PV24
SET T* TRAVEL 20
      ADVANCE 20

```

```

***** CAMINO3
          BPUTPIC                               FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE     T* ON PV25
SET T* TRAVEL 20
          ADVANCE 20

BHC3V     ADVANCE 80
          ASSIGN 2,2
          TRANSFER ,CAM4V
***** TRAM2
BHCC2V    TEST E P1,3,BHCC1V

***** CAMINO1
          BPUTPIC                               FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE     T* ON PV23
SET T* TRAVEL 20
          ADVANCE 20
***** CAMINO2
          BPUTPIC                               FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE     T* ON PV24
SET T* TRAVEL 20
          ADVANCE 20

BHC2V     ADVANCE 80
          ASSIGN 2,2
***** TRAM1
BHCC1V    TEST E P1,4,RUTBOT2

***** CAMINO1
          BPUTPIC                               FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE     T* ON PV23
SET T* TRAVEL 20
          ADVANCE 20

BHC1V     ADVANCE 80

```

```

                ASSIGN      2,2
                TRANSFER   ,CAM22
*****
RUTBOT2  BPUTPIC   FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE    T* ON PV222
SET T* TRAVEL 20
        ADVANCE    20

CAM22    BPUTPIC   FILE=ATF,LINES=3,AC1,XID1,XID1
TIME **.**
PLACE    T* ON PV223
SET T* TRAVEL 20
        ADVANCE    20
        BPUTPIC           FILE=ATF,LINES=2,AC1,XID1
TIME **.**
DESTROY T*
        TERMINATE 1

*****

                GENERATE  600
                TERMINATE 1
                START     10
                PUTPIC     FILE=ATF,LINES=2,AC1
TIME * ***
END
                END
*****FIN
CÓDIGO*****
DE

```

Al ejecutar este programa en GPSS/H se crea el Archivo ATF, este archivo guarda la lógica de la animación. Para ejecutar la animación se requiere de los archivos Layout y ATF; el Layout se genera desde el SP5 el cual contiene el diseño de cómo se mostrará la topografía, la zona de las bahías para cambio en caliente y las rutas por donde se moverán los camiones.

A continuación, se muestra la captura de pantalla de la animación del cambio de guardia en caliente:



Figura 4,39 Captura de pantalla de la animación en bahías

Fuente: Elaboración Propia.

La animación muestra con mayor claridad el funcionamiento del sistema de relevo en las bahías a ras del suelo, esta animación es muy útil para dar las instrucciones a los operadores de camiones; y explicar la lógica del funcionamiento.

Las figuras rojas representan a los camiones que aún no han realizado el relevo, mientras que las figuras azules representan a los camiones que ya han realizado el

relevo; una vez que todos los operadores hayan realizado el relevo se verán únicamente las figuras azules.

Por otro lado, la lógica del funcionamiento es como sigue: el primer camión cargado que llega al sistema toma la posición 1C, el segundo camión toma la posición 2C, el tercer camión toma la posición 3C y el último camión toma la posición 4C; bajo ningún motivo algún camión podrá adelantar a otro dentro de las bahías de cambio en caliente, debe esperar que el de adelante salga de las estructuras.

La misma lógica se desarrolla para los camiones que vacíos que realizan el relevo.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.**

##### **5.1.1. Hipótesis general**

**a) El cambio en caliente con bahías a ras del suelo incrementa la producción de mina.**

A continuación, se muestra una tabla con las estadísticas de producción mensual durante todo el año 2019, y el número de bahías que fueron implementadas por mes, tal como se observar.

Tabla 5,1 Estadísticas de Producción 2019.

<b>Meses</b>	<b>Producción mensual (tm)</b>	<b>N. Camiones</b>	<b>N. Bahías unitarias</b>
<b>Ene</b>	28,617,359	127	10
<b>Feb</b>	22,735,173	128	10
<b>Mar</b>	26,949,059	129	10
<b>Abr</b>	28,262,262	130	16
<b>May</b>	28,381,316	131	16
<b>Jun</b>	27,987,253	132	16

Meses	Producción mensual (tm)	N. Camiones	N. Bahías unitarias
Jul	28,142,753	133	16
Ago	27,947,266	134	16
Sep	28,803,481	135	21
Oct	30,640,908	136	21
Nov	29,584,265	137	21
Dic	30,652,460	137	21

Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro, se observa que hubo un incremento de producción durante el 2019 a la vez que se incrementó el número de bahías de cambio en caliente, sin embargo, esta comparación no es suficiente dado que en el mismo periodo también se incrementó la flota de camiones, tal como se muestra en el siguiente gráfico.

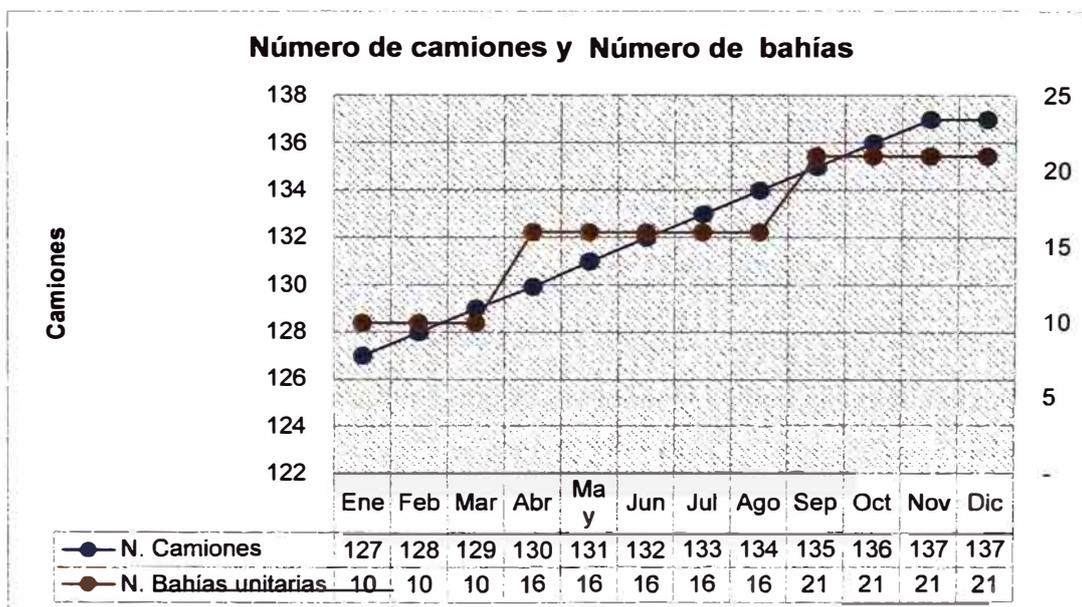


Figura 5,1 Número de camiones y número de bahías.

Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar si la hipótesis es correcta o no, se calcula la producción unitaria mensual de cada camión y la comparamos con la cantidad de bahías. Obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 5,2 Producción mensual por camión 2019.

Meses	Producción mensual (tm)	N. Camiones	Producción mensual por camión	N. Bahías unitarias
Ene	28,617,359	127	225,334	10
Feb	22,735,173	128	177,619	10
Mar	26,949,059	129	208,907	10
Abr	28,262,262	130	217,514	16
May	28,381,316	131	216,651	16
Jun	27,987,253	132	212,025	16
Jul	28,142,753	133	211,600	16
Ago	27,947,266	134	208,562	16
Sep	28,803,481	135	213,359	21
Oct	30,640,908	136	225,301	21
Nov	29,584,265	137	215,944	21
Dic	30,652,460	137	223,741	21

Fuente: Elaboración Propia.

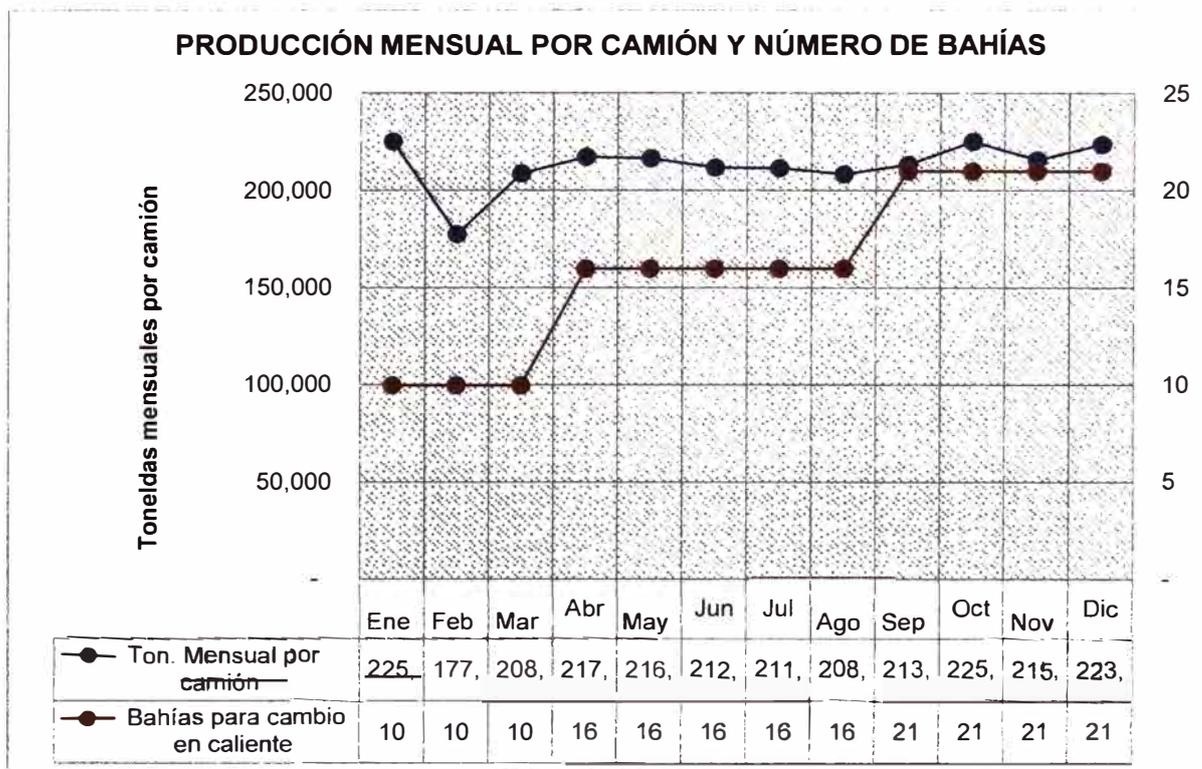


Figura 5,2 Toneladas mensuales por camión y número de bahías.

Fuente: Elaboración Propia.

Observamos que en marzo la producción unitaria mensual de cada camión fue 208,907 toneladas; en abril entró en operación las bahías "Presidencia", con lo cual la producción unitaria mensual se elevó a 217,514 toneladas y finalmente en septiembre entró en operación las bahías "Culvert 3" elevando la producción unitaria mensual a 223,741 toneladas, el cual representa un incremento de 7%. Entonces podemos afirmar que la hipótesis es correcta.

### 5.1.2. Hipótesis específica

- a) **El cambio en caliente con bahías a ras del suelo disminuye el tiempo de relevo de los operadores de camión.**

Del análisis estadístico del tiempo que toma realizar el relevo usando los parqueos y las bahías a ras del suelo, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 5,3 Resumen de estadísticas de parqueos y bahías a ras del suelo.

RESUMEN				
Grupos	Muestras	Suma	Promedio (min)	Varianza
Parqueos	6604	95302.52	14.43	58.89
Bahías a ras del suelo	3118	20954.71667	6.72	4.25

Fuente: Elaboración Propia.

Para demostrar si verdaderamente existe diferencias entre los tiempos promedios utilizaremos el método ANOVA.

Tabla 5,4 Análisis de varianza (ANOVA) entre parqueos y bahías a ras del suelo.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	125918.28	1	125918.28	3043.97	0.00	3.84
Dentro de los grupos	402081.91	9720	41.37	-	-	-
<b>Total</b>	<b>528000.19</b>	<b>9721</b>	-	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

Con el método del análisis de varianza se puede afirmar que existe diferencia estadísticamente significativa entre ambos métodos (Parqueos y Bahías a ras del

suelo), con un nivel de significancia de 0.05, un valor F-calculado de 3043.97 y un valor de F-crítico de 3.84. Rechazando de esta forma la hipótesis nula.

En otras palabras, el factor (bahías a ras del suelo) produce efectos significativos en la variable dependiente (tiempo de relevo), reduciendo el tiempo promedio de 14.43 minutos a 6.72 minutos.

**b) El cambio de guaría con bahías a ras del suelo reduce el Delta-C.**

Para ello se muestra las estadísticas del Delta C por meses y las bahías unitarias.

Tabla 5,5 Estadísticas de delta C.

Meses	Delta C (min)	Delta C PLAN (min)	Bahías unitarias
Ene	7.45	9.30	10
Feb	9.15	9.30	10
Mar	8.05	9.30	10
Abr	8.63	8.00	16
May	8.47	8.00	16
Jun	8.64	8.00	16
Jul	8.90	8.00	16
Ago	8.51	8.00	16
Sep	7.38	8.00	21
Oct	7.46	8.00	21
Nov	7.49	8.00	21
Dic	7.30	8.00	21

Fuente: Elaboración Propia.

Se elabora la siguiente gráfica:

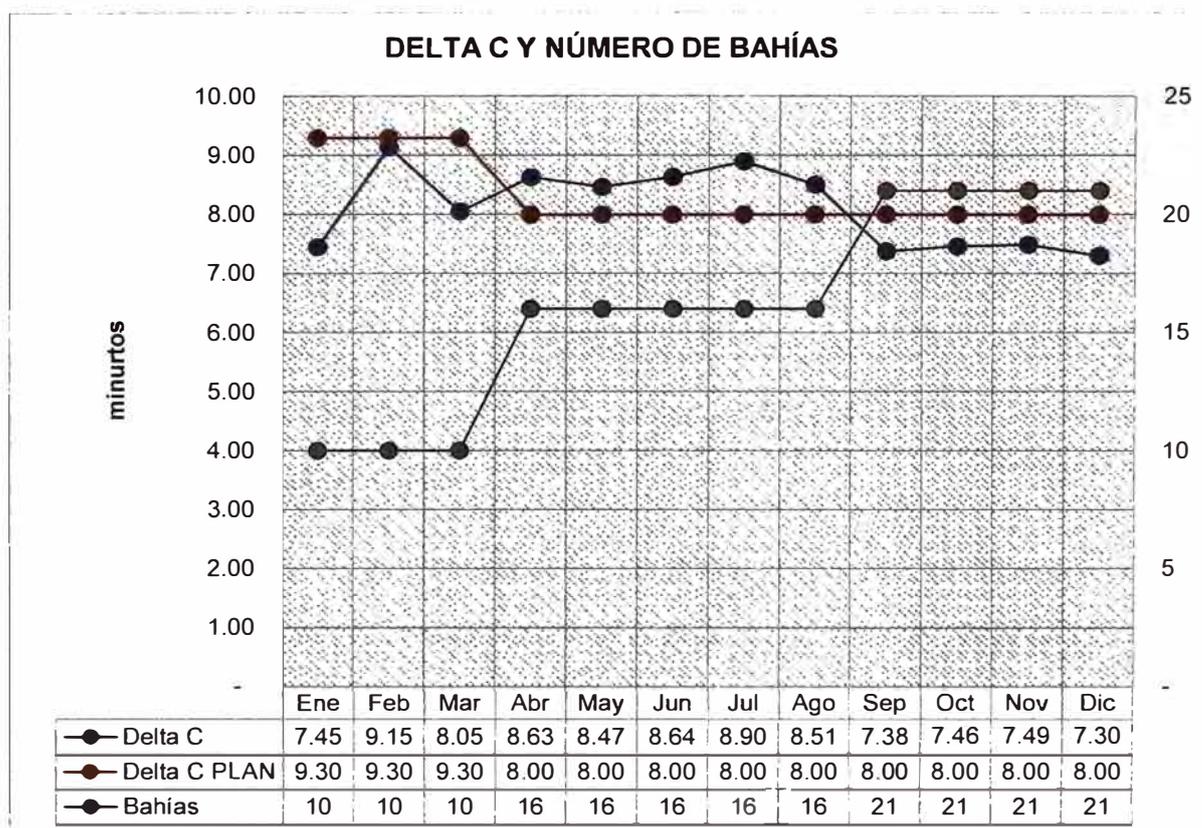


Figura 5,3 Delta C y Número de bahías por periodo.

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que a medida que se incrementan las bahías el Delta C disminuye, entonces se concluye que existe relación inversa entre ambas variables, aceptando la hipótesis planteada.

## CONCLUSIONES

- La investigación realizada determina que el tiempo promedio que toma realizar el relevo en los parques es de 14.43 minutos (con desviación estándar de 7.67 minutos), mientras que el tiempo promedio para realizar el relevo en las bahías a ras del suelo es de 6.72 minutos (con desviación estándar de 2.06 minutos), con ello se puede concluir que la implementación de bahías a ras del suelo logró disminuir el tiempo de realizar el relevo; para darle mayor certeza a esta afirmación se realizó el análisis de varianza (ANOVA) comprobando que existe efectos estadísticamente significativos al cambiar el método de realizar el relevo.
- Al analizar los tiempos de relevo en las bahías a desnivel se tiene que el tiempo promedio para realizar el relevo es de 5.35 minutos con una desviación estándar de 3.54, siendo este tiempo menor que el tiempo en las bahías a ras del suelo, sin embargo, la implementación de bahías a desnivel presenta un alto costo (20 mil dólares por bahía) y mayor tiempo de ejecución con respecto a las bahías a ras del suelo, por ese motivo se decidió implementar las bahías a ras del suelo, ya que se requieren estructuras fáciles de construir y de reubicar.
- Se determinó que el incremento de número de bahías produjo un incremento de la producción unitaria mensual por camión de: 208,907 toneladas por mes a 223,741 toneladas por mes, dando un incremento de 7% de la producción unitaria mensual;
- Se terminó que al incrementar bahías a ras del suelo se logró reducir el delta C de 8.63 minutos a 7.30 minutos dando una reducción del 15%.

- Después de realizar la prueba piloto y generar un procedimiento para esta nueva actividad (relevo en bahías a ras del suelo), estos resultados fueron presentados a la gerencia mina obteniendo la aprobación para elaborar un plan de implementación de bahías a ras del suelo. De esta manera se ejecutó el plan de implementación teniendo en cuenta los mapas al fin de cada trimestre para el año 2019 - 2020 y también el flujo de acarreo de las principales rutas de la mina, con ello se identificó zonas de alto tránsito y zonas posibles donde generar plataformas para la construcción de bahías. Como resultados de este plan se construyeron las bahías a ras del suelo "Presidencia" en el mes de abril del 2019, el cual se encuentra dentro de la fase número seis del tajo Amadís y las bahías "Culvert 3" en el mes de septiembre del 2019, el cual fue se encuentra al ingreso del botadero (Oeste), adicionalmente en el 2020 construyeron tres zonas de bahías adicionales, como: Bahías "SiteD", "Culvert4" y "Baja ley".
- El modelo de simulación generado en GPSS incluye el algoritmo de simulación el sistema de relevo en bahías como una actividad adicional en el acarreo, con este algoritmo se podría simular el comportamiento del acarreo en otras minas de tajo abierto, adicionalmente a ello se elaboró un modelo de simulación para el sistema de relevo en las bahías a ras del suelo con en el lenguaje GPSS/H para vincularlo con el PROOF y de esta manera obtener la animación; estoy seguro que esta última parte despertará la curiosidad de otros investigadores que deseen implementar animaciones para representar actividades del rubro minero.

## RECOMENDACIONES

- Continuar con la implementación de bahías para cubrir la demanda de atención de toda la flota de camiones.
- Generar balizas para recolección de data en las bahías para cambio en caliente.
- Contar con suficiente personal de sobre tiempo para relevar a los operadores en la hora de refrigerio.
- Continuar con la capacitación de los operadores para realizar el relevo de forma segura y que estos sepan con exactitud la ubicación de cada zona de bahías.
- Revisar los mapas finales de cada periodo, para identificar zonas de alto tránsito y construir bahías asegurando que no sean impactadas a corto plazo.
- Continuar con el estándar para la implementación de nuevas bahías a ras del suelo, en medida que siga cumpliendo la normativa actual.
- Practicar con los ejemplos del marco teórico referentes al PROOF y GPSS/H, ya que este es un intento de explicar con capturas de pantalla los ejemplos propuestos del libro Discrete Simulation and Animation Mining Engineers del Profesor John R. Sturgul
- Como medida de controlar los contagios por la pandemia se debe implementar procedimientos de desinfección de las cabinas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Sturgul, J. (2016). *Discrete simulation and animation for mining engineers*.
- Ramos, A. (2010). *Teoría de Colas*. España: Universidad Pontificia Comillas.
- Córdova, M. (2014). *Estadística Descriptiva e Inferencial (5ª, ed.)*. Editorial Librería MOSHERA - Perú
- Pazos, J, Gonzáles, A, Días, R. (2003). *Teoría de Colas y Simulación de eventos Discretos*. Editorial librería MOSHERA - Perú
- Law, A. (2009). *How to build valid and credible simulation models*.
- Marín, A. (2012). *Apuntes del curso "Análisis de Sistemas Mineros"*, FIGMM Universidad Nacional de Ingeniería, Lima –Perú.
- Marín A. (2013). *Manual de Curso Taller "Aplicación de la Simulación de transporte con GPSS al Planeamiento de Minado"*. Chile
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2002). *Investigación de operaciones*. Editorial McGraw-Hill/Interamer
- Hamdy, T. (2004). *Investigación de operaciones. Nucaipan de Juárez*. Pearson Educación. icana Editores, SA.
- Tarifa, E. E. (2001). *Teoría de modelos y simulación*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Jujuy.
- Guerrero H. (2018). *Excel Data Analysis Modeling and Simulation second edition*. Springer

## **ANEXOS**

### **ANEXO N°1: FLUJO DE ACARREO POR TRIMESTRE 2018-2019 DE LAS PRINCIPALES RUTAS.**

Para identificar las rutas con mayores flujos se analizó el plan Forecast 2018-2019, se filtraron los envíos de mineral y desmonte por trimestre, y de esta manera identificar las rutas con mayores flujos. Una vez identificadas las zonas se realizaron los diseños de cambio en caliente que se ajusten a la topografía actual o el que tome menor trabajo de movimiento de tierras, así también identificar estructuras cercanas y evaluar su reubicación o cuidado.

A continuación, se muestran los planos de las rutas y gráficos de toneladas acarreadas por trimestre.

**A) Ruta: "GRIFO NORTE"**

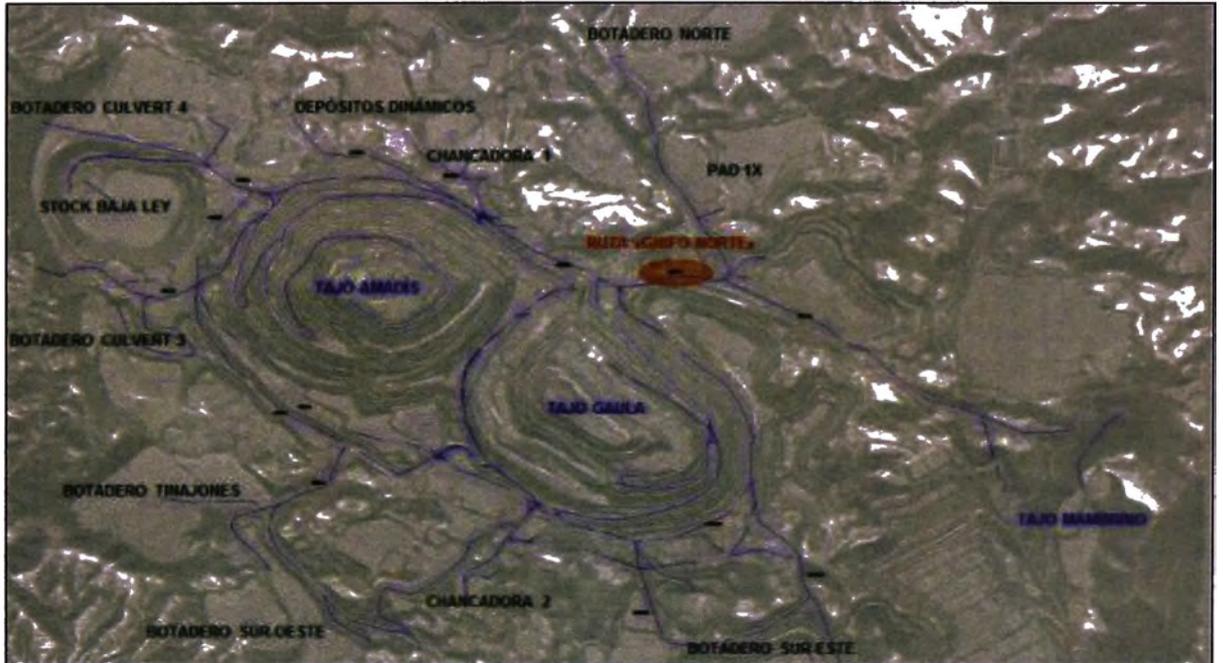


Figura A.1. Plano de Rutas "Grifo Norte"

Fuente: Elaboración Propia.

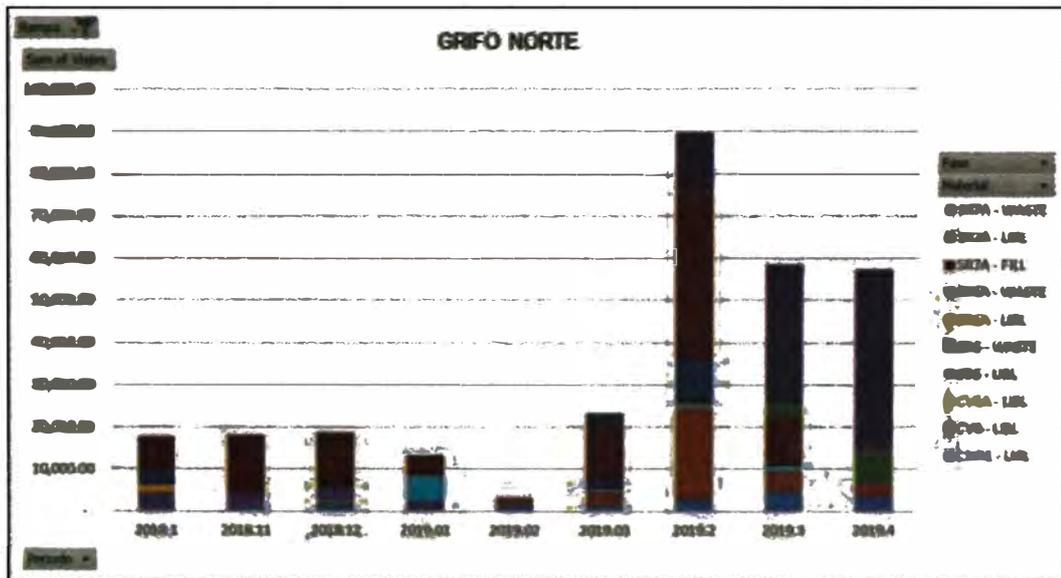


Figura A,2 Toneladas acarreadas por la vía "Grifo Norte".

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que el pico más alto se da en el segundo trimestre del 2019.

**B) Ruta: “PERIMETRAL”**

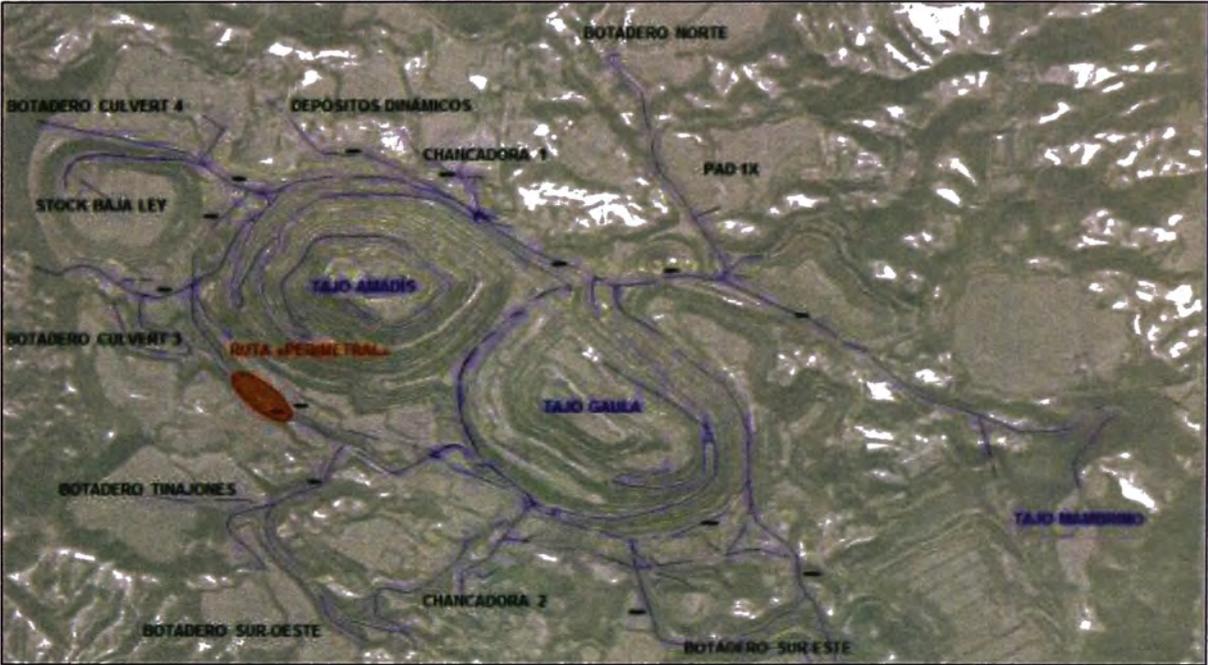


Figura A,3 Plano de Rutas “Perimetral”

Fuente: Elaboración Propia.

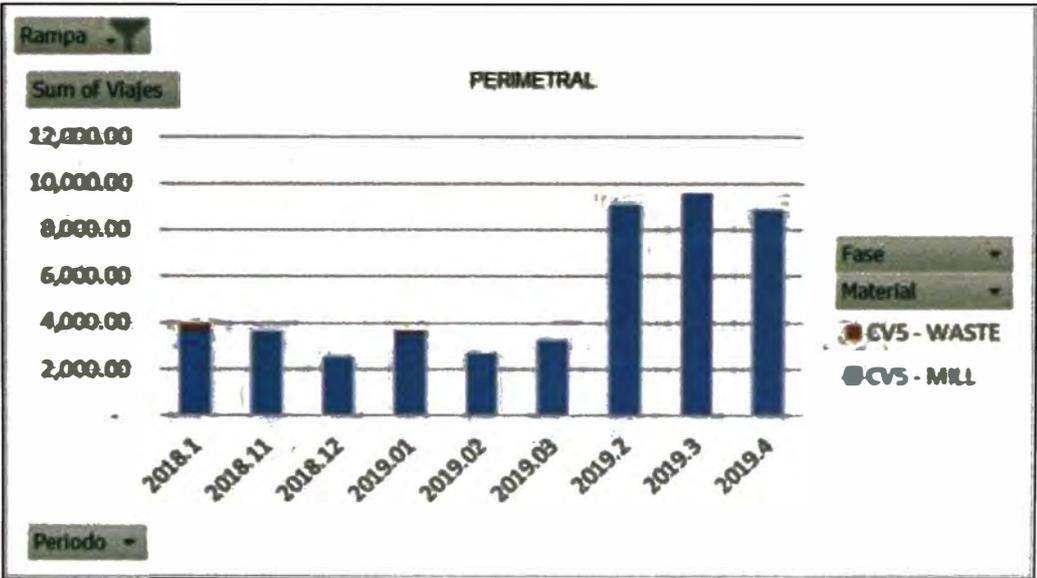


Figura A,4 Toneladas acarreadas por la vía “Perimetral”

Fuente: Elaboración Propia.

La vía perimetral se usa principalmente para acarrear desmonte hacia los botaderos ubicados en la zona oeste, en el gráfico de barras se puede observar un incremento considerable de flujo de acarreo a partir del segundo trimestre del 2019, esto se debe principalmente a la apertura de un nuevo botadero con ruta más corta y adicionalmente a ello se inició el envío de mineral de un depósito de baja ley hacia la chancadora ubicada en el sur de la mina. Por ambas razones se recomendó la construcción de bahías a ras del suelo.

### C) Ruta: "AMADÍS\_6"

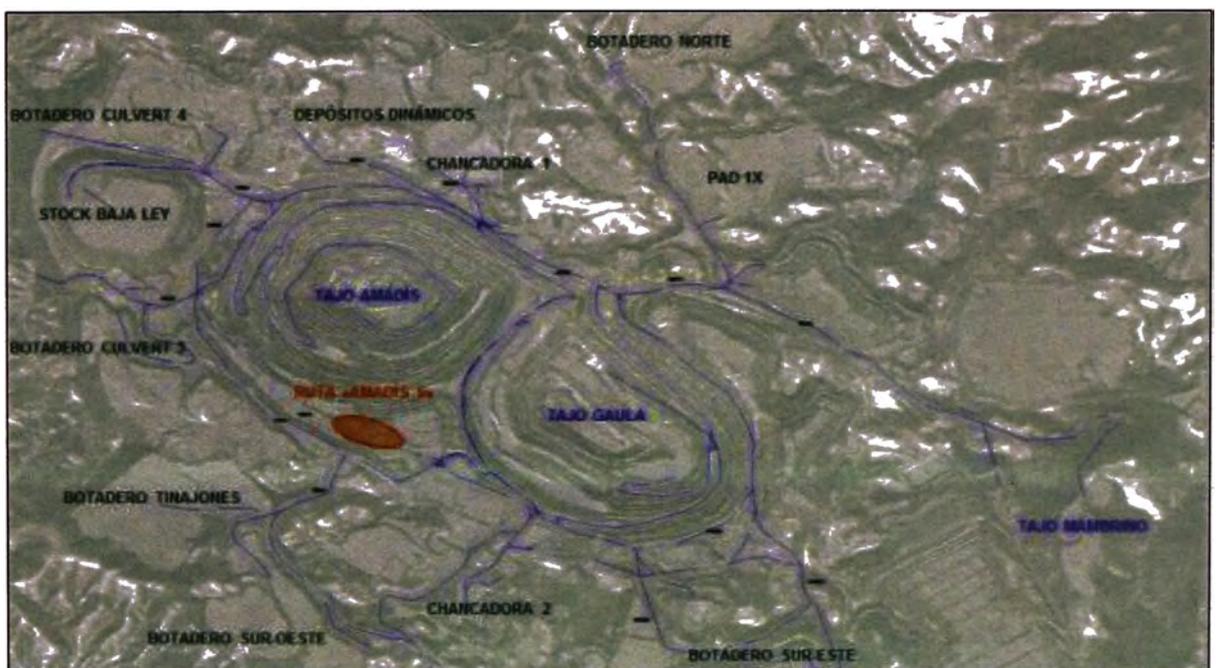


Figura A,5 Plano de Rutas "Amadís\_6"

Fuente: Elaboración Propia.

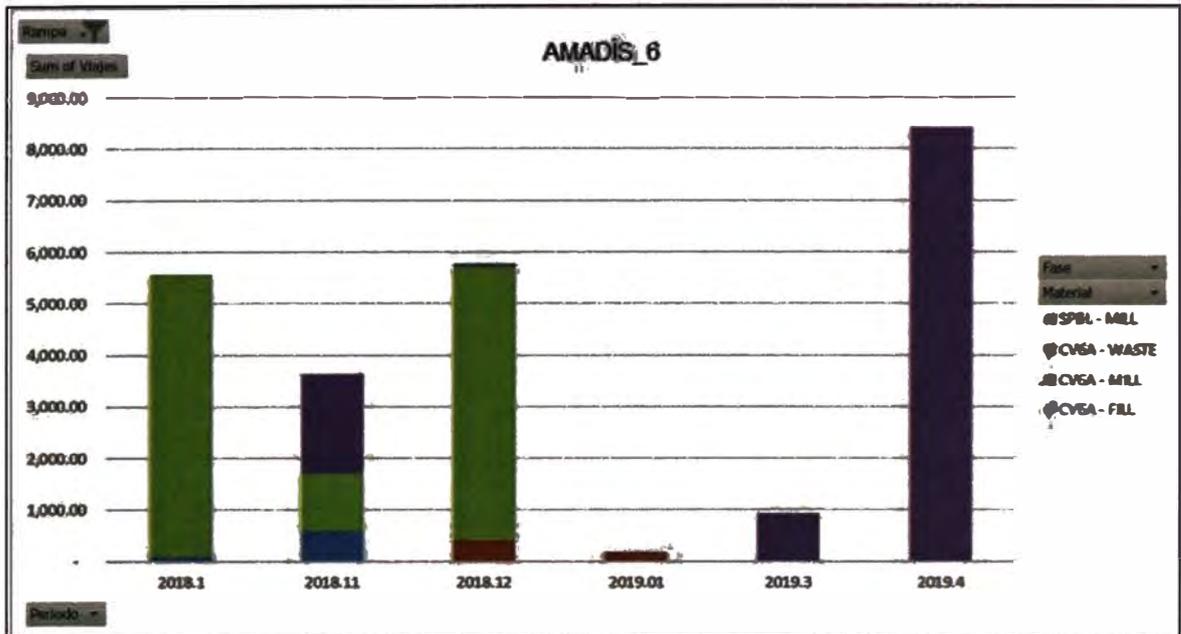


Figura A,6 Toneladas acarreadas por la vía “Amadís\_6”

Fuente: Elaboración Propia.

Se identificó una zona de conexión entre dos fases, con dicha conexión se reduce el ciclo de acarreo de mineral, por tanto se propuso generar una plataforma para construir bahías a ras del suelo, para ello se tuvo que realizar una ligera modificación al diseño de fase, dicha modificación consideró minar 370 mil toneladas de desmonte adicionales para generar el espacio suficiente para las bahías a ras del suelo, cabe mencionar que estas fueron las primeras bahías construidas en interior del PIT.

El gráfico siguiente muestra el diseño y los detalles de construcción de las bahías.



Figura A,7 Plano de Modificación de Fase.

Fuente: Elaboración Propia.

Imagen de la puesta en funcionamiento:



Figura A,8 Puesta en Marcha de las Bahías dentro del PIT.

Fuente: Elaboración Propia.

D) Ruta: "BAJA LEY"

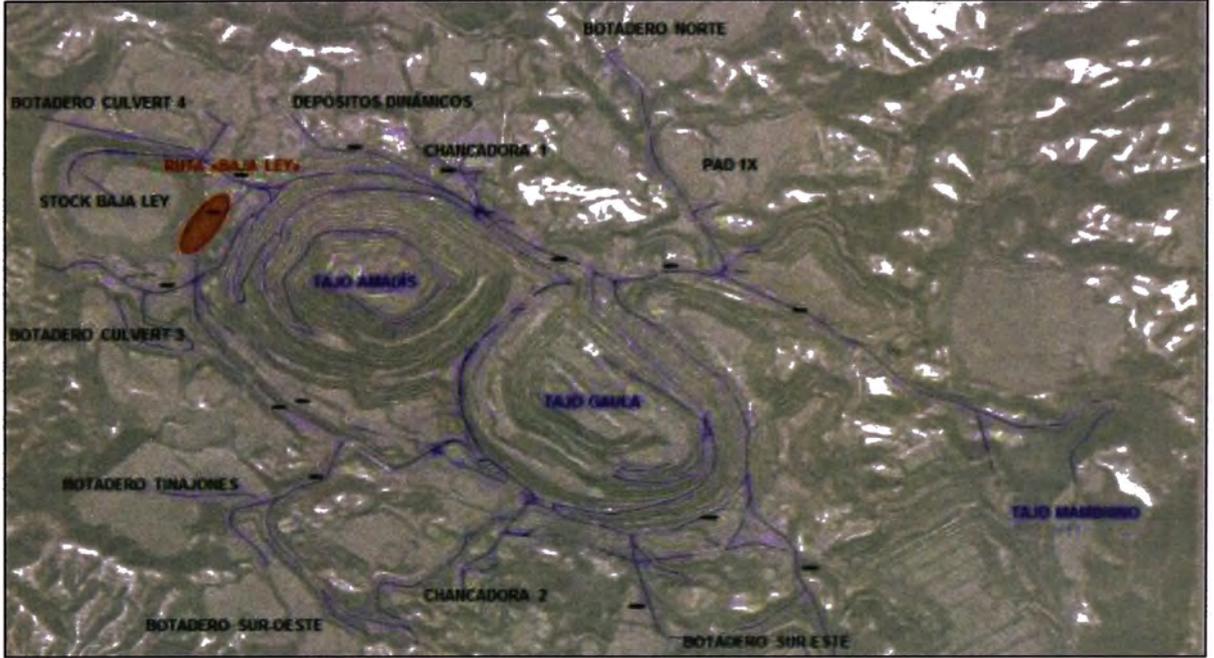


Figura A,9 Plano de Rutas "Baja Ley".

Fuente: Elaboración Propia.

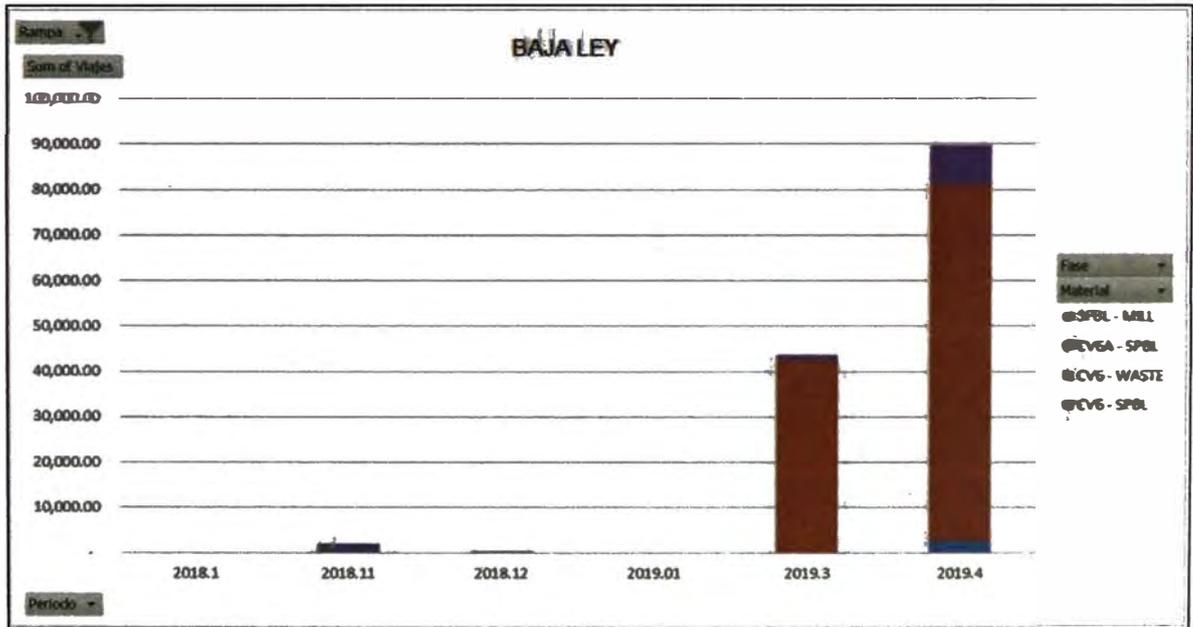


Figura A,10 Toneladas acarreadas por la vía "Baja Ley"

Fuente: Elaboración Propia.



### ANEXO N°3: DIAGRAMA DE BLOQUES GPSS/H

Diagrama de bloques del minado de desbroce de la Fase 6 del tajo Amadís, considerando 4 bahías de cambio en caliente en la ruta de ida y 4 bahías en la ruta de regreso del botadero "TNJ"

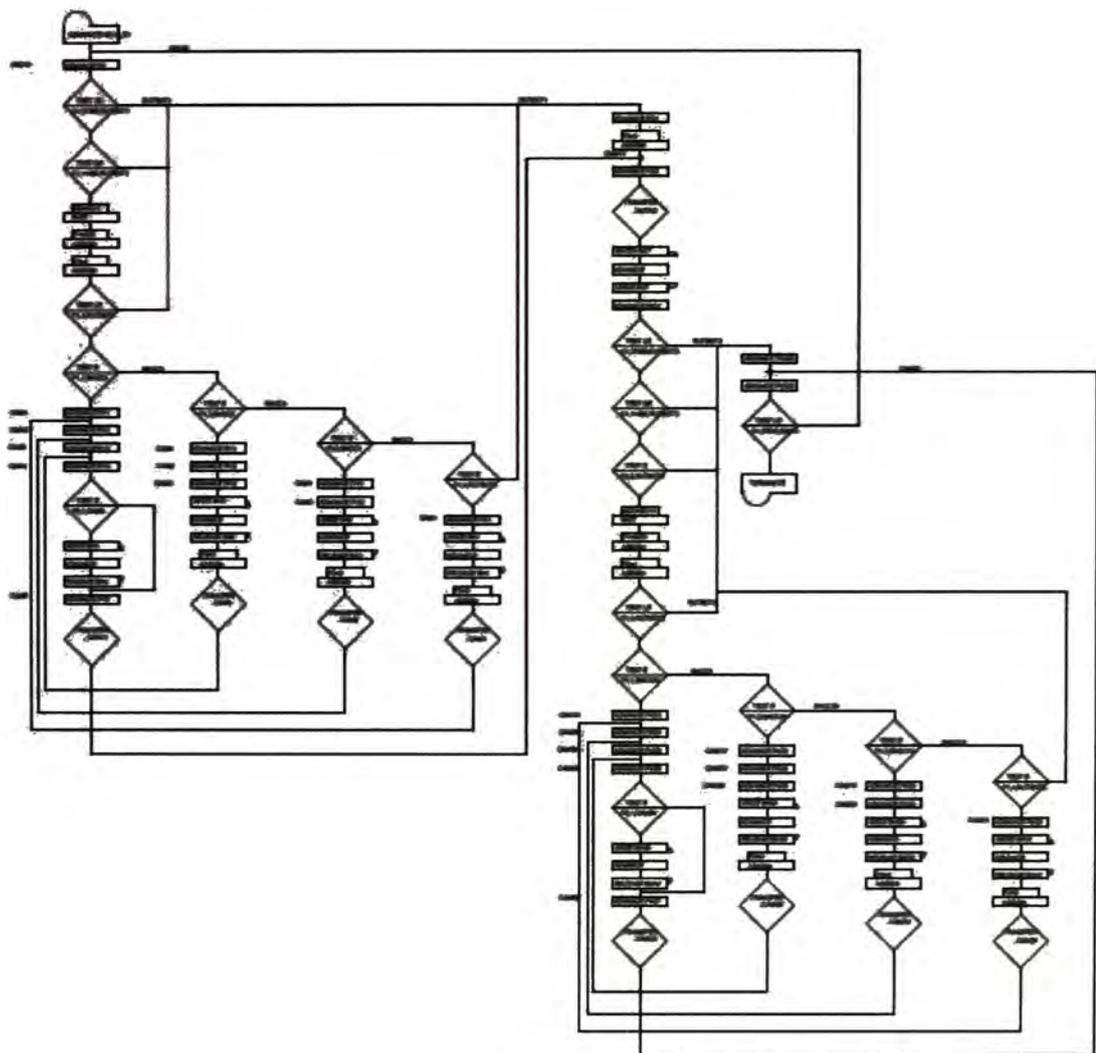


Figura A, 4 Diagrama de bloques

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO N°4: PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (PETS).

<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (PETS)</b>		
<b>PROCEDIMIENTO DE RELEVO DE OPERADORES DE CAMION EN BAHIAS A DESNIVEL.</b>		
Área: Operaciones Mina	Versión N°: 04	
Código: SApr0612	Página: 1 - 10	

### 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.

### 2. RESPONSABLES

---

- a) 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.
- b) 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.

c) Despachador mina (D1/D2). Gestionar la asignación óptima de los camiones de acarreo para el relevo de operadores cuando se requiera.

d) Operador de camión. Entender y cumplir el presente procedimiento todos los protocolos de seguridad.

### 3. REQUERIMIENTOS

---

#### a) Requerimiento de Personal

Cantidad	Descripción
01	Supervisor senior de operaciones Mina "O1"
01	Supervisor
01	Auxiliar de Operaciones Mina
01	Operador de camión de acarreo

#### b) Requerimiento de Equipo de Protección Personal

Cantidad	Descripción
1	EPP Básico

#### c) Requerimiento de Equipos / Herramientas

Cantidad	Descripción
-	Radio Motorola

#### d) Requerimiento de Materiales

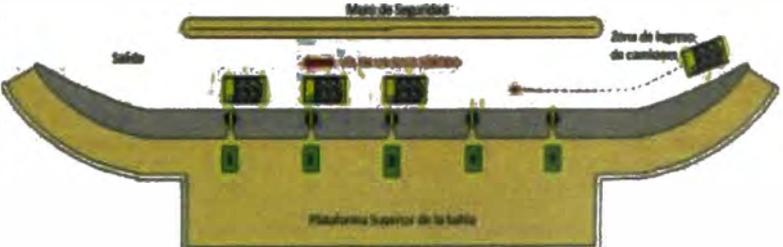
Cantidad	Descripción
-	N.A.

## 4. PROCEDIMIENTO

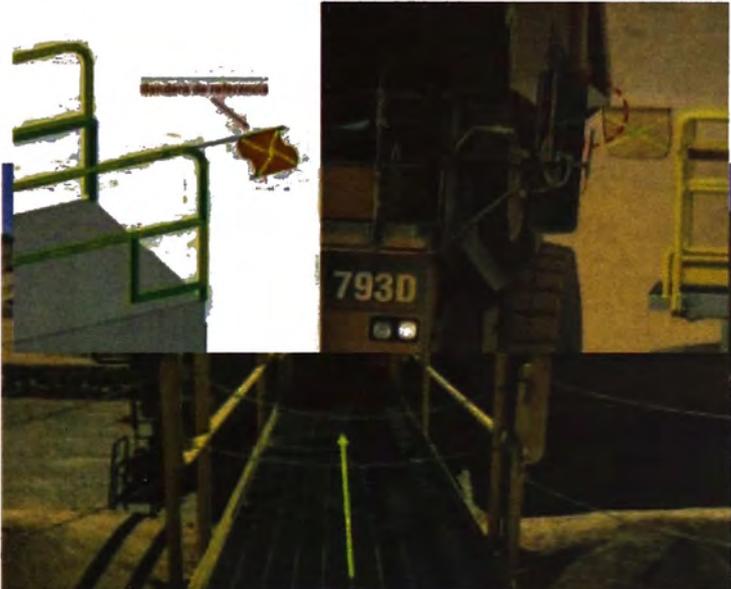
### 4.1. ASIGNACION DE CAMIONES

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	COORDINACIÓN CON O7	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.
2	ASIGNAR CAMIONES	D1/D2/ O7	a) Asignar los camiones a las bahías de cambio en caliente de acuerdo con los espacios disponibles, según su ubicación.
3	VERIFICAR EFICACIA DEL PROCESO DE RELEVO	O7	Asegurar el riego del acceso de camiones en las bahías de relevo. Realizar la verificación de la eficacia del proceso a fin de evitar colas en las bahías.

### 4.2. INGRESO A LA BAHIA DE CAMBIO DE OPERADOR

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	INGRESAR A LA ZONA DE RELEVO	OPERADOR SALIENTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Realizar la actividad con el camión vacío de preferencia.</li> <li>b. Ingresar con el camión a la bahía sólo si ha sido asignado vía radial por O7, O71 o el despachador de mina.</li> <li>c. Cambiar a frecuencia COORD MINA para hacer las coordinaciones de relevo.</li> <li>d. Reducir gradualmente la velocidad e ingresar por el carril en el sentido de tránsito del camión (Izquierda). La velocidad de ingreso será no mayor a 10 Km/hr.</li> </ul>
2	CUADRAR EL CAMIÓN	OPERADOR SALIENTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ul> 

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
			<p data-bbox="730 421 1519 481"><b>b.</b> Utilizar las bahías en forma ordenada, es decir, cada camión que llegue se ubicará en la bahía que no origine congestión.</p>  <p data-bbox="730 987 1519 1189"><b>c.</b> NO ADELANTAR al camión que este relevando o este parqueado en alguna de las bahías siguientes. En caso de que haya un camión malogrado y no se pueda mover; el supervisor o la persona que éste delegue verificará que haya el ancho de vía adecuado y tránsito libre para autorizar el adelantamiento, además restringirá el ingreso a las bahías hasta que el camión malogrado pueda moverse.</p> 
		Operador saliente	<p data-bbox="730 1552 1519 1637"><b>d.</b> Verificar que no exista ningún operador en la estructura metálica de la bahía, el operador entrante debe estar en la zona de espera.</p>

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
			<p>e. Tomar como referencia la bandera ubicada en la primera baranda para estimar la distancia correcta entre el camión y la estructura de la bahía. Al ingresar, el espejo izquierdo del camión debe rozar con la bandera indicada.</p>  <p>f. Ubicar el camión de tal forma de hacer coincidir la proyección de la estructura metálica con la abertura de ingreso en la baranda del camión a fin de que cuando se extienda el puente llegue hasta la plataforma de la cabina del operador sin obstáculo alguno.</p> <p>g. Retroceder aproximadamente 1 m como máximo para ubicarse correctamente en caso la abertura de la baranda no coincida con la proyección del puente corredizo.</p> <p>h. No esperar en cola fuera de la zona de relevo, salvo que el supervisor de operaciones lo autorice tomando los controles correspondientes.</p>

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
		Operador entrante	<p>i. Guiar al operador saliente desde la zona de espera para lograr un correcto cuadrado del camión.</p> 

#### 4.3. CAMBIO DE OPERADOR

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	APLICAR FRENO DE PARQUEO	 OPERADOR SALIENTE 	<p>a. 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:</p> <p style="text-align: center;">Sistema de Propulsión en Descanso (Rest)</p> <p style="text-align: center;">Sistema de Propulsión no Preparado</p> <p>b. Salir de la cabina e indicar al operador entrante que ingrese a la estructura metálica para extender la bahía.</p>

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
2	<p>VERIFICAR ENCENDIDO DE CIRCULINA ROJA DEL CAMIÓN</p>	<p>OPERADOR ENTRANTE</p>	<p>c. Verificar visualmente que la circulina roja CAT y KOM, esté encendida y que el operador saliente esté fuera de la cabina del camión; caso contrario no realizar el relevo.</p>  <p>d. Retirar la cadena de ingreso a la bahía y proceder a empujar la estructura hasta que llegue a la plataforma de la cabina del camión.</p>  <p>e. Colocar el seguro para evitar que la estructura se retraiga.</p> <p>f. Retirar la barra de bloqueo de la plataforma metálica.</p> 

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
3	RETIRAR CADENAS DE LAS BARANDAS DEL CAMIÓN	OPERADOR SALIENTE	<p>a. Retirar las cadenas de las barandas del camión y caminar por la bahía flotante hasta la estructura fija.</p>
4	REALIZAR EL RELEVO	OPERADOR ENTRANTE Y SALIENTE	<p>a. Realizar el relevo en la parte fija de la estructura metálica.</p> 
5	INFORMAR ESTADO DEL CAMIÓN	OPERADOR SALIENTE	<p>a. Informar al operador entrante los eventos resaltantes ocurridos en el equipo.</p>
6	SUBIR AL CAMIÓN	OPERADOR ENTRANTE	<p>a. Ingresar al equipo, cerrar la cadena de la baranda del camión y verificar que el operador saliente haya retraído el puente corredizo antes de entrar a la cabina del camión.</p>
7	ABANDONAR BAHÍA DE RELEVO	OPERADOR SALIENTE	<p>a. Verificar que el operador entrante haya cerrado las cadenas de la baranda del camión.</p> <p>b. Quitar el seguro del puente flotante y retraer completamente la bahía.</p> <p>c. Abandonar la estructura metálica y colocar la cadena de la bahía para cerrar el ingreso a la misma.</p>

N°	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
			<p data-bbox="635 430 1385 461">d. Indicar al operador entrante inicie la marcha con el camión</p>  A photograph showing a person standing on a road next to a large truck, likely a train or heavy vehicle, in a rural or industrial setting. The person is wearing a dark jacket and a hat, and is looking towards the truck. The truck is dark and has a large, rounded front. The background shows a clear blue sky and some distant hills or mountains. There are some utility poles and a signpost visible in the background.

#### 4.4. SALIDA DEL CAMIÓN DE LA BAHÍA

Nº	PASO	QUIEN	DESCRIPCION DEL PASO
1	SALIR DE LA ZONA DE BAHÍAS DE RELEVO	OPERADOR ENTRANTE	<ul style="list-style-type: none"><li>a. Verificar que el operador saliente se encuentra fuera de la estructura metálica.</li><li>b. Abrochar el cinturón de seguridad, colocar su código y estado operativo además de verificar el destino.</li><li>c. Tocar dos veces la bocina e iniciar la marcha sólo con la indicación del operador saliente, considerando que la velocidad de salida no sea mayor a 10 Km/hr.</li><li>d. Mantener la trayectoria del acceso de la bahía hasta la ubicación del disco pare. No girar a la derecha al momento de salir de la bahía, la cola de la tolva del camión podría impactar con la estructura de la bahía.</li><li>e. Realizar la inspección del equipo dentro de las 3 horas siguientes de haber hecho el relevo.</li><li>f. Activar la Frecuencia Operaciones Mina antes de salir del circuito de las bahías de relevo.</li></ul>

#### 4.5. EXCEPCIONES

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

#### 4.6. 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”.

#### 4.7. ABREVIATURAS

OE: Operador de camión entrante

OS: Operador de camión saliente

O7: Supervisor de operaciones mina

D1/D2: Despachador de turno

## **5. RESTRICCIONES**

5.1. La cisterna de agua de operaciones no deberá regar la zona de relevo cuando se está realizando la actividad de relevo de operadores.

5.2. Está prohibido el ingreso de equipo liviano por la zona de ingreso de camiones a las bahías, solo en algunos casos especiales el equipo liviano ingresará con autorización de un supervisor de mina.

5.3. Está prohibido el ingreso de equipo auxiliar durante el proceso de relevo, únicamente podrán ingresar para el mantenimiento del acceso con la autorización del supervisor de operaciones.

## **6. DOCUMENTOS DE REFERENCIA**

- SSOst0010 Señalización y demarcación de áreas.
- SSORE0004 Reglamento General de Tránsito.
- SSOst0018 Selección distribución y uso de EPP.
- SOMat0600: Regadío con Cisterna.
- GGMpr001: Procedimiento Advertencia y evacuación por potencial estabilidad de talud.
- SGIpr0024: Manejo de Incidentes ambientales
- SGIst0001: Inspección de herramientas, equipo e instalaciones.