

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Implementación de un sistema de cambio de guardia con bahías
para relevo de operadores de camión en minería a tajo abierto,
orientado a la reducción de tiempos muertos y al incremento de
la productividad de los equipos de acarreo**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Jorge Quispe Oscoco

 [0009-0000-0717-5119](https://orcid.org/0009-0000-0717-5119)

Asesor

MBA Eder Leon Salazar Dulanto

 [0000-0002-1400-3144](https://orcid.org/0000-0002-1400-3144)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Quispe Oscoco [1]
Referencia/Reference	[1] J. Quispe Oscoco, " <i>Implementación de un sistema de cambio de guardia con bahías para relevo de operadores de camión en minería a tajo abierto, orientado a la reducción de tiempos muertos y al incremento de la productividad de los equipos de acarreo</i> " [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Quispe, 2025)
Referencia/Reference	Quispe, J. (2025). <i>Implementación de un sistema de cambio de guardia con bahías para relevo de operadores de camión en minería a tajo abierto, orientado a la reducción de tiempos muertos y al incremento de la productividad de los equipos de acarreo</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por guiarme en cada
paso de este camino; a mi Esposa Vanessa y mi Madre
Roberta, por siempre estar conmigo en las buenas y malas.*

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi alma mater 'Universidad Nacional de Ingeniería' por darme la formación académica profesional y las herramientas suficientes para enfrentar en el mundo laboral; a todos mis amigos que conocí a lo largo de mi vida, quienes aportaron en mi vida profesional y personal.

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad implementar un sistema de cambio de guardia para los operadores de camiones en una empresa minera a tajo abierto, orientado a reducir los tiempos muertos durante el relevo y, en consecuencia, incrementar la productividad de los equipos de acarreo. Este proceso, aunque rutinario, representa un punto crítico dentro de la operación, ya que afecta de manera directa la disponibilidad y utilización de la flota.

Los resultados obtenidos evidencian una mejora significativa en la eficiencia: el tiempo promedio de relevo se redujo de 14.2 minutos a 7.3 minutos, lo que equivale a casi un 50 % menos en la duración de esta actividad. Esta optimización permitió maximizar el uso efectivo de los camiones, reduciendo las pérdidas asociadas a detenciones innecesarias y aumentando la productividad global de la operación.

El impacto económico de la implementación es igualmente relevante. Se estimó un beneficio anual de 6,714,950.63 US\$, resultado del incremento en la disponibilidad operativa y del mejor aprovechamiento de los recursos logísticos y humanos. Dicho beneficio confirma que mejoras puntuales en los procesos operativos pueden traducirse en ganancias significativas para la empresa, fortaleciendo la rentabilidad y sostenibilidad del negocio.

Asimismo, la reducción de los tiempos muertos favorece una mejor planificación de turnos, incrementa la seguridad en las operaciones de relevo y asegura un mayor control de los indicadores de gestión de flota.

En conclusión, la investigación demuestra que la gestión adecuada del cambio de guardia no solo contribuye a la productividad y rentabilidad de la empresa, sino que también establece un precedente para futuras iniciativas de optimización operativa, consolidando un modelo de referencia aplicable en diferentes contextos mineros.

Palabras clave — Productividad, tiempos muertos, cambio de guardia, acarreo.

Abstract

This research aimed to implement a shift-change system for truck operators in an open-pit mining company, designed to reduce downtime during operator handovers and, consequently, increase the productivity of the hauling equipment. Although considered a routine task, this process represents a critical point in operations, as it directly affects the availability and utilization of the fleet.

The results show a significant improvement in efficiency: the average handover time was reduced from 14.2 minutes to 7.3 minutes, which represents nearly a 50% decrease in the duration of this activity. This optimization allowed for the maximization of truck effective use, reducing losses associated with unnecessary stoppages and increasing the overall productivity of the operation.

The economic impact of the implementation is equally relevant. An annual benefit of US\$ 6,714,950.63 was estimated, as a result of the increase in operational availability and the better utilization of logistical and human resources. This outcome confirms that targeted improvements in operational processes can translate into significant financial gains for the company, strengthening both profitability and business sustainability.

Moreover, the reduction of downtime contributes to better shift planning, improves safety during operator handovers, and ensures greater control of fleet management indicators.

In conclusion, the study demonstrates that proper management of the shift-change process not only contributes to the productivity and profitability of the company but also sets a precedent for future operational optimization initiatives, consolidating a reference model applicable in different mining contexts.

Keywords — Productivity, downtime, shift change, hauling.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	2
1.3 Objetivo.....	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivo específico	5
1.4 Hipótesis	6
1.4.1 Hipótesis general	6
1.4.2 Hipótesis específica.....	6
1.5 Variables	6
1.5.1 Variable Independiente (V.I.).....	6
1.5.2 Variables dependientes (V.D.).....	6
1.6 Antecedentes referenciales	7
1.6.1 Antecedentes internacionales	7
1.6.2 Antecedentes nacionales	8
1.6.3 Antecedentes locales	10
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	11
2.1 Marco teórico	11
2.1.1 Tiempo.....	11
2.1.2 Productividad	13
2.1.3 Operaciones unitarias	15
2.1.4 Norma ASARCO	18
2.2 Marco conceptual.....	20

2.2.1 Bahía	20
2.2.2 Disponibilidad.....	21
2.2.3 Utilización.....	21
2.2.4 Rendimiento.....	21
2.2.5 Relevó.....	21
2.2.6 Productividad	21
2.2.7 Ciclo.....	21
2.2.8 Demoras	21
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	22
3.1 Recolección de datos.....	22
3.1.1 Unidad de estudio	22
3.1.2 Tiempos de relevó – Línea base.....	34
3.2 Procesamiento de la información	39
3.2.1 Planificación para implementación de bahías de cambio de guardia.....	39
3.2.2 Presupuesto y programación.....	44
3.2.3 Resultados de implementación de bahías	47
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados	56
4.1 Evaluación de resultados	56
4.1.1 Reducción de tiempo de relevó	56
4.1.2 Incremento de productividad de equipos de acarreo	58
4.2 Validación de hipótesis.....	61
Conclusiones	63
Recomendaciones	64
Referencias bibliográficas.....	65
Anexos	67

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Matriz de consistencia.....	6
Tabla 2 : Causas principales que generan tiempos muertos	13
Tabla 3 : Tramo principal hacia la mina.....	23
Tabla 4 : Tramo alternativo hacia la mina	24
Tabla 5 : Disponibilidad y utilización de equipos de acarreo	35
Tabla 6 : Productividad de equipos de acarreo	36
Tabla 7 : Tiempos de relevo promedio en parqueos de mina.....	36
Tabla 8 : Cantidad de relevos promedio para un mes de operación.....	38
Tabla 9 : Presupuesto para la primera etapa	44
Tabla 10: Presupuesto para la segunda etapa.....	44
Tabla 11: Presupuesto para construcción de sistema de drenajes.....	45
Tabla 12: Estadísticas descriptivas – parqueos habilitados.....	48
Tabla 13: Estadísticas descriptivas – bahías de cambio de guardia.....	48
Tabla 14: Estadísticas descriptivas – bahías de cambio de guardia.....	56
Tabla 15: Beneficio económico obtenido por las mejoras	59
Tabla 16: Flujos de caja del proyecto.....	60

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Incidencia de costos en operaciones mina.....	3
Figura 2 : Impacto de producción de camiones por tiempo de cambio de operador.....	4
Figura 3 : Diagrama del tiempo de ciclo.....	17
Figura 4 : Distribución de tiempos según Norma ASARCO.....	18
Figura 5 : Ubicación del yacimiento Ferrobamba	22
Figura 6 : Plano geológico regional.....	28
Figura 7 : Plano geológico local	31
Figura 8 : Histograma de frecuencia de tiempo de relevo – línea base	37
Figura 9 : Ubicación para posibles bahías de cambio de guardia.....	40
Figura 10: Vista de planta de la arquitectura general de las bahías de cambio de guardia	42
Figura 11: Vista de planta del sistema de drenajes.....	43
Figura 12: Gantt – plan de ejecución del proyecto	46
Figura 13: Resumen gráfico de PQ_4245_TR09	49
Figura 14: Resumen gráfico de PQ_CHB_4480.....	49
Figura 15: Resumen gráfico de PQ_DIQUE.....	50
Figura 16: Resumen gráfico de PQ_HR01_4145	50
Figura 17: Resumen gráfico de PQ_HR01_4170	51
Figura 18: Resumen gráfico de PQ_SUR_3780.....	51
Figura 19: Resumen gráfico de PQ_DIQUE_6B	52
Figura 20: Resumen gráfico de CG_BAHIA_CHANCADO	52
Figura 21: Resumen gráfico de CG_BAHIA_CHB.....	53
Figura 22: Resumen gráfico de CG_BAHIA_HR01	53
Figura 23: Resumen gráfico de CG_BAHIA_NORTE.....	54
Figura 24: Resumen gráfico de CG_BAHIA_SUR.....	54
Figura 25: Resumen gráfico de CG_HUANCARANE	55

Figura 26: Histograma de tiempo de relevo en parqueos – bahías	57
Figura 27: Grafica de barras de tiempo de relevo en parqueos – bahías	57
Figura 28: Histograma de tiempo de relevo en bahías al 95% de confianza	61
Figura 29: Prueba Z de una muestra – tiempo de relevo en bahías	62

Introducción

El sector minero a tajo abierto se caracteriza por un elevado nivel de competitividad y por la necesidad de optimizar constantemente sus procesos para garantizar la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones. En este contexto, uno de los aspectos que cobra especial relevancia es la gestión del tiempo durante las actividades rutinarias, como el cambio de guardia de los operadores de camiones mineros. Si bien se trata de un procedimiento habitual, su impacto en la productividad global de la flota de acarreo es considerable, ya que los tiempos muertos generados durante los relevos reducen la disponibilidad efectiva de los equipos, ocasionando pérdidas de producción y costos adicionales.

La presente investigación se centra en el diseño e implementación de un sistema de cambio de guardia orientado a reducir los tiempos improductivos en una empresa minera a tajo abierto, con el fin de aumentar la productividad de los equipos de acarreo. El estudio se estructura en cuatro capítulos principales, que permiten abordar de manera integral tanto la fundamentación teórica como la aplicación práctica y el análisis de resultados.

En el Capítulo I, se presentan las generalidades del estudio, la descripción del problema de investigación, los objetivos planteados, las hipótesis, las variables consideradas y los antecedentes referenciales a nivel internacional, nacional y local. Este capítulo cumple la función de contextualizar la problemática y justificar la importancia del proyecto, destacando la necesidad de aplicar mejoras en el proceso de cambio de guardia para optimizar la gestión de la flota de camiones.

El Capítulo II desarrolla el marco teórico y conceptual. En él se abordan los fundamentos relacionados con el tiempo, la productividad, las operaciones unitarias de carguío y transporte, así como la aplicación de la Norma ASARCO para la medición de tiempos en minería. Asimismo, se presenta el marco conceptual con la definición de los

principales términos vinculados a la investigación, lo cual permite establecer la base académica y técnica para el análisis posterior.

El Capítulo III corresponde al desarrollo del trabajo de investigación. En esta sección se detalla la recolección de datos en la unidad de estudio, donde se establece la línea base de los tiempos de relevo, la disponibilidad y utilización de los equipos, así como la productividad promedio alcanzada antes de la implementación de mejoras. Posteriormente, se describe la planificación de la propuesta de bahías de cambio de guardia, junto con el presupuesto y la programación requerida para su implementación. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos tras la puesta en marcha de la propuesta.

El Capítulo IV se centra en el análisis y discusión de resultados. Aquí se evalúa la reducción lograda en los tiempos de relevo y el incremento en la productividad de los equipos de acarreo, además de validar las hipótesis planteadas en el inicio del trabajo. Este análisis permite evidenciar los beneficios económicos y operativos alcanzados con la implementación del sistema, así como la relevancia de la investigación como un modelo aplicable a futuras iniciativas de optimización en minería a tajo abierto.

En conjunto, esta investigación busca demostrar que la gestión eficiente de un proceso aparentemente rutinario, como el cambio de guardia, puede convertirse en un factor estratégico para incrementar la competitividad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

En las operaciones mineras a tajo abierto, la productividad depende en gran medida del rendimiento de los equipos de acarreo, los cuales constituyen la base del sistema de transporte del material extraído. Estos camiones de gran capacidad son responsables de movilizar de manera continua los volúmenes de mineral y desmonte hacia los distintos destinos de la operación, ya sea plantas de procesamiento, pilas de lixiviación o botaderos. La eficiencia con la que se gestionan estas unidades repercute directamente en el cumplimiento de los planes de producción y en la rentabilidad global de la actividad minera.

El funcionamiento de los camiones se organiza bajo un esquema de turnos que permite la operación continua durante las 24 horas del día. En este esquema, la participación de los operadores resulta esencial, pues su labor asegura la correcta manipulación y traslado de grandes volúmenes de material. La coordinación en la programación de actividades, la asignación de horarios y la planificación de las transiciones entre turnos son componentes fundamentales para mantener un flujo constante y ordenado en la operación.

El cambio de guardia constituye un procedimiento regular dentro de las jornadas laborales, en el que se realiza la rotación de operadores. Este proceso no solo responde a aspectos administrativos y de organización del recurso humano, sino también a consideraciones de seguridad, dado que el manejo de equipos de gran envergadura requiere protocolos estandarizados para garantizar condiciones seguras durante el ingreso y salida del personal.

Asimismo, las dimensiones y características de los camiones mineros exigen un enfoque integral en su gestión. Factores como la ergonomía, el acceso a cabina, los tiempos de preparación de los operadores y la secuencia de actividades durante las transiciones forman parte de un sistema que busca equilibrar la seguridad con la eficiencia

operativa. De igual modo, la correcta planificación de estos procedimientos contribuye a mantener la disponibilidad de los equipos dentro de los parámetros esperados.

En este contexto, el estudio de los procesos relacionados con la operación de camiones de acarreo adquiere una relevancia estratégica, ya que integra elementos técnicos, organizacionales y humanos que determinan la eficiencia de la explotación minera a tajo abierto. Analizar de manera general estos aspectos permite comprender la importancia de una gestión adecuada de los recursos, tanto materiales como humanos, en la consecución de los objetivos productivos.

1.2 Descripción del problema de investigación

Las grandes empresas mineras tienen la exigencia y necesidad de producir mayor tonelaje de mineral para ser competitivo en el mercado y tener mayor ganancia y por ellos adquieren equipos de grandes dimensiones para tener mayor producción, así como los camiones mineros, las cuales son de grandes capacidades de tonelajes para transportar material, estos equipos son muy buenos para la producción de las empresas mineras, pero la desventaja que tiene los equipos son las siguientes:

Como los camiones mineros son de grandes dimensiones es dificultoso y a la vez se requiere mayor tiempo para realizar el relevo de operadores en piso, porque el operador saliente tiene que estacionarse en un lugar autorizado y esperar que el motor del camión se normalice (relenting) unos 5 minutos de esa manera pueda retirar la llave del contacto, y bajar el equipo hasta el piso y hacer el relevo con el operador saliente y entrante e informar de las condiciones que presenta el equipo y de los trabajos que se está realizando dentro de la operación y después tiene que subir el operador entrante a la cabina del equipo.

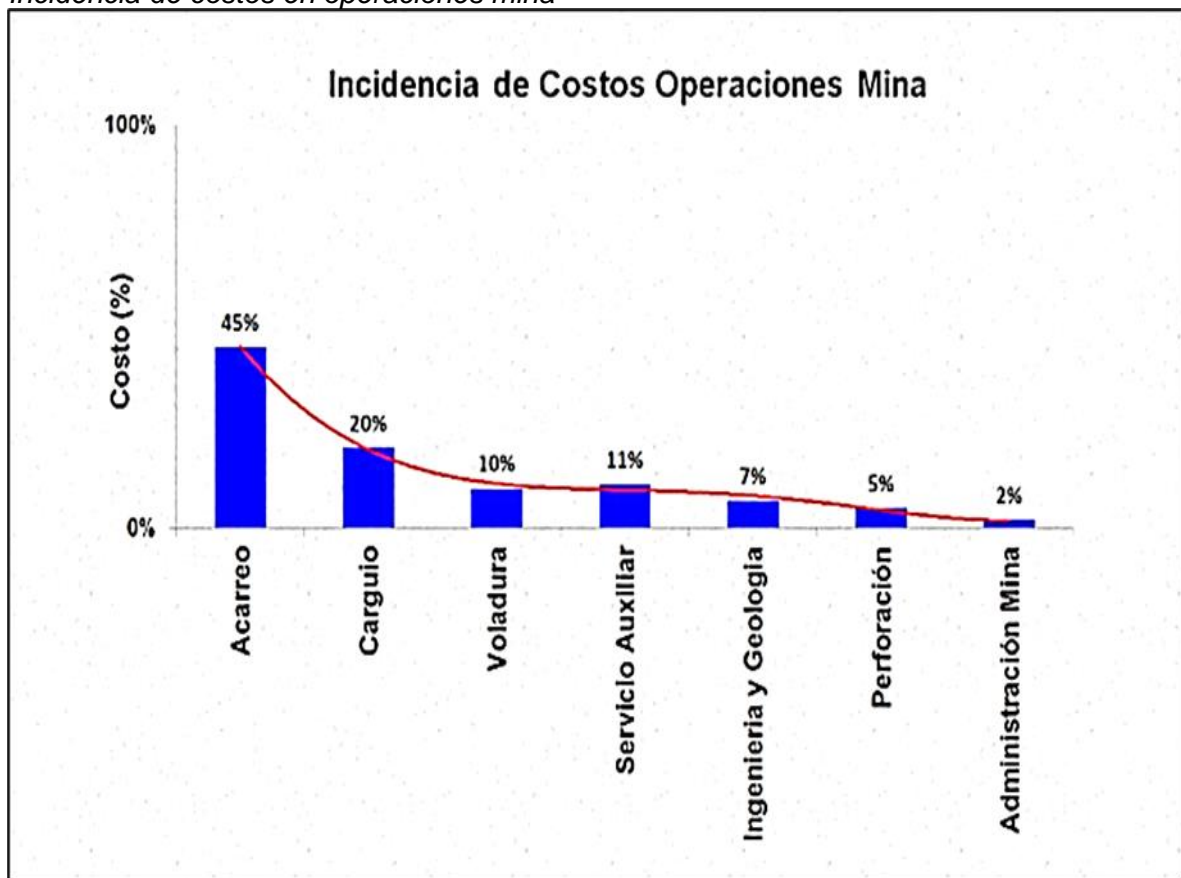
Todo este tiempo de cambio de operador es un problema y costoso para las empresas mineras, la cual se ve reflejado en la producción diaria de material movido. Durante una jornada de trabajo se realizan 3 paradas por relevo de operador: al inicio de jornada, a la hora de almuerzo y fin de turno,

Mauricio, G. (2015), "Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones minero"

En las empresas mineras con método de explotación a tajo abierto la utilización (U) de los camiones mineros no sobrepasan el 90% del uso, esto sucede por diferentes aspectos, ya sea por mala selección de equipos, mal estado de las vías, tiempos muertos, diseño inadecuado de las vías , todo éstos aspectos son problemas para tener mayor producción de material movido dentro de una empresa minera, ya que los equipos no están trabajando el 100% del tiempo que está disponible dentro de la jornada de trabajo. En la Figura 1 se observa que el costo más alto en una empresa minera a tajo abierto es el costo de acarreo de los camiones gigantes que representa el 45% del costo minado, los factores que influyen en alto costo son combustible, llantas y repuestos.

Figura 1

Incidencia de costos en operaciones mina



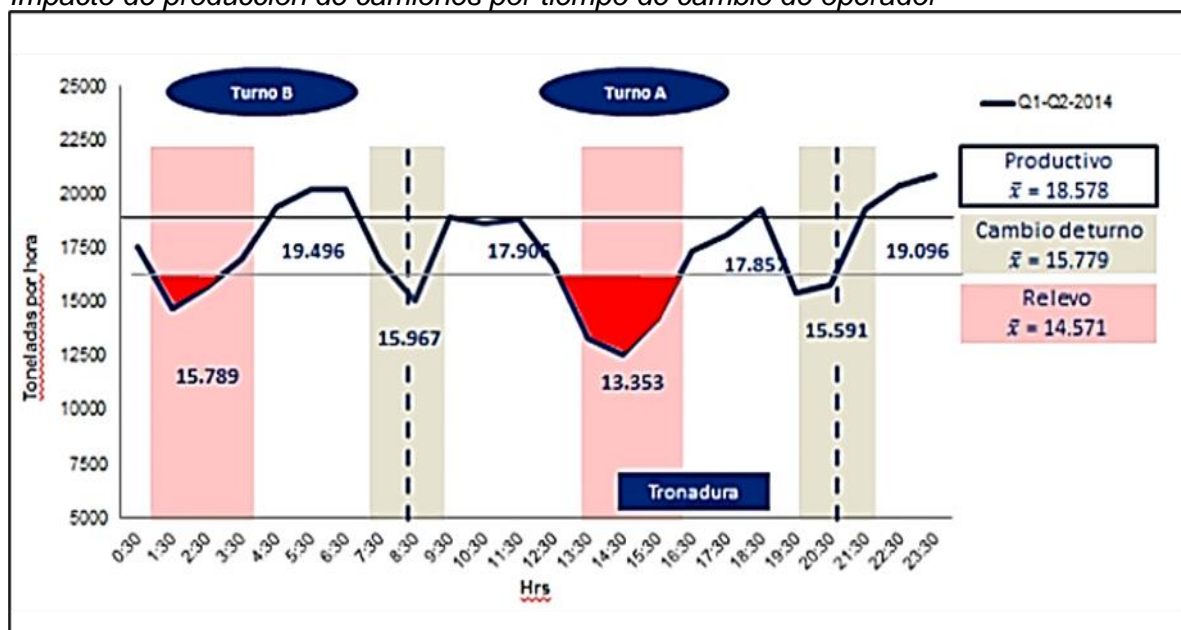
Nota: Mauricio (2015)

Vergara, D (2016) "Rediseño de los procedimientos de los relevo mina en la operación los bronce de Angloamerican"

La producción está dado por el material que transportado de los camiones mineros desde el frente minado hacia el destino(chancadora, botadero, stock o dique), lo que significa en consecuencia que un camión minero detenido en la operación disminuye la producción y esto ocurre en el tiempo de relevo según la figura 02, esto es lo que se conoce efecto de Gaviota, ya que es un problema que afecta a las empresas mineras, recibe este nombre debido a la forma de grafica que muestra las toneladas por hora (TPH) que transporta los camiones mineros en un día laboral, en el cual se observa claramente una considerable caída de productividad en los horarios de relevo. En la Figura 2 se muestra tres zonas de diferentes colores. Por una parte, está la zona de color rojo que es afectado la productividad por relevo de operadores. También se tiene la zona grises que indican las horas afectadas en productividad por cambio de turno de operadores. Finalmente se ven las zonas blancas que no se ven afectada la producción por temas de relevo ni cambio de turno.

Figura 2

Impacto de producción de camiones por tiempo de cambio de operador



Nota: Vergara (2016)

Hinojosa. G. (2022) "Incremento de la productividad de flota de camiones mineros mediante implementación de bahías de cambio en caliente en la mina Constanca – Cusco".

Uno de los problemas que se presenta en una empresa minera con método de explotación a tajo es a la hora de relevo de operadores de la flota de camiones mineros, el cambio de guardia de operadores que se realiza a nivel piso es netamente influyente en los tiempo que esta sin producir los camiones mineros, en algunas momentos al realizar el relevo con lleva mayor tiempo provocando paradas prolongadas de equipos y personal y estas demoras no es ventajoso para la productividad de los equipos mineros, en los horarios de relevo baja la productividad de los equipos mineros.

Las demoras que existe en los relevos de operadores a nivel piso tienen un impacto directo y significativo en la utilización de los camiones mineros y más a un que en una jornada de trabajo existe 3 veces de relevo, al inicio del día, hora de almuerzo y fin de turno.

Con lo anterior expuesto se plantea el siguiente problema, el cual será resuelto en el transcurso del desarrollo del trabajo de investigación.

¿En qué medida la inadecuada infraestructura para relevo de operadores impacta en los altos tiempos muertos en los equipos de acarreo?

¿En qué medida la inadecuada infraestructura para relevo de operadores impacta en la reducción de productividad de los equipos de acarreo?

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo general

Implementar un nuevo sistema de cambio guardia para reducir los tiempos muertos durante el relevo de operadores.

1.3.2 Objetivo específico

Incrementar la productividad de equipos de acarreo al reducir los tiempos durante el cambio de guardia.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

Al implementar el nuevo sistema de cambio de guardia permitirá reducir los tiempos muertos durante relevo de operadores.

1.4.2 Hipótesis específica

Al reducir los tiempos de relevo de operadores permitirá incrementar la productividad de los equipos de acarreo.

1.5 Variables

1.5.1 Variable Independiente (V.I.)

Bahías para relevo de operadores

1.5.2 Variables dependientes (V.D.)

- Tiempo muerto.
 - Tiempo de relevo de operadores (minutos).
- Productividad.
 - Productividad de camiones de acarreo (ton / día).

Tabla 1

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
¿En qué medida la inadecuada infraestructura para relevo de operadores impacta en los altos tiempos muertos en los equipos de acarreo?	Implementar un nuevo sistema de cambio guardia para reducir los tiempos muertos durante el relevo de operadores.	Al implementar el nuevo sistema de cambio de guardia permitirá reducir los tiempos muertos durante relevo de operadores.	X: Independiente / Causa	Y1: Dependiente / Efecto Tiempo muerto Tiempo de relevo de operadores (minutos)
¿En qué medida la inadecuada infraestructura para relevo de operadores impacta en la reducción de productividad de los equipos de acarreo?	Incrementar la productividad de equipos de acarreo al reducir los tiempos durante el cambio de guardia.	Al reducir los tiempos de relevo de operadores permitirá incrementar la productividad de los equipos de acarreo.	Bahías para relevo de operadores	Y2: Dependiente / Efecto Productividad Productividad de camiones de acarreo (ton / día).

Nota: Elaboración propia

1.6 Antecedentes referenciales

1.6.1 Antecedentes internacionales

Vergara, A. D (2016) "Rediseño De Los Procedimientos De Relevos Mina En La Operación Los Bronces De Anglo American".

El sector minero internacional, así como la minería en Chile afrontan grandes desafíos de competitividad y productividad, sobre este desafío es importante trabajar, ya que es primordial ser competitivo en el mercado del sector minero, como la producción de cobre está dada por el buen manejo de los costos para tener mayor rentabilidad, la minimización de los costos está relacionado con la productividad.

El autor presenta el rediseño de los procesos para tener mayor productividad en las empresas mineras y uno de los procesos es el procedimiento único de relevos, la cual minimizará la caída de productividad en el horario de almuerzo de esta manera aumenta la producción de material movido. En particular se identifica la hora de relevo como punto crítico para tener mayor oportunidad de mejora para aumentar la productividad.

El material movido en la mina está dado por el material que transporta los camiones del interior mina hacia su destino (Chancadora, Dique, Botadero o Stock), lo que significa que un camión detenido en el interior de la mina disminuye el tonelaje movido y esto es lo que ocurre en horario de relevo de operadores.

Es necesario tener los mejores indicadores en la productividad para minimizar los costos que están asociados para la producción de movimiento de mineral, el sector minero ha tenido que enfrentar grandes desafíos para ser competitivo y productivo en el mercado, de esta manera ser atractivo para las inversiones futuras en una región. En Chile la tarea más difícil ha sido los altos costos de producción de cobre comparado con otros países mineros del mundo, estos costos están asociados principalmente a la mano de obra de trabajo, Energía eléctrica y recursos hídricos, ya que este país la mayor parte de su territorio es desértico y no se encuentran en abundancia recurso hídrico

Barrientos G V. (2014) "Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto". Menciona que

en la gran minería de cobre con método de explotación a tajo abierto que el sistema Pala - Camión es el más utilizado para la actividad carguío y acarreo, el cual abarca el 50% del costo de operación, los principales mejoras se obtienen mediante gestión optima de la disponibilidad, confiabilidad y mantenimiento del sistema. El principal objetivo de su estudio es encontrar los cambios operacionales que conduzcan mejores resultados en las paradas programadas de cambio de turno, ya que en estas horas baja la productividad de los equipos.

Donde el autor procesa y simula los datos reales y los resultados que obtuvo fue que la productividad del equipo fueron los días que tuvieron menos detenciones en estudio y entre otros factores. Después plantea un modelo para construir nuevos escenarios a partir de caso base, donde incluye cambios operacionales con la posibilidad de que los camiones puedan realizar cambio de turno cargado, que se modifique la posición de estacionamiento con respecto a la chancadora y el cambio de tipo de camiones. Los escenario de cambio de turno con los camiones cargados y el cambio de estacionamiento más cercado a la chancadora aumentan la productividad de los equipos y disminuye los tiempos improductivos. Finalmente el resultado de los cambios que menciona el autor aumento en 4.2% de la producción diaria y disminuyo en 10.6% los tiempos improductivos de los camiones mineros.

1.6.2 Antecedentes nacionales

Hinojosa G. Y. (2022), "Incremento de la productividad de flota de camiones mineros mediante implementación de bahías de cambio en caliente en la mina Constancia – Cusco". Desarrolla un estudio orientado a optimizar los procesos de relevo de operadores en operaciones mineras a tajo abierto. La investigación se centra en analizar el impacto que tiene la implementación de bahías de relevo en caliente, donde los cambios de turno se realizan con los motores de los camiones encendidos, evitando detenciones prolongadas y reduciendo los tiempos improductivos.

El autor evalúa de manera integral indicadores como los tiempos de relevo, la disponibilidad mecánica, la utilización efectiva y la productividad de la flota de acarreo. Los

resultados muestran un incremento significativo en la eficiencia operativa: la productividad en el transporte de mineral aumentó en 7.78 %, mientras que en el transporte de desmonte el incremento fue de 5.06 %.

El estudio concluye que la incorporación de mejoras en los procesos de cambio de guardia no solo contribuye a reducir tiempos muertos, sino que también favorece un uso más eficiente de los recursos disponibles, reafirmando la importancia de innovar en la gestión de operaciones de acarreo para elevar la competitividad en minería a gran escala.

Palomino, L. A. (2022), "Análisis del sistema de relevo e implementación de bahías a ras del suelo en minería superficial, utilizando técnicas de simulación". Aborda la problemática de la eficiencia en los procesos de relevo de operadores de camiones mineros en operaciones a tajo abierto. La investigación propone como alternativa la implementación de bahías de relevo a nivel del suelo, lo que permite realizar cambios de turno de forma más ágil y con menores tiempos de detención de los equipos. Para el análisis, el autor emplea técnicas de simulación discreta que permiten modelar y comparar diferentes escenarios, considerando tanto los tiempos actuales de relevo como los tiempos proyectados con la implementación de las nuevas bahías.

La metodología incluyó la recopilación de datos de campo sobre tiempos de parqueo y de relevo, además de la evaluación de variables críticas como la utilización de los camiones y la productividad global del sistema de acarreo. Los resultados obtenidos evidencian una reducción significativa en los tiempos improductivos asociados al cambio de operadores, lo que repercute directamente en una mayor disponibilidad de la flota y en la optimización de los recursos. El estudio concluye que la aplicación de herramientas de simulación en el diseño de procesos operativos ofrece un marco sólido para la toma de decisiones estratégicas, validando la efectividad de la implementación de bahías de relevo como una medida que impacta positivamente en la productividad minera.

1.6.3 Antecedentes locales

Mauricio, G. (2015), "Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en minería a tajo abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, Las Bambas, Cerro Corona, Antapaccay y Pucamarca". El costo más alto que existe en una operación minera a tajo abierto es el acarreo con camiones mineros gigantes debido al consumo de combustible, llantas repuestos, etc.; la cual representa el 45% de costo minado en una operación minera. Minimizando los tiempos muertos de los camiones mineros se podrá aumentar la utilización de estos equipos, por lo tanto, aumentar la productividad.

El método Six sigma de mejora continua es una herramienta control de calidad de los procesos y con la combinación de los métodos estadísticos el propósito es aumentar el nivel de desempeño de un proceso en base a las decisiones que se pueden tomar después de los resultados del estudio, la organización de una empresa minera pueda entender las necesidades de los clientes.

La utilización de despacho – Dispatch es una herramienta de software que se implementa para la administración de las flotas de equipos en una empresa minera, donde se guarda toda la información en base a esta información tomar decisiones posteriores. El objetivo de este manejo de Dispatch es maximizar la utilización de los equipos mineros.

Las empresas mineras siempre buscan las mejoras de los métodos para poder incrementar la productividad y disminuir los costos de cada proceso de una actividad minera, este trabajo plantea un lugar estratégico dentro del tajo para el cambio de operadores (relevo en caliente de los operadores), de esta manera que el personal este cerca de los equipos y también disminuye los tiempos muertos en el traslape de los operadores.

En otros estudios anteriores se analizaron los procesos de carguío y acarreo, donde identificaron que la actividad de acarreo es el cuello de botella para poder mejorar los tiempos, después de los análisis pudieron concluir que las mejoras propuestas tuvieron un impacto significativo en la producción de equipos acarreo.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Tiempo*

El tiempo es un concepto universal que acompaña al ser humano en todas sus actividades y procesos.

Según Rodolfo Junior, el tiempo puede definirse como la transición permanente de situaciones cotidianas, un flujo continuo que regula el ritmo de la vida y de las operaciones humanas. A pesar de su carácter intangible e inmaterial, constituye un recurso insustituible que no puede detenerse ni acumularse, ya que siempre avanza en una sola dirección. De este modo, el tiempo representa la dimensión esencial en la que se desarrollan todas las acciones y procesos, permitiendo medir la duración, la secuencia y la relación entre ellos. Cada actividad requiere un intervalo de tiempo determinado, lo que convierte a este recurso en un factor clave tanto para la organización de tareas individuales como para la planificación de procesos productivos a gran escala.

En el ámbito organizacional y productivo, el tiempo adquiere aún mayor relevancia, pues constituye un recurso limitado cuyo uso eficiente puede marcar la diferencia entre el éxito o el estancamiento de una empresa. En este sentido, optimizar el manejo del tiempo no solo implica reducir retrasos, sino también garantizar que los procesos fluyan de manera continua y sincronizada, evitando interrupciones que afecten la productividad. (Fuente: Gonzales J. (2014))

Dentro de esta perspectiva surge el concepto de tiempos muertos, entendidos como aquellos lapsos en los que el trabajador o el equipo de producción permanece inactivo durante el horario laboral. Fernández, S. O. sostiene que estas pausas pueden generarse por causas externas —como fallas en la cadena de suministro, condiciones climáticas o falta de insumos—, o bien por problemas internos relacionados con una deficiente organización, errores en la planificación o inadecuada gestión de recursos. En cualquier caso, los tiempos muertos representan un desperdicio que disminuye la eficiencia

global del sistema y repercute directamente en la rentabilidad. Para mitigar sus efectos, la gestión empresarial debe priorizar la organización de los recursos y la simplificación de los procesos, de modo que las operaciones se orienten hacia la eliminación progresiva de actividades innecesarias y se logre un mayor aprovechamiento de la capacidad instalada. (Fuente: Fernández A. (2021))

En esta misma línea, García T. D., en su investigación Sistema de control de tiempos muertos para el área de inyección, precisa que estos intervalos improductivos corresponden a períodos en los que una operación se encuentra detenida sin generar valor. Esto implica que, mientras un proceso espera a que otro finalice, los recursos disponibles permanecen inactivos, generando costos ocultos que se acumulan en la estructura productiva. El autor resalta la importancia de identificar y cuantificar estos tiempos, ya que incluso las detenciones cortas pueden, por su frecuencia, tener un efecto tan negativo como los tiempos muertos de larga duración. De allí la necesidad de establecer mecanismos de control y monitoreo que permitan registrar la frecuencia, la duración y las causas de estas paradas, con el fin de implementar estrategias correctivas orientadas a mejorar la eficiencia operativa.

En el sector minero, los tiempos muertos poseen un impacto particular debido a la magnitud de los equipos utilizados y la interdependencia entre los diferentes procesos. Aunque muchas veces los tiempos muertos de corta duración pueden pasar desapercibidos, la repetición constante de estas interrupciones termina acumulándose y generando pérdidas considerables en productividad y costos. Por ello, resulta esencial analizar tanto los tiempos muertos prolongados como los breves, evaluando sus causas y efectos para lograr una planificación más precisa y un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles. (Fuente: García J. (2018))

En la Tabla 2 se presentan de manera sistematizada las causas más comunes que originan los tiempos muertos, así como los efectos derivados de cada una de ellas, lo cual permite comprender con mayor claridad la magnitud de este fenómeno y su impacto en la eficiencia organizacional.

Tabla 2

Causas principales que generan tiempos muertos

CAUSAS	EFEECTO
Mantenimiento solo correctivo	Esperar corrección del equipo
Escasa eficacia Maquina/Hombre	Paros por averías
No delegar responsabilidades	Información que no llega
Poca disciplina en las tareas	Paros por falta de material
Métodos de trabajo no estandarizados	Proceso desequilibrado.

Nota: Asociación Española para la Calidad (EAC)

2.1.2 Productividad

La productividad constituye uno de los pilares fundamentales en la gestión de las organizaciones y en el análisis económico, ya que permite evaluar la eficiencia con la que se transforman los recursos en bienes o servicios. De manera general, la productividad puede definirse como la relación entre los resultados obtenidos (producción) y los recursos utilizados (insumos). Esta relación refleja no solo la eficiencia técnica de un proceso, sino también el grado de aprovechamiento de los factores productivos en una organización.

De acuerdo con Xitumul Álvarez, la productividad se entiende como la proporción entre la cantidad de bienes producidos y los recursos necesarios para generarlos, destacando que la reducción de los tiempos no productivos es una estrategia clave para incrementar la eficiencia en los procesos industriales. Esta concepción puede extrapolarse al ámbito minero, en donde la productividad se mide tanto en términos del desempeño de los trabajadores como en el rendimiento de los equipos pesados utilizados en faenas de acarreo, perforación, carguío y transporte.

En el sector laboral, la productividad se asocia directamente al rendimiento de los empleados, entendido como la capacidad de cumplir con un determinado volumen de trabajo en un intervalo de tiempo específico. Desde un enfoque empresarial, se considera productivo aquel proceso, recurso o trabajador que logra generar el máximo valor con el mínimo uso de insumos, garantizando así competitividad y sostenibilidad.

En el caso de la maquinaria pesada y equipos de acarreo minero, la productividad se encuentra estandarizada en los manuales de cada fabricante, donde se especifican

parámetros técnicos como capacidad de carga nominal, velocidad, tiempos de ciclo, consumo de combustible y resistencia de operación. Estos valores constituyen puntos de referencia teóricos, pero en la práctica minera están sujetos a variaciones ocasionadas por las condiciones geotécnicas, el diseño del tajo, el estado de las vías, las condiciones climáticas, la disponibilidad mecánica de los equipos y la gestión de los turnos de trabajo. (Fuente: Xitumul H. (2009))

La definición formal de productividad también cuenta con respaldo histórico. En 1950, la Organización para la Cooperación Económica Europea (OEEC) la definió como el cociente entre la producción y uno de los factores de producción, formalización que sentó las bases para su análisis económico posterior. Esta conceptualización fue retomada y difundida en el ámbito global por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), que la vincula directamente con la eficiencia del uso de los recursos y con la mejora de la calidad de vida de los trabajadores. (Fuente: OIT (1996)).

De forma general, la relación puede expresarse como:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Produccion}}{\text{insumos}} = \frac{\text{Resultados logrados}}{\text{Recursos empleados}} \quad (1)$$

La productividad está sujeta a la mejora continua de los procesos productivos. Bajo este principio, puede incrementarse en dos escenarios principales:

- Cuando se logra una reducción en la cantidad de recursos utilizados (tiempo, energía, mano de obra, costos) mientras se mantiene constante la producción de bienes o servicios.
- Cuando se alcanza un incremento en el volumen de producción mientras se mantienen fijos los recursos empleados.

En minería a tajo abierto, la productividad de los equipos de acarreo está estrechamente vinculada con indicadores como:

- **Disponibilidad mecánica (DM):**

Porcentaje de tiempo en que un equipo se encuentra operativo frente al tiempo total.

- **Utilización física (UF):**

Proporción de tiempo efectivo de trabajo respecto al tiempo programado.

- **Eficiencia operativa (EO):**

Grado de cumplimiento de los parámetros esperados de producción frente a las condiciones reales.

- **Toneladas transportadas por hora (TPH):**

Indicador directo del rendimiento de los camiones de acarreo.

De acuerdo con Medel y Bascuñán, la productividad minera no solo se mide en función de toneladas extraídas o transportadas, sino también en relación con la eficiencia en el uso de insumos como combustible, neumáticos, mano de obra y tiempo operativo. Esto significa que el análisis de productividad requiere un enfoque integral que combine el desempeño técnico de los equipos con la gestión del recurso humano y la organización del proceso. (Fuente: Medel R. et (2016))

En síntesis, la productividad no debe considerarse únicamente como un cálculo numérico, sino como un concepto dinámico que refleja la capacidad de una empresa para adaptarse, optimizar sus procesos y alcanzar un equilibrio entre eficiencia y sostenibilidad.

2.1.3 Operaciones unitarias

En el presente estudio se abordarán únicamente dos operaciones unitarias fundamentales en el ciclo de producción minera: carguío y transporte. Estas etapas representan el núcleo del proceso de explotación, ya que determinan en gran medida los costos operativos, la productividad y la eficiencia global de la operación.

2.1.3.1 Carguío. El carguío es la operación unitaria que consiste en la remoción y recolección del material previamente volado y fragmentado, sea este mineral o desmonte. Se ejecuta mediante equipos mecanizados como palas hidráulicas, palas eléctricas de cable o cargadores frontales, los cuales poseen un balde metálico con dientes que permiten penetrar y atrapar el material.

El volumen del balde está directamente relacionado con la capacidad de carga nominal del equipo y con los requerimientos de la operación minera. El material atrapado

en el balde se deposita de manera secuencial en la tolva de los camiones mineros, repitiéndose este proceso hasta completar la capacidad total de la unidad de acarreo.

Barrios resalta que el carguío dinámico es clave para optimizar la utilización efectiva de la flota de camiones, ya que una correcta sincronización entre palas y camiones permite reducir los tiempos muertos y aumentar la productividad. Asimismo, la eficiencia del carguío depende de factores como:

- El tamaño de la fragmentación del material volado.
- La distancia entre el frente de trabajo y la zona de carguío.
- La habilidad del operador para minimizar maniobras innecesarias.
- La compatibilidad de capacidad entre el balde de la pala y la tolva del camión.

(Fuente: Barrios M. (202))

2.1.3.2 Transporte. El transporte es la operación unitaria que consiste en el traslado del material volado desde el frente de carguío hasta el destino asignado. En el caso del mineral, el destino habitual es la chancadora primaria o el stockpile de mineral; mientras que el desmonte es transportado hacia los botaderos o, en algunos casos, a los diques de relaves para su disposición final.

Esta operación se realiza principalmente con camiones mineros de gran capacidad, diseñados para operar en condiciones de alta pendiente, largas distancias y suelos de tránsito exigentes. El transporte constituye uno de los componentes de mayor costo dentro de la minería a tajo abierto, representando en algunos casos hasta el 50% de los costos operativos totales. (Fuente: Morales L. et (2018)).

El rendimiento de esta etapa se mide a través del tiempo de ciclo de acarreo, que comprende la suma de los tiempos de espera, carguío, acarreo cargado, descarga y retorno vacío. Mantener este ciclo lo más cercano posible al tiempo planificado es esencial para alcanzar las metas de producción en los planes de corto, mediano y largo plazo.

2.1.3.3 Tiempo de ciclo. El tiempo de ciclo es el indicador clave que integra el desempeño del carguío y transporte. Se define como el tiempo total que demora un camión

en completar una vuelta desde el inicio del carguío hasta la descarga y retorno a la zona de carguío. Matemáticamente, puede expresarse como:

$$T_C = T_{espera} + T_{carguio} + T_{acarreo} + T_{descarga} + T_{retorno} \quad (2)$$

Donde:

T_{espera} = Tiempo de espera del camión en cola.

$T_{carguio}$ = Tiempo empleado en cargar el material.

$T_{acarreo}$ = Tiempo de transporte del material cargado hacia el destino.

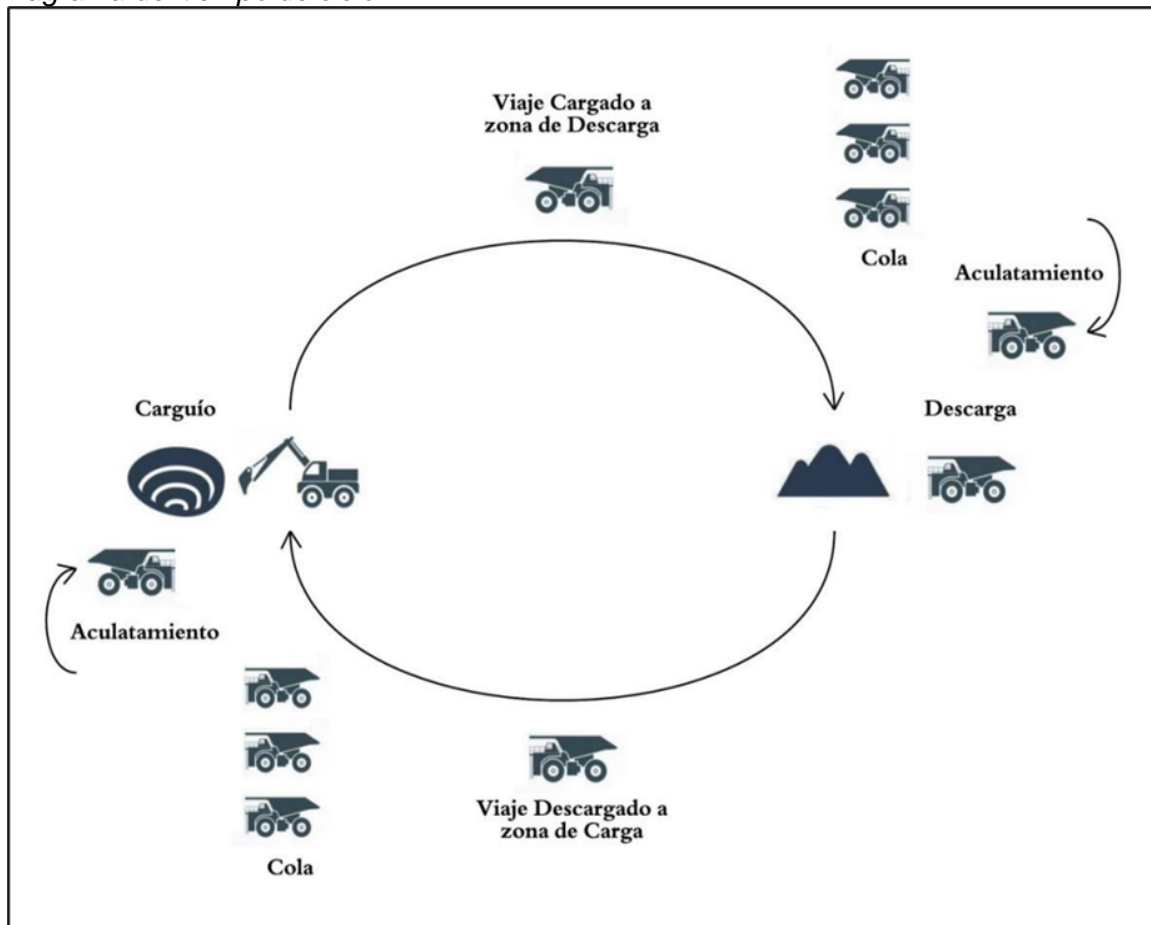
$T_{descarga}$ = Tiempo de vaciado del material.

$T_{retorno}$ = Tiempo de regreso vacío al frente de carguío.

La correcta gestión del tiempo de ciclo permite optimizar el número de viajes por turno, reducir costos de acarreo y maximizar la productividad de la flota.

Figura 3

Diagrama del tiempo de ciclo



Nota: Tavares (2019)

2.1.4 Norma ASARCO

La Norma ASARCO (American Smelting and Refining Company) constituye un método ampliamente utilizado en el sector minero para clasificar, registrar y analizar la distribución del tiempo de las actividades mineras y de la maquinaria involucrada en ellas. Esta metodología permite obtener indicadores operacionales que reflejan el desempeño real de la flota de equipos mineros, proporcionando información clave para la toma de decisiones tanto operativas como gerenciales. (Fuente: Souza C. et (2017)).

Uno de los aportes principales de esta norma es que no solo establece categorías de tiempo, sino que también ofrece una estructura estandarizada de medición, facilitando la comparación de rendimientos entre diferentes operaciones mineras. Además, permite identificar pérdidas, ineficiencias y oportunidades de mejora en el uso de los recursos.

Figura 4

Distribución de tiempos según Norma ASARCO

Nominal				
Disponible				No disponible Mantenimiento
Operativo			Reserva	
Efectivo	Demora Programada	Demora No Programada	Pérdidas Operacionales	

Nota: ASARCO

2.1.4.1 Definición de tiempos según la Norma ASARCO.

- **Tiempo Nominal (TN):**

Corresponde a las 24 horas del día en las que un equipo está considerado dentro del plan de operación. Representa el horizonte total sobre el cual se realizan las mediciones.

- **Tiempo Disponible (TD):**

Es el tiempo en el cual el equipo se encuentra mecánicamente operativo y está en condiciones de ser utilizado para realizar labores productivas.

- **Tiempo No Disponible / Mantenimiento (TM):**

Hace referencia a los periodos en que el equipo está inoperativo debido a mantenimientos preventivos, correctivos o inspecciones técnicas.

- **Tiempo Operativo (TO):**

Intervalo en el que el equipo se encuentra listo para trabajar y cuenta con un operador asignado.

- **Tiempo de Reserva (TR):**

Se refiere a los momentos en los que el equipo está mecánicamente apto, pero permanece detenido por falta de operador o por exceso de equipos en operación.

- **Tiempo Efectivo (TE):**

Tiempo en el cual el equipo desempeña directamente las funciones para las cuales fue diseñado, es decir, realizando trabajo productivo.

- **Demora Programada (DP):**

Tiempo en que el equipo está operativo y con operador, pero no realiza labores debido a pausas planificadas como cambios de turno, refrigerio o reuniones de seguridad.

- **Demora No Programada (DNP):**

Son detenciones imprevistas, en las que el equipo y el operador están disponibles, pero las condiciones operativas no permiten continuar. Su duración es incierta y afecta directamente la continuidad operacional.

- **Pérdidas Operacionales (PO):**

Tiempos en los que el equipo se encuentra en espera durante la ejecución de su labor, como colas de carguío en palas o demoras en chancado, generando pérdidas de productividad.

2.1.4.2 Índices operacionales de gestión. La Norma ASARCO permite calcular indicadores de gestión que permiten evaluar el desempeño de la flota:

- **Disponibilidad Mecánica (DM):**

Representa la proporción de tiempo en que el equipo está mecánicamente apto para trabajar respecto al tiempo nominal.

$$DM(\%) = 100 * \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo nominal}} \quad (3)$$

- **Utilización (UT):**

Relación entre el tiempo en que el equipo cuenta con operador y se encuentra en condiciones de trabajar respecto al tiempo disponible.

$$UT(\%) = 100 * \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo disponible}} \quad (4)$$

- **Utilización Efectiva (UE):**

Expresa la fracción del tiempo en que el equipo realiza directamente el trabajo para el cual fue fabricado, considerando únicamente el tiempo efectivo.

$$UE(\%) = 100 * \frac{\text{Tiempo efectivo}}{\text{Tiempo disponible}} \quad (5)$$

- **Pérdidas Operacionales (PO):**

Proporción del tiempo en el que el equipo debería estar ejecutando labores productivas, pero permanece en espera debido a factores externos.

$$PO(\%) = 100 * \frac{\text{Perdidas operacionales}}{\text{Tiempo disponible}} \quad (6)$$

El uso de la Norma ASARCO ha sido fundamental en la optimización de operaciones mineras a tajo abierto, ya que permite identificar de forma precisa las demoras programadas, no programadas y las pérdidas operacionales, ofreciendo una base sólida para diseñar planes de mejora. Su correcta aplicación impacta en la reducción de costos, la optimización de recursos y el incremento de la productividad global de la operación minera. (Fuente: Naranjo R. (2020)).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Bahía

Área designada y acondicionada en el interior de la operación minera donde se efectúa el relevo de operadores. Estas zonas están planificadas para facilitar el acceso

seguro, rápido y eficiente a los camiones u otros equipos, reduciendo los tiempos de inactividad asociados al cambio de turno.

2.2.2 Disponibilidad

Condición en la cual un equipo se encuentra técnicamente apto para ser utilizado en las operaciones programadas, sin limitaciones mecánicas o logísticas.

2.2.3 Utilización

Proporción del tiempo en que un equipo disponible es efectivamente usado para cumplir con la tarea para la cual fue diseñado.

2.2.4 Rendimiento

Indicador que expresa la capacidad de un conjunto de equipos para cumplir con los objetivos de producción establecidos en un determinado horizonte temporal.

2.2.5 Relevó

Conjunto de procedimientos organizativos y técnicos aplicados al momento del cambio de operador, con el fin de minimizar tiempos improductivos y asegurar la continuidad de la operación.

2.2.6 Productividad

Relación entre el volumen de material transportado por los camiones mineros y el tiempo total de operación, evaluando la eficiencia del ciclo de acarreo.

2.2.7 Ciclo

Secuencia completa de actividades realizadas por un equipo desde el inicio hasta el fin de una tarea específica, incluyendo carguío, transporte, descarga y retorno.

2.2.8 Demoras

Son Programadas cuando son intervalos de tiempo de inactividad previstos en la planificación operacional, como pausas de turno, alimentación o reuniones de seguridad. Son No Programada cuando son interrupciones imprevistas que afectan la operación normal de los equipos, originadas por factores externos o condiciones inesperadas en el entorno de trabajo.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Recolección de datos

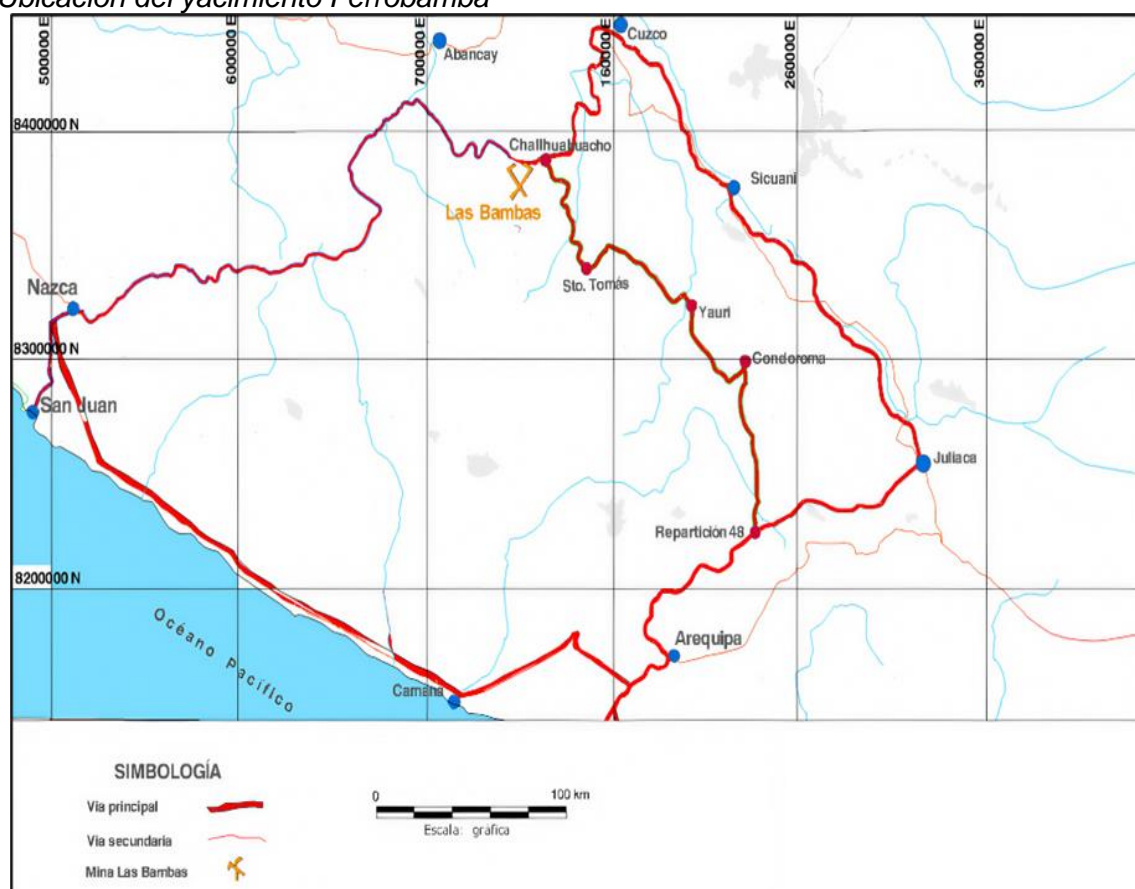
3.1.1 Unidad de estudio

3.1.1.1 Ubicación y accesibilidad. El Yacimiento Ferrobamba se localiza en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, en el departamento de Apurímac, específicamente en las provincias de Grau y Cotabambas, distrito de Chalhualhuacho.

Se encuentra a unos 563 km al sureste de Lima y a 75 km al suroeste de la ciudad de Cusco. Su altitud varía entre los 3700 y 4250 metros sobre el nivel del mar. Geográficamente, está situado en la parte norte del cuadrángulo de Santo Tomás (29-r) del mapa geológico nacional.

Figura 5

Ubicación del yacimiento Ferrobamba



Nota: INGEMMET

Las opciones para llegar a la mina son varias, e incluyen rutas terrestres y aéreas.

3.1.1.1.1 **Rutas terrestres.** Existen varias vías para acceder al sitio:

▪ **Desde Cusco:**

Una de las rutas es la de 300 km que va a Challhuahuacho por una vía afirmada. Otra opción, también afirmada, es de unos 250 km y se dirige hacia el oeste, pasando por Cotabambas y Tambobamba. Hay dos alternativas más desde Cusco, ambas afirmadas: una de 220 km que pasa por Yaurisque, Ccoyabamba, Ccapaccmarca y Mara, y otra de 240 km que recorre Cotabambas, Ñahuiña y Pamputa

▪ **Desde Espinar:**

La ruta a Challhuahuacho es asfaltada, pero su uso está restringido debido a su angosto ancho de aproximadamente 3.4 metros.

▪ **Desde Lima:**

Se puede tomar la Vía Los Libertadores, una carretera asfaltada que pasa por Pisco, Ayacucho y Abancay. Otra alternativa es la vía que va por Ica, Nazca, Puquio, Chahuanca, Puente Pachachaca, Lambrama, Chuquibambilla y Progreso, hasta llegar a Challhuahuacho.

3.1.1.1.2 Acceso aéreo. Se puede volar desde Lima hasta Cusco en aproximadamente 1.5 horas, y desde allí continuar el viaje por tierra hasta la zona de la mina. Se dispone de cuadros detallados que describen los tramos y distancias de las vías de acceso.

Tabla 3

Tramo principal hacia la mina

RECORRIDO	TIPO DE VÍA	DISTANCIA Km	TIEMPO Hrs
Arequipa - Yauri	Asfaltada	270	4.00
Yauri - Santo Tomás	Asfaltada	150	3.00
Santo Tomás - Haqira	Asfaltada	40	2.00
Haqira - Chalhuahuacho	Asfaltada	15	1.00
Chalhuahuacho - Las Bambas	Afirmada	12	1.00
Total		490	11.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 4*Tramo alternativo hacia la mina*

RECORRIDO	TIPO DE VÍA	DISTANCIA Km	TIEMPO Hrs
Arequipa - Cuzco	Asfaltada	520	8.00
Cuzco - Cotabambas	Asfaltada	132	4.00
Cotabambas - Chalhuanahuacho	Asfaltada	32	1.00
Chalhuanahuacho - Las Bambas	Afirmada	12	1.00
Total		696	14 Hrs.

Nota: Elaboración propia

3.1.1.2 Geología regional. La zona de estudio se ubica en un área del sureste peruano con yacimientos de skarn de cobre, que también contienen molibdeno y oro. Estos depósitos están relacionados con sistemas de pórfidos y se formaron por la intrusión del batolito Andahuaylas-Yauri (Eoceno-Oligoceno) en rocas sedimentarias del Mesozoico. El contacto entre las rocas intrusivas del batolito y las calizas de la Formación Ferrobamba generó un metamorfismo que dio lugar a cuerpos de skarn mineralizados. El batolito se emplazó al sur de la “Deflexión de Abancay”, siguiendo una dirección preferencial noroeste-sureste y noreste-suroeste.

3.1.1.2.1 Estratigrafía. Las rocas más antiguas de la zona son del Grupo Yura, que incluyen la Formación Chuquibambilla del Jurásico Superior. Durante el Cretáceo se depositaron las formaciones Soraya, Mara y Ferrobamba. En el Terciario Superior-Pleistoceno, la actividad volcánica formó el Grupo Barroso, que se divide en los miembros Volcánico Malmanya y Volcánico Vilcarani. Los depósitos cuaternarios cubren parcialmente las rocas más antiguas. En el Terciario Inferior, el Batolito de la Costa intruyó rocas más antiguas, exponiendo rocas dioríticas, granodioríticas y tonalíticas.

Grupo Yura

- Formación Chuquibambilla (Js-chu)

Esta formación, cuyo nombre proviene del pueblo de Chuquibambilla, es fácilmente identificable en el campo por sus contactos claros y su cambio de litología y coloración. Se encuentra en concordancia, superponiéndose a la Formación Piste y subyaciendo a la Formación Mara. Su litología se compone de una secuencia de

areniscas de grano fino a grueso (60-70%), de color gris oscuro, intercaladas con lutitas y delgados niveles de calizas de colores claros a negros. La formación está afectada por la actividad tectónica, mostrando pliegues y ondulaciones. Su espesor varía, alcanzando unos 800 metros en el cerro Ninacasa, 500 metros en el valle de Chuquibambilla y más de 600 metros en el valle de Chalhuanca. Se le asigna una edad del Jurásico Superior-Cretáceo Inferior.

- **Formación Soraya (Ki-so)**

Esta formación es más visible en el cañón del río Chalhuanca, cerca del pueblo del mismo nombre. Se superpone en concordancia a la Formación Chuquibambilla y subyace a la Formación Mara, aunque en el río Antabamba presenta una discordancia erosional. Su composición incluye una secuencia de cuarcitas y areniscas cuarcíticas, con niveles delgados de lutitas negras. Los restos de troncos y plantas silicificadas en sus delgados niveles no están bien conservados. Por su posición estratigráfica, se estima que su edad corresponde al Neocomiano inferior.

- **Formación Mara (Ki-ma)**

Estudiada por W. Jenks en 1951, esta formación presenta afloramientos rojizos en la localidad de Mara, Cocha y Jarque, extendiéndose hasta el cerro Capayoc. La litología de esta formación es principalmente rojiza a marrón rojiza. En su base predominan las areniscas, seguidas por areniscas lutáceas y lutitas con intercalaciones de conglomerados. Hacia la parte superior, se encuentran areniscas y lutitas abigarradas, y en la cima, calizas amarillentas. Se le asigna una edad Aptiana según su posición estratigráfica.

- **Formación Ferrobamba (Km-fe)**

También descrita por W. Jenks en 1951, esta formación consiste en una secuencia de calizas. Yace en concordancia sobre la Formación Mara, o a veces sobre las cuarcitas de la Formación Soraya. Subyace en discordancia paralela a rocas de la Formación Anta y en discordancia angular a los conglomerados del Grupo Puno. Su composición principal son calizas negruzcas a gris oscuro, masivas y compactas, con estratificación clara.

Incluyen granos de cuarzo, delgados niveles de lutitas, y fragmentos de fósiles como moluscos y cefalópodos. Se le atribuye una edad Albiano-Cenomaniano.

Grupo Barroso

Este grupo está compuesto por rocas volcánicas, tanto derrames como piroclásticos, de composición andesítica, traquítica y traquiandesítica. Se encuentra sobre los grupos Sencca y Tacaza con una discordancia erosional, y sobre las formaciones Ferrobamba y Yura con una discordancia angular. Está cubierto parcialmente por depósitos glaciares y fluvio-glaciares. Su edad se infiere como Plioceno Superior-Pleistoceno, y se divide en dos miembros:

- Volcánico Malmanya (TsQ-vma)

Es el miembro inferior del Grupo Barroso, con una exposición notable en el nevado Malmanya. Su litología consiste en derrames lávicos de andesita, traquiandesita y riolacita. Se presentan en capas horizontales de 1 a 5 metros de espesor, con una textura porfirítica. Su color varía de gris oscuro, rojizo y morado a gris verdoso. El espesor aproximado de esta formación es de 1,000 metros.

- Volcánico Vilcarani (Qp-wi)

Ubicado en la parte superior del Grupo Barroso, se encuentra en las pampas de Vilcarani. Yace sobre el Volcánico Malmanya con una discordancia erosional. Su litología está compuesta por una secuencia de piroclásticos como tobas, brechas y cenizas, y derrames andesíticos y riolíticos, con tonalidades del blanco al rojizo.

Cuaternario

- Depósitos morrénicos (Qpl-mo)

Originados por la actividad glacial, las morrenas más antiguas están erosionadas, pero sus restos indican que los glaciares alcanzaron los 3600 msnm. Se encuentran principalmente en las partes altas de los valles. Las morrenas pueden observarse al oeste de Haquira, donde descendieron hasta el pie de los nevados de Malmanya.

- Depósitos fluvio-glaciares (Qr-fg)

Se formaron por las aguas de deshielo de los glaciares. Están compuestos por bloques y gravas angulosas de distintas rocas, en una matriz de arena y toba.

- **Depósitos aluviales (Qr-al)**

Presentes en los cauces antiguos y recientes de los valles y quebradas, estos depósitos forman terrazas que pueden elevarse hasta 150 metros sobre el nivel de los ríos actuales. Su composición incluye gravas, cantos rodados y angulosos, arenas y arcillas, que no están consolidadas. El espesor de estos depósitos puede variar desde unos pocos metros hasta más de 150 metros.

3.1.1.2.2 Rocas intrusivas.

Diorita

Se encuentra principalmente en la orilla derecha del río Santo Tomás y, en menor medida, en el anticlinal de Mara. Se presenta como una roca gris clara a verdosa de grano medio. Intruye rocas sedimentarias y en Chalhuanca, a las calizas de la Formación Ferrobamba. Es notable la casi total ausencia de hornblenda y biotita en algunas zonas.

Granodiorita.

La granodiorita se localiza al sureste y suroeste de Chalhuanca y Antabamba, y también en el sector de Mollobamba en Santo Tomás. Intruye la Formación Mara y se caracteriza por una textura rica en plagioclasa, biotita, hornblenda y ortopiroxenos. Contiene mineralización de bornita y molibdenita. Es una roca de grano medio a grueso, de color gris claro, y a menudo es difícil de diferenciar de las tonalitas.

Tonalita.

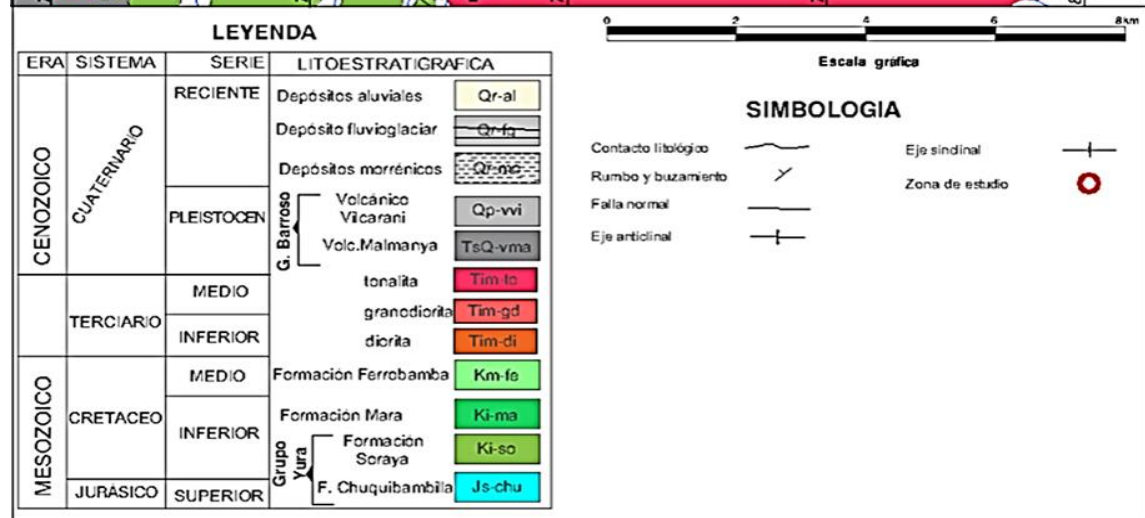
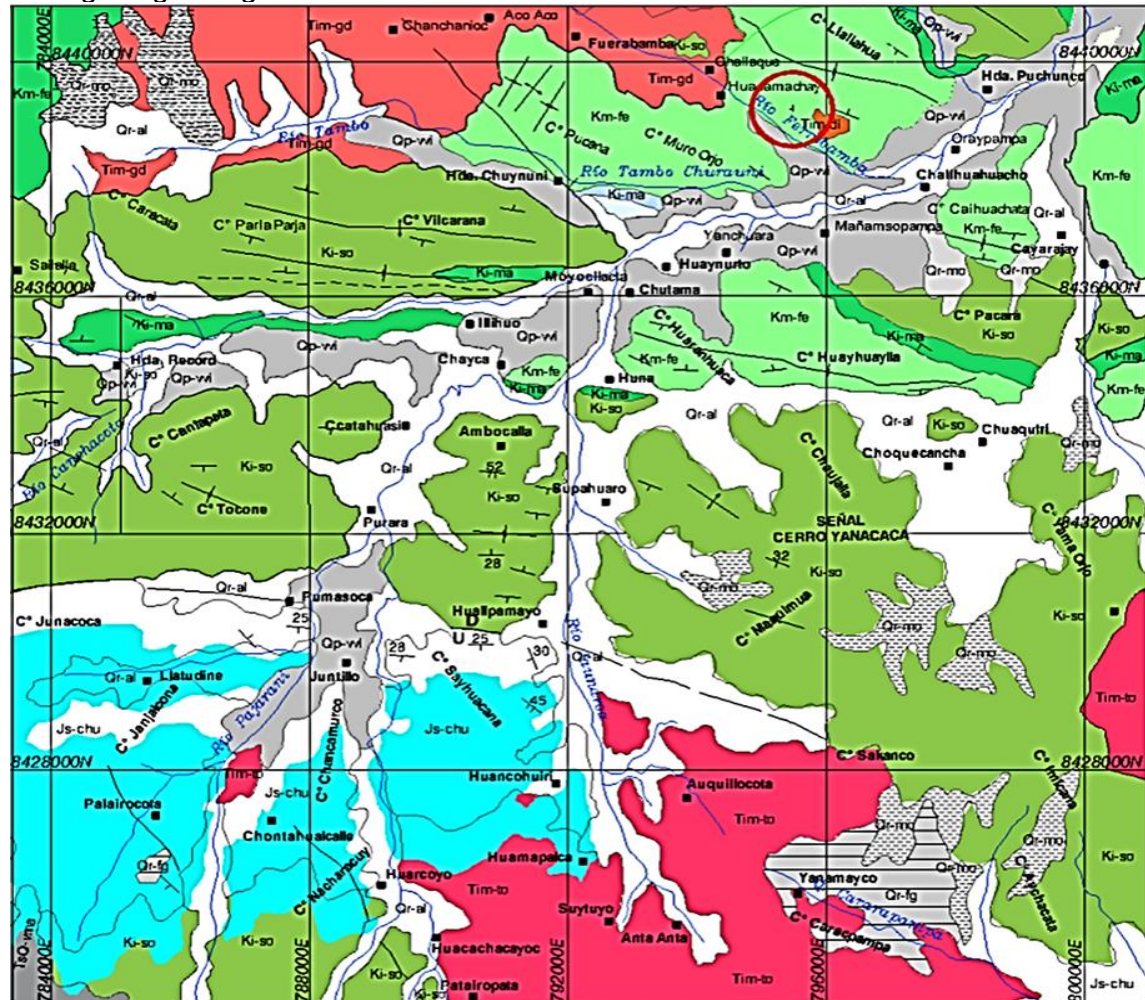
La tonalita es una roca intrusiva con un alto contenido de sílice. Sus principales minerales son la plagioclasa y el cuarzo, además de hornblenda y biotita. Los afloramientos más importantes se encuentran en Huancaray, Ancobamba, San Antonio y Haqira. Las tonalitas de Haqira se distinguen por ser más potásicas y tener minerales de mayor tamaño en comparación con las de San Antonio, además de poseer muy poca hornblenda.

3.1.1.2.3 Geología estructural regional. La zona tiene un área no deformada, que no fue afectada por eventos tectónicos, compuesta por rocas volcánicas del Grupo Barroso

y depósitos cuaternarios recientes. Estas no presentan perturbaciones estructurales. Por otro lado, la zona del batolito de Apurímac se caracteriza por haber intruido y alterado rocas más antiguas, especialmente las del Mesozoico y el Terciario Inferior.

Figura 6

Plano geológico regional



Nota: INGEMMET

3.1.1.3 Geología local.

3.1.1.3.1 Litoestratigrafía. La litología de la zona se caracteriza por la presencia de rocas intrusivas como monzonitas, así como áreas de skarn (exoskarn y endoskarn) y mármol.

Monzonita

El Batolito de Andahuaylas-Yauri es un gran cuerpo intrusivo que se extiende por unos 300 km x 130 km a través de los departamentos de Cuzco, Ayacucho y Apurímac.

Se formó entre el Eoceno y el Oligoceno, y su emplazamiento estuvo controlado por fallas longitudinales.

Se compone principalmente de monzonitas, pero también incluye gradualmente granodioritas, tonalitas y dioritas.

Estas rocas fueron intruidas por rocas hipabisales del Mioceno, asociadas a la mineralización metálica.

La monzonita tiene una composición mineralógica con un 30-40% de feldespato potásico, 30-40% de feldespato plagioclasa, aproximadamente 30% de cuarzo y 5% de minerales ferromagnesianos.

Exoskarn

Los skarn son rocas metamórficas formadas a partir de calizas y dolomitas que han sido alteradas por la adición de silicatos de Ca, Mg y Fe. Los depósitos de skarn tienen formas irregulares y pueden extenderse a lo largo de diversas estructuras geológicas. El exoskarn se forma en la roca de carbonato fuera del cuerpo intrusivo. Ocurre cuando los fluidos hidrotermales de la intrusión reaccionan con rocas reactivas como la caliza, creando una alteración llamada metasomatismo.

En la Formación Ferrobamba, el exoskarn se divide en dos subzonas: una con minerales prógradados (principalmente granates de color pardo rojizo a verde manzana) y otra con minerales retrógradados (con la mayor parte de la mineralización) acompañada de granates verdes, tremolita-actinolita, cuarzo, calcita y clorita.

Las variedades de exoskarn más comunes son el de magnetita, granates, piroxeno y epidota.

Endoskarn

El endoskarn se forma dentro de las fracturas y juntas de enfriamiento del cuerpo intrusivo. Se origina por la interacción de fluidos hidrotermales con el material de la capa de carbonato.

Se produce en la periferia de los plutones, donde el flujo de fluidos se dirige hacia el interior del intrusivo o paralelo a su contacto. Este tipo de skarn es menos común en intrusiones de tipo pórfido. Las variedades de endoskarn incluyen el de granate, epidota y plagioclasa-piroxeno.

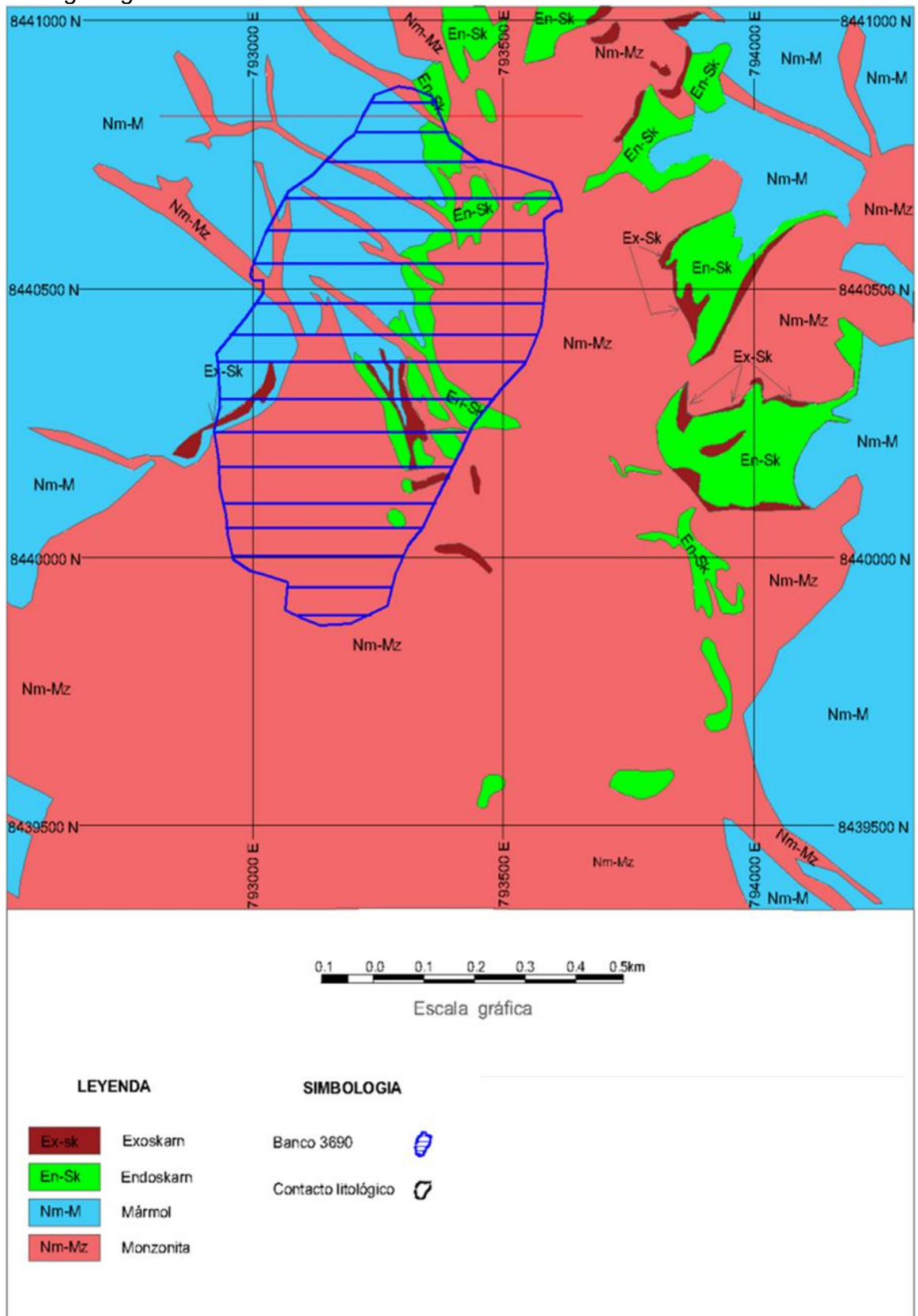
Mármol

El mármol es una roca metamórfica que se forma a partir de calizas que han sido sometidas a altas presiones y temperaturas, lo que provoca la recristalización de la calcita.

En este proceso, la textura de la roca cambia, y los cristales de calcita se agrandan, eliminando los fósiles y las estructuras sedimentarias originales. La diferencia principal entre la caliza y el mármol es esta recristalización. La presencia de mármol se ha identificado en el Tajo Ferrobamba, en contacto con el endoskarn y el exoskarn, rodeando al pórfido de monzonita.

Figura 7

Plano geológico local



Nota: INGEMMET

3.1.1.3.2 Geología estructural local. La geología estructural local presenta un régimen de deformación por extensión, con una orientación preferencial de este a oeste. Esto está relacionado con la cinemática de las principales fallas con orientación NO-SE y la influencia de los esfuerzos regionales. Las estructuras en el área de estudio, incluyendo fallas y pliegues, están dominadas por orientaciones NO-SE y NE-SO. Estas estructuras se originaron por la “Deflexión de Abancay” y la influencia del plutón Andahuaylas-Yauri.

En el área de estudio, se han identificado varias fallas, lineamientos y pliegues. La falla Chuspiri-Fuerabamba, con dirección ONO-ESE, es la estructura principal que atraviesa el sur de la zona de estudio. Esta falla se reactivó, pasando de una fase cinemática inicial a un régimen de falla normal que facilitó el emplazamiento de los plutones monzoníticos mineralizados. Las fallas tensionales de dirección NE-SO en el lado norte de la falla principal son resultado de su cinemática y de las tensiones en la zona.

Se han determinado tres patrones de fallas:

- Una falla principal con dirección ONO-ESE y buzamiento hacia el SO.
- Dos patrones de fallas tensionales con orientaciones NE-SO y NO-SE.

A continuación, se describen las fallas identificadas:

▪ **Falla Huancarane:**

Se ubica al noroeste del área de estudio, con dirección NO-SE y buzamiento hacia el NE.

▪ **Falla Challhuahuacho:**

Localizada al noroeste del área, se extiende desde Charcas y atraviesa el sector de estudio. Su orientación es NO-SE, con buzamiento hacia el NE.

▪ **Falla Alto Jahuapayllo:**

Se expone al norte del área, cortando la parte superior y continuando hacia el SE. Su orientación es NO-SE, con buzamiento hacia el SO.

▪ **Falla Récord:**

Afectada por la Falla de Abancay, se encuentra al noroeste del área de estudio. Su orientación es NO-SE, con buzamiento hacia el SO.

- **Falla Manantiales:**

Ubicada al sureste del área y afectada por las fallas de Cotabambas y Tambobamba. Su orientación es NO-SE, con buzamiento hacia el NE.

- **Falla Chuspire-Fuerabamba:**

Considerada una de las principales fallas del área. Su dirección preferencial es NO-SE y su buzamiento es hacia el SO.

3.1.1.3.3 Geología económica del Tajo Ferrobamba. Los skarn son rocas calcáreas que se forman por procesos metasomáticos en la zona de contacto entre intrusiones ígneas y rocas carbonatadas. Estos depósitos, también conocidos como yacimientos de contacto, se componen de silicatos de Ca, Mg y Fe derivados de calizas y dolomitas. Contienen minerales calcosilicatados como diópsido, wollastonita, andradita y actinolita, y se desarrollan en aureolas metamórficas alrededor de rocas intrusivas que intruyen estratos calcáreos.

Los depósitos de skarn se clasifican por el metal predominante que contienen, como cobre, molibdeno o estaño. Se distinguen dos tipos:

- **Endo-skarn:**

Se forma dentro de la roca intrusiva, donde los fluidos fluyen hacia el interior del plutón. Es menos común en intrusiones de tipo pórfido, donde el flujo de fluidos es ascendente.

- **Exo-skarn:**

Se forma en las rocas calcáreas exteriores al cuerpo intrusivo.

Los depósitos generados en estas formaciones pueden contener hierro, cobre, tungsteno, zinc, plomo, molibdeno, oro, así como minerales como el granate, talco y wollastonita.

Características del Tajo Ferrobamba

Los cuerpos de skarn en la zona de estudio se originaron en diferentes etapas de intrusión. Los de la primera etapa, en los sectores sur, central y este, contienen granates de grano medio a grueso de colores marrón, rojizo, verde y amarillo, que se alternan con

piroxenos. En menor medida, hay magnetita y mineralización de sulfuros de cobre (bornita y calcopirita) en diseminaciones y vetillas de cuarzo. Los skarn de la segunda fase tienen una mineralización similar, pero sin vetillas de cuarzo.

Los endoskarn contienen granates de color marrón claro, con mineralización de calcopirita, bornita y, en menor proporción, molibdenita, epidota, clorita y plagioclasas cálcicas. La alteración retrógrada en la parte distal del sistema muestra anfíboles, epidota, especularita y calcita. La marmolización de las calizas ocurre en la zona distal del cuerpo de skarn o en contacto con diques y cuerpos intrusivos.

Mineralización

El área de estudio presenta una ley promedio de cobre del 0.6%, mientras que los skarn tienen una ley promedio del 1.7%, el endoskarn un 0.7% y la brecha de contacto un 1.0%. El oro tiene un valor promedio de 0.06 g/t y la plata de 3.3 g/t. La ley promedio de molibdeno es de 139 ppm, encontrándose en el skarn y el endoskarn.

- El skarn de magnetita tiene un alto contenido de minerales, con oro asociado al skarn y al endoskarn.
- La plata es más abundante en el skarn (hasta 10 g/t) que en los pórfidos (1.0-1.2 g/t).
- El molibdeno tiene las leyes más altas en el skarn (más de 250 ppm) y en el endoskarn (177 ppm), con valores de 135 ppm en el pórfido.
- El principal mineral de cobre es la bornita, con calcosita que se presenta en los bordes.

Según estudios, se han definido cuatro tipos de yacimientos en función de la mineralogía: skarn con sulfuros, skarn con óxidos, pórfido con sulfuros y pórfido con óxidos.

3.1.2 Tiempos de relevo – Línea base

En esta sección se desarrollara la línea base de los tiempos de relevo en los operadores de camiones mineros en una operación a tajo abierto. Esta información inicial constituye el punto de partida para evaluar la situación actual en términos de disponibilidad, utilización y productividad de los equipos de acarreo, así como los tiempos asociados a los

relevos operativos. La información aquí descrita servirá de referencia para los análisis comparativos posteriores, una vez implementadas las mejoras orientadas a reducir los tiempos muertos y optimizar la gestión del cambio de guardia.

3.1.2.1 Disponibilidad y utilización de equipos de acarreo. Los camiones mineros, al ser equipos de gran envergadura y alto costo operativo, requieren de un control riguroso sobre sus tiempos de operación. La disponibilidad mecánica refleja la proporción de tiempo en la que los equipos se encuentran técnicamente aptos para operar, mientras que la utilización mide qué parte de ese tiempo disponible se emplea efectivamente en actividades productivas.

En la línea base, se muestra que los equipos presentan un nivel de disponibilidad mecánica dentro de rangos aceptables para la industria, aunque con oportunidades de mejora respecto a la utilización efectiva, la cual se ve impactada por las paradas recurrentes en los horarios de relevo. En la Tabla 5 se presenta dichos valores.

Tabla 5

Disponibilidad y utilización de equipos de acarreo

INDICADOR	UNIDAD	REAL	PLANIFICADO
Disp Haul Truck CAT 797F	%	85.0	87.5
Disp Haul Truck KOM 930E	%	88.8	88.7
Disp Haul Truck KOM 980E	%	87.2	89.2
UoA Haul Truck CAT 797F	%	91.0	89.2
UoA Haul Truck KOM 930E	%	91.7	87.0
UoA Haul Truck KOM 980E	%	91.1	89.2

Nota: Elaboración propia

3.1.2.2 Productividad promedio. La productividad de los equipos de acarreo se expresa en toneladas métricas por hora (TM/h). Este indicador integra tanto la eficiencia del ciclo de acarreo (carguío, transporte, descarga y retorno) como la continuidad operativa de los camiones. En la línea base, los registros muestran una productividad promedio representativa de las condiciones actuales de operación, que servirá como referencia comparativa en los estudios posteriores.

El análisis de la productividad evidencia que los camiones alcanzan niveles cercanos a lo esperado en los momentos de operación continua; sin embargo, los descensos en el rendimiento se asocian principalmente a los tiempos muertos generados durante el relevo de operadores. En la Tabla 6 se muestran la productividad promedio de los camiones de mina.

Tabla 6

Productividad de equipos de acarreo

INDICADOR	UNIDAD	REAL	PLANIFICADO
Productividad Camiones CAT 797F(Secas)	Tm/Hr	434	376
Productividad Camiones KOM 930E(Secas)	Tm/Hr	343	309
Productividad Camiones KOM 980E(Secas)	Tm/Hr	425	370

Nota: Elaboración propia

3.1.2.3 Tiempos promedios de relevo. El proceso de relevo de operadores implica una serie de pasos como el estacionamiento del camión en un punto seguro, el apagado de motor, el descenso del operador que culmina su jornada y el ascenso del operador entrante. Todo este procedimiento demanda un tiempo promedio que, según los registros de la línea base, se mantiene relativamente constante en cada jornada.

La medición de este indicador resulta crítica, ya que permite cuantificar el impacto directo de los relevos en la pérdida de horas efectivas de operación y, en consecuencia, en la disminución de la productividad global de la flota. En la Tabla 7 se muestran los tiempos de relevo promedio en los distintos parqueos habilitados en la mina.

Tabla 7

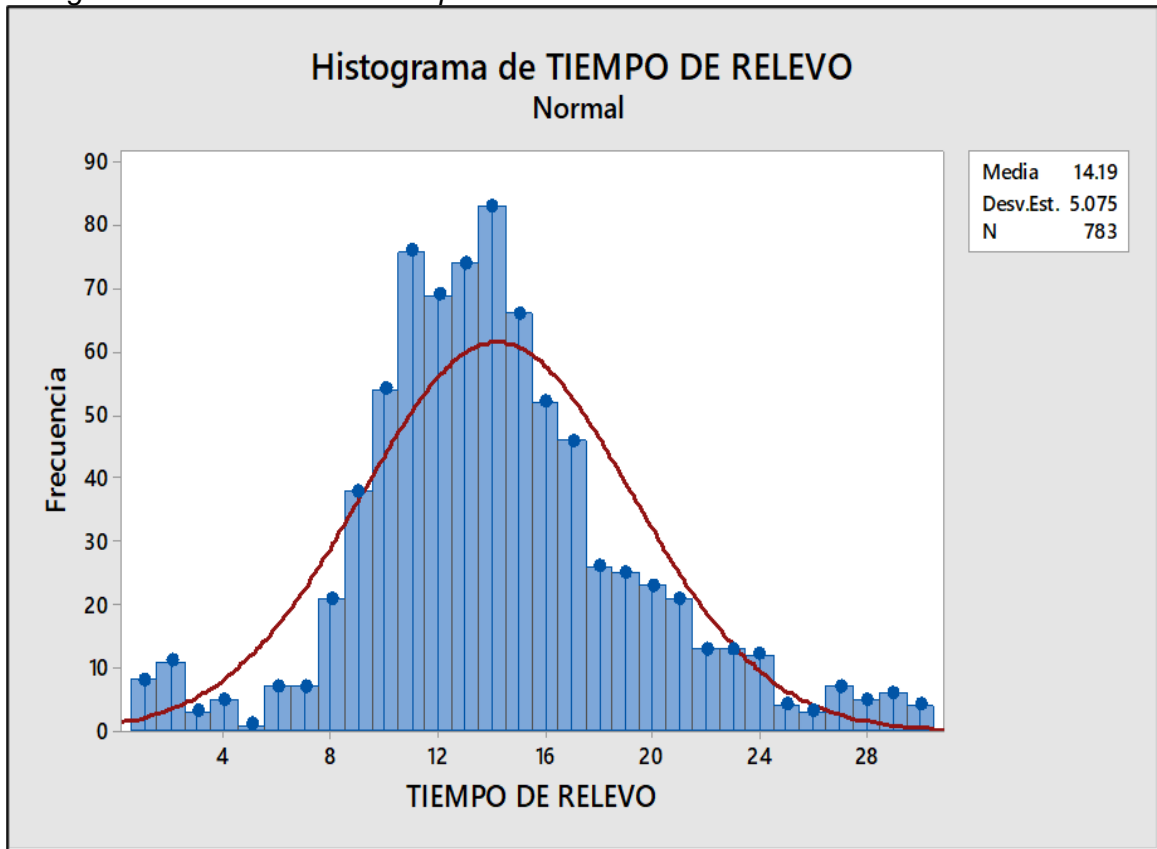
Tiempos de relevo promedio en parqueos de mina

PARQUEOS HABILITADOS EN MINA	MINUTOS POR RELEVO
PQ_4245_HR1	12.9
PQ_4245_TR09	18.2
PQ_CHB_4480	14.1
PQ_DIQUE	11.3
PQ_HR01_4145	17.7
PQ_HR01_4170	14.4
PQ_SUR_3780	15.9
PQ_TRAMO1	7.2
PQ-DIQUE-6B	11.8
PROMEDIO GENERAL	14.2

Nota: Elaboración propia

Figura 8

Histograma de frecuencia de tiempo de relevo – línea base



Nota: Elaboración propia

3.1.2.4 Cantidad de relevos promedio por día. Dentro de la jornada laboral se identifican varios momentos de relevo que, en promedio, se repiten diariamente. Estos incluyen el inicio de turno, el relevo asociado a la pausa de alimentación y el cierre de jornada, lo que representa un número determinado de relevos por día.

El registro de la cantidad de relevos promedio permite dimensionar la magnitud de los tiempos muertos asociados, y constituye un insumo clave para evaluar el efecto de las mejoras que se implementarán en el sistema de cambio de guardia.

En la Tabla 8 se muestra la cantidad de relevos promedio que se tienen en un mes de operación.

Tabla 8*Cantidad de relevos promedio para un mes de operación*

DIA DE OPERACIÓN	NUMERO DE RELEVOS
1	252
2	153
3	146
4	152
5	110
6	99
7	121
8	104
9	116
10	100
11	136
12	112
13	131
14	119
15	130
16	108
17	131
18	120
19	129
20	117
21	72
22	101
23	92
24	82
25	110
26	116
27	123
28	101
29	89
30	93
31	52
PROMEDIO GENERAL	117

Nota: Elaboración propia

En conclusión, la línea base muestra que:

- Los equipos presentan niveles adecuados de disponibilidad mecánica, aunque con espacios de mejora en la utilización.
- La productividad promedio (TM/h) refleja un comportamiento estable, pero condicionado por las interrupciones en los relevos.

- El tiempo promedio de relevo representa una pérdida operativa significativa en el ciclo de trabajo.
- La cantidad de relevos diarios genera un impacto acumulativo que afecta la continuidad de las operaciones.

Estos resultados iniciales permiten establecer un marco de referencia cuantitativo y cualitativo sobre la situación actual. En los capítulos posteriores se contrastarán estos datos con los obtenidos tras la implementación de un sistema mejorado de cambio de guardia, con el fin de determinar su impacto en la reducción de tiempos muertos y en el incremento de la productividad de los equipos de acarreo.

3.2 Procesamiento de la información

La siguiente sección describe el plan de implementación de un proyecto crucial para la operación minera, enfocado en la mejora de la productividad y la seguridad. El proyecto aborda la necesidad de optimizar los procesos de cambio de turno de los operadores de camiones de acarreo, con el objetivo de reducir los tiempos muertos y garantizar un descanso adecuado del personal. La estrategia se basa en la construcción de bahías de cambio de guardia en puntos estratégicos, lo que permitirá un relevo eficiente y directo en el área de trabajo.

3.2.1 Planificación para implementación de bahías de cambio de guardia

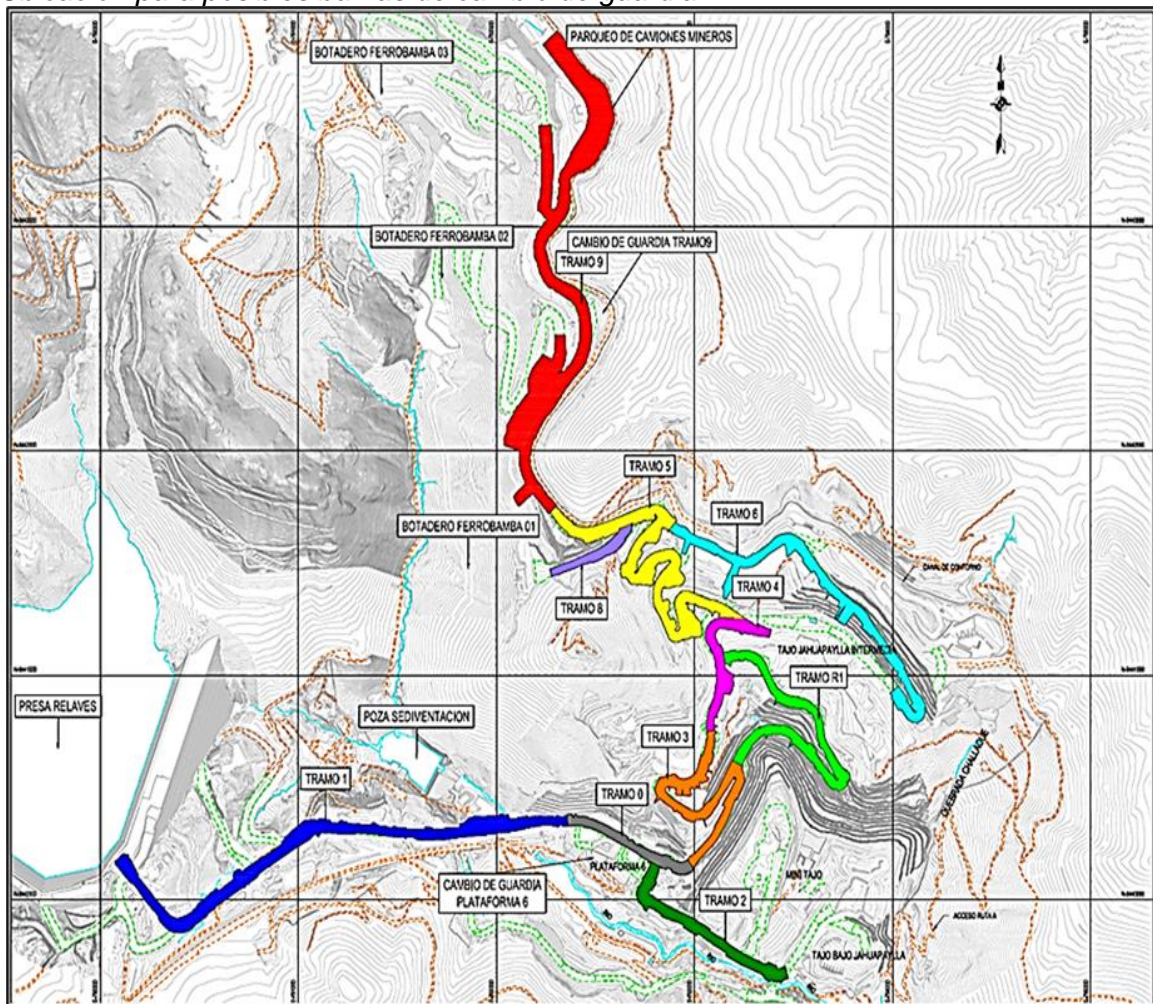
3.2.1.1 Justificación y objetivos estratégicos. El presente plan de implementación se enmarca en una estrategia global de la empresa minera para optimizar la productividad de sus operaciones a tajo abierto. El análisis inicial reveló una deficiencia crítica: los prolongados tiempos muertos y los ineficientes procesos asociados al cambio de turno de los operadores de camiones de acarreo. La ubicación y la limitada capacidad de las áreas de descanso existentes, como la facilidad en la Plataforma 6, no permitían atender a toda la flota, lo que obligaba a los operadores a trasladarse largas distancias, incrementando el tiempo de ciclo de los equipos y reduciendo su disponibilidad. Esta situación no solo impactaba la eficiencia, sino que también representaba un grave riesgo de seguridad por la fatiga y somnolencia del personal.

El objetivo central del plan es mitigar estos riesgos y aumentar la productividad a través de un sistema de cambio de guardia que permita un "relevo en caliente". La meta es construir una red de bahías de cambio de guardia en puntos estratégicos de la mina, asegurando un acceso rápido y cercano a las áreas de trabajo. Este enfoque estratégico busca mejorar la calidad de vida de los operadores, garantizar su descanso adecuado y, consecuentemente, maximizar la utilización de la flota de equipos. La propuesta se alinea directamente con la filosofía corporativa de "pensar en la seguridad ante todo" y "querer ser mejores".

En la Figura 9 se muestra las posibles ubicaciones estratégicas donde se podrían habilitar las bahías de cambio de guardia.

Figura 9

Ubicación para posibles bahías de cambio de guardia



Nota: Elaboración propia

3.2.1.2 Alcance y diseño de las bahías. El alcance del proyecto contempla la construcción de un modelo estandarizado de bahías de cambio de guardia que se replicará en las diferentes áreas de la mina. Cada facilidad incluirá los siguientes componentes:

▪ **Bahías de acceso:**

Se construirán múltiples bahías diseñadas para alojar de forma segura los camiones mineros de las flotas KOM 930E y CAT 797F. Cada bahía estará equipada con plataformas de acceso con barandas de seguridad y semáforos para guiar a los operadores durante el proceso de cambio de turno.

▪ **Edificio de servicio:**

Se levantará una estructura modular que servirá como un centro de descanso y servicio para los operadores. El diseño incluye un comedor, baños equipados, una zona de dispensa de alimentos y módulos unipersonales para el descanso. El tamaño y la capacidad del edificio se ajustarán a las necesidades de cada ubicación.

▪ **Sistemas de soporte:**

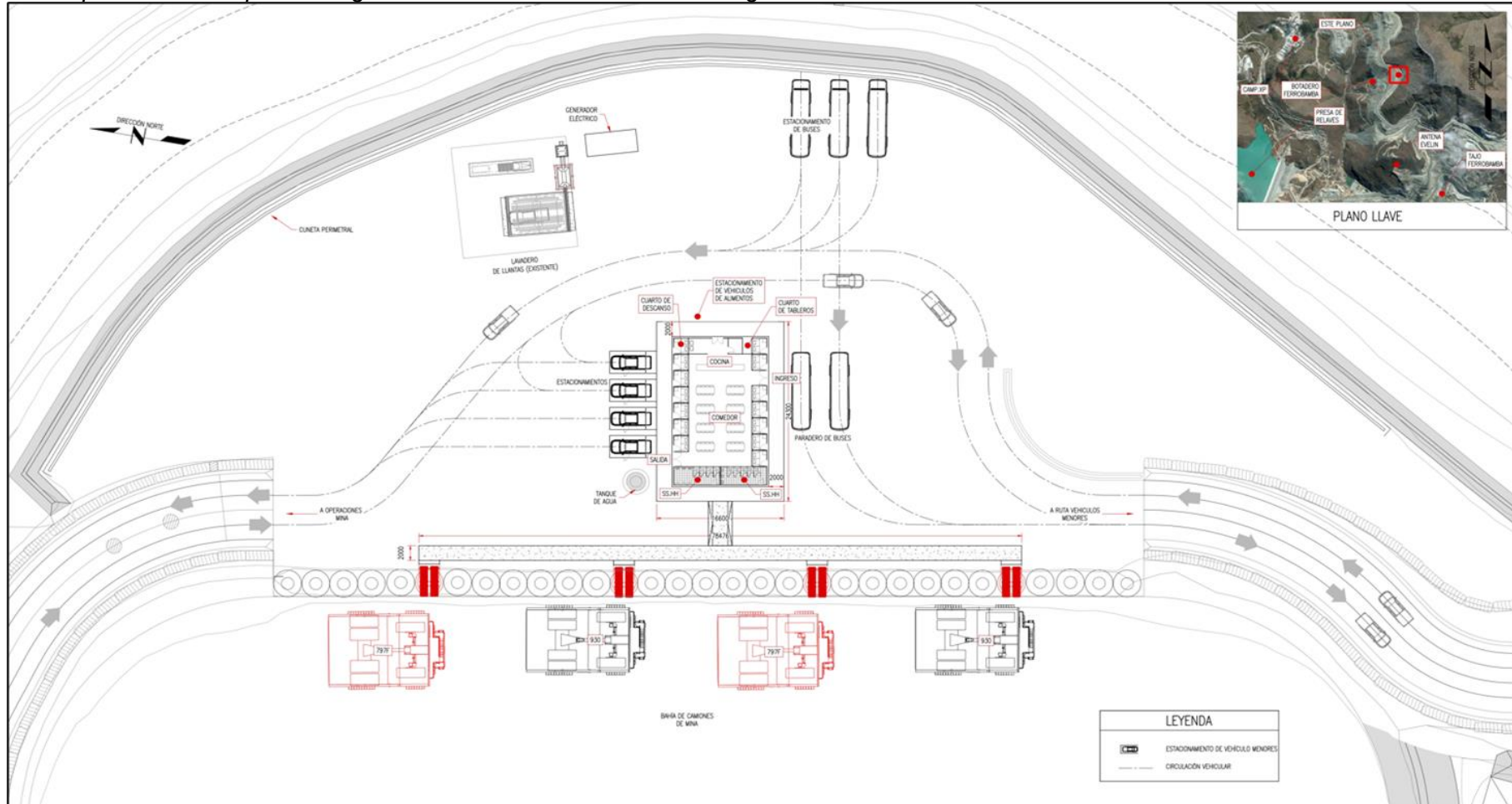
Para garantizar el funcionamiento autónomo de cada bahía, se implementarán los siguientes sistemas:

- Un sistema de protección atmosférica (pararrayos) para la seguridad del personal.
- Iluminación externa en los pasadizos para facilitar el tránsito seguro.
- Un sistema de drenaje para la gestión de aguas pluviales y residuos líquidos.
- Instalaciones sanitarias con tanques de agua y biodigestores para el tratamiento de aguas residuales.
- Un generador eléctrico de 150 kW para asegurar el suministro de energía.

En la Figura 10 se muestra una vista general de la arquitectura que tendrían las bahías de cambio de guardia en una vista de planta. Y en la Figura 11 se muestra el diseño del sistema de drenaje que garantizara la operatividad de las bahías.

Figura 10

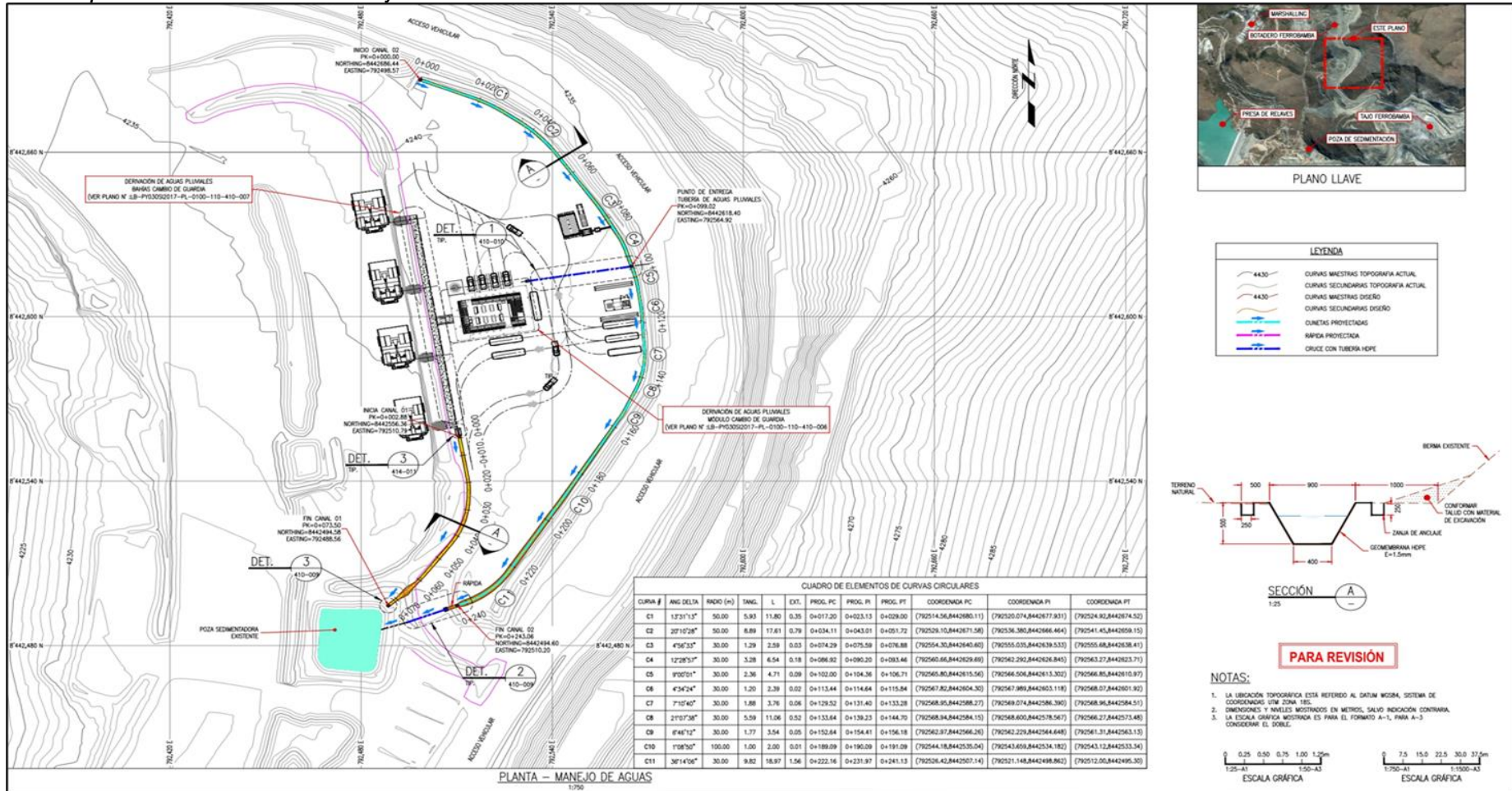
Vista de planta de la arquitectura general de las bahías de cambio de guardia



Nota: Elaboración propia

Figura 11

Vista de planta del sistema de drenajes



Nota: Elaboración propia

3.2.2 Presupuesto y programación

La ejecución de cada bahía se planificará en dos fases principales para optimizar los recursos y el cronograma. La primera fase se enfocará en las obras exteriores y la infraestructura de soporte, mientras que la segunda etapa se centrará en el montaje de los módulos y las instalaciones interiores. Adicional a ello se pretende destinar una parte del presupuesto para construir un sistema de drenaje adecuado y lavadero de camionetas. Se estima que el presupuesto total por cada facilidad será de aproximadamente US\$ 362K.

Tabla 9

Presupuesto para la primera etapa

DESCRIPCIÓN	COSTO ESTIMADO US\$	COMENTARIOS
Sistema contra tormentas eléctricas	10,000	Estimado de costo considerando postes sur plus 5 und.
Instalación de Bahías	20,463	08 pasarelas
Obras Civiles	15,000	Veredas y rampa
Obras de Metal Mecánica	20,000	Baranda y techo de pasadizo
Obras Eléctricas	45,000	Luminaria exterior pasillo, semáforo, aterramiento
Generador Eléctrico	-	Mantenimiento Eléctrico proveerá el generador y un retén 150 KW
Contingencia 10%	11,050	
TOTAL PRIMERA ETAPA	121,513	

Nota: Elaboración propia

Tabla 10

Presupuesto para la segunda etapa

DESCRIPCIÓN	COSTO ESTIMADO US\$	COMENTARIOS
Obras de Saneamiento	5,000	Se usará tanque rotoplast de agua sur plus 25 m3.
Obras Civiles	6,000	
Obras de Metal Mecánica	5,000	Aleros y bajadas de agua
Montaje de Módulos	125,000	Estimado de costos considerando estructura metálica y módulos sur plus
Obras Eléctricas	15,000	Instalaciones interiores
Generador Eléctrico	-	Mantenimiento Eléctrico proveerá el generador y un retén 150 KW
Contingencia 10%	15,500	
TOTAL SEGUNDA ETAPA	171,500	

Nota: Elaboración propia

Tabla 11*Presupuesto para construcción de sistema de drenajes*

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	P.U. CONT	P.U. PROY	SUB TOTAL
1. TRABAJOS PRELIMINARES					
MOVILIZACION	GLB	1	6325	8538.75	8538.75
INSTALACIONES PROVISIONALES	GLB	1	1250	1687.5	1687.5
TOPOGRAFIA Y GEOREFERENCIACION	GLB	1	1290	1741.5	1741.5
2. MOVIMIENTO DE TIERRAS					
Excavación para Cuneta y Rápida	M ³	159	20	27	4293
Excavación para Estructuras de Inspección	M ³	2.7	20	27	72.9
Excavación para Alcantarillas y tuberías	M ³	141	20	27	3807
Cama de arena	M ³	14	40	54	756
Relleno controlado	M ³	70	21	28.35	1984.5
Transporte < 1km Eliminación	M ³	378	28	37.8	14288.4
3. OBRAS DE CONCRETO					
Concreto f'c=100kg/cm2	M ³	0.13	220	297	38.61
Concreto f'c=210kg/cm2	M ³	1.7	250	337.5	573.75
Encofrado y desencofrado	M ²	12.5	29	39.15	489.375
Acero de Refuerzo	KG	142	2.2	2.97	421.74
Revestimiento de Piedra emboquillada concreto f'c=175kg/cm2+P.M.(.5" T.M.)	M ²	6.6	190	256.5	1692.9
Concreto f'c=140kg/cm2	M ³	18	220	297	5346
Concreto f'c=210kg/cm2	M ³	1.5	250	337.5	506.25
Encofrado y desencofrado	M ²	8	29	39.15	313.2
Acero de Refuerzo	KG	244	2.2	2.97	724.68
4. OTROS					
4.1 ALCANTARILLA Y TUBERIAS					
Tubería HDPE Corrugado 8" PE 3408	M	33	16.8	22.68	748.44
Tubería HDPE Corrugado 10" PE 3408	M	28	25	33.75	945
Tubería HDPE 4" PE 3408	M	138	15	20.25	2794.5
Montante de PVC SAP 2"	M	10.2	10	13.5	137.7
4.2 CANALES					
Geomembrana HDPE e=1.5 mm	M ²	858	6	8.1	5148
COSTO DIRECTO					US\$57,049.70
CONTINGENCIA					US\$11,409.94
COSTO TOTAL					US\$68,459.63

Nota: Elaboración propia

El cronograma de implementación se basará en un plan de trabajo estandarizado que incluye las siguientes etapas:

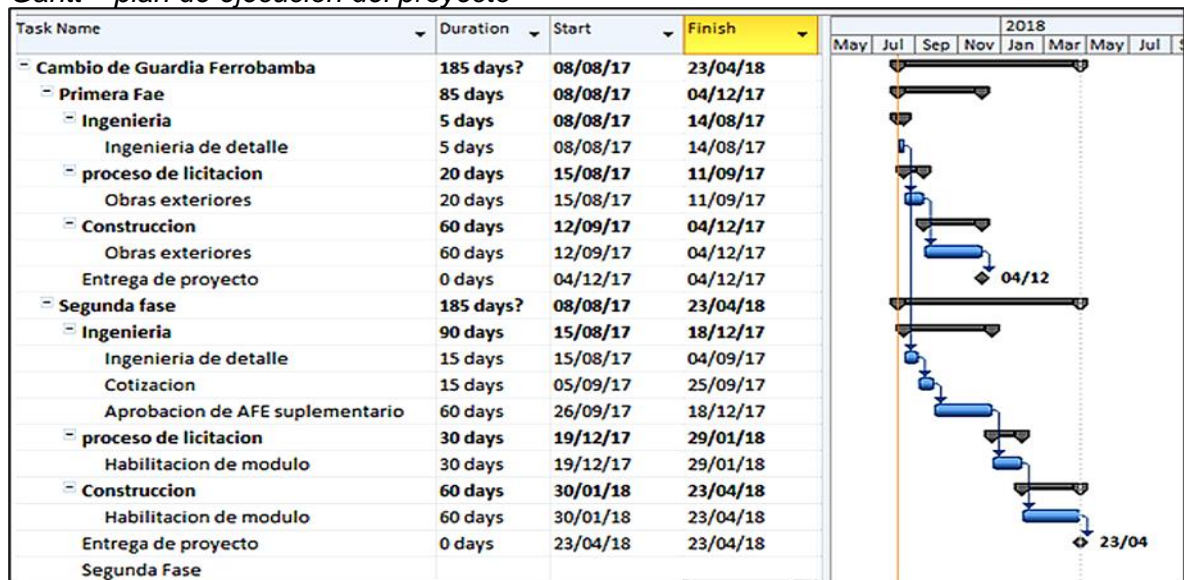
- Ingeniería: Incluye la ingeniería de detalle y la cotización.
- Proceso de licitación: Selección de proveedores que cumplan con los requisitos técnicos y comerciales.
- Construcción: Fase de obra civil y montaje de módulos.

El plan de ejecución proyecta que la construcción de cada bahía se completará en un período aproximado de 185 días.

En la Figura 12, se muestra el plan de ejecución en un diagrama Gantt.

Figura 12

Gantt – plan de ejecución del proyecto



Nota: Elaboración propia

3.2.2.1 Indicadores Clave de Rendimiento (KPI). Para monitorear el progreso y el éxito del proyecto, se utilizarán los siguientes KPI:

- Reducción del tiempo de cambio de operador: Se busca reducir el tiempo de relevo para la flota CAT 797 de 14.2 a 7 minutos, lo que se traducirá directamente en una mayor disponibilidad de los equipos.
- Fecha de culminación del proyecto: Se fijará una fecha objetivo de finalización para la implementación de las bahías, con una tolerancia de 30 días, para garantizar el cumplimiento del cronograma.

- Costo de capital (Capex): Se establecerá un presupuesto objetivo de US\$ 362K por cada facilidad para controlar los costos.
- Maximización de la utilización de equipos: Este KPI, si bien es un objetivo principal, se medirá indirectamente a través de la reducción de los tiempos muertos.

3.2.2.2 Riesgos, oportunidades y consideraciones de implementación. La implementación del proyecto presenta riesgos que deben ser gestionados proactivamente. Uno de los principales riesgos es el retraso en la construcción, que se mitigará mediante la negociación de términos contractuales estrictos con los proveedores. Otro riesgo es el uso inadecuado de las bahías, que se abordará a través de la aplicación de procedimientos operativos claros y estandarizados.

Las oportunidades clave del proyecto incluyen una mejora significativa en la calidad de vida y el clima laboral para los operadores, así como un incremento tangible en la utilización y productividad de los equipos de acarreo. En cuanto a las consideraciones de implementación, el proyecto generará impactos ambientales que serán controlados bajo los estándares de la empresa, y no requerirá permisos gubernamentales adicionales.

3.2.3 Resultados de implementación de bahías

La implementación de las seis bahías de cambio de guardia se presenta como una iniciativa estratégica y fundamental para optimizar las operaciones mineras y fortalecer la seguridad del personal. El presente capítulo detalla los resultados obtenidos durante el un mes de operación.

El proyecto surgió de la necesidad crítica de abordar los prolongados tiempos muertos y los riesgos de seguridad asociados al traslado de los operadores a áreas de descanso inadecuadas o distantes. En el pasado, un porcentaje de la flota se asignaba al parqueo de camiones, lo que no ofrecía las condiciones adecuadas y aumentaba el tiempo del ciclo del camión. Con la puesta en marcha de estas nuevas bahías en puntos estratégicos, como en la zona del botadero Ferrobamba, se ha logrado un "relevo en caliente", permitiendo a los operadores realizar el cambio de turno y su descanso en instalaciones completas que incluyen comedor, baños y módulos unipersonales.

Durante el mes de toma de datos se procuró dar prioridad al uso de las bahías para cambio de guardia. A continuación, se mostrará un resumen de los datos recolectados, con un enfoque particular en la reducción del tiempo de cambio de operador, así como otras métricas cualitativas. Se espera demostrar que el proyecto ha cumplido su objetivo de mejorar significativamente la productividad de la mina, al mismo tiempo que prioriza el bienestar y la seguridad de los trabajadores, valores fundamentales de la compañía.

Tabla 12

Estadísticas descriptivas – parqueos habilitados

VARIABLE	N	MEDIA	DESV.EST.	VARIANZA	Q1	MEDIANA	Q3
PQ_4245_HR1	1	12.883	*	*	*	12.883	*
PQ_4245_TR09	6	18.17	6.53	42.66	13.26	15.79	25.50
PQ_CHB_4480	361	14.079	4.803	23.068	10.858	13.583	16.542
PQ_DIQUE	45	11.346	3.192	10.188	9.900	11.283	13.567
PQ_HR01_4145	14	17.68	8.90	79.13	12.39	17.28	26.80
PQ_HR01_4170	322	14.418	5.119	26.204	11.508	14.050	16.896
PQ_SUR_3780	27	15.88	5.63	31.71	11.30	15.02	20.67
PQ_TRAMO1	1	7.1833	*	*	*	7.1833	*
PQ-DIQUE-6B	6	11.82	4.35	18.94	8.12	12.54	14.25

Nota: Elaboración propia

Por cuestiones de no tener suficiente data para tener representatividad, se opta por eliminar los valores de tiempo del PQ_4245_HR1 y PQ_TRAMO1, ambos cuentan con un solo dato.

Tabla 13

Estadísticas descriptivas – bahías de cambio de guardia

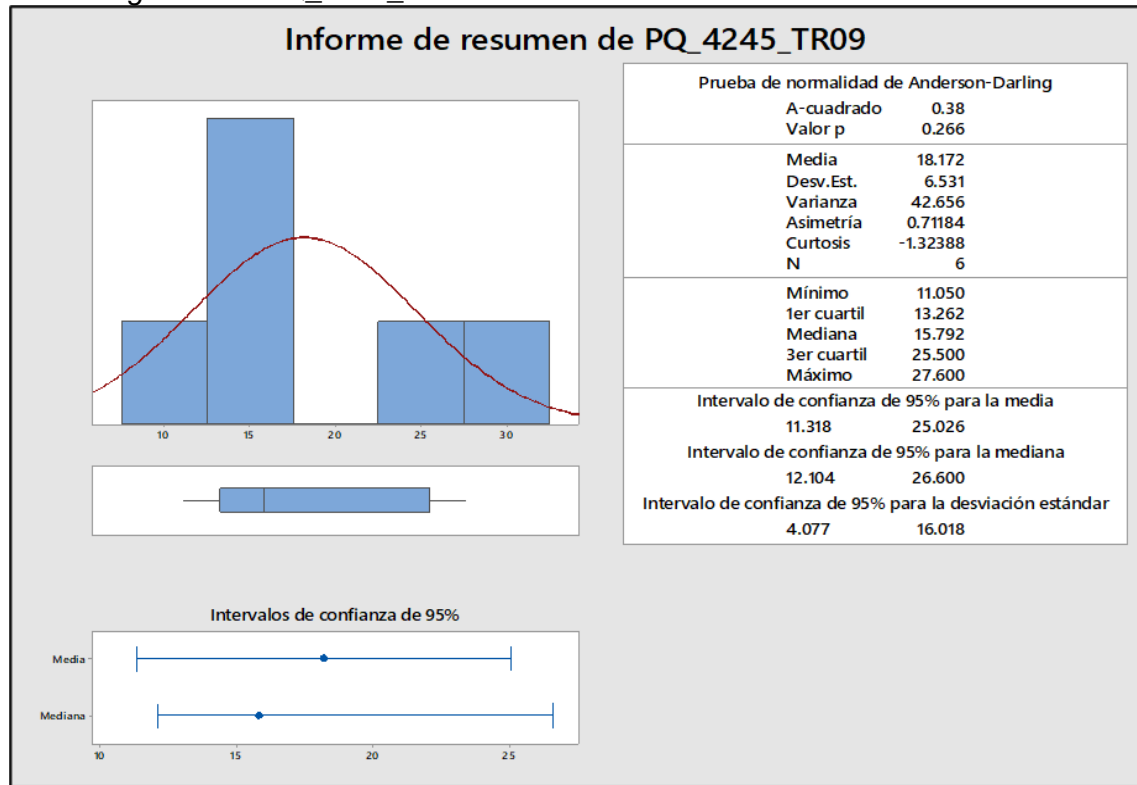
VARIABLE	N	MEDIA	DESV.EST.	VARIANZA	Q1	MEDIANA	Q3
CG_BAHIA_CHANCADO	166	6.438	4.272	18.247	3.758	4.800	7.829
CG_BAHIA_CHB	208	10.320	5.919	35.039	5.546	9.250	13.708
CG_BAHIA_HR01	83	7.287	4.338	18.822	4.100	5.750	8.900
CG_BAHIA_NORTE	391	8.039	5.301	28.100	4.217	5.917	10.450
CG_BAHIA_SUR	1826	6.8116	3.6422	13.2653	4.4958	5.7583	7.8875
CG-HUANCARANE	160	7.686	4.733	22.399	4.958	6.150	7.900

Nota: Elaboración propia

En las siguiente figuras se muestra el resumen gráfico de los datos recolectados de todos los parqueos habilitados y bahías de cambio de guardia.

Figura 13

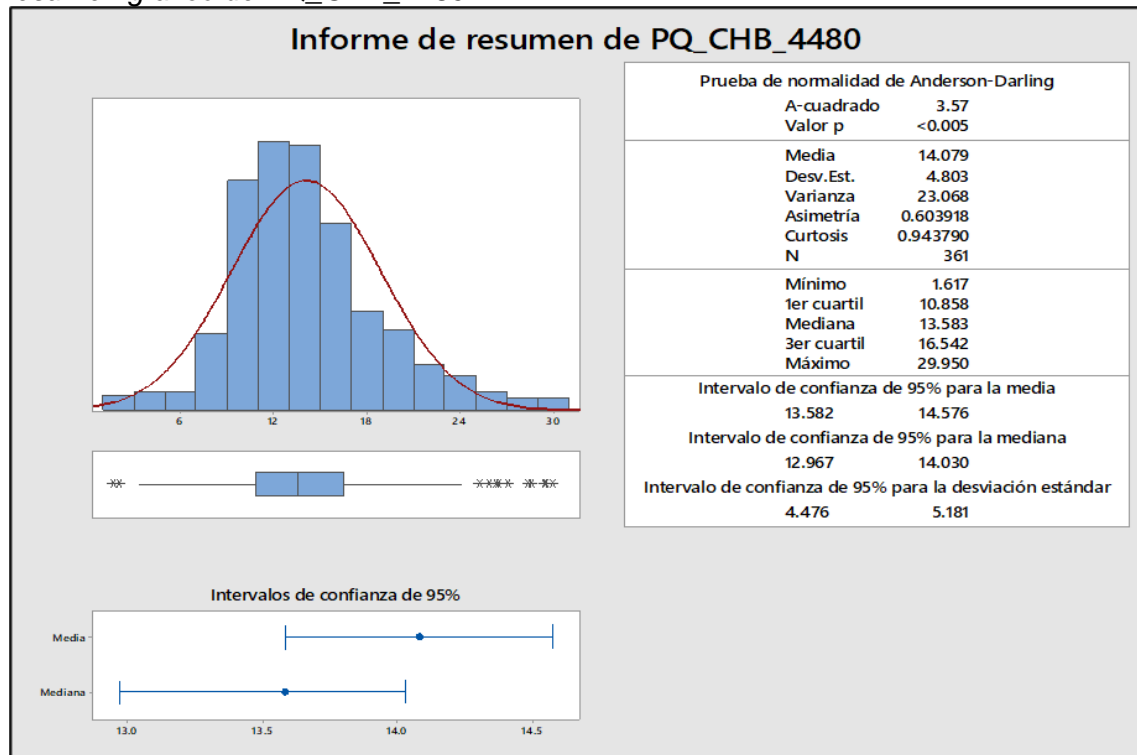
Resumen gráfico de PQ_4245_TR09



Nota: Elaboración propia

Figura 14

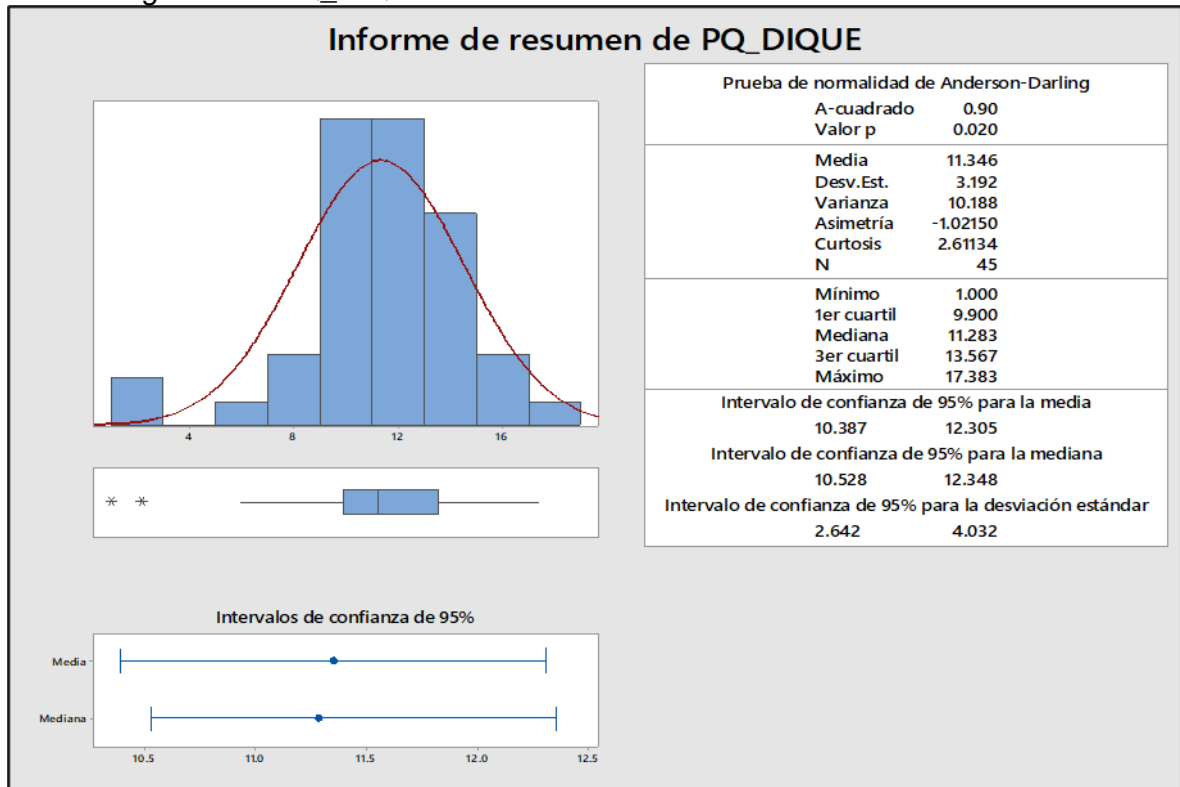
Resumen gráfico de PQ_CHB_4480



Nota: Elaboración propia

Figura 15

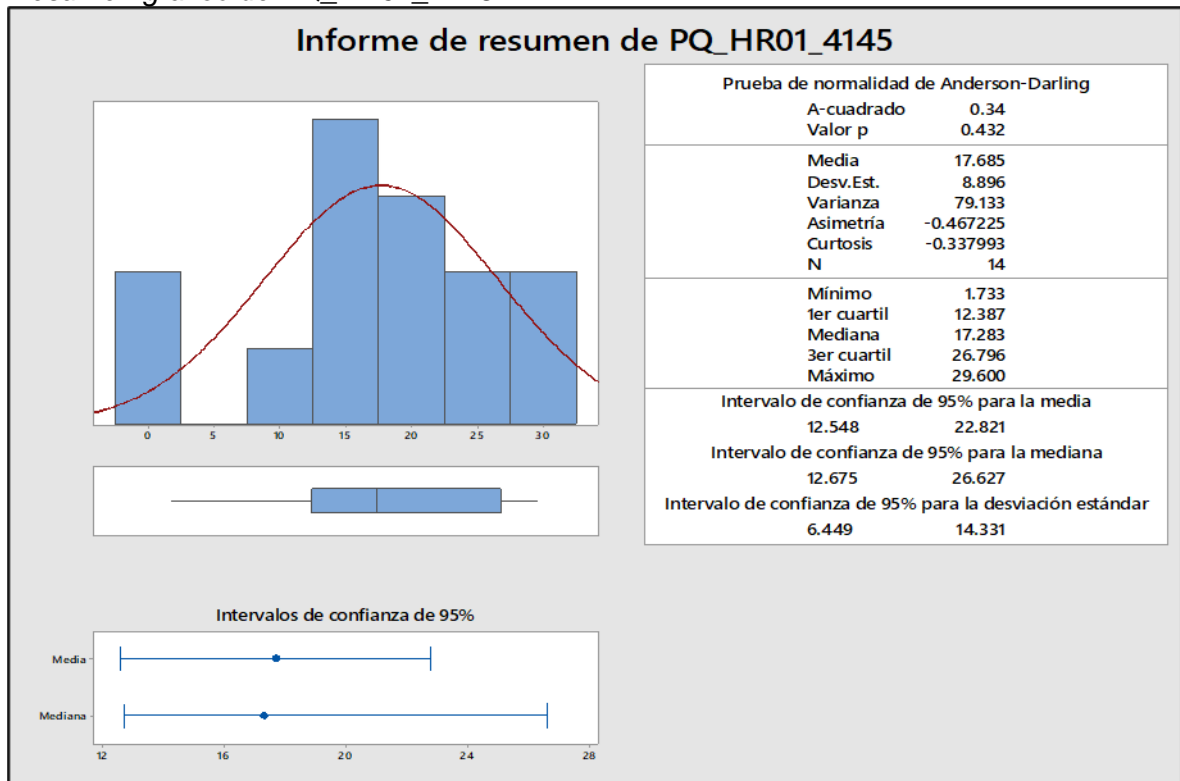
Resumen gráfico de PQ_DIQUE



Nota: Elaboración propia

Figura 16

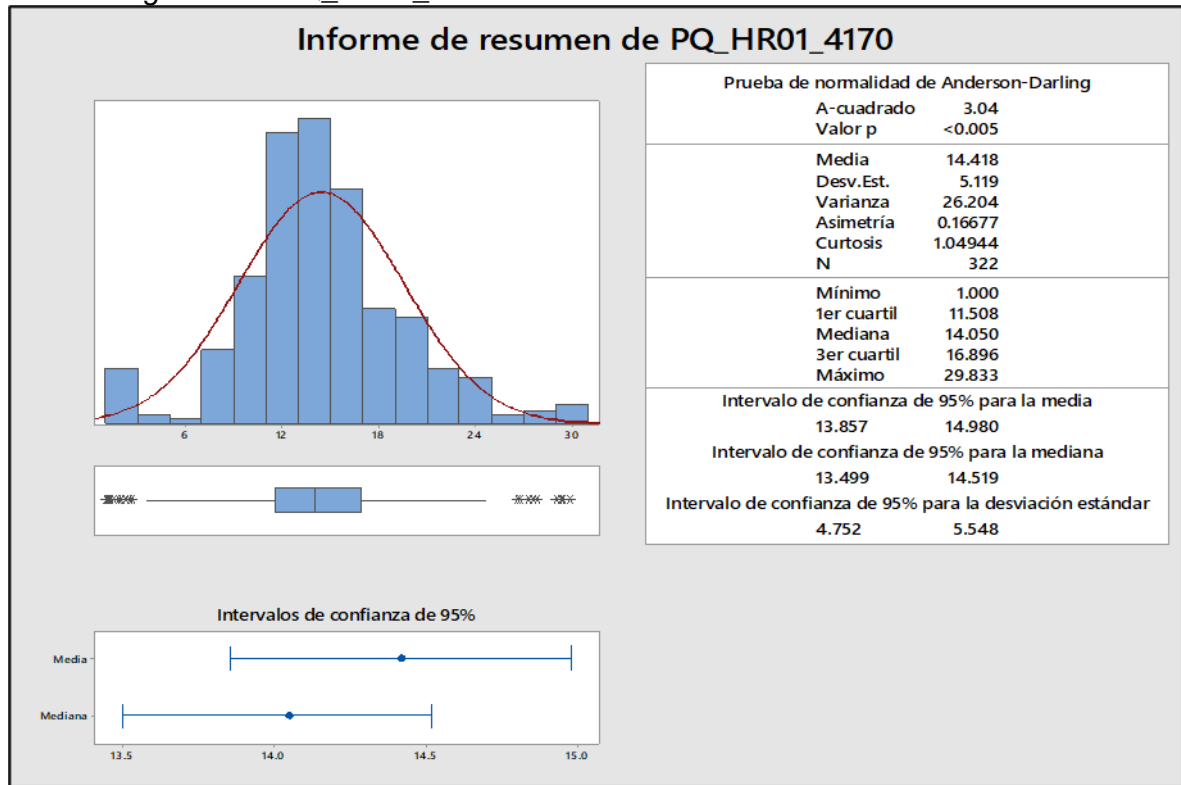
Resumen gráfico de PQ_HR01_4145



Nota: Elaboración propia

Figura 17

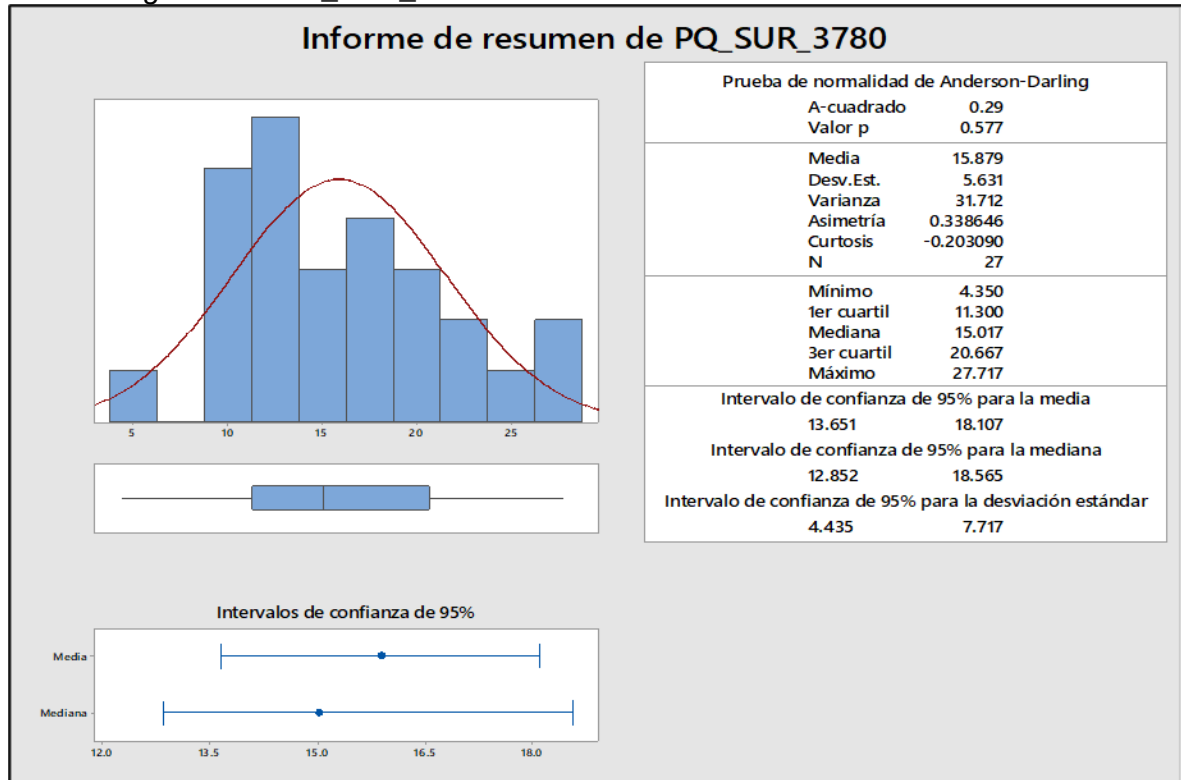
Resumen gráfico de PQ_HR01_4170



Nota: Elaboración propia

Figura 18

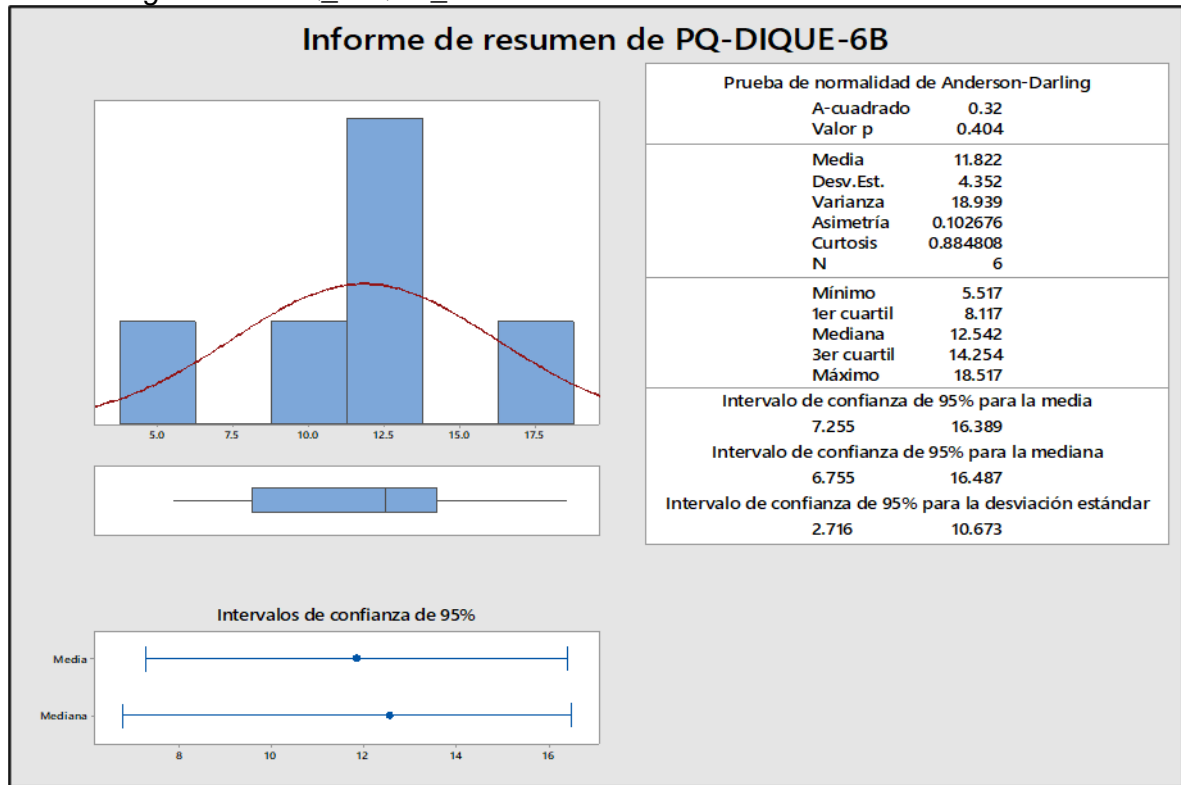
Resumen gráfico de PQ_SUR_3780



Nota: Elaboración propia

Figura 19

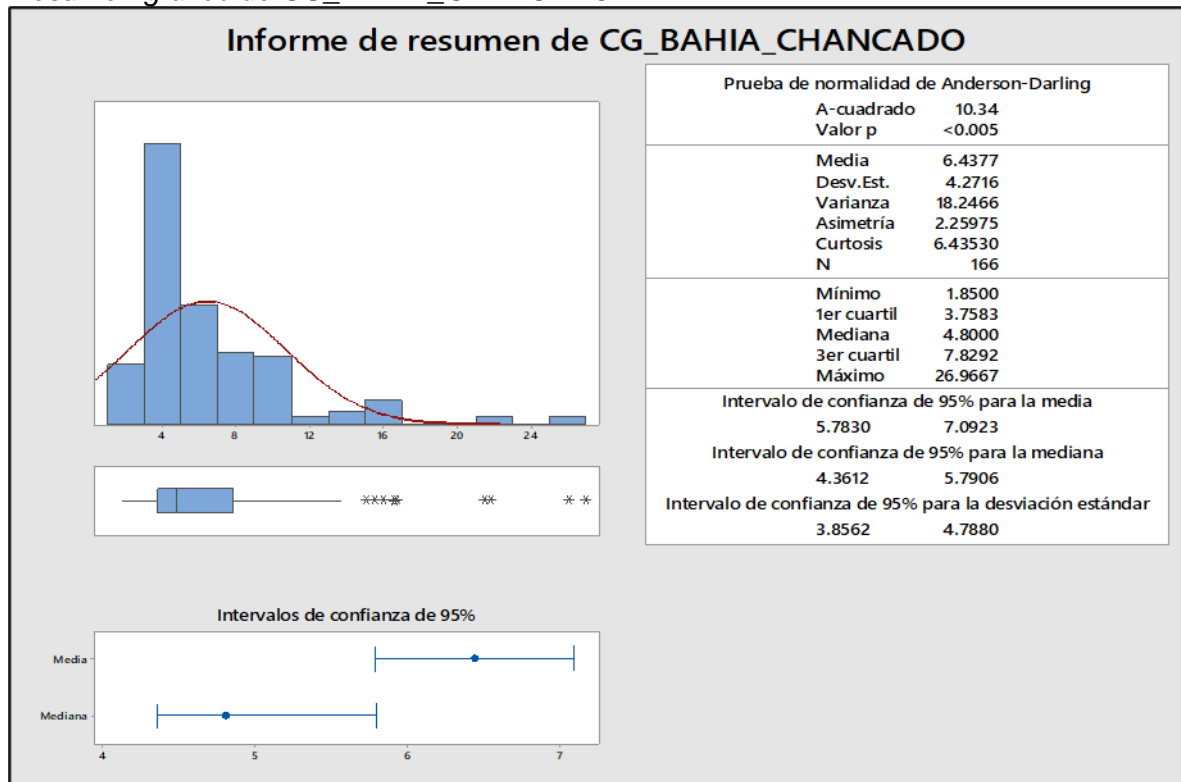
Resumen gráfico de PQ_DIQUE_6B



Nota: Elaboración propia

Figura 20

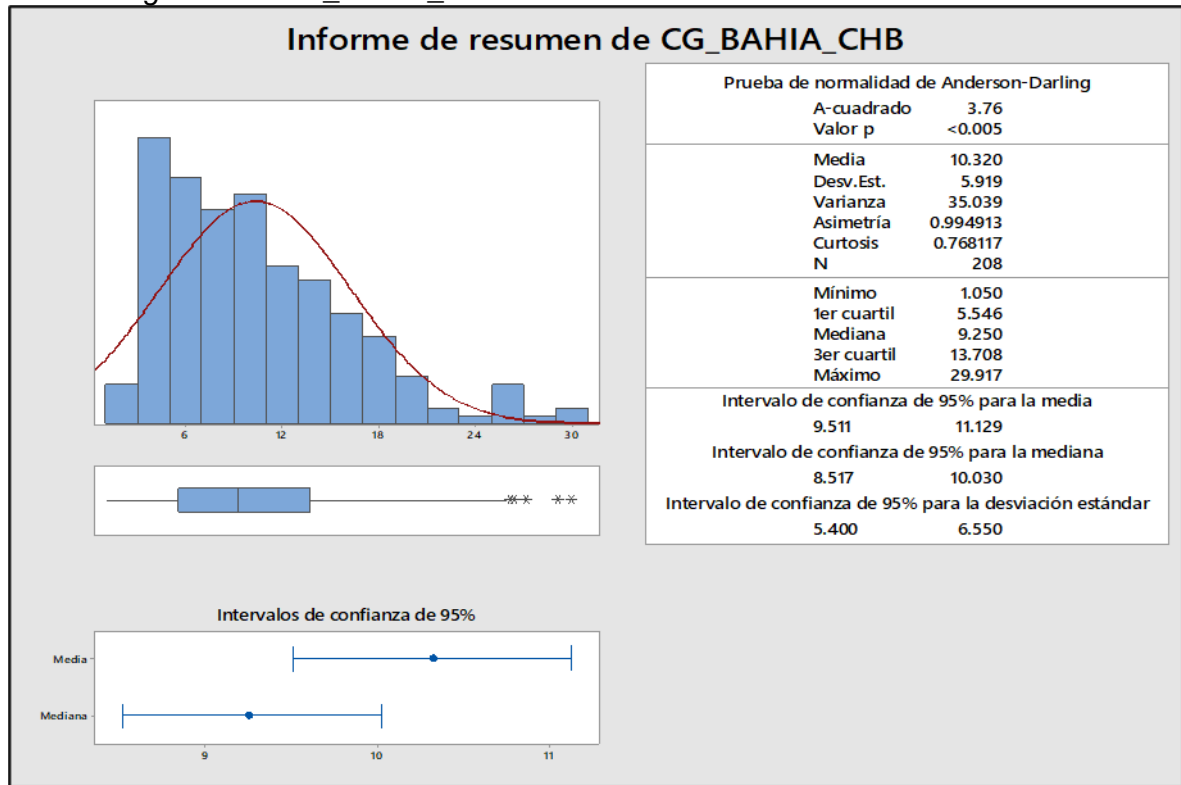
Resumen gráfico de CG_BAHIA_CHANCADO



Nota: Elaboración propia

Figura 21

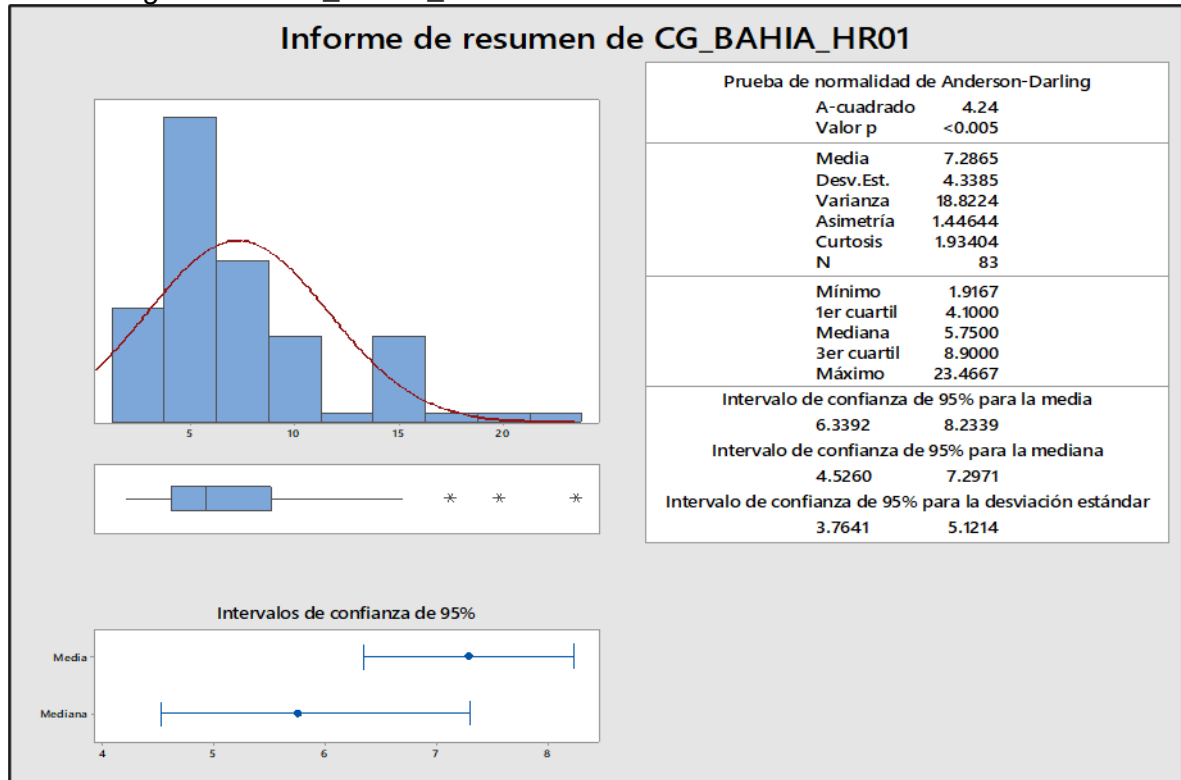
Resumen gráfico de CG_BAHIA_CHB



Nota: Elaboración propia

Figura 22

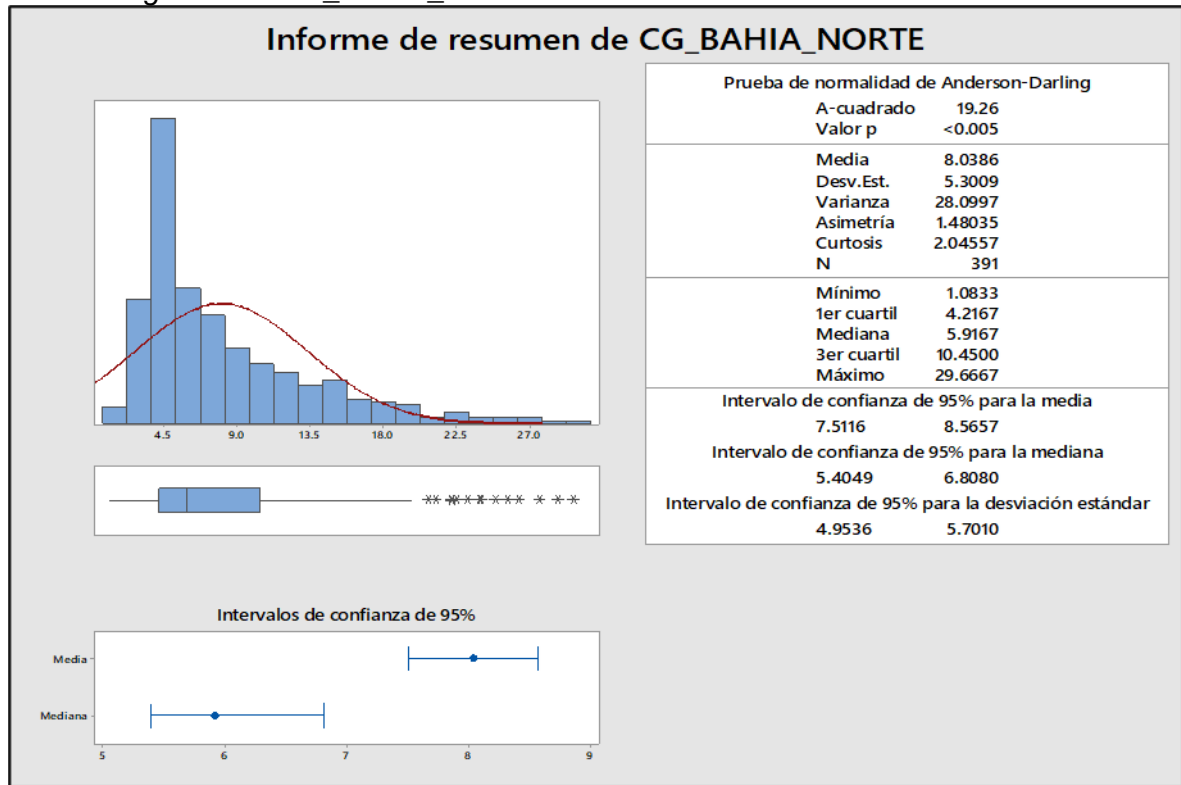
Resumen gráfico de CG_BAHIA_HR01



Nota: Elaboración propia

Figura 23

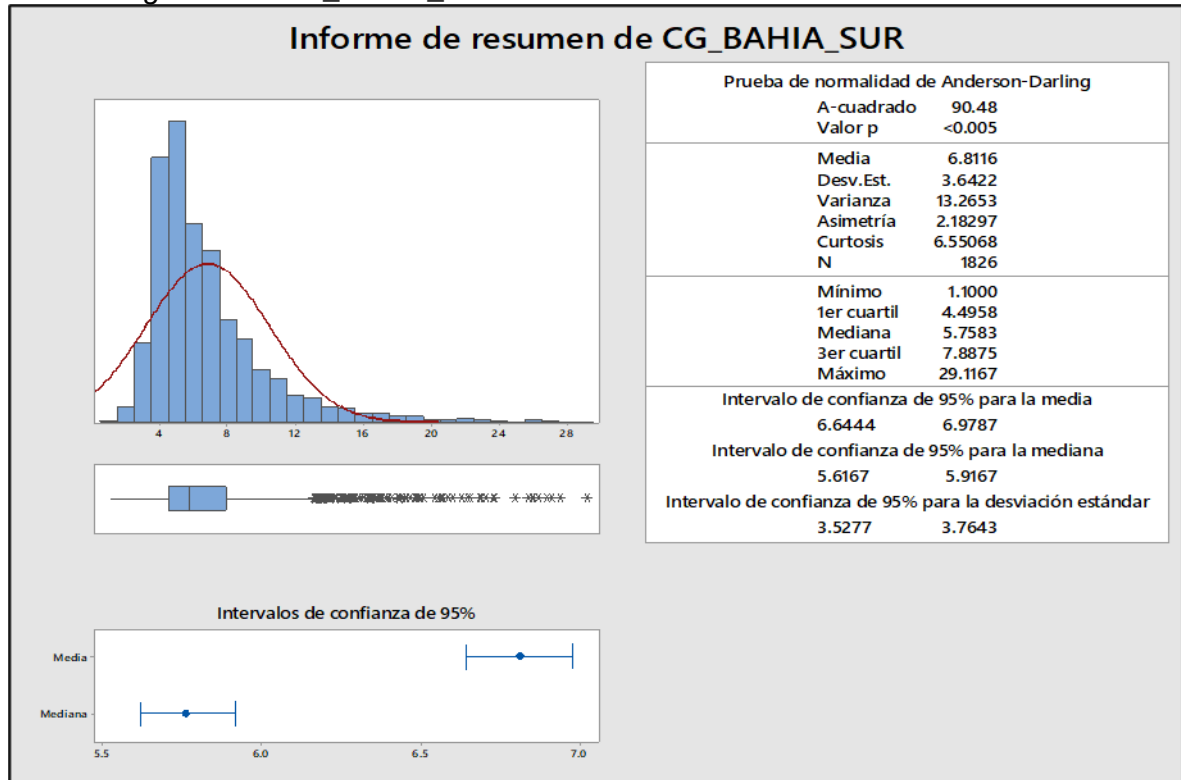
Resumen gráfico de CG_BAHIA_NORTE



Nota: Elaboración propia

Figura 24

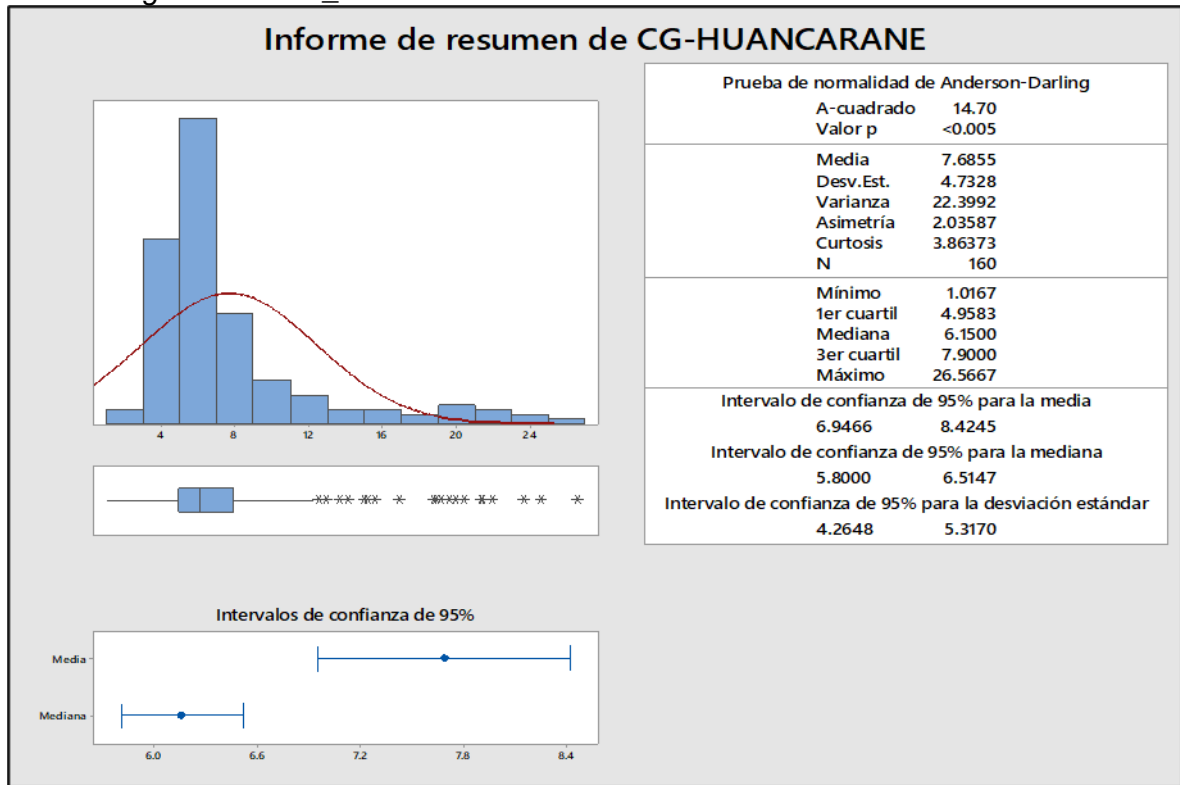
Resumen gráfico de CG_BAHIA_SUR



Nota: Elaboración propia

Figura 25

Resumen gráfico de CG_HUANCARANE



Nota: Elaboración propia.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Evaluación de resultados

4.1.1 Reducción de tiempo de relevo

Los datos presentados resumen la reducción del tiempo promedio de relevo, proporcionando una visión cuantitativa de la mejora lograda. Esta información es fundamental para validar el éxito del proyecto y para demostrar el retorno de la inversión en términos de productividad y seguridad.

Tabla 14

Estadísticas descriptivas – bahías de cambio de guardia

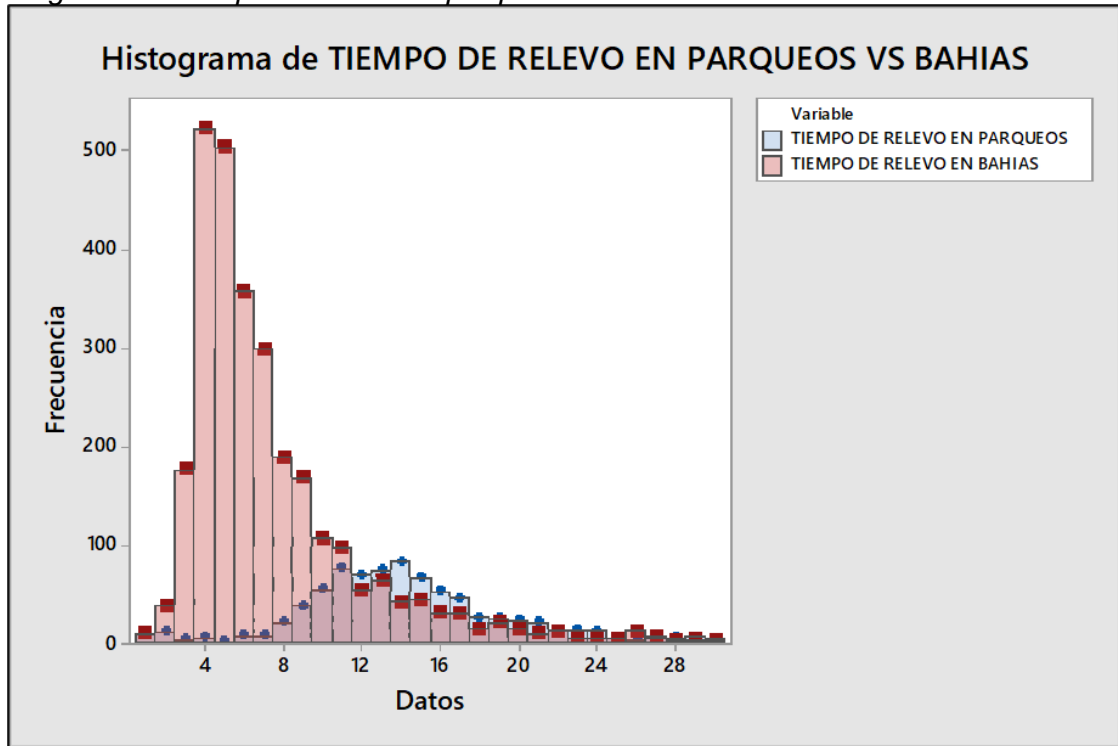
ZONA DE RELEVO	TIEMPO PROMEDIO	PROMEDIO GENERAL
PQ_4245_TR09	18.2	
PQ_CHB_4480	14.1	
PQ_DIQUE	11.3	
PQ_HR01_4145	17.7	14.2
PQ_HR01_4170	14.4	
PQ_SUR_3780	15.9	
PQ-DIQUE-6B	11.8	
CG_BAHIA_CHANCADO	6.4	
CG_BAHIA_CHB	10.3	
CG_BAHIA_HR01	7.3	7.3
CG_BAHIA_NORTE	8	
CG_BAHIA_SUR	6.8	
CG-HUANCARANE	7.7	

Nota: Elaboración propia

En las siguientes figuras se mostrara un comparativo de los tiempos de cambio de turno de camiones de acarreo, contrastando el método tradicional de parqueo en áreas distantes con la eficiencia de las nuevas bahías de cambio de guardia. Mediante el uso de histogramas y gráficos de cajas, se visualizará la distribución de los datos de tiempo de cada método. El objetivo es demostrar, de forma estadística y visual, la reducción significativa de los tiempos muertos y la mejora en la uniformidad del proceso de relevo, validando así la efectividad del proyecto de implementación.

Figura 26

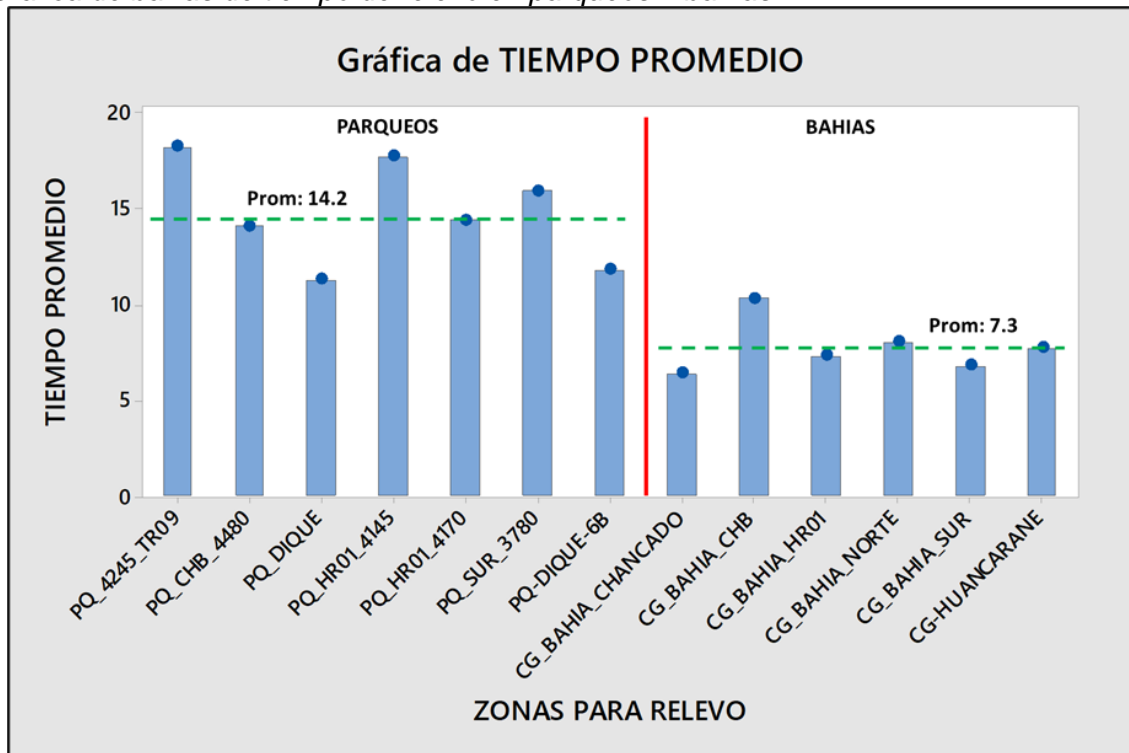
Histograma de tiempo de relevo en parqueos – bahías



Nota: Elaboración propia

Figura 27

Gráfica de barras de tiempo de relevo en parqueos – bahías



Nota: Elaboración propia

Tal como se evidencia en los datos, se logró una disminución significativa en los tiempos de relevo, pasando de 14.2 a 7.2 minutos. Esta reducción de 6.9 minutos por relevo impacta directamente en la eficiencia operativa.

4.1.2 Incremento de productividad de equipos de acarreo

La implementación de las bahías de cambio de guardia ha generado un aumento significativo en la productividad de los camiones de acarreo. Los datos recolectados durante el primer mes de operación demuestran una mejora tangible en los tiempos de relevo y, consecuentemente, en la producción de material.

Análisis de la reducción de tiempos de relevo

El proyecto se diseñó para optimizar el proceso de cambio de turno, eliminando las demoras asociadas al traslado de los operadores a zonas de descanso distantes. Antes de la implementación, el tiempo de relevo con parqueo en áreas alejadas promediaba 14.2 minutos por relevo. Tras la puesta en marcha de las bahías, este tiempo se ha reducido a 7.3 minutos por relevo.

Esta reducción de 6.9 minutos por cada relevo se traduce en una ganancia directa de tiempo operativo para los camiones.

Considerando un promedio de 120 relevos diarios, esta mejora representa un tiempo adicional de operación de 828 minutos por día, equivalente a 13.8 horas adicionales por día.

Impacto en la producción y beneficio económico

El tiempo de operación recuperado mediante la reducción del relevo de operadores no se analizó a nivel individual por camión, ya que no es posible expresar con precisión la mejora en toneladas por hora por equipo. En lugar de ello, se optó por cuantificar el impacto a nivel de la flota total de acarreo, lo que permite reflejar de manera integral el beneficio en la operación minera. El ahorro de 6.9 minutos en cada relevo representó un incremento efectivo en el tiempo disponible para el transporte de material, el cual, al ser consolidado en toda la flota, se transformó en un aumento tangible de la productividad diaria.

Considerando una producción promedio de 395 toneladas por hora, el tiempo adicional se tradujo en un movimiento de 5,451 toneladas adicionales de material por día. Al proyectar este resultado en un horizonte anual, se alcanza un incremento de 1,989,615 toneladas transportadas, lo que demuestra el impacto significativo de la optimización en la capacidad operativa. Estos resultados ponen en evidencia que la reducción de tiempos improductivos en procesos rutinarios, como el relevo de operadores, puede generar beneficios acumulativos de gran magnitud, reforzando la importancia de su gestión eficiente para maximizar la productividad global de la flota.

De este total, se estima que el 25% corresponde a mineral que se envía a la concentradora. Con un valor de 13.5 US\$ por tonelada de mineral, el beneficio económico anual estimado por este proyecto es de US\$ 6,714,950.63.

Tabla 15

Beneficio económico obtenido por las mejoras

VARIACION DE KPI'S	VALOR	UNIDAD
Tiempo de relevo con parqueos	14.20	minutos/relevo
Tiempo de relevo con bahías	7.30	minutos/relevo
Tiempo adicional a la utilización de camiones	6.90	minutos/relevo
Cantidad promedio de relevos por día	120	relevos/día
Tiempo adicional de operación al año	828.0	minutos/día
	13.8	horas/día
PRECIOS Y DRIVERS		
Producción horaria promedio de Camiones	395	toneladas/hora
Material adicional movido	5,451.0	toneladas/día
	1,989,615.0	toneladas/año
Proporción de Mineral Movido a Concentradora	25.0	%
Valor por tonelada de mineral	13.5	US\$/tonelada
ESTIMACIÓN BENEFICIO ECONÓMICO ANUAL	6,714,950.63	US\$/año

Nota: Elaboración propia

Esta ganancia económica demuestra el éxito del proyecto en alcanzar su objetivo de aumentar la productividad de la mina. El incremento en la producción no solo valida la inversión, sino que también refuerza la importancia de la optimización de procesos en la minería para obtener un impacto financiero positivo.

Evaluación financiera

Este análisis profundiza en la evaluación de la viabilidad financiera del proyecto de implementación de bahías de relevo. Para ello, se utilizan métricas clave como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). La tasa de descuento asumida es del 10%, que representa el costo de oportunidad del capital.

A continuación, se presenta la tabla de flujos de caja del proyecto:

Tabla 16

Flujos de caja del proyecto

AÑO	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN (US\$)	BENEFICIO (US\$)	FLUJO NETO DE CAJA (US\$)
0	Construcción de 3 bahías de relevo	1,086,000	0	-1,086,000
1	Construcción de 3 bahías adicionales + operatividad de las 3 primeras	1,086,000	3,357,475	2,271,475
2	Operación total de las 6 bahías	0	6,714,950	6,714,950
3	Operación total de las 6 bahías	0	6,714,950	6,714,950
4	Operación total de las 6 bahías	0	6,714,950	6,714,950
5	Operación total de las 6 bahías	0	6,714,950	6,714,950

Nota: Elaboración propia

El VAN se calcula descontando los flujos de caja futuros a su valor presente y restando la inversión inicial.

Cálculos Financieros:

Valor Actual Neto (VAN)

El VAN se calcula descontando los flujos de caja futuros a su valor presente y restando la inversión inicial.

$$VAN = -1,086,000 + \frac{2,271,475}{(1 + 0.1)^1} + \frac{6,714,950}{(1 + 0.1)^2} + \frac{6,714,950}{(1 + 0.1)^3} + \frac{6,714,950}{(1 + 0.1)^4} + \frac{6,714,950}{(1 + 0.1)^5}$$

$$VAN = -1,086,000 + 2,064,977 + 5,557,801 + 5,052,546 + 4,593,224 + 4,175,658$$

$$VAN = 20,358,206 \text{ US\$}$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Un valor de TIR superior al costo de capital del 10% indica que el proyecto es financieramente atractivo.

$$TIR \approx 250\%$$

La TIR es extremadamente alta, muy superior al 10% asumido, lo que confirma que el proyecto ofrece un retorno muy por encima de la tasa de retorno requerida.

4.2 Validación de hipótesis

Para este análisis empezamos planteando las hipótesis nula y alternativa.

- H0: Al implementar el nuevo sistema de cambio de guardia no permitirá reducir los tiempos muertos durante relevo de operadores.
- HA: Al implementar el nuevo sistema de cambio de guardia permitirá reducir los tiempos muertos durante relevo de operadores.

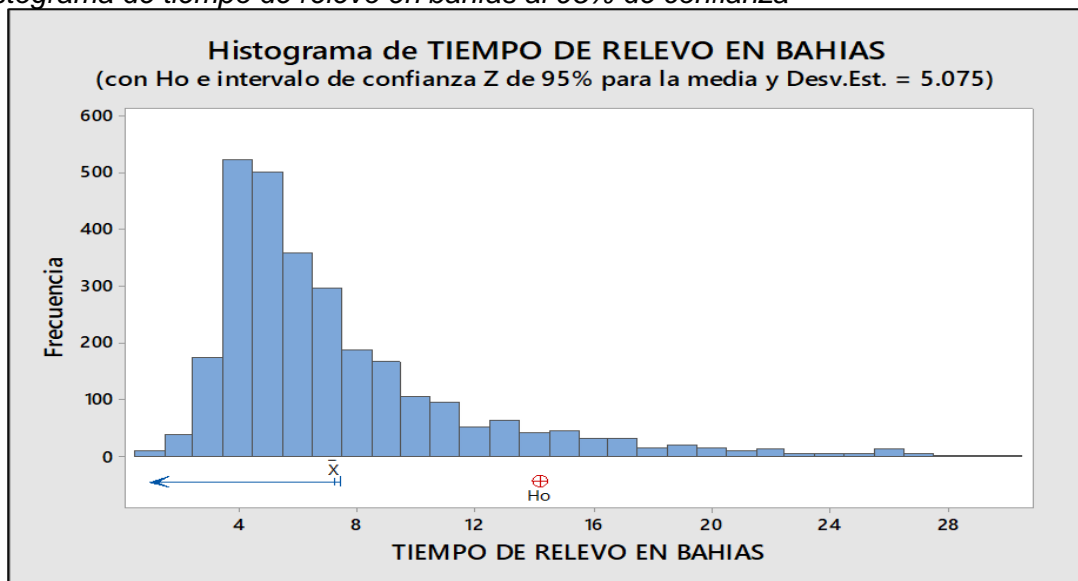
Para este análisis, se utilizaron los datos de los tiempos de relevo en las bahías, que corresponden a una muestra representativa de 2834 mediciones.

El propósito de este estudio estadístico es validar la efectividad de las nuevas instalaciones, confirmando que la reducción observada en los tiempos de relevo no es producto del azar. Para ello, se aplicó un análisis de significancia estadística con un nivel de confianza del 95%, lo que permite un grado de significancia del 0.05.

Mediante el software Minitab, se procedió a calcular el valor p, un indicador clave que, al ser menor que el nivel de significancia, nos permitirá rechazar la hipótesis nula y confirmar que la mejora en los tiempos de relevo es estadísticamente significativa.

Figura 28

Histograma de tiempo de relevo en bahías al 95% de confianza



Nota: Elaboración propia

Figura 29

Prueba Z de una muestra – tiempo de relevo en bahías



Nota: Elaboración propia

El análisis estadístico presentado en la figura arroja un valor de $p = 0.000$. Dado que este valor es inferior al umbral de significancia establecido, se rechaza formalmente la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, validando la significancia de los resultados obtenidos. Por lo tanto, al implementar el nuevo sistema de cambio de guardia permitirá reducir los tiempos muertos durante relevo de operadores.

Conclusiones

La implementación del sistema de cambio de guardia en los operadores de camiones permitió reducir significativamente los tiempos muertos en la operación minera a tajo abierto. El tiempo promedio de relevo disminuyó de 14.2 minutos a 7.3 minutos, lo que representa una mejora sustancial en la eficiencia operativa.

Esta optimización en los tiempos de relevo se tradujo en un incremento directo de 309 a 425 Tn/hr en la productividad de la flota de acarreo, al maximizar el uso efectivo de los equipos y reducir las pérdidas asociadas a detenciones innecesarias.

Como resultado de esta mejora, se estimó un beneficio económico anual de 6,714,950.63 US\$, atribuible al incremento en la disponibilidad efectiva de los camiones y al mejor aprovechamiento del tiempo operativo.

La reducción de tiempos muertos no solo impacta en la productividad y rentabilidad de la empresa, sino que también contribuye a una mejor planificación de turnos, mayor seguridad en las operaciones de relevo y una optimización de recursos humanos y logísticos.

Se evidencia que la gestión adecuada de procesos aparentemente rutinarios, como el cambio de guardia, puede tener un efecto directo y significativo en los resultados globales de la operación minera, confirmando la importancia de aplicar metodologías de mejora continua.

Finalmente, este proyecto constituye una referencia para futuras iniciativas de optimización en minería a tajo abierto, demostrando que la reducción de tiempos improductivos es un factor clave para alcanzar operaciones más competitivas, sostenibles y alineadas con los objetivos estratégicos de la organización.

Recomendaciones

Implementar de manera formal y documentada el procedimiento optimizado de relevo de operadores, asegurando que todos los turnos lo apliquen de forma uniforme. Esto permitirá mantener la reducción de tiempos muertos lograda y garantizar la continuidad de la mejora en el largo plazo.

Desarrollar programas de entrenamiento dirigidos a operadores, supervisores y personal de logística, orientados a reforzar la importancia de la reducción de tiempos muertos y el correcto cumplimiento del sistema de cambio de guardia. La participación activa y comprometida del personal es esencial para consolidar la mejora y potenciar los beneficios económicos obtenidos.

Referencias bibliográficas


- Barrientos, G. V. (2014). *Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
- Barrios, F. (2020). *Carguío dinámico para la optimización de la utilización efectiva de camiones de minería a cielo abierto a escala de laboratorio* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
- Chávez, M. (2016). *Gestión del rendimiento de equipos mineros mediante indicadores operacionales: Caso de aplicación en minería a cielo abierto* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
- Fernández, S. O. (2021). *Tiempos muertos y productividad*. Revista de Investigación en Ciencias de la Administración ENFOQUES, 5(17), 40-54.
- García, T. D. (2018). *Sistema de control de tiempos muertos para el área de inyección* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de San Juan del Río]. Repositorio Institucional UTSJR.
- Hinojosa, G. Y. (2022). *Incremento de la productividad de flota de camiones mineros mediante implementación de bahías de cambio en caliente en la mina Constancia – Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC.
- Junior, R. (2014). *El tiempo y sus características*. Editorial Académica Española.
- Mauricio, G. (2015). *Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en minería a tajo abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, Las Bambas, Cerro Corona, Antapaccay y Pucamarca* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
- Medel, P., & Bascuñán, R. (2016). *Productividad y eficiencia en minería a cielo abierto: una revisión de indicadores clave*. Revista de Ingeniería de Minas, 12(2), 45-58.

- Morales, R., & Guzmán, J. (2018). *Optimización del ciclo de acarreo en minería a tajo abierto: Un enfoque de productividad y costos*. Revista Minería, 34(2), 55-68.
- Naranjo, P., & Córdova, J. (2020). *Análisis de disponibilidad y utilización de equipos mineros bajo la norma ASARCO*. Revista Latinoamericana de Minería, 12(3), 45-58.
- Nieto, A., & Quezada, R. (2016). *Fundamentos de operaciones unitarias en minería superficial*. Editorial Universidad de Antofagasta.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (1996). *Medición de la productividad: Manual para el análisis de la productividad en el trabajo*. Oficina Internacional del Trabajo.
- Organización para la Cooperación Económica Europea (OEEC). (1950). *Definición de productividad*. Informe técnico interno de la OEEC.
- Palomino, L. A. (2022). *Análisis del sistema de relevo e implementación de bahías a ras del suelo en minería superficial, utilizando técnicas de simulación* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación - RENATI.
- Souza, R., & del Castillo, P. (2017). *Operational performance measurement in open pit mining: Application of ASARCO standard*. Journal of Mining Engineering, 33(4), 112-124.
- Tavares, L. (2019). *Mine haulage systems and productivity analysis*. International Journal of Mining Science and Technology, 29(4), 567-579.
- Vergara, A. D. (2016). *Rediseño de los procedimientos de relevo mina en la operación Los Bronces de Anglo American* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
- Xitumul, A. (2009). *Diseño e implementación de un sistema de control de tiempos no productivos para la mejora de la eficiencia en una línea de producción de bebidas carbonatadas* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional USAC.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Acta de entrega de Bahía de relevo cambio de guardia HR01	1
Anexo 2: Acta de entrega de Bahía de relevo cambio de guardia CHALCOBAMBA	3
Anexo 3: Vista en secciones de bahía de cambio de guardia	6

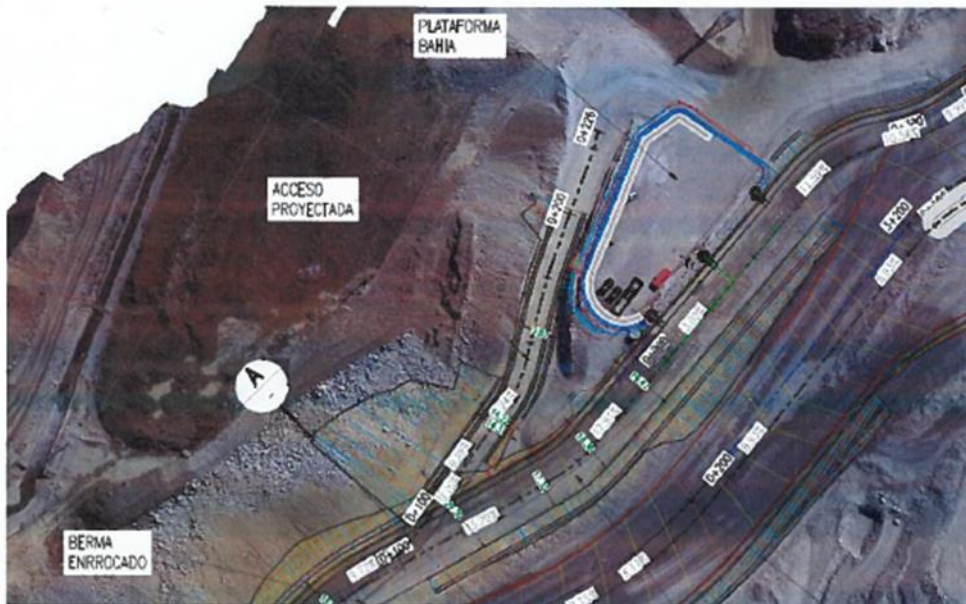
Anexo 1: Acta de entrega de Bahía de relevo cambio de guardia HR01

ÁREA:	PROYECTO:	FECHA:
Operaciones Mina	Bahías relevo Cambio Guardia HR01	22/07/24
<p data-bbox="341 459 1326 519">Se realiza la entrega de Bahías de Relevo Cambio Guardia HR01 con los siguientes alcances:</p> <ul data-bbox="328 555 1091 887" style="list-style-type: none">• 02 Bahías de relevo para camiones mineros: Habilitadas y operativas para las flotas de camiones mineros.• Semáforos con alim eléctrica energía solar.• Container 20 pies para refugio.• Sistema de Iluminación.• Sistema de protección atmosférica.• Señalización de seguridad• Punto de acopio de residuos solidos• Parqueos para camionetas y buses• 01 Baño químico <p data-bbox="341 1048 879 1077">Se muestra a continuación el área entregada:</p> <p data-bbox="341 1137 550 1167">Vista panorámica</p> 		


Bahías de relevo usando por camión minero



Plano de diseño de Bahías de Relevo



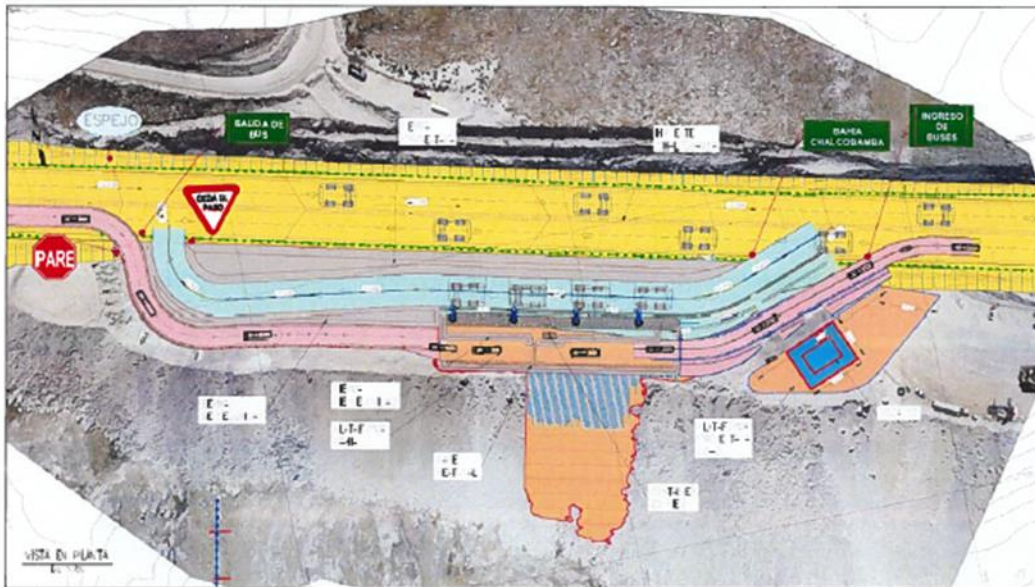
Anexo 2: Acta de entrega de Bahía de relevo cambio de guardia CHALCOBAMBA

ÁREA:	PROYECTO:	FECHA:
Operaciones Mina	Bahías relevo Cambio Guardia Chalcobamba	13/09/24
<p>Se realiza la entrega de Bahías de Relevo Cambio Guardia Chalcobamba con los siguientes alcances:</p> <ul style="list-style-type: none">• 04 Bahías de relevo para camiones mineros: Habilitadas y operativas para las flotas de camiones mineros.• Semáforos con alim eléctrica energía solar.• Sistema de Iluminación energía solar.• Sistema de protección atmosférica.• Container 20 pies para refugio.• Señalización de seguridad.• Punto de acopio de residuos sólidos.• Parqueos para camionetas y buses.• 01 Baño químico. <p>Se muestra a continuación el área entregada:</p> <p>Vista panorámica</p> 		

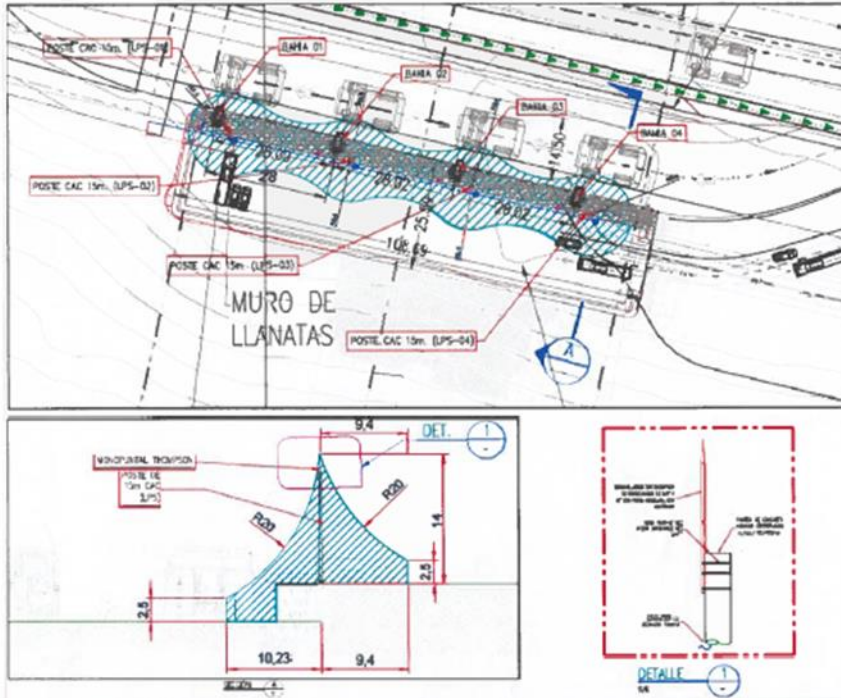
Bahías de relevo usando por camión minero



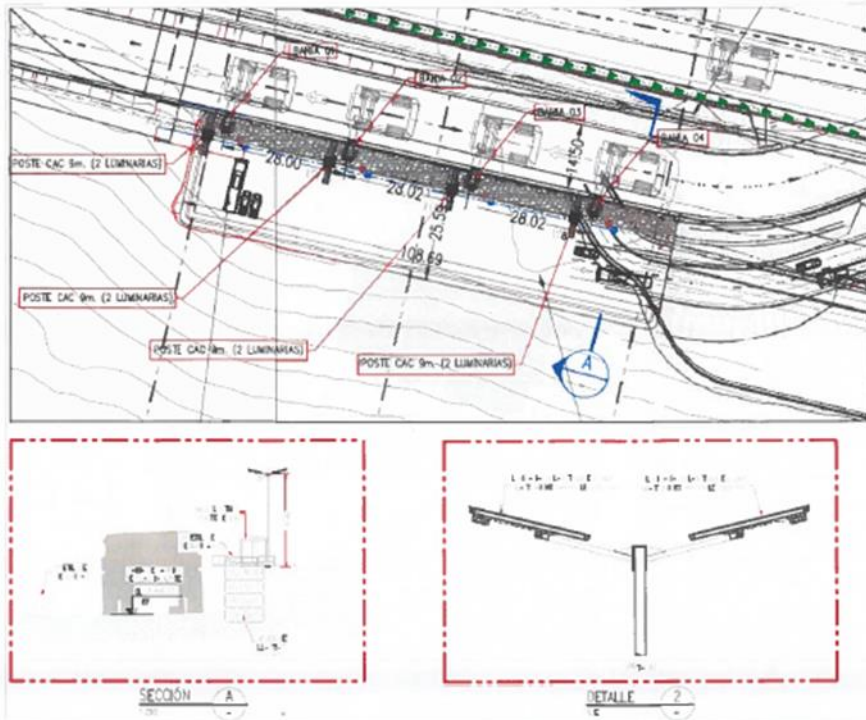
Plano de diseño de Bahías de Relevo



Plano sistema protección atmosférica



Plano sistema iluminación



Anexo 3: Vista en secciones de bahía de cambio de guardia

