

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



TESIS:

**PLAN DE MEJORA PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS
Y LODOS CON CAMIONES CISTERNA, POR LA EMPRESA INVERSIONES
MERMA S.A.C., UNIDAD MINERA ANTAPACCAY - COROCCOHUAYCO**

PRESENTADO POR:

Br. HILBERT PAUCAR CCAMA

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

ASESOR:

MGT. ODILON CONTRERAS ARANA

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor ODILÓN CONTRERAS ARANA quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: PLAN DE MESORA PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS Y Lodos CON CAMIONES CISTERNA, POR LA EMPRESA INVERSIONES HERMA S.A.C., UNIDAD MINERA ANTAPACCAY - COROCCOHUAYCO

Presentado por: HILBERT PAUCAR CCAMA DNI N° 43306249;
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 01 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 07 %.

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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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 de Detección de Similitud.

Cusco, 03 de SETIEMBRE de 2026

Odilon Contreras Arana
Firma
Post firma Odilon Contreras Arana
Nro. de DNI 23823356
ORCID del Asesor 0000-0002-9164-1705

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:620063492

HILBERT PAUCAR CCAMA

TESIS_HILBERT_PAUCAR_REP.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:620063492

Fecha de entrega

3 sep 2026, 12:56 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 sep 2026, 1:02 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_HILBERT_PAUCAR_REP.pdf

Tamaño del archivo

3.8 MB

144 páginas

27.705 palabras

158.111 caracteres

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
10 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mi madre, por su amor, fortaleza y sabios consejos, que han sido guía y ejemplo permanente a lo largo de mi vida.

A la memoria de mi padre, cuyo recuerdo, enseñanzas y presencia permanecen siempre en mi corazón y acompañan cada uno de mis logros.

A mi hijo, quien dio un nuevo sentido a mis esfuerzos y se convirtió en mi mayor inspiración para perseverar y seguir adelante.

A mi compañera de vida, por su amor, comprensión y apoyo incondicional durante este proceso, y por acompañarme en cada etapa importante de este camino.

A mis hermanas, por su cariño, apoyo constante y compañía en los momentos más significativos de mi vida.

Hilbert Paucar Ccama

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para alcanzar esta importante meta.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por la formación académica y los conocimientos brindados a lo largo de mi carrera profesional.

De manera especial, agradezco a mi asesor, Mgt. Odilón Contreras Arana, por su orientación, paciencia y compromiso durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, cuyas enseñanzas contribuyeron significativamente a mi formación profesional.

A mi familia, por su apoyo, confianza y fortaleza a lo largo de mi formación académica y durante la culminación de este trabajo.

Finalmente, expreso mi gratitud a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta investigación y al logro de esta meta profesional.

Hilbert Paucar Ccama

INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda la problemática operativa y económica relacionada con el sistema de bombeo de lodos utilizado en camiones cisterna por la empresa contratista Inversiones Merma S.A.C., en operaciones para la Compañía Minera Antapaccay. El sistema convencional, basado en bombas centrífugas estándar y tanques sin adecuación técnica para el manejo de lodos de alta densidad, ha generado múltiples deficiencias que afectan la eficiencia del proceso logístico de succión, transporte y descarga de lodos.

Entre las principales limitaciones se encuentran los tiempos excesivos de operación, la imposibilidad de cumplir con los volúmenes de evacuación programados, los altos costos de mantenimiento y operación, y la reducción acelerada de la vida útil de los equipos de bombeo. Esta situación no solo incrementa los gastos operativos, sino que compromete el cumplimiento de la producción establecidas en los contratos de servicio.

Con base en este diagnóstico, se plantea una propuesta técnica y económica orientada a implementar un sistema de bombeo por vacío, complementado con modificaciones en la configuración estructural de los tanques de los camiones cisterna. El objetivo es optimizar el rendimiento operativo, mejorar la eficiencia del traslado de lodos, disminuir los costos directos e indirectos, y prolongar la durabilidad de los equipos.

La investigación se fundamenta en reportes operativos, valorizaciones, datos de campo y validación técnica del desempeño de los equipos en condiciones reales, presentando un enfoque práctico que busca resultados medibles y sostenibles en el tiempo.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar en qué medida un plan de mejora optimiza el sistema de bombeo y transporte de aguas y lodos con camiones cisterna de Inversiones Merma S.A.C., en el Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay. La investigación fue aplicada, con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo–explicativo y diseño preexperimental antes–después. La población y muestra estuvieron conformadas por las unidades cisterna Cód. 1755, Cód. 443 y Cód. 445, evaluadas mediante registros operativos y económicos del año 2024, comparando enero–junio y julio–diciembre. Los resultados mostraron que la producción semestral aumentó de 15 581,29 m³ a 19 042,43 m³ (22,21 %), mientras que el promedio mensual pasó de 2 596,88 m³ a 3 173,74 m³ y el cumplimiento de la meta de 2 800 m³/mes mejoró de 3 de 6 meses a 6 de 6 meses. El tiempo de succión se redujo de 45–60 a 25–35 minutos, el ciclo promedio de 227,5 a 177,5 minutos y los días de mantenimiento de 54 a 43. La unidad Cód. 445 alcanzó una disponibilidad promedio de 91 %, frente al 84 % de la unidad Cód. 443. Asimismo, el costo unitario disminuyó de S/ 32,87/m³ a S/ 30,63/m³ (6,81 %). Se concluye que el plan de mejora optimizó técnica y económicamente el sistema, al reducir tiempos operativos y costos, e incrementar la producción y continuidad del servicio.

Palabras clave: Bombeo de lodos, Camiones cisterna, Bomba de vacío, Sistema de mejora, Eficiencia operativa.

ABSTRACT

This research aimed to determine the extent to which an improvement plan optimizes the pumping and transportation system for water and sludge using tanker trucks operated by Inversiones Merma S.A.C. at the Coroccohuayco Integration Project of the Antapaccay Mining Unit. The study was applied, with a quantitative approach, a descriptive–explanatory level, and a pre-experimental before-and-after design. The population and sample consisted of tanker units Code 1755, Code 443, and Code 445, evaluated through operational and economic records from 2024, comparing the January–June and July–December periods. The results showed that semiannual production increased from 15,581.29 m³ to 19,042.43 m³ (22.21%), while the monthly average increased from 2,596.88 m³ to 3,173.74 m³, and compliance with the monthly target of 2,800 m³ improved from 3 out of 6 months to 6 out of 6 months. Suction time decreased from 45–60 to 25–35 minutes, the average cycle time from 227.5 to 177.5 minutes, and maintenance downtime from 54 to 43 days. Unit Code 445 achieved an average availability of 91%, compared with 84% for Unit Code 443. Likewise, the unit cost decreased from S/ 32.87/m³ to S/ 30.63/m³ (6.81%). It is concluded that the improvement plan optimized the system technically and economically by reducing operating times and costs while increasing production and service continuity.

Keywords: Sludge pumping, Tanker trucks, Vacuum pump, Improvement system, Operational efficiency.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
INTRODUCCIÓN	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
CAPÍTULO I: PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1. Relevancia	5
1.4.2. Implicancia social.....	5
1.4.3. Implicancias practicas	6
1.4.4. Implicancia teórica	6
1.4.5. Utilidad metodológica	6
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	7

1.5.1.	Delimitación espacial	7
1.5.2.	Delimitación temporal.....	7
1.5.3.	Limitaciones	7
1.6.	HIPÓTESIS	8
1.6.1.	Hipótesis general	8
1.6.2.	Hipótesis específicas	8
1.7.	VARIABLES E INDICADORES	8
1.7.1.	Identificación de Variables.....	8
1.7.2.	Operacionalización de las variables	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN		10
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	10
2.1.1.	Antecedentes Internacionales	10
2.1.2.	Antecedentes Nacionales.....	12
2.2.	BASES TEÓRICAS	14
2.2.1.	Plan de mejora.....	14
2.2.2.	Lodos	16
2.2.3.	Sistema de bombeo.....	17
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	22
CAPÍTULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....		26
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	26

3.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.4.1.	Unidad de análisis	28
3.4.2.	Población.....	28
3.4.3.	Muestra.....	28
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	28
3.5.1.	Técnicas de recolección de información	28
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	29
3.5.3.	Técnicas De Procesamiento De Datos	29
3.5.4.	Plan de análisis de datos.....	30
	CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	33
4.1.	SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS Y LODOS EN LOS CAMIONES CISTERNA ANTES DE LA IMPLEMENTACION DEL PLAN DE MEJORAS.....	33
4.1.1.	Equipamiento cisterna utilizado antes de la mejora	34
4.1.2.	Incremento de tiempos del proceso de operación - Antes.....	37
4.1.3.	Incumplimiento de metros cúbicos trasladados en camiones cisterna según programa	39
4.1.4.	Incremento de costos de operación y mantenimiento	43
4.1.5.	Disminución de la vida útil de los equipos de bombeo por sobre esfuerzo .	49

4.1.6.	Costo de transporte de lodos antes de la implementación del plan de mejora	51
4.1.7.	Riesgo contractual asociado al incumplimiento de KPIs	54
4.2.	SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS Y LODOS EN LOS CAMIONES CISTERNA DESPUES DE LA IMPLEMENTACION DEL PLAN DE MEJORAS	55
4.2.1.	Alternativa de mejora	57
4.2.2.	Cálculo de metros cúbicos evacuados considerando el plan de mejora	61
4.2.3.	Proceso de succión transporte y descarga de lodos aplicando el plan de mejora	65
4.2.4.	Cálculo de tiempos de succión, transporte y descarga aplicando el plan de mejora	67
4.2.5.	Comportamiento del mantenimiento y disponibilidad con el plan de mejora	69
4.2.6.	Gestión de Seguridad en la Empresa	75
4.2.7.	Costo de transporte de lodos después de la Implementación	78
4.2.8.	Aplicación del plan de mejora para optimizar el sistema de bombeo de lodos en camiones cisterna.	82
4.3.	CONTRIBUCION SOCIAL DERIVADA DE LA MEJORA DEL SISTEMA DE BOMBEO	84
4.3.1.	Rol de la empresa contratista en la cadena operativa del proyecto	84
4.3.2.	Contribución de la mejora operativa al entorno social	84

4.3.3. Relevancia de la participación de la empresa contratista en la sostenibilidad de la operación85

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
5.1. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MEJORA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS Y LODOS EN CAMIONES CISTERNA.	87
5.1.1. Resultados en el sistema de bombeo de lodos en los camiones cisterna, aplicando el plan de mejora en relación a los tiempos de operación en los procesos.....	90
5.1.2. Resultados en el sistema de bombeo de lodos en los camiones cisterna, aplicando el plan de mejora en relación a la capacidad de carga de los camiones	91
5.1.3. Resultados en el sistema de bombeo de lodos en los camiones cisterna aplicando el plan de mejora en relación a los costos de operación y mantenimiento.....	92
5.2. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MEJORA PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS Y LODOS EN LOS CAMIONES DE LA CONTRATISTA INVERSIONES MERMA S.A.C., CIA. MINERA ANTAPACCAY ..	93
5.2.1. Optimizar el sistema de bombeo de lodos en camiones cisternas con la implementación de un nuevo sistema de bombeo.....	94
5.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
5.3.1. Efecto del plan de mejora en el desempeño del sistema de bombeo y transporte de lodos	95
5.3.2. Efecto económico del plan de mejora en el sistema de bombeo y transporte de lodos	95

5.3.3. Efecto técnico del plan de mejora en el sistema de bombeo y transporte de
lodos 96

CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS	104
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	104
ANEXO 3: PET DE TRASLADO DE AGUAS RESIDUALES	106
ANEXO 4: PAUSAS ACTIVAS	112
ANEXO 5: REGISTRO FOTOGRÁFICO	114
ANEXO 6: REFERENCIA DEL ÁREA DE ESTUDIO	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Flota de cisternas de Inversiones Merma S.A.C. - ANTES	34
Tabla 2	Tiempo y caudal estimado de succión con bomba Electro Hidráulica	38
Tabla 3	Variables operativas antes de la implementación de plan de mejora	40
Tabla 4	Transporte mensual de lodos por camión cisterna considerando operatividad, fallas y eficiencia diaria antes de la implementación de plan de mejora (enero–junio 2024)	42
Tabla 5	Mantenimiento mensual de cisternas Hino y Volvo antes de la implementación de plan de mejora (ene–jun 2024)	45
Tabla 6	Costos por el servicio de transportes de Lodos, antes de la implementación del plan de mejora COROCCOHUAYCO - RELAVERA TINTAYA.....	53
Tabla 7	Tabla de control de KPIS.....	54
Tabla 8	Comparación de variables operativas Antes y después de la implementación del sistema	56
Tabla 9	Especificaciones técnicas de la bomba Masport SIDEWINDER CCW para integración con camión cisterna Mercedes Benz Atego 1725/42	60
Tabla 10	Transporte mensual de lodos por camión cisterna considerando operatividad, fallas, y eficiencia diaria (julio – diciembre 2024)	62
Tabla 11	Comparación semestral de la producción de lodos transportados por camiones cisterna (2024), antes y después de la implementación del plan de mejoras	65
Tabla 12	Tiempo y caudal estimado de succión con bomba de vacío	67
Tabla 13	Tiempos de ciclo y productividad antes y después del plan de mejora	68
Tabla 14	Comparación técnica-operativa entre bomba Electro Hidráulica y bomba de vacío en el sistema de succión de lodos	70

Tabla 15	Mantenimiento mensual de cisternas Mercedes Benz MT7089 y Hino 1755 (julio– diciembre 2024)	70
Tabla 16	Distribución de la jornada horaria en las operaciones de Inversiones Merma S.A.C. 71	
Tabla 17	Registro mensual – Año 2024.....	76
Tabla 18	Costos de transportes de Lodos mensual después de la Implementación	79
Tabla 19	Tabla comparativa antes vs. después	82
Tabla 20	Comparación de indicadores operativos y económicos antes y después del plan de mejora 88	
Tabla 21	Comparación de productividad del sistema de bombeo de lodos con camiones cisterna (Antes vs. Después)	89
Tabla 22	Comparación de tiempos operativos del sistema de bombeo de lodos (Antes vs. Después) 89	
Tabla 23	Comparación de costos operativos del transporte de lodos con camión cisterna (Antes vs. Después)	90
Tabla 24	Coordenadas UTM referenciales del Proyecto Integración Coroccohuayco	120
Tabla 25	Accesibilidad y tiempos de viaje hacia el Proyecto Integración Coroccohuayco	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Operacionalización de las variables	9
Figura 2	Clasificación de bombas	19
Figura 3	Diagrama de Bomba de Vacío de Desplazamiento Positivo	21
Figura 4	Camión cisterna	22
Figura 5	Poza de lodos	32
Figura 6	Mapa de operaciones del servicio succión y traslado de lodos de las pozas de Corocochuayco hacia relavera Tintaya (área 520).....	33
Figura 7	Camión Cisterna Cód. 1755 - HINO FM 2835 Largo Serie 500.....	35
Figura 8	Cisterna Cód. 443 - Volvo FM Series 6×4	35
Figura 9	Bombas Electrohidráulicas usadas antes de la mejora	36
Figura 10	Accionamiento del Operador en la cisterna	36
Figura 11	Registro fotográfico de succión de lodos.....	39
Figura 12	Comparación entre producción total mensual de lodos y meta establecida antes de la implementación de plan de mejora (enero – junio 2024)	43
Figura 13	Descomposición ASARCO del Tiempo Nominal mensual de la cisterna , antes de la implementación de plan de mejora (enero–junio 2024).	45
Figura 14	Disponibilidad mensual de la cisterna Hino según normas ASARCO, antes de la implementación de plan de mejora (enero–junio 2024)	46
Figura 15	Descomposición ASARCO del Tiempo Nominal mensual de la cisterna Volvo 443, antes de la implementación del plan de mejora (enero–junio 2024)	47
Figura 16	Disponibilidad mensual de la cisterna Volvo según normas ASARCO, antes de la implementación del plan de mejora (enero–junio 2024)	48

Figura 17	Cisterna Cod. 445 - Mercedes Benz Atego 1725/42 con Tanque de agua 5000 galones	59
Figura 18	Bomba de vacío Masport SIDEWINDER CCW montada sobre camión cisterna.	59
Figura 19	Bomba instalada en el camión Cisterna Mercedes Benz	60
Figura 20	Comparación entre producción total mensual de lodos y meta establecida (Julio – Diciembre 2024)	63
Figura 21	Descomposición ASARCO del tiempo nominal – Cisterna Mercedes Benz (jul–dic 2024)	71
Figura 22	Disponibilidad mensual – Cisterna Mercedes Benz (ASARCO).	72
Figura 23	Descomposición ASARCO del tiempo nominal – Cisterna Hino (jul–dic 2024) ..	73
Figura 24	Disponibilidad mensual – Cisterna Hino (ASARCO)	74
Figura 25	Evolución mensual del Índice de Frecuencia (IF) – Inversiones Merma en Antapaccay, año 2024.....	77
Figura 26	Evolución mensual del Índice de Severidad (IS) – Inversiones Merma en Antapaccay, año 2024.....	77
Figura 27	Evolución mensual del Índice de Accidentabilidad (IA) – Inversiones Merma en Antapaccay, año 2024.....	78
Figura 28	Ubicación del proyecto Integración Corocchohuayco - CM Antapaccay	118
Figura 29	Ubicación de las operaciones de la CM Antapaccay	119

CAPÍTULO I:

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El bombeo de lodos a camiones cisterna es un proceso crucial en diversas industrias, como la gestión de aguas residuales, la construcción y la minería. Sin embargo, este sistema puede enfrentar desafíos que impactan su rendimiento y eficacia.

En Compañía Minera Antapaccay (C.M.A.), al momento de realizar el movimiento de tierras sale a superficie aguas subterráneas, dado que el proyecto se desarrolla en un complejo sistema de manantiales y aguas subterráneas, para la contención de estas aguas es necesario la construcción de pozas en alrededores de la mina, para luego llevarlas a un tratamiento, o en todo caso a las pozas de relave en mina, con la construcción del nuevo proyecto Integración Corocchohuayco van a salir a superficie grandes cantidades de agua subterránea, dado que el nivel freático del proyecto se encuentra cercano a la superficie y la generación de aguas va ser continua y se van a tener que acumular en pozas cercanas ya que la poza de relaves se encuentra a una

distancia considerable y la construcción de una tubería tomaría tiempo, sobre todo ya que se van a realizar trabajos de desbroce y la construcción de pozas de sedimentación tiene que ser inmediata.

En especial ya que se tiene como referencia la rampa 4100 de exploraciones donde se tiene presencia de agua subterránea, lo que puede generar dificultades al momento de realizar el movimiento de tierras, para lo cual es necesario la creación de pozas de sedimentación y el uso de cisternas de succión con sistemas de bombeo de mayor eficiencia y mayor capacidad para el traslado de aguas a relave por esos motivos se desarrolla el presente estudio, para poder tener un alcance de todos los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto y la evacuación de las aguas, ya que también se tiene en mente la creación de un túnel para la faja transportadora lo cual también va generar succión de lodos y aguas.

La contrata Inversiones Merma S.A.C. de la compañía Minera Antapaccay viene ejecutando trabajos de succión traslado y descarga de aguas y lodos empleando camiones cisterna, desde las pozas de sedimentación del proyecto integración Corocchohuayco, hacia la relavera principal del proyecto minero Antapaccay (Ex tajo Tintaya), en donde se identifican los siguientes problemas:

- Baja eficiencia de bombeo. Que ocasionan dificultades para alcanzar el caudal deseado, los tiempos de succión y descarga son prolongados y la acumulación de sedimentos dentro del tanque del camión cisterna es constante.
- Riesgos de seguridad. Se generan fugas y derrames de aguas y lodos durante el proceso de bombeo y transporte del material, que presentan un riesgo para la salud de los trabajadores, medio ambiente y posibles conflictos sociales,

- Disminución del volumen de carga líquida transportado de los camiones cisterna al 80%, por lo tanto, no se cumple la planificación diaria del traslado de volúmenes del material y esto afecta directamente a costos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿En qué medida el plan de mejora optimiza el sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Corocohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida el factor económico del plan de mejora influye en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Corocohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.?
- ¿En qué medida el factor técnico del plan de mejora influye en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Corocohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio aporta información a los aspectos relacionados a la succión de aguas en superficie y como poder mejorar en el proceso de minado, así también aportara a diferentes áreas para que así pueda complementar más información.

1.3.1. Objetivo general

- Determinar en qué medida el plan de mejora optimiza el sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar en qué medida el factor económico del plan de mejora influye en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.
- Determinar en qué medida el factor técnico del plan de mejora influye en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La consecuente generación de tiempos muertos, reducción de la capacidad de carga del camión cisterna al 90%, la generación de los derrames en carretera y su consecuencia de conflicto

social, la constante acumulación de sedimentos dentro del tanque de los camiones cisternas en las operaciones de succión, transporte y descarga de lodos, y el incremento en los costos de operación y mantenimiento, generan dificultades en la prestación del servicio por parte de la empresa contratista Inversiones Merma S.A.C y por lo tanto ocasionan incumplimiento de las metas programadas por la gerencia de Recursos hídricos de la compañía Minera Antapaccay.

1.4.1. Relevancia

Esta investigación es relevante porque se enfoca en un punto neurálgico de la operación: el bombeo y traslado de aguas y lodos con camiones cisterna hacia/desde las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay. Mejorar este proceso impacta en lo que realmente importa en campo: menos paradas, ciclos más ordenados, costos controlados y un manejo más seguro del material. En términos simples, permite trabajar con mayor continuidad y menor exposición a incidentes.

Además, el plan de mejora aterriza en la práctica para Inversiones Merma S.A.C.: estandariza tareas, facilita el control operativo y ayuda a tomar decisiones con datos (rutas, tiempos, rendimientos). El resultado esperado es claro: mayor eficiencia y competitividad, cumpliendo a la vez con criterios de seguridad que la operación exige.

1.4.2. Implicancia social

La investigación tiene implicancia social porque ordena y hace previsible el traslado de aguas y lodos con camiones cisterna desde las pozas de lodos hacia la Relavera Tintaya en el Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, lo que favorece mayor estabilidad contractual (mejores términos y plazos), mejora la planificación de pagos a proveedores (combustible, mantenimiento, neumáticos, capacitación) y facilita acuerdos de largo plazo; en consecuencia, se generan empleos locales más estables, mayor formalización de subcontratas y

condiciones para la reinversión en flota y talleres en la zona, fortaleciendo el tejido económico del entorno sin depender de medidas asistencialistas.

1.4.3. Implicancias practicas

Los resultados de esta investigación permitieron implementar un plan de mejora basado en tecnologías eficientes, procedimientos optimizados y mejores prácticas en el manejo de aguas y lodos en la minería.

1.4.4. Implicancia teórica

La implicancia teórica de esta investigación se orienta a enriquecer el conocimiento sobre la trazabilidad y gestión del transporte de materiales en operaciones mineras, en este caso aplicado al traslado de aguas y lodos con camiones cisterna desde las pozas hacia la Relavera Tintaya en el Proyecto Integración Corocchohuayco de la Unidad Minera Antapaccay. El estudio permite comprender cómo un servicio de este tipo puede analizarse desde un enfoque de factibilidad operativa y empresarial, aportando referencias útiles para futuras investigaciones sobre eficiencia en servicios contratistas, estabilidad de procesos logísticos y modelos de gestión aplicables a otras unidades mineras con condiciones similares.

1.4.5. Utilidad metodológica

En términos metodológicos, la investigación servirá como referencia para futuras optimizaciones en el manejo de aguas y lodos en la industria minera. Se desarrolló un modelo de análisis que podrá ser replicado en otras unidades mineras o sectores industriales con necesidades similares. Asimismo, la metodología utilizada para la evaluación del sistema de bombeo, la identificación de problemas y la propuesta de soluciones fue un referente valioso para estudios posteriores en ingeniería minera y de procesos.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Delimitación espacial

La investigación se desarrolló en la Unidad Minera Antapaccay S.A., ubicada en la provincia de Espinar, región Cusco, Perú. La empresa contratista Inversiones Merma S.A.C. realiza labores en distintas zonas de la operación minera; sin embargo, el presente estudio se delimita únicamente al sistema de bombeo y transporte de aguas y lodos con camiones cisterna desde las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco hacia la Relavera Tintaya. El análisis se centra exclusivamente en las actividades de carga, traslado y descarga en este tramo específico, considerando las condiciones operativas propias del área de intervención.

1.5.2. Delimitación temporal

El estudio se llevó a cabo durante el año 2024, con un periodo de análisis que abarcó desde la evaluación del sistema actual hasta la implementación y seguimiento de las mejoras propuestas. La recopilación de datos y diagnóstico inicial se realizó en el primer semestre del año, mientras que la aplicación del plan de mejora y la evaluación de su impacto se ejecutó en el segundo semestre, permitiendo validar la efectividad de las estrategias implementadas.

1.5.3. Limitaciones

La principal limitación de la investigación fue que las condiciones de operación del sistema dependieron directamente de la dinámica productiva de la Unidad Minera Antapaccay, por lo que no pudieron ser controladas por el investigador. Variables como el volumen diario de aguas y lodos generados, la densidad y concentración de sólidos, la presencia de aguas subterráneas y la programación de evacuación variaron de acuerdo con el avance de las operaciones mineras.

Asimismo, el estudio se limitó al proceso de succión de aguas y lodos en las pozas de sedimentación, su transporte mediante camiones cisterna y su descarga en la Relavera Tintaya. No

se intervino en los procesos de generación de lodos ni en la planificación general de la operación minera.

A pesar de estas limitaciones, la evaluación se realizó bajo condiciones reales de operación durante el año 2024, lo que permitió comparar el desempeño del sistema antes y después de la implementación del plan de mejora.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

- La implementación del plan de mejora optimiza significativamente el sistema de bombeo de agua y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.

1.6.2. Hipótesis específicas

- El factor económico del plan de mejora influye significativamente en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna, mediante la reducción del costo unitario del servicio, en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.

- El factor técnico del plan de mejora influye significativamente en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna, mediante la mejora de la eficiencia operativa del sistema en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.

1.7. VARIABLES E INDICADORES

1.7.1. Identificación de Variables

Variable 1:

Plan de mejora

Variable 2:

Sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna.

1.7.2. Operacionalización de las variables

Figura 1

Operacionalización de las variables

Variable	Tipo	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores / componentes del plan
Plan de mejora	Independiente	El plan de mejora está orientado a la optimización de procesos, tiempos de operación y gestión adecuada, mediante la implementación de estrategias sistemáticas que permitan corregir deficiencias y aumentar la eficiencia.	Mejora técnica	- Implementación de sistema de bombeo con bomba de vacío (Antes/Después) - Reemplazo de la cisterna Volvo 443 por Mercedes Benz MT7089 (Antes/Después).
			Gestión Operativa	- Codificación de unidades (SI/NO) - Registro individual de producción. - Control operativo por unidad.



Variable	Tipo	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna	Dependiente	El sistema de bombeo de lodos permite evacuar aguas y sólidos en suspensión hacia la Relavera Tintaya, reduciendo obstrucciones y costos asociados al transporte.	Desempeño técnico	-Tiempo de succión (minutos). - Caudal de succión (m ³ //min.). - Tiempo promedio por ciclo (minutos). - disponibilidad mecánica (Según Método ASARCO %) - días detenidos por mantenimiento (días).
			Desempeño operativo	- Producción mensual (m ³ //mes) - Cumplimiento de la meta mensual (Nro. de meses)
			Desempeño económico	- Costo total mensual (S/. /mes) - Costo unitario (S/. / m ³) - Reducción de costo unitario (%)

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

- Semiyaga et al. (2022) “**Adequacy of vacuum and non-vacuum technologies for emptying faecal sludge from informal settlements of Kampala City**” Artículo científico publicado en Habitat International, desarrollado por Makerere University – Kampala / Uganda.

El estudio tuvo como objetivo comparar tecnologías de vacío y no vacío para la extracción y transporte de lodos, evaluando tiempos de operación, características del material y costos. La metodología comprendió 111 cuestionarios, de los cuales 78 correspondieron a tecnologías de vacío y 33 a tecnologías no vacío, además del seguimiento de 37 eventos de vaciado durante 16 semanas y la caracterización de muestras de lodo. Los resultados mostraron que la succión mediante vacío presentó una mediana de 16,5 min frente a 120 min con tecnologías no vacío,

mientras la tasa de extracción fue de 150–300 L/min para vacío y 9,7 L/min para sistemas no vacío; el tiempo máximo desde la preparación hasta la descarga fue de 3,6 h y 6 h, respectivamente. Los camiones de vacío realizaron más de 3 viajes/día frente a 1–2 viajes/día de los sistemas no vacío; las capacidades evaluadas estuvieron entre 2 y 14 m³ y el 88,5 % de los camiones llegó a descarga con la capacidad completa. Asimismo, un camión de 10 m³ requirió 10 min para descargar y unidades de 2–5 m³ alrededor de 5 min, con un promedio de descarga de 8,6 min frente a 33,6 min en tecnologías no vacío. En el análisis económico, la inversión inicial fue de US\$ 21 857,92 para vacío y US\$ 5 237,70 para no vacío; sin embargo, los costos anuales de operación y mantenimiento fueron menores en el sistema de vacío, con US\$ 88 615,90 frente a US\$ 107 208,20.

- Portioli et al. (2021) **“Development of trash exclusion for mechanized pit latrine emptying”** Artículo científico publicado en Environmental Science: Water Research & Technology, desarrollado por North Carolina State University y entidades colaboradoras – Raleigh / Estados Unidos y Kisumu / Kenia.

La investigación tuvo como objetivo desarrollar y evaluar un sistema mecanizado de extracción de lodos mediante vacío que mantuviera el flujo aun con presencia de sólidos y materiales capaces de generar obstrucciones. La metodología se basó en pruebas experimentales con una bomba de vacío Condé ProVac 3 conectada a un tanque de 90 L, utilizando mezclas de bentonita entre 0 y 12 % de sólidos, variando presión de vacío y velocidad de rotación, y complementando las pruebas con ensayos de campo en Kisumu. Los resultados mostraron que con presiones superiores a 203 mmHg fue posible mantener caudales mayores a 1,5 L/s; a 550 rpm y 381 mmHg se obtuvo un caudal promedio de 3,46 L/s con agua y 2,42 L/s con lodo de 9 % de sólidos. El sistema alcanzó caudales máximos de 3 a 4,5 L/s para lodos húmedos con menos de 12 % de sólidos, mientras que en campo se verificó que los lodos espesos de aproximadamente 15 %

de sólidos redujeron significativamente el rendimiento debido a obstrucciones, evidenciando que la concentración de sólidos condiciona directamente la eficiencia de succión por vacío.

- Mallory (2018) **“Designing sustainable faecal sludge treatment systems for small cities in Sub-Saharan Africa”** Tesis para optar al grado de Doctor of Philosophy, presentada en la University of Edinburgh – Edinburgh / Reino Unido.

La investigación tuvo como objetivo analizar alternativas sostenibles para la gestión de lodos en pequeñas ciudades de África subsahariana, incorporando dentro del sistema la recolección y transporte mediante camiones de vacío. La metodología utilizó estudios de caso en Sunyani, Ghana, y Mzuzu, Malawi, combinando entrevistas a operadores, análisis cuantitativo de viajes, capacidad de los vehículos y modelamiento del sistema. Para estimar el volumen transportado se consideró una capacidad aproximada de 10 m³ por camión y se multiplicó dicha capacidad por el número mensual de viajes reportados por las empresas operadoras. Los resultados estimaron 167 viajes/mes en temporada seca, equivalentes a 1 670 m³/mes, y 187 viajes/mes en temporada húmeda, equivalentes a 1 870 m³/mes; el autor precisó que estos valores eran aproximados porque asumían que las cisternas operaban al 100 % de su capacidad, por lo que el número de viajes y la capacidad efectiva del tanque fueron identificados como factores determinantes del volumen mensual de lodos transportado.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

- Sullcarani (2021) **“Evaluación del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad – Unidad Minera Huancapeti - Ancash”** Tesis para optar al título profesional de Ingeniero de Minas, presentada en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – Cusco / Perú.

La investigación tuvo como objetivo evaluar técnica y económicamente el abastecimiento de 178 200 L/día de agua industrial mediante camión cisterna y sistema de bombeo centrífugo en la Unidad Minera Huancapeti. La metodología consideró el cálculo de los tiempos de llenado, traslado, descarga y retorno del camión cisterna, así como caudal, pérdidas hidráulicas, altura dinámica total, selección de bomba y análisis económico de ambas alternativas; el recorrido del camión fue de 4,17 km y la capacidad efectiva utilizada alcanzó 17 034,30 L por descarga. Los resultados determinaron un tiempo operativo de 10,76 h/guardia para el sistema con camión cisterna y 0,99 h/guardia para la alternativa de bombeo, diseñada para un caudal de 25 L/s; económicamente, el costo anual fue de US\$ 147 000 para el uso de cisterna y US\$ 93 916,92 para el sistema de bombeo, obteniéndose costos unitarios de US\$ 2,30/m³ y US\$ 1,46/m³, respectivamente, evidenciando una diferencia de US\$ 0,84/m³ a favor del sistema de bombeo.

- Tenorio (2015) **“Tratamiento de Lodos de Perforación Mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión, Distrito de Huallanca, Región Ancash, 2015”** Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Ambiental, presentada en la Universidad José Carlos Mariátegui – Moquegua / Perú.

La investigación tuvo como objetivo evaluar el tratamiento de lodos generados durante la perforación diamantina mediante un sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión. La metodología empleó un diseño experimental completamente al azar, evaluación en tres puntos de muestreo y análisis estadístico mediante ANOVA y prueba HSD de Tukey con un nivel de significancia de 0,05, considerando parámetros físicos y químicos del lodo antes y después del tratamiento. El sistema utilizó tubos de geotextil de aproximadamente 9,10 m de circunferencia, 4 m de ancho, 7 m de largo, 1,5 m de altura y

capacidad aproximada de 40 m³. Los resultados mostraron que los sólidos totales suspendidos disminuyeron de 6 219 mg/L en el lodo sin tratamiento a 3,95 mg/L y 2,80 mg/L después del tratamiento; el análisis ANOVA obtuvo $F = 11\,096,103$ y $p = 0,000$, evidenciando diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones evaluadas. Asimismo, para el pH se obtuvo $p = 0,022$ y para la conductividad eléctrica $p = 0,000$, confirmándose la efectividad del sistema en la separación de sólidos y recuperación de agua durante el tratamiento de lodos de perforación.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. *Plan de mejora*

Deming (1986). Un plan de mejora es la fase Plan del ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), que convierte problemas observados en hipótesis de cambio verificables. Inicia con la definición operacional del problema (línea base, variabilidad, metas cuantificadas), sigue con el análisis de causas sustentado en datos (gráficos de control, diagramas causa-efecto) y culmina estableciendo contramedidas y un plan de medición que permitió comprobar si el cambio constituye una mejora real. Para Deming, el valor del plan no es solo listar actividades, sino diseñar aprendizaje: cada acción propuesta debe ir asociada a una predicción explícita y a una métrica que confirme o refute esa predicción en la fase Do/Check, cerrando el bucle con estandarización o ajuste (Act). Así, el plan de mejora es un mecanismo iterativo que reduce la variación, eleva la capacidad del proceso y establece una disciplina de mejora continua.

Juran & Gryna (1993). El plan de mejora es la respuesta estructurada a necesidades del cliente (interno o externo) que la organización aún no satisface con suficiencia. Se compone de cinco elementos: (1) diagnóstico de brechas de calidad y de proceso; (2) metas específicas y medibles (calidad, costo, tiempo); (3) diseño o rediseño de procesos capaces de alcanzar las metas; (4) asignación explícita de recursos y responsabilidades; y (5) mecanismos de control para sostener

los resultados. Insertado en la Trilogía de Juran (planificación–control–mejora), este plan transforma la intención en ejecución al traducir la voz del cliente en requisitos técnicos, conectando indicadores de resultado (KGI) con indicadores de proceso (KPI) y definiendo la trazabilidad entre acciones, responsables y efectos observados.

Hammer & Champy (1993). Cuando las brechas son estructurales, cuellos de botella crónicos, costos desproporcionados, tiempos incompatibles con la demanda, el plan de mejora debe adoptar una lógica de reingeniería: no optimizar pasos aislados, sino repensar el proceso extremo a extremo. En este enfoque, el plan parte del mapeo del flujo actual (qué, quién, cuándo, con qué información), cuestiona supuestos (¿por qué existe este paso?, ¿qué valor agrega?) y propone un diseño radical del flujo futuro apoyado en tecnología, roles y reglas nuevas. El documento de plan no es una lista incremental de tareas; es una hoja de ruta de transformación con hitos, cambios de gobernanza, gestión del cambio y criterios de éxito (coste, calidad, servicio, velocidad) que buscan saltos de desempeño imposibles de lograr con ajustes marginales.

ISO 9001 (2015). En el marco de la gestión de la calidad, un plan de mejora es una exigencia normativa para tratar oportunidades de mejora, no conformidades y riesgos asociados (cláusula 10). El plan debe especificar: contexto y alcance, causas de los desvíos, acciones para eliminarlas o mitigarlas, responsables, plazos, recursos y el método para evaluar la eficacia (evidencias, indicadores, registros). Además, integra la perspectiva de gestión de riesgos (pensamiento basado en riesgos) y la retroalimentación de clientes y partes interesadas, asegurando que las mejoras se documenten, verifiquen y estandaricen. En consecuencia, el plan de mejora bajo ISO 9001 se convierte en un instrumento auditable y trazable, alineado con la política y objetivos de la calidad, y con capacidad para sostener resultados en el tiempo.

Un plan de mejora es una forma ordenada de probar y consolidar cambios en la operación: primero fijamos la línea base y la meta, luego aplicamos el cambio propuesto, comparamos los resultados con lo esperado y, si funciona, lo estandarizamos para que se mantenga en el tiempo. En este estudio, ese enfoque se refleja en usar la bomba de vacío y ajustes operativos, medir antes—después (tiempos, viajes, disponibilidad, costo/m³) y dejar procedimientos claros para asegurar la mejora continua.

2.2.2. Lodos

Rodríguez (2020) indica que: “En ingeniería de minas, los lodos son considerados residuos de carácter semilíquido que deben manejarse mediante procesos de sedimentación, filtrado o transporte mecánico, ya que su inadecuado control representa riesgos ambientales, operativos y de seguridad” (p. 31).

Los lodos son un fluido semisólido formado por agua y partículas finas de proceso minero que, por su densidad y viscosidad, necesita pozas de sedimentación y equipos de bombeo específicos para succionar, trasladar y descargar sin obstrucciones ni derrames, minimizando impacto ambiental y riesgos en la operación.

2.2.2.1. Pozas de lodo

Las pozas de lodos de mina, también conocidas como estanques de lodo, son estructuras utilizadas en la industria minera para la sedimentación y almacenamiento de residuos de mineral.

Vick (1990), una poza de lodos (o depósito/estanque de relaves) es una instalación de ingeniería destinada a confinar y decantar los residuos finos del procesamiento mineral, favoreciendo la sedimentación de sólidos, la recuperación de agua y el control de efluentes para su manejo seguro dentro de la operación minera.

2.2.3. Sistema de bombeo

Stepanoff (1957). Considerado uno de los pioneros en el estudio de bombas centrífugas, define un sistema de bombeo como el conjunto integrado de bombas, tuberías, accesorios y dispositivos de control, cuya función es transformar energía mecánica en energía hidráulica para desplazar un fluido desde un punto de menor presión a otro de mayor presión. Destaca que la eficiencia de un sistema no depende solo de la bomba, sino de la interacción hidráulica con las pérdidas por fricción, altura manométrica total y caudal requerido, lo que obliga a diseñar el plan de bombeo considerando las curvas características del equipo y la red hidráulica.

Karassik et al. (2001). En el Pump Handbook, un sistema de bombeo se define como la infraestructura completa para el transporte de fluidos, abarcando la selección del tipo de bomba (centrífuga, de desplazamiento positivo, de vacío, neumática, entre otras), el dimensionamiento de tuberías, válvulas, accesorios y la instrumentación para su operación segura. Estos autores recalcan que el éxito de un sistema se mide en términos de capacidad (caudal), confiabilidad (tiempo de operación), eficiencia energética (kWh/m³) y facilidad de mantenimiento, siendo indispensable un diseño integral que considere tanto la hidráulica como las condiciones operativas del medio (viscosidad, sólidos, temperatura).

Sanks (2008). Desde una perspectiva de ingeniería aplicada, el sistema de bombeo es definido como el medio mecánico para controlar el nivel y flujo de líquidos en sistemas industriales y mineros, donde la configuración depende de la naturaleza del fluido (agua limpia, aguas residuales, lodos, pulpas). Resalta la importancia de las curvas de operación (sistema vs. bomba) y de la redundancia de equipos para garantizar continuidad. En el caso de lodos y pulpas mineras, señala que el sistema debe incluir revestimientos antiabrasivos, bombas de vacío o diafragma para succión y sistemas de sellado robustos, que soporten sólidos en suspensión y alta densidad.

Hydraulic Institute (2016). Define un sistema de bombeo como un conjunto coordinado de equipos hidráulicos diseñado para satisfacer requerimientos de caudal y presión bajo condiciones específicas de operación. Subraya que un sistema moderno no solo traslada fluidos, sino que incorpora automatización, variadores de frecuencia, sensores de presión/caudal y sistemas SCADA para optimizar el rendimiento, reducir consumo energético y anticipar fallas mediante mantenimiento predictivo. En minería, destaca que los sistemas de bombeo son vitales para el control de aguas subterráneas, drenaje de galerías, transporte de pulpas y gestión de lodos, constituyéndose en un componente crítico de la operación y seguridad minera.

Un sistema de bombeo es la combinación de equipos e infraestructura que permite succionar, transportar y descargar lodos de forma segura y eficiente, ajustando la selección de bomba, tubería y control a la densidad/viscosidad del lodo y a la altura y distancia del recorrido, con monitoreo de caudal/presión para mantener disponibilidad y reducir costo por m³.

2.2.3.1. Bomba

Aguilar, et al (1997) dice: “Es una máquina fluidica y generadora que recibe energía mecánica de un actuador y la transfiere a un fluido para aumentar su energía mecánica y de presión con el fin de moverlo de un lugar a otro”. (p.53)

2.2.3.2. Equipo de bombeo

Viejo & Alvarez (2004), “Un equipo de bombeo actúa como un convertidor de energía. recibe energía mecánica de un motor eléctrico, una fuente termoeléctrica u otra fuente y la convierte en energía que el fluido puede utilizar como presión, altura o velocidad.” (p. 13)

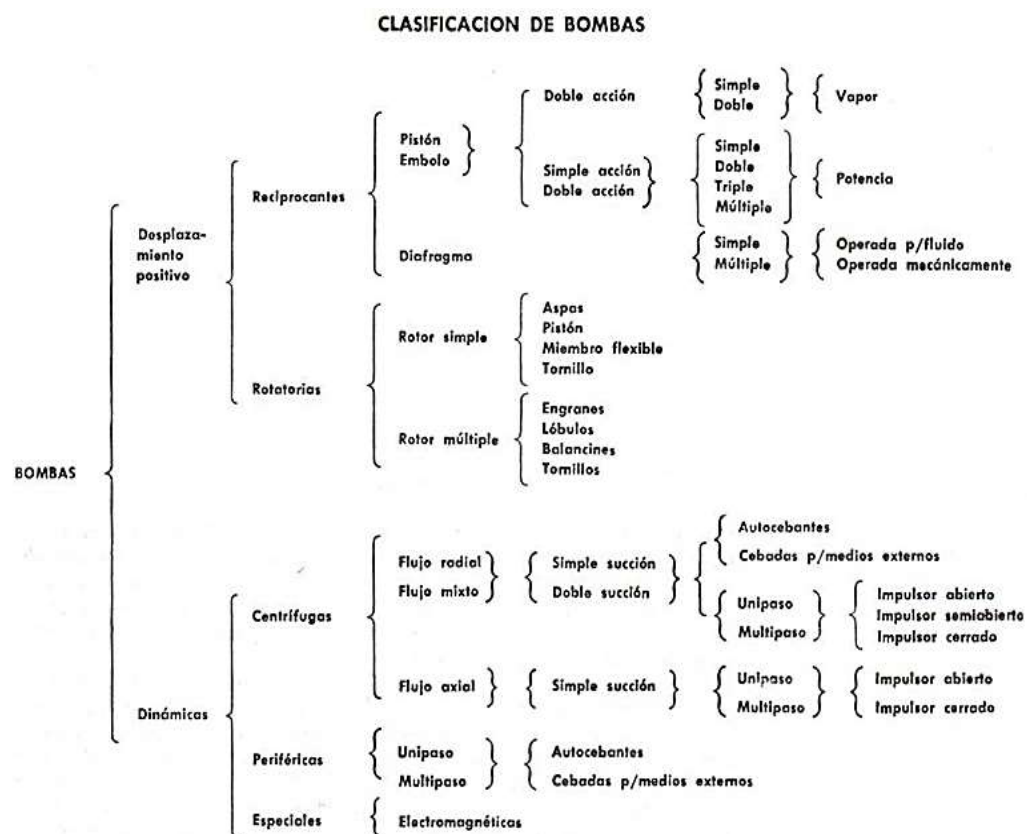
2.2.3.3. Clasificación de bombas

En el mercado actual existen variedad de tipos de bombas, según a la necesidad del trabajo sin embargo es muy conveniente hacer una adecuada clasificación.

Viejo & Alvarez (2004) Se utilizó el libro "Instituto Hidráulico" para clasificar las bombas. Debido a que El instituto mencionado se ocupa de mantener los llamados "estándares" y cuenta entre sus miembros con más de 50 empresas fabricantes de equipos de bombeo en todo el mundo la siguiente clasificación se muestra a continuación.

Figura 2

Clasificación de bombas



Fuente: Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones Viejo & Alvarez (2004).

2.2.3.4. Bomba de vacío

Rodríguez, D. A. (2022) afirma que una bomba de vacío es un dispositivo que toma gas de un recipiente, circuito de tubería o proceso a través de una conexión de entrada y lo expulsa a través de una conexión de salida para crear un vacío parcial.

2.2.3.5. Vacío

Rodríguez, D. A. (2022) afirma que el término "vacío" se refiere a la ausencia de gases en un área donde la presión es menor a la presión atmosférica.

2.2.3.6. Clasificación de bombas de vacío

Rodríguez, D. A. (2022) cita a Bannwarth (2005) quien clasifica las bombas de vacío de la siguiente manera:

- ***Bombas de vacío de desplazamiento positivo***

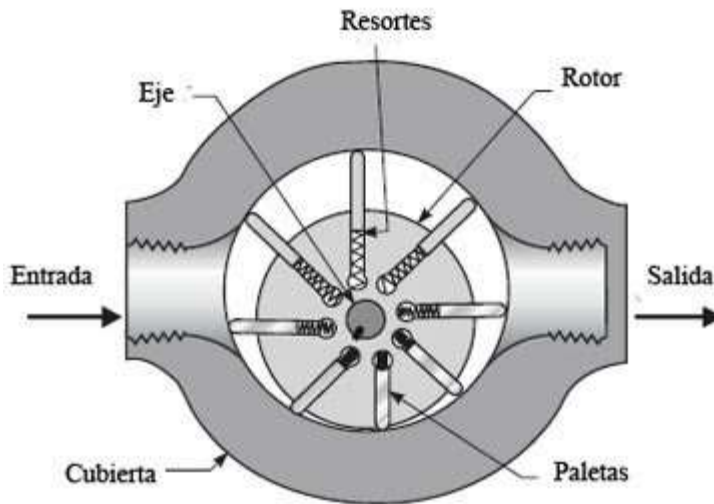
Son equipos que generan vacío creando cámaras de volumen variable donde el gas es encerrado, expandido y desplazado mecánicamente desde la admisión hacia la descarga, sin depender de efectos inerciales. Cada ciclo “toma–traslada–expulsa” reduce la presión en la línea/recipiente y produce un caudal casi proporcional a la velocidad de giro (con ligeras pérdidas por fugas internas). Se caracterizan por alto vacío a bajas presiones absolutas, buena capacidad de arranque y estabilidad frente a variaciones de carga.

Principio de funcionamiento: el rotor o el pistón delimita compartimentos que sellan el gas, lo mueven hacia la salida y lo liberan; el sellado puede lograrse por paletas deslizantes, pistón/diafragma, lóbulos, tornillos o anillo líquido. Al no haber intercambio libre como en bombas dinámicas, mantienen vacío útil aun con contrapresión moderada.

La rotativa de paletas lubricada instalada en la cisterna actúa como fuente de vacío para llenar el tanque desde pozas de lodos de alta densidad. Su capacidad (p. ej., 343–407 CFM y 20–22"Hg continuo) permite reducir tiempos de succión y estabilizar el caudal, disminuyendo sobreesfuerzos en válvulas y mangueras, y elevando la disponibilidad del sistema.

Figura 3

Diagrama de Bomba de Vacío de Desplazamiento Positivo



Fuente: [googleusercontent.com](https://www.googleusercontent.com)

Existen otras bombas en el mercado que a continuación se mencionan y también se podrían usar para el bombeo de lodos, pero para la presente investigación se ha utilizado solo la bomba de vacío de desplazamiento positivo

- **Bomba de vacío de anillo líquido**
- **Bomba de vacío de paletas deslizantes**
- **Bomba de vacío multicelular**
- **Bomba de vacío roots**
- **Bomba de vacío de embolo rotativo**
- **Bomba de vacío de chorro de líquido**

2.2.3.7. Camión cisterna

Revista Fuso (2020), afirma que un camión cisterna, también denominado vehículo cisterna es un vehículo de motor creado para trasladar de manera segura cargas líquidas o gases por las vías de comunicación. Los camiones cisterna están preparados para soportar cargas sencillas o variadas (frecuentemente a través de divisiones internas en su depósito). Incluso, existen aquellos que pueden ser semirremolques o tener una estructura recta. Varían en su dimensión, estructura y capacidad para soportar carga.

Figura 4

Camión cisterna



Fuente: Elaboración Propia

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Optimización:** Proceso de mejorar el sistema como un todo no maximizar partes aisladas mediante la reducción de la variación y el aprendizaje cíclico PDCA que es un ciclo de gestión para la mejora continua desarrollado por W. Edwards

Deming, que permite planificar, ejecutar, verificar y estandarizar mejoras en los procesos de manera sistemática y basada en datos, con decisiones basadas en datos y orientadas al propósito y al cliente; lo que funciona se estandariza, evitando la suboptimización que deteriora el desempeño global (Deming, 1986; 1993).

- **Plan de mejora:** Es el paso Plan del ciclo PDCA: convertir un problema en una hipótesis de cambio medible, fijar línea base y metas, analizar causas y definir cómo se medirá la efectividad del cambio para confirmar si es una mejora real (Deming, 1986).
- **Sistema de bombeo:** Es el aquel sistema que cuenta con diversas partes que hacen posible el recorrido mediante tuberías, así como también el acopio eventual de líquidos, permitiendo que las especificaciones de caudal y presión sean cumplidas en los procesos. (Revista Geohidraulica, 2023)
- **Bombas de vacío:** Una bomba de vacío es un equipo diseñado para reducir la presión dentro de un contenedor o sistema cerrado, creando un vacío parcial o completo. Este proceso implica la eliminación de moléculas de aire y otros gases, lo que permite alcanzar presiones inferiores a la atmosférica. (Revista Armotec, 2023)
- **Camión cisterna:** Un camión cisterna, conocido también como camión de gas o camión de combustible, es un vehículo de motor que ha sido diseñado para transportar cargas líquidas o gases a través de las carreteras de forma segura. Hay muchos tipos diferentes de estos camiones cisterna que existen en la actualidad debido a la amplia variedad de líquidos que deben transportarse. (Revista Fuso , 2020)

- **Mejora continua:** Es la práctica de aprender iterativamente con Planificar–Hacer–Verificar–Actuar: probar cambios, verificarlos con datos y estandarizar lo que funciona, repitiendo el ciclo para reducir la variación y aumentar la capacidad del proceso (Deming, 1986).
- **Equipo de bombeo:** Los equipos de bombeo son dispositivos diseñados para transportar líquidos de un lugar a otro, generando un flujo controlado mediante la aplicación de energía mecánica. Estos equipos son esenciales en una variedad de aplicaciones industriales, agrícolas, comerciales y domésticas, ya que permiten el movimiento eficiente de líquidos, como agua, productos químicos, petróleo, y otros fluidos.
- **Factores económicos:** Conjunto de variables del sistema que determinan el costo total y la sostenibilidad del desempeño: variación del proceso (y su costo de mala calidad), calidad del diseño y del suministro, enfoque en costo de ciclo de vida (no solo precio), productividad derivada de la mejora continua (reacción en cadena), inversión en personas/aprendizaje y relaciones de largo plazo con proveedores; su gestión integrada (PDCA) reduce costos, estabiliza el proceso y eleva la participación de mercado. (Deming, 1986; 1993)
- **Factores técnicos:** Conjunto de condiciones y características técnicas del sistema de bombeo que influye en su desempeño operativo. En la presente investigación comprende la incorporación de una bomba de vacío, la reducción del tiempo de succión, el incremento del caudal, la disminución del tiempo por ciclo, la mejora de la disponibilidad mecánica y la reducción de los días detenidos, aspectos que

contribuyen a optimizar el sistema de bombeo y transporte de aguas y lodos con camiones cisterna. (Deming, 1986; elaboración propia)

- **Eficiencia Operativa:** La eficiencia operativa es un concepto fundamental en el ámbito empresarial que se refiere a la capacidad de una organización para utilizar de manera óptima sus recursos y procesos con el fin de lograr resultados superiores. Es un factor clave que influye en la rentabilidad y el éxito a largo plazo de una empresa. (Baena, 2023)
- **Costos operativos:** Los costos operativos de una empresa son aquellos en los que estas incurren una vez realizada la inversión inicial y que existen mientras el negocio está en funcionamiento y desarrollo. (Revista DocuSign, 2025)

CAPÍTULO III:

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación es de enfoque cuantitativo, pues se sustenta en la medición de variables operativas y económicas mediante datos numéricos provenientes de los registros de Inversiones Merma S.A.C. en la Unidad Minera Antapaccay – Proyecto Integración Coroccohuyco; se emplean indicadores como tiempo de succión, viajes por día, volumen mensual transportado, disponibilidad mecánica y costo por m³ para comparar objetivamente el desempeño antes y después del plan de mejora (incorporación de bomba de vacío y estandarización del método). En términos metodológicos, acorde con Hernández Sampieri et al. (2021), el enfoque cuantitativo implica operacionalizar variables, recolectar información con instrumentos estandarizados y los costos del sistema de bombeo en camiones cisterna.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación es descriptivo–explicativo. Es descriptivo porque, como señala Hernández Sampieri et al. (2021), este nivel “especifica propiedades, características y perfiles” de los fenómenos; en la tesis se caracteriza la línea base del sistema de bombeo en camiones cisterna (tiempos de succión/descarga, acumulación de sedimentos, fallas, disponibilidad y costo por m³). Es explicativo porque, siguiendo a Hernández Sampieri et al. (2021), busca identificar causas y probar hipótesis; aquí se evalúa la relación causa–efecto entre el plan de mejora (bomba de vacío y estandarización) y los cambios en KPIs/KGIs (tiempo por ciclo, viajes/día, volumen mensual, disponibilidad y costo unitario) mediante comparación antes–después y análisis estadístico para estimar el efecto de la tecnología de vacío sobre la eficiencia y los costos del servicio.

3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es no experimental, de corte transversal y comparativo, debido a que las variables fueron observadas en su contexto real, sin manipulación directa por parte del investigador. El estudio se delimitó al año 2024 como único periodo de análisis, considerando dentro de este corte temporal dos etapas comparativas: enero–junio, correspondiente a la situación antes de la implementación del plan de mejora, y julio–diciembre, correspondiente a la situación después de su implementación. La comparación permitió evaluar las variaciones en los indicadores técnicos, operativos y económicos del sistema de bombeo y transporte de aguas y lodos del servicio Corocchohuayco–Relavera Tintaya, sin realizar seguimiento posterior al periodo de estudio.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. *Unidad de análisis*

La unidad de análisis estuvo constituida por cada ciclo operativo de bombeo y transporte de aguas y lodos realizado mediante camión cisterna, comprendiendo las etapas de succión, transporte, descarga y retorno de la unidad.

3.4.2. *Población*

La población estuvo conformada por la totalidad de los ciclos operativos de bombeo y transporte de aguas y lodos atendidos por Inversiones Merma S.A.C. dentro de la Unidad Minera Antapaccay durante el año 2024. Estos servicios comprenden diferentes zonas de la operación minera, entre ellas el fondo del Tajo Norte, pozas de sedimentación y otras labores donde se requiere la evacuación y traslado de aguas y lodos mediante camiones cisterna.

3.4.3. *Muestra*

La muestra estuvo conformada específicamente por los ciclos operativos correspondientes al servicio de bombeo y transporte de aguas y lodos realizado desde las pozas del Proyecto Integración Corocchohuayco hasta la Relavera Tintaya durante el año 2024. Para el análisis comparativo, estos ciclos se agruparon en dos periodos: enero–junio de 2024, antes de la implementación del plan de mejora, y julio–diciembre de 2024, después de su implementación.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la presente investigación se utilizaron técnicas e instrumentos para la evaluación de las variables.

3.5.1. *Técnicas de recolección de información*

Siguiendo a Deming (1986), la recolección de datos se integra al ciclo PDCA: Planificar (Plan): se definen variables, fuentes e instrumentos, con definiciones operacionales y criterios de

calidad de dato. Hacer (Do): se ejecuta la observación directa y el análisis documental sobre los registros primarios de Antapaccay (base de m³ transportados, valorizaciones mensuales y guías de transportista/partes diarios de la Gerencia de Recursos Hídricos), capturando tiempos de succión/descarga, viajes/día, volumen mensual, disponibilidad y costo por m³ en formatos únicos. Verificar (Check): se validan y contrastan los datos, se revisan consistencias y se realiza el análisis antes–después para estimar el efecto del plan de mejora. Actuar (Act): con base en los hallazgos, se corrigen errores de captura, se estandarizan formatos y se documentan lecciones para el siguiente ciclo, asegurando trazabilidad y mejora continua de la medición.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Conforme a Deming (1986), los instrumentos se integran al ciclo PDCA con definiciones operacionales y formatos estandarizados. En Planificar (Plan) se especifican variables y codificación equipo–fecha–turno para tiempos de succión y descarga, viajes por día, volumen transportado, disponibilidad mecánica, costo por m³ y eventos de parada. En Hacer (Do) la captura proviene exclusivamente de fuentes documentales y operativas: partes diarios de operación, hojas de control de mantenimiento, vales/órdenes de trabajo, registros de tiempos y volúmenes, y valorizaciones administrativas. En Verificar (Check) los datos se validan por cruce y consistencia entre documentos, control de completitud y detección de atípicos. En Actuar (Act) se corrigen hallazgos, se estandariza la captura y se documentan lecciones para el siguiente ciclo. Estos instrumentos constituyen la fuente primaria del análisis cuantitativo del sistema de bombeo con camiones cisterna, asegurando trazabilidad y comparabilidad antes–después del plan de mejora.

3.5.3. Técnicas De Procesamiento De Datos

El procesamiento de los datos recolectados en la investigación se realizó mediante herramientas de ofimática y análisis estadístico orientadas a la evaluación de los indicadores de

eficiencia en el sistema de bombeo de lodos con camiones cisterna. Inicialmente, los registros obtenidos de los partes diarios, valorizaciones de servicio y reportes de operación fueron consolidados en hojas de cálculo digitales (Microsoft Excel), permitiendo organizar la información en tablas dinámicas y establecer filtros por unidad, turno y volumen transportado.

Posteriormente, se aplicaron técnicas de depuración de datos para eliminar registros incompletos, duplicados o inconsistentes, a fin de asegurar la confiabilidad de la base de análisis.

Una vez consolidada la información, se procedió a calcular indicadores clave como:

- Volumen total mensual transportado (m^3)
- Tiempo de succión, transporte y descarga (minutos por ciclo).
- Número de viajes diarios y mensuales por unidad.
- Disponibilidad mecánica y utilización efectiva de cada camión cisterna.
- Costos unitarios de transporte por metro cúbico.

Estos indicadores fueron comparados entre el periodo previo a la implementación del plan de mejora (bombas electrohidráulicas) y el periodo posterior (bomba de vacío en cisternas), lo que permitió establecer diferencias cuantificables en la eficiencia técnica y económica del servicio.

3.5.4. Plan de análisis de datos

El análisis se realizó en dos periodos comparables de la Unidad Minera Antapaccay – Proyecto Integración Coroccohuayco (operación de Inversiones Merma S.A.C.): enero–junio 2024 (línea base con bombas electrohidráulicas) y julio–diciembre 2024 (intervención con bomba de vacío en camión cisterna Mercedes-Benz, traslado desde pozas de lodos de Coroccohuayco hacia Relavera Tintaya). Las fuentes serán partes diarios, valorizaciones del servicio y reportes operativos de las dos unidades cisterna.

a) Descriptivo comparativo

Se medirán tiempo de succión, tiempo de ciclo (succión+transporte+descarga), viajes/día, m³/mes, disponibilidad mecánica (%) y costo por m³. Se presentarán barras antes–después y líneas mensuales para cada KPI, diferenciando Unidad A y Unidad B (camiones cisterna de la empresa).

b) Interpretación operativa y económica

Los resultados se traducirán en:

Operación: reducción de tiempos en succión/descarga en pozas de lodo, aumento de viajes/día y estabilización del flujo de evacuación hacia Relavera Tintaya.

Economía del contrato: variación de costo por m³ e ingreso (remuneración por volumen transportado según valorizaciones).

Seguridad/PETS: menor exposición y riesgo de derrame en succión/maniobras, coherente con el PETS de traslado de aguas y lodos.

Este plan permite demostrar, con base en los registros reales de Inversiones Merma S.A.C., que la implementación del sistema por vacío en el camión Mercedes-Benz mejora de forma medible la eficiencia técnica y los costos del servicio de bombeo/traslado de lodos en Corocchohuayco–Antapaccay.

Figura 5

Poza de lodos



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV:

PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS Y LODOS EN LOS CAMIONES

CISTERNA ANTES DE LA IMPLEMENTACION DEL PLAN DE MEJORAS

La ruta trazada del transporte de lodos se detalla en la siguiente figura:

Figura 6

Mapa de operaciones del servicio succión y traslado de lodos de las pozas de Coroccohuayco hacia relavera Tintaya (área 520)



Fuente: Elaboración Propia

Leyenda de la figura:

- Línea continua (color fucsia): Ruta de traslado de lodos en camiones cisterna.
- Punto de inicio: Megapozas Coroccohuayco (zona de succión de lodos).
- Punto de destino: Relavera Tintaya – Área 520 (zona de descarga).
- Símbolos circulares: Puntos de referencia operacional y control en ruta.

4.1.1. Equipamiento cisterna utilizado antes de la mejora

Previo a la implementación de mejoras, la evacuación de lodos en Coroccohuayco se realizaba mediante dos camiones cisterna con capacidad aproximada de 5 000 galones (aproximadamente a 19 000 L), equipados con bombas Electro Hidráulicas instaladas en el chasis, operados por Inversiones Merma S.A.C.:

Tabla 1

Flota de cisternas de Inversiones Merma S.A.C. - ANTES

Unidad	Marca	Modelo	Capacidad	Tipo de bomba	Año de fabricación estimado	OBS
Cisterna 1755	Hino	HINO FM 2835 Largo Serie 500	5 000 galones	Electro–hidráulica	2017–2018	Equipo Merma, que opera durante todo el año 2024.
Cisterna 443	Volvo	Volvo FM Series Water Tanker 6×4	5 000 galones	Electro–hidráulica	2016–2017	Equipo Merma, que es reemplazado al final del primer semestre del año 2024.

Fuente: Inversiones Merma S.A.C

Figura 7

Camión Cisterna Cód. 1755 - HINO FM 2835 Largo Serie 500



Fuente: Inversiones Merma S.A.C

Figura 8

Cisterna Cód. 443 - Volvo FM Series 6×4



Fuente: Inversiones Merma S.A.C

Figura 9

Bombas Electrohidráulicas usadas antes de la mejora



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10

Accionamiento del Operador en la cisterna



Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Incremento de tiempos del proceso de operación - Antes

El traslado de lodos mediante camiones cisterna constituye una operación crítica para el sostenimiento de la limpieza operativa en las zonas de trabajo de la unidad minera Corocohuayco. Durante el primer semestre del año 2024, el sistema estuvo conformado por dos camiones cisterna que en el estudio se les identificara por practicidad según su marca (Hino y Volvo), los cuales debían operar de manera coordinada para cumplir una meta mensual conjunta de 2 800 m³ de lodos evacuados. Sin embargo, se identificaron deficiencias técnicas y de gestión que ocasionaron un incremento sostenido en los tiempos del proceso de succión, traslado y descarga, afectando directamente la productividad global del sistema.

En su configuración original, cada unidad empleaba bombas Electro Hidráulicas como mecanismo de succión, las cuales requerían entre 45 y 60 minutos para llenar el tanque de 18.93 m³. A este tiempo se sumaban entre 30 y 45 minutos adicionales para el vaciado del contenido, generando ciclos operativos extendidos que reducían el número de viajes diarios por unidad. Como resultado, la cantidad de lodos transportada al final de cada mes dependía directamente de la disponibilidad técnica de ambos equipos y de la eficiencia individual de cada ciclo. En los meses de marzo y junio, por ejemplo, se registraron detenciones prolongadas del camión Hino (7.5 y 6.5 días respectivamente), lo cual repercutió negativamente en la capacidad del sistema para cumplir la meta establecida.

Además de las limitaciones técnicas, el sistema carecía de una codificación operativa clara por unidad, y los registros diarios de viajes y volúmenes evacuados eran manuales, lo que impedía realizar un seguimiento detallado del desempeño de cada camión. Esta falta de trazabilidad generaba incertidumbre sobre el cumplimiento real de metas parciales por equipo, dificultando la toma de decisiones en tiempo real. La ausencia de indicadores diarios, metas por turno y

reportabilidad digital limitó la capacidad de reacción ante cuellos de botella, tiempos muertos, fallas mecánicas o desbalances operativos entre los dos equipos.

En conjunto, estas deficiencias ocasionaron una baja sostenida en la productividad del sistema durante el primer semestre, con incumplimientos en los meses de enero, abril y junio. La imposibilidad de distribuir adecuadamente la carga operativa entre ambos camiones, sumada a los tiempos prolongados de succión y descarga, evidenció la necesidad de un rediseño técnico del sistema de bombeo, orientado a mejorar la eficiencia por ciclo, la confiabilidad del equipo y la trazabilidad operativa.

Tabla 2

Tiempo y caudal estimado de succión con bomba Electro Hidráulica

Tipo de bomba	Volumen succionado (m³)	Tiempo de llenado (min)	Caudal estimado (m³/min)	Observaciones
Electro Hidráulica	18.93	45 – 60	0.32 – 0.42	El tiempo varía según la densidad del lodo, influenciada por su contenido de sólidos y líquidos.

Fuente: Elaboración Propia

Figura 11

Registro fotográfico de succión de lodos



Fuente: Inversiones Merma S.A.C

4.1.3. Incumplimiento de metros cúbicos trasladados en camiones cisterna según programa

Durante la etapa inicial de evaluación operativa (enero a junio de 2024), se evidenció que el sistema de transporte de lodos mediante camiones cisterna presentaba deficiencias tanto en el control volumétrico como en la capacidad operativa para cumplir con la meta mensual conjunta de 2 800 m³. Esta meta debía ser alcanzada por el trabajo coordinado de las cisternas usadas por la contrata. Sin embargo, el análisis de datos mostró que únicamente tres de los seis meses evaluados cumplieron dicha meta, lo que confirmó una tendencia de subdesempeño sostenido.

Uno de los principales factores que explican esta brecha fue la ausencia de un sistema estandarizado para el registro y trazabilidad de viajes y volúmenes trasladados. El registro de carga por unidad se realizaba de forma manual, sin validación cruzada ni codificación individual, lo que generaba inconsistencias entre lo reportado y lo realmente evacuado. Tampoco se contaba con un

mecanismo confiable para vincular los viajes con operadores o turnos específicos, lo que hacía imposible evaluar la eficiencia individual y colectiva.

Además, el sistema de bombeo con bombas Electro Hidráulica presentaba tiempos prolongados de llenado por ciclo (entre 45 y 60 minutos), lo que limitaba a los camiones a un promedio de 2 a 3 viajes diarios, afectando el rendimiento volumétrico mensual. Esta baja frecuencia de ciclos, sumada a fallas correctivas recurrentes (como las reportadas en marzo y junio en la unidad Hino), contribuyó directamente al incumplimiento del volumen mensual programado.

Tabla 3
Variables operativas antes de la implementación de plan de mejora

Variable	Antes de la Implementación
Registro de viajes	Manual y no estandarizado
Trazabilidad de volumen por día	No disponible
Control por operador o turno	No aplicable
Validación del volumen cargado	Visual/no verificada
KPIs por unidad	Inexistentes

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla refleja con claridad el cambio estructural en la gestión del proceso de evacuación de lodos. La implementación del nuevo sistema no solo mejoró la capacidad operativa de la flota, sino que permitió establecer un modelo de control basado en datos objetivos, habilitando la toma de decisiones informadas, la programación ajustada y el seguimiento de cumplimiento mensual en función de las metas establecidas.

La Tabla 4 presenta el detalle de la producción mensual de lodos transportados por los camiones cisterna Hino y Volvo durante el primer semestre del año 2024. En ella se incluye el número de días operativos efectivos por unidad, la producción mensual alcanzada en metros

cúbicos, el promedio diario correspondiente, y un apartado de observaciones que describe las incidencias operativas más relevantes. Este análisis permite evaluar el desempeño de cada equipo no solo en términos de volumen trasladado, sino también considerando los impactos de fallas técnicas, mantenimientos correctivos y variaciones en la eficiencia diaria.

Se observa que, si bien en ciertos meses se mantuvo una operación normal, en otros se registraron fallas críticas o periodos de parada prolongada que afectaron directamente la capacidad de ambos camiones para alcanzar la meta mensual conjunta de 2 800 m³. Este registro representa la línea base sobre la cual se plantea la mejora operativa implementada en el segundo semestre del año, como se detalla en el apartado 4.3.

Tabla 4

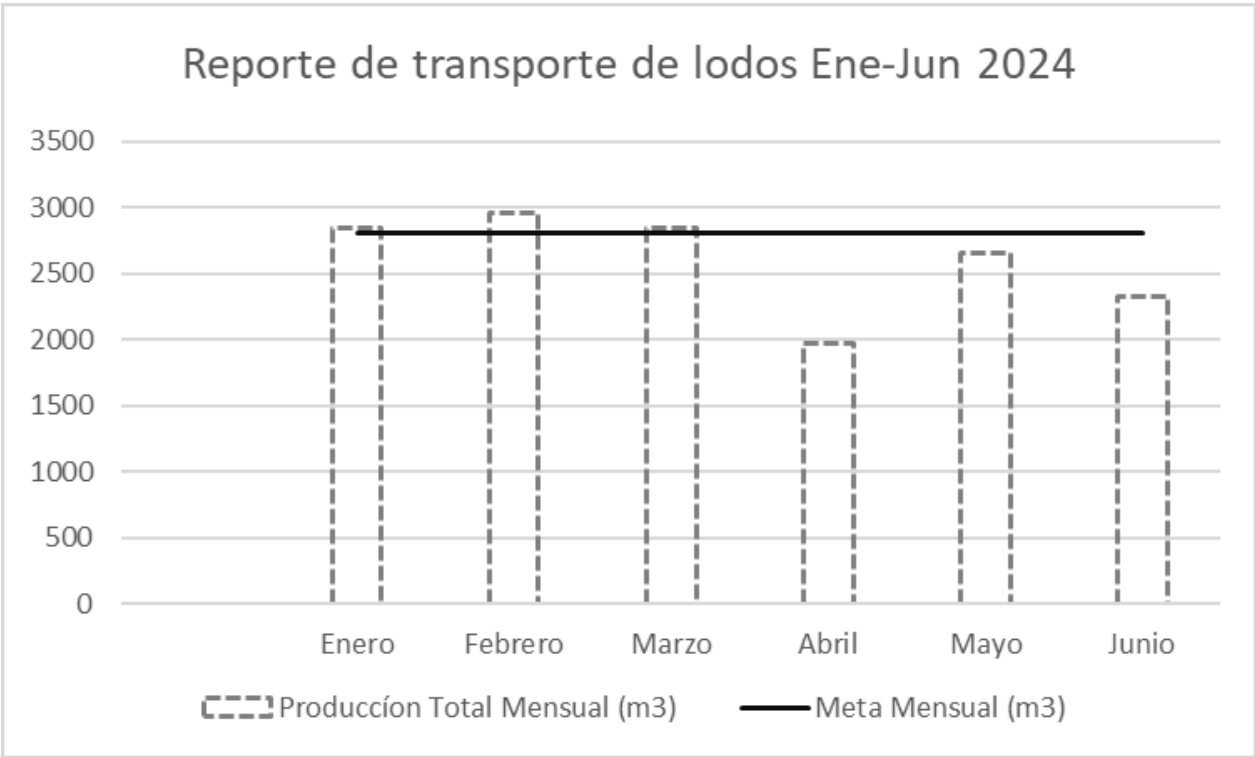
Transporte mensual de lodos por camión cisterna considerando operatividad, fallas y eficiencia diaria antes de la implementación de plan de mejora (enero–junio 2024)

Mes	Hino: días operativos	Hino: producción (m³)	Hino: promedio diario (m³/día)	Volvo: días operativos	Volvo: producción (m³)	Volvo: promedio diario (m³/día)	Producción total (m³)
Enero	28	1 590,12	56,79	26	1 255,06	48,27	2 845,18
Febrero	26	1 476,54	56,79	26	1 476,54	56,79	2 953,08
Marzo	26	1 255,06	48,27	28	1 590,12	56,79	2 845,18
Abril	27,5	1 301,44	47,33	20	662,55	33,13	1 963,99
Mayo	28	1 325,10	47,33	28	1 325,10	47,33	2 650,20
Junio	26	1 045,88	40,23	27	1 277,78	47,33	2 323,66
Total	—	7 994,14	—	—	7 587,15	—	15 581,29

Fuente: Elaboración Propia

Figura 12

Comparación entre producción total mensual de lodos y meta establecida antes de la implementación de plan de mejora (enero – junio 2024)



Fuente: Elaboración Propia

La Figura muestra que, durante el primer semestre de 2024, solo en tres de los seis meses se logró alcanzar la meta mensual de 2 800 m³ de lodos transportados. Los incumplimientos se explican por fallas técnicas, baja frecuencia de viajes y días detenidos por mantenimiento.

4.1.4. Incremento de costos de operación y mantenimiento

Durante el primer semestre de 2024, el sistema de transporte de lodos presentó mantenimientos correctivos recurrentes y paradas no programadas. La cisterna Cód. 1755 acumuló 24 días detenida y la cisterna Cód. 443, 30 días fuera de servicio.

Estas paradas estuvieron asociadas al desgaste de componentes, baja succión, obstrucción de filtros y fallas en válvulas, sellos y sistemas hidráulicos. Asimismo, la antigüedad de las

unidades influyó en sus requerimientos de mantenimiento, debido a que las cisternas Cód. 1755 y Cód. 443, fabricadas aproximadamente entre 2016 y 2018, presentaban mayor tiempo de operación acumulado y, por tanto, mayor desgaste de sus componentes.

El sistema también operaba con bombas electrohidráulicas que requerían entre 45 y 60 minutos de succión, lo que generaba tiempos muertos y mayor exigencia operativa. Esta condición, sumada a las paradas por mantenimiento, redujo la disponibilidad mecánica de las unidades.

De acuerdo con la metodología ASARCO, la cisterna Cód. 1755 presentó una disponibilidad promedio aproximada de 88 %, mientras que la cisterna Cód. 443 alcanzó aproximadamente 84 %. Los meses más críticos fueron marzo para la Cód. 1755, con 7,5 días detenidos, y abril para la Cód. 443, con 12,5 días de detención.

En el segundo semestre, la incorporación de una unidad de menor antigüedad y equipada con bomba de vacío permitió reducir los tiempos de succión y mejorar la continuidad operativa. Por ello, la mejora de la disponibilidad estuvo relacionada tanto con el nuevo sistema de bombeo como con las mejores condiciones mecánicas y menores requerimientos de mantenimiento de la unidad incorporada.

Tabla 5

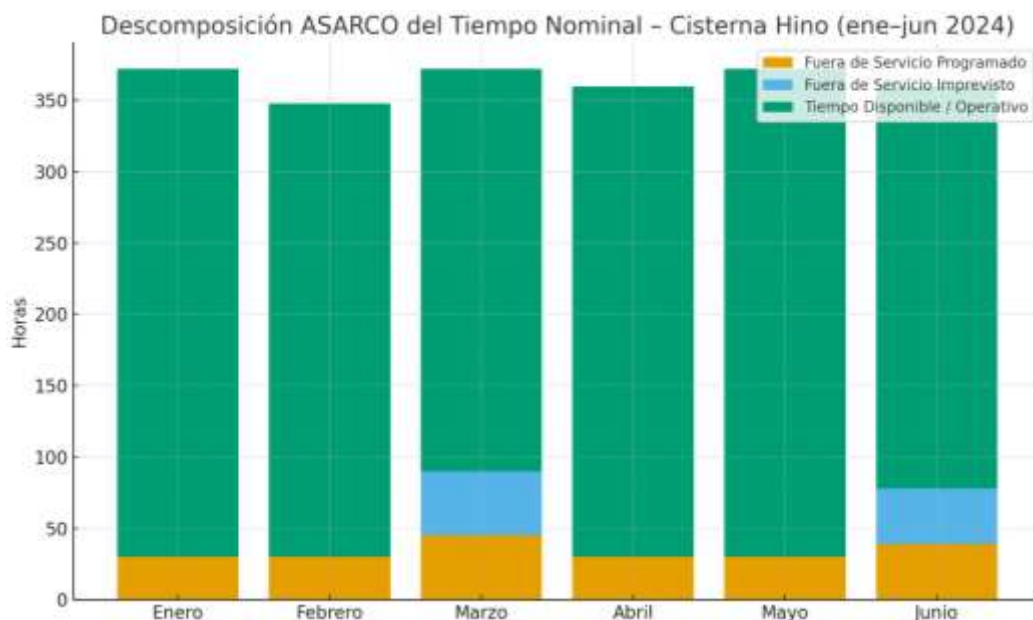
Mantenimiento mensual de cisternas Hino y Volvo antes de la implementación de plan de mejora (ene-jun 2024)

Mes	Cisterna Hino 1755 – Mantenimiento	Cisterna Hino 1755 – Días detenida	Cisterna Volvo 443 – Mantenimiento	Cisterna Volvo 443 – Días detenida
Enero	Preventivo + correctivo	2.5	Preventivo + correctivo por falla leve	7.5
Febrero	Preventivo, sin falla correctiva	2.5	Preventivo, sin falla correctiva	2.5
Marzo	Preventivo + correctivo por falla operativa	7.5	Preventivo + correctivo según reporte operativo	2.5
Abril	Preventivo + correctivo	2.5	Preventivo + correctivo por filtro obstruido	12.5
Mayo	Preventivo, sin falla correctiva	2.5	Preventivo, sin falla correctiva	2.5
Junio	Preventivo + correctivo por baja succión	6.5	Preventivo + correctivo sin falla grave	2.5

Fuente: Elaboración Propia

Figura 13

Descomposición ASARCO del Tiempo Nominal mensual de la cisterna , antes de la implementación de plan de mejora (enero-junio 2024).



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura se presenta la descomposición del tiempo nominal mensual de la cisterna Hino 1755 según la metodología ASARCO, para el periodo enero–junio de 2024. A partir de los partes diarios de operación y de los reportes de mantenimiento, todas las horas calendario de cada mes se han clasificado en tres componentes: horas fuera de servicio programado (mantenimientos preventivos y paradas planificadas), horas fuera de servicio no programado (fallas imprevistas, averías y correctivos urgentes) y horas de tiempo disponible u operativo, es decir, aquellas en las que la cisterna estuvo en condiciones de trabajar y disponible para el transporte de lodos. La suma de estos tres componentes constituye el tiempo nominal del mes, y permite visualizar claramente en qué meses predominan las paradas de mantenimiento y en cuáles se maximiza el tiempo efectivo de operación del equipo.

Figura 14

Disponibilidad mensual de la cisterna Hino según normas ASARCO, antes de la implementación de plan de mejora (enero–junio 2024)

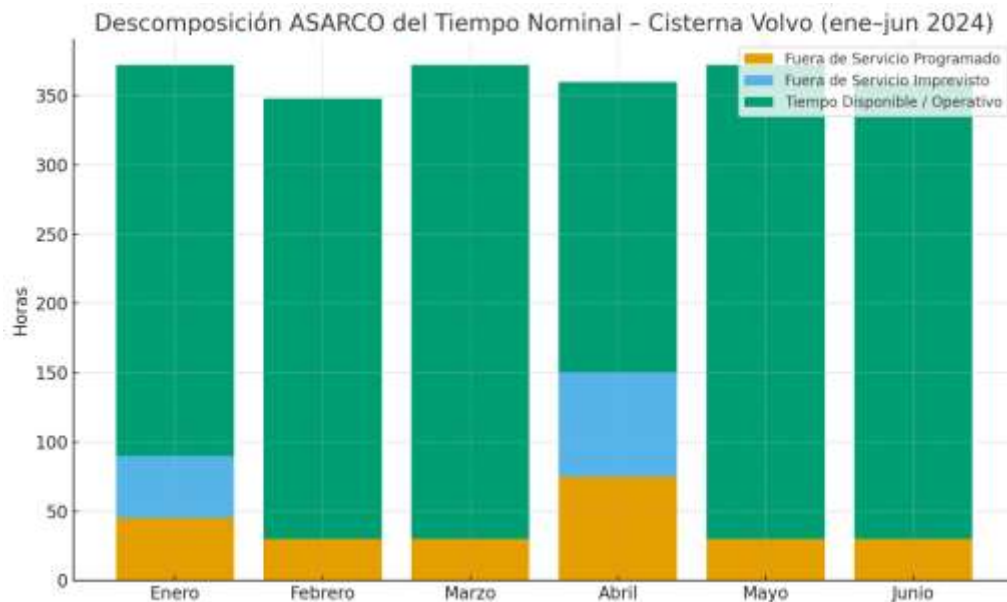


Fuente: Elaboración Propia

La Figura muestra la disponibilidad mecánica mensual de la cisterna Hino calculada también bajo normas ASARCO. Para obtener estos valores, primero se determina el tiempo disponible u operativo de cada mes y luego se divide entre el tiempo nominal del mismo mes, multiplicando el resultado por cien; en términos simples, la disponibilidad porcentual indica qué fracción del tiempo calendario la cisterna se mantuvo operativa, considerando tanto las paradas programadas como las no programadas. Se observa que la disponibilidad se mantiene en niveles altos durante la mayor parte del semestre, con ligeras variaciones mensuales asociadas a incrementos puntuales de horas fuera de servicio, especialmente cuando se realizan mantenimientos correctivos o se presentan fallas. En conjunto, ambas figuras permiten concluir que el comportamiento de la disponibilidad de la cisterna Hino está directamente condicionado por la magnitud y el tipo de paradas registradas cada mes bajo el criterio ASARCO.

Figura 15

Descomposición ASARCO del Tiempo Nominal mensual de la cisterna Volvo 443, antes de la implementación del plan de mejora (enero–junio 2024)



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura se presenta la descomposición del tiempo nominal mensual de la cisterna Volvo conforme a la metodología ASARCO. A partir de los partes diarios de operación y de los reportes de mantenimiento se han clasificado todas las horas del mes en tres componentes: horas Fuera de Servicio Programado (correspondientes a mantenimientos preventivos y paradas planificadas), horas Fuera de Servicio No Programado (asociadas a fallas imprevistas, averías y correctivos urgentes) y horas de Tiempo Disponible u Operativo, es decir, aquellas en las que la cisterna estuvo en condiciones de operar y efectivamente disponible para el transporte de lodos. La suma de estos tres componentes constituye el tiempo nominal del mes, y sobre esta base se determina el comportamiento real del equipo.

Figura 16

Disponibilidad mensual de la cisterna Volvo según normas ASARCO, antes de la implementación del plan de mejora (enero–junio 2024)



Fuente: Elaboración Propia

Con estos datos se calcula la disponibilidad mecánica mensual que se muestra en la Figura. La disponibilidad se obtiene dividiendo las horas de tiempo disponible entre el tiempo nominal del

mes y expresando el resultado en porcentaje; en otras palabras, la disponibilidad indica qué proporción del tiempo calendario la cisterna estuvo operativa, considerando todas las horas de parada programada y no programada. El “pico” de disponibilidad observado en febrero corresponde a un mes con mayor número de horas operativas y menor tiempo fuera de servicio, mientras que la caída registrada en abril refleja un incremento de horas de mantenimiento correctivo y paradas no programadas, lo que reduce significativamente el porcentaje de disponibilidad. En conjunto, ambas figuras evidencian que las variaciones mensuales de la disponibilidad de la cisterna Volvo están directamente asociadas a la cantidad y tipo de paradas (programadas y no programadas) registradas bajo el criterio ASARCO.

4.1.5. Disminución de la vida útil de los equipos de bombeo por sobre esfuerzo

El sistema de bombeo y transporte de lodos presentó deterioro operativo debido al manejo de lodos de alta densidad, condición que incrementó el esfuerzo de trabajo de las bombas, líneas de succión, válvulas, filtros y demás componentes asociados al sistema de cisternas. En lugar de afirmar una reducción porcentual de vida útil sin respaldo documentado, el deterioro se sustenta cuantitativamente mediante los registros reales de mantenimiento y días detenidos de las cisternas evaluadas antes de la implementación del plan de mejora.

Durante el primer semestre de 2024, según la Tabla 5, la cisterna Hino 1755 acumuló 24,0 días detenidos, distribuidos en enero con 2,5 días, febrero con 2,5 días, marzo con 7,5 días, abril con 2,5 días, mayo con 2,5 días y junio con 6,5 días. Estas detenciones estuvieron asociadas a mantenimientos preventivos y correctivos, destacando en marzo una falla operativa y en junio una condición de baja succión. Por su parte, la cisterna Volvo 443 acumuló 30 días detenidos en el mismo periodo, con 7,5 días en enero, 2,5 días en febrero, 2,5 días en marzo, 12,5 días en abril,

2,5 días en mayo y 2,5 días en junio. En abril se registró el evento más crítico de esta unidad, relacionado con mantenimiento correctivo por filtro obstruido.

En conjunto, ambas unidades registraron 54 días de detención durante enero–junio de 2024, lo que evidencia una afectación directa en la continuidad operativa, la disponibilidad mecánica y la capacidad de respuesta del sistema de bombeo y transporte de lodos. Los meses más críticos fueron marzo para la cisterna Hino 1755, con 7,5 días detenidos, y abril para la cisterna Volvo 443, con 12,5 días detenidos. Estos resultados demuestran que el problema principal no fue solamente la operación con lodos de alta densidad, sino la acumulación de paradas correctivas y condiciones operativas que incrementaron el esfuerzo de los equipos.

Uno de los efectos más relevantes derivados de esta condición fue el desgaste acelerado de los componentes de bombeo y succión. La ausencia de un control más detallado por unidad, asociado al número real de viajes, volumen transportado, tiempo de succión, tiempo de descarga y horas fuera de servicio, limitó la trazabilidad del esfuerzo operativo de cada cisterna. Como consecuencia, los equipos continuaron operando bajo condiciones variables de carga, densidad de lodo y exigencia mecánica, sin que el mantenimiento se ajustara completamente al uso real de cada unidad.

Este sobreesfuerzo se reflejó en fallas recurrentes como baja capacidad de succión, obstrucción de filtros, intervenciones correctivas y mayor frecuencia de días fuera de servicio. De acuerdo con el análisis ASARCO del primer semestre, la cisterna Hino 1755 presentó una disponibilidad promedio aproximada de 88 %, mientras que la cisterna Volvo 443 alcanzó una disponibilidad promedio aproximada de 84 %. Sin embargo, en los meses críticos la disponibilidad disminuyó de manera significativa, especialmente en marzo para la Hino 1755 y en abril para la Volvo 443, debido al incremento de días detenidos. Por tanto, el deterioro técnico se evidencia

principalmente en la concentración de paradas correctivas y en la pérdida temporal de disponibilidad operativa.

Esta tendencia generó un efecto acumulativo en el sistema: cuando una unidad quedaba detenida por mantenimiento, la otra debía asumir una mayor carga operativa para sostener el transporte de lodos, incrementando su exposición al desgaste. De esta manera, la reducción de disponibilidad de una cisterna trasladaba presión operativa a la unidad restante, aumentando el riesgo de nuevas fallas y generando retrasos en el cumplimiento de la meta mensual de transporte.

Por ello, el diagnóstico técnico sustenta la necesidad de implementar un plan de mejora orientado a controlar el mantenimiento, codificar adecuadamente las unidades, registrar los indicadores operativos por cisterna y optimizar el sistema de bombeo mediante equipos más adecuados para el manejo de lodos. La incorporación de una cisterna con bomba de vacío en el segundo semestre permitió reducir la dependencia de equipos con mayores fallas, mejorar la trazabilidad operativa y estabilizar el cumplimiento de la producción mensual de lodos, constituyéndose en una alternativa técnica para disminuir el sobreesfuerzo de los componentes y mejorar la confiabilidad del sistema.

4.1.6. Costo de transporte de lodos antes de la implementación del plan de mejora

Antes de la implementación del plan de mejora, el costo mensual del servicio de transporte de lodos estuvo conformado por costos directos e indirectos asociados a la operación de las cisternas Hino 1755 y Volvo 443. De acuerdo con la Tabla 6, el costo directo mensual fue de S/ 75 547,68, mientras que los costos indirectos estuvieron compuestos por costos administrativos del 3 %, equivalentes a S/ 2 266,43, e imprevistos del 10 %, equivalentes a S/ 7 554,77. En consecuencia, el costo total mensual del servicio antes de la implementación del plan de mejora fue de S/ 85 368,88.

Para determinar el costo unitario de transporte de lodos se corrigió el criterio de cálculo, debido a que el costo registrado en la Tabla 6 corresponde a un costo mensual, por lo que no debe dividirse entre la producción acumulada de los seis meses, sino entre la producción mensual promedio del periodo enero–junio de 2024. La producción total acumulada en el primer semestre fue de 15 581,29 m³, por lo que la producción mensual promedio se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Producción mensual promedio} = \frac{15\,581,29\,m^3}{6\,meses}$$

$$\text{Producción mensual promedio} = 2\,596,88\,m^3/mes$$

Con este valor, el costo unitario mensual por metro cúbico de lodo transportado antes de la implementación del plan de mejora se obtiene dividiendo el costo total mensual entre la producción mensual promedio:

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo total mensual}}{\text{Producción mensual promedio}}$$

$$\text{Costo unitario} = \frac{85\,368,88}{2\,596,88}$$

$$\text{Costo unitario} = 32,87\,S/./m^3$$

Por tanto, antes de la implementación del plan de mejora, el costo unitario de transporte de lodos fue de S/ 32,87 por m³. Este valor refleja el costo real mensual del servicio en relación con la producción promedio mensual alcanzada durante el primer semestre de 2024. La corrección es importante porque evita subestimar el costo unitario; si se divide el costo mensual entre la producción semestral acumulada, se obtiene un valor artificialmente bajo que no representa la relación real entre costo y producción del periodo evaluado.

De manera equivalente, el cálculo también puede verificarse a escala semestral. El costo total del servicio durante seis meses fue de S/ 512 213,28, obtenido de multiplicar el costo mensual de S/ 85 368,88 por seis meses. Al dividir este costo semestral entre la producción acumulada de 15 581,29 m³, se obtiene igualmente un costo unitario de S/ 32,87 por m³, confirmando la consistencia del cálculo.

Tabla 6

*Costos por el servicio de transportes de Lodos, antes de la implementación del plan de mejora
COROCCOHUAYCO - RELAVERA TINTAYA*

Ítem	Descripción	Cantidad	P. unitario S/.	P. mensual S/.
A. Mano de obra				
A.1	Seguridad, incluye supervisor HSEC	1	5 847.70	5 847.70
A.2	Conductores	2	3 950.06	7 900.12
A.3	Operarios	2	2 490.34	4 980.68
A.4	Descanseros, 1 conductor y 1 operario	2	6 440.40	6 440.40
B. Equipos				
B.1	Cisterna Hino 1755	1	13 000.00	13 000.00
B.2	Cisterna Volvo 443	1	13 000.00	13 000.00
C. Materiales y consumibles				
C.1	Combustible cisterna Hino 1755	1	10 150.00	10 150.00
C.2	Combustible cisterna Volvo 443	1	10 150.00	10 150.00
C.3	EPPs	Global	583.60	583.60
C.4	EMOS	7	56.03	392.19
C.5	Otros materiales y consumibles	Global	3 103.00	3 103.00
Costo directo				75 547.68
Costos indirectos				
Costos administrativos 3 %				2 266.43
Imprevistos 10 %				7 554.77
Costo total mensual del servicio				85 368.88

Fuente: Elaboración Propia

4.1.7. Riesgo contractual asociado al incumplimiento de KPIs

La Compañía Minera Antapaccay, al igual que otras operaciones mineras de gran escala, establece en sus contratos mecanismos de penalización ante cualquier incumplimiento de indicadores clave de desempeño (KPIs), sean estos operativos, técnicos, de seguridad o administrativos. La Tabla 7 detalla los principales criterios contractuales y las penalidades aplicables, que pueden llegar hasta el 5 % del valor mensual del contrato por cada día de incumplimiento, según el tipo de falta.

Tabla 7

Tabla de control de KPIS

Incumplimiento contractual	Penalidad aplicable
Retraso en el inicio del servicio	0.5% del contrato por día de retraso
Retraso en la culminación del servicio	0.5% del contrato por día de retraso
Falta de técnico HSEC asignado	0.5% del contrato por día o fracción
No disponibilidad de equipos asignados	0.5% del contrato por día o fracción
No entrega oportuna de informes	0.1% del contrato por día de retraso
No entrega o reposición de EPPs	0.1% por cada oportunidad no entregada
No entrega de documentación laboral requerida	1% del contrato mensual por trabajador
No remuneración oportuna del personal	1% del contrato mensual por trabajador
No entrega de garantías o seguros establecidos	1% del contrato por cada día de retraso
Incumplimiento de políticas anexas por negligencia o reincidencia	0.5% del contrato por cada oportunidad
No cumplimiento de normas de conducta del personal	0.5% del contrato por cada oportunidad
Retraso en cronograma ($SPI < 1.0$)	1% del contrato mensual con $SPI < 100\%$
Gestión inadecuada de costos ($CPI < 1.0$)	0.1% del contrato mensual con $CPI < 100\%$

Fuente; INVERSIONES MERMA S.A.C.

Durante el periodo analizado, se identificaron condiciones que pudieron activar varias de estas sanciones: retrasos acumulados por fallas en cisternas, deficiente reposición de EPPs, no cumplimiento de metas volumétricas, y registros manuales sin validación. Asimismo, el bajo rendimiento mensual en los meses de abril y junio, con valores por debajo de los 2,400 m³,

evidencia un riesgo real frente a los indicadores CPI (Cost Performance Index) y SPI (Schedule Performance Index), cuya caída por debajo del umbral de 1.0 puede desencadenar penalizaciones automáticas.

Esta situación hace evidente que la urgencia de mejora no se limita a un criterio interno de eficiencia técnica, sino que responde a una necesidad estratégica de reducir el riesgo de penalidades contractuales, asegurar la viabilidad financiera del servicio, y mantener la relación comercial con la empresa minera bajo estándares de cumplimiento.

4.2. SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS Y LODOS EN LOS CAMIONES

CISTERNA DESPUES DE LA IMPLEMENTACION DEL PLAN DE MEJORAS

Como resultado del diagnóstico integral realizado al sistema de evacuación de lodos en la unidad minera Coroccohuayco – Tintaya, se identificaron fallas técnicas y de gestión que impactaban directamente en la eficiencia operativa, la disponibilidad de flota y el costo por metro cúbico transportado. En respuesta a esta problemática, se diseñó e implementó un plan de mejora orientado a corregir las deficiencias estructurales del sistema, con énfasis en la modernización del mecanismo de succión y el control operativo de las cisternas.

El nuevo sistema incorpora una cisterna Mercedes Benz equipada con bomba de vacío, la cual reemplaza progresivamente a uno de los equipos que operaba con bomba Electro Hidráulica. Esta solución permite reducir los tiempos de succión por ciclo a un rango entre 25 y 35 minutos, frente a los 45–60 minutos requeridos anteriormente, incrementando así la cantidad de viajes diarios por unidad y reduciendo la probabilidad de sobreesfuerzo mecánico. Asimismo, el diseño del plan contempla la trazabilidad individual por equipo, el registro digital de volúmenes evacuados y la programación preventiva de mantenimientos con base en datos reales de operación.

Este apartado detalla los componentes clave del nuevo sistema de bombeo, considerando parámetros como tiempo promedio de succión, volumen de carga por viaje, capacidad instalada, eficiencia diaria, y comportamiento de disponibilidad. Además, se analizan las condiciones reales de operación en campo, con escenarios de lluvia, variabilidad de densidad del lodo y exigencias logísticas propias del entorno minero.

Es importante mencionar que la carencia de datos operativos confiables también impedía anticipar desviaciones o tomar decisiones en tiempo real. No se disponía de KPIs por unidad ni de controles por jornada o turno, lo que limitaba la capacidad de respuesta ante cuellos de botella o sobrecarga en los puntos de succión.

En respuesta a esta situación, se implementó un sistema mejorado que incluyó la incorporación de una nueva cisterna Mercedes Benz con bomba de vacío y la codificación individual de unidades. Esto permitió generar trazabilidad por viaje, validar volúmenes evacuados por jornada y establecer indicadores de desempeño como m³/día y viajes/día por unidad.

Tabla 8

Comparación de variables operativas Antes y después de la implementación del sistema

Variable	Antes de la Implementación	Después de la Implementación
Registro de viajes	Manual y no estandarizado	Codificado por unidad
Trazabilidad de volumen por día	No disponible	Registro detallado por cisterna
Control por operador o turno	No aplicable	Control individual por jornada
Validación del volumen cargado	Visual/no verificada	Convalidación operativa por lectura
KPIs por unidad	Inexistentes	Disponibles: m ³ por día, viajes

Fuente: Elaboración propia

El objetivo final de este plan de mejora no solo es optimizar el desempeño técnico de las unidades, sino también reducir el costo unitario por metro cúbico, incrementar la disponibilidad

operativa por encima del 90 %, asegurar el cumplimiento sostenido de la meta mensual de 2 800 m³, y mitigar el riesgo de penalidades contractuales, fortaleciendo la posición técnica y comercial de la empresa contratista frente al cliente principal.

4.2.1. Alternativa de mejora

Como parte de la estrategia de mejora implementada en el sistema de evacuación de lodos, se planteó la sustitución de una de las cisternas originalmente operativas por una nueva unidad equipada con bomba de vacío, con el objetivo de superar las limitaciones operativas observadas en el sistema anterior. Esta alternativa técnica responde a la necesidad de optimizar los tiempos de succión, reducir el desgaste mecánico en los componentes hidráulicos, y mejorar la disponibilidad efectiva de la flota.

La nueva unidad seleccionada corresponde a un camión cisterna Mercedes Benz con capacidad de 5 000 galones (18.93 m³), configurado con una bomba de vacío, diseñada para operar de manera continua en condiciones de alta densidad de sólidos. Este equipo permite reducir el tiempo de succión por ciclo de 45–60 minutos (bomba Electro Hidráulica) a un rango de 25 a 35 minutos, lo que incrementa el número de viajes diarios posibles y mejora el rendimiento operativo total.

Además del beneficio directo en tiempo, la bomba de vacío requiere menor esfuerzo hidráulico interno, lo cual disminuye la frecuencia de fallas como sobrecalentamiento, pérdida de presión o desgaste en válvulas y sellos. Esto se traduce en una menor necesidad de mantenimiento correctivo y una extensión de la vida útil del sistema de bombeo, favoreciendo la estabilidad operativa del servicio.

4.2.1.1. Propuesta técnica: Reemplazo de una cisterna con sistema de bomba de vacío

La tecnología seleccionada considera la incorporación de una bomba de vacío tipo paletas rotativas lubricada, instalada en una cisterna Mercedes Benz MT7089 / Atego 1725/42, configurada sobre chasis de la serie 500 y equipada con tanque de 5 000 galones de capacidad. Esta capacidad equivale aproximadamente a 18.93 m³ por viaje, valor obtenido mediante la conversión de galones a metros cúbicos ($5000 \text{ gal} \times 0.003785 = 18.93 \text{ m}^3$). La selección de este volumen responde a la necesidad de incrementar la capacidad de evacuación de lodos por ciclo, manteniendo compatibilidad con las condiciones operativas del servicio de transporte entre las pozas de lodos del Proyecto Integración Corocohuayco y la relavera principal.

La bomba de vacío propuesta opera en un rango de potencia estimado entre 25 y 35 HP, equivalente aproximadamente a 18.64–26.10 kW, considerando la conversión técnica de potencia ($1 \text{ HP} = 0.7457 \text{ kW}$). Este rango permite disponer de mayor capacidad de succión frente a lodos con presencia de sólidos y mayor densidad, reduciendo el esfuerzo operativo respecto a sistemas menos adecuados para este tipo de fluido. Asimismo, la configuración con bomba de vacío facilita la succión de lodos, aguas residuales y líquidos de alta densidad en condiciones de operación industrial, siempre que se mantenga un programa de mantenimiento preventivo sobre paletas, sellos, filtros, lubricación y líneas de succión.

La integración técnica entre el camión cisterna y la bomba permite montar el sistema en configuración lateral o posterior, según la disposición hidráulica requerida en campo. Esta alternativa busca mejorar el rendimiento operativo del servicio, reduciendo los tiempos de succión y descarga, aumentando la disponibilidad mecánica y disminuyendo la frecuencia de fallas asociadas al sobreesfuerzo de los componentes. En ese sentido, los valores de capacidad y potencia no deben interpretarse como datos aislados, sino como parámetros técnicos de selección que

sustentan la propuesta de reemplazo del sistema anterior por una unidad con bomba de vacío más adecuada para el manejo de lodos de alta densidad.

Figura 17

Cisterna Cod. 445 - Mercedes Benz Atego 1725/42 con Tanque de agua 5000 galones



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18

Bomba de vacío Masport SIDEWINDER CCW montada sobre camión cisterna



Fuente: Catálogo técnico Masport SIDEWINDER CCW, Masport Inc.

Tabla 9

Especificaciones técnicas de la bomba Masport SIDEWINDER CCW para integración con camión cisterna Mercedes Benz Atego 1725/42

Especificación	Valor
Modelo / tipo	Masport SIDEWINDER CCW (vacío/presión, paletas rotativas)
Desplazamiento	343 CFM @ 1200 rpm · 407 CFM @ 1400 rpm
Vacío operativo	Continuo: 22"Hg @1200 rpm · 20"Hg @1400 rpm — Máx. intermitente: 27"Hg
Presión operativa	Continuo: 20 psig — Máx. intermitente: 30 psig
Conexiones	3" NPT
Enfriamiento	Ventilador (fan cooled)
Capacidad de tanque recomendada	2,500 – 6,000 gal

Fuente: Catálogo técnico Masport SIDEWINDER CCW, Masport Inc.

Figura 19

Bomba instalada en el camión Cisterna Mercedes Benz



Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Cálculo de metros cúbicos evacuados considerando el plan de mejora

En el segundo semestre del año 2024, tras la implementación del plan de mejora en el sistema de bombeo y transporte de lodos, se evidenció un incremento significativo en los volúmenes evacuados respecto al primer semestre. Antes de la implementación, la producción acumulada entre enero y junio fue de 15 581,29 m³; mientras que, después de la mejora, entre julio y diciembre, la producción acumulada alcanzó 19 042,43 m³. Por tanto, el incremento semestral fue de 3 461,14 m³, equivalente a una mejora aproximada de 22,21 % respecto al periodo inicial.

Este incremento se relaciona directamente con la incorporación de la cisterna Mercedes Benz MT7089, que reemplazó a la unidad Volvo 443 y permitió estabilizar la producción mensual de lodos. Después de la implementación del plan de mejora, la producción mensual fue de 2 979,49 m³ en julio, 3 263,34 m³ en agosto, 3 099,87 m³ en setiembre, 3 286,25 m³ en octubre, 3 009,87 m³ en noviembre y 3 403,61 m³ en diciembre. Estos resultados evidencian que durante los seis meses del segundo semestre se superó la meta mensual establecida de 2 800 m³.

Asimismo, el rendimiento mensual promedio aumentó de 2 596,88 m³/mes en el primer semestre a 3 173,74 m³/mes en el segundo semestre, lo que representa una diferencia favorable de 576,86 m³/mes. Este resultado confirma que el plan de mejora permitió incrementar la capacidad de evacuación mensual sin necesidad de ampliar la flota total, sino mediante el reemplazo estratégico de una unidad de menor desempeño por una cisterna con mejores condiciones operativas para el manejo de lodos.

En cuanto al desempeño por unidad, la cisterna Mercedes Benz 445 mantuvo una producción estable durante el segundo semestre, alcanzando un total acumulado de 10 252,57 m³, mientras que la cisterna Hino 1755 registró una producción acumulada de 8 789,86 m³. En diciembre, el sistema alcanzó su mayor producción mensual, con 3 403,61 m³, debido al mejor

rendimiento conjunto de ambas unidades. Estos resultados demuestran que la implementación del plan de mejora permitió sostener una producción mensual superior a la meta y mejorar la continuidad operativa del sistema de bombeo y transporte de lodos.

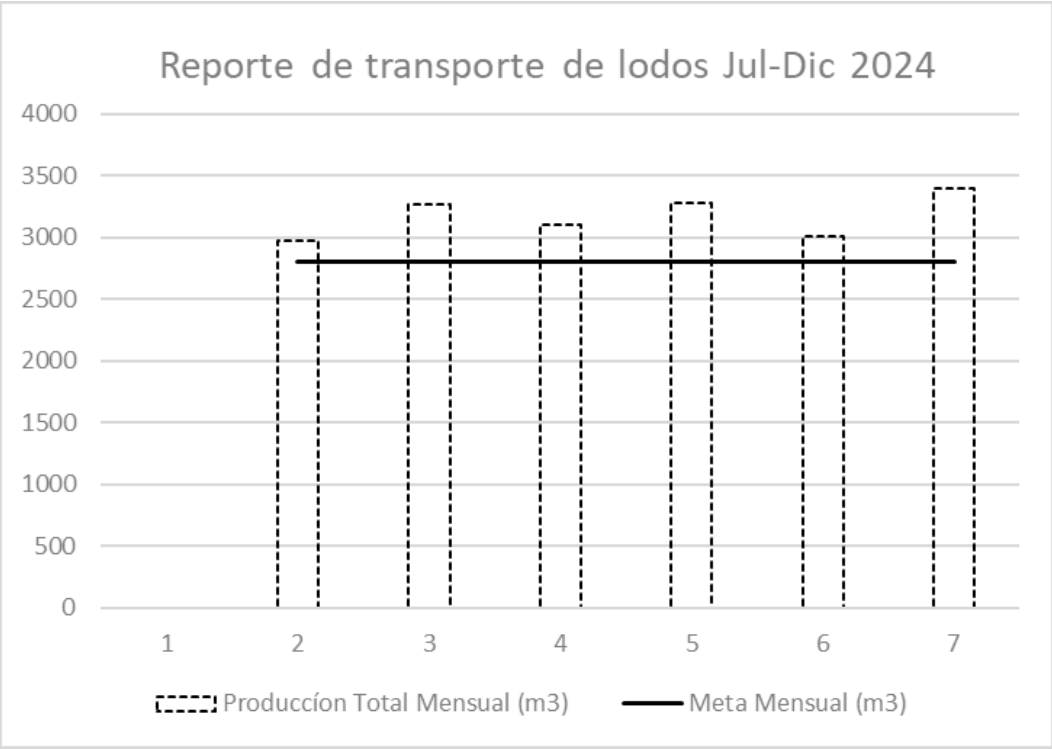
Tabla 10

Transporte mensual de lodos por camión cisterna considerando operatividad, fallas, y eficiencia diaria (julio – diciembre 2024)

Mes	Días operativos Hino 1755	Producción Hino (m³)	Prom. diario Hino (m³/día)	Días operativos Mercedes Benz	Producción Mercedes (m³)	Prom. diario Mercedes (m³/día)	Producción total mensual (m³)	Observaciones
Julio	27,5	1 359,00	49,42	29	1 620,49	55,88	2 979,49	El Mercedes Benz estabilizó el rendimiento general; el Hino operó con eficiencia media ($\approx 2,5$ viajes/día).
Agosto	27	1 502,85	55,66	29	1 760,49	60,71	3 263,34	Buen desempeño conjunto; el Hino mejoró ligeramente ($\approx 2,7$ viajes/día).
Setiembre	26	1 396,17	53,70	28	1 703,70	60,85	3 099,87	Cumplimiento ajustado. La menor eficiencia del Hino ($\approx 2,3$ viajes/día) fue compensada por el Mercedes Benz.
Octubre	27	1 525,76	56,51	29	1 760,49	60,71	3 286,25	Ambos camiones operaron con estabilidad.
Noviembre	25	1 362,96	54,52	27	1 646,91	61,00	3 009,87	El Hino presentó 1 día de parada correctiva, pero se mantuvo el cumplimiento gracias al aporte del Mercedes Benz.
Diciembre	27,5	1 643,12	59,75	29	1 760,49	60,71	3 403,61	El Hino alcanzó su mayor rendimiento ($\approx 2,8$ viajes/día), superando la meta mensual.
Total	–	8 789,86	–	–	10 252,57	–	19 042,43	–

Fuente: Elaboración Propia

Figura 20
Comparación entre producción total mensual de lodos y meta establecida (Julio – Diciembre 2024)



Fuente: Elaboración Propia

La Figura presenta la comparación entre la producción total mensual de lodos y la meta mensual de 2 800 m³ para el periodo julio–diciembre de 2024, luego de la implementación del plan de mejora. La línea continua horizontal representa la meta mensual fija de 2 800 m³, mientras que las barras muestran la producción total real de cada mes, obtenida a partir de la suma de los volúmenes transportados por las cisternas Hino 1755 y Mercedes Benz. De esta manera, los valores de las barras corresponden aproximadamente a 2 979 m³ en julio, 3 263 m³ en agosto, 3 100 m³ en setiembre, 3 286 m³ en octubre, 3 010 m³ en noviembre y 3 404 m³ en diciembre.

Se observa que, en todos los meses analizados, la producción mensual supera claramente la meta de 2 800 m³, lo que evidencia que, tras el plan de mejora, el sistema de transporte de lodos logra no solo cumplir sino exceder el volumen objetivo. Este comportamiento contrasta con el

primer semestre (enero–junio), en el que la meta solo se alcanzaba en algunos meses, y confirma que la incorporación del camión Mercedes Benz y el incremento de la eficiencia del Hino permiten sostener niveles de producción superiores a la meta establecida durante todo el segundo semestre de 2024.

4.2.2.1. Económicamente: Se mejorará la rentabilidad económica y disminuirá los costos de operación y mantenimiento

La incorporación del nuevo sistema de bombeo mediante bomba de vacío representó una mejora económica medible en términos de costo unitario por metro cúbico de lodo transportado. No se evalúa la rentabilidad financiera mediante indicadores como VAN, TIR, relación beneficio/costo o utilidad neta, debido a que la investigación no considera ingresos tarifarios ni flujo de caja del servicio; por tanto, el análisis económico se centra en la comparación de costos operativos y volumen evacuado antes y después de la implementación del plan de mejora.

Antes de la implementación, durante el periodo enero–junio de 2024, la producción total de lodos fue de 15 581,29 m³, con un promedio mensual de 2 596,88 m³/mes. En dicho periodo, el costo total mensual del servicio fue de S/. 85 368,88, por lo que el costo unitario de transporte fue de S/. 32,87/m³, obtenido al dividir el costo mensual entre la producción mensual promedio.

Después de la implementación, durante el periodo julio–diciembre de 2024, la producción total aumentó a 19 042,43 m³, con un promedio mensual de 3 173,74 m³/mes. Aunque el costo total mensual del servicio se incrementó a S/. 97 222,58 debido a la incorporación de la cisterna Mercedes Benz MT7089, el mayor volumen transportado permitió reducir el costo unitario a S/. 30,63/m³.

En consecuencia, el plan de mejora permitió reducir el costo unitario en S/. 2,24 por m³, equivalente a una disminución aproximada de 6,81 % respecto a la situación inicial. Asimismo, la

producción semestral se incrementó en 3 461,14 m³, lo que representa una mejora de 22,21 %. Estos resultados demuestran que la mejora no debe presentarse como incremento de rentabilidad financiera, sino como una optimización económica del servicio, sustentada en mayor producción mensual y menor costo unitario por metro cúbico transportado.

Tabla 11

Comparación semestral de la producción de lodos transportados por camiones cisterna (2024), antes y después de la implementación del plan de mejoras

Indicador	Antes de la implementación Ene– Jun 2024	Después de la implementación Jul–Dic 2024	Variación
Producción total semestral (m ³)	15 581,29	19 042,43	+3 461,14 m ³
Promedio mensual de producción (m ³ /mes)	2 596,88	3 173,74	+576,86 m ³ /mes
Costo total mensual del servicio (S/.)	85 368,88	97 222,58	+11 853,70
Costo unitario de transporte (S/./m ³)	32,87	30,63	-2,24 S/./m ³
Variación del costo unitario (%)	—	—	-6,81 %
Cumplimiento de meta mensual de 2 800 m ³	3 de 6 meses	6 de 6 meses	Mejora operativa

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3. Proceso de succión transporte y descarga de lodos aplicando el plan de mejora

La incorporación del sistema de bomba de vacío permitió mejorar el proceso de succión de lodos, estabilizando el tiempo de llenado por carga en un rango de 25 a 35 minutos, de acuerdo con la capacidad nominal de la cisterna de 5 000 galones, equivalente aproximadamente a 18,93 m³ por viaje. Este rango de tiempo se considera para mantener coherencia con el cálculo técnico del caudal de succión y evitar variaciones respecto a los valores previamente establecidos en la propuesta de mejora.

El caudal de succión se determina dividiendo el volumen de carga de la cisterna entre el tiempo requerido para el llenado. Considerando una capacidad de 18,93 m³, si la succión se realiza

en 25 minutos, el caudal aproximado es de 0,76 m³/min; mientras que, si el tiempo de succión es de 35 minutos, el caudal aproximado es de 0,54 m³/min. Por tanto, el caudal operativo estimado del sistema con bomba de vacío se encuentra entre 0,54 y 0,76 m³/min, calculado con la siguiente relación:

$$\text{Caudal de succión} = \frac{\text{Volumen de la cisterna}}{\text{Tiempo de succión}}$$
$$\text{Caudal mínimo} = \frac{18,93 \text{ m}^3}{35 \text{ min}} = 0,54 \text{ m}^3/\text{min}$$
$$\text{Caudal máximo} = \frac{18,93 \text{ m}^3}{25 \text{ min}} = 0,76 \text{ m}^3/\text{min}$$

Este resultado evidencia una mejora operativa frente al sistema anterior, debido a que la bomba de vacío permite una succión más estable para lodos con presencia de sólidos y alta densidad. Asimismo, la reducción y control del tiempo de succión contribuye a disminuir tiempos muertos, mejorar la programación de viajes diarios y aumentar la eficiencia del ciclo operativo de cada unidad.

Respecto al proceso de transporte, la mejora no se limita únicamente al equipo de succión, sino también a la organización de la operación por unidad, al control de los viajes diarios y al seguimiento del volumen evacuado. Esta trazabilidad permite identificar el rendimiento real de cada cisterna, controlar posibles demoras y reducir la variabilidad del ciclo de trabajo entre succión, traslado y descarga.

Finalmente, el proceso de descarga se optimiza mediante una operación más controlada del sistema de válvulas y salidas, permitiendo reducir el tiempo de vaciado por ciclo y mejorar la continuidad del servicio. En conjunto, la estandarización de los tiempos de succión, transporte y descarga permite incrementar el número de viajes efectivos por jornada, mejorar el volumen

mensual evacuado y sostener el cumplimiento de la meta de transporte de lodos después de la implementación del plan de mejora.

Tabla 12

Tiempo y caudal estimado de succión con bomba de vacío

Tipo de bomba	Volumen succionado (m³)	Tiempo de llenado (min)	Caudal estimado (m³/min)	Observaciones
Bomba de vacío Masport SIDEWINDE R CCW	18.93	25-35	0.54 – 0.76	El tiempo mejora respecto a la bomba Electro Hidráulica, aunque sigue dependiendo de la densidad del lodo.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4. Cálculo de tiempos de succión, transporte y descarga aplicando el plan de mejora

Con la incorporación del sistema de bombeo por vacío en las cisternas, los tiempos de operación por ciclo mejoraron. Antes de la implementación del plan de mejora, la etapa de succión demandaba entre 45 y 60 minutos, el recorrido de traslado y retorno aproximadamente 120 minutos, la descarga 45 minutos y las esperas y maniobras 10 minutos. Por tanto, el tiempo total por ciclo se encontraba entre 220 y 235 minutos, con un promedio de 227,5 minutos. Después de la implementación, el tiempo de succión se redujo a un rango de 25 a 35 minutos y la descarga a un rango de 15 a 20 minutos, mientras que el tiempo de traslado y retorno y las maniobras se mantuvieron constantes. En consecuencia, el tiempo total por ciclo después de la mejora se encontró entre 170 y 185 minutos, con un promedio de 177,5 minutos. La reducción promedio fue de 50 minutos por ciclo, equivalente al 21,98 %. Esta mejora permitió reducir el tiempo total del ciclo operativo mediante la disminución de los tiempos de succión y descarga, mejorando la continuidad operativa del sistema.

$$45 + 120 + 45 + 10 = 220 \text{ min}$$

$$60 + 120 + 45 + 10 = 235 \text{ min}$$

$$\frac{220 + 235}{2} = 227,5 \text{ min}$$

$$25 + 120 + 15 + 10 = 170 \text{ min}$$

$$35 + 120 + 20 + 10 = 185 \text{ min}$$

$$\frac{170 + 185}{2} = 177,5 \text{ min}$$

$$227,5 - 177,5 = 50 \text{ min}$$

$$\frac{50}{227,5} \times 100 = 21,98\%$$

Tabla 13

Tiempos de ciclo y productividad antes y después del plan de mejora

Escenario	Succión (min)	Traslado y retorno (min)	Descarga (min)	Esperas/maniobras (min)	Tiempo total por ciclo (min)	Tiempo promedio (min)
Antes	45–60	120	45	10	220–235	227,5
Después	25–35	120	15–20	10	170–185	177,5

Fuente: Elaboración Propia

Nota. El tiempo total por ciclo se obtuvo mediante la suma del tiempo de succión, traslado y retorno, descarga y esperas o maniobras. La reducción promedio del ciclo fue de 50 minutos, equivalente al 21,98 %.

4.2.5. Comportamiento del mantenimiento y disponibilidad con el plan de mejora

La implementación del plan de mejora permitió mejorar el comportamiento operativo del sistema de bombeo y reducir la recurrencia de mantenimientos correctivos. Antes de la mejora, las unidades equipadas con bombas electrohidráulicas presentaban mayores tiempos de succión, mayor frecuencia de fallas y una mayor cantidad de días fuera de servicio. Después de la implementación, la unidad incorporada con bomba de vacío presentó un comportamiento más estable durante el segundo semestre de 2024.

La reducción de fallas y paradas no programadas estuvo relacionada con las características del nuevo sistema de bombeo, especialmente por el uso de una bomba de vacío rotativa de paletas lubricada, más adecuada para la succión de lodos. Esto permitió reducir el tiempo de succión de 45–60 minutos a 25–35 minutos y disminuir la exigencia sobre los componentes del sistema.

Asimismo, debe considerarse la antigüedad de las unidades como un factor que influye en sus requerimientos de mantenimiento. La cisterna Cód. 1755, de mayor antigüedad, presentó una mayor recurrencia de mantenimientos correctivos durante el segundo semestre, mientras que la unidad incorporada, de menor antigüedad y mejores condiciones mecánicas, presentó principalmente mantenimientos preventivos y menor incidencia de fallas.

En consecuencia, la mejora observada en la disponibilidad mecánica no se atribuye únicamente al cambio del sistema de bombeo. También estuvo influenciada por la incorporación de una unidad más reciente, con mejores condiciones mecánicas y menores requerimientos de mantenimiento. Esta combinación permitió mejorar la continuidad operativa del sistema y reducir las paradas no programadas.

Tabla 14

Comparación técnica-operativa entre bomba Electro Hidráulica y bomba de vacío en el sistema de succión de lodos

Característica	Bomba Electro Hidráulica	Bomba de vacío
Tipo de bomba	Electro Hidráulica	Vacío/presión tipo rotativo de paletas, lubricada y refrigerada por ventilador.
Tiempo promedio de succión (min)	45 - 60	25-35
Fallas frecuentes registradas	Sobrecalentamiento, pérdida de succión, desgaste en sellos y válvulas	Menor esfuerzo hidráulico, reducidas por diseño especializado
Vida Útil operativa estimada	Reducida en 30-40%	Estable (sin deterioro significativo en 6 meses)
Frecuencia de mantenimiento correctivo	Alta (cada 3-4 semanas por unidad)	Baja (según programación preventiva)
Impacto en la disponibilidad (%)	≈ 84-88 %	≈ 91 %

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15

Mantenimiento mensual de cisternas Mercedes Benz MT7089 y Hino 1755 (julio-diciembre 2024)

Mes	Mantenimiento Mercedes Benz MT7089	Días detenida MT7089	Mantenimiento Hino 1755	Días detenida 1755
Julio	Mantenimiento preventivo	2	Preventivo + correctivo (falla leve)	3,5
Agosto	Mantenimiento preventivo	2	Preventivo + correctivo (falla leve)	4
Setiembre	Preventivo + correctivo (falla operativa)	3,5	Preventivo + correctivo (falla leve)	4,5
Octubre	Mantenimiento preventivo	2	Mantenimiento preventivo	2
Noviembre	Mantenimiento preventivo	2	Preventivo + correctivo (baja succión)	5
Diciembre	Preventivo + correctivo (baja succión)	6,5	Preventivo + correctivo (falla mecánica)	6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16

Distribución de la jornada horaria en las operaciones de Inversiones Merma S.A.C.

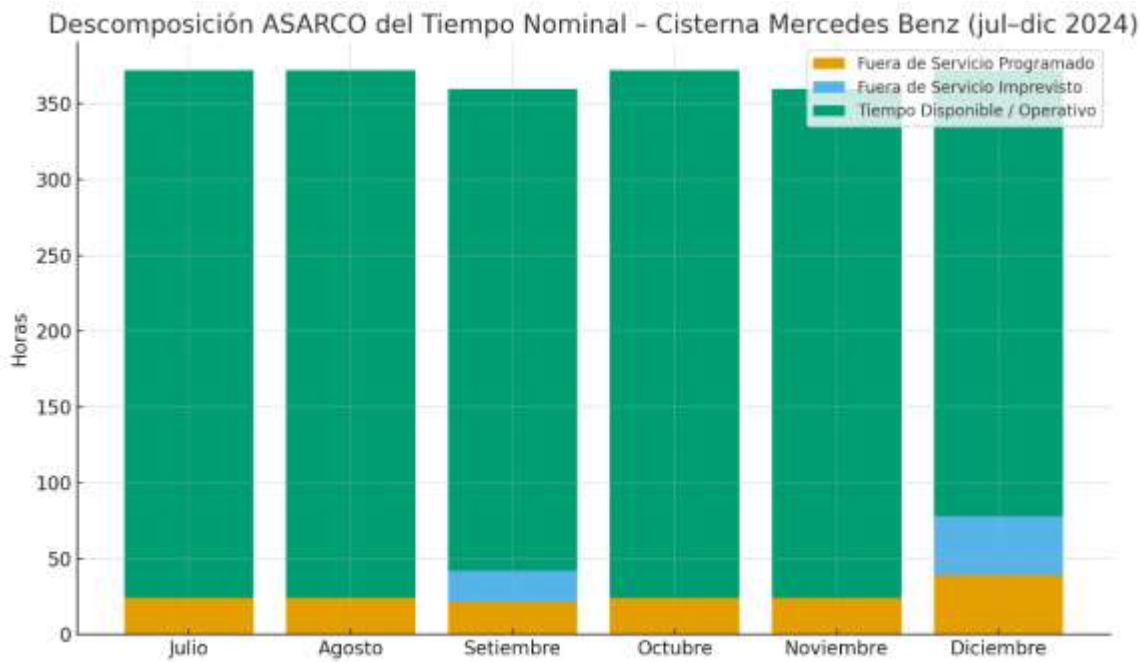
Ítem	Itinerario	Horario	Duración (h)
I.1	Ingreso	6:00 – 6:15	0,25
I.2	Reunión de inicio de guardia	6:15 – 6:30	0,25
I.3	Inicio de guardia	6:30 – 12:00	5,50
I.4	Pausa activa (mañana)	Después del primer ciclo	0,17
I.5	Almuerzo y descanso	12:10 – 13:10	1,00
I.6	Continuación de guardia	13:10 – 17:50	4,67
I.7	Pausa activa (tarde)	17:50 – 18:00	0,17
Total, jornada disponible			12,00

Fuente: Elaboración Propia

Nota: El intervalo de 6:00 a 6:15 corresponde a la preparación previa a la reunión de inicio de guardia.

Figura 21

Descomposición ASARCO del tiempo nominal – Cisterna Mercedes Benz (jul–dic 2024)



Fuente: Elaboración Propia

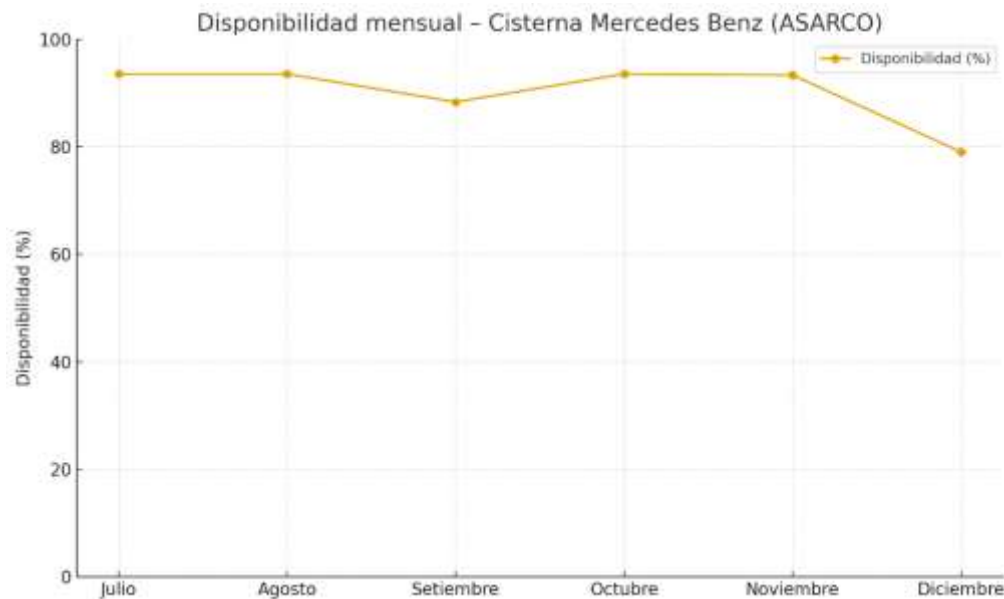
La Figura 21 muestra la distribución del tiempo nominal de la unidad incorporada durante julio–diciembre de 2024. Se observa que durante la mayor parte del periodo predominó el tiempo

disponible, mientras que las paradas no programadas fueron reducidas y se concentraron principalmente en setiembre y diciembre.

Este comportamiento estuvo relacionado con la menor frecuencia de fallas y con mejores condiciones mecánicas de la unidad incorporada. Asimismo, su menor antigüedad respecto a las unidades evaluadas en el primer semestre contribuyó a reducir los requerimientos de mantenimiento correctivo y favorecer una mayor continuidad operativa.

Figura 22

Disponibilidad mensual – Cisterna Mercedes Benz (ASARCO).

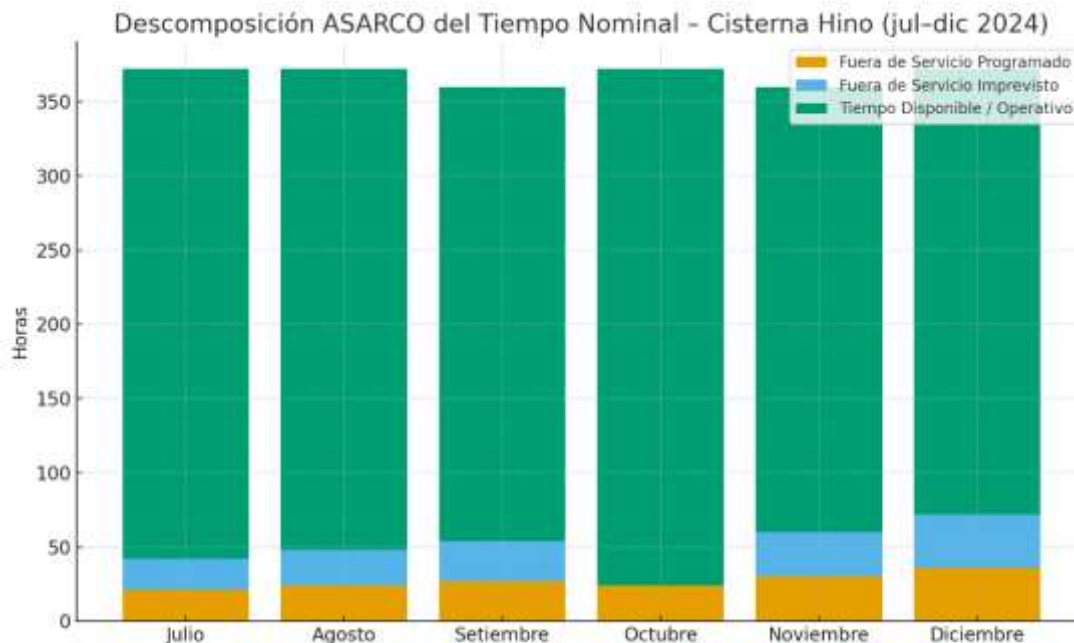


Fuente: Elaboración Propia

La Figura 22 muestra que la unidad incorporada alcanzó una disponibilidad promedio cercana al 91 % durante el segundo semestre de 2024. Este resultado estuvo asociado tanto al sistema de bombeo por vacío como a la menor antigüedad y mejores condiciones mecánicas de la unidad, por lo que la mejora de disponibilidad no se atribuye únicamente al cambio del sistema de bombeo.

Figura 23

Descomposición ASARCO del tiempo nominal – Cisterna Hino (jul–dic 2024)



Fuente: Elaboración Propia

La Figura 23 muestra que la cisterna Cód. 1755 presentó una mayor proporción de horas fuera de servicio no programado en comparación con la unidad incorporada, especialmente hacia el final del segundo semestre. Esta condición se relaciona con la mayor recurrencia de mantenimientos correctivos y con la antigüedad de la unidad, factores que incrementaron sus requerimientos de mantenimiento.

En diciembre se observa el mayor incremento de horas de parada, asociado a una falla mecánica. Estos resultados evidencian que la cisterna Cód. 1755 mantuvo una mayor sensibilidad a fallas, afectando su continuidad operativa y su disponibilidad mecánica.

Figura 24

Disponibilidad mensual – Cisterna Hino (ASARCO)



Fuente: Elaboración Propia

La Figura 24 muestra que la cisterna Cód. 1755 presentó una disponibilidad más variable durante el segundo semestre de 2024, con una disminución en noviembre y diciembre debido al incremento de mantenimientos correctivos y días fuera de servicio. En comparación con la unidad incorporada, presentó mayores requerimientos de mantenimiento, asociados a su mayor antigüedad y a la recurrencia de fallas mecánicas e hidráulicas.

En el primer semestre, la cisterna Cód. 1755 registró una disponibilidad promedio aproximada de 88 %, mientras que la cisterna Cód. 443 alcanzó aproximadamente 84 %. En el segundo semestre, la unidad incorporada alcanzó una disponibilidad promedio cercana al 91 %, mientras que la cisterna Cód. 1755 registró aproximadamente 87 %. Esta diferencia estuvo influenciada tanto por el sistema de bombeo utilizado como por la menor antigüedad y mejores condiciones mecánicas de la unidad incorporada.

La disponibilidad mecánica se calculó mediante el criterio ASARCO:

$$\text{Disponibilidad (\%)} = (\text{Tiempo Disponible} / \text{Tiempo Nominal del mes}) \times 100,$$

donde el tiempo disponible se obtiene como la diferencia entre el tiempo nominal y la suma de las horas fuera de servicio programado y no programado.

Este análisis permitió identificar los periodos con mayor incidencia de paradas y establecer la relación entre mantenimiento, antigüedad de las unidades y disponibilidad mecánica.

4.2.6. Gestión de Seguridad en la Empresa

Con la finalidad de evaluar el desempeño de la gestión de seguridad durante el periodo de estudio, se consolidó la información correspondiente al año 2024 relacionada con el número de trabajadores, incidentes, accidentes, accidentes incapacitantes, accidentes fatales, días perdidos y horas-hombre trabajadas en las operaciones de Inversiones Merma S.A.C. en la unidad Minera Antapaccay – Proyecto Integración Corocchohuayco.

A partir de esta Información se calcularon los principales indicadores de seguridad utilizados en minería: el Índice de Frecuencia (IF), el Índice de Severidad (IS) y el Índice de Accidentabilidad (IA), con el propósito de verificar si la implementación del plan de mejora influyó en el desempeño de la seguridad durante las operaciones.

La Tabla 17 presenta el registro mensual de las variables utilizadas para el cálculo de estos indicadores, mientras que las Figuras 25, 26 y 27 muestran su comportamiento durante el año 2024. El análisis de estos resultados permite evaluar si el incremento de la eficiencia operativa obtenido con el plan de mejora se mantuvo bajo condiciones adecuadas de seguridad y sin afectar el desempeño del personal.

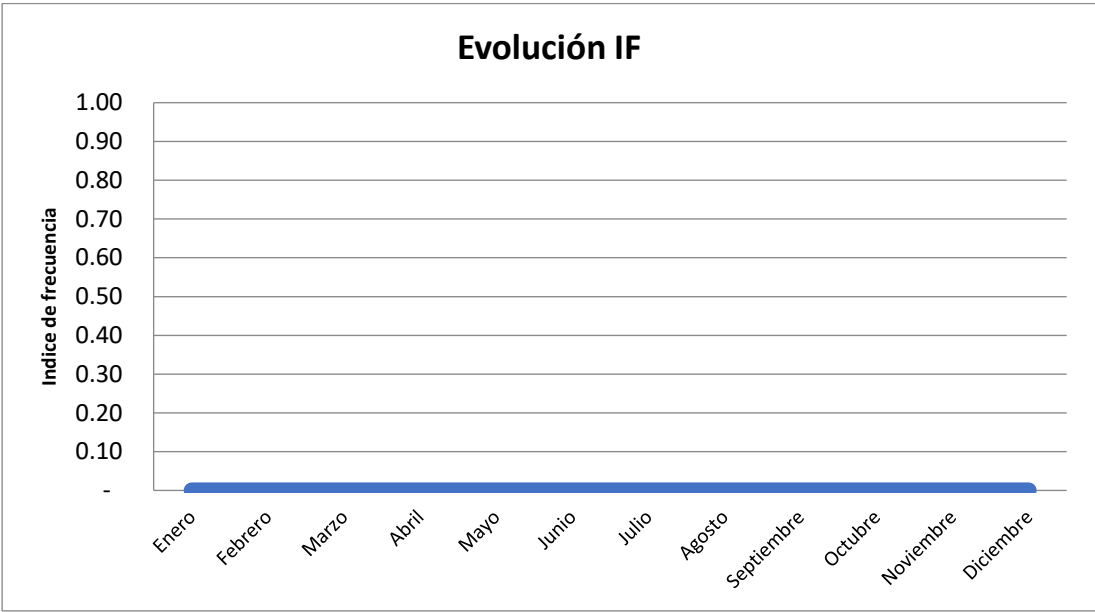
Tabla 17*Registro mensual – Año 2024*

Mes	N.º trabajadores mensuales (empresa)	Incidentes (mes)	Accidentes leves (mes)	Accidentes incapacitantes (mes)	Accidentes fatales (mes)	Días perdidos (mes)	Horas hombre trabajadas (mes)	Horas hombre trabajadas acumuladas 1.er semestre
Enero	10	0	0	0	0	0	3 410	3 410
Febrero	10	0	0	0	0	0	3 140	6 550
Marzo	10	0	0	0	0	0	3 820	10 370
Abril	10	0	0	0	0	0	3 290	13 660
Mayo	10	0	0	0	0	0	3 540	17 200
Junio	10	0	0	0	0	0	3 450	20 650
Mes	N.º trabajadores mensuales (empresa)	Incidentes (mes)	Accidentes leves (mes)	Accidentes incapacitantes (mes)	Accidentes fatales (mes)	Días perdidos (mes)	Horas hombre trabajadas (mes)	Horas hombre trabajadas acumuladas 2.º semestre
Julio	10	0	0	0	0	0	3 620	3 620
Agosto	10	0	0	0	0	0	3 500	7 120
Septiembre	10	0	0	0	0	0	3 810	10 930
Octubre	10	0	0	0	0	0	3 860	14 790
Noviembre	10	0	0	0	0	0	3 905	18 695
Diciembre	10	0	0	0	0	0	3 830	22 525

Fuente: Elaboración Propia

Figura 25

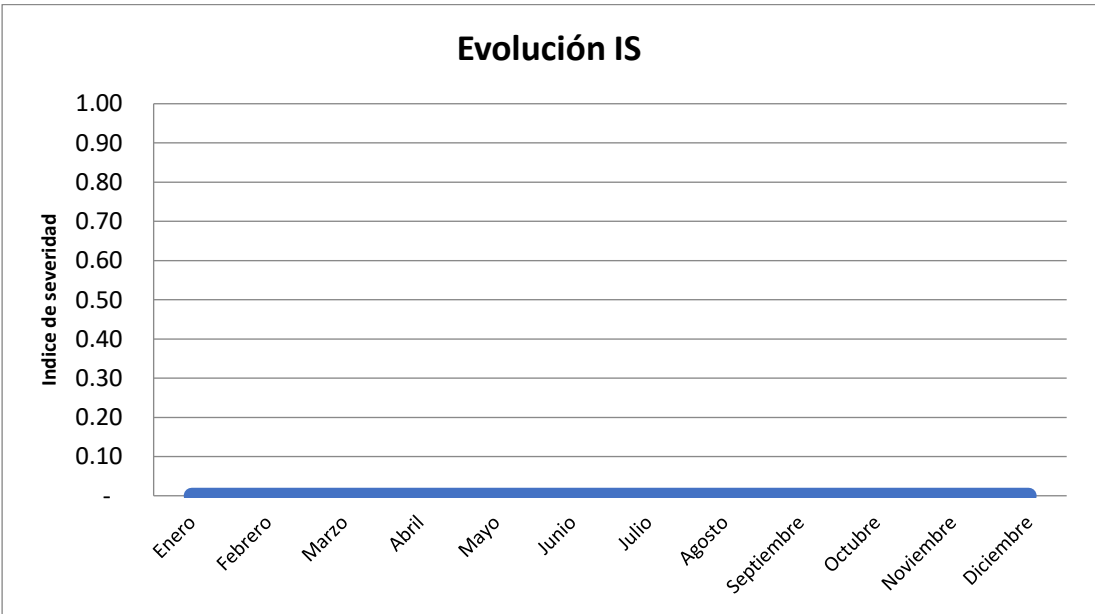
Evolución mensual del Índice de Frecuencia (IF) – Inversiones Merma en Antapaccay, año 2024



Fuente: Elaboración Propia

Figura 26

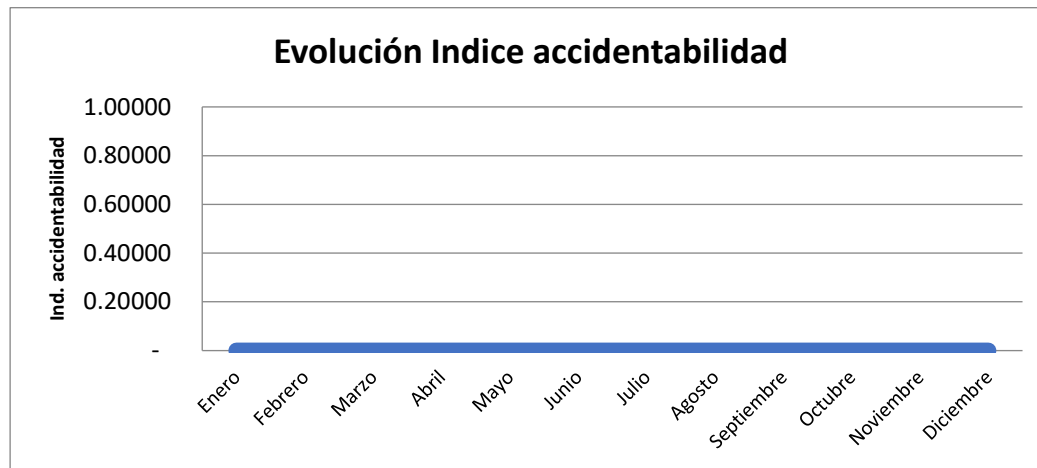
Evolución mensual del Índice de Severidad (IS) – Inversiones Merma en Antapaccay, año 2024.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27

Evolución mensual del Índice de Accidentabilidad (IA) – Inversiones Merma en Antapaccay, año 2024.



Fuente: Elaboración Propia

4.2.7. Costo de transporte de lodos después de la Implementación

La mejora operativa implementada mediante la incorporación del sistema de bombeo con tecnología de vacío tuvo un impacto directo en la estructura económica del servicio de transporte de lodos. Después de la implementación, el costo total mensual del servicio ascendió a S/. 97 222,58, compuesto por un costo directo de S/. 86 037,68 y costos indirectos asociados a administración e imprevistos. Este valor considera los principales componentes del servicio: mano de obra, equipos, combustible, EPPs, EMOS y otros materiales y consumibles necesarios para la operación de las cisternas Mercedes Benz MT7089 y Hino 1755.

Tabla 18*Costos de transportes de Lodos mensual después de la Implementación*

Ítem	Descripción	Cantidad	P. unitario S/.	P. mensual S/.
A. Mano de obra				
A.1	Seguridad, incluye Sup. HSEC	1	5 847,70	5 847,70
A.2	Conductores	2	3 950,06	7 900,12
A.3	Operarios	2	2 490,34	4 980,68
A.4	Descanseros, 1 conductor y 1 operario	2	6 440,40	6 440,40
B. Equipos				
B.1	Cisterna Mercedes Benz MT7089	1	21 460,00	21 460,00
B.2	Cisterna Hino 1755	1	13 000,00	13 000,00
C. Materiales y consumibles				
C.1	Combustible cisterna Mercedes Benz MT7089	1	12 180,00	12 180,00
C.2	Combustible cisterna Hino 1755	1	10 150,00	10 150,00
C.3	EPPs	Global	583,60	583,60
C.4	EMOS	7	56,03	392,19
C.5	Otros materiales y consumibles	Global	3 103,00	3 103,00
Costo directo				86 037,68
Costos indirectos				
Costos administrativos 3 %				2 581,13
Imprevistos 10 %				8 603,77
Costo total mensual del servicio				97 222,58

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar el costo unitario por metro cúbico de lodo transportado después de la implementación del plan de mejora, se debe utilizar una misma base temporal. Debido a que el costo de la Tabla 18 corresponde a un costo mensual, este no debe dividirse entre la producción semestral acumulada, sino entre la producción mensual promedio del periodo julio–diciembre de 2024.

La producción total del segundo semestre fue de 19 042,43 m³. Por tanto, la producción mensual promedio se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Producción mensual promedio} = \frac{19\,042,43\,m^3}{6\,meses}$$

$$\text{Producción mensual promedio} = 3\,173,74\,m^3/mes$$

Luego, el costo unitario se obtiene dividiendo el costo total mensual del servicio entre la producción mensual promedio:

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo total mensual del servicio}}{\text{Producción mensual promedio}}$$

$$\text{Costo unitario} = \frac{97\,222,58\,S/.}{3\,173,74\,m^3}$$

$$\text{Costo unitario} = 30,63\,S/./m^3$$

Por tanto, después de la implementación del plan de mejora, el costo unitario del transporte de lodos fue de S/. 30,63 por m³. Este valor representa el costo real mensual del servicio en relación con la producción mensual promedio alcanzada durante el segundo semestre de 2024.

Comparando este resultado con la situación antes de la implementación, donde el costo unitario fue de S/. 32,87/m³, se obtiene una reducción de S/. 2,24 por m³, equivalente aproximadamente a una disminución del 6,81 %. Esta mejora se explica por el incremento del volumen mensual transportado, que pasó de 2 596,88 m³/mes en el primer semestre a 3 173,74 m³/mes en el segundo semestre. En consecuencia, aunque el costo mensual del servicio aumentó por la incorporación de la cisterna Mercedes Benz MT7089, el mayor volumen evacuado permitió distribuir mejor los costos operativos y reducir el costo unitario por metro cúbico transportado.

De manera equivalente, el cálculo también puede verificarse en base semestral. El costo total del servicio durante seis meses después de la implementación fue de S/. 583 335,48, obtenido al multiplicar el costo mensual de S/. 97 222,58 por seis meses. Al dividir este monto entre la producción semestral acumulada de 19 042,43 m³, se obtiene nuevamente un costo unitario de S/. 30,63/m³, confirmando la consistencia del cálculo.

En síntesis, la mejora implementada no debe presentarse como un incremento de rentabilidad financiera, debido a que no se calcularon indicadores como VAN, TIR, beneficio/costo o utilidad neta. Sin embargo, sí se evidencia una optimización económica del servicio, sustentada en la reducción del costo unitario, el incremento del volumen mensual evacuado y el cumplimiento sostenido de la meta operativa. Asimismo, no se consideró la depreciación de los camiones cisterna, debido a que las unidades utilizadas en el servicio son alquiladas y no forman parte de los activos de Inversiones Merma S.A.C.; por ello, el análisis económico se realizó considerando los costos mensuales asociados a la prestación del servicio.

4.2.8. Aplicación del plan de mejora para optimizar el sistema de bombeo de lodos en camiones cisterna.

Tabla 19

Tabla comparativa antes vs. después

Indicador	Situación antes de la implementación (enero–junio 2024)	Situación después de la implementación (julio–diciembre 2024)	Variación / resultado
Cumplimiento de meta mensual de 2 800 m ³	3 de 6 meses	6 de 6 meses	Mejora del cumplimiento mensual
Producción total semestral (m ³)	15 581,29	19 042,43	+3 461,14 m ³
Producción promedio mensual (m ³ /mes)	2 596,88	3 173,74	+576,86 m ³ /mes
Disponibilidad promedio cisterna Hino 1755 (%)	≈ 88 %	≈ 87 %	Ligera variación de -1 p.p.
Disponibilidad promedio cisterna Volvo 443 / Mercedes Benz MT7089 (%)	≈ 84 % Volvo 443	≈ 91 % Mercedes Benz MT7089	+7 p.p. respecto a Volvo 443
Costo total mensual del servicio (S/.)	85 368,88	97 222,58	+11 853,70
Costo unitario de transporte (S/./m ³)	32,87	30,63	-2,24 S/./m ³
Reducción porcentual del costo unitario (%)	—	—	-6,81 %

Fuente: Elaboración propia

Tras el análisis de resultados presentados en los apartados anteriores, se plantea la aplicación técnica gradual del plan de mejora implementado en la unidad operativa de transporte de lodos. Esta aplicación considera una estrategia progresiva y controlada, cuyo objetivo es estandarizar el sistema de bombeo por vacío y extender sus beneficios operativos al conjunto de la flota. La propuesta se basa en la experiencia obtenida durante el segundo semestre de 2024, en el cual se incorporó una cisterna Mercedes Benz con bomba de vacío y se aplicó de manera sistemática la clasificación ASARCO del tiempo nominal, lo que permitió registrar mejoras en

indicadores clave como tiempos por ciclo, disponibilidad mecánica, volumen mensual evacuado y costo unitario por metro cúbico transportado. Los principales resultados comparativos se resumen en la Tabla 19, donde se observa que, después del plan de mejora, la meta mensual de 2 800 m³ se cumple en todos los meses del segundo semestre y la disponibilidad de la nueva cisterna se mantiene por encima del 90 %, superando significativamente el desempeño de la cisterna Volvo del primer semestre.

El plan de mejora se estructura en dos dimensiones principales. La dimensión técnica comprende: (i) la incorporación de la cisterna Mercedes Benz MT7089 equipada con bomba de vacío, (ii) la estandarización de los tiempos de succión, transporte y descarga mediante el seguimiento de ciclos diarios, (iii) la programación de mantenimientos preventivos y preventivo–correctivos según la descomposición ASARCO del tiempo nominal, y (iv) la capacitación operativa del personal de conductores, operadores y supervisores para asegurar el uso eficiente del nuevo sistema. La dimensión económica se orienta a optimizar la estructura de costos del servicio, incluyendo: (i) la actualización de los costos directos de mano de obra y equipos, (ii) la cuantificación de los consumos de combustible, EPPs y otros materiales antes y después de la mejora, y (iii) la evaluación del costo unitario por m³ de lodos transportado. Como se aprecia al comparar las Tablas 11 y 19, el costo mensual total del servicio se incrementa por la incorporación del nuevo equipo; sin embargo, este aumento se compensa con el mayor volumen evacuado y con la reducción del costo unitario, lo que contribuye a un margen operativo más saludable y a la mitigación de riesgos económicos asociados al incumplimiento de la meta de transporte.

En síntesis, la fase inicial de implementación del plan de mejora consiste en un modelo de validación con un vehículo piloto equipado con bomba de vacío, monitoreando sus indicadores de rendimiento bajo condiciones reales de operación. Esta etapa permite ajustar parámetros técnicos

como frecuencias de mantenimiento, tiempos de ciclo y respuesta ante variaciones en la densidad del lodo, y al mismo tiempo cuantificar el impacto económico en términos de costo por m³. A partir de estos resultados, el plan prevé la estandarización progresiva del sistema de bombeo por vacío al resto de la flota, priorizando aquellas unidades con menor disponibilidad o mayores costos de operación, de manera que la optimización lograda con el piloto pueda ser replicada y consolidada a nivel global en la unidad minera.

4.3. CONTRIBUCION SOCIAL DERIVADA DE LA MEJORA DEL SISTEMA DE BOMBEO

4.3.1. Rol de la empresa contratista en la cadena operativa del proyecto

La empresa Inversiones Merma S.A.C., es la contratista responsable del servicio de bombeo y transporte de aguas y lodos mediante camiones cisterna en el proyecto integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay. Como parte de la operación minera participa en la evacuación de aguas y lodos desde las pozas de sedimentación hacia los puntos de disposición establecidos, contribuyendo a la continuidad de las actividades operativas del proyecto.

En este contexto el sistema e bombeo y transporte constituye un proceso de apoyo para la operación minera, ya que permite mantener operativa las áreas de trabajo mediante la evacuación oportuna de aguas y lodos. Por ello, la eficiencia del servicio prestado por la empresa contratista tiene incidencia en el cumplimiento de la programación operativa establecida por la empresa minera.

4.3.2. Contribución de la mejora operativa al entorno social

La implementación del plan de mejora permitió mejorar el desempeño técnico y económico del sistema de bombeo y transporte de aguas y lodos, evidenciado en el incremento de la producción mensual, el cumplimiento sostenido de la meta operativa y la reducción del costo

unitario del servicio. Estos resultados fortalecen la capacidad operativa de la empresa contratista para cumplir los requerimientos establecidos por la Compañía Minera Antapaccay.

Desde una perspectiva social, cuando una operación es más eficiente y continua puede contribuir a generar mejores condiciones para la estabilidad del servicio prestado por la empresa Inversiones Merma S.A.C., y favorecer la continuidad de sus actividades dentro de la operación minera. Si bien estos efectos no fueron medidos mediante indicadores específicos en la investigación realizada, constituye implicancia derivadas de las mejoras del desempeño operativo obtenido.

4.3.3. Relevancia de la participación de la empresa contratista en la sostenibilidad de la operación

La participación de empresas contratistas como Inversiones Merma S.A.C., en actividades de bombeo y transporte de aguas y lodos contribuye al desarrollo de las operaciones de la unidad Minera Antapaccay – Coroccohuyco, al brindar un servicio especializado que forma parte del proceso operativo del proyecto. En este contexto la implementación de mejoras técnicas y operativas permite fortalecer la capacidad de respuesta de la empresa contratista frente a los requerimientos del servicio.

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la incorporación de un sistema de bombeo con bomba de vacío, junto con el control operativo por unidad, permitió mejorar indicadores como la producción mensual, la disponibilidad mecánica y el costo unitario del servicio. Estos resultados constituyen una referencia técnica para la mejora continua de las operaciones desarrolladas por la empresa contratista.

De manera complementaria, una operación más eficiente puede favorecer la continuidad del servicio realizado por la empresa contratista y fortalecer su capacidad para participar en

proyectos similares. Estos aspectos representan posibles beneficios asociados a la mejora operativa; sin embargo, no fueron evaluados mediante indicadores específicos en esta investigación.

CAPÍTULO V:

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MEJORA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS Y LODOS EN CAMIONES CISTERNA.

La implementación del plan de mejora en el sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna permitió evidenciar cambios favorables en los indicadores operativos y económicos del servicio ejecutado por Inversiones Merma S.A.C. en el Proyecto Integración Corocohuayco de la Unidad Minera Antapaccay. La evaluación se realizó comparando dos periodos: antes de la implementación, correspondiente a enero–junio de 2024, y después de la implementación, correspondiente a julio–diciembre de 2024.

Antes de la mejora, el sistema operaba con las cisternas Hino 1755 y Volvo 443, presentando limitaciones en el cumplimiento de la meta mensual, mayor frecuencia de mantenimientos correctivos y variabilidad en la disponibilidad mecánica. Después de la implementación, se incorporó la cisterna Mercedes Benz MT7089 equipada con bomba de vacío,

manteniéndose la cisterna Hino 1755 como parte del sistema operativo. Esta modificación permitió incrementar el volumen mensual transportado, mejorar el cumplimiento de la meta operativa y reducir el costo unitario por metro cúbico de lodo transportado.

Tabla 20

Comparación de indicadores operativos y económicos antes y después del plan de mejora

Indicador	Antes del plan de mejora enero–junio 2024	Después del plan de mejora julio–diciembre 2024	Variación / resultado
Equipos operativos evaluados	Hino 1755 y Volvo 443	Hino 1755 y Mercedes Benz MT7089	Reemplazo de Volvo 443 por Mercedes Benz MT7089
Producción total semestral (m ³)	15 581,29	19 042,43	+3 461,14 m ³
Producción promedio mensual (m ³ /mes)	2 596,88	3 173,74	+576,86 m ³ /mes
Cumplimiento de meta mensual de 2 800 m ³	3 de 6 meses	6 de 6 meses	Mejora del cumplimiento operativo
Disponibilidad promedio Hino 1755 (%)	≈ 88 %	≈ 87 %	Ligera reducción de 1 punto porcentual
Disponibilidad promedio Volvo 443 / Mercedes Benz MT7089 (%)	≈ 84 % Volvo 443	≈ 91 % Mercedes Benz MT7089	+7 puntos porcentuales
Días detenidos acumulados por mantenimiento	54 días	43 días	-11 días detenidos
Costo total mensual del servicio (S/.)	85 368,88	97 222,58	+11 853,70
Costo unitario de transporte (S/./m ³)	32,87	30,63	-2,24 S/./m ³
Reducción porcentual del costo unitario	—	—	-6,81 %

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el plan de mejora permitió incrementar la producción semestral de 15 581,29 m³ a 19 042,43 m³, equivalente a una mejora de 22,21 %. Asimismo, el cumplimiento de la meta mensual de 2 800 m³ pasó de tres meses cumplidos en el primer semestre a seis meses

cumplidos en el segundo semestre. Aunque el costo total mensual del servicio aumentó por la incorporación de la cisterna Mercedes Benz MT7089, el mayor volumen transportado permitió reducir el costo unitario de S/. 32,87/m³ a S/. 30,63/m³.

Tabla 21

Comparación de productividad del sistema de bombeo de lodos con camiones cisterna (Antes vs. Después)

Indicador	Antes enero–junio 2024	Después julio–diciembre 2024	Variación
Producción total semestral (m ³)	15 581,29	19 042,43	+3 461,14 m ³
Producción promedio mensual (m ³ /mes)	2 596,88	3 173,74	+576,86 m ³ /mes
Meta mensual establecida (m ³)	2 800,00	2 800,00	Sin variación
Cumplimiento de meta mensual	3 de 6 meses	6 de 6 meses	Mejora total del cumplimiento
Incremento porcentual de producción	—	—	+22,21 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22

Comparación de tiempos operativos del sistema de bombeo de lodos (Antes vs. Después)

Indicador	Antes del plan de mejora	Después del plan de mejora	Resultado
Sistema de bombeo utilizado	Electrohidráulico	Bomba de vacío	Mejora técnica del sistema
Capacidad equivalente por viaje	18,93 m ³	18,93 m ³	Sin variación nominal
Tiempo de succión por carga	45–60 min	25–35 min	Reducción del tiempo de succión
Caudal estimado de succión	0,32–0,42 m³/min	0,54–0,76 m³/min	Incremento del caudal
Tiempo total por ciclo	220–235 min	170–185 min	Reducción del ciclo
Tiempo promedio por ciclo	227,5 min	177,5 min	Reducción de 50 min
Variación porcentual del ciclo	—	—	–21,98 %
Control de viajes por unidad	Limitado	Codificado por equipo	Mayor trazabilidad

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Comparación de costos operativos del transporte de lodos con camión cisterna (Antes vs. Después)

Indicador	Antes enero–junio 2024	Después julio– diciembre 2024	Variación
Costo total mensual del servicio (S/.)	85 368,88	97 222,58	+11 853,70
Producción mensual promedio (m ³ /mes)	2 596,88	3 173,74	+576,86
Costo unitario de transporte (S./m ³)	32,87	30,63	-2,24
Reducción porcentual del costo unitario	—	—	-6,81 %
Días detenidos por mantenimiento	54 días	43 días	-11 días

Fuente: Elaboración propia

5.1.1. Resultados en el sistema de bombeo de lodos en los camiones cisterna, aplicando el plan de mejora en relación a los tiempos de operación en los procesos.

Previo a la implementación del plan de mejora, el sistema de bombeo de lodos presentaba tiempos de succión más variables debido al uso de bombas electrohidráulicas y a la presencia de lodos con alta densidad y sólidos en suspensión. Estas condiciones generaban sobreesfuerzo en los componentes del sistema, pérdida de capacidad de succión, obstrucción de filtros y mayor frecuencia de mantenimientos correctivos.

Con la implementación del sistema de bomba de vacío en la cisterna Mercedes Benz MT7089, el proceso de succión se estabilizó en un rango operativo de 25 a 35 minutos por carga, considerando una capacidad nominal de tanque de 5 000 galones, equivalente aproximadamente a 18,93 m³. Bajo este criterio, el caudal de succión estimado se ubicó entre 0,54 m³/min y 0,76 m³/min, calculado mediante la relación entre el volumen de la cisterna y el tiempo de succión.

La mejora en el tiempo de succión permitió reducir la variabilidad del ciclo operativo, ordenar la programación de viajes diarios y disminuir los tiempos muertos asociados al llenado de

las cisternas. Asimismo, la mayor estabilidad del sistema de vacío contribuyó a mejorar la continuidad del proceso de succión, transporte y descarga de lodos, generando mejores condiciones para alcanzar la meta mensual de producción.

Al integrar los tiempos de succión, traslado y retorno, descarga y maniobras, el ciclo operativo promedio disminuyó de 227,5 minutos antes de la mejora a 177,5 minutos después de la mejora. Esto representó una reducción promedio de 50 minutos por ciclo, equivalente al 21,98 %.

5.1.2. Resultados en el sistema de bombeo de lodos en los camiones cisterna, aplicando el plan de mejora en relación a la capacidad de carga de los camiones

El plan de mejora permitió incrementar la capacidad efectiva de evacuación de lodos mediante la incorporación de la cisterna Mercedes Benz MT7089 con tanque de 5 000 galones, equivalente a 18,93 m³ por viaje. Esta unidad reemplazó a la cisterna Volvo 443, que durante el primer semestre presentó mayores restricciones operativas y mayor cantidad de días detenidos por mantenimiento.

Antes de la implementación, la producción total acumulada durante enero–junio de 2024 fue de 15 581,29 m³, con un promedio mensual de 2 596,88 m³/mes. Después de la implementación, en el periodo julio–diciembre de 2024, la producción total alcanzó 19 042,43 m³, con un promedio mensual de 3 173,74 m³/mes. Esto representa un incremento de 3 461,14 m³ en el semestre y una mejora mensual promedio de 576,86 m³/mes.

Además, el cumplimiento de la meta mensual de 2 800 m³ mejoró significativamente. En el primer semestre solo se cumplió la meta en 3 de 6 meses, mientras que en el segundo semestre se logró cumplir en 6 de 6 meses. Esto demuestra que la mejora no solo incrementó la producción acumulada, sino que también estabilizó la capacidad mensual de transporte de lodos.

Por tanto, la incorporación de una unidad con mejores condiciones de succión y mayor confiabilidad operativa permitió mejorar la capacidad efectiva del sistema, sosteniendo volúmenes superiores a la meta mensual y reduciendo la dependencia de equipos con mayor incidencia de fallas.

5.1.3. Resultados en el sistema de bombeo de lodos en los camiones cisterna aplicando el plan de mejora en relación a los costos de operación y mantenimiento

Antes de la implementación del plan de mejora, el costo total mensual del servicio de transporte de lodos fue de S/. 85 368,88, considerando costos directos e indirectos asociados a mano de obra, equipos, combustible, EPPs, EMOS, materiales, costos administrativos e imprevistos. Con una producción mensual promedio de 2 596,88 m³/mes, el costo unitario de transporte fue de S/. 32,87/m³.

Después de la implementación del plan de mejora, el costo total mensual del servicio se incrementó a S/. 97 222,58, debido principalmente a la incorporación de la cisterna Mercedes Benz MT7089 y al mayor costo asociado a su operación. Sin embargo, la producción mensual promedio también aumentó a 3 173,74 m³/mes, lo que permitió reducir el costo unitario a S/. 30,63/m³.

La comparación evidencia una reducción de S/. 2,24 por m³, equivalente a una disminución aproximada de 6,81 % en el costo unitario de transporte. Esto demuestra que, aunque el costo mensual total aumentó, la mayor productividad del sistema permitió distribuir mejor los costos operativos sobre un mayor volumen de lodos transportados.

En relación con el mantenimiento, antes de la mejora se registraron 54 días detenidos entre las cisternas Hino 1755 y Volvo 443 durante el primer semestre. Después de la mejora, las cisternas Mercedes Benz MT7089 y Hino 1755 acumularon 43 días detenidos durante el segundo semestre,

reduciéndose en 11 días las paradas por mantenimiento. Esta disminución contribuyó a mejorar la continuidad operativa y a reducir la afectación del servicio por fallas correctivas.

5.2. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MEJORA PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS Y LODOS EN LOS CAMIONES DE LA CONTRATISTA INVERSIONES MERMA S.A.C., CIA. MINERA ANTAPACCAY

A partir de los resultados obtenidos, se propone consolidar el plan de mejora como una estrategia operativa y técnica para optimizar el sistema de bombeo de aguas y lodos en camiones cisterna de la empresa Inversiones Merma S.A.C. La propuesta se basa en la implementación progresiva de tecnología de bomba de vacío, el control operativo por unidad, el seguimiento de indicadores de producción y la programación de mantenimientos preventivos de acuerdo con la disponibilidad mecánica y los días fuera de servicio.

La propuesta considera como eje principal el reemplazo de unidades con menor desempeño por cisternas equipadas con sistemas de bomba de vacío, debido a que esta tecnología presenta mejor comportamiento frente a lodos de alta densidad y permite estabilizar el proceso de succión. Además, se plantea mantener un sistema de control por código de equipo, registrando para cada unidad los tiempos de succión, transporte y descarga, número de viajes diarios, volumen mensual transportado, días detenidos, tipo de mantenimiento y costo operativo asociado.

La aplicación de este plan permitió mejorar la trazabilidad operativa del servicio, identificar oportunamente las unidades con mayor frecuencia de fallas, reducir paradas no programadas y sostener el cumplimiento de la meta mensual de transporte de lodos. Asimismo, permitió evaluar económicamente el desempeño del sistema mediante el costo unitario por metro cúbico transportado, indicador que refleja de manera objetiva la eficiencia del servicio.

5.2.1. Optimizar el sistema de bombeo de lodos en camiones cisternas con la implementación de un nuevo sistema de bombeo.

La optimización del sistema de bombeo de lodos debe orientarse a la implementación progresiva de unidades cisterna equipadas con bomba de vacío, debido a que este sistema presenta mejor respuesta técnica frente a fluidos con sólidos en suspensión y lodos de alta densidad. En la presente investigación, la incorporación de la cisterna Mercedes Benz MT7089 permitió mejorar la producción mensual y estabilizar el cumplimiento de la meta operativa, lo que demuestra la viabilidad técnica de la propuesta.

El nuevo sistema debe contemplar una cisterna con capacidad nominal de 5 000 galones, equivalente aproximadamente a 18,93 m³, equipada con bomba de vacío tipo paletas rotativas lubricada, líneas de succión adecuadas, válvulas de descarga eficientes y accesorios que faciliten el mantenimiento preventivo. Este sistema permite operar con un caudal de succión estimado entre 0,54 m³/min y 0,76 m³/min, considerando tiempos de succión entre 25 y 35 minutos por carga.

Asimismo, la optimización requiere implementar procedimientos de control operativo que permitan registrar el desempeño de cada unidad por jornada. Los indicadores mínimos a controlar deben ser: volumen transportado por día, número de viajes diarios, tiempo de succión, tiempo de descarga, disponibilidad mecánica, días detenidos, tipo de mantenimiento y costo por m³. Estos indicadores permitieron evaluar la eficiencia del sistema y tomar decisiones correctivas oportunas.

En términos operativos, la implementación del nuevo sistema debe priorizar las unidades que presentan menor disponibilidad, mayor frecuencia de fallas o mayores costos de mantenimiento. De esta manera, la empresa podrá replicar progresivamente los resultados obtenidos con la cisterna Mercedes Benz MT7089, asegurando una mejora sostenible del sistema de bombeo y transporte de lodos.

5.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.3.1. Efecto del plan de mejora en el desempeño del sistema de bombeo y transporte de lodos

La implementación del plan de mejora permitió incrementar la producción semestral de 15 581,29 m³ a 19 042,43 m³, equivalente a un aumento de 22,21 %. Asimismo, el cumplimiento de la meta mensual de 2 800 m³ pasó de 3 de 6 meses en el primer semestre a 6 de 6 meses en el segundo semestre. Este resultado muestra una mejora en la capacidad operativa del sistema, sin incrementar la capacidad nominal de carga de las cisternas.

Este comportamiento guarda relación con lo señalado por Mallory (2018), quien sostiene que el volumen transportado depende principalmente de la capacidad efectiva del vehículo y del número de viajes realizados. En la presente investigación, la capacidad equivalente se mantuvo en 18,93 m³ por viaje, por lo que el incremento de producción estuvo asociado principalmente a la reducción del tiempo de ciclo y al aumento de viajes efectivos durante la jornada.

Asimismo, Semiyaga et al. (2022) determinaron que las tecnologías de vacío requieren menores tiempos de vaciado y permiten realizar un mayor número de viajes diarios frente a sistemas sin vacío. Esta tendencia coincide con los resultados obtenidos, debido a que la reducción del tiempo de succión permitió mejorar el aprovechamiento de la jornada y aumentar el volumen mensual transportado.

Por tanto, el incremento de producción registrado después del plan de mejora estuvo relacionado principalmente con una mayor eficiencia del ciclo operativo y con la reducción de tiempos improductivos, más que con un aumento de la capacidad nominal de transporte.

5.3.2. Efecto económico del plan de mejora en el sistema de bombeo y transporte de lodos

En el componente económico, el costo mensual del servicio pasó de S/ 85 368,88 a S/ 97 222,58 después de la implementación. Sin embargo, la producción promedio mensual aumentó de

2 596,88 m³/mes a 3 173,74 m³/mes, permitiendo que el costo unitario disminuya de S/ 32,87/m³ a S/ 30,63/m³, lo que representa una reducción de 6,81 %.

Este resultado presenta relación con el estudio de Sulcarani (2021), quien comparó el abastecimiento mediante camión cisterna y un sistema de bombeo en la Unidad Minera Huancapeti, obteniendo costos de US\$ 2,30/m³ y US\$ 1,46/m³, respectivamente. Aunque las condiciones operativas y los sistemas evaluados son diferentes, ambos estudios muestran que una alternativa puede presentar un mayor costo total y, al mismo tiempo, ser más eficiente cuando reduce el costo por metro cúbico movilizado.

De manera complementaria, Semiyaga et al. (2022) evidenciaron que las tecnologías de vacío pueden presentar ventajas económicas debido a menores tiempos de operación y mantenimiento frente a sistemas sin vacío. En la presente investigación, el beneficio económico no se manifestó como una reducción del costo mensual total, sino como una disminución del costo unitario asociada al mayor volumen transportado.

En este análisis no se consideró la depreciación de las cisternas, debido a que las unidades son alquiladas y no forman parte de los activos de Inversiones Merma S.A.C. Por ello, la evaluación económica se realizó considerando los costos directamente asociados a la prestación del servicio.

En consecuencia, el efecto económico del plan de mejora se refleja principalmente en la reducción del costo unitario de transporte y no en una reducción del costo mensual total.

5.3.3. Efecto técnico del plan de mejora en el sistema de bombeo y transporte de lodos

Desde el punto de vista técnico, el tiempo de succión se redujo de 45–60 minutos a 25–35 minutos, mientras que el caudal estimado aumentó de 0,32–0,42 m³/min a 0,54–0,76 m³/min. Asimismo, el tiempo promedio por ciclo disminuyó de 227,5 minutos a 177,5 minutos, equivalente

a una reducción de 21,98 %. Estos resultados evidencian una mejora en la eficiencia del proceso de carga y transporte.

Los resultados son consistentes con Semiyaga et al. (2022), quienes registraron tiempos de vaciado significativamente menores con tecnologías de vacío y tasas de extracción de aproximadamente 150 a 300 L/min, frente a valores considerablemente menores obtenidos con sistemas sin vacío. La coincidencia entre ambos estudios confirma la ventaja técnica de emplear vacío cuando se busca reducir los tiempos de extracción.

Por su parte, Portioli et al. (2021) demostraron que el rendimiento de los sistemas de vacío depende de las características físicas del lodo. En sus pruebas, el aumento de la concentración de sólidos y de la viscosidad produjo una disminución del caudal de bombeo. Este comportamiento permite explicar que en la presente investigación el tiempo de succión no sea constante, sino que varíe entre 25 y 35 minutos, dependiendo de las condiciones del material bombeado.

En relación con la disponibilidad mecánica, la cisterna Cód. 443 presentó aproximadamente 84 % durante el primer semestre, mientras que la unidad incorporada alcanzó aproximadamente 91 % durante el segundo semestre. Esta diferencia no debe atribuirse únicamente a la incorporación de la bomba de vacío, debido a que la unidad incorporada presentaba menor antigüedad y mejores condiciones mecánicas que la unidad reemplazada.

Esta interpretación se refuerza con el comportamiento de la cisterna Cód. 1755, cuya disponibilidad promedio pasó aproximadamente de 88 % a 87 %, sin evidenciar una mejora durante el segundo semestre. Por tanto, la variación de la disponibilidad estuvo influenciada tanto por el sistema de bombeo como por la antigüedad, condición mecánica y requerimientos de mantenimiento de cada unidad.

Finalmente, los días detenidos por mantenimiento disminuyeron de 54 días a 43 días entre ambos periodos. Esta reducción contribuyó a mejorar la continuidad del servicio, aunque debe analizarse conjuntamente con el reemplazo de una unidad de mayor antigüedad por otra más reciente.

En conjunto, el efecto técnico del plan de mejora se evidencia en la reducción de los tiempos de succión y ciclo, el incremento del caudal y una mayor continuidad operativa; sin embargo, la mejora de disponibilidad debe interpretarse considerando también las condiciones mecánicas y la antigüedad de las unidades.

CONCLUSIONES

- Primera. La implementación del sistema de bombeo por vacío optimizó el proceso de succión de aguas y lodos al reducir el tiempo de succión de 45–60 minutos a 25–35 minutos e incrementar el caudal estimado de 0,32–0,42 m³/min a 0,54–0,76 m³/min. Como consecuencia, el tiempo promedio del ciclo disminuyó de 227,5 a 177,5 minutos, equivalente a una reducción de 50 minutos o 21,98 %, mejorando la eficiencia operativa del sistema.
- Segunda. Respecto al factor económico, el plan de mejora redujo el costo unitario de transporte de S/ 32,87/m³ a S/ 30,63/m³, equivalente a una disminución de 6,81 %. Aunque el costo mensual total del servicio aumentó de S/ 85 368,88 a S/ 97 222,58 por la incorporación de la unidad Cód. 445 equipada con bomba de vacío, el mayor volumen transportado permitió distribuir mejor los costos operativos y mejorar la eficiencia económica del sistema.
- Tercera. Respecto al factor técnico, la incorporación de la unidad Cód. 445 equipada con bomba de vacío permitió mantener tiempos de succión de 25 a 35 minutos por carga, con un caudal estimado de 0,54 a 0,76 m³/min para una capacidad equivalente de 18,93 m³. Asimismo, los días detenidos por mantenimiento disminuyeron de 54 días en el primer semestre a 43 días en el segundo semestre. La unidad Cód. 445 alcanzó una disponibilidad promedio aproximada de 91 %, frente al 84 % registrado por la unidad Cód. 443. Esta diferencia estuvo influenciada tanto por el sistema de bombeo como por la menor antigüedad y mejores condiciones mecánicas de la unidad incorporada.

RECOMENDACIONES

- Primera. Se recomienda mantener el control mensual de producción, cumplimiento de meta, disponibilidad mecánica y días detenidos por cada unidad, utilizando su respectivo código interno. Este seguimiento permitirá mantener el nivel de producción alcanzado y el cumplimiento de la meta mensual de 2 800 m³.
- Segunda. Se recomienda utilizar el costo unitario por metro cúbico transportado (S/m³) como principal indicador económico del sistema, debido a que permite relacionar el costo mensual del servicio con el volumen efectivamente transportado. En la investigación, este indicador se redujo de S/ 32,87/m³ a S/ 30,63/m³.
- Tercera. Se recomienda fortalecer el control técnico mediante el registro diario de tiempos de succión, transporte y descarga, número de viajes, mantenimiento y disponibilidad mecánica por unidad. Asimismo, se debe priorizar el mantenimiento preventivo considerando la antigüedad y condición mecánica de cada cisterna, con el fin de reducir las fallas correctivas y mejorar la disponibilidad del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baena, P. (2023). Qué es la eficiencia operativa. OBS Business School.
<https://www.obsbusiness.school/blog/que-es-la-eficiencia-operativa>
- Bernahola Álvarez, E. M., & Ulloa Mendoza, C. D. (2023). Mejora de un plan de mantenimiento de un sistema de bombeo en una mina subterránea, aplicando la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) [Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/671321>
- Deming, W. E. (1986). Out of the crisis. MIT Press.
- Díaz, M. (2009). Salud y seguridad en trabajos de minería. Editorial Aulas y Andamios.
- Freeman, J. (2024). Factores económicos. eToro. <https://www.eto.com/es/investing/economic-factors/>
- GREO. (2019). Factores sociales.
[https://www.greo.ca/Modules/EvidenceCentre/files/GREO%20\(2019\)%20Social%20Factors%20Summary%20-%20Spanish.pdf](https://www.greo.ca/Modules/EvidenceCentre/files/GREO%20(2019)%20Social%20Factors%20Summary%20-%20Spanish.pdf)
- Hammer, M., & Champy, J. (1993). Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution. HarperBusiness.
- Huamán Fonseca, C. H., & Ambrocio Puraca, A. W. (2021). Mejora de la disponibilidad de la bomba León H-V3 operando en poza de lodos en la minera Barrick, mediante el método SREDIM, Trujillo – 2020 [Tesis, Universidad Antonio Ruiz de Montoya]. Repositorio UARM. <https://repositorio.uarm.edu.pe/items/108f761e-21dc-48be-9ac9-c53df89770fd>
- Hydraulic Institute. (2016). ANSI/HI 14.6-2016: Rotodynamic pumps for hydraulic performance acceptance tests. Hydraulic Institute.

- International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements. ISO.
- Jones, G. M., & Sanks, R. L. (2008). Pumping station design (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Juran, J. M., & Gryna, F. M. (1993). Quality planning and analysis: From product development through use (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2001). Pump handbook (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Mallory, A. (2018). Designing sustainable faecal sludge treatment systems for small cities in Sub-Saharan Africa [Doctoral thesis, University of Edinburgh].
- Portioli, G. F., Rogers, T. W., Beckwith, W., Tsai, J., ole-MoiYoi, P., Wilson, N., & de los Reyes, F. L., III. (2021). Development of trash exclusion for mechanized pit latrine emptying. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 7, 1714–1722. <https://doi.org/10.1039/D1EW00383F>
- Revista Armotec. (2023). Qué son las bombas de vacío. <https://armotec.pe/blog/que-son-las-bombas-de-vacio/>
- Revista de Educación Navarra. (2012). Qué es un plan de mejora. https://www.educacion.navarra.es/documents/57308/57761/Que%20es_un_plan_de_mejora.pdf/c300e8bc-1606-40c0-8a20-22ce1895bc04
- Revista Docusign. (2025). Qué son los costos operativos y ejemplos. <https://www.docusign.com/es-mx/blog/costos-operativos>
- Revista Fuso. (2020). Qué es un camión cisterna y qué se puede transportar con uno. <https://www.fuso.com.pe/blog/que-es-camion-cisterna-aplicaciones/>

- Revista Geohidráulica. (2023). Sistema de bombeo: Tipos y sus funciones.
<https://geohidraulica.com/sistema-de-bombeo-tipos-y-sus-funciones/>
- Revista Hersen. (2015). Cómo funcionan las bombas de lodo. <https://herzen.com/bombas-para-lodos/>
- Robayo, H., & Triana, L. (2022). Plan de mejora empresarial.
<https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/1a231fd2-1bf2-406c-81e9-999e49bb8e41/content>
- Saiz, M. (2018). Elaboración de planes de mejora en calidad.
https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/4888/Tema_2_elaboraci%F3n_de_planes_de_mejora.pdf
- Semiyaga, S., Bamuhimbise, G., Apio, S. C., Kinobe, J. R., Nkurunziza, A., Lukooya, N. B., & Kulabako, R. (2022). Adequacy of vacuum and non-vacuum technologies for emptying faecal sludge from informal settlements of Kampala City. *Habitat International*, 125, 102596. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102596>
- Stepanoff, A. J. (1957). *Centrifugal and axial flow pumps: Theory, design, and application* (2nd ed.). Wiley.
- Sullcarani Llanos, A. F. (2021). Evaluación del abastecimiento de agua industrial para la zona superior de la mina Caridad – Unidad Minera Huancapeti – Ancash [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
- Tenorio Munaylla, F. L. (2015). Tratamiento de lodos de perforación mediante tubos de geotextil tejido de polipropileno en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión [Tesis de título profesional, Universidad José Carlos Mariátegui].
- Viejo, Z., & Álvarez, F. (2004). *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones*. Editorial Limusa.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Problema General ¿En qué medida el plan de mejora optimiza el sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.?	Objetivo General Determinar en qué medida el plan de mejora optimiza el sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.	Hipótesis General La implementación del plan de mejora optimiza significativamente el sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.	Variable Independiente Plan de mejora	- Implementación del sistema de bombeo con bomba de vacío (Antes/Después). - Reemplazo de la cisterna Volvo 443 por Mercedes Benz MT7089 (Antes/Después) - Codificación de unidades (SI/NO) - Impacto en la productividad (m³/mes)
Problema Específico 1 ¿En qué medida el factor económico del plan de mejora influye en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.?	Objetivo Específico 1 Determinar en qué medida el factor económico del plan de mejora influye en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.	Hipótesis Específica 1 El factor económico del plan de mejora influye significativamente en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna, mediante la reducción del costo unitario del servicio, en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.	Variable Dependiente Sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna	- Costo total mensual (S/. /mes) - Costo unitario (S/. / m³) - Reducción de costos unitario (%)
Problema Específico 2 ¿En qué medida el factor técnico del plan de mejora influye en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.?	Objetivo Específico 2 Determinar en qué medida el factor técnico del plan de mejora influye en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.	Hipótesis Específica 2 El factor técnico del plan de mejora influye significativamente en la optimización del sistema de bombeo de aguas y lodos con camiones cisterna, mediante la mejora de la eficiencia operativa del sistema, en las pozas de lodos del Proyecto Integración Coroccohuayco de la Unidad Minera Antapaccay, operado por Inversiones Merma S.A.C.	Variable Dependiente Sistema de bombeo de lodos con camiones cisterna	- Flujo continuo del sistema (Sí/No) - Tiempo de succión(min) - caudal de succión (m³/min). - Tiempo promedio por ciclo (minutos) - Disponibilidad mecánica (ASARCO %) - Días detenidas (Días) - Producción mensual (m³/mes). - Cumplimiento de metas mensual (No. de meses)

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 2: KPI'S CONTRACTUALES

Nro.	SUPUESTO	FORMA DE CÁLCULO
1	No comience a prestar los Servicios en la Fecha de Inicio	0.5% por ciento del monto del Contrato por cada día de retraso en el inicio de la prestación de los Servicios
2	No culmine con prestar los Servicios en la Fecha de Culminación	0.5% por ciento del monto del Contrato por cada día de retraso en la culminación de la prestación de los Servicios
3	No cumpla con el Técnico HSEC asignado para la ejecución del servicio.	0.5% del monto del Contrato por cada día o fracción de día en que se acredite el incumplimiento de la supervisión a cargo de EL CONTRATISTA.
4	No cumpla con presentar o tener disponibles exclusivamente a los efectos de los Servicios equipos, herramientas o unidades de transporte comprometidas.	0.5% del monto del Contrato por cada día o fracción de día y por cada equipo/herramienta/ vehículo de EL CONTRATISTA, en que se acredite incumplimiento, inadecuada disponibilidad o ausencia exclusividad de estos recursos.
5	No cumpla con presentar los informes en la oportunidad y contenidos comprometidos conforme al Contrato	0.1% del monto del Contrato por cada día de retraso en la entrega de los informes completos.
6	No cumpla con entregar, reponer o acreditar la entrega o reposición de los EPP's a su Personal	0.1% del monto del Contrato por cada oportunidad en que EL CONTRATISTA no entregue, reponga o acredite la entrega o reposición de los EPP's
7	No proporcione a ANTAPACCAY la documentación vinculada con las obligaciones de este último en relación al Personal, dentro de los veinticinco (25) días siguientes a la finalización de cada mes o cuando ANTAPACCAY lo solicite,	0.5% por ciento de la facturación mensual, por cada trabajador que no haya sido remunerado adecuadamente. Sin perjuicio de ello y a su sólo criterio ANTAPACCAY podrá retener el pago de la factura correspondiente, hasta que se proporcione a ANTAPACCAY los documentos relacionados a las obligaciones con su persona
8	No remunere al Personal de manera correcta y oportuna, pagando los beneficios sociales que les corresponda de acuerdo a Ley	0.5% por ciento de la facturación mensual, por cada trabajador que no haya sido remunerado adecuadamente. Sin perjuicio de ello y a su sólo criterio ANTAPACCAY podrá retener el pago de factura correspondiente, hasta que se regularice el pago de la remuneración al personal. La suma así retenida no generará intereses a favor de EL CONTRATISTA
9	No entregue a ANTAPACCAY, antes del inicio del Contrato, las garantías o seguros establecidos en el Anexo A o no renueve los mismos con 15 días naturales antes de su vencimiento.	0.5% por ciento del monto del Contrato, por cada día de retraso en la entrega de cada uno de estos documentos. Sin perjuicio de ello y a su sólo criterio, ANTAPACCAY podrá retener el pago de factura correspondiente, hasta que se regularice la entrega de dichos documentos, conforme a los términos y condiciones solicitados en el presente contrato. La suma así retenida no generará intereses a favor de EL CONTRATISTA
10	No cumpla con las políticas que aparecen en calidad de Anexos al presente Contrato, y haya cometido actos graves contra ANTAPACCAY producidos por negligencia o reincidencia dentro de un mismo mes.	0.5% del monto del Contrato en cada oportunidad que suceda.
11	No cumpla ni haga cumplir a su Personal las políticas establecidas en los Anexos del presente Contrato, en especial referidas a aspectos de Desarrollo Sostenible, recursos humanos, códigos de conducta y demás establecidas.	0.5% del monto del Contrato en cada oportunidad que suceda.

Fuente: INVERSIONES MERMA S.A.C.

ANEXO 3: PET DE TRASLADO DE AGUAS RESIDUALES

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO - PET					
TÍTULO: TRASLADO DE AGUAS RESIDUALES EN CISTERNA					
Código: IM-RH-PET-003	Versión: 01	AREA: RECURSOS HIDRICOS	PMC:	4	
Fecha de Elaboración: 12/12/2020 PROTOCOLOS DE FATALIDAD / ACTIVIDAD DE ALTO RIESGO ASOCIADA (FHP): Operación de Equipos Móviles,	Fecha de Revisión: 12/12/2020 PERSONAL RESPONSABLE: Supervisor Conductores	EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (ESPECÍFICO): Casco ANSI Z89.1, Lentes ANSI Z87, zapatos de seguridad con punta de acero ANSI Z41, tapones de oído ANSI S3.19-1974, Chaleco ANSI/ISEA 107, cortavientos, Bloqueador Solar F-35, guantes de cuero, Guantes de nitrilo, Tyvex, corta viento, Mascarilla KN95 (doble mascarilla, según el standard que determine CMA y/o autoridad sanitaria)			
CONSIDERACIONES GENERALES/RESTRICCIONES: Esta Prohibido: - Conducir la unidad si no está autorizado. - Ingresar a zonas de riesgo sin autorización. - Bajarse del equipo en caso de tormenta eléctrica. - Dejar la llave en el contacto cuando estamos fuera de la unidad. Es Obligatorio: - Contar con la licencia interna actualizada para el equipo en mención. - Inspeccionar la unidad antes de usarlo. - Contar con radio operativa. - Descanso previo a la conducción mínimo de 6 horas.	Referencia Legal/otros: - Ley 29783 Seguridad Salud en el Trabajo y su modificatoria Ley 30222. - D.S 005 Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo y su modificatoria D.S 006-2014-TR. - D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S 023-2017-EM. - Ley N°28611 – Ley General del Ambiente. - DS 034-2023 EM - Decreto Supremo que modifica diversos artículos e incorpora un capítulo, artículos y anexos al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 024-2016-EM. - D.S040-2014 MINEM Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para actividades de Explotación, Beneficio, Laboral General, Transporte y Almacén Minero.				
		EQUIPOS	MATERIALES	HERRAMIENTAS	
		Camión cisterna con bomba de vacío	Kit de para atención de derrames	Kit básico de herramientas	
		Radio de comunicaciones.	Conos y tacos.	Pala y pico	
				Manguera descarga 3"	

	• RMN°128-2020-MINEM/DM Protocolo sanitario para la implementación de medidas de medidas de prevención y respuesta frente al COVID-19 en las actividades del sub sector minería, sector hidrocarburos y electricidad. • D.L N°1278 que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos. • NTP 900.058-2019 Código de colores para dispositivos de almacenamiento de residuos.	
--	--	--

ETAPAS DE LA TAREA	RIESGO/ASPECTO	PROCEDIMIENTO SEGURO
1. Conducción de cisterna entre los puntos de servicio.	• Volcadura, despiste, colisión entre equipos, Atropellos. • Caída a diferente nivel (Botaderos, rampas) • Conflicto con personas de comunidades. • Generación de material particulado. • Generación de gases de combustión interna. • Potencial derrame de aguas residuales.	▪ Antes de iniciar la actividad el personal deberá contar con los equipos de protección personal básicos y específicos de acuerdo al horario de trabajo. ▪ Realizar la inspección pre-uso del camión cisterna (Checklist), verificando que todos los componentes/Implementos estén dentro de los parámetros adecuados para un correcto funcionamiento del equipo. ▪ El conductor es el encargado de realizar el checklist de la unidad y al finalizar el supervisor de turno dará el VoBo. ▪ Para subir y bajar de la unidad use los pasamos y peldaños manteniendo siempre los TRES PUNTOS DE APOYO en todo momento. ▪ La unidad deberá precalentar la unidad por el periodo de 10 minutos antes de salir a ruta. ▪ El conductor deberá seguir los lineamientos estipulados en el reglamento interno de transporte de Antapaccay, respetando las velocidades indicadas para cada área y reduciendo la velocidad en zonas donde haya material suelto para reducir el polvo que podría generarse. ▪ El conductor deberá respetar la distancia entre unidades en movimiento manteniendo los 4 segundos de seguimiento, si la unidad está transitando

		por zona de campamentos o industrial debe respetar los pasos peatonales. ▪ Es importante que el personal participe activamente en el programa de control de fatiga y somnolencia; El conductor deberá tener un descanso adecuado antes de conducir mínimo 6 horas, practicar pausas activas para evitar la somnolencia. ▪ Comunicara al supervisor inmediato cuando presente síntomas o signos de fatiga y somnolencia. ▪ En caso de atollamientos, el vehículo no podrá ser empujado, deberá ser remolcado por otra unidad vehicular usando eslingas o estrobos acorde con el tonelaje de la unidad. ▪ El conductor deberá reportar sobre posibles desperfectos mecánicos y encargar al área de mantenimiento para su corrección. Como también será el responsable de comunicar sobre la programación de mantenimiento de la unidad a su cargo. ▪ Para el caso que la unidad haga servicio en áreas externas a la mina y sea necesario el tránsito por vía nacional es importante que el conductor respete la velocidad máxima de 80km/h dependiendo si la unidad se encuentra cargada al momento del tránsito para tal caso debería transitar a 60km/h. ▪ Para el tránsito hacia Hunipampa, la velocidad máxima será de 40km/h, reduciendo la velocidad cuando exista la presencia de personas de comunidades o animales en la vía. ▪ En caso de conflicto con personas de comunidad se detendrá la actividad y comunicara al supervisor de turno de Antapaccay y el supervisor directo quienes coordinaran con el área especializada de RRCC para atender el conflicto. ▪ Contar con las Hojas MSDS de petróleo y grasas, el rombo NFPA debe estar ubicado en cada uno de los recipientes donde se contienen los hidrocarburos. ▪ El personal estará entrenado en respuesta a emergencias y matpel 1,2 y 3. En caso de ocurrir el evento de derrame y/o incidente con la unidad el personal activara el protocolo de emergencias y aplicara el procedimiento PAS como respuesta inmediata ante el evento.
2. Ingreso a zonas de succión.	▪ Volcadura, despiste, colisión entre equipos, Atropellos.	▪ El conductor deberá seguir los lineamientos estipulados en el reglamento interno de transito de Antapaccay, respetando las velocidades indicadas para cada área y reduciendo la velocidad en zonas donde haya material suelto para reducir el polvo que podría generarse.

	▪ Caída a diferente nivel (Botaderos, rampas, pozas) ▪ Caída de animales/personas ajenas a las pozas. ▪ Generación de material particulado. ▪ Generación de gases de combustión interna.	▪ Coordinar con el responsable del área las facilidades para el acceso del vehículo hacia las zonas de servicio; ▪ En ningún caso las unidades ingresaran a las pozas sin la debida confirmación de los responsables para realizar trabajos en el área. ▪ El ayudante será el responsable de mantener las puertas de ingreso a la poza permanentemente cerradas para evitar que animales y personas ajenas a la actividad puedan ingresar al área y exponerse a posibles caídas a las pozas de aguas residuales. ▪ El ayudante bajara de la unidad para ayudar con maniobras para parquear el vehículo en la zona de succión, Todas las unidades sin excepción deberán parquearse en retroceso para tener mejor visibilidad al manipular su unidad. Hacer uso de las paletas de PARE y SIGA. ▪ Una vez posicionada en la zona de succión el ayudante/personal de apoyo colocara tacos si el terreno presenta pendientes y conos para delimitar área de trabajo. ▪ Realizar una identificación de peligros, aspectos ambientales y evaluación riesgos potenciales que pudieran comprometer el normal desarrollo que las tareas programadas para aplicar las medidas de control adecuadas. ▪ Contar con las Hojas MSDS de petróleo y grasas, el rombo NFPA debe estar ubicado en cada uno de los recipientes donde se contienen los hidrocarburos. ▪ Seguimiento al programa de mantenimiento preventivo de unidades
3. Descarga de aguas residuales en PTAR tintaya.	• Caída a presa de relaves • Caída al mismo nivel, tropiezos. • Posturas Inadecuadas, • Sobre esfuerzos • Esfuerzos de manos y • Muñecas • Exposición a radiación UV. • Potencial derrame de aguas residuales. • Exposición a tormentas eléctricas.	▪ Trasladar el vehículo al punto de confinamiento, al momento de ingresar a la respectiva área solicitar autorización al supervisor del área para el ingreso de acuerdo a lo siguiente: ▪ En ningún caso las unidades ingresaran a la zona de descarga sin la debida confirmación de los responsables para realizar trabajos de descarga de aguas residuales. ▪ Autorizado el ingreso, la unidad se trasladara hacia la zona de descarga para lo cual el ayudante bajara de la unidad para ayudar con maniobras de posicionamiento del vehículo próximo al chute de descarga de aguas residuales, Todas las unidades sin excepción deberán parquearse en retroceso para tener mejor visibilidad al manipular su unidad. ▪ Una vez posicionada la unidad en la zona de descarga el ayudante/personal de apoyo colocara tacos si el terreno presenta

		pendientes y conos para delimitar área de trabajo antes de iniciar con la descarga. ▪ El ayudante procederá a instalar la línea de descarga primeramente ajustara la manguera al cisterna para garantizar que el acople no se suelte hará uso del Pin tipo R para asegurar el acople al cisterna. Posteriormente instala el otro extremo de la manguera dentro del chute de descarga para finalmente abrir las llaves y activar la bomba de vacío en reversa, agitar el líquido de la cisterna y expulsar a presión para el vaciado del contenido de la cisterna. ▪ Ya terminado este proceso desactivar la bomba, cerrar las llaves de paso posteriores y recoger la línea de descarga envolviendo en el prtamangueras ubicado en la parte de atrás del cisterna. ▪ Si reprodujese un derrame aplicar el procedimiento para contención de derrames y limpieza usando el kit anti derrames. ▪ Luego del suceso se tendrá que dar aviso al supervisor para realizar el reporte al área correspondiente. ▪ En ningún momento el personal se aproximara al borde de taludes, pozas, tanques de confinamiento, etc. Mantendrá una distancia segura mínimo Un (01) metro detrás las barreras de restricción, barandas y bermas que limiten la aproximación a la pozas.
	• Exposición a tormentas eléctricas.	▪ El supervisor de la actividad y/o líder de equipo, realizar el monitoreo constante de las condiciones climatológicas en el área de trabajo mediante el uso de la radio de comunicaciones en coordinación con el responsable del SDTE de Antapaccay. ▪ El personal seguirá el procedimiento ante tormentas eléctricas y será capacitado para ello. ➢ En alerta amarilla – tener las precauciones correspondientes como tener una zona de refugio cerca y replanteo de las actividades. ➢ En alerta naranja – Se suspenden inmediatamente los trabajos en áreas abiertas, el personal se refugiara en las unidades cisterna o en un container con aterramiento y evitara manipular objetos metálicos. ➢ En alerta roja – Ninguna persona estará en la intemperie y expuesto a las tormentas eléctricas, se detiene completamente toda actividad.
	• Exposición a agentes biológicos como virus SARSCoV-2 (contacto directo entre personas, contacto con objetos contaminados).	▪ El personal debe cumplir en todo momento los protocolos establecidos para prevenir el contagio con COVID-19, para ello deberá. - Uso permanente de mascarilla comunitaria (03 pliegues). - Uso de protector facial en áreas comunes y/o interacción con otros compañeros de trabajo.

		- Respetar el distanciamiento social mayor a 1.5 metros. - Cumplir con la higiene de manos antes de entrar a los comedores y/o ingresar hacia áreas comunes. ▪ - Limpiar y desinfectar diariamente la unidad de servicio y/o áreas de trabajo.
--	--	--

Elaborado Por: Bach. Hilbert Paucar Ccama Supervisor HSE 	Revisado: Ing. Dionel Angulo Jefe HSE 	Aprobado: Ing. Alvaro Merma Saico.
--	--	--

Fuente: INVERSIONES MERMA S.A.C.

ANEXO 4: PAUSAS ACTIVAS



Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 5: REGISTRO FOTOGRÁFICO









ANEXO 6: REFERENCIA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ubicación

El Proyecto Integración Coroccohuayco se encuentra ubicado en la región sur del Perú, dentro de la Cordillera de los Andes, específicamente en el distrito de Yauri, provincia de Espinar, departamento de Cusco. Esta zona forma parte del ámbito de operaciones de la Compañía Minera Antapaccay S.A., y se sitúa a una altitud aproximada de 4100 metros sobre el nivel del mar, en un entorno predominantemente altoandino, caracterizado por terrenos montañosos, afloramientos rocosos y presencia de cuencas hidrográficas.

Figura 28

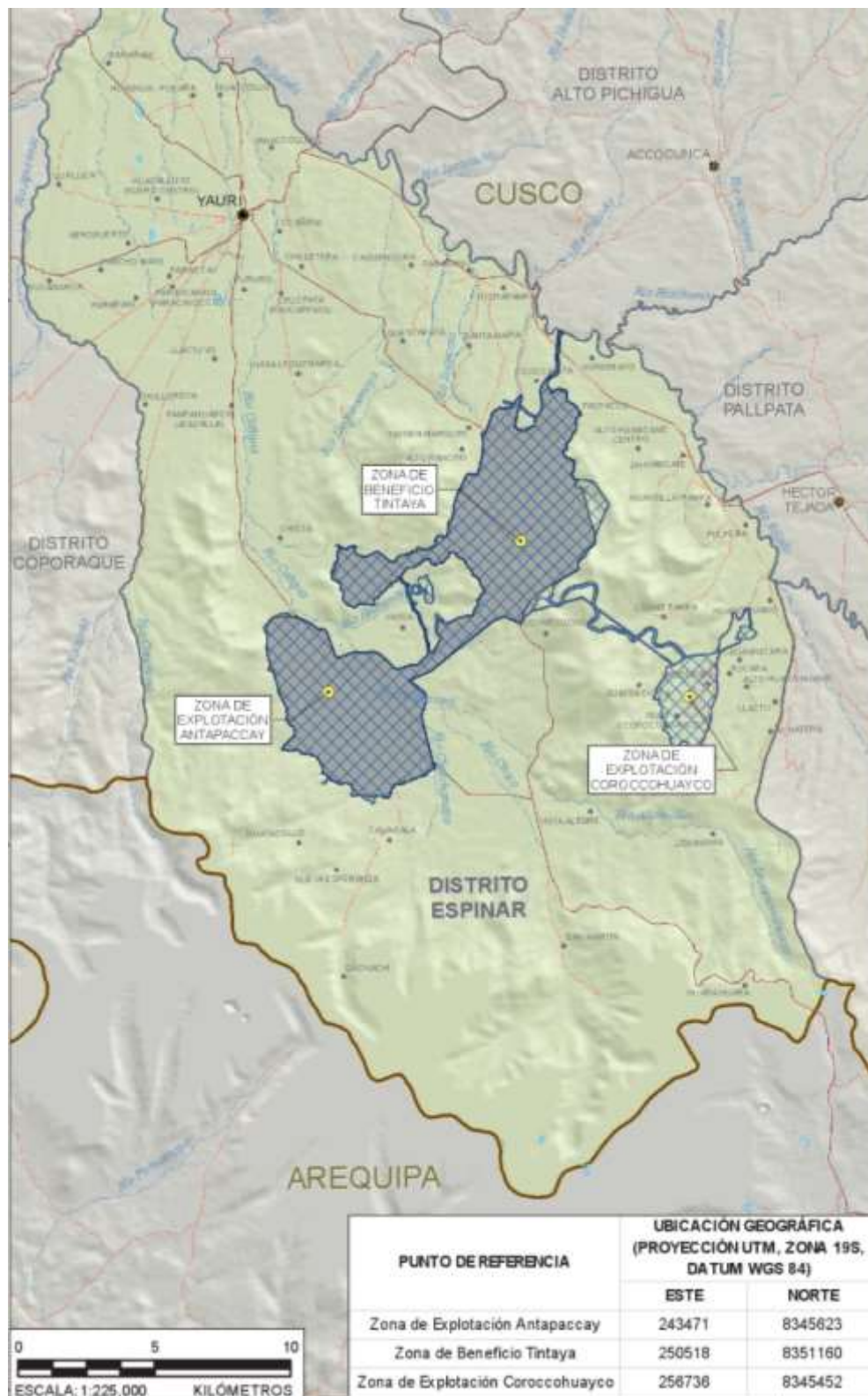
Ubicación del proyecto Integración Coroccohuayco - CM Antapaccay



Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Figura 29

Ubicación de las operaciones de la CM Antapaccay



Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Las coordenadas UTM del Proyecto Integración Coroccohuayco se presentan a continuación:

Tabla 24

Coordenadas UTM referenciales del Proyecto Integración Coroccohuayco

Parámetro	Valor
UTM Este	258 000 m E (aprox.)
UTM Norte	8 348 000 m N (aprox.)
Zona UTM	19 S (WGS 84)
Altitud promedio	4100 m.s.n.m.

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Accesibilidad

El Proyecto Integración Coroccohuayco se ubica en la región Cusco, provincia de Espinar, distrito de Yauri. El acceso principal al área de operaciones se realiza desde la ciudad del Cusco mediante la ruta asfaltada Cusco – Urcos – Sicuani – Espinar, con un recorrido aproximado de 271 kilómetros. El tiempo estimado de viaje por esta vía es de 6 a 7 horas, dependiendo de las condiciones climáticas y del tránsito vehicular. Este trayecto se realiza en su mayoría por carretera pavimentada, con buenas condiciones de transitabilidad.

Desde el centro poblado de Yauri, capital del distrito de Espinar, el acceso al proyecto continúa por una vía afirmada y habilitada para tránsito minero, la cual conecta con la Unidad Minera Antapaccay y, desde allí, hacia el área operativa de Coroccohuayco. Este último tramo tiene una distancia aproximada de 15 kilómetros.

Tabla 25*Accesibilidad y tiempos de viaje hacia el Proyecto Integración Coroccohuayco*

Tramo de vía	Tipo de vía	Distancia aprox.	Tiempo estimado
Ciudad del Cusco → Sicuani	Carretera asfaltada	200 km	4 h
Sicuani → Espinar	Carretera asfaltada	70 km	1 h 30 min
Yauri → Antapaccay (desvío interno)	Trocha afirmada	5 km	15 min
Antapaccay → Zona Coroccohuayco (interno mina)	Trocha afirmada/minera	10 km	30–40 min

Fuente: Elaboración Propia

Geología Regional

El yacimiento Antapaccay se encuentra ubicado en la cordillera Occidental surandina del Perú, dentro del departamento de Cusco, provincia de Espinar. Esta región forma parte de la faja metalogenética volcánico-cenozoica andina, reconocida por su alto potencial en depósitos cupríferos, skarn y epitermales, producto de eventos magmático-tectónicos activos desde el Cretáceo superior hasta el Cenozoico.

Esta faja se desarrolla a lo largo del margen continental controlado por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, lo que generó arcos magmáticos sucesivos, actividad ígnea calcoalcalina y condiciones estructurales favorables para la formación de depósitos minerales.

El yacimiento Antapaccay forma parte del corredor metalogenético del sur peruano, con orientación predominante noroeste–sureste, el cual alberga importantes alineamientos de yacimientos cupríferos. Este alineamiento regional responde a estructuras profundas que controlaron tanto el emplazamiento de cuerpos ígneos como la evolución de sistemas hidrotermales.

Desde el punto de vista tectono-magmático, esta región se integra dentro del dominio cenozoico andino, marcado por una sucesión de pulsos compresivos y migración de arcos

magmáticos hacia el este, que consolidaron a esta franja como una de las zonas más favorables para la generación de depósitos tipo pórfido y skarn en el Perú.

Geología local

El yacimiento Antapaccay está alojado en unidades volcánicas y subvolcánicas del Cenozoico superior, correspondientes principalmente a la Formación Yauri del Grupo Tacaza, las cuales comprenden tobas andesíticas, brechas volcánicas, lavas andesíticas, aglomerados y tobas silíceas. Estas litologías actúan como rocas encajonantes de la mineralización y presentan una alteración hidrotermal extensa.

Además, se reconocen intrusivos subvolcánicos calcoalcalinos de composición granodiorítica a diorítica, que han generado zonas de metamorfismo de contacto, particularmente skarns calcosilicatados en los contactos con cuerpos carbonatados de la Formación Arcurquina.

Las rocas hospedantes muestran evidencias de procesos de argilitización, sericitización, cloritización y silicificación, vinculados a la actividad hidrotermal relacionada al sistema pórfido. Las brechas hidrotermales y zonas de fracturamiento intenso favorecieron el encajonamiento de sulfuros metálicos, entre los que destacan calcopirita, bornita y pirita.

El control geológico del yacimiento está dado por la interacción entre litologías volcánicas terciarias, intrusivos calcoalcalinos y estructuras tectónicas locales, que definieron los espacios de emplazamiento del sistema mineralizado.

Litoestratigrafía

El área del yacimiento presenta una columna litoestratigráfica compuesta por unidades sedimentarias mesozoicas, rocas volcánicas e intrusivas del Cenozoico, y depósitos cuaternarios recientes. Estas unidades han sido afectadas por procesos tectónicos y magmáticos que condicionaron el emplazamiento de la mineralización tipo pórfido-skarn. A continuación, se

describen las principales unidades estratigráficas reconocidas en el área de estudio, organizadas en orden cronológico descendente:

Formación Hualhuani (J3v–hu)

Unidad perteneciente al Jurásico superior, integrante del Grupo Yura. Está conformada por una secuencia de areniscas cuarzosas finas a medianas, interestratificadas con limolitas y lutitas de color rojizo y verdoso. Presenta estructuras sedimentarias como laminación paralela, laminación cruzada y gradaciones granodecrecientes, indicativas de un ambiente de sedimentación predominantemente fluvial a deltaico. Esta formación constituye una de las unidades basales del sector nororiental del área de estudio y sirve de sustrato a secuencias volcánicas y sedimentarias más jóvenes.

Formación Arcurquina (Kia)

Unidad del Cretáceo inferior (Aptiano–Albiano), caracterizada por calizas micríticas de color gris claro a gris oscuro, con intercalaciones subordinadas de margas y capas delgadas de caliza masiva. Representa depósitos de ambientes marinos someros, con alta homogeneidad litológica. Su importancia radica en que actúa como roca encajonante favorable para el desarrollo de skarns, producto del contacto con intrusiones calcoalcalinas. Estas zonas de skarn han sido mineralizadas por sulfuros como calcopirita, bornita y pirita, lo cual le confiere un rol geológico-económico relevante en la zona.

Depósitos glaciofluviales (Qgf)

Corresponden al Pleistoceno, y están constituidos por materiales no consolidados, compuestos por gravas, arenas y limos mal seleccionados, con clastos angulosos a subredondeados de litologías ígneas, volcánicas y sedimentarias. Estos depósitos se originaron por la acción combinada de glaciares y flujos fluviales postglaciales, y se disponen morfológicamente en

terrazas, abanicos aluviales y conos de deyección asociados a quebradas laterales y cuencas intermedias.

Depósitos aluviales (Qal)

Constituyen los depósitos más recientes del área, correspondientes al Holoceno. Están formados por sedimentos polimícticos no consolidados, compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas, distribuidos en los márgenes de cursos de agua activos como el río Salado y sus tributarios. Se asocian a procesos de sedimentación moderna, generando rellenos en planicies de inundación, cauces actuales y pequeñas terrazas aluviales.

Minería

Antapaccay corresponde a un sistema de mineralización tipo pórfido-skarn cuprífero, emplazado durante el Paleógeno en un contexto tectónico compresivo. Su génesis está directamente vinculada a la intrusión de cuerpos calcoalcalinos en contacto con rocas carbonatadas de la Formación Arcurquina, favoreciendo el desarrollo de halos metasomáticos mineralizados.

- A. **Tipología del yacimiento:** La mineralización se distribuye principalmente en cuerpos tipo skarn cálcico-férrico y zonas fracturadas y brechadas del entorno volcánico e intrusivo. El control estructural es clave en la localización de clavos mineralizados, sobre todo en zonas de intersección entre fracturas E–W y fallas NW–SE.

B. Fases de mineralización

Se distinguen dos etapas principales de aporte mineral:

- Primera etapa (Metasomática): Asociada al reemplazo metasomático de calizas por granate, diópsido, wollastonita y magnetita, generando un skarn fértil. En esta etapa se introducen sulfuros como calcopirita, bornita, pirita y esfalerita, observándose

reemplazo progresivo de pirita por calcopirita y de esfalerita por bornita. La mineralización se aloja en reemplazamientos masivos y zonas diseminadas.

- Segunda etapa (Hidrotermal estructural): Relacionada a eventos tardíos de fracturamiento y circulación de fluidos. Se caracteriza por la presencia de calcosina, covelita y cobre nativo en stockworks, vetillas y zonas de brechamiento. Esta etapa enriqueció zonas ya mineralizadas, sin evidencias de una zona supergénica extensa.

C. **Minerales de mena y ganga:** La paragénesis metálica está dominada por sulfuros de cobre (calcopirita, bornita), con presencia subordinada de esfalerita y pirita. En menor proporción se identifican covelita y calcosina en zonas más fracturadas. Los minerales de ganga incluyen granate, actinolita, epidota, clorita y cuarzo.

D. **Distribución y control de la mineralización:** La mineralización presenta continuidad lateral, controlada por contactos entre intrusivos y calizas, así como por fracturas de orientación E–W. Las zonas más intensamente mineralizadas coinciden con áreas de alteración potásica y filica bien desarrolladas en las rocas volcánicas y subvolcánicas del Grupo Tacaza.

Planta concentradora

Su función principal es procesar minerales sulfurados, especialmente calcopirita, para obtener concentrado de cobre con una ley promedio superior al 30%. Cuenta con dos plantas: Antapaccay, con capacidad de 100,000 TMSD, y Tintaya, con 21,000 TMSD. Su objetivo principal es la producción de concentrado de cobre a partir de minerales sulfurados, principalmente calcopirita, alcanzando una ley promedio de 30% Cu y una capacidad instalada de hasta 100,000 TMSD en su planta Antapaccay y 21,000 TMSD en Tintaya.

El proceso en la planta incluye cinco grandes etapas:

Chancado (Primario, Secundario y Terciario)

El mineral de Antapaccay se reduce en tres etapas de conminución para alcanzar una granulometría apta para su ruta de procesamiento. Tras el chancado primario y secundario, el mineral es transportado desde el tajo a la planta mediante una faja overland de ~6,5 km con accionamiento gearless, diseñada para hasta ~5.260 t/h; esta solución disminuye componentes mecánicos y mejora disponibilidad del sistema. En el terciario y cribado se ajusta la fracción al tamaño objetivo antes de ingresar a molienda o, en el caso de óxidos destinados a lixiviación, al circuito de aglomerado/stacking.

Molienda y Clasificación

La concentradora de Antapaccay opera con un esquema SAG + 2 molinos de bolas, todos con engranajes gearless (GMD), alcanzando 70 ktpd de capacidad de diseño (lograda en mayo de 2013 y luego operando incluso por encima). La clasificación se realiza típicamente con ciclones para cerrar circuito y controlar P80 de descarga hacia flotación. Este diseño estandarizado para grandes yacimientos cupríferos en altura optimiza disponibilidad energética y reduce OPEX frente a trenes convencionales con cajas reductoras.

Flotación (Rougher, Scavenger y Cleaner)

El circuito de flotación de sulfuros se organiza en etapas rougher–scavenger–cleaner para maximizar recuperación y ley del concentrado. Antapaccay ha ejecutado retrofits en celdas rougher (mecanismos de agitación FloatForce® y center launder) con resultados de mejora de recuperación metalúrgica, mayor estabilidad de espuma y reducción de consumo energético, reforzando el desempeño del circuito sin incrementos de CAPEX mayores.

Lixiviación (Reactivación de Planta de Óxidos – Tintaya)

Como actividad auxiliar a la concentradora de sulfuros, Antapaccay reactivó la planta de óxidos (Tintaya) para tratar ~3,8 Mt de mineral oxidado almacenado durante la explotación, con aporte proyectado de >14.000 t de Cu catódico. El flowsheet comprende lixiviación en pilas (heap leach) con ácido sulfúrico, extracción por solventes (SX) y electro-obtención (EW) para producir cátodos 99,99% Cu, aprovechando infraestructura existente y bajo CAPEX de relanzamiento. Históricamente, Tintaya-Óxidos produjo cátodos vía hidrometalurgia y procesó ~3,8 Mt solo en 2012, lo que evidencia la madurez del circuito. En 2024 la operación certificó consumo de energía 100% renovable, con uso repartido entre planta Tintaya y planta Antapaccay, señal de operación efectiva de ambos frentes.

Espesamiento y Filtrado

En la ruta de sulfuros, el concentrado se espesa y filtra en mina previo a despacho; paralelamente, las colas pasan a espesadores de relaves antes de su disposición en depósito, recuperando agua de proceso y reduciendo huella hídrica. Antapaccay/Tintaya figura además como caso de relaves espesados (TTD) con disposición en-pit en Tintaya, alineado con prácticas de mayor concentración de sólidos y menor riesgo de segregación/flujo. (Nota: en la ruta de óxidos, no se generan relaves convencionales; el residuo sólido son ripios del pad, en circuito de soluciones cerrado SX–EW).

Transporte y Despacho

El concentrado de cobre se despacha en camiones hacia el Puerto de Matarani (Arequipa), a ~370 km, desde donde se embarca a clientes internacionales; Antapaccay realizó su primer embarque por ese puerto al inicio de operaciones y mantiene esa logística regional. Los cátodos producidos en el circuito de óxidos (SX–EW) se comercializan como metal refinado, ofreciendo

flexibilidad comercial y margen sin cargos TC/RC. Matarani es hoy hub de salida para el cobre peruano de la zona sur (incluyendo grandes operaciones), lo que asegura infraestructura y capacidad para el despacho.