

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PESO AUTONOMO
PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE LOS CAMIONES EN LA
UNIDAD MINERA PUCARA – UNACEM, LIMA**

PRESENTADO POR:

BACH. DENNYS FLORES CUMPA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

MGT. ODILÓN CONTRERAS ARANA

CUSCO - PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PESO AUTONOMO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION DE LOS CAMIONES EN LA UNIDAD MINERA PUCARA - UNACEM, LIMA"

Presentado por: DENNYS FLORES CUMPA DNI N° 71818911

presentado por: DNI N°:

Para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 05 de JUNIO de 2025

[Firma]
Firma

Post firma Odilon CONTRERAS ARANA

Nro. de DNI 23823356

ORCID del Asesor 0000-0002-9164-1705

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 272590464803201

DENNYS FLORES CUMPA

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PESO AUTONOMO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION DE LOS C...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:464803201

Fecha de entrega

5 jun 2025, 11:13 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

5 jun 2025, 11:17 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS DENNYS FLORES - IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA AUTONOMO.pdf

Tamaño de archivo

4.8 MB

160 Páginas

32.186 Palabras

163.398 Caracteres

7% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 20 words)

Top Sources

- 7%  Internet sources
- 0%  Publications
- 2%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Hidden Text**
523 suspect characters on 11 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

DEDICATORIA

A dios por brindarme bienestar, a mis padres quienes fueron el motor de mis sueños y familiares quienes siempre me motivaron y brindaron su apoyo incondicional para poder ser mejor cada día a través de sus consejos y buena guía para alcanzar mis metas y objetivos.

Bach. Dennys Flores Cumpa

AGRADECIMIENTO

A la escuela profesional de ingeniería de minas, mis docentes y asesor, quienes gracias a su enseñanza y disposición han hecho posible el desarrollo de esta investigación y ser mejor profesional cada día, a Dios por permitirme llegar hasta este momento con salud y bien, ,a mis padres, hermana y familiares, quienes siempre me brindaron sus palabras de aliento y motivación a lo largo de mi vida universitaria, en mi vida laboral y haber llegado hasta este momento importante para mi vida.

Bach. Dennys Flores Cumpa

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación denominado “IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PESO AUTONOMO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE LOS CAMIONES EN LA UNIDAD MINERA PUCARA – UNACEM, LIMA”, Se ha identificado un problema significativo en el proceso de transporte de materia prima hacia la chancadora primaria, debido a la falta de un control adecuado en la producción y entrega de la caliza al cliente. Esta situación, producto de deficiencias operativas y una inadecuada gestión de costos, impacta directamente en la rentabilidad de la Unidad Minera Pucará. La ausencia de un control y optimización eficientes en los tiempos de carguío, acarreo y transporte limita la capacidad operativa de la flota de camiones, restringiendo el número de viajes que pueden realizar por turno y dentro del horario establecido. Esto no solo afecta la productividad diaria y mensual, sino que también incrementa los costos operativos, reduciendo la competitividad de la unidad minera.

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los procesos operativos para identificar las causas subyacentes que afectan el cumplimiento de la producción diaria en términos de toneladas transportadas. Este análisis se apoyó en metodologías de control operativo, enfocándose en los tiempos, eficiencias y rendimientos de los camiones, además de comparar con sistemas implementados en otras unidades de producción. El objetivo fue identificar y aplicar tecnologías actuales que pudieran optimizar el rendimiento. En este contexto, se desarrolló y evaluó la implementación de un sistema de control de peso autónomo, con el fin de mejorar los tiempos de carguío y acarreo, asegurando que cada camión transporte un peso exacto conforme al Reglamento Interno de Tránsito (RITRA). Esta optimización no solo permite reducir tiempos, sino también incrementar la producción. Para facilitar la comprensión del trabajo, la investigación se ha estructurado de la siguiente manera:

Capítulo I: Este capítulo presenta el planteamiento del problema, donde se describe la necesidad de implementar un sistema autónomo de control de peso para garantizar el cumplimiento de la producción mensual en el acarreo y transporte de materia prima hacia la chancadora primaria. También se incluyen los objetivos, la justificación de la investigación, la hipótesis y las variables de estudio.

Capítulo II: En este capítulo se abordan el marco y las bases teóricas de la investigación, así como los antecedentes nacionales e internacionales que sustentan el estudio realizado.

Capítulo III: Este capítulo detalla la metodología de la investigación, incluyendo la población y muestra, las técnicas e instrumentos utilizados, así como el procesamiento de datos empleados en el desarrollo del proyecto.

Capítulo IV: Aquí se desarrolla el proyecto de investigación, el análisis de las operaciones de carguío, acarreo y transporte de la flota de camiones de la Unidad Minera Pucará. Se analizan aspectos como tiempos muertos, tiempos de pesaje en balanza, producción diaria y mensual, así como la utilidad mensual generada por las operaciones de acarreo hacia la chancadora primaria. También se evalúa el impacto de la implementación del sistema autónomo con las variables estudiadas.

Capítulo V: En este capítulo se presentan los resultados del incremento de la producción diaria y mensual tras la implementación del sistema de control de peso autónomo, seguidos de las discusiones correspondientes sobre los hallazgos obtenidos.

Finalmente, se concluye la investigación con las conclusiones, las recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos relevantes.

RESUMEN

La presente investigación, titulada "Implementación de un sistema de control de peso autónomo para incrementar la producción de los camiones en la Unidad Minera Pucará, UNACEM - Lima", tuvo como objetivo principal incrementar la producción diaria y mensual de la flota de camiones de la unidad minera a través de la implementación de un sistema autónomo de control de peso, denominado Weighlog Alpha10, que automatiza el pesaje de los camiones durante el proceso de carguío y acarreo. Esta intervención, desarrollada bajo un enfoque cuantitativo y un diseño cuasi experimental de nivel explicativo, permitió reducir significativamente los tiempos de pesaje en balanza, lo que facilitó la incorporación de un viaje adicional para toda la flota, resultando en un aumento sustancial de la productividad y los beneficios operativos de la unidad minera. Como resultado, se logró un incremento de la producción mensual del 40.41%, alcanzando el 97.43% del tonelaje requerido por UNACEM, con un aumento del 14.30% en el primer mes de operación. Además, el número de viajes por turno por camión se incrementó de 3 a 4, gracias a la reducción de 17 minutos y 48 segundos en el tiempo de pesaje por unidad, así como a la disminución de 1 hora y 53 minutos en el tiempo improductivo, lo que permitió un viaje adicional diario por camión. Finalmente, la implementación del sistema generó una utilidad inicial de S/. 223,243.03 en el primer mes, con una proyección de utilidad mensual sostenida de S/. 629,909.28 con la operación continua del sistema.

Palabras clave: Sistema control de peso autonomo, Automatizacion Weighlog Alpha10, carguio y acarreo, incremento de produccion, Beneficio operative, Flota de camiones, tiempo de pesaje, tiempos improductivos.

ABSTRACT

This research, titled "Implementation of an Autonomous Weight Control System to Increase Truck Production at the Pucará Mining Unit, UNACEM - Lima", aimed to increase the daily and monthly production of the truck fleet in the mining unit by implementing an autonomous weight control system, called Weighlog Alpha10, which automates the weighing of trucks during the loading and hauling process. This intervention, developed using a quantitative approach and a quasi-experimental design with an explanatory level, significantly reduced weighing times on the scales, which facilitated the addition of one more trip for the entire fleet, resulting in a substantial increase in productivity and operational benefits for the mining unit. As a result, the monthly production increased by 40.41%, reaching 97.43% of the required tonnage by UNACEM, with a 14.30% increase in the first month of operation. Additionally, the number of trips per shift per truck increased from 3 to 4, due to the reduction of 17 minutes and 48 seconds in the weighing time per unit, as well as the decrease of 1 hour and 53 minutes in non-productive time, allowing for an additional daily trip per truck. Finally, the implementation of the system generated an initial profit of S/. 223,243.03 in the first month, with a projected sustained monthly profit of S/. 629,909.28 with continuous operation of the system.

Keywords: Autonomous weight control system, Weighlog Alpha10 automation, loading and hauling, production increase, operational benefit, truck fleet, weighing time, non-productive times.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
INTRODUCCION.....	IV
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
CONTENIDO.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INDICE DE TABLAS.....	XVII
INDICE DE ABREVIATURAS.....	XIX
CAPITULO I.....	1
1.0 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1 Problema General.....	3
1.2.2 Problemas Específicos.....	3
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivo Específicos.....	3
1.4 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION.....	4
1.4.1 Justificación.....	4
1.4.2 Importancia.....	4
1.5 Delimitación de la investigación.....	5

1.5.1	Delimitación temporal	5
1.5.2	Delimitación espacial	5
1.6	Hipótesis de la investigación.....	5
1.6.1	Hipótesis General	5
1.6.2	Hipótesis Especificas	5
1.7	Variables de Estudio.....	6
1.7.2	Matriz de Operacionalización.....	6
CAPITULO II.....		7
2.0 MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION.....		7
2.1	Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1	Antecedentes internacionales	7
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	8
2.2	Bases teóricas o científicas.....	10
2.2.1	Selección de KPI Carguío y Acarreo.....	10
2.2.2	Principales indicadores en Carguío y Acarreo	12
2.2.3	Compatibilidad de Equipos – Mach Factor (fc)	13
2.2.4	Dimensionamiento de Flota.....	14
2.2.5	Factores que afectan el sistema de carguío y Acarreo.....	14
2.2.6	Equipos de carguio	15
2.2.7	Especificaciones técnicas de Equipos de Carguío – Excavadora Caterpillar....	17
2.2.8	Tiempo de Ciclo de una Excavadora.....	23

2.2.9	Tiempo en un sistema de Carguío y Acarreo	24
2.2.10	Tiempo Variable.....	25
2.2.11	Producción Horaria de los camiones y Volquetes.....	26
2.2.12	Demoras en Tiempos no productivos.....	26
2.2.13	Descripción de los equipos de Acarreo	27
2.2.14	Determinación del tipo de transporte a usar.....	28
2.2.15	Variables que influyen en la determinación de la flota de carguío y acarreo ...	28
2.2.16	Índices de Eficiencia	29
2.2.17	Costos.....	32
2.2.18	Costo en la Operación minera de Carguío	34
2.2.19	Criterios económicos para la determinación del Equipo de carguío.....	37
2.2.20	Optimización de costos de Carguío.....	38
2.2.21	Identificación de variables a optimizar	39
2.2.22	Sistemas de Pesaje de Camiones, control de carga.....	40
2.2.23	Beneficios Clave para Tractocamiones y Semitrailers.....	43
2.2.24	Características técnicas de implementación de sistemas autónomos.....	44
2.2.25	Carga máxima Autorizada por Reglamento Nacional de transito.....	47
2.3	DEFINICION DE TERMINOS.....	49
CAPITULO III.....		52
3.0	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	52
3.1	Ámbito de estudio.....	52

3.2	Tipo de investigación.....	52
3.3	Nivel de investigación.....	52
3.4	Enfoque de la investigación.....	52
3.5	Diseño de la investigación.....	53
3.6	Población y muestra.....	53
3.7	Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	53
3.7.1	Técnicas.....	53
3.7.2	Instrumentos	54
3.7.3	Procesamiento de análisis de datos.....	54
CAPITULO IV.....		56
4.0 IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PESO AUTONOMO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION DE LOS CAMIONES EN LA U.M PUCARA, UNACEM-LIMA.		56
4.1	Carguío.....	56
4.2	Acarreo.....	60
4.3	Tiempo de Carguío dentro de la Sede Pucara.....	63
4.3.1	Primer punto de Carguío	65
4.3.2	Carguío en el segundo punto (Stock Yariel)	69
4.3.3	Carguío en el tercer punto (Stock Parcelas)	74
4.4	Tonelaje faltante y excedente en los registros del control de Balanza.....	79
4.5	Numero de viajes por turno.	82
4.6	Producción mensual de la U.M PUCARA.....	85

4.7	Evaluación Económica.....	88
4.8	Evaluación de Implementación de un sistema de control autónomo en la flota.....	90
4.9	Implementación del sistema Weighlog Alpha 10 en camiones de la flota.....	91
4.9.1	Características Técnicas del sistema	92
4.9.2	Costos del sistema	92
4.9.3	Tiempo de Implementación.....	93
4.9.4	Monitoreo Remoto y Centro de Control	93
4.10	Costo operativo de la implementación del sistema autónomo en la flota.....	94
4.10.1	Tiempo de ahorro con el sistema de control de peso autónomo.	97
4.11	Incremento de numero de viajes por el sistema de control autónomo de la flota....	101
4.12	Incremento de producción mediante el peso exacto y números de viajes.....	104
CAPITULO V.....		109
5.0 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....		109
5.1	interpretación de resultados con implementación de sistema autónomo.....	109
5.1.1	Incremento de Carga útil transportada -Tonelaje bruto (Peso Exacto).	109
5.1.2	Reducción de tiempo de carguío y acarreo dentro de Tajo Pucara.	110
5.1.3	Incremento de numero de viajes.....	111
5.1.4	Incremento de producción en una U.m Pucara	112
5.1.5	Rentabilidad mensual Generada con la implementación de Sistema.....	114
5.1.6	Reducción de costos de Carguio y acarreo , para mantener la producción	117
5.2	DISCUSIONES.....	118

CONCLUSIONES.....	122
RECOMENDACIONES.....	123
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	124
ANEXOS.....	127

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Capacidad vs producción.....	12
Figura 2 Rango de trabajo optimo.....	12
Figura 3 Alcance de brazo de Excavadora.....	16
Figura 4 Cargador frontal CAT 994K.....	17
Figura 5 Operación de carga en un solo carril en tajo Pucara Nv 450.....	20
Figura 6 Operación de carga en doble carril Nv. 450 Tajo Proyectos 473	21
Figura 7 Angulo de giro de carguío de una Excavadora	22
Figura 8 Proceso de carguío de una Excavadora	23
Figura 9 Tiempo total de ciclo de carguio, acarreo y descarga.....	25
Figura 10 Equipos de Acarreo en minería de cielo abierto	27
Figura 11 Ciclo de acarreo	29
Figura 15 Secuencia de procesos de costos operativos.....	32
Figura 16 Costo Vs producción	34
Figura 17 Secuencia de costos	35
Figura 18 Diseño de tajo de minado	36
Figura 19 Secuencia de inversión	37
Figura 20 análisis de Costos	38
Figura 21 Ciclo de Carguío.....	39
Figura 22 Numero de pasadas y capacidad de pala y camión.....	39
Figura 23 Carguío en Banco - Excavadora CAT 349 DL Tajo proyectos Nv 450	57
Figura 24 Carguío en Stock N°01 Cargador frontal CAT 966H.....	58
Figura 25 Carguío en Stock Parcelas N°03 Cargador frontal CAT 980H.....	60
Figura 26 Ruta de Transporte de Pucara a Chancadora Primaria	62
Figura 27 Tajo Pucara Vista en Satélite.....	63
Figura 28 Blending de Caliza -opción 1	65
Figura 29 Tajo Proyectos Nv 450 de la U.M PUCARA- Primer punto de carguio	66

Figura 30 Ruta de Acarreo del Tajo Nv 450 - Primer Punto de carguio.....	66
Figura 31 Carguio en Tajo Nv. 450 - Zona Proyectos	67
Figura 32 Ruta de acarreo del 1er al 2do punto de carguio, Tajo Nv 450 a stock Yariel Nv 390.	69
Figura 33 Ruta de acarreo del 2do punto Stock Yariel a punto a área de Balanza	70
Figura 34 Area de balanza U.M Pucara	71
Figura 35 Circuito de balanza de U.m Pucara	72
Figura 36 Carguio en 3er Punto - Stock Parcelas	74
Figura 37 Circuito de balanza a 3er Punto de Carguío - Stock Yaril.....	74
Figura 38 Ruta de retorno a Balanza de Stock Yariel.....	76
Figura 39 demora de camión por punto de carguio.....	78
Figura 40 implementación de sensores en chasis de camones de Pucara	91
Figura 41 Pantalla de control de sistema Weighlog Alpha 10	92
Figura 42 Monitoreo de Carga en camión R-123.....	94
Figura 43 Circuito directo del 2do punto al 3er Punto de Carguío – Stock Yariel a Stock Parcelas	97
Figura 44 Salida de las unidades de tercer punto de carguio stock parcelas hacia Garita	99
Figura 45 Histograma de incremento de Tn neto transportado.....	110
Figura 46 Histograma de reducción de tiempos de carguio y acarreo con sistema autónomo.....	111
Figura 47 Histograma comparativo de reducción de ciclo de acarreo e incremento de horas productivas	112
Figura 48 Histograma diferencia de incremento de carga neta con sistema autónomo	113
Figura 49 Histograma de incremento de producción con respecto a Meta mensual.....	114
Figura 50 Comparativo de incremento de utilidad en la U.m Pucara con implementación de Sistema Autónomo.	116
Figura 51 Ubicación de la U.M Pucara – Distrito de Lurin.....	128
Figura 52 Ubicación de Tajo pucara - Accesibilidad.....	129
Figura 53 Localización del Yacimiento	130
Figura 54 Estratigrafía de la Zona.....	135
Figura 55 Formación de la zonificación del tajo.....	137

Figura 56 Plano de tajo Pucara - Planeamiento de producción agosto 2024	141
Figura 57 Diseño de Banquetas Tajo Proyectos - U.m Pucara	142
Figura 58 Diseño de Mezcla opcionales – Hasta 5 Opciones.	143
Figura 59 Perforación en Banco Nv 450 Polígono 463. Tajo Pucara	145
Figura 60 Operaciones de Carguío en tajo proyectos Nv 450.....	147
Figura 61 carguio en un solo carril Tajo Nv 450 hacia camión R-123	148
Figura 62 Mantenimiento de vías con Motoniveladora 140K	148
Figura 63 Riego de vías de acarreo y control de polvo.....	149
Figura 64 Acumulación de Rumas con Oruga en stock Parcelas.....	150

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones de operación en carguio	30
Tabla 2 Condiciones de operación en descarga	31
Tabla 3 Condiciones por distancia en retorno.....	31
Tabla 4 Resumen General de Costos y Características de sistemas autónomos.....	46
Tabla 5 Según el Reglamento Nacional de Vehículos (complementario al DS 058-2003-MTC)	47
Tabla 6 Multas por exceso de tonelaje PBV	47
Tabla 7 Equipos de carguio en Tajo Pucara.....	56
Tabla 8 E.T Excavadora CAT 349 DL	57
Tabla 9 Especificaciones Cargador CAT 966H.....	58
Tabla 10 Cargador Frontal CAT 980H	59
Tabla 11 Equipos de Carreo en operaciones Pucara.....	60
Tabla 12 Tiempo de Carguío y despacho de camiones (2do viaje)	64
Tabla 13 Cuadro resumen Tiempo de primer punto de carguío Nv 450	68
Tabla 14 Resumen de Tiempo en Stock Yariel	70
Tabla 15 Resumen de Primer Pesaje en Balanza	73
Tabla 16 Resumen de tiempo de stock Parcelas	75
Tabla 17 Resumen de Tiempo de Salida y entrega de Ticket.....	77
Tabla 18 Tiempo total de Carguio en tajo Pucara.....	77
Tabla 19 Control de Pesaje en Balanza Pucara.....	79
Tabla 20 Control de tiempos de ciclo de transporte de camionr R-123.....	84
Tabla 21 Registro de carguio de segundo viaje de flota de semitrailers.....	85
Tabla 22 Resumen de peso neto por viajes	86
Tabla 23 Flota a implementar sistema de balanza autónoma en sus tolvas.	95

Tabla 24	Nuevo Tiempo de carguío en Parcelas	98
Tabla 25	Resumen de Tiempos de carguío con implementación de Balanza autónoma.....	100
Tabla 26	Control de tiempo del camión R-123 con balanza autónoma implementada.....	103
Tabla 27	Registro de Target de salida de camión con balanza autónoma de Pucara	104
Tabla 28	Tonelaje promedio transportado con Balanza	106
Tabla 29	Tonelaje bruto máximo por viaje.....	109
Tabla 30	Comparativo de Tiempos de carguio y acarreo dentro de Pucara	110
Tabla 31	reducción de ciclos e incremento de viajes	111
Tabla 32	Incremento de Tn neta con sistema autónomo	112
Tabla 33	Incremento de producción a Meta mensual.....	113
Tabla 34	Cuadro comparativo de producción con la implementación de balanza autónoma ..	114
Tabla 35	Diferencia de incremento de producción y rentabilidad en U.m Pucara.....	115
Tabla 36	Costo total de implementación de sistema autónomo a flota de camiones de Pucara	115
Tabla 37	Comparativo de incremento de utilidad en la U.m Pucara con implementación de Sistema Autónomo.....	116
Tabla 38	Calculo de Costo operativo por regla compuesta	118

INDICE DE ABREVIATURAS

UNACEM	: Unión nacional de cementos
RITRA	: Reglamento interno de tránsito
PBV	: Peso bruto vehicular
U.M	: Unidad minera
TPH	: Toneladas cargadas por hora
KPI	: Key Performance Indicator – indicador clave de desempeño
FC	: Factor de compatibilidad – Mach Factor
CAT	: Caterpillar
CAMIPER	: Cámara minera del Perú.
MTC	: Ministerio de transporte y comunicaciones

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La Unidad Minera Pucará, ubicada en el sur de Lima, es una de las primeras minas no metálicas que abastece de caliza (CaCO_3) a la chancadora primaria ubicada en Villa María del Triunfo. Esta mina es un punto clave para la recepción de materias primas provenientes del centro del Perú, que son utilizadas en la fabricación de cemento.

En la actualidad, la operación de la unidad minera es gestionada por San Martín Contratistas Generales, quienes se encargan de actividades como el carguío, acarreo y transporte de la materia prima utilizando tracto camiones estandarizados. Estos camiones deben cumplir con el Reglamento Interno de Tránsito Vehicular (RITRA), el cual autoriza un peso bruto vehicular (PBV) máximo de 52.8 toneladas.

Sin embargo, la ausencia de un control óptimo de pesaje dentro del tajo Pucará genera deficiencias en el despacho de tonelaje cargado. Los camiones, al salir del tajo, no siempre transportan su carga máxima permitida (52.8 toneladas), lo que resulta en un bajo rendimiento de carga útil máxima y pérdidas económicas. Estas deficiencias afectan directamente la producción, que actualmente alcanza un promedio de 75,000 toneladas mensuales. A pesar de ello, UNACEM ha solicitado un incremento en la producción de 108,000 toneladas mensuales, lo que ha generado la necesidad urgente de buscar alternativas de solución para optimizar y aumentar la producción actual.

Un aspecto crítico para resolver es el tiempo de pesaje mediante balanza, que actualmente genera tiempos improductivos. Estos tiempos podrían ser aprovechados para incrementar el número de viajes diarios y, de esta manera, alcanzar la producción mensual contractual requerida por UNACEM. La implementación de un sistema de control autónomo de peso, que elimine la necesidad de pasar por el pesaje tradicional, representaría una oportunidad clave para reducir tiempos y mejorar la eficiencia operativa.

En cuanto a la calidad de la caliza exportada, esta tiene una ley media (42%) y es considerada pura, con bajos niveles de contaminantes como Si, S y Al, lo cual es fundamental para garantizar la calidad de la materia prima destinada a la fabricación de cemento tanto a nivel nacional como internacional. Los procesos operativos que se realizan para la explotación incluyen: perforación, voladura, carguío y acarreo, y finalmente, el chancado del producto.

El carguío se realiza en tres puntos para alcanzar la cantidad solicitada por el cliente. El primer y segundo punto se encuentran en la parte superior, y para el tercer punto de carguío es necesario realizar un control de peso para asegurar que el peso cargado cumpla con los límites permitidos por el RITRA en la vía externa. Este procedimiento genera un tiempo adicional de 18 minutos en el ciclo de carguío, lo que reduce el número de viajes posibles por jornada y, por ende, limita la productividad.

La flota de camiones está conformada por 25 tracto camiones de marcas como Freightliner, Scania y Volvo, con una Tara promedio de 18 toneladas y una capacidad de carga de 35 toneladas por camión.

La implementación de un sistema autónomo de control de peso en la flota de camiones, utilizando sensores de medición de presión en las tolvas, se presenta como una solución viable. Este sistema automatizado eliminaría la necesidad de pasar por el control de pesaje externo, optimizando el ciclo de acarreo y asegurando que los camiones transporten el tonelaje máximo

permitido por el RITRA. Esta mejora incrementaría significativamente la producción diaria y mensual, alineándose con las metas de UNACEM y aumentando la rentabilidad de la unidad minera.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

P: ¿Cómo implementar un sistema de control de peso autónomo, para incrementar la producción diaria, mensual de los camiones en la U.M. Pucara?

1.2.2 Problemas Específicos

PE1: ¿Como optimizar el ciclo de carguío y acarreo mediante la implementación del control de peso autónomo en la U.M. Pucara?

PE2: ¿Cómo disminuir los tiempos de carguío y acarreo para aumentar la cantidad de viajes de los camiones con ello incrementar la producción diaria y mensual de la U.M. Pucara?

PE3: ¿Cómo reducir los costos operativos de carguío y acarreo para mantener una producción diaria y uniforme en la U.M. Pucara?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1 Objetivo General

O: Implementar un sistema de control de peso autónomo, para incrementar la producción diaria, mensual de los camiones en la U.M Pucara.

1.3.2 Objetivo Específicos

OE1: Optimizar el ciclo de carguío y acarreo mediante la implementación

de un sistema control de peso autónomo en los camiones de la U.M Pucara.

OE2: Disminuir los tiempos de carguío y acarreo para aumentar la cantidad de viajes de los camiones con ello incrementar la producción diaria y mensual de la U.M Pucara.

OE3: Reducir los costos de carguío y acarreo para mantener una producción diaria y uniforme en la U.M Pucara.

1.4 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION

1.4.1 Justificación

Esta investigación busca evaluar la implementación de un sistema autónomo de control de peso en la Unidad Minera Pucará para optimizar los procesos de carguío, acarreo y transporte. La automatización del pesaje permitirá reducir los tiempos de ciclo y aumentar la productividad de la flota de camiones, mejorando también los costos operativos. El uso del sistema autónomo facilitará la incorporación de un viaje adicional diario, lo que incrementará el tonelaje transportado y mejorará la eficiencia. Esta investigación no solo tiene beneficios inmediatos para la unidad minera, sino que también se alinea con las tendencias de automatización en la industria minera, mejorando la competitividad y sostenibilidad de la operación.

1.4.2 Importancia

La implementación de sistemas autónomos de control de peso en grandes mineras como Antamina, Bambas, Chinalco y Quellaveco ha demostrado ser crucial para optimizar la producción y el monitoreo de la flota de camiones. Estos sistemas permiten evaluar el peso y volumen de los materiales, facilitando la toma de decisiones sobre qué material debe ser transportado hacia la chancadora o botadero. La relevancia de esta investigación radica en su aplicabilidad en la mediana minería, donde el control preciso del peso puede evitar sobrecargas,

reduciendo costos y mejorando la precisión del pesaje, lo que a su vez optimiza la producción. Implementar un sistema autónomo en la Unidad Minera Pucará mejoraría significativamente la eficiencia operativa, alineándose con las mejores prácticas del sector y contribuyendo a la mejora continua de los procesos en minería.

1.5 Delimitación de la investigación

1.5.1 Delimitación temporal

El periodo de la investigación abarca el año 2024, específicamente desde el mes de marzo hasta agosto.

1.5.2 Delimitación espacial

La investigación abarca la U.M. Pucará, y su unidad de observación es el tajo Pucará, desde el Tajo Proyectos 473 Nivel 450, hasta el área de balanza y la salida del tajo en la U.M. Pucará, ubicada en el distrito de Lurín, en la Región de Lima.

1.6 Hipótesis de la investigación

1.6.1 Hipótesis General

H: La implementación del sistema de control de peso autónomo, permite incrementar la producción diaria, mensual de los camiones en la U.M Pucara.

1.6.2 Hipótesis Especificas

HE1: La implementación de control de peso autónomo digital y precisa en las tolvas de camiones, permite optimizar el ciclo de carguío y acarreo y con ello el ciclo total de toda la flota de la U.M Pucara.

HE2: Con la implementación del control de peso autónomo se logra disminuir los tiempos de carguío minimizando los tiempos de pesaje por camión e incrementando la

cantidad de viajes para tener mayor producción diaria y mensual en la U.M Pucara.

HE3: Tener mejor control de peso bruto en los camiones, permite reducir los

costos operativos de carguio y acarreo manteniendo una producción diaria y uniforme,

sin tener perdidas de tonelaje en la de la U.M Pucara.

1.7 Variables de Estudio

1.7.1.1 Variable dependiente (VD)

- Incremento de la producción de la flota de camiones.

1.7.1.2 Variable independiente (VI)

- Implementación de un sistema de control de peso autónomo.

1.7.2 Matriz de Operacionalización

Variable Independiente (V.I)	Dimensiones	Indicadores:
- Implementación de un sistema de control de Peso Autónomo.	-Capacidad de camiones.	- (Tn)
	-Costo de implementación por camión.	- (\$)
Variable Dependiente (V.D)	Dimensiones	Indicadores:
Incremento de producción de la flota de camiones.	-Peso Exacto transportado.	- (Tn)
	-Reducción de tiempos de carguío, acarreo y transporte.	- (Hr)
	-Incremento de numero de viajes.	- (#)
	-Reducción de costos de carguío, acarreo y transporte.	- (%)

CAPITULO II

MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

a) Córdova. G. (2017) - “Mejoramiento de prácticas operacionales para el aumento de horas efectivas camiones de extracción gerencia mina, división ministro Hales Codelco Chile”-: Universidad de Chile facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas – Chile.

El objetivo de la implementación de planes de mejora con la finalidad de incrementar las horas efectivas de la flota de camiones mineros de gran tonelaje, esto principalmente con la aplicación de la metodología Lean Managmet a las operaciones unitarias de carguío y transporte de la unidad minera que permitirán un control y monitoreo y la gestión operacional a través de mejoras prácticas.

Se concluye, que con la implementación de la filosofía que aplica Lean Managmet a los procesos unitarios de carguío y acarreo en la operación minera, ha demostrado su gran aporte en canalizar la mejora continua, en la investigación se demostró la optimización en tiempos operacionales que fueron transferidos a tiempos efectivos, uno de los principales factores de rentabilidad que se obtuvo, fue mejorar la productividad de la operación minera a través del incremento de las horas efectivas de la flota CAEX, logrando alcanzar (-5.320KUs\$) y el incremento de movimiento de material (+11.034 Kt), sin la necesidad de realizar una inversión adicional de equipos.

b) Segura G. (2020) – “Análisis de flota de equipos de servicios según indicadores de rendimiento en mina Los Bronces”- Universidad de Concepción - Chile

Se realiza un análisis detallado de la flota de equipos de servicios de la mina Los Bronces, con el objetivo de evaluar su capacidad para ejecutar adecuadamente el plan de producción correspondiente al año 2020. Este análisis contempla la revisión del dimensionamiento actual de los equipos disponibles, considerando su disponibilidad operativa y su nivel de utilización efectiva.

Se concluye con la gestión operativa de los equipos, se requiere mejoras, no en la planificación de las actividades, sino en su ejecución. Es necesario optimizar los procesos operativos para elevar indicadores clave como la disponibilidad mecánica y el uso de los equipos, especialmente en aquellos destinados a servicios en la mina los bronces.

El estudio permitió identificar situaciones de sobredimensionamiento, en las que el número o tipo de equipos excede los requerimientos reales de las operaciones unitarias y labores diarias, por el contrario, requerimientos adicionales de equipos puedan estar afectando el cumplimiento del plan de producción o reduciendo la eficiencia operativa e incrementando costos operativos.

2.1.2 Antecedentes nacionales

a) Anchiraico G. & Rojas R. (2020) – “Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la E.C.M. Zicsa en la Unidad Minera Inmaculada”- Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas – Lima.

El principal objetivo es optimizar los tiempos improductivos en el proceso de acarreo en las labores de explotación de Over Cut and Fill a través de la filosofía aplicada Six Sigma a las operaciones para incrementar la producción y rentabilidad.

Se concluye, con la aplicación de la filosofía Six Sigma en la optimización de tiempos improductivos e incremento de producción, se logra determinar el incremento de un volquete adicional para la obtención de una flota óptima para el acarreo, esto incrementara un viaje más por guardia con un resultado de tonelaje acarreado de 72000 Tn, frente a los 52182.55 Tn, esto representa un incremento del 37.97%.

b) Rojas I. (2019) – “Optimización del proceso de carguío y acarreo mediante el uso de KPI’S en la fase de relleno del espaldón de la presa de relaves – Antamina”- Universidad Nacional de Piura- Lima.

El objetivo del incremento del volumen de relaves que se deposita diariamente por la compañía minera Antamina ve en la necesidad de estructurar una barrera que permitirá la contención de relaves en mayor cantidad para la explotación del tajo de acuerdo a la fase VI. Con el adecuado control y optimización de KPI’S de los equipos de carguío y acarreo permitirán un análisis actual de rendimiento de equipos y la necesidad de oportunidades de mejora, que ayudara a optimizar los procesos incrementado la producción y rentabilidad.

Se concluye, que el uso de KPI’s, ayudan a controlar los procesos de carguío y acarreo con la cuantificación y análisis comparativo de los presupuestos base y obtener un parámetro de rentabilidad del proyecto enfatizando Costos operacionales de carguío y acarreo, el uso de KPI’s también optimizo procesos logrando mitigar desviaciones operacionales, ayudando a tomar planes de acción correctivas para la mejora continua.

En el carguío de enrocado se obtuvo una mayor rentabilidad y buen rendimiento de equipos de carguío con una rentabilidad de 50.98, de manera global se obtuvo resultado del 23.74% para los procesos de carguío y acarreo.

2.2 Bases teóricas o científicas

2.2.1 Selección de KPI Carguío y Acarreo

En minería, un KPI (Key Performance Indicator) o Indicador Clave de Desempeño es una métrica cuantitativa que se utiliza para evaluar la eficiencia, productividad, disponibilidad y costos de los equipos y procesos involucrados en la extracción, transporte y procesamiento de material (mineral o desmonte).

Los KPIs permiten medir el rendimiento real de las operaciones frente a los objetivos establecidos por la gerencia o planificación minera, identificando brechas operativas y oportunidades de mejora, estos se dividen en:

2.2.1.1 KPIs de producción:

- Toneladas cargadas por Hora(TPH), cuantifica la producción de carguio en un periodo determinado.
- Toneladas acarreadas por hora, Evalúa la capacidad de transporte por camión.
- Total, de ciclos por turno, Numero de viajes completos realizados por los equipos de acarreo.

2.2.1.2 KPIs de Eficiencia operativa:

- Utilización de Equipos (%), $\text{Tiempo productivo real} / \text{tiempo total disponible}$.
- Disponibilidad mecánica (%), $\text{Tiempo del equipo disponible Operativo} / \text{Tiempo programado}$.
- Eficiencia de carguio(%), $\text{Tiempo efectivo de carguio} / \text{Tiempo total de ciclo}$.
- Tiempo de ciclo(min), duración promedio de un ciclo completo de acarreo.
- Tiempo muerto por espera de camiones, minutos o porcentaje del turno que la excavadora espera por falta de camiones.

- Tiempo muerto por espera de pala, tiempo que los camiones esperan sin ser cargados.

2.2.1.3 KPIs de Mantenimiento:

- MTBF(Tiempo medio entre fallas), tiempo promedio entre fallas mecánicas.
- MTTR(Tiempo medio de reparación), Tiempo promedio requerido para reparar un equipo.
- Índice de fallas por tipo de equipo, numero de fallas por tipo en un periodo.

2.2.1.4 KPIs de costos:

- Costo por tonelada cargada/acarreada, Costo total de carguio acarreo dividido entre las toneladas movidas.
- Consumo de combustible por tonelada, Listos de Diesel usados por tonelada transportada.
- Costo de mantenimiento por hora operativa, Gasto total de mantenimiento / horas de operación reales.

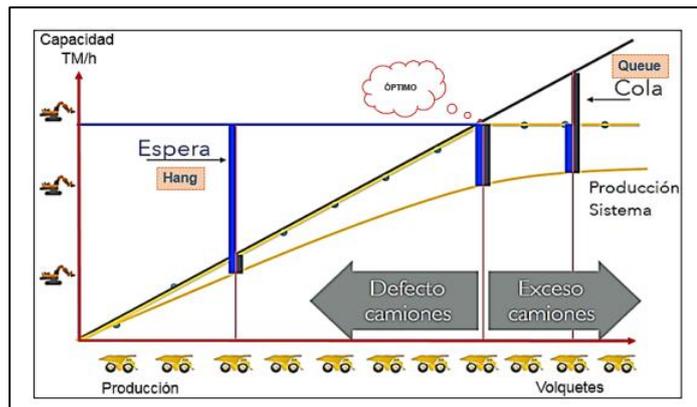
En el marco de esta investigación, la adecuada elección de los indicadores clave de desempeño más relevantes para la operación fue fundamental, ya que permitió realizar un seguimiento efectivo del control de los tiempos no productivos presentes durante las actividades unitarias de carguío y acarreo. Entre los principales indicadores considerados se encuentran:

- Tiempo requerido para cargar por cada camión.
- Duración del acarreo dentro del tajo por unidad.
- Tiempo de traslado hacia la chancadora primaria por viaje.

- Duración total del ciclo operativo por camión.

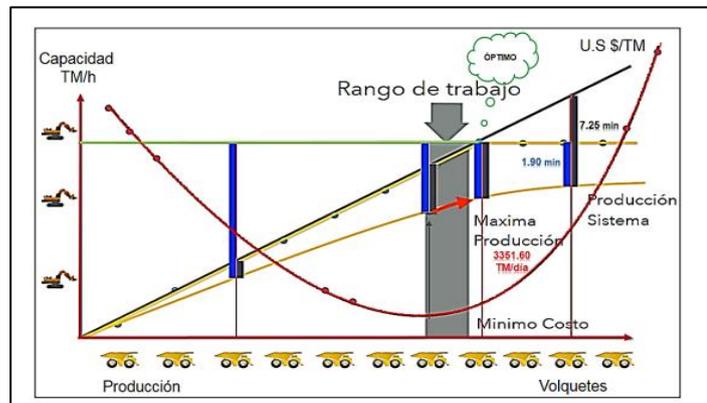
Con el fin de establecer estos indicadores, se analizó detalladamente el ciclo completo de dichas actividades, desglosando cada uno de los tiempos involucrados y extrayendo los KPI necesarios para gestionar eficientemente esta fase del proceso minero.

Figura 1 Capacidad vs producción



Fuente: CAMIPER

Figura 2 Rango de trabajo óptimo



Fuente: CAMIPER

2.2.2 Principales indicadores en Carguío y Acarreo

A. Indicadores de Gestión en Carguío

- Tonelaje cargado (Tn).
- Cargas realizadas por la pala. Referido a la cantidad de camiones cargados por la pala.

- Tiempo de cuadrado de camiones en la pala.
- Tiempo de excavación de la pala. Tiempo empleado por la pala en cargar un camión.

B. Indicadores de Gestión en Acarreo

- Tonelaje transportado. (producción diaria y mensual)
- Ciclos realizados. (número de viajes)
- Distancia recorrida. (km)
- Tiempo promedio de cuadrado en pala. Nos muestra el grado de dificultad al cuadrar, así como también evaluar nuevos operadores en la tarea de cuadrado en pala.
- Tiempo de espera en zonas de carguio. Valor importante que evalúa la distribución de los camiones a mina.

2.2.3 Compatibilidad de Equipos – Mach Factor (fc)

Para lograr un ciclo de explotación eficiente entre las unidades de carga y transporte, es necesario mantener un equilibrio adecuado entre ellas. Una norma comúnmente aceptada establece que el equipo de carga debe depositar entre 3 y 6 pases de material sobre la unidad de transporte. Esta proporción se justifica porque:

- El tamaño de la caja no debe ser demasiado pequeño en comparación con el balde, lo que ayuda a reducir derrames y el impacto sobre el equipo de transporte.
- El tiempo de carga no debe ser demasiado corto, evitando así una saturación inadecuada del equipo de carga (Peralta, 2023), se calcula con siguiente formula:

$$Fc = \frac{n \cdot T}{N \cdot p \cdot t}$$

Donde:

N= nro. Total de cucharones o baldes.

n= Total de unidades de carga.

p= Numero de pases para llenar el camión.

t= Ciclo de cucharon o balde

T= Ciclo del camión.

2.2.4 Dimensionamiento de Flota

Por lo general, al determinar el número de unidades o el tamaño de una flota, cualquier valor decimal superior a 0.3 se redondea hacia arriba para completar una unidad. Si el valor es menor, se realiza un análisis más detallado, ya que mejorando la eficiencia operativa podría evitarse la compra de una unidad adicional. En algunos casos, es posible considerar la organización del trabajo con turnos más largos en lugar de adquirir equipos extra.

En los sistemas de alquiler de equipos de acarreo, cuando el pago se basa en el tiempo del ciclo y el número de ciclos por hora, la simulación del factor de acoplamiento siempre se toma con el decimal mayor. Esto beneficia al arrendatario, ya que permite una mayor producción sin aumentar el costo de acarreo, dado que un pequeño exceso en las unidades y tiempos de espera es insignificante para la estabilidad del costo total. (Peralta, 2023)

2.2.5 Factores que afectan el sistema de carguío y Acarreo

- ✓ Factores relacionados con material minado
- ✓ Densidad
- ✓ Fragmentación

- ✓ Factores relacionados con los equipos
- ✓ Tamaño
- ✓ Velocidad
- ✓ Carga Útil máxima



Selección del Equipo de Carga – Excavadoras y cargador frontal:

- ✓ Tamaño de cucharón
- ✓ Tiempo de ciclo
- ✓ Alcance de cucharón

En esta parte se abordarán los aspectos más importantes relacionados con los equipos de carguío empleados en operaciones mineras a cielo abierto. Inicialmente, se describirán los procesos de carguío y transporte, considerando el momento, el tipo de material y el equipo utilizado. Posteriormente, se explicarán los diferentes tipos de palas empleadas en la minería a gran escala, junto con una revisión de sus principales características operativas. (Ordoñez, 2021).

2.2.6 Equipos de carguío

Los equipos de carguío empleados en unidades mineras son: Palas Hidráulicas sobre oruga, Palas Eléctricas de cable, Excavadoras y Cargadores Frontales.

La operación de carguío en minas a cielo abierto, como se indicó anteriormente, necesita de equipos de gran tamaño debido a las grandes cantidades de material que

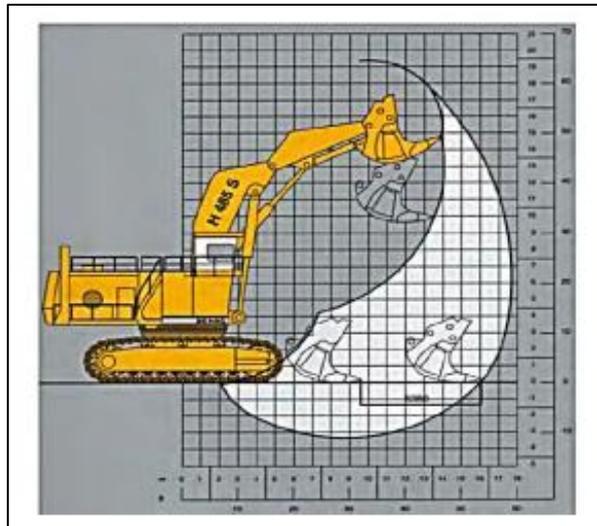
deben movilizar diariamente para maximizar la eficiencia en la extracción del mineral. Estos volúmenes están fuertemente influenciados por la proporción entre estéril y mineral característica de cada depósito. (JOSELYN, 2015)

2.2.6.1 Palas Hidráulicas

Tiene mayor movilidad que las palas eléctricas de cable, aunque no están diseñadas para cambiar de posición de manera frecuente, siendo con un menor costo de capital y un costo operacional levemente más alto que en el caso de las palas eléctricas, las palas hidráulicas poseen en un rango de capacidades de balde menores.

La cuchara de la pala puede estar instalada de manera frontal o inversa (como una retroexcavadora), el alcance del brazo de la pala durante su operación se muestra en la figura. (JOSELYN, 2015)

Figura 3 Alcance de brazo de Excavadora



Fuente: CAMIPER

2.2.6.2 Cargadores Frontales

Son la alternativa al uso de palas eléctricas o hidráulicas, una de las mayores ventajas son su movilidad y la posibilidad de manejar grandes volúmenes de material; estos

equipos deben maniobrar para descargar en el camión y para acceder al frente de trabajo, a diferencia de las palas con base fija, que rotan a la misma.

Los cargadores permiten mayor flexibilidad en la producción pues pueden desplazarse con relativa facilidad y rapidez de frente de trabajo a obra; así mismo se utilizan combustible por lo que el costo unitario es mayor que una pala, el acarreo debe minorizar porque se utilizan en mediana y gran minería; tanto para minerales industriales como metálico. (JOSELYN, 2015)

Figura 4 Cargador frontal CAT 994K



Fuente: CAMIPER

2.2.6.3 Excavadoras

Se utilizan principalmente en canteras y en algunos casos pequeños, mediana y gran minería; estos equipos permiten el manejo de producciones pequeñas están normalmente montadas sobre neumáticos y orugas, la capacidad de los baldes alcanza de 4 y 3 con motores de hasta 400 HP. (JOSELYN, 2015)

2.2.7 Especificaciones técnicas de Equipos de Carguío – Excavadora Caterpillar

Es fundamental comprender las características técnicas de cada equipo, ya que esto constituye la base para elegir la excavadora más adecuada según las condiciones

laborales establecidas. A continuación, se presentan varias especificaciones técnicas o datos nominales proporcionados por el fabricante, los cuales es esencial conocer. (CATERPILLAR, 2000)

Especificaciones técnicas del equipo– Excavadora CAT 349DL-Pucara

- ✓ Motor: Modelo CAT 349DL – Serie RYG1003
- ✓ Potencia neta (302 kW)
- ✓ Capacidad del tanque de combustible (715 ltr)
- ✓ Peso Operativo. (48.2 Tn)
- ✓ Velocidad máxima de desplazamiento (12.5km/h)
- ✓ Mecanismo de rotación – velocidad de giro (8.4 rpm)

Especificaciones de operación de Excavadora

- ✓ Profundidad máxima de excavación (7.70 m)
- ✓ Alcance máximo al nivel del suelo (11.77 m)
- ✓ Altura máxima de transporte (3.68 m)
- ✓ Ancho total de tren de rodaje (3.53 m)
- ✓ Distancia al suelo (4.75 m)
- ✓ Altura máxima de corte (11.77 m)
- ✓ Capacidad máxima del cucharón (3.20 m³)
- ✓ Fuerza de excavación del cucharón (271 KN)

2.2.7.1 Componentes Principales de Excavadora

Las excavadoras hidráulicas están compuestas por tres elementos principales: el montaje (chasis y tren de rodaje), la cabina y el equipo de trabajo (brazo).

(DIEGO, 2015)

2.2.7.2 Operación de Carguío con Excavadora

2.2.7.2.1 Carga en un solo Carril – Excavadora y camion

En algunas operaciones a cielo abierto, las condiciones espaciales limitadas impiden realizar la carga de material por ambos lados de la excavadora. En ciertos diseños operativos incluso se contempla exclusivamente la carga desde un solo lado. Situaciones como la apertura de acceso a un nuevo banco o la localización de zonas con mineral de ley específica son ejemplos donde el espacio de maniobra es reducido. Asimismo, otras limitaciones pueden estar asociadas a las metas de producción en función de la capacidad y tamaño de la flota de transporte.

Este tipo de operación tiende a ser menos eficiente que aquellas con acceso bilateral, ya que el ciclo de carga se ve afectado por mayores ángulos de giro. Además, la excavadora debe esperar a que el siguiente camión esté completamente posicionado antes de iniciar una nueva carga. En el caso de contar con una flota numerosa, se genera mayor tiempo de espera para los volquetes, ya que no pueden ingresar a la zona de carga hasta que el camión anterior haya salido por completo.

Existen también otras desventajas asociadas a este método, como la necesidad de remover el material derramado en el área de carga, la demanda de bancos altos para minimizar los desplazamientos de posicionamiento y las dificultades para mantener nivelado el piso de trabajo.

Sin embargo, su principal fortaleza radica en su adaptabilidad a distintos escenarios, especialmente cuando el espacio es limitado. Otras ventajas adicionales incluyen una mejor visibilidad del entorno por parte del operador, lo que incrementa la seguridad y mejora el posicionamiento de los camiones. (Ordoñez, 2021).

Figura 5 Operación de carga en un solo carril en tajo Pucara Nv 450.



Fuente: Propia

2.2.7.2.2 Carga de doble Carril – Excavadora y camion

Este método permite un uso óptimo de las capacidades operativas de la excavadora. La máquina trabaja con sus orugas orientadas perpendicularmente al frente del tajo, realizando la carga de manera alternada a camiones posicionados a ambos lados. Así, mientras uno de los volquetes está siendo cargado, el siguiente puede ubicarse en su lugar, reduciendo los tiempos de espera. Este sistema mantiene a la excavadora en plena operación, maximizando su eficiencia. Sin embargo, para lograr este rendimiento óptimo, es fundamental contar con una flota de transporte bien dimensionada. (Ordoñez, 2021)

Figura 6 Operación de carga en doble carril Nv. 450 Tajo Proyectos 473



Fuente: Propia

La operación depende del diseño y las especificaciones técnicas de la excavadora, así como de las condiciones de trabajo, como el ángulo de giro y la profundidad o altura de corte. En estas máquinas, el movimiento es muy limitado, llegando a considerarse prácticamente inexistente. (DIEGO, 2015).

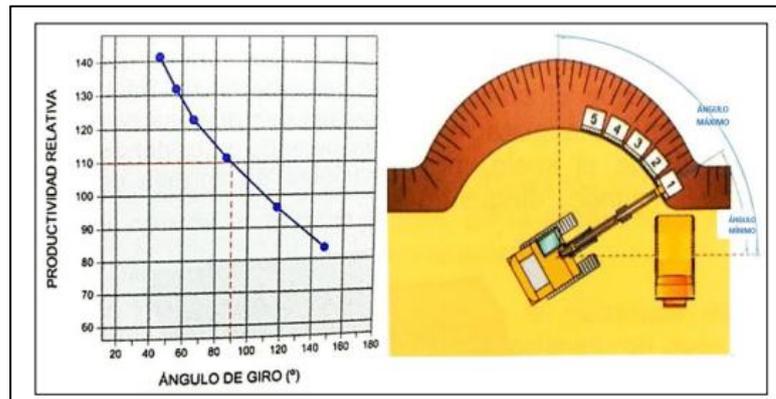
Altura de corte y ángulo de giro:

La altura de corte está definida por las características de diseño de la excavadora, ya que depende de la movilidad de sus componentes (pluma, balancín y cuchara) y del tamaño del equipo. Además, esta altura se ve influenciada por el ángulo de giro y por los equipos de acarreo con los que se trabaja. Para optimizar los ciclos bajo distintas condiciones laborales, se emplean diversos factores que permiten reducir los tiempos. En promedio, la profundidad de corte suele situarse entre el 40 % y 60 % de la profundidad nominal máxima indicada, mientras que el ángulo de giro oscila entre 30° y 60°. (DIEGO, 2015).

El ángulo de giro es la rotación que ejerce la pluma en torno al carro de orugas para realizar la maniobra, carga y descarga. Generalmente el ángulo de giro va a depender de las siguientes condiciones de carguío:

- La disposición de la pila de material a cargar.
- La zona de carguío o el espacio libre por donde tendrán acceso las unidades de acarreo.
- El número de unidades de acarreo.

Figura 7 Angulo de giro de carguío de una Excavadora



Fuente: CAMIPER

- ✓ Limitaciones del carguío a doble carril
- ✓ Cambio rápido de camiones
- ✓ Configuración de derecha a izquierda
- ✓ Funciona bien con cortes angostos
- ✓ Camiones ubicados de 15° a 20°

Por otro lado, los ángulos de giro necesarios para la operación de carga, que inicialmente pueden alcanzar hasta 90°, disminuyen considerablemente —aproximadamente a la mitad— cuando el espacio dejado por el primer módulo extraído es aprovechado por los volquetes. Esto permite acortar el tiempo del ciclo operativo. Este método de trabajo resulta especialmente eficiente en explotaciones a cielo abierto con bancos anchos y de suficiente altura, ya que permite que la excavadora mantenga

una posición constante sin requerir frecuentes ajustes o reposicionamientos. (Ordoñez, 2021).

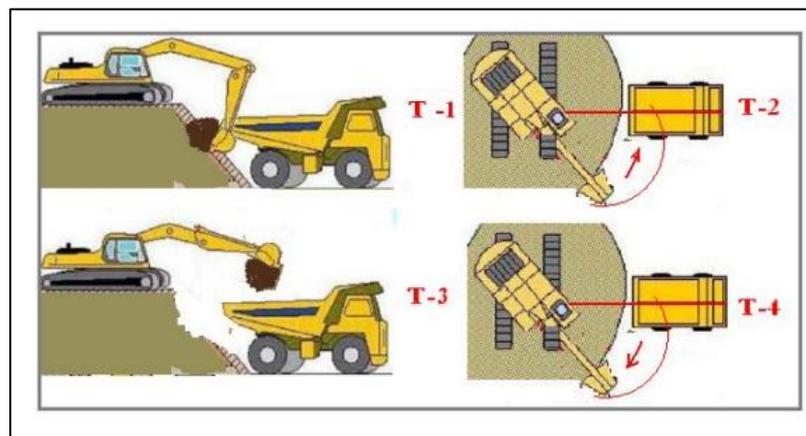
2.2.8 Tiempo de Ciclo de una Excavadora

El tiempo del ciclo es una función del tipo de máquina y de las condiciones de trabajo que incluyen el ángulo de giro, la profundidad o altura de corte.

Las operaciones de corte de una excavadora consideran un ciclo, en cual se tiene cuatro tiempos: (CATERPILLAR, 2000)

- Corte (T-1)
- Giro con carga (T-2)
- Descarga (T-3)
- Giro vacío. (T-4)

Figura 8 Proceso de carguío de una Excavadora



Fuente: CAMIPER

Es muy importante conocer el tiempo de ciclo de cada modelo de excavadora y determinar la productividad de acuerdo con el número de ciclos en determinado periodo.

El tiempo de ciclo más pequeño y por tanto el máximo rendimiento se produce estando el volquete a un nivel inferior de la excavadora. Además, el rápido posicionado del volquete reduce los tiempos muertos en la excavadora.

2.2.9 Tiempo en un sistema de Carguío y Acarreo

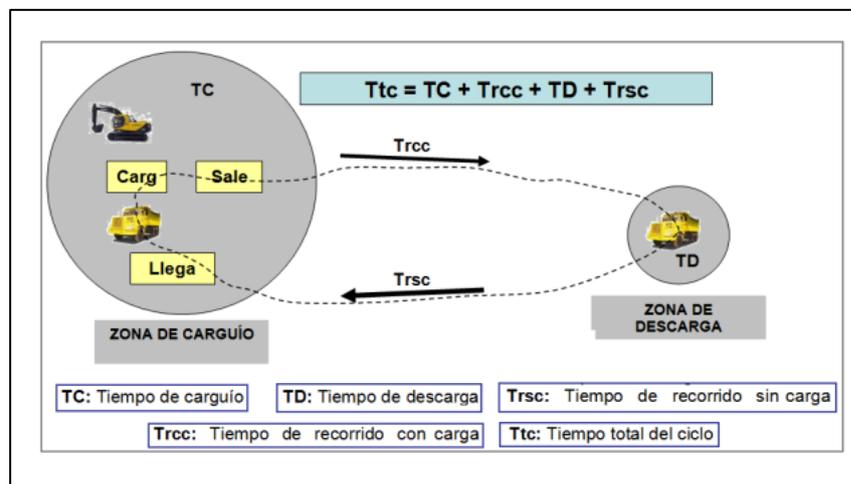
Los tiempos en un sistema de carguío y acarreo se determinan mediante el ciclo de trabajo. La duración total de este ciclo corresponde a la suma de los diferentes tiempos que lo componen, que son los siguientes:

- **Carga:** Depende del equipo utilizado para cargar y de la capacidad de la tolva. La relación entre el tamaño de la tolva y la capacidad del cucharón del equipo de carga define el volumen y tiempo necesarios para realizar la carga. Así, el tiempo de carga es el período que tarda en completarse un ciclo de carga multiplicado por el número total de cargas. Para equipos como los cargadores, se considera el “tiempo de carga con intercambio”, que incluye el tiempo que tarda un camión en cargarse y el tiempo que demora en salir de la zona para que otro vehículo pueda posicionarse y cargar.
- **Acarreo:** Esta etapa abarca el tiempo que el vehículo cargado tarda en trasladar el material hasta su destino. Los tiempos de ida y retorno varían según la potencia del motor, el peso del camión, la distancia del acarreo y las condiciones del camino.
- **Descarga y Maniobras:** El tiempo requerido para descargar el material depende del tipo de vehículo y de la congestión en la zona de descarga. En este lugar suelen estar otros equipos operando, como tractores que esparcen el material o maquinaria de compactación. Para realizar la descarga, el camión debe detenerse por completo, retroceder cierta distancia y luego girar para volver a la zona de carga.

- **Retorno:** Es el tiempo que tarda el vehículo en regresar vacío desde la zona de descarga hasta la de carga para repetir el ciclo.

En resumen, el tiempo total de un ciclo en un sistema de carguío y acarreo es la suma de los tiempos de carga, traslado hacia el destino, descarga y regreso. Este ciclo se compone de tiempos fijos —correspondientes a maniobras, carga y descarga— y tiempos variables, que son los que el equipo invierte en el traslado del material.

Figura 9 Tiempo total de ciclo de carguío, acarreo y descarga.



Fuente: CAMIPER

2.2.10 Tiempo Variable

Los tiempos variables correspondientes al acarreo y al retorno se determinan dividiendo la distancia de transporte por las velocidades registradas en ambos trayectos. Para obtener una estimación más precisa del ciclo real de acarreo, es fundamental realizar un estudio de campo que, mediante un análisis estadístico, permita estandarizar las velocidades de los camiones en función de las características del recorrido, tales como pendientes, condiciones de la vía (curvas, ancho y tipo de superficie). Las velocidades requeridas para calcular el tiempo de viaje con carga (ida) y sin carga (retorno) son las siguientes:

- Velocidad en pendiente positiva. (con respecto a la gradiente).

- Velocidad en curvas o tramos sinuosos.
- Velocidad en pendiente negativa. (con respecto a la gradiente).

2.2.11 Producción Horaria de los camiones y Volquetes

La producción horaria de un volquete se determina mediante la expresión, las fórmulas utilizadas pertenecen al manual de Caterpillar:

$$P\left(\frac{t}{h}\right) = \frac{60 * Cv * E}{Tc}$$

Donde:

- ✚ Cv : Capacidad del volquete (Tn).
- ✚ E : Eficiencia de la operación.
- ✚ Tc : Tiempo del ciclo (minutos).

El tiempo total de ciclo se obtiene sumando a los tiempos fijos de carga, maniobras, etc., los tiempos invertidos en el trayecto de ida cargado y en el de vuelta vacío.

2.2.12 Demoras en Tiempos no productivos

Las demoras en tiempos no productivos consideradas en el análisis son aquellas interrupciones ocasionales que duran más de 10 minutos y que detienen el ciclo de trabajo. Estas se dividen en tres categorías:

2.2.12.1 Demoras operacionales

Son interrupciones que ocurren por maniobras o fallas en la organización de la operación, como la falta de frente de trabajo, mantenimiento de caminos o congestión en las zonas de descarga.

2.2.12.2 Demoras Mecánicas

Se refieren a pausas causadas por fallas técnicas o desperfectos en los equipos, tales como fugas de aire, reemplazo de herramientas de corte, pinchazos en neumáticos o roturas de muelles.

2.2.12.3 Demoras administrativas o externas

Hace referencia a las interrupciones en el tiempo operativo que tiene origen en la gestión, coordinación, normativa o decisiones externas a la operación directa.

2.2.13 Descripción de los equipos de Acarreo

El camión corresponde al medio de acarreo más usado en explotación de minas, camiones convencionales se utilizan tanto en minería a cielo abierto, como en minería subterránea; los camiones convencionales aceptan toneladas moderadamente bajas por ciclo. Los camiones están específicamente fabricados para transportar grandes cantidades de material, ya que cuentan con un diseño adaptado para minería a gran escala y alto tonelaje, estos camiones pueden transportar más de 350 toneladas por ciclo, lo que contribuye a reducir significativamente el costo operativo de acarreo. (Ordoñez, 2021).

Figura 10 Equipos de Acarreo en minería de cielo abierto



Fuente: CAMIPER

2.2.14 Determinación del tipo de transporte a usar

Definir el tipo de transporte o la combinación adecuada de métodos de transporte dentro de una mina resulta una tarea compleja y depende de múltiples factores. Sin embargo, un criterio fundamental para esta decisión es la naturaleza de la construcción de las vías de transporte. Cuando estas vías son variables, como ocurre en el desarrollo de tajos, botaderos y pilas de acumulación (stockpile), se prefieren los camiones debido a su alta adaptabilidad frente a los cambios en las rutas. En la minería a cielo abierto, comúnmente se emplea una combinación de sistemas de acarreo: desde el chancado o planta hasta el PAD se utilizan correas transportadoras, y desde la planta hacia la fundición, puertos o ferrocarriles. (Ordoñez, 2021)

2.2.15 Variables que influyen en la determinación de la flota de carguío y acarreo

- Capacidad de carga

- Velocidad

- Índices de eficiencia de los equipos

- Pendientes de la ruta de transporte

2.2.15.1 Capacidad de carga

Se refiere a la capacidad de material que pueden cargar por viaje, los camiones tienen una capacidad nominal de carga dada el fabricante, la capacidad real o útil estará dada por las características de material acarreado.

El cálculo de la capacidad de carga de cada camión de la flota esta dado por la producción requerida, el equipo de carguío y las distancias de acarreo. (Ordoñez, 2021)

2.2.15.2 Velocidad

La velocidad determina el tiempo de viaje de un camión, también este depende de muchos factores tales como las características de rendimiento del motor y el sistema de frenos, la pendiente y la resistencia a la rodadura de la ruta de transporte.

La mayor parte de las operaciones establecerá límites de velocidad en variadas situaciones, a fin de asegurar las condiciones operaciones, el trasladarse pendiente abajo ya cargado o que las intersecciones de camiones son ejemplos de áreas en las cuales es necesario disminuir la velocidad. (Ordoñez, 2021)

2.2.16 Índices de Eficiencia

2.2.16.1 Ciclo del camión:

El tiempo de un camión corresponde al tiempo promedio que demora el camión en recorrer un circuito de transporte.

2.2.16.2 Ciclo de Acarreo:

Tiempo de carga + tiempo de maniobra + tiempo de viaje + tiempo de maniobra + tiempo de descarga.

Figura 11 Ciclo de acarreo



Fuente: CAMIPER

2.2.16.3 Tiempo de Acarreo:

El tiempo de acarreo está determinado por el peso del equipo y las condiciones de la vía y si no hay restricciones por razones de seguridad o por condiciones laborales,

la velocidad de acarreo dependerá de la calidad, pendiente del camino, peso del equipo y de acarreo y su carga. (Ordoñez, 2021)

2.2.16.4Pendiente de la ruta de Acarreo

Se define como la diferencia de elevación del eje central de la ruta expresada como porcentaje de la distancia horizontal a lo largo del mismo eje, por ejemplo, una pendiente de -10% representa una caída vertical de 10 metros en 100 metros horizontales.(Ordoñez, 2021)

2.2.16.5Tiempo de espera en Carguío y Descarga

Una consideración importante para el cálculo de la flota de camiones es determinar la fluidez con la que serán capaces de desplazarse, los tiempos de espera en carguío o descarga son problemas operativos que deben resueltos porque implican costos. (Ordoñez, 2021)

La forma de resolver esto es usando algoritmo que optimice estos tiempos llevando al límite menor permisible.

2.2.16.6Tiempo de giro, posicionamiento y descarga

Este tiempo depende de las condiciones de trabajo y del tipo de descarga del equipo.

Tabla 1 Condiciones de operación en carguío

Condiciones de operación	Tiempo según el tipo de descarga (min)		
	Inferior	Trasera	Lateral
Favorables	0.3	1.0	0.7
Promedio	0.6	1.3	1.0
Desfavorables	1.5	1.5 - 2.0	1.5

Fuente: (lloret, 2019)

2.2.16.7 Tiempo de posicionamiento en punto de carguío

Al igual que en caso anterior, estos tiempos dependerá n del tipo de equipo de acarreo y de las condiciones de trabajo. La mala posición del camión en el punto es una práctica que puede causar grandes pérdidas en tiempo de operación, un buen “cuadrado” de los camiones permite reducir el tiempo de giro de la pala y aumentar la productividad del equipo de carguio.

Los camiones deben ubicarse exactamente bajo la trayectoria del balde de la pala. De manera que no se requiera, por parte del operador de la pala de un ajuste en el radio.

Tabla 2 Condiciones de operación en descarga

Condiciones de operación	Tiempo según el tipo de descarga (min)		
	Inferior	Trasera	Lateral
Favorables	0.15	0.15	0.15
Promedio	0.50	0.30	0.50
Desfavorables	1.00	0.50	1.00

Fuente: (lloret, 2019)

2.2.16.8 Tiempo de Regreso

El tiempo de regreso de la unidad de transporte a menudo está determinado por condiciones de trabajo o precauciones de seguridad, en lugar de rendimiento del equipo mismo, En caso de que no haya pendientes o riesgos de operación, los siguientes factores se deben aplicar a las velocidades máximas del quipo vacío.

Tabla 3 Condiciones por distancia en retorno

Condiciones	Menos de 150 m	Sobre 150 m
Favorables	0.65	0.85
Promedio	0.60	0.80
Desfavorables	0.55	0.75

Fuente: (lloret, 2019)

2.2.16.9 Interferencia por exceso de camiones en la ruta

El cálculo de la cantidad de camiones debe realizarse con precisión, ya que mantener un flujo constante de material es crucial para la productividad. Dado que el proceso de carguío y acarreo es interdependiente, la flota debe dimensionarse considerando el factor de compatibilidad o "match factor", el cual garantiza que el equipo de carguío sea acorde con la capacidad de la flota de acarreo, asegurando así un flujo continuo. Este concepto se expresa mediante la fórmula del match factor. (Mining, 2021).

2.2.17 Costos

La mejora de cualquier proceso productivo debe enfocarse en incrementar la productividad y disminuir los costos. Tanto el carguío como el transporte del mineral y del desmote son etapas esenciales dentro del proceso minero, por lo que una planificación adecuada de estas actividades y un control riguroso de los gastos resultan fundamentales para obtener un producto metálico final a un costo competitivo. La optimización de los costos en cada etapa contribuye a la estrategia global de reducción de gastos a lo largo de toda la cadena de valor minera. (ZEVALLOS, 2021)

Los costos son considerados estratégicos en minería porque:

Figura 12 Secuencia de procesos de costos operativos



Fuente: CAMIPER

Los costos son los valores de los recursos reales o financieros utilizados para la producción de un periodo dado.

En minería la gestión de los costos es la estrategia competitiva para optar debido que es un sector que depende directamente de los precios internaciones de los metales, la variable controlable por las operaciones mineras son los costos del proceso.

Entonces los costros en la actividad minera dependen ser calificados como estratégicos, debido a que las decisiones que se toman en torno a ellos tendrán impacto sobre la viabilidad de la empresa. (ZEVALLOS, 2021)

2.2.17.1 Tipos de costo

Se dividen en dos grupos:

2.2.17.1.1 Costos Fijos

Aquellos que por su naturaleza son independientes al volumen de producción.

(ZEVALLOS, 2021)

2.2.17.1.2 Costo Variables

Son aquellos que son directamente proporcionales al volumen en producción en el periodo dado. Estos costos pueden ser representados gráficamente, como los costos fijos y costos variables, cuya suma da el costo total. (ZEVALLOS, 2021)

- ❖ Los costos fijos son una línea paralela al eje de la producción.
- ❖ Los costos variables son una función de la producción, es decir que aumentan en función al aumento de la producción.
- ❖ El costo total es la suma de los costos anteriores.

$$CF + CV = CT$$

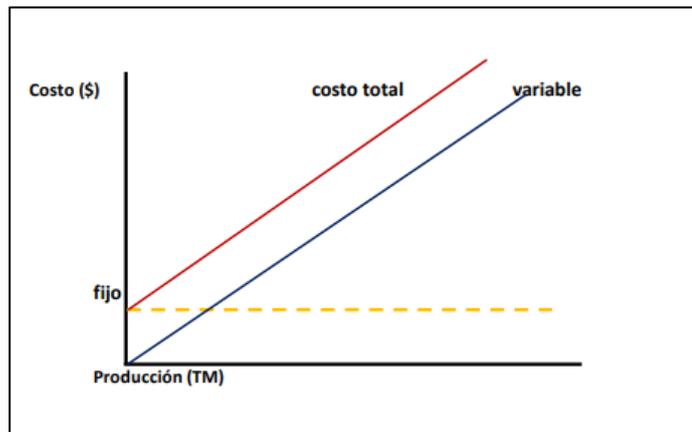
Donde:

CF: Costo Fijo

CV: Costo Variable

CT: Costo Total Operacional

Figura 13 Costo Vs producción



Fuente: CAMIPER

Los costos promedios o unitarios son el resultado de dividir el costo total entre las unidades productivas.

- El costo promedio fijo resulta de la división del costo fijo total entre la producción.
- El costo promedio fijo se representa como una curva decreciente con aproximación asintótica al eje de la producción.

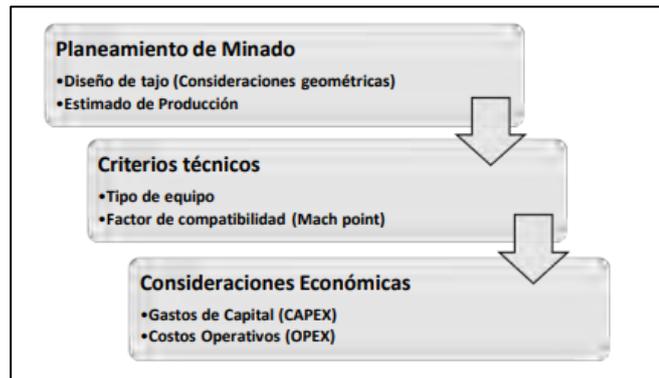
Interpretando esta curva podemos decir, que a mayor producción el costo promedio baja, sin embargo, en un punto estabiliza. (ZEVALLOS, 2021)

2.2.18 Costo en la Operación minera de Carguío

El proceso que permite identificar y prever las acciones necesarias para alcanzar los objetivos de producción, incluye los presupuestos, planes de ventas, programas de inversión, estimación de recursos, entre otros. En una empresa minera, es la planificación la encargada de establecer el plan de producción minero. Este plan determina el origen y la cantidad de material

a procesar, además de definir las estrategias, tiempos y recursos necesarios para llevar a cabo lo planificado. Asimismo, la planificación asegura que la extracción y el beneficio de los materiales se realicen de manera económica, garantizando que, al final, el retorno de la inversión sea adecuado para la empresa. (ZEVALLOS, 2021).

Figura 14 Secuencia de costos



Fuente: CAMIPER

2.2.18.1 Las variables en el diseño Geométrico del Tajo

Altura de banco:

Esta variable es crítica para la elección del tipo de equipo de carguío (pala, cargador frontal o retroexcavadora) porque existe una relación entre la altura de banco con la altura máxima de alcance de cucharón del equipo.

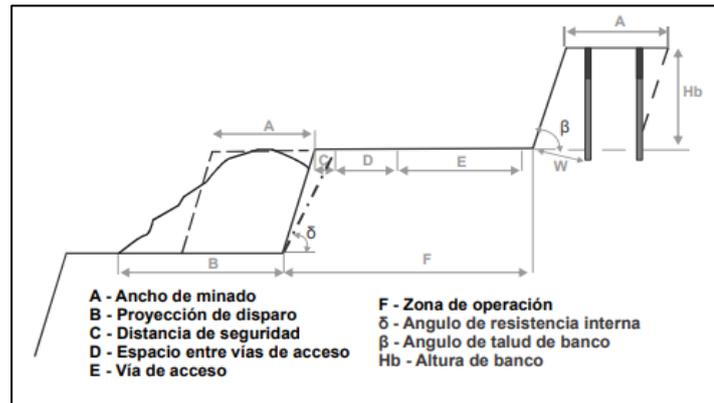
Ancho de minado:

Se debe analizar la cantidad de material volado por vez, para poder calcular la capacidad de cucharón del equipo.

Zona de Operación:

El tamaño del equipo se dará en función al área disponible de operación.

Figura 15 Diseño de tajo de minado



Fuente: (YUPANQUI, 2018)

Capacidad de cuchara en la Unidad de carguío:

La capacidad de cucharón o balde de la unidad de carguío está en función a la cantidad de material volado por cargar el ciclo de carguío, las características del material volado (tamaño, dureza, abrasión) que es la compatibilidad del equipo de carguío con el equipo de acarreo. (YUPANQUI, 2018)

Tipo de energía principal usada por el equipo de carguío:

Existen dos tipos de energía que se usan en maquinaria de carguío: eléctrica o generada por un equipo Diesel, el análisis del tipo de energía más conveniente se hará en base a:

- Tamaño de equipo.
- Costo comparativo de la energía
- Índices de eficiencia de los Equipos (Ciclo de Carguío)
- Los índices de eficiencia de un equipo de carguío están referidos al tiempo que se necesita para llenar un camión, este tiempo involucrado el tiempo de llenado del cucharón, el desplazamiento, la descarga (vaciado de cucharón) y el retorno al punto de carguío.

- e. Este ciclo es diferente y está relacionado a la forma de carguío.
- f. Normalmente se llama “pase” a cada acción unitaria de cargar material, entonces el ciclo total es el número de pases necesarios que tienen un tiempo determinado. (YUPANQUI, 2018)

2.2.19 Criterios económicos para la determinación del Equipo de carguío

Los criterios anteriores se refieren a la fase técnica del proceso de selección, esta identificada cierto número de sistema alternativos de carguío.

El siguiente criterio es el económico donde se debe hacer una comparación de costos, que considere el costo de capital, costo de operación y la vida de los equipos en años. (YUPANQUI, 2018)

Los conceptos que involucran este análisis son:

Figura 16 Secuencia de inversión

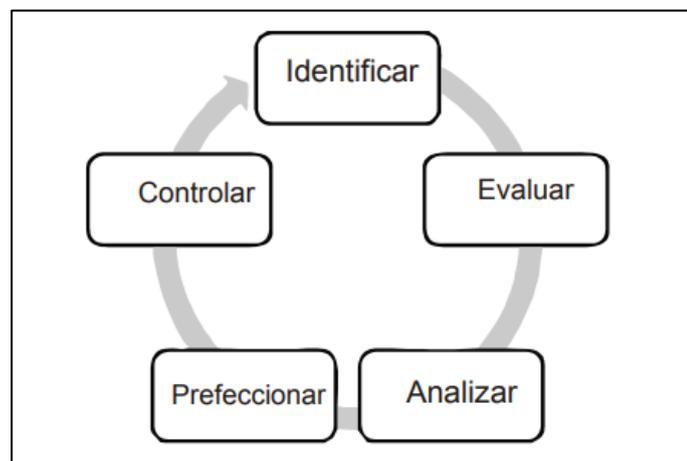
Inversión (V)	Valor residual (vr)	Interés de capital invertido (I)
<ul style="list-style-type: none"> •Se refiere al valor de la maquina, este puede ser CIF/FOB o puede incluir aranceles e impuestos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Es el monto económico que se piensa recuperar al final de la vida útil de maquina, generalmente se expresa en un % del valor inicial 	<ul style="list-style-type: none"> •Cualquier empresa para comprar maquinaria adquiere fondos de bancos o mercado de capitales, pagando una tasa de interés la misma que debe ser calculada en el costo.
Vida útil (N)	Depreciación (D)	Mantenimiento y reparación
<ul style="list-style-type: none"> •Es el periodo durante la máquina trabaja con un rendimiento económicamente justificable. 	<ul style="list-style-type: none"> •Es el costo que resulta de la disminución en el valor de la máquina como consecuencia de su uso. 	<ul style="list-style-type: none"> •Son los costos que se originan en la conservación de la máquinas. (mantenimiento preventivo).
Consumo de energía y lubricantes:	Mano de Obra directa	Accesorios o partes consumibles:
<ul style="list-style-type: none"> •El factor consumo de energía (eléctrica o diesel) es dado por el fabricante. 	<ul style="list-style-type: none"> •Se considera al personal que esta directamente involucrado en la operación de la maquina 	<ul style="list-style-type: none"> •Son las herramientas, repuestos o accesorios (Cables, uñas, etc.) que se consumen durante la operación, estos deben ser costeados.

Fuente: (CAMIPER, 2021)

2.2.20 Optimización de costos de Carguío

La optimización de un proceso es el análisis continuo y estructurado de todas las fases, la identificación de las mejoras que se puede realizar y el control de los resultados, bajo esta premisa se debe utilizar una metodología que permita tener una visión completa del proceso, que identifique las variables medibles y retroalimente la información. (JOSELYN, 2015)

Figura 17 análisis de Costos



Fuente: CAMIPER

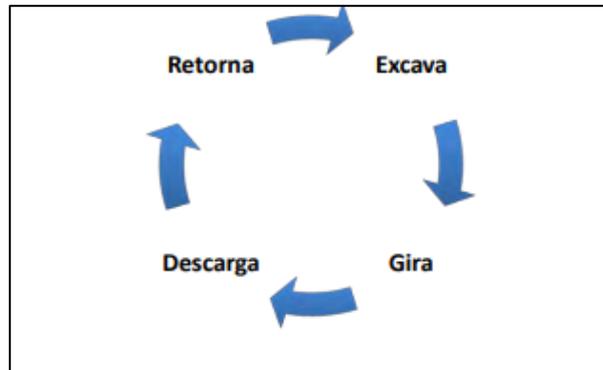
Tipos de Optimización

- a. Mejorar el ciclo de carguío, incrementar el tiempo efectivo de carguío.
- b. Determinar el mejor mach factor, es decir dimensionar las palas y camiones de tal forma que se incrementara la productividad.
- c. Incrementar la utilización efectiva de la máquina.
- d. Una optimización operativa puede elevar los costos en algunas actividades, pero en el largo plazo siempre reducirá el costo total de la operación.
- e. La evaluación de costos debe ser siempre integral, evaluar todas las actividades para determinar el costo total. Muchas veces mejoramos el costo de una sola actividad y el costo total se incrementa.

2.2.21 Identificación de variables a optimizar

En el caso que estamos viendo podemos identificar las siguientes variables que se pueden optimizar:

Figura 18 Ciclo de Carguío



Fuente: CAMIPER

2.2.21.1 Factor de compatibilidad (match factor)

Este factor se refiere a compatibilizar las características del equipo de carguío con las del equipo de transporte, en el cuadro siguiente se ven la relación de las capacidades de cuchara y las de los camiones, así como el número de pases que se necesita para cargar. (JOSELYN, 2015).

Figura 19 Numero de pasadas y capacidad de pala y camión

Apareamiento de las capacidades de pala hidráulica / camión					
Capacidad nominal de camión Tonelada métrica (tonelada americana)	Capacidad pala				
	21m ³ (28 yd ³)	25m ³ (33 yd ³)	35m ³ (46 yd ³)	44m ³ (57 yd ³)	56m ³ (73 yd ³)
154 (170)	5 pasadas	4 pasadas	3 pasadas		
172 (190)	5 pasadas	4 pasadas	3 pasadas		
186 (205)	5-6 pasadas	4-5 pasadas	3 pasadas		
218 (240)	6-7 pasadas	5 pasadas	4 pasadas		
231 (255)	6-7 pasadas	5-6 pasadas	4 pasadas		
290 (320)		7 pasadas	5 pasadas		
327 (360)					
363 (400)					
Apareamiento de las capacidades de pala eléctrica / camión					
Capacidad nominal de camión Tonelada métrica (tonelada americana)	Capacidad pala				
	21m ³ (28 yd ³)	25m ³ (33 yd ³)	35m ³ (46 yd ³)	44m ³ (57 yd ³)	56m ³ (73 yd ³)
154 (170)	5 pasadas	3-4 pasadas	3 pasadas	2 pasadas	
172 (190)	5 pasadas	4 pasadas	3 pasadas	2-3 pasadas	2 pasadas
186 (205)	5-6 pasadas	4-5 pasadas	3 pasadas	3 pasadas	2-3 pasadas
218 (240)	6-7 pasadas	5 pasadas	3-4 pasadas	3 pasadas	2-3 pasadas
231 (255)	7 pasadas	5-6 pasadas	4 pasadas	3 pasadas	3 pasadas
290 (320)		7 pasadas	5 pasadas	3-4 pasadas	3 pasadas
327 (360)		8 pasadas	5-6 pasadas	4 pasadas	3-4 pasadas
363 (400)		8 pasadas	6 pasadas	5 pasadas	4 pasadas

Fuente: CAMIPER

2.2.22 Sistemas de Pesaje de Camiones, control de carga.

En minería, los camiones que transportan carga (como mineral, tierra o escombros) suelen utilizar sistemas de pesaje electrónicos para medir el tonelaje de la carga que llevan. Estos sistemas están diseñados para garantizar que los camiones no transporten más de la capacidad permitida, optimizar el proceso logístico y evitar daños a las infraestructuras del sitio minero, como caminos o camiones mismos.

Existen diferentes tipos de sistemas, pero los más comunes son:

2.2.22.1 Pesaje Estático en Minería Superficial

El pesaje estático es el proceso de medir el peso de un camión minero o volquete cuando está completamente detenido sobre una báscula fija. Es el método más preciso y confiable para determinar el peso neto del material transportado.

Componentes de un sistema de pesaje estático:

- Báscula (truck scale o weighbridge)
- Estructura metálica o de concreto empotrada en el suelo.
- Soporta pesos que superan las 400 toneladas, dependiendo del equipo.
- Celdas de carga (load cells)
- Dispositivos electrónicos que convierten la fuerza en señal eléctrica.
- Indicador digital / Consola de lectura
- Muestra el peso bruto (camión + carga).
- Software de pesaje

Elementos complementarios

- Barreras automáticas, cámaras de vigilancia, sensores de eje, lectores RFID o lectores de placas para identificar vehículos.

Estos sistemas ayudan a mejorar la productividad, reduciendo errores en el pesaje manual y mejorando el control de carga.

2.2.22.2 Sistemas de Pesaje Onboard (a Bordo)

Los sistemas de pesaje a bordo son los más comunes y efectivos para tractocamiones y semitrailers. Funcionan de manera similar a los de los camiones de minería, con la diferencia de que se ajustan a las características del vehículo y el tipo de carga que transportan estos camiones, cómo se aplican:

- ✓ **Instalación en el chasis y suspensión:** Las celdas de carga y los sensores de presión se instalan generalmente en la suspensión, los ejes o en el chasis del tractocamión o semitrailer. Estos sensores miden el peso que soporta cada rueda o eje del vehículo.
- ✓ **Peso total y distribución:** Los sistemas pueden proporcionar no solo el peso total de la carga, sino también cómo está distribuido entre los ejes del vehículo. Esto es muy útil para asegurar que el camión no exceda los límites de peso en cada eje, lo cual es crucial para la seguridad y el cumplimiento de normativas de tráfico.
- ✓ **Pantallas dentro de la cabina:** El conductor tiene acceso a una pantalla o dispositivo a bordo que muestra en tiempo real el peso de la carga. Esto le permite ajustar la carga si es necesario para asegurar que no se excedan los límites permitidos por ley.

2.2.22.3 Sistemas de Pesaje en la Tolva o Contenedor (Tracto camiones)

Algunos Tracto camiones con contenedores de carga también pueden incorporar sistemas de pesaje en la tolva o en el mismo contenedor, especialmente cuando

transportan materiales a granel. En estos casos, las celdas de carga pueden estar integradas en las estructuras del contenedor o la tolva del camión.

- **Celdas de carga:** Se colocan en las bases del contenedor o tolva, directamente en las áreas de contacto con el material. Esto permite obtener mediciones precisas del peso de la carga a medida que se va depositando en el contenedor.
- **Funcionamiento:** A medida que se va llenando el camión, los sensores miden el peso del material y lo calculan en tiempo real, proporcionando una lectura directa del peso en una pantalla en la cabina o en el sistema de gestión centralizado de la flota.

2.2.22.4 Pesaje Dinámico o en Movimiento

En camiones articulados y tractocamiones, también es posible integrar sistemas de pesaje dinámico, lo que significa que los camiones pueden ser pesados mientras están en movimiento, sin tener que detenerse en una balanza fija. Esto se logra mediante sensores ubicados en los ejes, las ruedas o las suspensiones, que miden el peso a medida que el vehículo avanza.

- **Ventaja:** Este tipo de sistema es especialmente útil para flotas de camiones que operan en rutas largas y necesitan ser pesados de manera rápida, sin interrumpir su flujo de trabajo.
- **Precisión:** La precisión del pesaje dinámico puede ser muy alta, siempre que se calibren correctamente los sensores y se asegure un flujo constante y uniforme del camión durante el proceso de pesaje.

2.2.22.5 Sistemas RFID y Gestión Centralizada

Al igual que en minería, algunos sistemas de pesaje en tractocamiones y tractocamiones pueden estar integrados con tecnología RFID para una gestión más

automatizada del pesaje. Esto permite que el sistema identifique automáticamente el vehículo y registre el peso sin que el conductor tenga que interactuar demasiado con el proceso. La combinación de pesaje automático con RFID facilita el seguimiento de la carga y la recopilación de datos en tiempo real, lo que mejora la eficiencia operativa y la trazabilidad en las flotas de transporte. Existen diversas marcas y soluciones tecnológicas que implementan estos sistemas para tractocamiones y tractocamiones. Algunas de ellas incluyen:

- **RDS Technology (Weighlog):** Ofrecen soluciones para vehículos de carga, incluyendo pesaje en tiempo real en el camión y semitrailer.
- **Schenck Process (Truck Weighing Systems):** Estos sistemas se pueden montar en vehículos de transporte pesado, incluyendo camiones de carga y semitrailer, para obtener mediciones precisas de la carga.
- **CleverWeigh (Truck Weighing Solutions):** Proporcionan sistemas de pesaje a bordo y monitoreo en tiempo real para camiones y remolques, ayudando a optimizar la carga y evitar sanciones por exceso de peso.

2.2.23 Beneficios Clave para Tractocamiones y Semitrailers.

1. **Optimización de la Carga:** Evita sobrecargar el vehículo, lo que puede causar daños y aumentar los costos operativos.
2. **Cumplimiento Normativo:** Asegura que el vehículo cumpla con las regulaciones de peso de las carreteras, evitando multas y daños a la infraestructura.

3. **Reducción de Paradas:** Los pesajes se pueden realizar en el camino, sin necesidad de pararse en balanzas fijas, lo que ahorra tiempo y mejora la eficiencia de las operaciones.
4. **Seguimiento en Tiempo Real:** Mejora la gestión de flotas mediante el monitoreo constante del peso y la carga de cada vehículo, consideraciones:
 - **Costo inicial:** Los sistemas de pesaje a bordo pueden ser costosos, aunque su valor se justifica con la mejora en la eficiencia y la reducción de multas.
 - **Mantenimiento y calibración:** Para mantener la precisión, es necesario realizar mantenimiento periódico y calibrar los sensores.

2.2.24 Características técnicas de implementación de sistemas autónomos.

Estos sistemas son completamente aplicables a tractocamiones y semitrailers, de hecho, están siendo cada vez más utilizados en la industria del transporte para aumentar la eficiencia y reducir costos operativos.

RDS Technology (Weighlog)

RDS Technology es un proveedor reconocido de sistemas de pesaje a bordo para vehículos comerciales, incluidos camiones de minería, tractocamiones y semitrailers. Su sistema Weighlog es especialmente popular por su facilidad de uso y precisión.

Características Técnicas del Weighlog:

- **Funcionamiento:** El sistema utiliza sensores de celdas de carga para medir el peso de la carga en tiempo real. Los sensores están montados en las suspensiones del vehículo y en los puntos de contacto del chasis.

- **Pantalla:** La información del peso se muestra en una pantalla a bordo del camión o semitrailer. Puede conectarse a través de una pantalla LCD o pantalla táctil, que permite una fácil visualización del peso total y la distribución de la carga por eje.
- **Compatibilidad:** Funciona con la mayoría de los camiones de carga pesada, incluidos semitrailers y tractocamiones.
- **Precisión:** El sistema es capaz de proporcionar una precisión de $\pm 1\%$ en la medición de la carga.
- **Calibración:** El sistema puede ser calibrado manualmente a través de un proceso sencillo, o de manera automática en algunas versiones.

Costo Aproximado de Implementación.

Costo por camión: El precio de implementación de un sistema Weighlog ronda entre los USD 2,500 a USD 4,000 por vehículo, dependiendo de las características específicas y la configuración.

- Incluye: Sensores, pantalla a bordo, instalación básica y calibración inicial.
- Mantenimiento anual: Aproximadamente USD 200 a USD 500 anuales por vehículo para recalibración y mantenimiento preventivo.

Tiempo de Instalación

Instalación: En general, la instalación del sistema Weighlog en un tractocamión o semitrailer puede tomar entre 4 a 8 horas, dependiendo de la complejidad y la experiencia del instalador.

1. Montaje de los sensores en las suspensiones y ejes del camión.

2. Instalación de la pantalla en la cabina del conductor.
3. Conexión del sistema a los sensores y calibración.
4. Pruebas para verificar el funcionamiento.

Soporte Técnico y Garantía

- **Garantía:** La mayoría de los sistemas Weighlog ofrecen una garantía estándar de 2 años.
- **Soporte técnico:** El proveedor ofrece soporte técnico a través de su red de distribuidores y servicios postventa.

Ficha Técnica

- **Sensores de Celdas de Carga:** De alta precisión para el pesaje de carga.
- **Pantalla LCD/Táctil:** Mostrando peso total y distribución por ejes.
- **Rango de Peso:** Acomoda vehículos con capacidades de hasta 80 toneladas.
- **Precisión:** $\pm 1\%$ de error.
- **Conectividad:** Salidas para integración con sistemas de gestión de flotas o dispositivos móviles.

Tabla 4 Resumen General de Costos y Características de sistemas autónomos

Proveedor	Costo Aproximado por Camión	Características Principales	Tiempo de Instalación
RDS Weighlog	USD 2,500 - USD 4,000	Pesaje en tiempo real, sensores en la suspensión, pantalla a bordo	4-8 horas
Schenck Process	USD 4,000 - USD 7,000	Pesaje dinámico en movimiento, precisión $\pm 1\%$, integración con flotas	8-12 horas (estático), hasta 2 días (dinámico)
CleverWeigh	USD 2,500 - USD 4,000	Pesaje en ruta, alta precisión, conectividad móvil	4-6 horas

Fuente: RDS Weighlog

2.2.25 Carga máxima Autorizada por Reglamento Nacional de tránsito

De acuerdo con el Decreto supremo N.º 058-2003-MTC, es una norma emitida por el ministerio de transportes y comunicaciones, con publicación el 28 de noviembre de 2003, con el objetivo de establecer el Reglamento Nacional de tránsito, donde se indica el tonelaje máximo permitido por tractocamión como peso bruto vehicular (PBV) y las multas por exceso de tonelaje. En el Reglamento interno de tránsito y transporte, se trata de una normativa interna creada por empresas mineras e industrias con grandes instalaciones, esto para regular el tránsito de vehículos en sus instalaciones o áreas de operación con el objetivo de estandarizar los procesos de transporte de carga pesada como medidas de su seguridad vial y protección de infraestructura.

Tabla 5 Según el Reglamento Nacional de Vehículos (complementario al DS 058-2003-MTC)

Tipo de Eje	Carga Máxima Permitida
Eje simple con ruedas simples	6.0 toneladas
Eje simple con ruedas duales	10.0 toneladas
Eje tándem (doble eje)	17.0 toneladas
Eje triple	25.5 toneladas

Fuente: (MTC, 2003)

Peso Bruto Vehicular (PBV) típico permitido para tractocamiones: hasta 48 toneladas, pero puede variar según la configuración del vehículo y la infraestructura vial autorizada.

Tabla 6 Multas por exceso de tonelaje PBV

Exceso de Peso Total Transportado	Tipo de Infacción	Multa en UIT* (2025: S/ 5,150 por UIT)	Medida Complementaria
Hasta el 6% del límite autorizado	Grave	0.3 UIT (S/ 1,545.00)	No
De 6.01% a 25%	Muy Grave	0.5 UIT (S/ 2,575.00)	Retención del vehículo y reubicación de carga
Más del 25%	Muy Grave	1 UIT (S/ 5,150.00)	Retención y/o incautación del vehículo

Fuente: (MTC, 2003)

Estado actual del PBV sin autorizaciones especiales

Según el Reglamento Nacional de Vehículos (DS 058-2003-MTC, con modificaciones hasta 2019):

- El PBV legal máximo permitido para tractocamiones es de 48 toneladas, sin importar la configuración del vehículo.
- En el Anexo IV, ese límite se mantiene vigente, salvo en casos especiales con permisos.

Normativa aplicable

- Decreto Supremo N.º 007-2019-MTC: Modifica el Anexo IV (numeral 5) del Reglamento Nacional de Vehículos (DS 058-2003-MTC) e introduce bonificaciones por tecnologías que reducen el impacto vial.
- Basado en una Directiva previa del MTC (RD 3336-2006-MTC/15, elevada al rango de DS 042-2008-MTC) que establece el procedimiento para su aplicación

Bonificaciones permitidas

- Suspensión neumática + neumáticos extra anchos (≥ 445 mm)
Bonificación combinada de hasta 10 % del PBV
- Sólo suspensión neumática (todos los ejes excepto el delantero)
Bonificación de hasta 10 % por eje y 5 % adicional al PBV legal

Cálculo práctico

- PBV legal estándar: 48 toneladas
- Bonificación del 10% = 4.8 t
- PBV máximo bonificado ≈ 52.8 toneladas

Esta cifra no está establecida como límite general, sino como límite autorizado condicionado a cumplir requisitos técnicos y obtener el correspondiente permiso de bonificación de Provías Nacional.

2.3 DEFINICION DE TERMINOS

CARGUIO: Acción de realizar levantamiento de carga fragmentada de material obtenido de la voladura mediante el uso de maquinaria pesada hacia camiones de dimensiones compatibles.

ACARREO: Se denomina al traslado y yo transporte de material fragmentado de la mina una vez realizado el carguío hacia la tolva de un camión hasta la planta de chancado primario, este proceso está controlado mediante un ciclo de acarreo.

CICLO DE ACARREO: Referido a los tiempos productivos de acarreo entre que se realiza el despacho del camión con mineral fragmentando hasta su retorno del camión vacío, está determinado por la formula:

$$\text{CICLO DE ACARREO} = \text{T. de carguío} + \text{T. de transporte} + \text{T. de descarga} + \text{T. de retorno}$$

COSTO OPERATIVO: Son todos aquellos costos que se incurren en la obtención del producto explotado hasta su beneficio, estos incluyen los costos de los procesos de minado (costo de perforación + costo de voladura + costo de carguio + costo de acarreo)

FLOTA: Flota de transporte o grupo de camiones que deberán cumplir compatibilidad física entre el equipo de carguio y transporte que tienen la gran responsabilidad del

acarreo de minerales desde los puntos de carguio hasta la chancadora primaria.

COSTO FIJO: Gastos que se mantienen invariables dentro de la operación de extracción, independientemente de la producción que genera la empresa.

COSTO VARIABLE: Son aquellos costos que se ven variables dependiendo de los bienes y producción de la empresa, estos están sujetos a precios de mercado nacional e internacional como fletes de equipos, consumibles, equipos, accesorios entre otros.

SISTEMA DE CONTROL DE PESO AUTONOMO: Instrumentos automáticos para el pesaje en movimiento de vehículos carreteros y medición de cargas implementadas en las tolvas de camiones, este proceso sistemático y preciso define pesos exactos de carguío de un camión.

CAPACIDAD DE CAMIONES: Capacidad de carga de un camión en toneladas métricas en unidades de peso y metros cúbicos en unidades de volumen de acuerdo con las especificaciones técnicas del camión, en rendimiento y potencia del motor para lo cual está diseñado.

PESO BRUTO VEHICULAR (PBV): Es el peso de la carga neto incluyendo el peso de la tolva o contenedor y del tracto (tara).

PESO NETO: Es el peso de la carga sin incluir el peso del contenedor o tolva (tara)

PESO TARA: Es el peso del contenedor o tolva además del tracto sin incluir el peso neto.

PESO MAXIMO PERMITIDO: Denominado como carga útil, peso autorizado por

el RITRA para el transporte que circula por vías públicas.

RENDIMIENTO DE CAMIONES: Número de ciclos por hora, es el tiempo

requerido para una máquina para completar un ciclo de trabajo

MANTENIMIENTO DE EQUIPOS: Conjunto de intervenciones que se llevan a cabo

a un equipo para su conservación en condiciones óptimas de funcionamiento mecánico,

estos se realizan de acuerdo con el manual del equipo y plan de mantenimiento de

equipos.

COMPATIBILIDAD DE EQUIPOS: Para lograr una explotación eficiente, es

fundamental que exista un equilibrio adecuado entre las unidades de carga y transporte,

considerando su capacidad, rendimiento y dimensiones de los equipos involucrados.

TOLVAS: Dispositivo utilizado para transportar y/o almacenar gran cantidad de carga,

usado principalmente para acarreo de materiales, mineral, concentrado entre otros.

RITRA: Reglamento interno de tránsito.

ITS: Sistemas inteligente de transporte.

INDICADOR: Característica específica observable y medible.

OIML: Organización Internacional de Metrología Legal.

OIML-R-134-1: Instrumentos automáticos para el pesaje en movimiento de vehículos.

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 Ámbito de estudio

La investigación es desarrollada en la Unidad Minera Pucara, con operaciones en el tajo Pucara compañía UNACEM.

3.2 Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo Aplicada, ya que busca implementar una solución tecnológica orientada a mejorar la productividad del acarreo en la unidad minera Pucará de UNACEM. (Sampieri, 2018).

3.3 Nivel de investigación

Corresponde al nivel explicativo, porque tiene como finalidad determinar el efecto de la implementación de un sistema de control de peso autónomo sobre incremento de la producción de los camiones, analizando la relación causa-efecto entre implementación – aumento de producción. (Hernández Sampieri, 2018)

3.4 Enfoque de la investigación

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos. A través de técnicas estadísticas, se evaluarán los cambios en la producción antes y después de la implementación del sistema, permitiendo realizar comparaciones objetivas y medibles (Hernández Sampieri et al., 2018).

3.5 Diseño de la investigación

La investigación corresponde a un diseño cuasi – experimental, porque se implementa el sistema de control de peso autónomo y mide su efecto sobre la variable dependiente del incremento de producción de camiones, realiza un análisis y compara el rendimiento antes y después de aplicar el sistema.

3.6 Población y muestra

Población:

La investigación se realizó en la U.M Pucara, Tajo Pucara, en los sectores de producción de carguio y acarreo, conformada por equipos de carguio y la flota de camiones.

Muestra:

Se tomará en la flota actual total de 25 camiones, que operan dentro de la U.M Pucara.

3.7 Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.7.1 Técnicas

Para la obtención de información relevante sobre la producción de los camiones antes y después de la implementación del sistema de control de peso autónomo, se utilizarán las siguientes técnicas:

- **Observación estructurada:** se observarán los tiempos de carga, desplazamiento, descarga y espera en las zonas operativas para evaluar los ciclos de acarreo.
- **Análisis documental:** se revisarán documentos internos como guías de remisión, reportes de tonelaje, reportes diarios, partes operativos y planes de mantenimiento.

- **Medición directa:** se recopilarán datos generados por los sistemas de pesaje y monitoreo (balanza, Weighlog, GPS goldcar) para registrar información técnica objetiva.

3.7.2 Instrumentos

Los instrumentos utilizados para registrar y almacenar la información serán:

- **Fichas de registro de tiempos y pesos:** diseñadas para anotar tiempos de operación, carga, espera y descarga.
- **Guías de remisión y tickets de pesaje:** documentos oficiales emitidos en cada despacho, que contienen información sobre tonelaje por unidad.
- **GPS Goldcar vehicular:** sistema de posicionamiento que brinda datos sobre velocidades promedio, tiempos muertos y duración del ciclo de transporte.
- **Registros de calibración de balanza y tolvas:** aseguran la confiabilidad de los pesos registrados.
- **Registro de datos de pesaje del sistema Weighlog Alpha 10:** Sistema autónomo implementado en el chasis de las tolvas de los camiones.
- **Informes operativos y semanales de acarreo:** utilizados como insumos para contrastar la información técnica.

3.7.3 Procesamiento de análisis de datos

Los datos recolectados serán procesados y analizados mediante las siguientes herramientas y métodos:

- **Tabulación en hojas de cálculo (Excel):** se organizarán los datos diarios y semanales para facilitar su análisis.

- **Estadística descriptiva:** se utilizarán medidas como promedios, porcentajes, para comparar los indicadores de producción antes y después de la intervención.
- **Elaboración de gráficos comparativos:** como histogramas, curvas S de cumplimiento de metas, para representar visualmente los cambios.
- **Comparación pre y post implementación:** se evaluará el impacto del sistema autónomo de control de peso sobre el tonelaje transportado, tiempos de ciclo y eficiencia operativa.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PESO AUTONOMO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION DE LOS CAMIONES EN LA U.M PUCARA, UNACEM-LIMA.

4.1 Carguío

Este proceso operativo se lleva a cabo utilizando tres puntos de carguío, con el fin de realizar la mezcla (blending) requerida por el cliente, cuya ley debe alcanzar un contenido de 42.0 % de CaO (caliza).

Cada punto de carguío se ubica en zonas con diferentes leyes químicas y cuenta con equipos distintos, lo que permite optimizar la combinación del material. A continuación, se describen cada uno de estos puntos de carguío, junto con las especificaciones técnicas de los equipos empleados en el proceso.

Tabla 7 Equipos de carguío en Tajo Pucara

EQUIPOS DE CARGUIO	CAPACIDAD DE CUCHARON (m3)
Excavadora CAT 349DL	3.20
Cargador Frontal CAT 966H	3.80
Cargador Frontal CAT 980H	6.00

Fuente: U.m Pucara

1er Equipo – Excavadora CAT 349DL

Como primer punto de carguío, se realiza de la parte más alta del tajo denominado Nivel

450, en este banco del tajo se realiza perforación y voladura para fragmentar la Caliza (CaO) y luego realizar el carguío con este equipo.

Tabla 8 E.T Excavadora CAT 349 DL

Excavadora CAT 349 DL	
Especificaciones técnicas del Equipo:	
Motor: Modelo CAT 349DL – Serie RYG1003	
Potencia neta (302 kW)	
Capacidad del tanque de combustible (715 ltr)	
Peso Operativo. (48.2 Tn)	
Velocidad máxima de desplazamiento (12.5km/h)	
Mecanismo de rotación – velocidad de giro (8.4 rpm)	
Especificaciones de operación de Excavadora:	
	Unidad
Profundidad máxima de excavación	7.70 m
Alcance máximo al nivel del suelo	11.77m
Altura máxima de transporte	3.68 m
Ancho total de tren de rodaje	3.53 m
Distancia al suelo	4.75 m
Altura máxima de corte	11.77m
Capacidad máxima del cucharón	3.20m ³
Fuerza de excavación del cucharón	271 KN

Fuente: U.m Pucara

Figura 20 Carguío en Banco - Excavadora CAT 349 DL Tajo proyectos Nv 450



Fuente: Propia

En la imagen adjuntada se puede visualizar que el espacio esta ampliado para realizar

carguío a doble carril que ayuda a minimizar el tiempo de carguío y no generar colas, aún más cuando los equipos llegan en simultaneo es ahí donde no debe existir tiempos de espera. El tiempo de carguío promedio o de pase es de 20 seg como máximo, esto por estudio del factor de eficiencia del operador.

2do equipo de carguío – Cargador frontal CAT 966H

En este segundo punto de carguío se realiza con un cargador frontal CAT 966H:

Tabla 9 Especificaciones Cargador CAT 966H

Cargador frontal CAT 966H	Und
Modelo de motor	Cat C9.3B
Potencia de motor a 1600 rpm	321 Hp
Potencia neta a 1600 rpm	325 Hp
Par motor	1.781N.m
Calibre	303 Hp
Carrera	149 mm
Cilindrada	9.3 L
Especificaciones de operación	
Capacidad de cucharon	3.8 m3
Peso	23.196 Tn
Tanque de combustible	303 L

Fuente: U.m Pucara

Figura 21 Carguío en Stock N°01 Cargador frontal CAT 966H



Fuente: Propia

El tiempo de carguío promedio o de pase en este punto es de 30 seg, el cargado de material es en zonas llanas y amplias debido a que el material el suelto por acumulación de material en stock o botaderos anteriores y esto viabiliza la forma de carguío.

3er equipo de carguío – Cargador Frontal CAT 980H

Este es el último y tercer equipo donde pasan las unidades para ser cargados, el aspecto general de este equipo es un cargador frontal modelo CAT 980H siendo de gran capacidad, tiene una balanza o bascula en el lampón que ayuda a cargar el tonelaje faltante de cada camino para su traslado a chancadora primaria sin exceder el tonelaje máximo permitido de 52.8 Tn de PBV.

Tabla 10 Cargador Frontal CAT 980H

Cargador frontal CAT 980H	Und
Modelo de motor	C15CERT
Potencia de motor a 1800 rpm	355 hp
Potencia neta a 1800 rpm	322 Hp
Par motor 1.200 rev/min	1.615.m
Reserva de par total	28%
Carrera	172 mm
Cilindrada	15.2 L
Especificaciones de operación	
Capacidad de cucharon	6.0 m3
Peso	31 tn
Tanque de combustible	479 L
Fuerza de arranque	212 KN

Fuente: U.m Pucara

El tiempo de carguío o pase promedio es de 30 seg debido también al espacio amplio que se tiene para poder realizar esta operación.

Figura 22 Carguío en Stock Parcelas N°03 Cargador frontal CAT 980H



Fuente: Propia

4.2 Acarreo

La flota de camiones que se tiene es de 25 unidades, con una tara promedio de 17.57 toneladas y una carga útil de 35 toneladas en promedio, esto es dato informativo para el desarrollo de la presente investigación, así mismo se sabe que solo hace 3 viajes por cada camión por turno, a continuación, las especificaciones de la flota de acarreo en U.m Pucara.

Tabla 11 Equipos de Carreo en operaciones Pucara

N.º	Equipo	Marca	Código	Peso Tara(Kg)
1	TRACTO	SCANIA	R-123	18,280
2	TRACTO	SCANIA	R-124	18,380
3	TRACTO	SCANIA	R-125	18,610
4	TRACTO	SCANIA	R-126	18,610
5	TRACTO	SCANIA	R-127	18,410
6	TRACTO	SCANIA	R-128	19,440
7	TRACTO	SCANIA	R-129	18,660
8	TRACTO	SCANIA	R-130	19,440
9	TRACTO	SCANIA	R-131	18,950
10	TRACTO	SCANIA	R-132	18,380
11	TRACTO	SCANIA	R-46-AL	16,500
12	TRACTO	VOLVO	R-54-AL	16,540

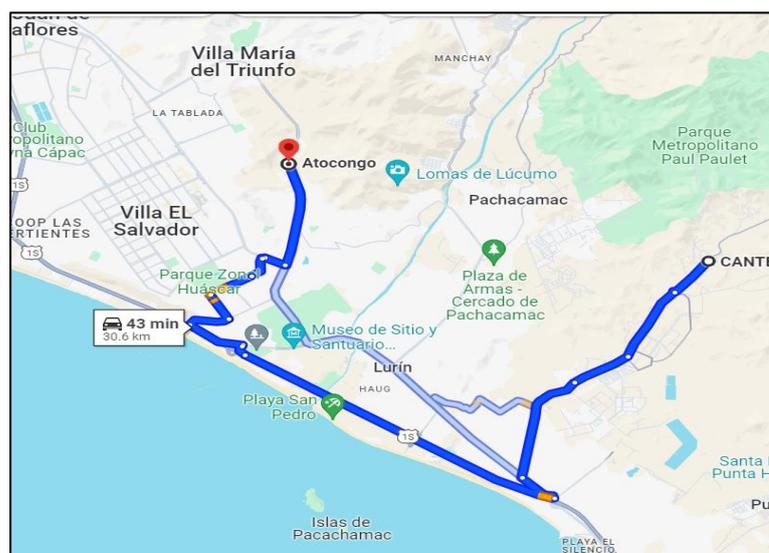
N.º	Equipo	Marca	Código	Peso Tara(Kg)
13	TRACTO	VOLVO	R-61-AL	16,570
14	TRACTO	VOLVO	R-62-AL	16,200
15	TRACTO	VOLVO	R-66-AL	17,080
16	TRACTO	VOLVO	R-67-AL	17,600
17	TRACTO	VOLVO	R-91-AL	15,930
18	TRACTO	FREIGHTLINER	R-114-AL	15,460
19	TRACTO	FREIGHTLINER	R-116-AL	16,100
20	TRACTO	FREIGHTLINER	R-138-AL	15,420
21	TRACTO	SCANIA	R-155-AL	16,190
22	TRACTO	SCANIA	R-162-AL	18,200
23	TRACTO	SCANIA	R-163-AL	18,200
24	TRACTO	VOLVO	R-164-AL	17,900
25	TRACTO	SCANIA	R-165-AL	18,100
			TOTAL	439,150

Fuente: U.m Pucara

Como se verifica los equipos del R-123 al R-132 son equipos propios de la empresa San Martin Contratistas Generales S.A, los demás códigos son equipos tercerizados que son de distinta tara en total, esto debido a que tiene una tara menor y llevan más carga neta y poder generar mayor producción en el material trasladado que es la CaO (caliza).

Como dato para la investigación se tiene una Tara total de la flota de 439.15 Tn, la ruta de transporte hacia chancadora primaria es la siguiente:

Figura 23 Ruta de Transporte de Pucara a Chancadora Primaria



Fuente: U.m Pucara

La distancia total del trayecto desde la salida de la Unidad Minera Pucará hasta la chancadora primaria, ubicada en la zona de Atocongo, es de 30,6 km, según la verificación de ruta realizada (ver imagen de referencia).

Si bien existe una ruta alternativa más corta, esta no está habilitada para el tránsito de camiones debido a restricciones establecidas por temas de seguridad vial y convenios con las comunidades en la zona de influencia. Dicha vía atraviesa sectores altamente transitados por la población local y vehículos urbanos, lo que incrementaría el riesgo de accidentes y conflictos sociales.

Por otro lado, el tiempo promedio estimado de viaje desde el punto de carga hasta el área de descarga es de aproximadamente 1 hora y 22 minutos, considerando el peso del material transportado y las condiciones de la ruta. Es importante mencionar que, en sectores como Villa EL Salvador, los camiones deben atravesar zonas urbanas con presencia de centros comerciales y alto flujo peatonal, lo que genera congestión vehicular, especialmente en horas punta (mañana y tarde), incrementando así el tiempo del ciclo de acarreo debido a las demoras por tráfico.

Figura 24 Tajo Pucara Vista en Satélite



Fuente: U.m Pucara

4.3 Tiempo de Carguío dentro de la Sede Pucara

El tiempo de acarreo, como se mencionó previamente, se contabiliza desde el momento de salida del primer viaje, el cual ocurre aproximadamente a las 7:00 a.m., luego del reparto de guardia. El retorno se considera desde el momento en que el camión llega a la tranquera y se comunica con el área de control a través del sistema de radiofrecuencia (vía radial).

El control de estos tiempos se realiza mediante un ticket de registro, que marca el pase por el punto de inicio, permitiendo llevar un seguimiento preciso del ciclo de acarreo.

A continuación, se presenta un cuadro con los registros diarios habituales, se toma como muestra el segundo viaje de acarreo considerado promedio los cuales reflejan el comportamiento operativo regular y repetitivo de las jornadas de trabajo.

Tabla 12 Tiempo de Carguío y despacho de camiones (2do viaje)

Unidades	Ira Llegada	Ira Salida	Tiempo de Carguío (min)
R-123	09:48:10	10:24:41	00:36:31
R-124	09:49:04	10:25:20	00:36:16
R-125	09:50:25	10:25:52	00:35:27
R-126	09:52:12	10:28:02	00:35:50
R-127	09:53:14	10:29:20	00:36:06
R-128	09:55:04	10:30:54	00:35:50
R-129	09:56:56	10:33:32	00:36:36
R-130	09:57:39	10:34:43	00:37:04
R-131	09:58:17	10:36:09	00:37:52
R-132	10:00:01	10:36:52	00:36:51
R-46-AL	10:01:09	10:38:29	00:37:20
R-54-AL	10:03:29	10:41:31	00:38:02
R-61-AL	10:05:58	10:45:23	00:39:25
R-62-AL	10:07:41	10:45:48	00:38:07
R-66-AL	10:11:26	10:48:43	00:37:17
R-67-AL	10:12:14	10:49:47	00:37:33
R-91-AL	10:14:25	10:52:15	00:37:50
R-114-AL	10:15:21	10:54:19	00:38:58
R-116-AL	10:16:48	10:55:00	00:38:12
R-138-AL	10:18:36	10:55:54	00:37:18
R-155-AL	10:21:51	10:59:15	00:37:24
R-162-AL	10:23:12	11:00:52	00:37:40
R-163-AL	10:25:08	11:02:48	00:37:40
R-164-AL	10:26:45	11:04:12	00:37:27
R-165-AL	10:28:12	11:04:36	00:36:24
PROMEDIO			00:37:14

Fuente: Propia

Como se observa en el cuadro adjunto, el primer registro de llegada corresponde al retorno de los camiones tras realizar su primer viaje, el cual inició aproximadamente a las 7:05 a.m., siendo este el horario de salida del primer camión tras el reparto de guardia. Los siguientes camiones parten en secuencia programada, según el orden establecido al inicio del turno.

A continuación, se presenta el promedio de tiempo de carguío, el cual corresponde al intervalo necesario para realizar el blending del material proveniente de diferentes puntos de

extracción. Este proceso es indispensable antes de su envío desde la mina Pucará hacia la chancadora primaria en Atocongo.

Tiempo promedio de carguio por camión = 37.14 minutos

Figura 25 Blending de Caliza -opción 1

CALIZA MEDIA PUCARA OPCION 01					
Punto	Proyectos	Proporción	Análisis	Resultado	Zonificación/Memo
2	PY 473- b - Nv 450	2.50	SiO2	11.56	KK-20
10	RYF - 58	0.50	Al2O3	4.4	Y - 19 / M - 46
11	TXF - 50	2.00	Fe2O3	2.01	C-14/ M - 33
			CaO	42.3	
			MgO	1.96	
			SO3	0.45	
			Na2O	0.27	
			K2O	0.49	
MEDIA					
SUMA		5.00			
CaCO3=		79.72			
			Costo S/		

Fuente: U.m Pucara

4.3.1 Primer punto de Carguío

Como se mencionó anteriormente el primer punto de carguío es la zona INSITU donde se realiza perforación y voladura para poder realizar el carguío del material volado, es así que en este punto se ubica la excavadora CAT modelo 349 DL, cuya capacidad es de desbroce es de 3.2 m3 este equipo es quien realiza el primer carguío para hacer la mezcla que solicita la chancadora primaria que es de 42.0 % en promedio de CaO.

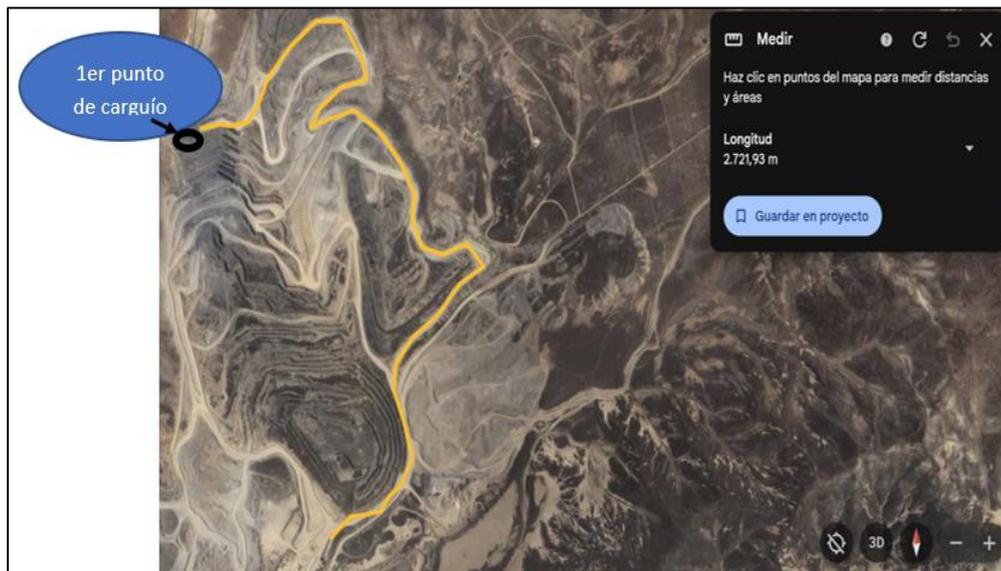
A continuación, verificaremos el punto de carguío de las zonas de minado que queda en la parte superior y los 2 otros puntos de carguío son la zona Yariel y la zona Parcelas.

Figura 26 Tajo Proyectos Nv 450 de la U.M PUCARA- Primer punto de carguio



Fuente: Propia

Figura 27 Ruta de Acarreo del Tajo Nv 450 - Primer Punto de carguio



Fuente: Google Earth Pro – Vista en satélite Tajo Pucara

La distancia de acarreo desde el punto de control de balanza hacia el primer punto de carguío es de 2, 721.93 m, de los cuales se tiene los siguientes datos.

Datos Operativos del camión:

- Velocidad promedio = 40 km/ hr
- Velocidad = 11.11 m / seg

De todo el ciclo de acarreo hay 3 curvas pronunciadas donde la velocidad disminuye en 30 km / hr.

Entonces el tiempo de recorrido total vacío al primer punto de carguío es:

$$T = E / V$$

Siendo:

T : Tiempo

E : Espacio

V : Velocidad

Calculando el tiempo de recorrido, entonces:

- $T = 2721.93 / 11.11$
- $T = 245.0 \text{ seg} = 4.1 \text{ min.}$

El tiempo de llegada es 4.1 min hacia el primer punto de carguío, luego se procede

a cargar la unidad teniendo los siguientes cálculos como se hace mención:

Figura 28 Carguío en Tajo Nv. 450 - Zona Proyectos



Fuente: Propia

- Tiempo de cuadrado = 54 seg (0.9 min)
- Tiempo de Carguío = N° de pases * Tiempo de pase
 - Tiempo de Pase = 20 seg
 - N° de pases = 3 pases (determinado por el blending)
 - Tiempo de Carguío = 20 seg * 3 pases
 - Tiempo de Carguío = 1 min
- Tiempo de salida del punto = 30 seg (0.5 min)

Total, de tiempo en el primer punto de carguío:

Tiempo total primer punto = Tiempo de recorrido + Tiempo de cuadrado + Tiempo de carguío + Tiempo de salida.

- 1ra mezcla = 4.1 min + 0.9 min + 1 min + 0.5 min
- 1ra mezcla = 6.5 min

Tabla 13 Cuadro resumen Tiempo de primer punto de carguío Nv 450

CARGUIO EN TAJO NV 450	
Distancia	2721.93 m
Vel. Camión	40 km/hr 11.11 m/seg
Tiempo de traslado	4.1 min
Tiempo de cuadrado	54 Seg = 0.9 min
Numero de Pases	3
Tiempo de pase	20 seg = 0.33 min
Tiempo de Carguio	60 seg = 1 min
Tiempo de salida	30 seg = 0.5 min
TOTAL	6.5 min

Fuente: Propia

4.3.2 Carguío en el segundo punto (Stock Yariel)

El cálculo anterior es de 6.5 min con la unidad ya cargada, después de este punto se dirige al stock Yariel donde es el segundo punto de carguío (Rumas) para luego realizar el traslado al control de balanza y generar el primer pesaje, entonces se verifica en la siguiente imagen el punto de traslado y la distancia recorrida.

Figura 29 Ruta de acarreo del 1er al 2do punto de carguio, Tajo Nv 450 a stock Yariel Nv 390.



Fuente: Google Earth Pro – Vista en satélite Tajo Pucara

- Velocidad de camión cargado promedio = 32 km / hr
- Velocidad de camión cargado promedio = 8.88 m/seg

Entonces aplicando la formula $T = E / V$, el tiempo de recorrido es:

- $T = 2735.67 / 8.88$
- $T = 308.07 \text{ seg} = 5.13 \text{ min}$

El tiempo de cuadrado es de 20 seg, equivalente a 0.33 min ,esto es menor debido a que los espacios en los stocks son más amplios que el del banco directamente, es por eso que el cargador también que es un equipo versátil con mayor facilidad lo realiza.

- Tiempo de carguío 1 pase con un tiempo de 30 seg.

Entonces el tiempo de carguío en este punto es de 1 min al ejecutarse 2 pases.

- Tiempo de salida es de 10 seg. Equivalente a 0.17 min.

Total, de tiempo de carguío al 2do punto = 5.5 min + 0.5 min + 0.5 min+ 0.17 min.

- Total, de tiempo de carguío al 2do punto = 6.63 min.

Tabla 14 Resumen de Tiempo en Stock Yariel

CARGUIO EN STOCK YARIEL	
Distancia	2735.67 m
Vel. Tracto	32 km/hr = 8.88m/seg
Tiempo de traslado	5.13 min
Tiempo de cuadrado	20 Seg = 0.33 min
Numero de Pases	2
Tiempo de pase	30 seg = 0.5 min
Tiempo de Carguio	60 seg = 1 min
Tiempo de salida	10 Seg = 0.17 min
TOTAL	6.63 min

Fuente: Propia

El siguiente traslado de los camiones después de haber cargado la segunda mezcla se dirigen a la balanza siendo la siguiente imagen referencial.

Figura 30 Ruta de acarreo del 2do punto Stock Yariel a punto a área de Balanza



Fuente: Google Earth Pro – Vista en satélite Tajo Pucara

- Velocidad promedio de camión cargado = 35 km/ hr
- Velocidad promedio de camión cargado = 9.72 m/s

Entonces aplicando la formula $T = E / V$, el tiempo de traslado hacia balanza es:

- $T = 708.48 / 9.72$
- $T = 72.89 \text{ seg} = 1.2 \text{ min}$

Este tiempo aquí es el que se tiene después de cargar en el segundo punto, luego es la llegada al control de balanza para realizar el pesaje que pasa eje por eje, en los cuales se mide en 2 tiempos siendo la primera el tracto del camión y luego la carreta para así sumar el total de PVB, sin exceder el máximo tonelaje de 52.8 toneladas.

Figura 31 Area de balanza U.M Pucara



Fuente: Propia

Al llegar al control de balanza se tiene un circuito adicional de 600 metros, cada camión se pesa en 2 partes, el tracto y la plataforma respectivamente en dos tiempos, a continuación se verifica el circuito general y la secuencia que tiene.

El tiempo de circuito que demora cada camión es el siguiente detalle:

El último paso es el proceso del pesaje final, siendo la sumatoria de estos datos líneas arriba que nos arrojan el total de peso bruto de la unidad siendo lo máximo que puede llegar a 52.8 ton siendo el tiempo tratado de 4 min por los siguientes detalles:

- Ingresar datos del operador.
- Placa del Equipo.
- Peso del tracto y peso de la carreta
- Sumatoria total

Al tener este peso total llegan a las 48.5 toneladas en promedio, puede faltar +/- 2 ton de este último peso sumado se le indica bajo el micrófono cuántas toneladas es lo faltante. Finalmente se considera el tiempo de ingreso y salida por circuito de pesaje de balanza de 600 m, el cual es de aproximadamente 2 min a una velocidad de tracto de 15 km/hr.

- El tiempo total del circuito de pesaje: T.primer paso + T.segundo paso + T.registro + Tiempo de salida.
- Se tiene como tiempo total de pesaje de 15.2 min.

Tabla 15 Resumen de Primer Pesaje en Balanza

1ER TIEMPO DE PESAJE	
Distancia a balanza	708.48 m
Vel. Tracto	35 km/hr = 9.72 m/seg
Tiempo de traslado	1.2 min
Circuito de pesaje	600 m
Tiempo de pesaje del tracto	3 min
Tiempo de pesado de Carreta	5 min
Tiempo de registro de carga	4 min
Tiempo de ingreso y salida	2 min
TOTAL	15.2 min

Fuente: Propia

Es ahí donde realiza el traslado del equipo al 3er punto de carguío.

4.3.3 Carguío en el tercer punto (Stock Parcelas)

Una vez pesada con las 2 cargas el equipo se sabe cuánto es lo faltante e indica al equipo cargador CAT modelo 980F cuya capacidad es de 6 m³ adicionalmente este tiene su control de balanza (bascula montada en el lampón), por eso es quien lo carga de manera inmediata y lo faltante a lo que indico el operador de balanza.

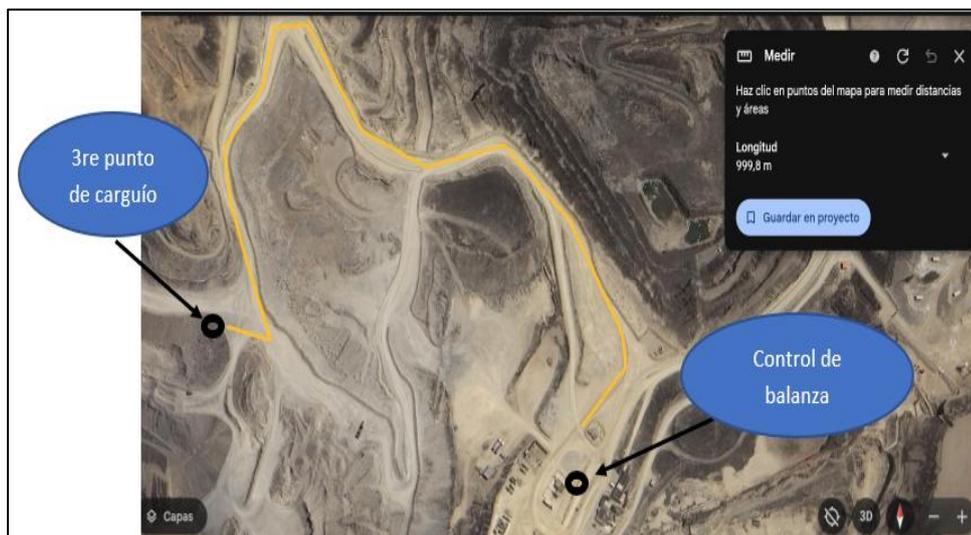
Figura 33 Carguio en 3er Punto - Stock Parcelas



Fuente: Propia

El circuito que recorre es el siguiente:

Figura 34 Circuito de balanza a 3er Punto de Carguío - Stock Yaril



Fuente: Google Earth Pro – Vista en satélite Tajo Pucara

- Velocidad de camión cargado promedio = 30 km / hr
- Velocidad de camión cargado promedio = 8.33 m/seg

Aplicando la formula $T = E / V$, se tiene el tiempo de recorrido:

- $T = 999.8 / 8.33$
- $T = 120 \text{ seg} = 2 \text{ min}$

El tiempo de traslado resultante es de 2 min.

- El tiempo de cuadrado es de 15 segundos = 0.25 min
- El tiempo de carguío en el 3er punto (1 pase) = 30 seg = 0.5 min
- El tiempo de salida aproximado de 6 segundos = 0.1 min

Total, tiempo de carguío en el tercer punto = 2.85 min.

Tabla 16 Resumen de tiempo de stock Parcelas

CARGUO EN STOCK PARCELAS	
Distancia	999.8 m
Vel. Tracto	30 km/hr = 8.33 m/seg
Tiempo de traslado	2.0 min
Tiempo de cuadrado	15 Seg = 0.25 min
Numero de Pases	1
Tiempo de pase	30 seg = 0.5 min
Tiempo de Carguio	30 seg = 0.5 min
Tiempo de salida	6 Seg = 0.1 min
TOTAL	2.85 min

Fuente: Propia

Luego el traslado de equipo cargado nuevamente al control de balanza es la siguiente ruta y tiempo:

Figura 35 Ruta de retorno a Balanza de Stock Yariel



Fuente: Google Earth Pro – Vista en satélite Tajo Pucara

- $V = 30 \text{ Km / hr}$
- $V = 8.33 \text{ m/s}$

Aplicando la formula $T = E / V$, se tiene el tiempo de recorrido:

- $T = 973.63 / 8.33$
- $T = 116.9 \text{ seg} = 1.9 \text{ min}$

Al llegar nuevamente al punto de balanza, se realiza únicamente un control de paso, el cual tiene una duración promedio de 4 minutos. Este tiempo es reducido debido a que los datos de la unidad y del operador ya se encuentran previamente registrados en el sistema. Además, se cuenta con una estimación aproximada del peso transportado por el equipo, lo que agiliza el proceso de validación en esta etapa del ciclo operativo.

Tabla 17 Resumen de Tiempo de Salida y entrega de Ticket

2DO TIEMPO DE PESAJE (SALIDA)	
Distancia a balanza	973.63
Vel. Tracto	30 km/hr = 8.33 m/seg
Tiempo de traslado	1.9 min
Circuito de pesaje	-
Tiempo de pesaje del tracto	-
Tiempo de pesado de Carreta	-
Tiempo de registro de tiket de salida	4 min
Tiempo de ingreso y salida	
TOTAL	5.9 min

Fuente: Propia

Entonces podemos definir el ciclo de total de carguio, acarreo y control de balanza de:

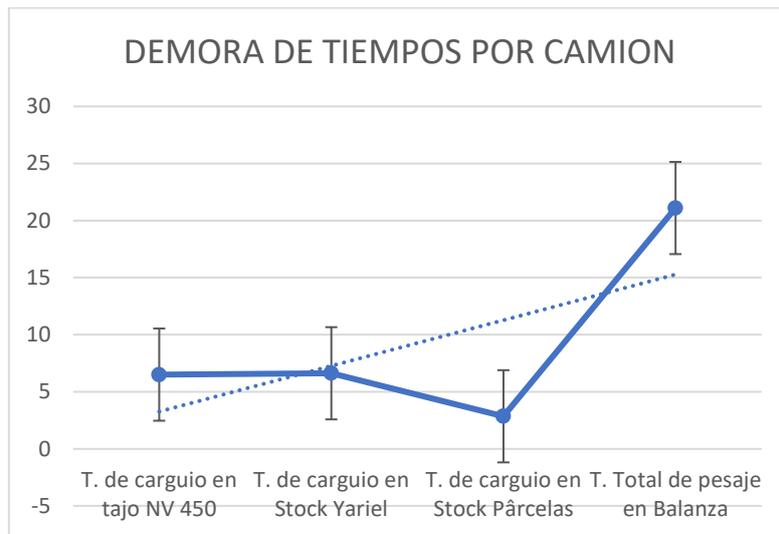
- Tiempo total de carguío / unidad = $6.5 + 6.63 + 15.2 + 2.85 + 5.9$
- Tiempo total de carguío / unidad = 37.07 min.

Tabla 18 Tiempo total de Carguio en tajo Pucara

DEMORA DE TIEMPOS POR CAMION	Minutos	Porcentaje
T. de carguío en tajo NV 450	6.5	18%
T. de carguío en Stock Yariel	6.62	18%
T. de carguío en Stock Parcelas	2.85	8%
T. Total de pesaje en Balanza 1 y 2	21.1	57%
TOTAL	37.07	Minutos

Fuente: Propia

Figura 36 demora de camión por punto de carguio



Fuente: Propia

Se tiene como dato obtenido de la tabla N°09 , el tiempo promedio de carguio real es de 37.14 min, con respecto al tiempo calculado de 37.07 min, concuerda con precisión la demora de carguío en el tajo pucara por cada camión.

Factores que incrementan el ciclo de carguío.

- Estado de vías.
- Curvas en mal estado.
- Climas adversos.
- Colas.
- Estado del punto de carguío.
- Polución.
- Habilidad del frente.

Estos factores son los que en parte hacen una mínima diferencia, pero el ciclo se alarga por hacer el control de balanza y luego completar el tonelaje total como se verifica en los adjuntado del ciclo dentro del carguío interno.

4.4 Tonelaje faltante y excedente en los registros del control de Balanza

Los controles que se tiene a continuación, el registro de pesaje de balanza de la flota realizada en los 3 viajes del turno, salida de la flota de unidades que transportan la materia primera.

Tabla 19 Control de Pesaje en Balanza Pucara

DIA	HORA	TICKET	PESO BRUTO (KG)	PESO TARA(KG)	PESO NETO(KG)	CODIGO
18/05/2024	15:54	75	52,780	18,200	34,580	R-162-AL
18/05/2024	15:48	74	51,400	17,900	33,500	R-164-AL
18/05/2024	15:45	73	52,470	16,190	36,280	R-155-AL
18/05/2024	15:40	72	50,870	18,100	32,770	R-165-AL
18/05/2024	15:35	71	47,890	18,200	29,690	R-163-AL
18/05/2024	15:32	70	51,050	16,100	34,950	R-116-AL
18/05/2024	15:30	69	51,080	15,420	35,660	R-138-AL
18/05/2024	15:10	68	53,020	17,080	35,940	R-66-AL
18/05/2024	15:04	67	53,450	15,460	37,990	R-114-AL
18/05/2024	14:58	66	49,900	16,570	33,330	R-61-AL
18/05/2024	14:55	65	52,870	15,930	36,940	R-91-AL
18/05/2024	14:48	64	47,850	16,200	31,650	R-62-AL
18/05/2024	14:45	63	49,850	17,600	32,250	R-67-AL
18/05/2024	14:21	62	53,480	16,500	36,980	R-46-AL
18/05/2024	14:18	61	50,000	16,540	33,460	R-54-AL
18/05/2024	14:15	60	48,090	19,440	28,650	R-130
18/05/2024	14:10	59	46,800	18,660	28,140	R-129
18/05/2024	14:09	58	46,800	18,660	28,140	R-129
18/05/2024	14:06	57	52,040	18,950	33,090	R-131
18/05/2024	13:45	56	47,850	19,440	28,410	R-128
18/05/2024	13:42	55	51,020	18,610	32,410	R-126
18/05/2024	13:38	54	50,090	18,380	31,710	R-124
18/05/2024	13:36	53	48,550	18,610	29,940	R-125
18/05/2024	13:28	52	52,040	18,410	33,630	R-127
18/05/2024	13:25	51	51,320	18,280	33,040	R-123
18/05/2024	10:52	50	51,260	18,100	33,160	R-165-AL
18/05/2024	10:51	49	50,990	17,900	33,090	R-164-AL
18/05/2024	10:50	48	47,800	18,200	29,600	R-163-AL
18/05/2024	10:49	47	48,900	18,200	30,700	R-162-AL
18/05/2024	10:48	46	51,700	16,190	35,510	R-155-AL
18/05/2024	10:47	45	52,080	15,420	36,660	R-138-AL
18/05/2024	10:46	44	51,100	16,100	35,000	R-116-AL
18/05/2024	10:45	43	54,600	15,460	39,140	R-114-AL
18/05/2024	10:43	42	53,800	15,930	37,870	R-91-AL
18/05/2024	10:41	41	50,020	17,600	32,420	R-67-AL
18/05/2024	10:39	40	50,480	17,080	33,400	R-66-AL
18/05/2024	10:37	39	48,600	16,200	32,400	R-62-AL
18/05/2024	10:36	38	49,050	16,570	32,480	R-61-AL
18/05/2024	10:34	37	52,170	16,540	35,630	R-54-AL

DIA	HORA	TICKET	PESO BRUTO (KG)	PESO TARA(KG)	PESO NETO(KG)	CODIGO
18/05/2024	10:33	36	53,100	16,500	36,600	R-46-AL
18/05/2024	10:28	35	51,080	18,380	32,700	R-132
18/05/2024	10:26	34	50,100	18,950	31,150	R-131
18/05/2024	10:21	33	51,010	19,440	31,570	R-130
18/05/2024	10:19	32	50,090	18,660	31,430	R-129
18/05/2024	10:17	31	48,750	19,440	29,310	R-128
18/05/2024	10:15	30	50,110	18,410	31,700	R-127
18/05/2024	10:13	29	53,800	18,610	35,190	R-126
18/05/2024	10:11	28	49,770	18,610	31,160	R-125
18/05/2024	10:09	27	50,900	18,380	32,520	R-124
18/05/2024	10:07	26	51,230	18,280	32,950	R-123
18/05/2024	07:58	25	52,050	18,100	33,950	R-165-AL
18/05/2024	07:51	24	54,200	17,900	36,300	R-164-AL
18/05/2024	07:50	23	53,480	18,200	35,280	R-163-AL
18/05/2024	07:48	22	51,040	18,200	32,840	R-162-AL
18/05/2024	07:47	21	49,850	16,190	33,660	R-155-AL
18/05/2024	07:44	20	50,050	15,420	34,630	R-138-AL
18/05/2024	07:41	19	51,280	16,100	35,180	R-116-AL
18/05/2024	07:39	18	51,820	15,460	36,360	R-114-AL
18/05/2024	07:36	17	53,050	15,930	37,120	R-91-AL
18/05/2024	07:34	16	51,080	17,600	33,480	R-67-AL
18/05/2024	07:30	15	52,040	17,080	34,960	R-66-AL
18/05/2024	07:28	14	53,100	16,200	36,900	R-62-AL
18/05/2024	07:26	13	50,050	16,570	33,480	R-61-AL
18/05/2024	07:24	12	51,040	16,540	34,500	R-54-AL
18/05/2024	07:22	11	49,580	16,500	33,080	R-46-AL
18/05/2024	07:21	10	50,470	18,380	32,090	R-132
18/05/2024	07:19	9	51,500	18,950	32,550	R-131
18/05/2024	07:17	8	53,040	19,440	33,600	R-130
18/05/2024	07:16	7	49,080	18,660	30,420	R-129
18/05/2024	07:15	6	49,890	19,440	30,450	R-128
18/05/2024	07:13	5	50,120	18,410	31,710	R-127
18/05/2024	07:10	4	52,470	18,610	33,860	R-126
18/05/2024	07:08	3	51,470	18,610	32,860	R-125
18/05/2024	07:06	2	48,980	18,380	30,600	R-124
18/05/2024	07:05	1	49,990	18,280	31,710	R-123
TOTAL			3,815,770	1,317,730	2,498,040	

Fuente: U.m Pucara

Como se ve en el cuadro adjuntado la mayoría no alcanza y si fuera el caso están excediendo, en tal caso si fuera el caso de que no llega tiene que volver a pasar el peso lo máximo permitido en perdida es de 1.5 ton, entonces el permisible de peso seria de 51.0 tn para poder salir de la U.M Pucara.

Caso de que el peso se muestra menor de 50.5 ton se debe dirigir nuevamente a completar la carga para salir con la carga completa.

Así mismo se tiene en conocimiento el costo operativo por tonelada movida o de acarreo que es de S/ 20.8 por tonelada transportada desde el punto de carguío a la chancadora primaria.

A continuación, se tiene el resumen del costo y tonelaje faltante de la muestra de la flota de camiones semitrailers.

De acuerdo con la tabla anterior se tiene como datos:

- Peso bruto Total de flota por día = 3`815,770 kg, equivalente a 3,815.77 Toneladas.
- Numero de camiones por viaje = 25
- Peso Bruto Máximo permitido = 52.8 Tn.
- Numero de viajes por día = 3

Entonces calculando el peso bruto máximo total por día:

- PBV máximo por día = $25 * 52.8 * 3$
- PBV máximo por día = 3960.0 toneladas.

Entonces el tonelaje faltante por día sería igual a :

- Tonelaje faltante por día = PBV máximo – PBV de flota
- Tonelaje faltante por día = $3960 - 3815.77$
- Tonelaje faltante por día = 144.23 toneladas

Calculando el tonelaje promedio por viaje :

- Tonelaje faltante por viaje = $144.23 / 3$
- Tonelaje faltante por viaje = 48.08 toneladas

Entonces el tonelaje faltante en un solo viaje de toda la flota genera el siguiente tonelaje:

Tonelaje faltante por viaje promedio = 48.08 toneladas

- ✓ Tonelaje faltante = 48.08 ton
- ✓ Costo / Tonelada = s/ 20.8
- ✓ Perdida por 1 viaje / flota = $48.08 * 20.8$
- ✓ Perdida por 1 viaje / flota = s/ 1,000.06

Entonces calculando lo perdido por día y por mes :

Nº de viajes = 3 viajes / turno

- ✓ Perdida por 1 viaje / flota = s/ 1,000.06
- ✓ Perdida por turno / flota = $1,000.06 * 3$
- ✓ Perdida por turno / flota = s/ 3000.18
- ✓ Perdida mensual = $3,000.18 * 30$
- ✓ Perdida mensual = s/ 90,005.40

Este monto es lo acumulado por mes que pierde en no llevar el tonelaje máximo, donde el monto es considerable y se debe tomar medidas para corregir este asunto debido a que el costo operativo de acarreo tiene perdidas considerables como se evidencia en los presentes cálculos.

4.5 Numero de viajes por turno.

El control de viajes está en el siguiente detalle:

- ✓ Charla de seguridad: 6:45 a. m
- ✓ Liberación de documentos 6: 55 a. m
- ✓ Entrega de ticket: 7:03 a.m

A partir de este punto se considera el primer ciclo de transporte con destino hacia chancadora primaria.

- ✓ Salida del primer semitrailer 7:05 a.m
- ✓ Llegada a la chancadora primaria: 8: 28 a.m
- ✓ Retorno de la chancadora primaria: 8:39 a.m
- ✓ Llegada a Pucara: 9: 30 a.m
- ✓ Inicio de carguio interno: 9:31 a.m
- ✓ Fin de carguio y pesaje: 10:07 a.m
- ✓ Entrega de ticket: 10:08 a.m

A partir de este punto se considera el segundo ciclo de transporte, a continuación:

- ❖ Salida de Pucara: 10:10 a.m
- ❖ Llegada a la Chancadora Primaria: 11:30 a.m
- ❖ Salida de la Chancadora Primaria: 11:42 a.m
- ❖ Llegada a Pucara: 12:36 p.m
- ❖ Inicio de carguio interno: 12:37 p.m
- ❖ Fin de carguio y pesaje: 13:14 p.m
- ❖ Entrega de ticket: 13:15 p.m

❖ Refrigerio: 13:16 p.m

Finalmente, a partir del refrigerio se dispone el tercer ciclo de acarreo para finalizar :

❖ Salida de Pucara: 13:37 p.m

❖ Llegada a Chancadora Primaria: 15:08 p.m

❖ Salida de Chancadora Primaria: 15:20 p.m

❖ Llegada a Pucara: 16:30 p.m

❖ Inicio de carguio interno: 16:31 p.m

❖ Fin de carguio y pesaje: 17:07 p.m

Tabla 20 Control de tiempos de ciclo de transporte de camionr R-123

Viajes	Actividad	Hora
1er viaje	Charla de seguridad	06:45:00
	Liberacion de documentos	06:55:00
	Entrega de ticket	07:03:00
	Salida el primer camión	07:05:00
	llegada a la chancadora primaria	08:28:00
	Salida de chancadora primaria	08:39:00
	llegada a Pucara	09:30:00
	Inicio de ciclo de carguio	09:31:00
2do viaje	Fin de carguio y pesaje	10:07:00
	Entrega de ticket	10:08:00
	Salida de Pucara	10:10:00
	Llegada a chancadora primaria	11:30:00
	Salida de chancadora primaria	11:42:00
	Llegada a Pucara	12:36:00
	Inicio de ciclo de carguio	12:37:00
	Fin de carguio y pesaje	13:14:00
3er Viaje	Entrega de ticket	13:15:00
	Hora de almuerzo	13:16:00
	Salida de Pucara	13:37:00
	Llegada a chancadora primaria	15:08:00
	Salida de chancadora primaria	15:20:00
	Llegada a Pucara	16:30:00
	Inicio de carguio interno	16:31:00
Fin de carguio y pesaje	17:07:00	

Fuente: U.m Pucara

Como se verifica este son unos de los trabajos rutinarios y como se verifica esto solo aplica en el primer camión, como se verifica el tiempo el exactor para poder dar un viaje más, pero la probabilidad de retorno no es factible por el transito que se genera en la vía en estas horas.

Tenemos un tiempo improductivo desde las 17:07 p.m. hasta el fin de guardia que es a las 19:00 hrs, siendo un total de 1:88 hrs este tiempo es aprovechado para la inspección y mantenimiento y limpieza del vehículo, son muchas las veces que este tiempo debería ser aprovechado para incrementar en un viaje más la producción.

4.6 Producción mensual de la U.M PUCARA

He de mencionar que la producción de los camiones semitrailers y requerimiento de incremento de producción por UNACEM asciende a 108, 000.0 tn por mes, con una ley de 42.0% de CaO requerido por chancadora primaria; entonces la producción con el resumen que se tiene es el siguiente, tomaremos como muestra el segundo viaje de la flota debido a que tiene el valor mas preciso y representativo del día, es el siguiente:

Tabla 21 Registro de carguio de segundo viaje de flota de semitrailers

n°	Puntos de Carguio	Códigos	Peso Tara	Peso Bruto	Peso Neto
1	Nv 450, Yariel y Parcela	R-123	18280	51230	32950
2	Nv 450, Yariel y Parcela	R-124	18380	50900	32520
3	Nv 450, Yariel y Parcela	R-125	18610	49770	31160
4	Nv 450, Yariel y Parcela	R-126	18610	53800	35190
5	Nv 450, Yariel y Parcela	R-127	18410	50110	31700
6	Nv 450, Yariel y Parcela	R-128	19440	48750	29310
7	Nv 450, Yariel y Parcela	R-129	18660	50090	31430
8	Nv 450, Yariel y Parcela	R-130	19440	51010	31570
9	Nv 450, Yariel y Parcela	R-131	18950	50100	31150
10	Nv 450, Yariel y Parcela	R-132	18380	51080	32700
11	Nv 450, Yariel y Parcela	R-46-AL	16500	53100	36600

n°	Puntos de Carguio	Códigos	Peso Tara	Peso Bruto	Peso Neto
12	Nv 450, Yariel y Parcela	R-54-AL	16540	52170	35630
13	Nv 450, Yariel y Parcela	R-61-AL	16570	49050	32480
14	Nv 450, Yariel y Parcela	R-62-AL	16200	48600	32400
15	Nv 450, Yariel y Parcela	R-66-AL	17080	50480	33400
16	Nv 450, Yariel y Parcela	R-67-AL	17600	50020	32420
17	Nv 450, Yariel y Parcela	R-91-AL	15930	53800	37870
18	Nv 450, Yariel y Parcela	R-114-AL	15460	54600	39140
19	Nv 450, Yariel y Parcela	R-116-AL	16100	51100	35000
20	Nv 450, Yariel y Parcela	R-138-AL	15420	52080	36660
21	Nv 450, Yariel y Parcela	R-155-AL	16190	51700	35510
22	Nv 450, Yariel y Parcela	R-162-AL	18200	48900	30700
23	Nv 450, Yariel y Parcela	R-163-AL	18200	47800	29600
24	Nv 450, Yariel y Parcela	R-164-AL	17900	50990	33090
25	Nv 450, Yariel y Parcela	R-165-AL	18100	51260	33160
TOTAL			439,150	1,272,490	833,340

Fuente: U.m Pucara

Este cuadro representa el promedio de un viaje de caliza transportada que asciende a 833.34 toneladas, como muestra que se tiene de registro de los camiones semitrailers, entonces de acuerdo con la tabla N° 16 de control de pesaje de balanza, se registra el tonelaje neto transportado por viaje, se define en la siguiente tabla:

Tabla 22 Resumen de peso neto por viajes

N° DE VIAJES	PESO NETO (TN)
Primer viaje	841.57
Segundo viaje	833.34
Tercer viaje	823.13
Promedio	832.68

Fuente: Propia

El total de tonelaje es de 832,68 ton / flota que genera.

Como se verifico se hace los siguientes cálculos:

- Tonelaje promedio / viaje = 832,68 Tn
- N° de viajes / turno = 3
- Producción / día = 832,68 Tn * 3 Turnos
- Producción / día = 2,498,04 Tn
- Producción / mes = 2,498 Tn* 30 días
- Producción / mes = 74,941.2 Tn

Se tiene una producción mensual de cantera Pucara de 74,914.2 toneladas, de acuerdo al requerimiento de incremento de producción a 108,000 Tn de material trasportado, se realiza el cálculo de tonelaje faltante para alcanzar producción requerida.

- Producción requerida : 108,000 Tn
- Tonelaje faltante = 108,000 tn – 74,940 tn
- Tonelaje faltante = 33,058 tn

Entonces la rentabilidad que podría generarse incrementado la producción con respecto a la producción mensual seria:

- Precio / tonelada = s/ 20.8
- Tonelaje faltante = 33,058 tn
- Costo / tonelada a cobrar = 33,058 * 20.8
- Costo / tonelada a cobrar = s/ 687,623.00

De acuerdo con el valor obtenido, la suma de S/. 687,623.00 se estaría perdiendo mensualmente en la U.m Pucara, por no alcanzar la Producción mensual requerida con UNACEM, esta pérdida representa un 30.61 % en relación con la producción mensual de 74,940 tn.

4.7 Evaluación Económica

Como se verificó anteriormente, debido a que no se alcanza la producción mensual requerida por UNACEM, establecida en 108,000 toneladas, se genera un remanente de tonelaje faltante de 33,058 toneladas. Al multiplicar este peso por el costo por tonelada movilizadora (S/ 20.80), se obtiene un monto económico no producido de S/ 687,623.00.

Esta pérdida representa un impacto económico considerable para una empresa dedicada a la explotación de materia prima, especialmente considerando que asume la totalidad de los procesos operativos: perforación, voladura, carguío y acarreo.

Es importante destacar que, en operaciones mineras, el acarreo representa aproximadamente el 62 % de los costos operativos totales, lo que justifica poner especial atención en esta etapa. No solo implica que no se cumpla con la meta mensual, sino que además las pérdidas se evidencian diariamente, conforme se monitorea la producción real frente a la programada.

- Tonelaje mensual requerido = 108,000 tn
- Tonelaje / día = 3600 tn

Se conoce por la tabla N.º 22 el peso neto por viaje:

- Tonelaje total promedio por viaje = 832.68 tn
- N.º de viaje/ turno = 3
- Tonelaje / día = 3 * 832.68 tn

- Tonelaje / día = 2498.04 tn
- Faltante de tonelaje / día = 3,600.0 tn – 2,498.04 tn
- Faltante de tonelaje / día = 1, 101.96 TND

Este valor resulta significativo, ya que supera el tonelaje acarreado en un viaje completo por la flota de camiones, estimado en aproximadamente 832.68 toneladas. Ante esta situación, se pueden considerar diversas alternativas de solución, entre ellas: incrementar la flota en aproximadamente 7 camiones adicionales, o bien optimizar el ciclo de carguío y acarreo, siendo esta última la propuesta central del presente proyecto de investigación.

La forma más eficiente de optimizar el ciclo operativo consiste en reducir el tiempo total del ciclo, y según el análisis realizado previamente, se ha determinado que el proceso de pesaje representa el 57 % del tiempo total del ciclo. Por tanto, se hace necesario implementar una solución que permita reducir o eliminar este tiempo improductivo.

En este contexto, una de las alternativas más viables es la implementación de un sistema de control de peso autónomo, instalado directamente en las tolvas de los camiones, tecnología que ya viene siendo aplicada con buenos resultados en otras operaciones mineras. Esta solución permitiría agilizar el proceso, reducir los tiempos muertos y, en consecuencia, mejorar la productividad del sistema de acarreo.

Como dato adicional, se tiene el peso bruto máximo de 52.8 tn permitido por el RITRA, realizando la diferencia de peso bruto máximo con Tara de cada semitrailer, se obtiene Carga Neta a transportar por viaje:

Como dato anterior se tiene la tara del equipo total de flota en la tabla N°08, este valor es de 439.15 Tn.

Entonces la Tara promedio por unidad es:

- Tara total de flota = 439.15 tn
- Numero de camiones / flota= 25
- Tara promedio / camión = 17.56 tn

Ahora calculamos el Peso Neto transportado por camión:

- Peso Bruto Máximo = 52.8 tn
- Tara promedio = 17.56 tn
- Numero de camiones = 25
- Peso Neto Máximo = $52.8 - 17.56$
- Peso Neto Máximo por camión = 35.24 tn
- Peso Neto total por viaje = $35.24 \text{ tn} * 25$
- Peso Neto Máximo total por viaje = 880.85 tn

Este valor representa la carga máxima por viaje que se puede transportar de Pucara hacia chancadora primaria, lo cual representa el 100%, para toda la flota de 25 camiones de la U.m Pucara, esto con la finalidad de no exceder la carga para no generar multas de infracción por tonelaje.

4.8 Evaluación de Implementación de un sistema de control autónomo en la flota.

La implementación de un sistema de control de peso autónomo en la operación de carguio y acarreo se evalúa de la siguiente manera:

- ✓ Permitirá y acercará el peso exacto en la operación de carguio de la flota de camiones.
- ✓ Eliminará el tiempo de traslado a la zona de balanza y tiempo de pesaje.
- ✓ Permitirá tomar vías reducidas desde el segundo punto de carguío al último, reduciendo significativamente el tiempo de traslado.

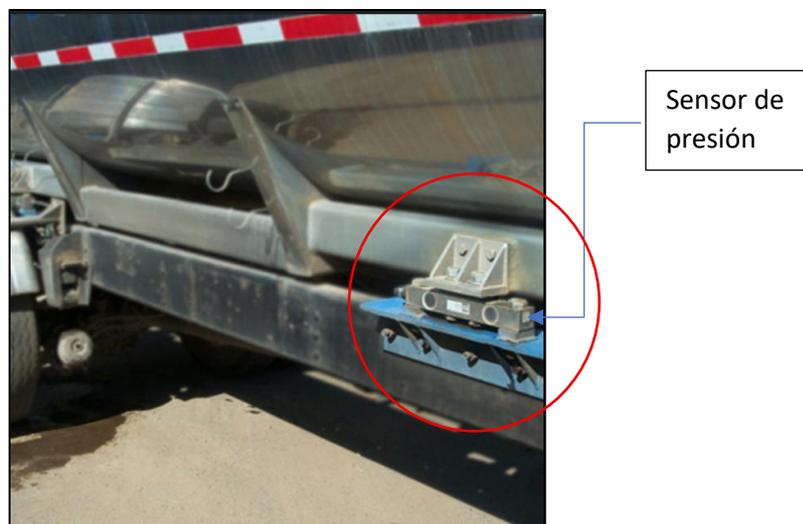
El sistema autónomo en el proceso de transporte desde la cantera pucara hacia chancadora primaria se evalúa de la siguiente manera:

- **Control de carga :** Evita la sobrecarga del camión que pueda dañar la vía o componentes del camión.
- **Seguridad vial:** Asegura el cumplimiento del peso máximo permitido en rutas internas y externas en zonas urbanas para evitar multas y sanciones por Sutran.
- **Eficiencia operativa:** Optimiza el número de viajes al cargar exactamente lo necesario.
- **Monitoreo y trazabilidad:** Registro de cada viaje con peso preciso, útil para informes de producción o auditoría.

4.9 Implementación del sistema Weighlog Alpha 10 en camiones de la flota.

El Sistema autónomo Weighlog Alpha 10, es un sistema de pesaje a bordo de última generación, diseñado para ofrecer mediciones precisas y en tiempo real del peso de la carga durante el ciclo de elevación del camino. Utiliza tecnología de pantalla táctil a color de 4.3 pulgadas, proporcionando una interfaz intuitiva para el operador. Este sistema es especialmente útil para aplicaciones como la carga de camiones y pesaje de control.

Figura 37 implementación de sensores en chasis de camiones de Pucara

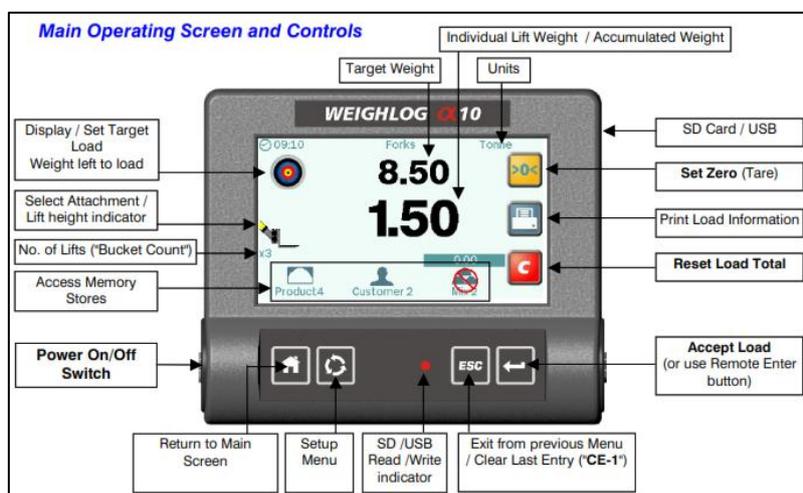


Fuente: U.m Pucara

4.9.1 Características Técnicas del sistema

- Precisión: $\pm 2\%$ de la carga.
- Rango de temperatura de operación: -20°C a $+70^{\circ}\text{C}$.
- Alimentación: 10–30 V CC.
- Pantalla: Pantalla táctil a color de 4.3 pulgadas.
- Modos de pesaje: Estático y dinámico (pesaje durante la elevación).
- Memoria: Almacena hasta 30 productos, 30 clientes y 5 recetas de mezcla.
- Conectividad: Transferencia de datos mediante tarjeta SD, memoria USB o impresora.
- Sensores: Compatible con hasta 4 sensores de presión para medición precisa.

Figura 38 Pantalla de control de sistema Weighlog Alpha 10



Fuente: Manual de Operación y control sistema Weighlog Alpha 10

4.9.2 Costos del sistema

Los costos de implementación del WEIGHLOG ALPHA 10 pueden variar según el proveedor y la configuración específica del sistema. A continuación, el costo de implementación por camión en Pucara.

- Costo del sistema WEIGHLOG ALPHA 10: \$2,800 con configuración estática y dinámica, incluye los accesorios.
- Instalación y calibración: USD \$800, en tractocamiones Scania, Volvo y Freightliner de la flota de Pucara.
- Mantenimiento anual: USD \$400, para calibraciones y actualizaciones de Sistema.

4.9.3 Tiempo de Implementación

La implementación del sistema WEIGHLOG ALPHA 10 sigue estos plazos:

- **Adquisición del sistema:** 1 a 2 semanas, dependiendo de la disponibilidad del proveedor, el proveedor RDS Weighing Safety.
- **Instalación y calibración:** 1 día por camión, montaje de sensores en chasis de plataforma y calibración de sistema.
- **Entrenamiento del operador:** 1 día, para familiarizar al personal con el uso del sistema y sus funciones, capacitación en conjunto con todo el personal para el funcionamiento del sistema por parte del proveedor.

4.9.4 Monitoreo Remoto y Centro de Control

El WEIGHLOG ALPHA 10 permite la transferencia de datos a través de memoria USB o tarjeta SD. Sin embargo, para habilitar el monitoreo remoto en tiempo real y la integración con un centro de control, se recomienda considerar opciones adicionales como:

- Sistema de Gestión de Flotas (FMS): Plataformas que permiten la integración de datos de pesaje con información de ubicación, velocidad y estado del vehículo.

- Software de Análisis de Datos: Herramientas que procesan los datos recopilados para generar informes detallados y análisis de rendimiento.

Algunos proveedores ofrecen soluciones integradas que combinan el WEIGHLOG ALPHA 10 con sistemas de monitoreo remoto, facilitando la supervisión centralizada de la flota, esta alternativa necesita un módulos de comunicación adicional, interfaces de software y adaptación técnica de sensores CANbus o convertidores RS232 a red telemática, esta opción viene siendo evaluada para la implementación en la flota de camiones de Pucara, ya que esto representa un costo adicional considerable y tiempos de instalación, por lo cual el control y monitoreo se viene realizando visualmente y con directa comunicación radial con cada operador para el pesaje exacto.

El peso total Target de despacho se define en el área de balanza juntamente con el Ticket de salida para salida de cada camión.

Figura 39 Monitoreo de Carga en camión R-123



Fuente: U.m Pucara

4.10 Costo operativo de la implementación del sistema autónomo en la flota.

La implementación realizada y aplicada que se tiene en cuenta es la siguiente:

- Costo del sistema WEIGHLOG ALPHA 10: \$2,800
- Instalación y calibración: \$800

- Mantenimiento anual: \$400

Mantenimiento mensual (prorratio) = \$ 33.33

- Costo total de implementación = \$2,800+ \$800+\$33.33
- Costo total de implementación / camión = \$ 4033.33

Como se observa el costo total del Sistema Weighlog Alpha 10 es de \$4033.33 con tipo de cambio del 3.8 a soles, equivale a S/.15,326.65 por camión.

El costo de implementación total en toda la flota es la siguiente:

- Numero de camiones = 25
- Costo de sistema / camión = S/. 15,326.65
- Costo total de implementación en flota = 25*15,326.65
- Costo total de implementación en flota = S/. 383,166.25

Tabla 23 Flota a implementar sistema de balanza autónoma en sus tolvas.

N.º	Códigos	MARCA	MODELO	POTENCIA
1	R-123	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
2	R-124	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
3	R-125	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
4	R-126	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
5	R-127	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
6	R-128	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
7	R-129	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
8	R-130	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
9	R-131	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
10	R-132	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
11	R-46-AL	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
12	R-54-AL	VOLVO	FM	450 CV(330 KW)
13	R-61-AL	VOLVO	FM	451 CV(330 KW)
14	R-62-AL	VOLVO	FM	452 CV(330 KW)
15	R-66-AL	VOLVO	FM	453 CV(330 KW)

N.º	Códigos	MARCA	MODELO	POTENCIA
16	R-67-AL	VOLVO	FM	454 CV(330 KW)
17	R-91-AL	VOLVO	FM	455 CV(330 KW)
18	R-114-AL	FREIGHTLINER	114 SD	470 HP - DD13
19	R-116-AL	FREIGHTLINER	114 SD	471 HP - DD13
20	R-138-AL	FREIGHTLINER	114 SD	472 HP - DD13
21	R-155-AL	SCANIA	DC13 450	450 CV (331 KW)
22	R-162-AL	SCANIA	DC13 450	451 CV (331 KW)
23	R-163-AL	SCANIA	DC13 450	452 CV (331 KW)
24	R-164-AL	VOLVO	FM	454 CV(330 KW)
25	R-165-AL	SCANIA	DC13 450	451 CV (331 KW)

Fuente: U.m Pucara

Adicionalmente mientras se ejecuta la implementación del sistema de control de peso autónomo a la flota, y como dato se tiene que el tiempo de implementación y calibración será de 1 día por cada camión, mientras se ejecuta este proceso la flota se vendría afectado en la reducción de 25 camiones a 24 camones, por lo cual se vio en la necesidad de subcontratar un Tracto Reten adicional que cubrirá los tiempos muertos por la implementación en cada camión.

- Tiempo de instalación de sistema en toda la flota = 1 día * 25 camiones
- Tiempo total de instalación = 25 días , equivalente a 1 mes (30 días).
- Costo de alquiler de Tracto camión como maquina / mes = s/ 23,500.00

Entonces el costo total de implementación del sistema Weighlog Alpha 10 en toda la flota es igual a:

- Total, de gasto / flota = S/. 383,166.25+s/ 23,500.00
- Total, de gasto / flota = S/. 406,666.25

4.10.1 Tiempo de ahorro con el sistema de control de peso autónomo.

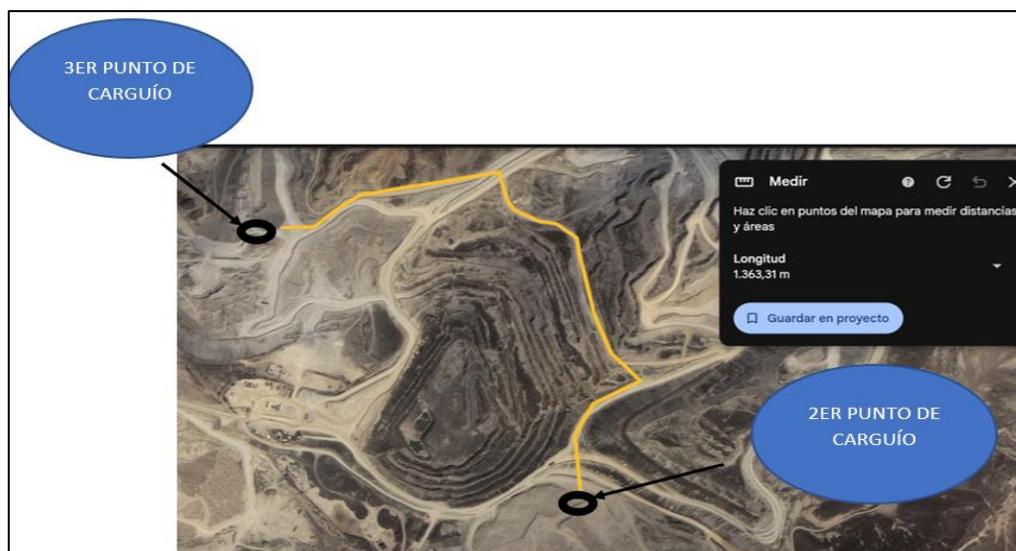
Como se calculó previamente, sin la implementación del sistema autónomo de control de peso, el tiempo de traslado desde el punto inicial hasta el primer punto de carguío en el tajo nivel 450, y posteriormente desde este hacia el segundo punto de carguío ubicado en el stock Yariel nivel 390, es equivalente.

Con la incorporación del sistema autónomo de pesaje, es posible verificar en tiempo real el peso cargado en cada camión desde ambos puntos de carguío, a través de la pantalla digital instalada en la cabina del operador. Esto elimina la necesidad de desplazarse hacia la balanza para el control de peso, permitiendo en su lugar la designación de una nueva ruta directa desde el stock Yariel hacia el stock Parcelas, donde se completa la carga de material del camión, por lo tanto, los tiempos de carguío en el punto 1 y 2 se mantienen:

- Tiempo de carguío en Primer punto Nv 450 = 6.5 min
- Tiempo de carguío en Stock Yariel = 6.63 min

Posterior al carguío en el segundo punto del Stock Yariel, el camión se dirige hacia el tercer punto de carguío en Stock Parcelas directamente por la siguiente ruta:

Figura 40 Circuito directo del 2do punto al 3er Punto de Carguío – Stock Yariel a Stock Parcelas



Fuente: Google Earth Pro – Vista en satélite Tajo Pucara

Como los cálculos anteriores se tiene la distancia y velocidad para poder calcular el tiempo que nos llevara ir de un punto a otro.

- $V = 35 \text{ km/hr} = 9.72 \text{ m/s}$
- $E = 1,363.31 \text{ m}$
- $T = 1,363.31 / 9.72$
- $T = 140,26 \text{ seg} = 2.34 \text{ min}$

Seguidamente el tiempo de carguío será en promedio por 1 pase que representa 30seg.

- Tiempo de cuadrado es de 15 segundos = 0.25 min.
- Tiempo de carguío = 30 seg = 0.5 min
- Tiempo de salida es de 6 segundos equivalente = 0.1 min

Por lo tanto, el tiempo total es : \sum tiempo de traslado + T.Cuadrado + T.Carguío + T.Salida.

- $\text{Tiempo total} = 2.24 + 0.25 + 0.5 + 0.1 = 3.41 \text{ min.}$

Tabla 24 Nuevo Tiempo de carguío en Parcelas

STOCK PARCELAS	
Distancia	1363.31 m
Vel. semitrailer	35 km/hr = 9.72 m/seg
Tiempo de traslado	2.34 min
Tiempo de cuadrado	15 Seg = 0.25 min
Numero de Pases	1
Tiempo de pase	30 seg = 0.5 min
Tiempo de Carguio	30 seg = 0.5 min
Tiempo de salida	6 Seg = 0.1 min
TOTAL	3.41 min

Fuente: Propia

Por último, se tiene el tiempo de traslado del 3er punto de carguío hacia la salida de Pucara.

Figura 41 Salida de las unidades de tercer punto de carguío stock parcelas hacia Garita



Fuente: Google Earth Pro – Vista en satélite Tajo Pucara

Se realiza el mismo calculo al que anteriormente se tuvo.

- $V = 30\text{km/hr}$
- $V = 8.33\text{ m/s}$
- $E = 1,110.47\text{ m}$
- $T = 1,110.47 / 8.33$
- $T = 133.31 = 2.22\text{ min}$

Tiempo aproximado de entrega de tiket y salida de Pucara es de 50 seg = 0.83 min

Por lo tanto, el tiempo total de carguío en stock Parcelas y salida pucara = 2.22 min + 0.83 min.

- T. 3er punto de carguío = 3.05 min.

Entonces el nuevo ciclo de acarreo es el siguiente:

- 1er punto de carguío = 6.5 min
- 2do punto de carguío = 6.63 min
- 3er punto de carguío = 3.41 min
- Punto de salida = 3.05 min
- Total, de ciclo de carguío = $6.5 + 6.63 + 3.41 + 3.05$
- Total, de ciclo de carguío = 19.41 min

Tabla 25 Resumen de Tiempos de carguío con implementación de Balanza autónoma.

NUEVO TIEMPO DE CARGUIO	Minutos	Porcentaje de incidencia
T. de carguío en tajo NV 450	6.5	33%
T. de carguío en Stock Yariel	6.63	34%
T. de carguío en Stock parcelas	3.41	18%
T. de salida de pucara (target)	3.05	16%
TOTAL	19.59	min

Fuente: Propia

El tiempo ahorrado con la implementación de sistema con respecto al anterior pesaje con balanza estática es:

- Tiempo anterior de carguío / camión= 37.07 min
- Tiempo actual de carguio / camión = 19.59 min
- Tiempo de ahorro / camión = $37.07 - 19.59$ min
- Tiempo de ahorro / camión = 17.48 min

4.11 Incremento de numero de viajes por el sistema de control autónomo de la flota.

Se ha determinado previamente que el primer camión culmina su tercer viaje, junto con el respectivo proceso de carguío, a las 17:07 horas. Esto deja un tiempo improductivo aproximado de 1 hora y 53 minutos, el cual se considera como margen recuperable para incrementar la cantidad de viajes diarios, según se detalla a continuación.

Anteriormente, el ciclo promedio de acarreo —desde el punto de salida hasta la chancadora primaria y el retorno— era de aproximadamente 2 horas con 30 minutos. Este tiempo no contemplaba los 37.07 minutos adicionales dedicados al proceso de carguío interno dentro de la Unidad Minera Pucará. Con la implementación de mejoras en el sistema de carguío, este tiempo es reducido, permitiendo un incremento efectivo en la cantidad de viajes por unidad.

- Tiempo ahorrado de carguío /camión = 17.48 min
- N° de viajes = 3
- Total, de tiempo ahorrado = 17.48 * 3
- Total, de tiempo ahorrado = 52.44 min.

El tiempo improductivo anterior es de 1:53 hrs, sumado los 52.44 min como tiempo ahorrado nos resulta un total de 2: 45 hrs, que es lo necesario para incrementar 1 viaje en la producción por unidad de toda la flota.

Con la implementación del sistema autónomo a la flota, se verifica al camión R-123 con la nueva hoja de ruta, y los tiempos son los siguientes.

- ✓ Charla de seguridad: 6:45 a. m
- ✓ Liberación de documentos 6: 55 a. m

- ✓ Entrega de ticket: 7:03 a.m
- ✓ Saluda del primer camión 7:05 a.m
- ✓ Llegada a la chancadora primaria: 8:25 a.m
- ✓ Retorno de la chancadora primaria: 8:33 a.m
- ✓ Llegada a Pucara: 9: 25 a.m
- ✓ carguío interno: 9:46 a.m

Como se tiene el registro de llegada y salida después del carguío es el siguiente detalle.

- ❖ Salida de Pucara: 09: 48 a.m
- ❖ Llegada a la Chancadora Primaria: 11:11 a.m
- ❖ Salida de la Chancadora Primaria: 11:20 a.m
- ❖ Llegada a Pucara: 12:12 a.m
- ❖ Carguío interno: 11:32 a.m
- ❖ Almuerzo: 12:35 a.m

Se define el tercer viaje con el nuevo horario, el siguiente detalle.

- ❖ Salida de Pucara: 13:00 p.m
- ❖ Llegada a Chancadora Primaria: 14:30 p.m
- ❖ Salida de Chancadora Primaria: 14:30 p.m
- ❖ Salida a Pucara: 14:39 p.m
- ❖ Llegada a Pucara: 15:35 p.m
- ❖ Carguío interno en Pucara: 15:55 p.m

Se tiene el 4to viaje incrementado, se tiene el siguiente detalle.

- ❖ Salida de Pucara: 15:57 p.m
- ❖ Llegada a la Chancadora Primaria: 17:23 p.m
- ❖ Salida de la Chancadora Primaria: 17:30 p.m
- ❖ Llegada a Pucara: 18:22 p.m
- ❖ Carguío interno en Pucara: 18:42 p.m

Tabla 26 Control de tiempo del camión R-123 con balanza autónoma implementada

Viajes	Actividad	Hora
1er viaje	Charla de seguridad	06:45:00
	liberación de documentos	06:55:00
	Entrega de ticket	07:03:00
	Salida el primer camión	07:05:00
	llegada a la chancadora primaria	08:25:00
	Salida de chancadora primaria	08:33:00
	llegada a Pucara	09:25:00
	Inicio de ciclo de carguio	09:26:00
2do viaje	Fin de carguio y pesaje autónomo	09:47:00
	Entrega de ticket	09:48:00
	Salida de Pucara	09:50:00
	Llegada a chancadora primaria	11:11:00
	Salida de chancadora primaria	11:20:00
	Llegada a Pucara	12:12:00
	Inicio de ciclo de carguio	12:13:00
	Fin de carguio y pesaje autónomo	12:33:00
3er Viaje	Entrega de ticket	12:34:00
	Hora de almuerzo	12:35:00
	Salida de Pucara	13:00:00
	Llegada a chancadora primaria	14:30:00
	Salida de chancadora primaria	14:39:00
	Llegada a Pucara	15:35:00
	Inicio de ciclo de carguio	15:36:00
	Fin de carguio y pesaje autónomo	15:56:00
4to Viaje	Entrega de ticket	15:57:00
	Salida de Pucara	15:59:00
	Llegada a chancadora primaria	17:23:00
	Salida de chancadora primaria	17:30:00
	Llegada a Pucara	18:22:00

Viajes	Actividad	Hora
	Inicio de ciclo de carguio	18:23:00
	Fin de carguio y pesaje autónomo	18:44:00

Fuente: U.m Pucara

Los datos adjuntados líneas arriba, fue la secuencia es la muestra que se tuvo del camión R-123, como camión líder.

Como se verifica se incrementó 1 viaje más recortando el tiempo en el control de balanza incrementando la producción.

4.12 Incremento de producción mediante el peso exacto y números de viajes.

A continuación, se adjunta los cuadros obtenidos en promedio con el control autónomo implementado en las unidades.

Tabla 27 Registro de Target de salida de camión con balanza autónoma de Pucara

DIA	HORA	TICKET	PESO BRUTO (KG)	PESO TARA(KG)	PESO NETO(KG)	CODIGO
30/08/2024	16:39	100	52,540	18,100	34,440	R-165-AL
30/08/2024	16:37	99	52,630	17,900	34,730	R-164-AL
30/08/2024	16:35	98	52,470	18,200	34,270	R-163-AL
30/08/2024	16:34	97	52,150	18,200	33,950	R-162-AL
30/08/2024	16:33	96	52,680	16,190	36,490	R-155-AL
30/08/2024	16:31	95	52,710	15,420	37,290	R-138-AL
30/08/2024	16:30	94	52,820	15,930	36,890	R-91-AL
30/08/2024	16:25	93	53,120	16,100	37,020	R-116-AL
30/08/2024	16:24	92	52,350	15,460	36,890	R-114-AL
30/08/2024	16:22	91	52,680	17,600	35,080	R-67-AL
30/08/2024	16:21	90	52,470	16,500	35,970	R-46-AL
30/08/2024	16:19	89	52,770	17,080	35,690	R-66-AL
30/08/2024	16:18	88	52,480	16,570	35,910	R-61-AL
30/08/2024	16:16	87	52,750	16,540	36,210	R-54-AL
30/08/2024	16:14	86	53,100	16,200	36,900	R-62-AL
30/08/2024	16:13	85	52,450	18,380	34,070	R-132
30/08/2024	16:11	84	53,000	18,950	34,050	R-131
30/08/2024	16:09	83	52,450	19,440	33,010	R-130
30/08/2024	16:08	82	52,680	18,660	34,020	R-129
30/08/2024	16:05	81	52,250	19,440	32,810	R-128
30/08/2024	16:04	80	52,470	18,410	34,060	R-127
30/08/2024	16:03	79	52,630	18,610	34,020	R-126
30/08/2024	16:01	78	52,710	18,610	34,100	R-125
30/08/2024	15:59	77	52,760	18,380	34,380	R-124
30/08/2024	15:57	76	52,680	18,280	34,400	R-123
30/08/2024	13:35	75	52,450	18,100	34,350	R-165-AL
30/08/2024	13:34	74	52,000	17,900	34,100	R-164-AL
30/08/2024	13:31	73	52,480	18,200	34,280	R-163-AL

DIA	HORA	TICKET	PESO BRUTO (KG)	PESO TARA(KG)	PESO NETO(KG)	CODIGO
30/08/2024	13:29	72	52,450	18,200	34,250	R-162-AL
30/08/2024	13:28	71	52,680	16,190	36,490	R-155-AL
30/08/2024	13:27	70	52,250	15,420	36,830	R-138-AL
30/08/2024	13:26	69	52,470	15,930	36,540	R-91-AL
30/08/2024	13:25	68	52,630	16,100	36,530	R-116-AL
30/08/2024	13:24	67	52,710	15,460	37,250	R-114-AL
30/08/2024	13:23	66	52,760	17,600	35,160	R-67-AL
30/08/2024	13:21	65	52,480	16,500	35,980	R-46-AL
30/08/2024	13:20	64	52,750	17,080	35,670	R-66-AL
30/08/2024	13:17	63	52,480	16,570	35,910	R-61-AL
30/08/2024	13:16	62	52,770	16,540	36,230	R-54-AL
30/08/2024	13:15	61	52,480	16,200	36,280	R-62-AL
30/08/2024	13:13	60	52,750	18,380	34,370	R-132
30/08/2024	13:12	59	52,470	18,950	33,520	R-131
30/08/2024	13:10	58	52,540	19,440	33,100	R-130
30/08/2024	13:09	57	52,630	18,660	33,970	R-129
30/08/2024	13:08	56	52,470	19,440	33,030	R-128
30/08/2024	13:06	55	52,150	18,410	33,740	R-127
30/08/2024	13:04	54	52,680	18,610	34,070	R-126
30/08/2024	13:03	53	52,470	18,610	33,860	R-125
30/08/2024	13:02	52	52,780	18,380	34,400	R-124
30/08/2024	13:00	51	52,810	18,280	34,530	R-123
30/08/2024	10:28	50	52,980	18,100	34,880	R-165-AL
30/08/2024	10:26	49	52,870	17,900	34,970	R-164-AL
30/08/2024	10:25	48	52,450	18,200	34,250	R-163-AL
30/08/2024	10:23	47	53,000	18,200	34,800	R-162-AL
30/08/2024	10:21	46	52,680	16,190	36,490	R-155-AL
30/08/2024	10:18	45	52,450	15,420	37,030	R-138-AL
30/08/2024	10:16	44	52,480	15,930	36,550	R-91-AL
30/08/2024	10:15	43	52,650	16,100	36,550	R-116-AL
30/08/2024	10:14	42	52,870	15,460	37,410	R-114-AL
30/08/2024	10:12	41	52,890	17,600	35,290	R-67-AL
30/08/2024	10:11	40	52,400	16,500	35,900	R-46-AL
30/08/2024	10:07	39	52,450	17,080	35,370	R-66-AL
30/08/2024	10:05	38	52,650	16,570	36,080	R-61-AL
30/08/2024	10:03	37	52,480	16,540	35,940	R-54-AL
30/08/2024	10:01	36	53,050	16,200	36,850	R-62-AL
30/08/2024	10:00	35	52,370	18,380	33,990	R-132
30/08/2024	09:58	34	53,100	18,950	34,150	R-131
30/08/2024	09:57	33	52,450	19,440	33,010	R-130
30/08/2024	09:56	32	53,000	18,660	34,340	R-129
30/08/2024	09:55	31	53,020	19,440	33,580	R-128
30/08/2024	09:53	30	52,100	18,410	33,690	R-127
30/08/2024	09:52	29	52,780	18,610	34,170	R-126
30/08/2024	09:50	28	53,100	18,610	34,490	R-125
30/08/2024	09:49	27	51,980	18,380	33,600	R-124
30/08/2024	09:48	26	52,380	18,280	34,100	R-123
30/08/2024	07:33	25	53,120	18,100	35,020	R-165-AL
30/08/2024	07:32	24	52,650	17,900	34,750	R-164-AL
30/08/2024	07:31	23	52,500	18,200	34,300	R-163-AL
30/08/2024	07:30	22	52,780	18,200	34,580	R-162-AL
30/08/2024	07:28	21	52,650	16,190	36,460	R-155-AL
30/08/2024	07:27	20	52,890	15,420	37,470	R-138-AL
30/08/2024	07:26	19	52,850	15,930	36,920	R-91-AL
30/08/2024	07:25	18	52,680	16,100	36,580	R-116-AL

DIA	HORA	TICKET	PESO BRUTO (KG)	PESO TARA(KG)	PESO NETO(KG)	CODIGO
30/08/2024	07:24	17	53,000	15,460	37,540	R-114-AL
30/08/2024	07:23	16	52,050	17,600	34,450	R-67-AL
30/08/2024	07:21	15	52,500	16,500	36,000	R-46-AL
30/08/2024	07:20	14	53,700	17,080	36,620	R-66-AL
30/08/2024	07:19	13	52,480	16,570	35,910	R-61-AL
30/08/2024	07:18	12	52,370	16,540	35,830	R-54-AL
30/08/2024	07:17	11	53,100	16,200	36,900	R-62-AL
30/08/2024	07:16	10	52,450	18,380	34,070	R-132
30/08/2024	07:14	9	53,000	18,950	34,050	R-131
30/08/2024	07:13	8	52,200	19,440	32,760	R-130
30/08/2024	07:12	7	52,870	18,660	34,210	R-129
30/08/2024	07:11	6	52,900	19,440	33,460	R-128
30/08/2024	07:10	5	52,450	18,410	34,040	R-127
30/08/2024	07:08	4	52,500	18,610	33,890	R-126
30/08/2024	07:07	3	52,940	18,610	34,330	R-125
30/08/2024	07:06	2	52,880	18,380	34,500	R-124
30/08/2024	07:05	1	52,580	18,280	34,300	R-123
		TOTAL	5,264,110	1,756,600	3,507,510	

Fuente: U.m Pucara

De acuerdo a la tabla, se tiene un peso neto de 3,507.51 Toneladas por día, realizando

El cálculo de tonelaje promedio por viaje, se tiene:

- Tonelaje neto transportado / día = 3507.51 tn.
- Numero de viajes = 4
- Tonelaje promedio neto / viaje = 3507.51 / 4
- Tonelaje promedio neto / viaje = 876.88 Tn

Tabla 28 Tonelaje promedio transportado con Balanza

N.º DE VIAJES	CON BALANZA AUTONOMA
	PESO CARGA (TN)
Primer viaje	878.94
Segundo viaje	877.48
Tercer viaje	874.44
Cuarto viaje	876.65
Promedio	876.88

Fuente: Propia

✓ Total, promedio obtenido por viaje = 876.88 tn

✓ Numero de camiones = 25

✓ Tn Transportado por camión = 35.07 tn

Se tiene como dato el tonelaje transportado por día de 3507.52 tn, realizamos el cálculo

de producción mensual:

✓ Tonelaje total / turno = 3507.52 ton

✓ Tonelaje total / mes = 3507.52 tn * 30 días

✓ Tonelaje total / mes = 105,225.60 tn

✓ Producción / mes = 105,225.60 tn

Se tiene una producción mensual de 105,225.60 toneladas con el incremento de un viaje adicional de la flota.

Realizamos un comparativo de producción actual con el sistema autónomo y con balanza estática:

- Producción anterior sin sistema = 74,941.2 Tn
- Producción con sistema autónomo = 105,225.6 Tn
- Diferencia con la implementación del sistema autónomo = 105,225.6 – 74,941.2
- Diferencia con la implementación del sistema autónomo = 30,284.1Tn

Se tiene un incremento de producción de 30,284.1 toneladas.

Realizamos el cálculo de ganancia por el incremento de producción :

- Costo Operativo transportado / Tn = s/ 20.8
- Ganancia / inversión = 30, 284.1 * 20.8
- Ganancia / inversión = s/ 629, 909.28

Se tiene un incremento de rentabilidad de S/. 629, 909.28, esto sin contar el costo de implementación del sistema, en donde la rentabilidad neta para el primer mes será de:

- El costo total de implementación de sistema autónomo = S/. 406,666.25
- Utilidad = s/ 629, 909.28- S/. 406,666.25
- Utilidad = s/ 223,243.03

Este dato representa una ganancia de 14.32 % con respecto a la inversión para el primer mes y en los próximos meses la ganancia tendrá un incremento de 40.41 %, este es un valor aproximado ya que se tiene que considerar las siguientes restricciones:

- Variabilidad en el pesaje de cada camión.
- Disponibilidad mecánica del camión, se observa en algunos casos fallas mecánicas (mantenimientos correctivos) por lo tanto demoras inoperativas de los camiones, es un factor impredecible y se tiene un equipo de auxilio mecánico en estos casos, cabe mencionar que los mantenimientos preventivos se ejecutan fuera del turno operativo de la flota, esos se ejecutan en turno diurno de acuerdo con su plan de mantenimiento.
- Condición de la ruta de transporte, vías en mal estado, incremento del tráfico en horas punta, eventos no controlados en ruta. (accidentes), que generan una demora e incremento del ciclo de cada camión.

CAPITULO V

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.1 interpretación de resultados con implementación de sistema autónomo.

5.1.1 Incremento de Carga útil transportada -Tonelaje bruto (Peso Exacto).

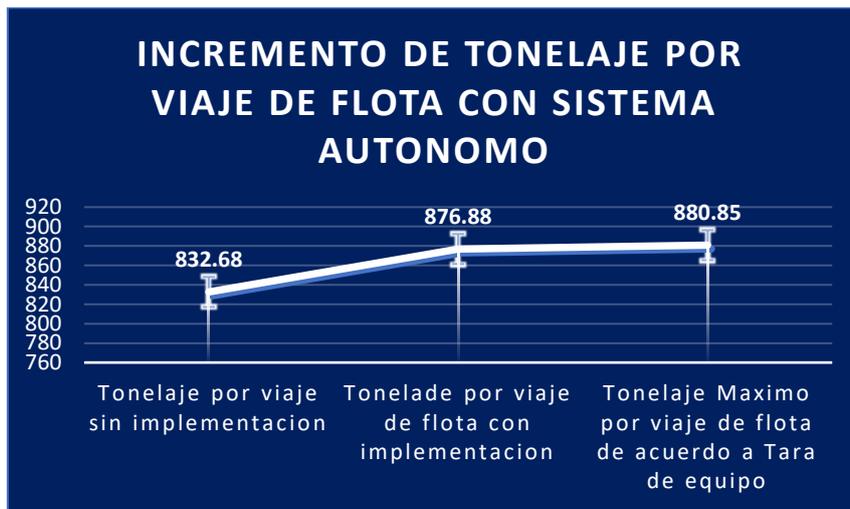
De acuerdo con los datos promedio obtenidos, la implementación del sistema autónomo permitió incrementar la carga transportada por viaje de 832.68 toneladas a 876.88 toneladas, lo que representa un aumento del 5.02 %. Este incremento elevó el aprovechamiento de la carga neta máxima establecida en 880.85 toneladas (100%) de un 94.53 % a un 99.55 %, optimizando significativamente la eficiencia operativa de la flota de camiones.

Tabla 29 Tonelaje bruto máximo por viaje

ítem	descripción	Toneladas	Porcentaje
1	Tonelaje por viaje sin implementación	832.68	94.53%
2	Tonelaje por viaje de flota con implementación	876.88	99.55%
3	Tonelaje Máximo por viaje de flota de acuerdo con tara	880.85	100%

Fuente: U.m Pucara

Figura 42 Histograma de incremento de Tn neto transportado



Fuente: Propia

5.1.2 Reducción de tiempo de carguío y acarreo dentro de Tajo Pucara.

A partir de los datos obtenidos tras la implementación del sistema autónomo, se observó que los tiempos de carguío en el punto 1 (tajo nivel 450) y en el stock Yariel (nivel 390) se mantuvieron constantes, con una variación del 0 %. Asimismo, se estableció una nueva ruta directa desde el stock Yariel hacia el stock Parcelas para el tercer punto de carguío, lo que generó un incremento marginal de solo 0.56 minutos en el recorrido.

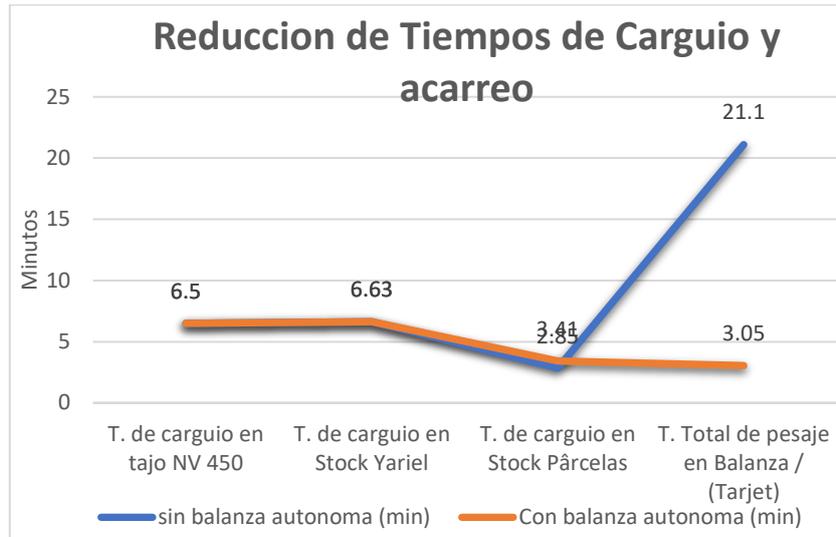
Gracias al sistema autónomo, el tiempo destinado al pesaje en balanza se redujo significativamente, pasando de 21.1 minutos a 3.05 minutos. Como resultado, el ciclo total de carguío por camión disminuyó de 37.07 minutos a 19.59 minutos, lo que representa una reducción del 52.83 %, equivalente a 17.48 minutos menos por ciclo.

Tabla 30 Comparativo de Tiempos de carguio y acarreo dentro de Pucara

DEMORA DE TIEMPOS POR CAMION	sin balanza autónoma (min)	Con balanza autónoma (min)	Porcentaje
T. de carguío en tajo NV 450	6.5	6.5	0%
T. de carguío en Stock Yariel	6.63	6.63	0%
T. de carguío en Stock parcelas	2.85	3.41	+19.6%
T. Total de pesaje en Balanza / (Target)	21.1	3.05	-85.54%
TOTAL	37.07	19.59	-52.83%

Fuente: Propia

Figura 43 Histograma de reducción de tiempos de carguio y acarreo con sistema autónomo



Fuente: Propia

5.1.3 Incremento de numero de viajes.

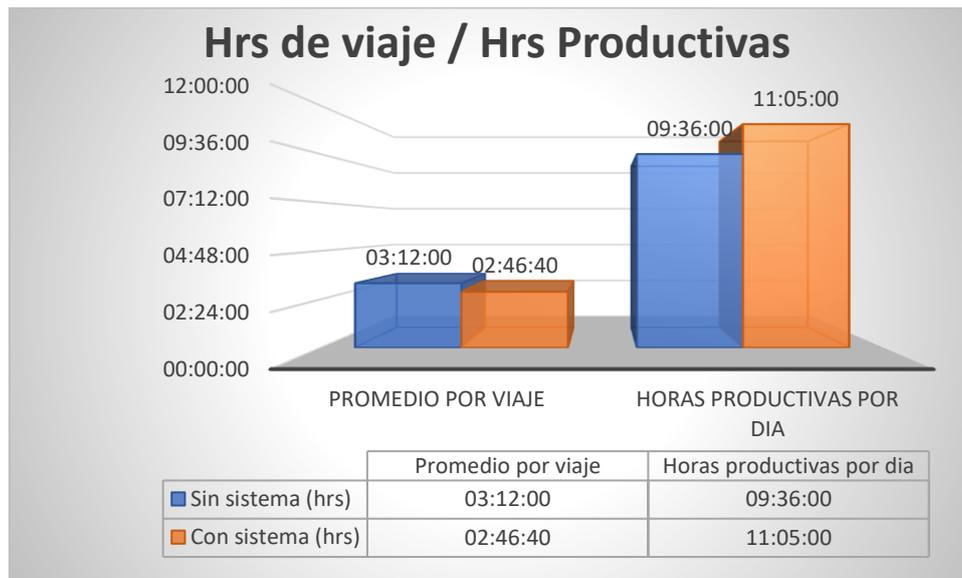
Con la reducción de 17.48 minutos por ciclo de camión, el tiempo promedio del ciclo total de transporte se disminuye de 3.12 horas a 2.46 horas. Esto permite realizar un viaje adicional en el acarreo de caliza hacia la chancadora primaria, incrementando las horas productivas diarias de 9.36 a 11.05 horas.

Tabla 31 reducción de ciclos e incremento de viajes

Nº	Numero de viajes	Sin sistema (hrs)	Con sistema (hrs)
1	Primer viaje	03:01:00	02:41:00
2	Segundo viaje	03:03:00	02:44:00
3	Tercer viaje	03:32:00	02:55:00
4	Cuarto viaje	-	02:45:00
Promedio por viaje		03:12:00	02:46:40
Horas productivas por día		09:36:00	11:05:00

Fuente: Propia

Figura 44 Histograma comparativo de reducción de ciclo de acarreo e incremento de horas productivas



Fuente: Propia

5.1.4 Incremento de producción en una U.m Pucara

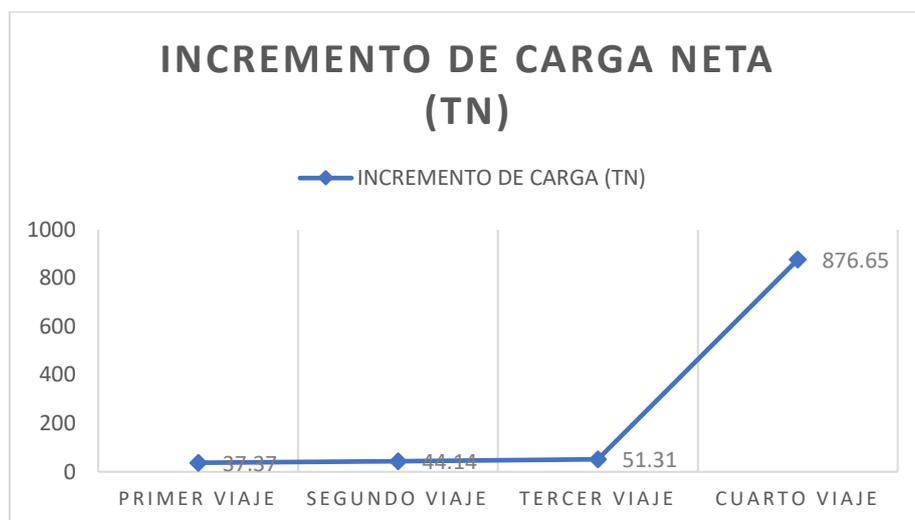
Con la adición de un viaje adicional gracias a la implementación del sistema autónomo, se logra un incremento en la producción debido a una medición más precisa del peso cargado por camión, lo que se refleja en un aumento de la carga neta por viaje y en el cuarto viaje. Se verificó que la producción diaria aumentó de 2,498.04 toneladas métricas diarias (TMD) a 3,507.51 TMD, lo que representa un incremento absoluto de 1,009.47 TMD y un aumento porcentual del 40.41 % en la producción.

Tabla 32 Incremento de Tn neta con sistema autónomo

Nº DE VIAJES	SIN BALANZA AUTONOMA	CON BALANZA AUTONOMA	INCREMENTO DE CARGA (TN)
	PESO NETO (TN)	PESO NETO (TN)	
Primer viaje	841.57	878.94	37.37
Segundo viaje	833.34	877.48	44.14
Tercer viaje	823.13	874.44	51.31
Cuarto viaje	0	876.65	876.65
TOTAL	2498.04	3507.51	1009.47

Fuente: Propia

Figura 45 Histograma diferencia de incremento de carga neta con sistema autónomo



Fuente: Propia

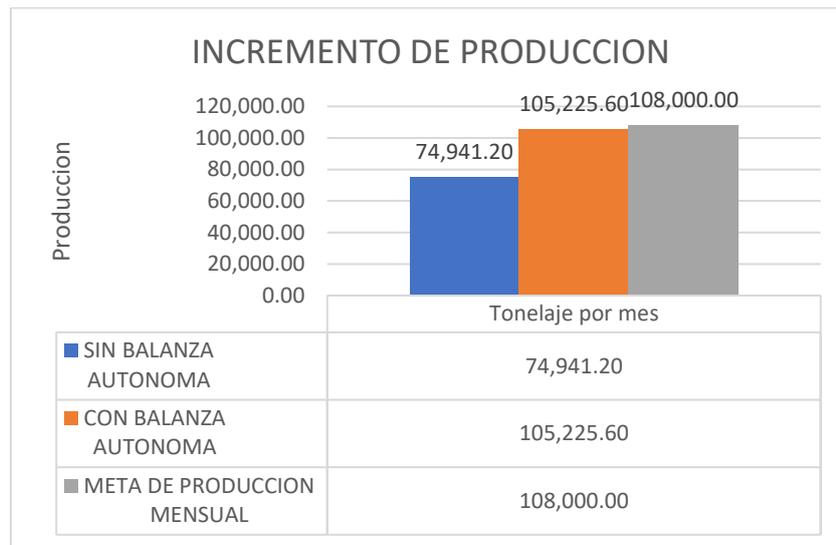
En relación al requerimiento de incremento en la producción mensual de 108,000 toneladas de caliza transportadas hacia la chancadora primaria, solicitado por UNACEM, se logró aumentar la producción mensual de 74,941.2 toneladas a 105,225.60 toneladas. Esto representa un incremento del 69.39 % al 97.43 % de la meta, quedando muy cercano al 100 % del requerimiento mensual.

Tabla 33 Incremento de producción a Meta mensual

PRODUCCION(TN)	Tonelaje por viaje	Numero de viajes	Tonelaje por día	Tonelaje por mes	Incremento %
SIN BALANZA AUTONOMA	832.6	3	2,498.04	74,941.2	69.39%
CON BALANZA AUTONOMA	876.88	4	3,507.52	105,225.6	97.43%
META DE PRODUCCION MENSUAL	900.00	4	3,600.00	108,000	100%

Fuente: Propia

Figura 46 Histograma de incremento de producción con respecto a Meta mensual



Fuente: Propia

5.1.5 Rentabilidad mensual Generada con la implementación de Sistema autónomo.

Con un incremento en la producción mensual de 30,284.1 toneladas, pasando de 74,941.2 toneladas a 105,225.3 toneladas, y considerando un costo operativo de S/. 20.08 por tonelada transportada a la chancadora, se observa un aumento en ingreso mensual de S/. 1,558,776.96 a S/. 2,188,686.24. Esto genera una rentabilidad adicional de S/. 629,909.28 mensuales, lo que representa un incremento porcentual del 40.41 %.

Tabla 34 Cuadro comparativo de producción con la implementación de balanza autónoma

SIN IMPLEMENTACION DE BALANZA AUTONOMA	UNIDAD	CON IMPLEMENTACION DE BALANZA AUTONOMA	UNIDAD
Numero de camiones	25	Numero de camiones	25
Promedio de carga por viaje (tn)	832.68	Promedio de carga por viaje (tn)	876.88
Promedio de carga neta por camión (tn)	33.31	Promedio de carga neta por camión (tn)	35.08
N de viajes	3	N de viajes	4
Tn total por turno día	2,498.04	Tn total por turno día	3,507.51
Tn total por mes (producción)	74,941.20	Tn total por mes (producción)	105,225.30
Costo operativo	S/ 20.80	Costo operativo	S/ 20.80
Ingreso mensual sin implementación	S/ 1,558,776.96	Ingreso mensual con implementación	S/ 2,188,686.24

Fuente: Propia

A continuación, la comparativa y diferencia con la implementación del sistema autónomo donde se evidencia el incremento de producción y rentabilidad.

Tabla 35 Diferencia de incremento de producción y rentabilidad en U.m Pucara

descripción	Incremento	Incremento porcentual
Diferencia de producción mensual con la implementación de sistema autónomo (Tn)	30284.1	40.41%
Diferencia de ingreso mensual con la implementación de sistema autónomo (S/.)	S/ 629,909.28	40.41%

Fuente: Propia

Como dato se tiene el costo de la implementación de sistema de peso autónomo a la flota de camiones de la U.m Pucara:

Tabla 36 Costo total de implementación de sistema autónomo a flota de camiones de Pucara

Gasto total de implementación de balanza en flota de Camiones	S/ 383,166.25
Alquiler de Camiones Reten	S/ 23,500.00
Costo Total de implementación de Sistema de peso autónomo	S/ 406,666.25

Fuente: Propia

Se tiene los siguientes datos obtenidos:

- Ingreso generado con sistema autónomo = S/. 629, 909.28
- Costo de implementación de Sistema / flota = S/. 406,666.25
- Ingreso del primer mes con sistema autónomo = S/.223,243.03

El ingreso mensual con la implementación del sistema autónomo se tiene S/2,188,686.24, a este valor restamos el costo de implementación para el primer mes y se tiene:

- Ingreso del primer mes = S/2,188,686.24 - S/406,666.25 = S/1,782 ,019.99

El ingreso los siguientes meses será de S/.2,188,686.24 con una ganancia generada de S/. 629, 909.28 el cual será continuo esto gracias al incremento de producción por la implementación del sistema autónomo.

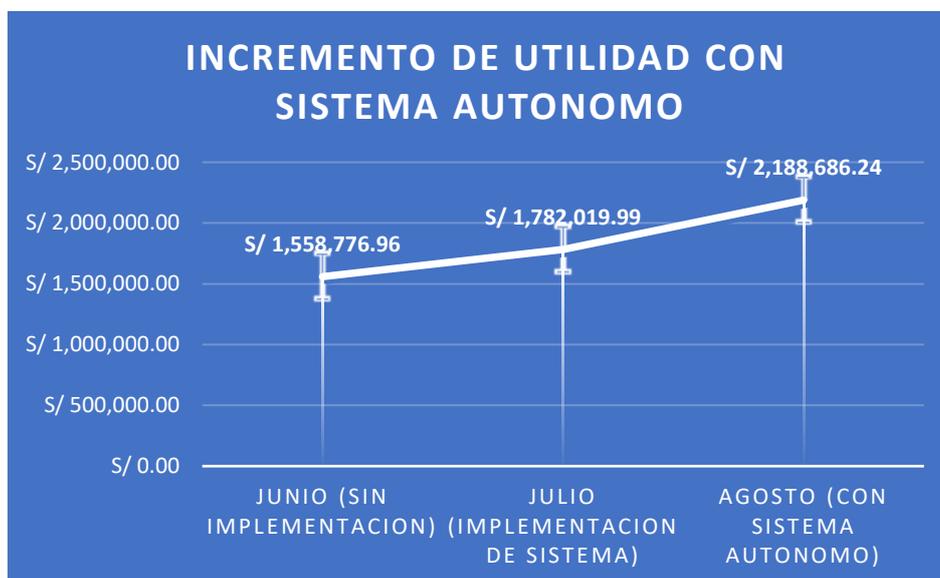
Se tiene el siguiente cuadro comparativo de utilidad generada con la implementación de Sistema autónomo.

Tabla 37 Comparativo de incremento de utilidad en la U.m Pucara con implementación de Sistema Autónomo.

MES	UTILIDAD GENERADA	INCREMENTO PORCENTUAL (%)
JUNIO (SIN IMPLEMENTACION)	S/ 1,558,776.96	100.00%
JULIO (IMPLEMENTACION DE SISTEMA)	S/ 1,782,019.99	114.30%
AGOSTO (CON SISTEMA AUTONOMO)	S/ 2,188,686.24	140.41%

Fuente: Propia

Figura 47 Comparativo de incremento de utilidad en la U.m Pucara con implementación de Sistema Autónomo.



Fuente: Propia

Se puede concluir con la implementación del sistema autónomo, el primer mes se tiene un incremento en la rentabilidad del 14.3% y para los siguientes meses un incremento de 40.41%

5.1.6 Reducción de costos de Carguio y acarreo , para mantener la producción mensual.

Debido al incremento de viajes de 3 a 4 de tractocamiones de la U.m Pucara, se ve también el incremento de horas productivas directamente proporcional al incremento de Horas Maquina Trabajadas de equipos de acarreo (semitrailer) y equipos de Carguio (Excavadora y Cargador Frontal), al igual se da el incremento en los Costos de Mantenimiento por incremento de Horas Maquina y el incremento de Costos de Consumibles (Combustible Diesel).

El costo Operativo está directamente relacionado con la producción, está a la vez depende del Tonelaje Neto acarreado hacia chancadora primaria, por lo que podemos definir que el Costo Operativo por viaje de flota se mantiene, se ejecuta el siguiente calculo.

Se tiene el dato que sin la implementación de sistema de autónomo se ejecutaban 3 viajes por día por lo cual:

- ✓ Números de viajes por día = 3 viajes
- ✓ Numero de viajes a la semana = $3 \times 7 = 21$ viajes
- ✓ Numero de viajes al mes = $3 * 30 = 90$ viajes

Se tiene el dato con la implementación del sistema autónomo se logró incrementar +1 viaje a toda la flota lo cual :

- ✓ Números de viajes por día = 4 viajes
- ✓ Numero de viajes a la semana = $4 \times 7 = 28$ viajes
- ✓ Numero de viajes al mes = $4 * 30 = 120$ viajes

Se concluye que se tiene un incremento de 30 viajes por mes, por lo cual el siguiente cálculo de costo operativo sería el siguiente:

Tabla 38 Calculo de Costo operativo por regla compuesta

Sistema de Pesaje	numero de viajes por mes	días por mes	Costo Operativo
Sin sistema autónomo	90	30	X
Con sistema autónomo	120	30	Y

Fuente: Propia

Calculamos el Costo Operativo de “Y”.

$$Y = \frac{90 * 30 * X}{120 * 30}$$

$$Y = 0.75 * X$$

Aplicando porcentaje:

$$Y\% = 75\% * X$$

Este resultado se interpreta que el Costo Operativo de carguio, acarreo y transporte con la implementación del sistema autónomo de pesaje (Target), Representa el 75 % de costo Operativo con pesaje tradicional. Esto se interpreta que la reducción de Costo Operativo es del 25%.

5.2 DISCUSIONES

- ❖ La implementación del sistema autónomo de control de peso en la flota de camiones permitió optimizar el proceso de carguío y acarreo, principalmente mediante la reducción de los tiempos de pesaje y el cumplimiento más preciso del peso objetivo por camión (52.8 toneladas), conforme a lo establecido por el RITRA. Esta mejora operativa generó un incremento en la producción del 40.41 %, demostrando que la incorporación de tecnología en los procesos de transporte minero puede tener un impacto directo en la eficiencia y la rentabilidad de la operación.

Los resultados con los hallazgos de **Córdova (2017)**, quien aplicó la filosofía Lean Mining C+ como enfoque de mejora continua en operaciones mineras. Su estudio evidenció que al mejorar la gestión operativa y aumentar las horas efectivas de la flota CAEX, se logró un incremento significativo de la producción y una reducción de costos. Se concluye, que la tecnología y la gestión eficiente del tiempo operativo son factores determinantes para optimizar el rendimiento del acarreo en minería.

Según Rojas I. (2019), la aplicación de KPI's (indicadores clave de rendimiento), permiten controlar los procesos de carguío y acarreo en la optimización de tiempos muertos, de manera global se obtuvo una rentabilidad promedio de +23.74 %, buscando optimizar los procesos continuamente.

Se concluye que la mejora continua en la aplicación de KPI's, a través de herramientas tecnológicas o metodológicas no solo reduce pérdidas operativas, sino que incrementa directamente la productividad del sistema de transporte dentro de la unidad minera.

- ❖ La eliminación del pesaje tradicional en balanza y su reemplazo por un sistema autónomo instalado en cada camión permitió reducir el ciclo total de acarreo y transporte en 26 minutos, logrando un ahorro específico de 17.48 minutos en el proceso de pesaje. Esta mejora repercute directamente en el incremento del horario productivo de la flota, permitiendo aprovechar mejor la jornada operativa sin necesidad de ampliar turnos ni incrementar la flota.

Lo señalado por **Segura G. (2020)**, quien, a través de una evaluación y análisis detallado de las operaciones mineras, identificó que una parte significativa de los tiempos improductivos proviene de demoras operativas y una inadecuada coordinación entre equipos de carguío y acarreo. El estudio concluye que estas deficiencias impactan

negativamente en la utilización de los equipos y en la productividad general de la operación.

Se concluye en que la identificación precisa de los cuellos de botella operativos, como los tiempos de espera en balanza o las malas sincronizaciones entre equipos, es clave para proponer soluciones tecnológicas que reduzcan el tiempo muerto y mejoren el aprovechamiento efectivo de los recursos disponibles.

- ❖ La reducción del tiempo total del ciclo de acarreo y transporte generada por la implementación del sistema de control de peso autónomo permitió que la flota de tractocamiones incremente su capacidad operativa de 3 a 4 viajes diarios. Este cuarto viaje representa un acondicionamiento operativo clave, ya que se traduce en el acarreo de un mayor tonelaje hacia la chancadora primaria, lo cual repercute positivamente tanto en la producción mensual como en la rentabilidad del proyecto.

Segun por **Anchiraico G. (2020)**, quien, aplicando la filosofía Six Sigma como modelo de gestión operativa en minería, identificó tiempos improductivos en los procesos de transporte y propuso medidas correctivas como el incremento de un volquete y la implementación de un By Pass (punto de transferencia). Estas acciones permitieron una reducción del ciclo de transporte, logrando realizar un viaje adicional por guardia e incrementando la producción en un 37.97 %.

Se concluye que la optimización del ciclo de acarreo, ya sea mediante tecnología o rediseño del flujo operativo, tiene un impacto significativo en el aumento de la productividad. En ambos casos, el incremento de un viaje adicional se convierte en un indicador clave de mejora, sustentando el valor de implementar estrategias de mejora continua en el transporte de material dentro de las unidades mineras.

- ❖ La implementación de un viaje adicional por flota diariamente contribuye a la reducción de los costos operativos asociados a los equipos de carguío y transporte, debido al mayor aprovechamiento de las horas máquina en función del incremento de producción, manteniendo constantes los gastos de flete, mantenimiento, desgaste y consumibles, lo que representa una disminución aproximada del 25% en los costos operativos.

Según **Segura G. (2020)**, el aumento en la producción horaria de equipos impacta positivamente en la eficiencia operativa, evidenciado por incrementos de Capacidad de equipos en dos excavadoras CAT, lo que se traduce en una reducción significativa de los costos operativos.

CONCLUSIONES

1. La implementación del sistema de control de peso autónomo en la flota de camiones de la Unidad Minera Pucara permitió un incremento significativo en la producción mensual, pasando de 74,941.20 toneladas a 105,225.30 toneladas, alcanzando así el 97.43% del tonelaje requerido por UNACEM. Esto representa un aumento porcentual del 40.41%. Asimismo, esta mejora en la producción generó un incremento en la rentabilidad, con un aporte inicial de S/. 223,243.03 en el primer mes y un ingreso proyectado de S/. 629,909.28 en los meses siguientes.
2. La implementación del sistema de control de peso autónomo permitió reducir significativamente el tiempo destinado al pesaje en balanza, optimizando el ciclo de carguío y acarreo en un 52.83 %, lo que representa una reducción de 17.48 minutos por camión. Asimismo, se logró una mejora del 13.19 % en el ciclo total de acarreo y transporte, equivalente a 26 minutos menos por viaje, lo cual permitió incrementar el tiempo productivo diario de la flota, pasando de 9.36 a 11.05 horas en promedio.
3. La reducción de 17 min. y 48 seg. por viaje, equivalente a 52.44 min. por jornada, generada por la implementación del sistema autónomo, adicionada la hora improductiva identificada al finalizar el tercer viaje (1.53 horas), permitió recuperar un total de 2.45 horas por jornada. Este tiempo adicional fue suficiente para incorporar un cuarto viaje, cuyo ciclo promedio de ejecución es de 2 horas con 30 minutos, optimizando el ciclo operativo diario de la flota.
4. La implementación del sistema de control de peso autónomo permitió una reducción del 25 % en los costos operativos asociados a las actividades de carguío, acarreo y transporte de la flota de camiones. Esta disminución se debió al incremento en el número de viajes por jornada, lo que generó una mayor eficiencia operativa en función del tonelaje transportado, sin necesidad de aumentar los recursos existentes.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al área de centro de control (Dispatch) integrar el sistema de gestión de flotas con el sistema autónomo Weighlog Alpha 10, a fin de permitir el monitoreo del peso en tiempo real, lo cual facilitará el registro y análisis de las variaciones de carga, así como la detección oportuna de posibles desviaciones operativas. Esta integración contribuirá a mantener y optimizar los niveles de producción alcanzados con la implementación.
2. Se recomienda al área de mantenimiento, establecer un programa regular de mantenimiento preventivo del sistema, calibración del sistema y capacitación técnica del personal responsable, con el fin de consolidar y mantener las mejoras logradas en eficiencia operativa, asegurando su uso continuo y correcto por parte de todo el personal involucrado, además de ello revisar periódicamente los indicadores de tiempo productivo, con el fin de ajustar turnos, rutas o asignaciones de equipos, aprovechando el incremento de horas productivas diarias (alcanzar las 12 horas productivas por día).
3. Se recomienda al área de centro de control mantener y optimizar la programación operativa diaria de la flota, aprovechando el tiempo recuperado gracias al sistema autónomo, que ha permitido ahorrar 52.44 minutos por jornada, buscar la gestión de rutas, prever el tráfico en horas punta y planear rutas auxiliares, de esta forma mantener y optimizar el ciclo de transporte alcanzado.
4. Se recomienda al área de centro de control, establecer un sistema de control de costos operativos automatizado, que permita monitorear continuamente los costos operativos asociados con el carguio, acarreo y transporte, y detectar áreas con potencial de mejora adicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agrega Ajen, J. A. (2018). Optimización del carguío y acarreo aplicando el sistema ControlSense – Unidad Minera Constancia – Cusco.
- Anchiraico Giraldo, A. (2020). Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la E.C.M. Zicsa - Unidad Minera Inmaculada.
- Calderón, F. J. (2015). Planeamiento de minado de largo plazo para proyecto minero no metálico. Lima: Tesis - PUCP.
- Camiper. (2021). Inversiones a largo plazo gran minería en el Perú.
- Caterpillar. (2000). Manual de uso de equipos. EE. UU.: Inc.
- Concha, J. F. (1958). Geología del Morro Solar. Lima: INGEMMET.
- Diego, C. T. (2015). Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la mina Antapacay. Arequipa: Tesis.
- Cordova Alfaro, G. A. (2020). Mejoramiento de prácticas operacionales para el aumento de horas efectivas de camiones de extracción. Gerencia Mina – Ministro Hales Codelco – Chile.
- Hernández Sampieri, R. (2018). La metodología de la investigación. México D.F., México: Interamericana Editores, S.A.
- Hernández Sampieri, R. (2018). Metodología de la investigación. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- INGEMMET. (1992). Columna estratigráfica. Lima: INGEMMET.

- Iloret. (2019). Análisis de rendimiento y costos horarios de maquinaria.
- Joselyn, G. M. (2015). Análisis de rendimiento y costos horarios de maquinaria. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Mining, H. (2021, 21 de febrero). Factores que afectan productividad y costo en el carguío y transporte. Obtenido de Hudson Mining: <https://www.hudsonmining.com/l/factores-que-afectan-productividad-y-costo-en-el-carguio-y-transporte2/>
- MTC. (2003). DS-058-2003-MTC. Lima: Diario Oficial El Peruano.
- Ordoñez, C. R. (2021). Carga y transporte en minería superficial. Obtenido de Scribd: https://1library.co/article/determinaci%C3%B3n-del-tipo-de-transporte-a-usar.zg695dvq?utm_source
- Peralta, J. A. (2023). Optimización del factor de acoplamiento para reducir costos de producción de mineral en una mina a tajo abierto. Trujillo: UPN.
- Rojas Ortiz, I. F. (2019). Optimización del proceso de carguío y acarreo mediante el uso de KPI's en la fase de relleno del espaldón de la presa de relaves – Unidad Minera Antamina.
- Sampieri, H. (2018). Metodología de la investigación. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Segura Llanos, G. (2020). Análisis de flota de equipos de servicios según indicadores de rendimiento en la mina Los Bronces – Chile.
- Tosí, J. A. (2019). Revista de ciencias ambientales. Estados Unidos: Bolaños Montero R.

- Yupanqui, A. B. (2018). Estudio geomecánico para el planeamiento de minado y diseño del proyecto minero El Zarco. Cajamarca: UPN.
- Zevallos, W. P. (2021). Aplicación del sistema de carguío y. Trujillo, Perú: UPN.

ANEXOS

ANEXO 01 – AMBITO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACION

1.1 Ubicación política

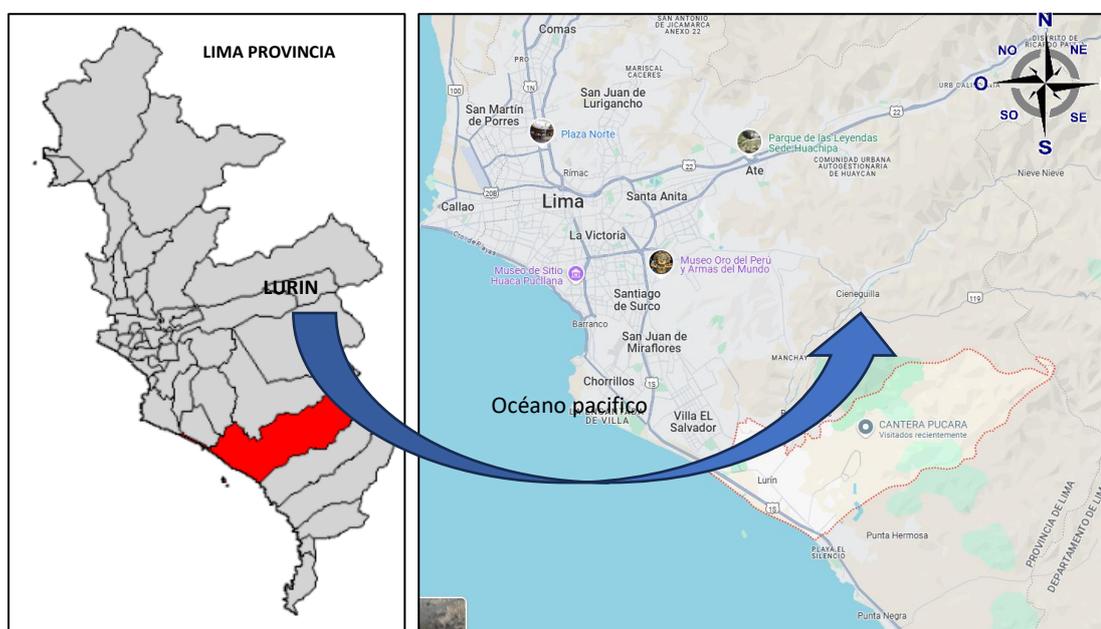
La Concesión Cristina, se ubica en:

Distrito : Compartido, entre Pachacamac y Lurin.

Provincia : Lima.

Departamento : Lima.

Figura 48 Ubicación de la U.M Pucara – Distrito de Lurin



Fuente: U.M Pucara

El yacimiento Pucará se encuentra ubicado dentro de la concesión Cristina, la cual a su vez, se encuentra ubicada al sureste de la ciudad de Pachacamac, entre los distritos de Pachacamac y Lurín, Provincia de Lima.

La concesión Cristina tiene como límites: en el extremo Norte la quebrada Río Seco, en el extremo Sur las inmediaciones de la quebrada Pucara, en el extremo Oeste la Pampa el Manzano y el Cerro el Sauce y hacia el extremo Este el Cerro Peñagaga. La Superficie

de la concesión abarca una extensión de 850 ha.

1.2 Acceso

El acceso a esta cantera se logra a través de la carretera Panamericana Sur hasta el puente Conchán y luego por la Panamericana Sur Antigua (Lurín), hasta el desvío hacia la fábrica de explosivos EXSA. Del desvío se continúa por el acceso a EXSA por unos tres kilómetros, continuando por una trocha carrozable en dirección Este, hasta llegar a la quebrada Pucará, en un recorrido de aproximadamente cinco kilómetros y en un tiempo estimado de 25 minutos.

Figura 49 Ubicación de Tajo pucara - Accesibilidad

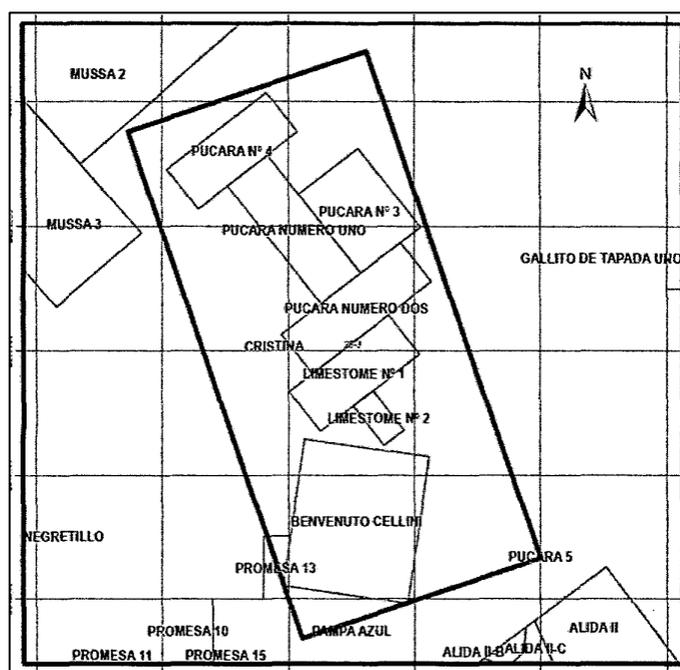


Fuente: U.m Pucara

1.3 Propiedad Minera

En cuanto a la propiedad minera, el yacimiento Pucará forma parte de la concesión Cristina; la cual está rodeada por concesiones mineras metálicas y no metálicas: Pucara N°4, Pucara Numero Uno, Pucara N°3, Pucara Numero Dos, Limestone N°1, Limestone W2 y Benvenuto Cellini, en este último se encuentra ubicado el tajo principal del yacimiento.

Figura 50 Localización del Yacimiento



Fuente: UNACEM

1.4 Clima y Vegetación

El clima en la zona del yacimiento presenta una notable variabilidad, atribuida principalmente a las diferencias altitudinales. En el sector costero predomina un clima desértico templado y húmedo, con presencia de lloviznas ligeras entre los meses de abril y diciembre, mientras que entre enero y marzo se observa una mayor insolación, especialmente en áreas como las pampas y los tablazos. La temperatura media anual se sitúa entre los 18 y 19 °C. Según la clasificación ecológica propuesta por Joseph Tosí, esta región corresponde a un desierto subtropical. En las zonas de lomas y colinas de baja altitud, el clima se caracteriza por una mayor humedad y la presencia de lloviznas propias del ecosistema de lomas, con una precipitación promedio anual de aproximadamente 200 mm. A nivel regional, en áreas situadas por encima de los 1,000 metros sobre el nivel del mar, el clima es predominantemente frío y seco, con precipitaciones significativas durante la temporada de verano, que se intensifican en las zonas más elevadas. En los valles, las condiciones térmicas presentan una marcada

oscilación diaria, con temperaturas cálidas durante el día y frías por la noche. (Tosí, 2019)

1.5 Topografía y Relieve

El área del proyecto se localiza en la margen derecha de la quebrada Pucará, al pie del cerro Lomas de Pucará. Esta zona abarca altitudes que oscilan entre los 210 y 580 metros sobre el nivel del mar, presentando una topografía con relieves que varían de moderadamente a fuertemente inclinados y disectados, con pendientes que pueden alcanzar hasta los 70°. El entorno se caracteriza por un paisaje árido, donde predominan especies cactáceas y suelos conformados principalmente por depósitos aluviales cuaternarios, así como gravas y bloques de arena de tamaño medio a grueso. Cabe señalar que la quebrada Pucará suele mantenerse seca durante gran parte del año.

1.6 Geología Regional

1.6.1 Estratigrafía

1.6.1.1 Formación Marcavilca

Esta formación geológica se apoya de manera concordante sobre la Formación Herradura y se encuentra por debajo de la Formación Pamplona. Sus exposiciones afloran desde el Morro Solar, en el distrito de Chorrillos —donde se ubica su localidad tipo—, extendiéndose hacia el norte de Lima, en las inmediaciones posteriores a la Universidad Nacional de Ingeniería, y continuando hasta alcanzar el valle del río Chillón. Hacia el sur, también se presentan afloramientos en el valle de Lurín, en zonas cercanas al poblado de Pachacamac, así como en áreas como los cerros Flor de Nieve, El Sauce y Rinconada de Lurín. Según la clasificación realizada por (Concha, 1958), en su localidad tipo esta formación se subdivide en tres miembros principales, los cuales presentan las siguientes características:

Miembro Morro Solar.- Esta unidad corresponde al miembro inferior de la Formación Marcavilca y ha sido identificada en las inmediaciones del monumento al "Soldado Desconocido". En su base se observa una transición gradual desde las facies arcillosas características de la Formación Herradura hacia facies predominantemente areniscosas, propias de la Formación Marcavilca. A lo largo de la secuencia, se presentan intercalaciones de bancos delgados de arenisca con niveles lutáceos, evidenciando un cambio cromático desde tonos oscuros en la parte basal hasta matices rojizos hacia la parte superior. Se encuentran además areniscas abigarradas con trazas fósiles de tubos de anélidos, y hacia la parte superior de la secuencia aparecen areniscas cuarzosas que gradualmente se transforman en cuarcitas, intercaladas con niveles de limolitas de tonalidades gris verdoso. El espesor total de este miembro se estima en aproximadamente 65 metros. (Concha, 1958)

Miembro Marcavilca.- Este tramo corresponde al miembro intermedio de la formación y se distingue por presentar las rocas más resistentes, densas y consolidadas de todo el grupo. Su composición litológica refleja un ambiente costero influenciado por corrientes intensas, lo que permitió una eficiente selección granulométrica y la formación de una estratificación cruzada bien definida. Predominan las cuarcitas de tonalidad gris blanquecina, con un cemento silíceo que en ciertos niveles adquiere matices rosado-violáceos. El tamaño del grano varía de medio a grueso, llegando incluso a presentar características microconglomerádicas. (Concha, 1958)

Miembro La Chira.- Esta secuencia corresponde al miembro superior, que constituye la parte más alta del grupo en el Morro Solar. Su denominación se debe a la playa La Chira, donde se encuentra una exposición representativa compuesta

por areniscas cuarcíticas blancas con textura sacaroidea y una estratificación cruzada claramente visible, además de areniscas cuarzosas de color marrón chocolate, debido a la presencia de pequeñas partículas de limonita. Se considera que este miembro corresponde a una deposición lenticular, ya que no se encuentra presente ni al norte ni al sur de Lima, en los valles del Chillón y Lurín respectivamente. El espesor estimado en la playa La Chira varía entre 50 y 60 metros. (Concha, 1958)

1.6.1.2 Formación Pamplona

La Formación Pamplona representa el comienzo de una transgresión marina que alcanza su máxima expresión con la Formación Atocongo. Esta formación presenta un espesor significativo y se extiende hacia el sur, abarcando áreas como San Juan, Pachacamac, Lurín, hasta las lomas Flor de Nieve, Capilla de Lúcumo, la estación terrena de Lurín, y las lomas de Los Manzanos, prolongándose hasta el sinclinal de Pachacamac. Sus facies permanecen relativamente constantes hasta llegar a Punta Hermosa, donde desaparecen bajo una cubierta de depósitos volcánicos brechoides, los cuales se asignan a la Formación Chilca, perteneciente al Grupo Casma. La exposición tipo, ubicada en los cerros Pamplona y Cascajal, muestra en su base calizas grisáceas en bancos delgados que alternan con lutitas limolíticas de tonos amarillo rojizo, niveles tobáceos, margas gris verdosas y finas capas de yeso. (Concha, 1958)

La parte superior continúa la secuencia con similares características con aparición de niveles de chert, los que se manifiestan igualmente en la parte inferior de la Formación Atocongo. Su grosor total se estima entre 600 y 700 m.

Atraviesan la secuencia numerosos diques y sills de composición andesítica, silicificando la caliza. (Concha, 1958)

1.6.1.3 Formación Atocongo

La denominación de esta formación proviene de las calizas presentes en la localidad de Atocongo, donde alcanza su máxima expresión. En esta zona se encuentran las canteras explotadas por la fábrica de cemento UNACEM S.A. Las facies de esta formación representan una continuidad de la Formación Pamplona, lo que explica que su contacto sea concordante y gradacional, transicionando desde una facies arcillo-calcárea hacia una facies calcárea correspondiente a ambientes de mayor profundidad. Hacia el sureste, las exposiciones se localizan en el flanco oriental del anticlinal de Los Manzanos, extendiéndose hasta las lomas de Lúcumo, donde la estructura se cierra sin continuar más al sur, desapareciendo bajo la Formación Chilca del Grupo Casma (Concha, 1958).

En Atocongo, el contacto con la Formación Pamplona está afectado por fallas y presenta intrusiones de cuerpos granitoides pertenecientes al batolito, lo cual impide observar la secuencia completa. Se estima que el espesor de esta formación oscila entre 250 y 300 metros. En la zona de Lurín, su litología es similar y también se explotan canteras para la producción de cemento; los bancos son masivos y fuertemente inclinados, con la presencia de fallas intraformacionales que generan repeticiones en la secuencia. Las calizas de Atocongo se encuentran afectadas por intrusiones de las facies marginales del Batolito Costanero, principalmente dioritas e hipabisales (andesitas), lo que ha provocado la recristalización y/o marmolización de algunos niveles, acompañados de venas de calcita como relleno, dispersión de piritita y manchas de azufre por alteración. (Concha, 1958)

1.7 Geología Local del Yacimiento Pucará

1.7.1 Unidades Litoestratigráficas y Cuerpos Intrusivos

La geología correspondiente al Proyecto Pucará se encuentra integrada dentro de la columna estratigráfica general de la zona sur de Lima, según lo representado en la tabla elaborada por INGEMMET (1992). Ordenada de la unidad más antigua a la más reciente, esta columna inicia con una secuencia volcánico-sedimentaria correspondiente al Grupo Puente Piedra, seguida por una serie de depósitos clásticos que conforman el Grupo Morro Solar. A continuación, se encuentran las secuencias arcillocalcáreas representadas por las Formaciones Lurín, Pamplona y Atocongo, para finalizar con una sucesión de rocas volcánicas y clásticas del Grupo Casma. Esta secuencia estratigráfica culmina con depósitos cuaternarios de origen eólico y aluvial. (INGEMMET, 1992)

Figura 51 Estratigrafía de la Zona

EIDADES		UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS		ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	Depósitos eólicos y aluviales		
MESOZOICO	CRETÁCEO	Grupo Casma	Vol. Quilmaná	Tonalita
			Fm. Chilca	
		Formación Atocongo (Ki-at)		
		Formación Pamplona (Ki-pa)		
		Formación Lurín (Ki-lu)		Andesita
		Grupo Morro Solar	Formación Marcavilca	
	Formación Herradura			
Formación Salto del Frayle				
	JURASICO	Grupo Puente Piedra		

Fuente: UNACEM

Las unidades litoestratigráficas identificadas en la zona del Proyecto Pucará, ordenadas desde las más antiguas hasta las más recientes, incluyen la Formación Pamplona, que está compuesta por una mezcla de calizas margosas, limolitas y lutitas laminadas; y la Formación Atocongo, que consiste en una secuencia masiva

de calizas principalmente carbonatadas. Estas unidades datan del Cretácico Inferior hasta el Cretácico Medio. En el fondo de las quebradas y del valle Pucará se encuentran depósitos coluviales y aluviales conformados principalmente por fragmentos de tamaño grueso.

1.7.2 Formación Pamplona

Esta unidad se encuentra expuesta al oeste del tajo principal, situada por debajo de la Formación Atocongo, aunque su base se localiza fuera del área de estudio. Los estratos presentan un rumbo promedio de N15°W y un buzamiento promedio de 65° hacia el noreste. Desde el punto de vista litológico, está constituida por una secuencia alternante de calizas micríticas, calizas margosas, margas, limolitas y lutitas ligeramente pizarrasas, con una variedad de colores que van desde el gris y rojizo hasta ocre, amarillo y en algunas zonas verde azulado. Hacia la parte superior de la formación, se observa un aumento en la frecuencia de estratos calcáreos con espesores que oscilan entre 0.10 y 0.25 metros.

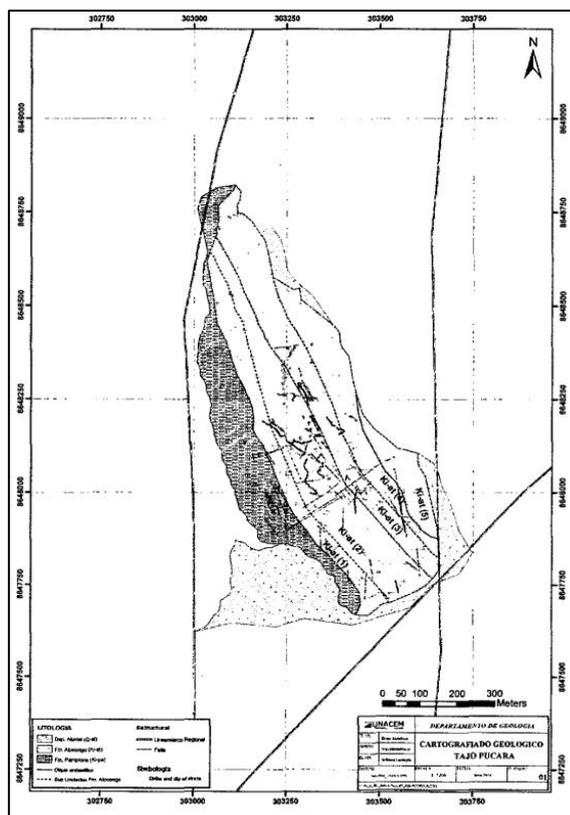
1.7.3 Formación Atocongo

La Formación Atocongo es una unidad predominantemente calcárea, cuyo nombre proviene de la localidad de Atocongo, donde presenta su desarrollo más significativo y constituye un yacimiento asociado a Cementos Lima (Unacem S.A). En el área del yacimiento Pucará, esta formación aflora en el flanco occidental del valle Pucará, mostrando una orientación de norte a sur. Hacia el norte, la formación se extiende más allá de los límites de la cantera, mientras que al sur y este se encuentra cubierta por depósitos aluviales y materiales de desmonte. (Concha, 1958).

El contacto con la Formación Pamplona, que le infrayace, se ubica al oeste del Proyecto.

1.7.4 Formación de la zonificación del Tajo

Figura 52 Formación de la zonificación del tajo



Fuente: UNACEM

En el yacimiento Pucará se han reconocido cinco (5) sub unidades dentro de la secuencia de calizas, cuyas características, descritas desde la base hacia el techo, son las siguientes:

Sub unidad 1. Corresponde a una secuencia intercalada de caliza micrítica, caliza margosa, caliza bioclástica, lutita y margas, con tonalidades pardo-amarillentas. Los estratos presentan espesores que varían entre 0.05 y 0.20 metros, y en conjunto esta subunidad alcanza un espesor aproximado de 20 metros.

Sub unidad 2. Se caracteriza por un predominio de calizas de color gris oscuro, dispuestas en estratos de entre 0.15 y 0.60 metros. La potencia total de esta unidad se estima en alrededor de 45 metros. Esta secuencia está atravesada por numerosos diques y sills de composición andesítica, los cuales presentan orientaciones diversas.

Sub unidad 3. Conformada por una alternancia de caliza micrítica y caliza margosa de tonalidad gris, en estratos de 0.15 a 0.20 metros de espesor. El espesor total estimado de esta subunidad es de aproximadamente 50 metros.

Sub unidad 4. Compuesta por capas delgadas, entre 0.10 y 0.15 metros de espesor, de caliza micrítica, caliza margosa, marga y lutita, con predominio de colores pardo-amarillentos. La potencia total de esta secuencia se estima en unos 30 metros.

Sub unidad 5. Esta unidad final está integrada por una sucesión de calizas micríticas, calizas margosas y margas, con colores que varían del gris pardo al gris amarillento, y presenta un espesor aproximado de 60 metros.

1.8 Diques y Sills

En el área de estudio no se han identificado cuerpos intrusivos de gran tamaño. Sin embargo, se observa la presencia de numerosos diques y sills de composición andesítica, los cuales varían en espesor, longitud y orientación. Dentro de las subunidades 2 y 3 de la Formación Atocongo, se destacan varios diques que cortan transversalmente los estratos, así como otros que se disponen paralelos a la estratificación. Estos cuerpos intrusivos son andesíticos, presentan una tonalidad gris verdosa y poseen una textura porfírica que en algunos casos se torna afanítica. Su espesor promedio oscila entre 0.10 y 0.25 metros. En general, presentan una forma

sinuosa y sus direcciones predominantes son $N20^{\circ}-30^{\circ}W$, aunque también se registran orientaciones entre $N10^{\circ}$ y $20^{\circ}E$. La mayor concentración de estos diques y sills se encuentra entre los niveles 280 y 420. (Concha, 1958)

1.9 Rasgos Estructurales

Aunque no se han identificado fallas regionales evidentes en el área, sí se reconocen alineamientos estructurales de carácter regional. El más importante de ellos atraviesa el sector este de la cantera y coincide con el trazo de la quebrada Pucará, con una orientación aproximada de $N50^{\circ}E$. Los otros dos alineamientos, paralelos entre sí, cruzan por el norte y el sur de la cantera, respectivamente.

A nivel local, la cantera está atravesada por tres sistemas de fallas con orientaciones predominantes de $N25^{\circ}-35^{\circ}W$, $N-S$ y $N55^{\circ}-70^{\circ}E$. Además, se observa un conjunto de diaclasas que cortan las rocas, completando el patrón estructural del área. Los estratos en la zona presentan un rumbo que varía entre $N15^{\circ}$ y $25^{\circ}W$, con buzamientos que oscilan entre 60° y 70° hacia el noreste. La disposición de los estratos sugiere que el Proyecto Pucará se ubica en el flanco occidental de un sinclinal cuyo eje se orienta en dirección sureste–noreste. Todos estos rasgos estructurales pueden observarse en el plano geológico local correspondiente al tajo del yacimiento Pucará. (Concha, 1958)

ANEXO 02 – MINERIA TAJO PUCARA

2.1 Minería

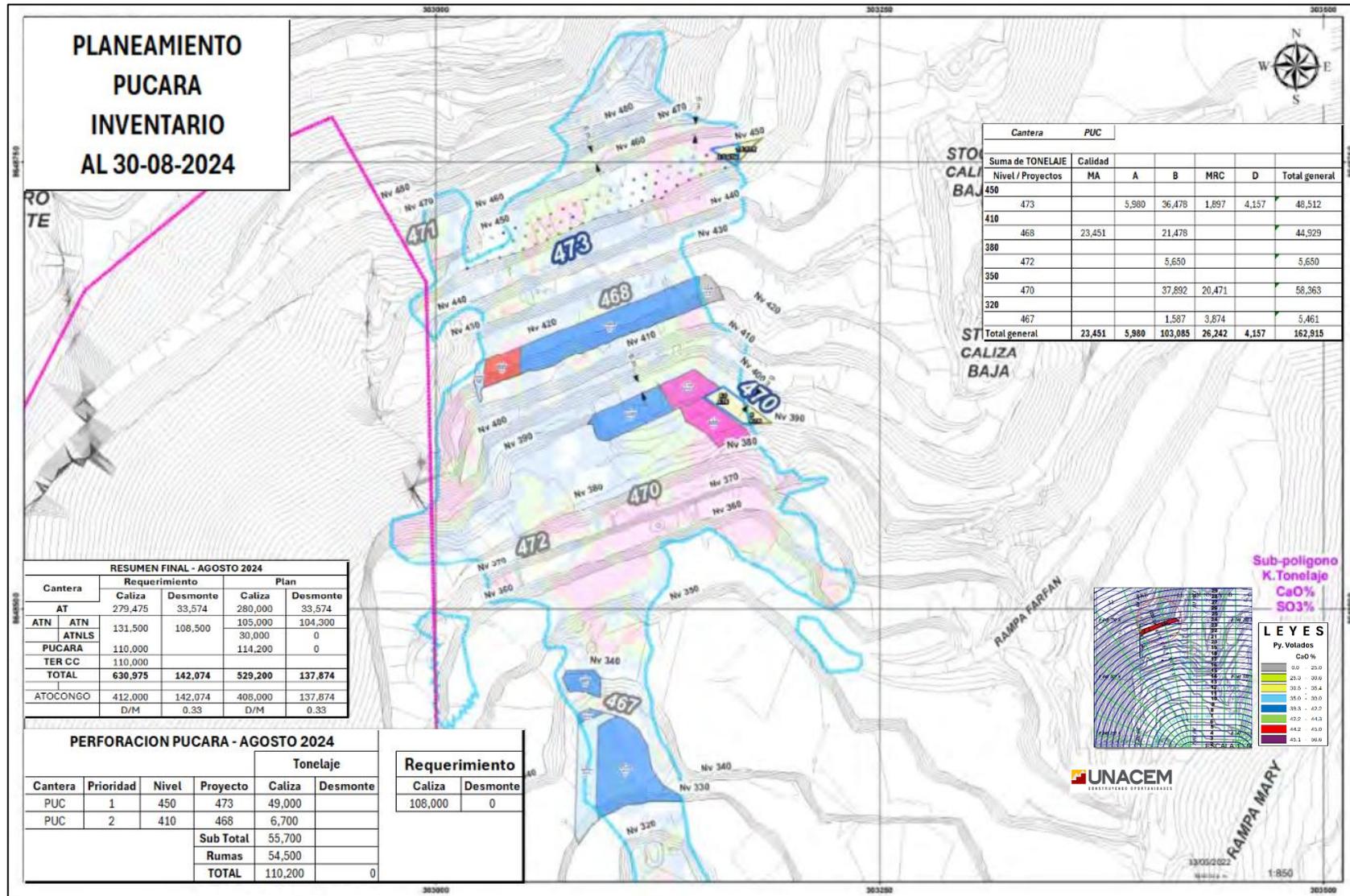
La Explotación de la cantera de Pucara viene siendo ejecutada por la Empresa contratista SMCG (San Martin contratistas generales) como ejecutora tanto en la cantera como en la zona industrial, esta viene siendo controlada por la Organización UNACEM, esto abarca el manejo de agregados para el Clinker y Calizas de terceros.

Las Actividades de Explotación de Cantera Pucara a tajo abierto para la extracción de mineral no metálico (Caliza, Arcilla y Yeso) y Eliminación de desmonte abarca las operaciones unitarias de Perforación, Voladura, remoción, Carguío y acarreo, además de ellos trabajos auxiliares de construcción y Mantenimiento de vías.

2.2 Capacidad de Produccion

Culminados los procesos de perforación, muestreo de taladros, voladura y remoción y homogeneización, los polígonos de minado se emplean para uniformizar las leyes mediante el blending, la capacidad de producción diaria de 25000 TMD de caliza chancada, se tiene la chancadora primaria de 20 horas de trabajo diaria CH-PR con una producción de alimentación de caliza de rango 1250 a 1240 TN/Hora. (Fuente _ Unacem), con una alimentación estimada para la cantera de Pucara del 15%.

Figura 53 Plano de tajo Pucara - Planeamiento de producción agosto 2024



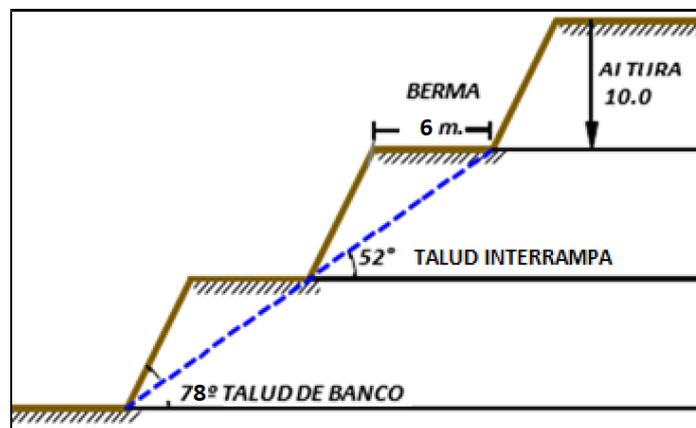
Fuente: U.m Pucara

2.3 Diseño del Tajo

El diseño general del Tajo para ir minando la caliza de alto potencial tiene las siguientes especificaciones.

- Altura de banco: 10 m
- Talud: 78°
- Banqueta: 6 m

Figura 54 Diseño de Banquetas Tajo Proyectos - U.m Pucara



Fuente: U.m Pucara

2.4 Diseño de mezcla de la Caliza

La caliza que se tiene que enviar es con una ley promedio que es de 42.0% de CaO (caliza) teniendo las siguientes leyes dentro del tajo para poder realizar el blending.

Caliza de Alta = 44.0 %

Caliza media = 42.0 %

Caliza Baja = 40.0%

A continuación, se adjunta el programa de calculo que es el soporte para poder hacer el blending de material y esperar la aprobación del cliente.

Figura 55 Diseño de Mezcla opcionales – Hasta 5 Opciones.

CALIZA MEDIA PUCARA OPCION 01					
Punto	Proyectos	Proporción	Análisis	Resultado	Zonificación
10	RYP - 58	2.00	SiO2	12.58	LL-19
13	Py 475-a -Nv 410	2.00	Al2O3	4.44	KK-20
4	TYF - 70	1.00	Fe2O3	2.15	C-27/ M - 30
			CaO	41.4	E-27/ M - 28
			MgO	1.25	
			SO3	0.64	
			Na2O	0.12	
			K2O	0.54	
MEDIA					
SUMA		5.00			
CaCO3=		76.47			
			Costo S/		
CALIZA MEDIA PUCARA OPCION 02					
Punto	Proyectos	Proporción	Análisis	Resultado	Zonificación/Memo
13	Py 475-a -Nv 410	2.50	SiO2	11.95	KK-20
4	TYF - 70	1.50	Al2O3	4.2	Y - 19 / M - 46
12	RYP-49	1.00	Fe2O3	2.08	C-14/ M - 33
			CaO	41.9	
			MgO	2.19	
			SO3	0.73	
			Na2O	0.19	
			K2O	0.43	
MEDIA					
SUMA		5.00			
CaCO3=		79.49			
			Costo S/		
CALIZA MEDIA PUCARA OPCION 03					
Punto	Proyectos	Proporción	Análisis	Resultado	Zonificación
13	Py 475-a -Nv 410	2.00	SiO2	11.96	KK-20
4	TYF - 70	3.00	Al2O3	4.3	Y - 20 / M - 46
			Fe2O3	2.11	
			CaO	41.9	
			MgO	2.26	
			SO3	0.70	
			Na2O	0.30	
			K2O	0.51	
ALTA					
SUMA		5.00			
CaCO3=		79.47			
			Costo S/		
CALIZA MEDIA PUCARA OPCION 04					
Punto	2	Proporción	Análisis	Resultado	Zonificación
13	Py 475-a -Nv 410	2.50	SiO2	12.32	B-11/ Memo 20
5	RYP-49	2.00	Al2O3	4.49	M-27/ Memo 22
6	TXF - 73	0.50	Fe2O3	2.09	
			CaO	41.4	
			MgO	2.23	
			SO3	0.75	
			Na2O	0.20	
			K2O	0.50	
MEDIA					
SUMA		5.00			
CALIZA MEDIA PUCARA OPCION 05					
Punto	Proyectos	Proporción	Análisis	Resultado	Zonificación
9	TXF - 72	1.50	SiO2	11.46	KK- 19
12	RYP-49	1.00	Al2O3	4.0	X-26 / Memo 36
13	Py 475-a -Nv 410	2.50	Fe2O3	2.01	
			CaO	42.5	
			MgO	2.09	
			SO3	0.63	
			Na2O	0.17	
			K2O	0.41	
MEDIA					
SUMA		5.00			
CaCO3=		80.35			
			Costo S/		

Fuente: U.m Pucara

Como se verifica en la mezcla el proyecto es la zona de carguío que siempre iniciara con el banco donde cargara la excavadora CAT 349DL.

La proporción en total es de 5 pasos y cuya porción es de 50% del banco y 50% de los stocks como Yariel y Parcelas, es como se evidencia que del banco es de 2.5 pases.

El análisis son la simbología de los elementos que se encuentra adjunto a la Caliza (CaO) se tiene los contaminantes y mayor cuidado son el SO₃, MgO no debería variar de los rangos de 1.0, 2.5 respectivamente como máximo.

Y por ultimo se tiene el resultado que se tiene los valores como el adjunto se tiene el CaO = 42.3 que esto se entiende que esta en porcentaje y con el numero verificado llegamos a los solicitado por el cliente.

2.5 Operaciones Unitarias en la U.M Pucara

Las operaciones que se realizan dentro de la U.M PUCARA viene hacer las 4 operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y acarreo, adicionalmente una de las operaciones unitarias que también se caracterizan en todas las operaciones de mina es los trabajos auxiliares que vienen hacer mantenimiento de vías y construcción de accesos.

2.5.1 Perforación

Los equipos de perforación que se tiene en esta unidad minera son los Rock drill DML EP 37 con las siguientes especificaciones:

- Diámetro de broca: 6 ¾ “
- Longitud de Taladro: 11m
- Sobre Perforación: 1 m

- Longitud de taladro perforado: 12 m
- N° taladros perforados / malla: 60 tal

La malla de perforación triangular en este proyecto no se tiene un pre corte para obtención de cara libre para la estabilidad del talud, la cual esto afecta en la producción por la generación de bolones y rocas de gran tamaño que dificulta y retrasa el proceso de carguío con demoras operativas de la excavadora.

Parámetros de Perforación:

- Diámetro de taladro: 6 3/4"
- Burden: 5.5 m
- Espaciamiento: 6.3 m
- Tipo de malla: Triangular.
- Salida: Echelon en "V".

Figura 56 Perforación en Banco Nv 450 Polígono 463. Tajo Pucara



Fuente: Propia

2.5.2 Voladura

El explosivo empleado en el proyecto es el ANFO (94.5% Nitrato de Amonio y 5.5% D-2) mediante el carguío mecanizado de camión fabrica de explosivos FAMESA con PLC, en condiciones de presencia de agua en los taladros se utiliza Anfo pesado

con Emulsiones. La secuencia de detonación de minera y desmonte tiene siempre en cuenta el factor de carga del explosivo, monitoreo de vibraciones y costos de Operación.

El Material volado de la cantera Pucara tiene diferentes granulometrías, se tiene en promedio un P80 de 11.5 Pulgadas para Caliza y Desmonte de 17 pulgadas, en la cual no se tiene ninguna dificultad ya que la canchadora primaria reduce el material mas efectivamente con materiales gruesos.

El factor de potencia en calizas que se cuenta actualmente es en un rango de 0.16-0.18 kg/tn.

2.5.3 Carguío

El carguío se realiza con excavadoras y cargadores frontales, donde actualmente se realizo el carguío a doble carril donde se evita el tiempo de espera de los equipos semitrailers en tener colas y dar una continuidad dentro de la operación.

En mención se realiza que se hace 3 puntos de carguío donde en la parte superior o zona volada se realiza el carguío con excavadora y en el material suelto o acumulado se realiza con los cargadores frontales, entonces teniendo un total de 3 puntos de carguío en todo el tajo, es este motivo que se implementó el doble carguío de los camiones.

Figura 57 Operaciones de Carguío en tajo proyectos Nv 450



Fuente: Propia

2.5.4 Acarreo

El acarreo se realiza con equipos semitrailers de capacidad de 35 ton como máximo según el RITRA para el tránsito en la panamericana y vías dentro de las urbanizaciones tanto internas y fuera de Lima, es por eso que la capacidad máxima que llevan en promedio estas unidades son de 32.5 ton en carga útil para el transporte de la caliza, teniendo estas carretas la misma función y actividad de los volquetes a consideración de estos últimos mencionados lo único que varía es la longitud de la carreta.

En la flota de muestra que se tiene en la presente investigación se maneja son 25 unidades con la misma tolva, pero distintos tractos como se verifica en las marcas de los cuadros de la muestra.

Figura 58 carguio en un solo carril Tajo Nv 450 hacia camión R-123



Fuente: Propia

2.6 Trabajos Auxiliares

2.6.1 Mantenimiento de vías

El mantenimiento de vías es un factor imprescindible para la continuidad de la operación de acarreo aún más si se tiene distancias mayores a 5 km, cuya finalidad del mantenimiento es no tener demoras es por eso que de manera particular se tiene una motoniveladora marca CAT modelo 140k para nivelar y tener los peraltes en buen estado para la continuidad de toda esta operación unitaria.

Figura 59 Mantenimiento de vías con Motoniveladora 140K



Fuente: Propia

2.6.2 Regado de vías en el ciclo de Acarreo

Esta operación es continua e inicialmente antes de iniciar todo el trabajo de acarreo para poder dar continuidad al acarreo sin tener condiciones en la vía es por eso que antes de llegar a la cantera se tiene la cisterna en el ingreso para tener la polución controlada y no generar condiciones inseguras por visibilidad en la concentración generada por el transito de los camiones semitrailers.

Figura 60 Riego de vías de acarreo y control de polvo



Fuente: Propia

2.6.3 Acumulación de Rumas

El equipo que se emplea aquí es el Tractor de Orugas D8T este equipo es empleado para el desbroce de los depósitos de material que anteriormente estuvieron acumulados como material marginal, siendo ahora la recuperación para el blending de la caliza, este equipo deja acumulado en cada punto no menos de 2000 m³ como muestra para poder considerar el cabeceo de este punto con el del tajo donde el único que realiza es la excavadora.

Figura 61 Acumulación de Rumas con Oruga en stock Parcelas



Fuente: Propia

Como se verifica en la imagen adjuntada líneas arriba el equipo tiene que hacer el corte con una rampa para poder realizar su carguío, como se mencionó estos son botaderos en recuperación por este motivo el equipo ingresa en pendiente negativa y teniendo acopios considerables para poder tener una ley general en este punto.

ANEXO 04 - MATRIZ DE CONSISTENCIA

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PESO AUTONOMO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE LOS CAMIONES EN LA UNIDAD MINERA PUCARA – UNACEM, LIMA.

Formulación del problema	Objetivos de la investigación	Hipótesis de la investigación	Variables	Dimensiones	Indicadores
Problema General: ¿Cómo implementar un sistema de control de peso autónomo, para incrementar la producción diaria y mensual de los camiones en la U.M Pucara?	Objetivo General: Implementar un sistema de control de peso autónomo, para incrementar la producción diaria, mensual de los camiones en la U.M Pucara.	Hipótesis General: La implementación de un sistema de control de peso autónomo permite incrementar la producción diaria, mensual de los camiones en la U.M Pucara.	Variable Independiente: -implementación de un sistema de control de peso autónomo.	'-Capacidad de camión '- Costo de implementación por camión	- (Tn) - (\$)
Problema Especifico: ¿Como optimizar el ciclo de carguio y acarreo mediante la implementación de un sistema de control de peso autónomo en la U.M Pucara?	Objetivo Especifico: Optimizar el ciclo de carguio y acarreo mediante la implementación de un sistema de control de peso autónomo en los camiones de la U.M Pucara.	Hipótesis Especifico: La implementación de control de peso autónomo digital y precisa en las tolvas de camiones, permite optimizar el ciclo de carguio y acarreo y con ello el ciclo total de transporte en toda la flota total de la U.M Pucara.	Variable dependiente: '- Incremento de la producción de la flota de camiones	'- Peso Exacto transportado '-Reducción de tiempos de carguio y acarreo	- (Tn) - (Hr)
¿Cómo disminuir los tiempos de carguío y acarreo para aumentar la cantidad de viajes de los camiones con ello incrementar la producción diaria y mensual de la U.M Pucara?	Disminuir los tiempos de carguío y acarreo para aumentar la cantidad de viajes de los camiones con ello incrementar la producción diaria y mensual de la U.M Pucara.	Con la implementación del control de peso autónomo se logra disminuir los tiempos de carguio minimizando los tiempos de pesaje por camión e incrementando la cantidad de viajes para generar mayor producción diaria y mensual en la U.M Pucara.		'-Incremento de numero de viajes	- (#)
¿Cómo reducir los costos operativos de carguio y acarreo para mantener una producción diaria y uniforme en la U.M Pucara?	Reducir los costos operativos de carguio y acarreo para mantener una producción diaria y uniforme en la U.M Pucara.	Tener el mejor control del peso bruto en los camiones, permite reducir los costos operativos de carguio y acarreo mantenimiento una producción diaria y uniforme, sin tener perdidas de tonelaje en la flota de la U.M Pucara.		-Reducción de costos de carguio, acarreo y transporte.	- (%)