



**FACULTAD DE POSTGRADO
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO
DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN LA MINA EL
MOCHITO**

SUSTENTADO POR:

**ANGEL ALDAVID URBINA MANCIA
VICTOR MANUEL HERRERA MONCADA**

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE

**MÁSTER EN
ADMINISTRACIÓN DE PROYECTO**

**TEGUCIGALPA, DEPARTAMENTO DE FRANCISCO
MORAZÁN, HONDURAS, C.A.**

SEPTIEMBRE, 2025

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA
UNITEC**

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTORA

ROSALPINA RODRÍGUEZ

**VICERRECTOR ACADÉMICO NACIONAL
JAVIER ABRAHAM SALGADO LEZAMA**

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

**DIRECTORA NACIONAL DE POSTGRADO
ANA DEL CARMEN RETTALLY VARGAS**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO
DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN LA MINA EL
MOCHITO**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN**

ADMINISTRACIÓN DE PROYECTO

ASESOR

RAMÓN ARMANDO VARELA

MIEMBROS DE LA TERNA:

NOMBRE COMPLETO EVALUADOR 1

NOMBRE COMPLETO EVALUADOR 2

NOMBRE COMPLETO EVALUADOR 3

DERECHOS DE AUTOR

© Copyright 2025
ANGEL ALDAVID URBINA MANCIA
VICTOR MANUEL HERRERA MONCADA

Todos los derechos son reservados.



FACULTAD DE POSTGRADO

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN LA MINA EL MOCHITO

**ANGEL ALDAVID URBINA MANCIA
VICTOR MANUEL HERRERA MONCADA**

Resumen

El presente trabajo tuvo como propósito evaluar la factibilidad técnica, operativa y financiera de la modernización del sistema de aire comprimido de la Mina El Mochito, con el fin de garantizar un suministro más eficiente, confiable y sostenible para las operaciones subterráneas. El objetivo principal consistió en analizar alternativas de mejora mediante la sustitución de compresores obsoletos, el control de fugas en la red, la integración de un sistema SCADA y la implementación de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo. Para ello, se empleó un enfoque metodológico mixto que incluyó visitas de campo, encuestas al personal, análisis energético y simulaciones financieras basadas en indicadores de capital budgeting. Los resultados evidenciaron pérdidas energéticas superiores a USD 940,000 anuales por fugas, elevados costos de mantenimiento correctivo y equipos con vida útil superada; no obstante, el análisis financiero demostró la viabilidad del proyecto al obtener un VAN positivo, TIR superior al 30% y periodo de recuperación de la inversión menor a tres años. En conclusión, se determinó que la modernización del sistema es factible y contribuirá a reducir costos, mejorar la confiabilidad del suministro y optimizar la eficiencia energética, recomendándose su implementación inmediata para asegurar la sostenibilidad operativa de la mina.

Palabras claves: (Aire comprimido, Eficiencia energética, Factibilidad financiera, Mina El Mochito, Modernización.)



GRADUATE SCHOOL

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN LA MINA EL MOCHITO

**ANGEL ALDAVID URBINA MANCIA
VICTOR MANUEL HERRERA MONCADA**

Abstract

The purpose of this work was to evaluate the technical, operational, and financial feasibility of modernizing the compressed air system at the El Mochito Mine, in order to ensure a more efficient, reliable, and sustainable supply for underground operations. The main objective was to analyze improvement alternatives through the replacement of obsolete compressors, leakage control in the distribution network, the integration of a SCADA system, and the implementation of a preventive and predictive maintenance program. A mixed methodological approach was employed, including field inspections, staff surveys, energy analyses, and financial simulations based on capital budgeting indicators. The results showed annual energy losses exceeding USD 940,000 due to leakages, high corrective maintenance costs, and equipment beyond its useful life; however, the financial analysis demonstrated the feasibility of the project by obtaining a positive NPV, an IRR greater than 30%, and a payback period of less than three years. In conclusion, it was determined that the modernization of the system is feasible and will help reduce costs, improve supply reliability, and optimize energy efficiency, thus its immediate implementation is recommended to ensure the operational sustainability of mine.

Keywords: (Compressed air, Energy efficiency, Financial feasibility, Modernization, El Mochito Mine.)

DEDICATORIA

Este logro lo dedico en primer lugar a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar este camino académico. A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser la base que me inspira a superarme cada día. A mis padres, quienes con su ejemplo de esfuerzo y dedicación me enseñaron el valor del trabajo y la disciplina; y a mis hermanos, por su compañía, paciencia y palabras de aliento en los momentos más desafiantes. Dedico también este triunfo a mis amigos y compañeros, quienes compartieron conmigo experiencias, aprendizajes y motivación a lo largo de esta etapa. Finalmente, agradezco a mis docentes y a todas aquellas personas que con sus consejos, conocimientos y confianza contribuyeron a hacer de este proyecto una realidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, fuente de vida y sabiduría, por haberme permitido culminar este proceso académico con determinación y esperanza. Extiendo mi gratitud a mi familia por su apoyo incondicional, comprensión y motivación en cada etapa de este camino. A mis docentes y asesores, por compartir sus conocimientos y orientar con paciencia la construcción de este trabajo, aportando su experiencia y visión profesional. De manera especial, expreso mi agradecimiento a la Ing. Alicia Reyes, por su valiosa guía, acompañamiento y apoyo durante el desarrollo de esta tesis, contribuyendo de manera significativa a la culminación de este logro. A la institución, por brindarme los recursos y el espacio para crecer académica y personalmente. Finalmente, agradezco a mis compañeros y colegas por su colaboración y amistad, que hicieron de esta experiencia un proceso enriquecedor y compartido.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA	3
1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.5 JUSTIFICACIÓN	6
II. MARCO TEÓRICO	7
2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	7
1.5.1 ANÁLISIS DEL MACROENTORNO.....	8
1.5.2 ANÁLISIS DEL MICROENTORNO	10
2.2 CONCEPTUALIZACIÓN.....	10
2.2.1 MINA.....	10
2.2.2 FACTIBILIDAD.....	10
2.2.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	11
2.2.4 VALOR PRESENTE NETO (VAN).....	11
2.2.5 RETORNO DE LA INVERSION (ROI).....	11
2.2.6 ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO.....	12
2.2.7 AHORRO ENERGÉTICO.....	12
2.2.8 AUTOMATIZACIÓN	13

2.2.9	PROCESOS	13
2.2.10	EFICIENCIA OPERATIVA.....	14
2.2.11	PRESIÓN Y CAUDAL DE AIRE.....	14
2.2.12	SISTEMA SCADA.....	14
2.2.13	EQUIPOS OBSOLETOS.....	15
2.3	TEORÍAS DE SUSTENTO.....	15
2.3.1	BASES TEÓRICAS.....	15
2.3.1.1	TEORÍA DE LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS.....	15
2.3.1.2	TEORÍA DE LA RELACIÓN COSTO BENEFICIO, (ANÁLISIS COSTO- BENEFICIO- ACB).....	18
2.3.1.3	TEORÍAS DE LA AUTOMATIZACION Y MECANIZACION INDUSTRIAL.....	20
2.3.1.4	TEORÍA DE LA JUSTIFICACION DE PROYECTOS DE CAPITAL (Capital Budgeting Theory).....	22
2.3.2	METODOLOGÍAS DESARROLLADAS	24
2.3.2.1	TÉCNICAS PARA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN.....	24
2.3.2.2	MEJORA DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	26
2.3.2.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS.....	27
2.3.3	INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	30
2.4	MARCO LEGAL.....	30
III.	METODOLOGÍA.....	31
3.1	CONGRUENCIA METODOLÓGICA	31
3.1.1	MATRIZ DE CONGRUENCIA.....	31
3.1.2	ESQUEMA DE VARIABLES DE ESTUDIO	32
3.1.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	33
3.1.4	HIPÓTESIS.....	35
3.2	ENFOQUE Y MÉTODOS.....	36
3.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.3.1	POBLACIÓN.....	39
3.3.2	MUESTRA	39

3.3.3	TÉCNICAS DE MUESTREO	40
3.4	TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS APLICADOS.....	41
3.4.1	TÉCNICA	41
3.4.1.1	FICHAS DE OBSERVACIÓN DIRECTA	41
3.4.1.2	ENTREVISTAS.....	41
3.4.1.3	SISTEMA SCADA (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION)	42
3.4.2	PROCEDIMIENTOS.....	42
3.5	FUENTES DE INFORMACIÓN	43
3.5.1	FUENTES PRIMARIAS	43
3.5.1.1	SISTEMA SCADA (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION)	43
3.5.1.2	PERSONAL DE LA MINA EL MOCHITO	43
3.5.1.3	REGISTROS INTERNOS DE LA MINA.....	43
3.5.1.4	OBSERVACIONES DIRECTAS.....	43
3.5.2	FUENTES SECUNDARIAS	44
IV.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	45
4.1	INFORME DE PROCESOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
4.2	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS APLICADAS.....	46
4.2.1	RESULTADOS CUANTITATIVOS	46
4.2.1.1	ENTREVISTA DIRIGIDA AL PERSONAL TÉCNICO Y OPERATIVO.....	47
4.2.2	COMPORTAMIENTO DE LA PRESIÓN OPERATIVA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LA MINA EL MOCHITO.	58
4.2.3	ESTIMACIÓN DE COSTOS MENSUAL DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	59
4.2.4	ESTIMACIÓN DE COSTOS POR FUGAS EN EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	60
4.2.5	RESULTADOS DE PRUEBA DE FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO MINA..... ANÁLISIS COMPRESOR IR RECIPROCANTE VRS COMPRESOR TORNILLO GARNER DENVER.	62
4.2.6	ANÁLÍS FINANCIERO.....	65

4.2.7	RESULTADOS CUALITATIVOS	68
4.2.7.1	ENTREVISTA DIRIGIDA A JEFATURAS.....	68
4.2.7.2	MATRIZ DE DECISIÓN	75
4.2.8	HALLAZGOS ENCONTRADOS EN LAS VISITAS A CAMPO	76
4.2.9	ESTUDIO TÉCNICO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE BASES DE COMPRESORES	78
4.3	ESTUDIO LEGAL Y AMBIENTAL REGULATORIO	79
4.3.1	SITUACIÓN DEL TÍTULO Y LICENCIAMIENTO AMBIENTAL	80
4.3.2	COMPROMISOS Y EVIDENCIAS DE CUMPLIMIENTO.....	80
4.4	ANÁLISIS DE LAS HIPÓTESIS	81
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1.	CONCLUSIONES	82
5.1	RECOMENDACIONES.....	84
VI.	APLICABILIDAD	85
5.2	NOMBRE DE LA PROPUESTA.....	85
5.3	JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.....	85
5.4	ALCANCE DE LA PROPUESTA	85
5.5	DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO A DETALLE DE LA PROPUESTA.....	86
4.4.1	DESCRIPCIÓN	86
4.4.2	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	87
1.5.2.1	CRONOGRAMA DEL PLAN ESTRATÉGICO	87
1.5.2.2	PLANES DE INTERVENCIÓN	88
1.5.2.3	DESARROLLO DE ESTRATEGIAS FINANCIERAS	89
1.5.2.4	ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD.....	90
1.5.2.5	DOCUMENTACIÓN Y MEJORA DE PROCESOS.....	93
1.5.2.6	ANÁLISIS DE RIESGOS	94
1.5.2.7	PLAN DE CAPACITACIÓN.....	96
5.6	MEDIDAS DE CONTROL	97
5.7	CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN Y PRESUPUESTO	98
5.8	PRESUPUESTO E IMPACTO DEL PRESUPUESTO	100
5.9	CONCORDANCIA DE LOS SEGMENTOS DE LA TESIS CON LA PROPUESTA	1

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	1
ANEXOS	7
Anexo 1; INGERSOLL-RAND 300HP	7
Anexo 2; COMPRESORES JOY DE 900HP	7
Anexo 3; SITUACIÓN DEL ACTUAL DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	8
Anexo 4; EVIDENCIA DE REALIZACIÓN DE ENCUESTAS.....	9
Anexo 5; SISTEMA SCADA	11
Anexo 6; VISITAS A CAMPO.....	11
Anexo 7; ENTREVISTA DIRIGIDA AL PERSONAL TÉCNICO Y OPERATIVO	12
Anexo 8; ENTREVISTA DIRIGIDA AL PERSONAL TÉCNICO Y OPERATIVO	14
Anexo 9; RESULTADOS DE LAS PREGUNTAS RESTANTES	16
Anexo 10; FÓRMULA DE CÁLCULO DE COSTOS DE OPERACIÓN DE COMPRESORES	18
Anexo 11; COTIZACIÓN DE COMPRESORES	18
Anexo 12; ANÁLISIS FINANCIERO.....	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz Metodológica	31
Tabla 2. Operacionalización de Variables	34
Tabla 3. Matriz de Formulación de Hipótesis.....	35
Tabla 4: Diseño de la Investigación.....	38
Tabla 5: Estimación de costos mensual de energía.....	59
Tabla 6: Estimación de costos anuales por fugas en el sistema de aire comprimido.....	60
Tabla 7: Análisis comparative de costos anuales de operación de compresores Propuesta #1. ...	62
Tabla 8: Análisis comparative de costos anuales de operación de compresores Propuesta #2. ...	63
Tabla 9: Análisis comparative de costos anuales de operación de compresores Propuesta #3. ...	64
Tabla 10: Datos de análisis financiero	65
Tabla 11: Resumen de resultados financieros sin apalancamiento	66
Tabla 12: Resumen de resultados financieros con apalancamiento	67
Tabla 13: Matriz de decisión de los resultados obtenidos	75
Tabla 14: Marco legal aplicable.....	79
Tabla 15: comprobación de hipótesis de investigación	81
Tabla 16: Diagrama de Gantt del Plan Estratégico para diciembre 2025	87
Tabla 17: Planes de Intervención Propuestos	88
Tabla 18: Lineamientos Estratégicos	89
Tabla 19: Resumen de Resultados Financieros sin Apalancamiento.....	90
Tabla 20: Resumen de Resultados Financieros con Apalancamiento	91
Tabla 21:: Indicadores Financieros de Control.	92
Tabla 22: Documentación y Mejora de Procesos	93
Tabla 23: Matriz de Riesgos	95
Tabla 24: Plan de Capacitación.....	96
Tabla 25:: Indicadores Propuestos y Medición.....	97
Tabla 26: Cronograma de monitoreo y reporte.....	98
Tabla 27: Cronograma de Implementación.....	99
continuación Tabla 28: Cronograma de Implementación.....	100
Tabla 29: Distribución de costos para el mejoramiento del Sistema de Aire Comprimido.....	101
Tabla 30: Matriz de Concordancia.....	1

Continuación Tabla 31: Matriz de Congruencia.....	2
Tabla 32: Determinación del WACC (TREMA).....	19
Tabla 33: Riegos País.....	1
Tabla 34: Prima de Riesgo de Mercado (MRP).....	2
Tabla 35: Indicadores de riesgo sistemático por sector económico.....	3

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Compresores Ingersoll-Rand y Joy de La mina el Mochito.....	7
Figura 2: Comparativo de Presión del sistema VRS La presión Requerida [PSI].....	8
Figura 3: Historial de Tarifas por Energía Eléctrica HNL/KWH.....	9
Figura 4: Variable de Estudio Económico.....	32
Figura 5: Variable de Estudio Técnico.....	32
Figura 6: Variable de Estudio Financiero.....	33
Figura 7: Variable de Estudio Legal Y Ambiental.....	33
Figura 8: Diseño de Esquema Metodológico.....	37
Figura 9: Evaluación del estado actual del sistema de aire comprimido.....	47
Figura 10: Fallas más frecuentes en el sistema de aire comprimido.....	48
Figura 11: Tipo de mantenimiento más frecuentes en el sistema.....	49
Figura 12: La opinión sobre la modernización.....	50
Figura 13: Estimación de la vida útil de los compresore.....	50
Figura 14: El impacto de una nueva tecnología en la eficiencia operativa del sistema.....	51
Figura 15: Los beneficios esperados sobre la implementación de una nueva tecnología.....	52
Figura 16: Incidentes laborales asociados al sistema.....	53
Figura 17: Nivel de ruido de los compresores.....	54
Figura 18: Registros o controles de emisiones de CO ₂ asociados al sistema.....	55
Figura 19: Permisos o licencias aplicables al sistema de aire comprimido.....	56
Figura 20: Dimensionamiento del sistema para satisfacer la demanda.....	56
Figura 21: Áreas más afectadas por la falta de presión o suministro de aire.....	57
Figura 22: Variación de la presión real vs presión requerida en el sistema de aire comprimido de la Mina El Mochito.....	58
Figura 23: Grafico sobre descarga y carga del sistema de aire comprimido.....	61

Figura 24: Compresos IR.....	62
Figura 25: Compresor de Tornillo Garner Denver	62
Figura 26: Compresos IR.....	63
Figura 27: Compresor de Tornillo Garner Denver	63
Figura 28: Compresor Joy.....	64
Figura 29: Compresor centrifugo IR.....	64
Figura 30: Retorno simple sin financiamiento.....	66
Figura 31: Retorno simple con financiamiento.....	67
Figura 32: Evaluación general de la vida útil del sistema de aire comprimido.	69
Figura 33: Impacto sobre la implementación de una modernización en el sistema de aire comprimido.	69
Figura 34: Costos financieros por mantenimiento del sistema actual.....	70
Figura 35: Costos de energía.....	71
Figura 36: Estimación de inversión para una modernización parcial del sistema.	71
Figura 37: Beneficios financieros esperados con un sistema moderno.	72
Figura 38: Proyección financiera sobre ahorro energético y operativo	73
Figura 39: Cómo afecta las deficiencias del sistema a la producción.....	73
Figura 40: Sobre la priorización del proyecto dentro del plan estratégico.	74
Figura 41: Estado actual del sistema de aire comprimido de la mina.....	77
Figura 42:Diseño estructural de bases de compresores	78
Figura 43: Retorno de la inversión sin apalancamiento.....	90
Figura 44: Retorno de la inversión con apalancamiento.....	91
Figura 45. Datos técnicos de compresores Ingersoll-Rand.....	7
Figura 46. Datos técnicos de compresores Joy	7
Figura 47. Condiciones actuales de los compresores Ingersoll-Rand.....	8
Figura 48. Condiciones actuales de la línea de distribución en mina Trackless y superficie.	8
Figura 49. Condiciones actuales de la línea de distribución en mina convencional.....	9
Figura 50. Encuestas realizadas a personal Administrativo de la mina.	9
Figura 51. Encuestas realizadas a personal técnico	10
Figura 52. Encuestas realizadas a jefaturas.....	10
Figura 53. Sistema SCADA de la mina.	11

Figura 54. Inspecciones en campo	11
Figura 55. limitantes en la modernización del sistema de aire comprimido	16
Figura 56. Contribución de la modernización del sistema de aire comprimido	17
Figura 57: Cotización de compresores de tornillo y centrifugo.....	18
Figura 58: Análisis financiero de propuesta de proyecto.....	1

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es considerado un recurso estratégico en la industria minera subterránea, ya que constituye la fuente de energía para equipos de perforación, transporte, ventilación y procesos auxiliares que garantizan la continuidad operativa. En el caso de la mina El Mochito, localizada en el municipio de Las Vegas, Santa Bárbara, el sistema de aire comprimido enfrenta serias limitaciones derivadas de la antigüedad de sus equipos, la obsolescencia tecnológica de los compresores instalados y las fugas constantes en la red de distribución. Estas condiciones repercuten directamente en la eficiencia energética, incrementan los costos operativos y generan riesgos de inestabilidad en la presión de suministro.

El contexto actual exige que las operaciones mineras fortalezcan su sostenibilidad técnica y financiera mediante proyectos de modernización orientados a la eficiencia energética y a la optimización de recursos. En este sentido, la evaluación de alternativas para la modernización del sistema de aire comprimido de la mina El Mochito representa no solo una necesidad operativa, sino también una oportunidad de inversión estratégica que puede garantizar ahorros significativos, reducción de pérdidas energéticas y mejoras en la productividad.

La presente investigación tiene como propósito analizar la factibilidad de modernizar el sistema de aire comprimido, considerando los costos de inversión, los beneficios proyectados en términos de ahorro energético y la viabilidad económica a mediano y largo plazo. De este modo, se busca generar una propuesta técnica y financiera que aporte valor a la gestión de recursos de la empresa, al mismo tiempo que fortalezca la competitividad y sostenibilidad de la mina en el sector extractivo nacional e internacional.

1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La Mina El Mochito (AMPAC), ubicada en el municipio de Las Vegas, Santa Bárbara, ha sido un referente en la producción de zinc, plata y plomo en la región, estando en operaciones desde 1948. Dentro de sus operaciones las áreas conocidas como mina Trackless, mina convencional y planta concentradora se caracterizan por el uso intensivo de maquinaria que depende de un suministro constante y eficiente de aire comprimido.

Algunos equipos del sistema actual de aire comprimido han venido operando desde el comienzo de la operación de la mina, sin una actualización significativa. Lo que ha provocado una serie de deficiencias como pérdidas de presión, altos costos de energía, mantenimiento más frecuente de lo previsto, fallas constantes, contaminación acústica elevada y la falta de repuestos en algunos compresores que se encuentran obsoletos.

Estas limitaciones no solo comprometen la eficiencia de las operaciones mineras, sino que también incrementan el riesgo de fallas críticas que afectan la continuidad de los trabajos planificados diariamente. A medida que la mina busca mejorar su productividad y sostenibilidad, se ha vuelto urgente evaluar las condiciones actuales del sistema de aire comprimido y proponer alternativas de modernización o de la sustitución de compresores que se ajusten a las necesidades operativas actuales y futuras de esta empresa.

Es de mucha importancia que este sistema sea eficiente y funcione correctamente, no solo para obtener un excelente rendimiento de los equipos, sino también para mejorar el control de los costos operativos, como lo es el consumo de energía y el mantenimiento. La utilización de equipos viejos y compresores obsoletos ha permitido muchas deficiencias como pérdida de presión, fallas, altos costos de mantenimiento y mucha contaminación acústica.

Este problema no es exclusivo de la mina El Mochito, a nivel mundial se han realizado varios estudios destacando la importancia de optimizar estos sistemas. Por ejemplo, en una mina de oro en Sudáfrica mostro que la reducción del uso de aire en las áreas de refugio logro ahorrar en promedio 0.9 megavatios (Hassan et al., 2014). Este estudio nos muestra como la optimización del sistema tiene un impacto significativo en la eficiencia energética, reduciendo costos operativos.

En Irán, un análisis de fiabilidad del sistema de aire comprimido en la mina de cobre Qaleh-Zari reveló que la mejora en la fiabilidad del sistema aumentó su eficiencia operativa, reduciendo

las interrupciones en la producción minera y mejorando la disponibilidad del aire comprimido necesario para las operaciones diarias (Rahimdel, 2023).

En los Estados Unidos sucedió un caso similar, específicamente en la International Truck and Engine Corporación, demostró que, al mejorar el sistema de aire comprimido, permitió optimizar su rendimiento, mejorando la eficiencia y reduciendo fallas, (Burger, 2024)

Dado que la Mina El Mochito presenta desafíos similares a los casos mencionados, como la obsolescencia de los equipos y compresores, la falta de repuestos y elevados costos de operación es fundamental evaluar y modernizar el sistema de aire comprimido para mantener la competitividad y la sostenibilidad de la mina. Los estudios internacionales demuestran claramente que la modernización de los sistemas de aire comprimido mejora la eficiencia energética y además reduce los costos operativos, mejora la fiabilidad de los equipos y contribuye al bienestar laboral al reducir la contaminación acústica y riesgos de fallas críticas.

En este contexto, la investigación sobre las mejores alternativas de modernización del sistema de aire comprimido en El Mochito tiene el potencial de transformar la eficiencia operativa de la mina, garantizar una producción más estable y reducir su huella ambiental. Esta evaluación podría proporcionar soluciones efectivas y económicas, alineadas con los estándares internacionales, para garantizar que la Mina El Mochito siga siendo un referente en la minería regional, manteniendo la calidad de sus operaciones y asegurando su rentabilidad a largo plazo.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Debido a la presencia de equipos obsoletos, la falta de repuestos, fallas continuas, ruidos excesivos, altos consumos de energía, deficiente desempeño de los compresores y las fugas que se encuentran actualmente en el sistema de distribución de aire comprimido en la mina; que afectan de manera directa la eficiencia operativa, los costos de mantenimiento, comprometiendo la seguridad y reduciendo la productividad de las labores diarias. Limita la capacidad de la mina para mantener ritmos óptimos de producción, lo que a largo plazo puede impactar su rentabilidad. es por estas razones que es necesario considerar el mejoramiento del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito.

1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El sistema de aire comprimido de la mina El Mochito (AMPAC) representa un componente crítico para el desarrollo de sus operaciones diarias; sin embargo, enfrenta desafíos significativos en términos de eficiencia energética, costos operativos elevados y confiabilidad en el suministro. La infraestructura actual ha mostrado señales de obsolescencia, lo cual limita su rendimiento y podría poner en riesgo la continuidad de las actividades mineras. Frente a esta situación, surge la necesidad de evaluar alternativas que incluyan el reemplazo de equipos, la modernización de la infraestructura existente o la incorporación de nuevas tecnologías que permitan optimizar el sistema. Esta investigación busca determinar si es factible mejorar el sistema de aire comprimido en la mina El Mochito, considerando criterios técnicos, económicos y operativos.

¿Es técnica, económica y operativamente factible mejorar el sistema de aire comprimido en la mina El Mochito, de manera que se garantice un suministro eficiente, confiable y sostenible, acorde a las necesidades actuales y futuras de sus operaciones mineras?

1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las preguntas de investigación que se presentan a continuación sirven para dar respuesta al problema central. Están formuladas para orientar la investigación hacia la respuesta de la pregunta principal, y de esta se derivan preguntas específicas que permitirán analizar en detalle las variables dependientes e independientes, así como la propuesta de aplicabilidad.

1. ¿Cuál es el estado actual de la infraestructura de aire comprimido de la mina El Mochito?
2. ¿Cuáles son las principales deficiencias que presenta el sistema en términos de presión, consumo de energía y mantenimiento?
3. ¿Qué alternativas tecnológicas existen para optimizar o reemplazar el sistema actual?
4. ¿Cuál es la inversión requerida para cada alternativa y qué beneficios económicos y operativos aportaría?
5. ¿Qué solución garantiza una mayor eficiencia energética y fiabilidad en el suministro de aire comprimido para la mina?
6. ¿Qué tan factible es la modernización del sistema de aire comprimido en la Mina El Mochito, desde un análisis financiero?

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

A continuación, se procede a plantear los objetivos generales y específicos de la investigación, basándose en la formulación del problema previamente establecida y en las preguntas de investigación formuladas.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la factibilidad técnica, económica y operativa del mejoramiento del sistema del aire comprimido en la mina el Mochito, con el propósito de garantizar un suministro eficiente, confiable y sostenible que responda a las necesidades actuales y futuras de las operaciones mineras.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el estado actual del servicio de aire comprimido de la mina el Mochito, identificando sus principales limitaciones técnicas, operativas y el comportamiento general de la infraestructura en las condiciones actuales de la operación.
2. Analizar las principales deficiencias del sistema actual en cuanto a presión, consumo energético y mantenimiento para determinar cómo estas están afectado eficiencia y continuidad de las actividades mineras.
3. Identificar y analizar opciones tecnológicas viables para la mejora o sustitución del sistema existente de la mina.
4. Estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados a cada alternativa propuesta.
5. Evaluar la factibilidad de modernizar el sistema de aire comprimido desde un enfoque financiero, considerando los costos de inversión, el ahorro proyectado y el impacto económico que tendría para la mina a mediano y largo plazo.

1.5 JUSTIFICACIÓN

En la operación minera de El Mochito, el servicio de aire comprimido es clave para el desarrollo de casi todas las actividades productivas. Este sistema abastece a tres áreas principales: la mina Trackless, la mina Convencional: que es donde se realiza la extracción de broza y trituradora; que es donde se lleva a cabo la trituración y refinación del concentrado. Además, también es fundamental para los servicios generales que hay al interior y exterior de la mina, por lo que su buen funcionamiento es indispensable para que la mina se mantenga en operación.

Desde hace unos años se ha observado cómo este sistema ha estado presentado fallas constantes, comprometiendo seriamente la eficiencia de los trabajos que se desarrollan diariamente, esto se debe a que muchos de los equipos dependen directamente del suministro de aire a presión, y cuando hay caídas en la presión o interrupciones por mantenimientos o por fallas, se detienen procesos completos y se pierde productividad. A esto se suma el aumento del consumo energético, la falta de repuestos, la contaminación acústica, las fugas que se encuentran en el sistema y el desgaste general de los equipos, lo que encarece cada vez más el mantenimiento.

Por estas razones es que sea considerado necesario realizar un estudio de factibilidad que nos permita evaluar con claridad si es viable modernizar o reemplazar el sistema actual. Porque al contar con un sistema de aire comprimido eficiente y confiable no solo resolvería muchos de los problemas actuales, sino que también representaría una inversión estratégica, alineada con los objetivos de mejorar la productividad reducir los costos y avanzar hacia una operación más sostenible y confiable de acuerdo con las necesidades de la mina.

II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analizará la situación actual de la empresa a nivel de macroentorno y microentorno. Se presentan evidencias del sistema actual, conceptualización, las teorías de sustento y el marco legal que nos ayudaran a responder las interrogantes que tienen esta investigación.

2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En la operación de la mina el Mochito, con más de siete décadas de historia enfrenta hoy desafíos tecnológicos importantes, principal mente en el sistema de aire comprimido. Mismo que está constituido por cuatro compresores de los cuales dos son Ingersoll-Rand de 300hp y dos compresores Joy de 900hp (Urbina, 2020). Ver anexos 1 y 2. Estos equipos constituyen uno de los pilares fundamentales para la ejecución de las actividades mineras en las áreas de extracción y procesamiento del mineral. Actualmente este sistema abastece de energía neumática a interior mina y superficie. Específicamente en las áreas de mina Trackless, mina convencional y trituradora. Ver figura 1



Figura 1: Compresores Ingersoll-Rand y Joy de La mina el Mochito

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En los últimos años se han presentado múltiples deficiencias en la infraestructura actual, misma que se derivan de la antigüedad de los equipos y la falta de renovación tecnológica del sistema. Dos de los compresores y algunas líneas de distribución han superado su vida útil recomendada. Ver anexo 3. Esto ha dado lugar a una serie de problemas operativos tales como pérdidas significativas de presión, variaciones en el caudal del suministro, consumos de energía excesivos, contaminación acústica.

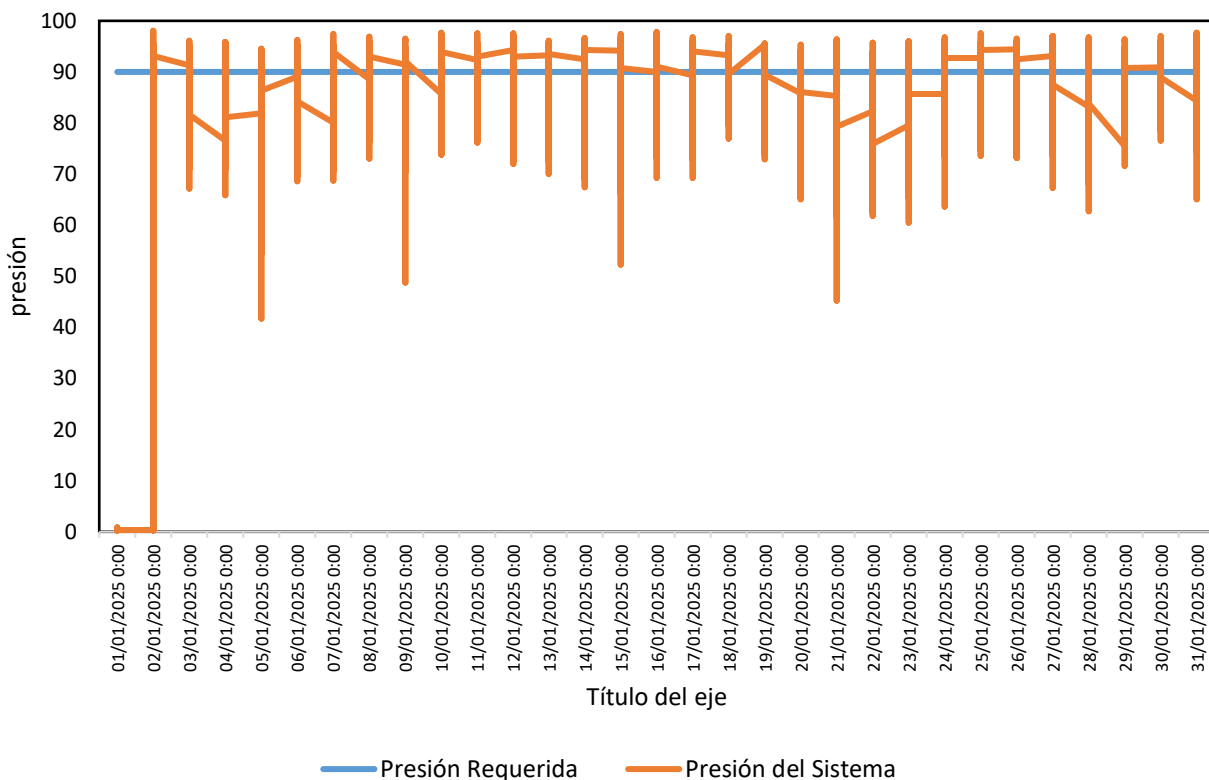


Figura 2: Comparativo de Presión del sistema VRS La presión Requerida [PSI]

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la figura 2. Se muestra la comparación de presiones requeridas para el óptimo funcionamiento de las distintas áreas de operación de la mina, respecto a la presión real que actualmente proporciona el sistema de aire comprimido. Con este análisis permite identificar posibles discrepancias que pueden estar afectado el rendimiento de los equipos y procesos de la mina. Al contrastar estos valores se puede demostrar que la presión suministrada por el sistema no es suficiente para satisfacer la demanda operativa.

1.5.1 ANÁLISIS DEL MACROENTORNO

El sector minero en Honduras está siendo afectado por factores económicos como el aumento de costos de energía eléctrica, regulaciones ambientales y la creciente presión por adaptarse a tecnologías más limpias. A nivel global la tendencia hacia la eficiencia energética y la sostenibilidad ha llevado a las empresas a buscar modernizar sus sistemas auxiliares. Además, los avances tecnológicos actuales en sistemas industriales son una oportunidad de mejorar significativamente en el servicio de aire comprimido para la mina.

En la parte tecnológica podemos encontrar un avance a nivel mundial en sistemas de automatización incluyendo sensores inteligentes y compresores de última generación, todas las tecnologías modernas permiten reducir el consumo de energía, reducir fallas y mejorar el desempeño del sistema.

Si lo vemos desde un punto de vista económico en Honduras el sector minero representa un fuerte porcentaje de inversión y exportación, sin embargo, existe el inconveniente de los altos costos de energía, así como una alta competencia internacional obligan prácticamente a las empresas a mejorar sus procesos y hacer uso de tecnología y automatización.

Aumento de costos de energía eléctrica: es uno de los factores económicos que más generan inconformidad en las empresas en Honduras las tarifas de energía eléctrica para el servicio de media tensión en los últimos años han experimentado ajustes significativos, aumentando los costos operativos de las empresas. Como se puede ver en la figura

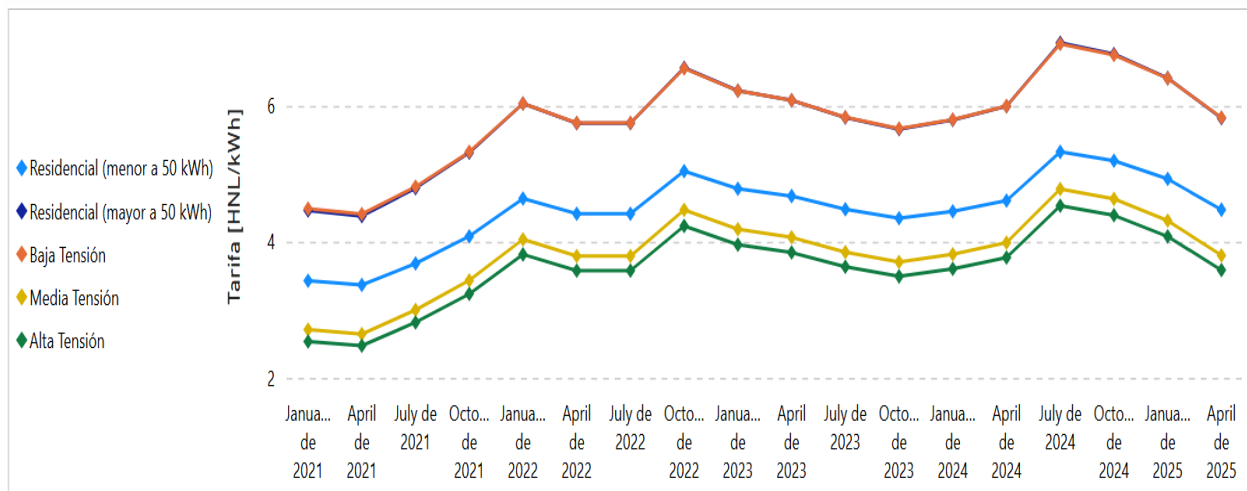


Figura 3: Historial de Tarifas por Energía Eléctrica HNL/KWH

Fuente: (Comisión Reguladora de Energía Eléctrica, 2025)

En lo que corresponde a los sociopolítico es un problema que está latente en Honduras, así como en el mundo, tomando en cuenta los aranceles impuestos por USA y la inestabilidad política en Honduras, sin embargo, existe una estabilidad jurídica en Honduras y mucha promoción de inversión minera de parte del Estado creando un marco favorable para la inversión de este tipo de proyectos que estamos planteando.

1.5.2 ANÁLISIS DEL MICROENTORNO

Dentro de la operación de la mina el Mochito se han observado que las condiciones internas actuales agravan el problema. Debido a que el sistema actual depende de dos compresores obsoletos, sin disponibilidad de repuestos incrementando el riesgo operativo y reduciendo la confiabilidad del sistema y aumentado los costos operativos.

Las fallas mecánicas atribuidas al desgaste estructural provocado por la antigüedad de estos equipos, condiciones de trabajo, la cantidad de horas en uso y la falta de repuestos en el mercado actual son factores que aumentan los riesgos, generando intervenciones no programadas que ponen en riesgo las operaciones diarias de esta empresa. Este sistema actual de aire no responde a las necesidades de la mina que busca mantener una operación eficiente, segura, sostenible y constante. Es por esta razón de que es necesario realizar la evaluación de tecnologías que permitan modernizar el sistema, reduciendo los costos operativos y mejorando la continuidad y calidad del servicio de aire a presión

2.2 CONCEPTUALIZACIÓN

En esta sección se detallará las palabras claves que interfieren en este estudio, siendo vital para entender esta investigación.

2.2.1 MINA

Es una empresa que se dedica a la extracción de minerales, metales y piedras preciosas y otros materiales valiosos directamente de la tierra. Para la obtención de estos materiales se utilizan diversos métodos de extracción la profundidad o tipo de material (Hartman, H. L. & Mutmansky, J. M. , 2002).

2.2.2 FACTIBILIDAD

Es un análisis que se realiza para determinar si un proyecto se puede llevar a cabo con éxito considerando diversos factores como recursos disponibles, tecnología, costos, tiempo y las condiciones del entorno (Echeverría Ruíz, 2017).

Mediante un estudio de factibilidad se realiza la recopilación de datos importantes sobre el desarrollo a futuro del proyecto, este sirve para la toma de decisiones para determinar si es viable o no el desarrollo o implementación del proyecto. (Baca Urbina , 2010)

2.2.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno es aquella que devuelve el valor presente neto igual a cero, mide la rentabilidad entorno a los porcentajes que se calculan sobre los saldos no recuperados en cada periodo (Economipedia & Sevilla Arias, 2017).

La regla de la TIR para toma de decisión es:

Si TIR es mayor que la tasa de descuento se debe aceptar.

Si TIR es igual a la tasa de descuento, se debe ser indiferente.

Si TIR es menor que la tasa de descuento se debe rechazar.

2.2.4 VALOR PRESENTE NETO (VAN)

Es un indicador financiero que permite calcular el valor presente de los flujos de caja futuros generados por una inversión destacando el costo del capital. Un VAN positiva indica que el proyecto es rentable (Economipedia & Sevilla Arias, 2017).

VAN mayor a cero: El proyecto es rentable y generara benéficos para la empresa.

VAN es igual a cero: El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas.

VAN es menor a cero: El proyecto no es rentable, por lo que deberá ser rechazado.

2.2.5 RETORNO DE LA INVERSION (ROI)

Es un indicador financiero que determina la rentabilidad de una inversión, se calcula dividiendo el beneficio neto obtenido entre los costos de inversión. un ROI positivo en un proyecto valida su viabilidad económica (Chumacero J. A., 2021).

El Retorno de la Inversión, conocido por sus siglas en inglés Return on Investment (ROI), es un indicador financiero que tiene sus raíces en la contabilidad y análisis financiero del siglo XX, con un fuerte impulso en el ámbito empresarial durante el auge de las corporaciones industriales en Estados Unidos. Su uso se popularizó como una métrica clave para evaluar el desempeño económico de inversiones y proyectos, especialmente a partir de los años 1960 con el desarrollo de la teoría financiera moderna.

El ROI se calcula dividiendo el beneficio neto obtenido de una inversión entre el costo total de la misma, y se expresa generalmente como un porcentaje. A lo largo del tiempo, se ha reconocido no solo como un indicador de rentabilidad, sino también como una herramienta

comparativa para tomar decisiones estratégicas entre diferentes alternativas de inversión. Autores como Brealey y Myers destacan el ROI dentro de los análisis de viabilidad financiera, junto con otros indicadores como el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno).

Hoy en día, el ROI es ampliamente aceptado por la comunidad financiera y empresarial como una medida fundamental para evaluar la eficiencia del uso de los recursos económicos. Un ROI positivo indica que el proyecto o inversión genera beneficios superiores a su costo, lo cual valida su viabilidad económica. Es especialmente útil en la evaluación de proyectos de capital, mejoras tecnológicas, marketing y eficiencia operativa

2.2.6 ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

En este análisis se compara los costos totales de un proyecto con los beneficios económicos esperados permitiendo tomar decisiones informadas sobre su conveniencia.

El análisis de costo-beneficio (ACB) tiene sus orígenes en el campo de la economía clásica, particularmente con los aportes de Jules Dupuit en el siglo XIX, quien introdujo el concepto en el análisis de obras públicas en Francia. Con el tiempo, se consolidó como una herramienta fundamental en la evaluación de proyectos tanto públicos como privados. El ACB implica identificar, cuantificar y comparar todos los costos involucrados en un proyecto frente a los beneficios esperados, expresados en términos monetarios. Autores como Boardman, Greenberg y Vining han profundizado en su metodología, estableciendo principios para valorar beneficios intangibles, riesgos e impactos a largo plazo. Hoy en día, el análisis de costo-beneficio es considerado por la comunidad científica y técnica como un método esencial para la toma de decisiones racionales y objetivas en la planificación y evaluación de proyectos (Baca Urbina , 2010).

2.2.7 AHORRO ENERGÉTICO

Consiste en la reducción de electricidad lograda a través de la implementación de tecnologías más eficientes. Este ahorro se traduce directamente a la disminución de gastos operativos y una mayor rentabilidad.

El concepto de ahorro energético surge en la segunda mitad del siglo XX como respuesta a la crisis energética de los años 70 y a la creciente preocupación por el uso sostenible de los recursos. Su significado ha evolucionado desde simples prácticas de reducción del consumo, hasta el diseño de sistemas y tecnologías que optimizan el uso de la energía sin afectar la productividad.

Diversos autores han abordado el tema desde perspectivas técnicas, económicas y ambientales, como Lovins con su teoría del negawatt. Actualmente, se entiende como el resultado de la aplicación de tecnologías eficientes, estrategias de gestión energética y cambios en los hábitos de consumo, contribuyendo a la sostenibilidad y reducción de costos operativos (Cabeza, L. F. & Ürge-Vorsatz, D., 2020).

2.2.8 AUTOMATIZACIÓN

La automatización es la implementación de la tecnología en los procesos para controlar y operar sistemas o equipos sin intervención humana constante, mediante la utilización de sensores, controladores y software.

La automatización como concepto tiene raíces en la Revolución Industrial, pero su formalización moderna surge con el desarrollo de la electrónica y la informática en el siglo XX. Inicialmente aplicada en líneas de ensamblaje (Taylorismo y Fordismo), ha evolucionado hacia sistemas complejos integrados por sensores, actuadores y controladores lógicos programables (PLC), gestionados mediante software especializado. Autores como Groover han clasificado la automatización en fija, programable y flexible. En la actualidad, el concepto es ampliamente aceptado como la aplicación de tecnologías para operar procesos con mínima intervención humana, aumentando la eficiencia, precisión y seguridad en entornos industriales (Rifkin, 2020).

2.2.9 PROCESOS

Son las actividades o etapas que forman parte del funcionamiento, operativo y gestión del sistema para cumplir con un propósito específico dentro de la operación de la mina.

El término “procesos” proviene del latín *processus*, que significa “avance” o “progresión”, y ha sido adoptado en múltiples disciplinas para describir un conjunto ordenado de acciones con un objetivo específico. En el ámbito industrial, autores como Hammer y Champy, con la reingeniería de procesos, han destacado su importancia para la eficiencia organizacional. En minería, los procesos se entienden como las actividades técnicas y operativas que permiten la extracción, tratamiento y comercialización de los minerales. Hoy día, este concepto abarca tanto operaciones físicas como administrativas, siendo clave para garantizar el cumplimiento de metas productivas con calidad y sostenibilidad (Díaz, M. & Peña, R., 2021).

2.2.10 EFICIENCIA OPERATIVA

Es la capacidad que tienen un sistema para producir el resultado deseado con el menor uso de recursos posibles.

El término “procesos” proviene del latín *processus*, que significa “avance” o “progresión”, y ha sido adoptado en múltiples disciplinas para describir un conjunto ordenado de acciones con un objetivo específico. En el ámbito industrial, autores como Hammer y Champy, con la reingeniería de procesos, han destacado su importancia para la eficiencia organizacional. En minería, los procesos se entienden como las actividades técnicas y operativas que permiten la extracción, tratamiento y comercialización de los minerales. Hoy día, este concepto abarca tanto operaciones físicas como administrativas, siendo clave para garantizar el cumplimiento de metas productivas con calidad y sostenibilidad (Escalante, J. A. & Rodríguez, M. C. , 2021).

2.2.11 PRESIÓN Y CAUDAL DE AIRE

Estos parámetros son fundamentales en el sistema de aire comprimida; la presión mide la fuerza con que se entrega el aire y el caudal la cantidad de aire disponible por unidad de tiempo.

Ambos conceptos provienen de la física y la termodinámica. La presión se define como la fuerza ejercida por unidad de área, mientras que el caudal representa el volumen de fluido que pasa por una sección determinada en un tiempo específico. En sistemas de aire comprimido, estas variables son esenciales para garantizar un funcionamiento adecuado de los equipos. Diversos manuales de ingeniería, como los de la ASME, establecen los rangos óptimos para diferentes aplicaciones. Un control adecuado de presión y caudal permite evitar pérdidas energéticas, mejorar la eficiencia y alargar la vida útil de los equipos (Molleda, J. A. & González, R., 2020).

2.2.12 SISTEMA SCADA

Es un sistema informático que permite monitorear y controlar procesos industriales en tiempo real.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) es un sistema desarrollado inicialmente en la década de 1960 para supervisar remotamente procesos eléctricos. Su evolución ha estado ligada al avance de las telecomunicaciones y la informática. Actualmente, SCADA permite la visualización, control y análisis en tiempo real de procesos industriales, desde estaciones remotas o centrales de operación. Diferentes autores coinciden en que su integración con tecnologías como IoT y Big Data fortalece la eficiencia y la toma de decisiones. Es ampliamente

utilizado en industrias como la energía, agua, manufactura y minería, por su capacidad de mejorar la confiabilidad y seguridad operativa (Boyer, S. A., 2020).

2.2.13 EQUIPOS OBSOLETOS

Son todos aquellos equipos que debido al paso de los años han perdido su utilidad, eficiencia y compatibilidad con las tecnologías actuales. Es decir que ya no cumplen con los estándares modernos de rendimiento, seguridad y eficiencia energética.

El concepto de obsolescencia se originó en el ámbito del diseño industrial y la economía, y se refiere a la pérdida de valor o utilidad de un bien con el tiempo. La obsolescencia puede ser funcional, tecnológica o incluso programada. En el contexto industrial, se considera obsoleto un equipo cuando ya no cumple con los estándares actuales de productividad, eficiencia energética o seguridad. La renovación tecnológica y la transformación digital han acelerado este proceso. Hoy en día, el reemplazo de equipos obsoletos es una estrategia clave para mejorar el rendimiento, reducir fallas y asegurar la compatibilidad con sistemas modernos de control y automatización (Arroyo, M. & González, J. , 2021).

2.3 TEORÍAS DE SUSTENTO

2.3.1 BASES TEÓRICAS

En esta sección de las bases teóricas se constituyen el soporte conceptual que sustenta la investigación permitiendo el con prendimiento de este estudio.

2.3.1.1 TEORÍA DE LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

La teoría de optimización de procesos según (Harrington, 1991), deben someterse a una mejora continua mediante el análisis, rediseño y simplificación de sus componentes, buscando maximizar la eficiencia y reducir costos. En esta investigación, esta teoría permite identificar cuellos de botella y deficiencias operativas en el sistema de aire comprimido de la mina, justificando la necesidad de su modernización.

En este sentido, (Harrington, 1991) define un proceso como cualquier actividad o grupo de actividades que emplea un insumo, le agrega valor y proporciona un producto a un cliente, ya sea interno o externo. Este concepto subraya la importancia de entender cada parte del proceso y cómo contribuye al resultado final.

En el caso de mejoras de procesos con enfoque en el diseño según, (Serrano Gómez & Ortiz Pimiento, 2012) menciona que los diferentes modelos para el mejoramiento de los procesos, como un sistema primordial para enfocar las operaciones de una empresa con sus prioridades estratégicas y un enfoque de rediseño.

Según (Carrizosa, 2008) quien realizó un resumen de los antecedentes históricos de la gestión por procesos dice que la teoría de la optimización de procesos nace como una evolución del pensamiento administrativo que busca mejorar la eficiencia y eficacia organizacional, especialmente en un entorno cada vez más competitivo y orientado al cliente. Este enfoque considera a la organización como un sistema compuesto por procesos interrelacionados que deben ser gestionados estratégicamente para crear valor. A través de metodologías como la reingeniería, el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) y el diseño organizacional centrado en procesos, se pretende alinear todas las actividades hacia la satisfacción del cliente, eliminando barreras funcionales y reduciendo la burocracia interna. La gestión por procesos representa así una respuesta moderna a las limitaciones de las estructuras jerárquicas tradicionales, promoviendo flexibilidad, participación y mejora continua.

Según (Blázquez & Amato, 2022) menciona que la evolución del concepto de procesos organizacionales desde las distintas escuelas del pensamiento administrativo, destacando cómo cada enfoque ha interpretado los procesos en función de su contexto histórico y paradigma dominante. Desde la visión mecanicista y técnica de los clásicos hasta las perspectivas estratégicas, políticas y de sustentabilidad actuales, se evidencia una creciente complejidad en la comprensión de los procesos, los cuales han pasado de ser actividades técnicas secuenciales para constituirse como sistemas abiertos, influenciados por factores sociales, tecnológicos y ambientales. Sin embargo, el estudio concluye que, a pesar de los avances, persiste una brecha entre las exigencias contemporáneas como la incorporación de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs), la sostenibilidad y los modelos actuales de análisis y mejora en los procesos.

En este sentido Según (Espín-Guerrero, 2022) argumenta que para optimizar los procesos operativos de una empresa se deben identificar los cuellos de botella en los procesos operativos. Cuyas limitaciones impedían cumplir con la demanda. Así mismo argumenta que a través de la tecnificación, redistribución del personal y formulación de un modelo de optimización, se logró

eliminar las restricciones y ajustar la producción a la demanda requerida. Cuando las empresas se enfocan en eliminar el eslabón más débil del sistema productivo esto constituye una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia y la rentabilidad en empresas con recursos limitados.

En el estudio que plantean de, (Álvarez-Silva, 2020) propone rediseñar el proceso administrativo del área de gestión inmobiliaria en una empresa de telecomunicaciones en Medellín para optimizar los recursos humanos y financieros. A partir de entrevistas, se identificaron problemas como la falta de integración entre compañías fusionadas y ausencia de definición de procesos, lo que ha generado duplicidades, confusión y pérdida de eficiencia.

Sin embargo, (Maya Mendoza, 2022) abordan cómo el uso inadecuado o la elección errónea de herramientas de mejora en medianas empresas del sector industrial ocasiona una implementación deficiente y poca eficacia en los procesos. Se propuso identificar y evaluar herramientas eficaces mediante entrevistas estructuradas a expertos y análisis estadístico con SPSS. Los resultados destacan que las herramientas de ingeniería de calidad son las mejor valoradas y de uso frecuente en la industria.

Para abordar esta iniciativa se presenta una revisión de modelos de mejoramiento de procesos con enfoque en el rediseño, los cuales buscan alinear las operaciones empresariales con sus objetivos estratégicos. En él, (Serrano Gómez L. &., 2012) analizan 11 modelos, sus metodologías, diferencias, ventajas y limitaciones, destacando cómo pueden ser aplicados de forma más efectiva en organizaciones.

(Arias Coello, 2013) menciona que la gestión por procesos implica estructurar las organizaciones alrededor de procesos clave en lugar de funciones tradicionales, enfocándose en la satisfacción del cliente y la mejora continua. Esta metodología surgió como respuesta a las ineficiencias de las estructuras funcionales, siendo IBM una de las pioneras en implementarla durante los años 80. La gestión por procesos promueve la integración entre departamentos y establece un enfoque sistemático para identificar, documentar, medir y mejorar procesos que generan valor añadido, apoyándose en estándares como las normas ISO 9000. Esta forma de gestión busca eliminar barreras internas, fomentar la eficiencia operativa y lograr resultados alineados con los objetivos estratégicos de la organización.

2.3.1.2 TEORÍA DE LA RELACIÓN COSTO BENEFICIO, (ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO- ACB)

Esta teoría financiera es ampliamente utilizada en la evaluación de proyectos de inversión. Se originó a principios del siglo XX, en Estados Unidos, se formalizó teóricamente por economistas como (Dupuit, 1952) y posteriormente fue ampliada por (Little, 1974), el ACB permite cuantificar y comparar todos los costos y los beneficios de una manera sistemática que se derivan de una acción determinada, el propósito es determinar su conveniencia o rentabilidad social y económica.

Se sustenta en la afirmación de que una acción es justificable si los beneficios que se esperan superan los costos necesarios para su ejecución, considerando tanto aspectos tangibles como intangibles. (Boardman, 2018), el ACB no solamente tiene que ver con cálculos monetarios, si no que incluye un marco lógico para tomar decisiones bajo los criterios de la eficiencia significativa y bienestar colectivo.

(Cervone, 2010) mencionó que el costo-beneficio se ha relacionado históricamente con los procesos de planificación y presupuestario gubernamental, con el tiempo ha sido aplicado para contribuir en el sector privado. En la actualidad el análisis de costo-beneficio se aplica para proporcionar justificación de una manera detallada los beneficios financieros de un proyecto en donde estos superen a los costos. Así mismo argumento que es una técnica considerablemente usada por el sector privado para determinar si un proyecto se puede iniciar o no. El uso de este análisis de costo-beneficio representa una metodología convincente para justificar un proyecto.

(Lara & Carvache Franco, 2017) describe el análisis costo beneficio como una de las técnicas ampliamente utilizada para evaluar proyectos de inversión, en donde se señala las ventajas del método para tomar las mejores decisiones y estimar cuando es rentable la ejecución de un proyecto.

Según, (Aguilera Díaz, 2017) el análisis costo-beneficio en decisiones de inversión en activos fijos los autores destacan que el ACB es una herramienta fundamental para evaluar la viabilidad económica de proyectos de inversión, permitiendo comparar los costos asociados con los beneficios esperados. Se enfatiza que el análisis del costo-beneficio es un proceso que de manera general se refiere a la evaluación de un determinado proyecto. Convirtiéndose en un esquema para tomar decisiones detalladas para implementar el ACB en contextos empresariales,

incluyendo la identificación de costos y beneficios, su cuantificación en términos monetarios y la aplicación de tasas de descuento para calcular el valor presente neto.

En esta perspectiva, (Bigoni Ordóñez, 2024) analiza que la viabilidad económica de un proyecto está determinada desde un enfoque de análisis costo-beneficio extendido que incluye impactos sociales, ambientales y económicos generalmente excluidos de evaluaciones tradicionales considerando dos escenarios (optimista y realistas), Concluyendo que es necesario incorporar variables no monetarias y transgeneracionales para una mejor toma de decisiones sobre este tipo de iniciativas extractivas.

En este sentido (Cedeño, 2009), presenta un análisis económico y distributivo aplica una metodología de costo-beneficio para determinar la rentabilidad del proyecto desde una perspectiva de la inversión (análisis financiero) y de la sociedad (análisis económico), para determinar la viabilidad financiera y económica del proyecto. Así como su impacto distributivo entre los diferentes sectores de la sociedad, proporciona una visión crítica sobre la viabilidad y equidad de los proyectos, subrayando la importancia de considerar no solo la rentabilidad económica, sino que también la distribución de beneficios y los impactos ambientales en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo de la minería.

En el caso de (Vela-Almeida, 2021), aborda la sostenibilidad de la industria minera desde la perspectiva de la relación costo-beneficio, aunque lo enmarca en un debate más amplio entre (sostenibilidad débil) y (sostenibilidad fuerte). La sostenibilidad débil; sugiere que el capital natural puede ser sustituido por capital humano o manufacturado, implicando que los impactos ambientales y sociales pueden ser compensados económicamente o mitigados con tecnología. En contraste, la sostenibilidad fuerte; argumenta que el capital natural es irremplazable y que la minería, al agotar recursos finitos y generar impactos irreversibles, es inherentemente insostenible bajo esta definición, cuestionando si los beneficios económicos pueden realmente compensar las pérdidas ecológicas y sociales.

2.3.1.3 TEORÍAS DE LA AUTOMATIZACION Y MECANIZACION INDUSTRIAL.

La industria minera, una de las más grandes a nivel mundial, opera las 24 horas del día para extraer minerales y recursos naturales valiosos como oro, diamantes y carbón. Dada la severidad de los entornos en minas subterráneas y a cielo abierto las empresas mineras dependen de equipos duraderos, eficientes y seguros. El aire comprimido es una fuente de energía fundamental en casi todas las operaciones mineras, utilizándose sistemas industriales o compresores de aire portátiles para herramientas neumáticas. Desde la exploración y el procesamiento de minerales hasta la fundición y refinación. El aire comprimido es esencial en diversas aplicaciones mineras siendo emplea en perforación con aire, agitación de tanques, instrumentación neumática, y para oxidar aleaciones durante la refinación de metales. Además, los compresores de aire son vitales para accionar herramientas mecánicas como taladros y llaves en minas subterráneas y a cielo abierto, como lo menciona (Nicolai, 2019).

Es por esta razón que (APLITER TERMOGRAFIA, 2023) propone la mecanización que se extiende a la detección de fallos mediante cámaras de imágenes acústicas como la FLIR Si124, una tecnología efectiva para localizar fugas de aire comprimido. Esta tecnología no solo reduce el derroche de energía y las pérdidas económicas, sino que también previene tiempos de inactividad imprevistos y contribuye a un suministro de energía ininterrumpido.

En el caso de (López Seiko, 2013) propone que un sistema bien diseñado, con mínima pérdida de presión, fugas y agua en la red, asegura rentabilidad y un mejor comportamiento en la automatización de procesos. La cuantificación y control de fugas, que pueden representar hasta el 30% de la producción de aire, es vital para evitar el desperdicio de energía y prolongar la vida útil de los equipos. De igual forma la mejora de la presión de trabajo en las herramientas neumáticas incrementa la potencia disponible, optimizando las operaciones unitarias y contribuyendo a la reducción de costos operativos. Este mejoramiento se justifica plenamente por un ahorro significativo en el consumo energético anual.

(Soto, 2019) Clasifica a los compresores en; desplazamiento positivo (reciprocantes y rotativos) y dinámicos (centrífugos y de flujo axial), cada uno con características y aplicaciones distintas. Argumentado que la calidad del aire comprimido debe ser regulada por normas como ISO 8573-1, que controlan humedad, partículas y aceite que permiten prevenir el deterioro de los componentes neumáticos. De igual forma propone mantenimientos preventivo riguroso que son

cruciales para la eficiencia y vida útil de los compresores, incluyendo inspecciones diarias, semestrales y anuales, así como el control de fugas y la temperatura del aire.

La automatización de compresores representa un avance significativo en la eficiencia y fiabilidad de los sistemas de aire comprimido, transformando las tareas manuales en monitoreo y optimización remota. Esta tecnología reduce costos operativos, mejora la eficiencia energética, prolonga el tiempo de actividad y facilita el mantenimiento mediante la monitorización del rendimiento. Los controladores modernos y la conectividad permiten operar compresores de forma autónoma y ofrecen datos en tiempo real, incluso a distancia, detectando problemas y fugas costosas. Soluciones como SMARTLINK y SMARTVIEW proporcionan monitoreo remoto y visualización avanzada de datos, mientras que los controladores centrales como Optimizer 4.0 gestionan múltiples compresores para maximizar la eficiencia o distribuir uniformemente la carga de trabajo, adaptando el suministro a la demanda y permitiendo el mantenimiento sin interrupciones (Atlas Copco., 2024).

(Minera., 2024) La automatización está revolucionando la industria minera bajo el concepto de Mina 4.0, digitalizando procesos desde la maquinaria hasta la gestión de la cadena de suministro. La implementación de tecnologías de automatización y robótica de software en tareas manuales y repetitivas, como la tramitación de pagos o la emisión de facturas, agiliza los procesos, reduce gastos y mejora la precisión y eficiencia. Además, la automatización inteligente incrementa la seguridad al reducir la exposición humana a riesgos físicos mediante el uso de sensores y tecnologías informáticas, permitiendo el control remoto de maquinaria y el manejo autónomo de equipos. Los sistemas con inteligencia artificial (IA) optimizan el transporte y procesamiento de minerales, utilizando camiones automatizados guiados por GPS y sensores para prevenir accidentes.

Según, (Quincy Compressor., 2025) El aire comprimido es esencial en la minería, desde sus primeros usos en el siglo XIX para perforación y ventilación, hasta sus aplicaciones modernas en herramientas neumáticas, voladuras, manejo de materiales y limpieza. Su flexibilidad lo hace preferible al diésel o la electricidad en entornos subterráneos (Aguilar Inga K. L., 2019). Sin embargo, su uso es costoso: gran parte de la energía eléctrica se pierde como calor, y las fugas pueden desperdiciar hasta el 70% del aire y generar pérdidas económicas significativas. Un mantenimiento riguroso e inspección de tuberías expuestas son cruciales para minimizar fugas y

optimizar la eficiencia y los costos.

En este sentido (Aguilar Inga, 2019) menciona que, la selección adecuada de un compresor es crucial para la eficiencia y economía de la empresa. Asimismo, argumenta que es importante considerando factores como la calidad del manejo, la concordancia con las condiciones de trabajo, el costo inicial frente al ahorro a largo plazo, y la calidad del aire requerido. También recalca la importancia de un buen diseño de la red de tuberías y el tratamiento del aire para eliminar impurezas como humedad, aceite y partículas.

2.3.1.4 TEORÍA DE LA JUSTIFICACION DE PROYECTOS DE CAPITAL (Capital Budgeting Theory).

Esta teoría de la justificación económica de proyectos de capital constituye una base esencial para tener una evaluación racional y sistemática de las inversiones que demandan un compromiso significativo de recursos a largo plazo. Esta teoría se basa en que las decisiones de inversión se deben basarse en el valor que generan, medido mediante el análisis de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el período de recuperación (payback) y el índice de rentabilidad. Según (Ryan & Ryan, 2022), estos métodos no solo cuantifican el retorno esperado de la inversión, sino que también integran el valor del dinero en el tiempo. Por lo cual es crucial para evitar decisiones arbitrarias o intuitivas que podrían comprometer la viabilidad económica de una organización u proyecto.

La revisión sistemática de (Kwame, 2020) indica que, si bien las empresas están familiarizadas con los métodos tradicionales de presupuestos de capital, su aplicación práctica de estas puede variar debido a factores como la preocupación ante el riesgo en los proyectos, la incertidumbre del entorno económico o las restricciones internas propias de cada organizacionales. Demostrando que el presupuesto del capital no es únicamente una técnica financiera, sino que también un marco de decisión estratégica que permite priorizar proyectos conforme al alineamiento con los objetivos corporativos de la empresa. En esta línea (Chazi, A. & Hossain, M., 2024) ofrecen evidencia empírica sobre que las organizaciones deben aplicar rigurosamente estos métodos. Ya que tienden a obtener un mejor desempeño financiero, lo cual valida su relevancia en entornos altamente competitivos y dinámico.

Por otro lado, (Gitman, 2007) profundiza en la importancia del presupuesto de capital como herramienta financiera estratégica para evaluar inversiones de largo plazo. Se define como un proceso que permite proyectar diferentes escenarios financieros, estimar flujos de caja futuros, y aplicar técnicas como VAN, TIR y el costo de capital para determinar la rentabilidad y factibilidad del proyecto. Asimismo, enfatiza en la relevancia de considerar todas las variables, como inversión inicial, costos fijos y variables, ingresos proyectados y financiamiento, para asegurar que los flujos generados cubran la inversión y aporten valor al inversionista.

(Chicu, 2015), se centran en los fundamentos teóricos de los métodos de evaluación más utilizados en el presupuesto de capital: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Expone sus fórmulas matemáticas, analiza cómo se interpretan para tomar decisiones (aceptar proyectos con $VAN > 0$ o $TIR \geq$ coste de oportunidad), y muestra sus limitaciones, como la posibilidad de múltiples TIR en flujos no convencionales o contradicciones en proyectos mutuamente excluyentes. Además, aborda soluciones como la TIR incremental y la TIR modificada (TIRm) para complementar el criterio financiero.

En el caso de (Chumacero J. A., 2021), expone las principales técnicas del presupuesto de capital con énfasis en su aplicación en entornos empresariales reales. Se detalla cómo calcular y usar el VAN, la TIR, el periodo de recuperación descontado y el índice de rentabilidad, analizando también las ventajas y limitaciones de cada método. Además, se discuten aspectos complementarios como el análisis de sensibilidad, escenarios y riesgo, junto con ejemplos ilustrativos de proyectos de inversión, mostrando cómo los resultados cuantitativos guían las decisiones estratégicas. Por otro lado (Virreira Avila, 2020). Desarrolla una base sólida sobre la teoría de justificación económica de proyectos de capital desde una perspectiva práctica y académica. Sustentándola en el principio del valor del dinero en el tiempo, el análisis de flujos de caja proyectados y el uso de indicadores financieros como el VAN, la TIR, la TIR modificada y el periodo de recuperación para determinar si un proyecto aporta valor al inversionista.

2.3.2 METODOLOGÍAS DESARROLLADAS

En este apartado se aplicará un análisis de los enfoques utilizados por otros investigadores utilizados en los proyectos de factibilidad para el mejoramiento del sistema de procesos. Mismos que servirán para argumentar esta investigación en la empresa minera AMPAC.

2.3.2.1 TÉCNICAS PARA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

Título del Estudio

Técnicas para la evaluación de proyectos de inversión, Exponer y analizar distintas metodologías utilizadas para evaluar proyectos de inversión

Autor/es

(Chumacero J. A., 2021).

Objetivo Principal del Estudio

Exponer y analizar distintas metodologías utilizadas para evaluar proyectos de inversión, brindando fundamentos teóricos y prácticos para una toma de decisiones eficiente basada en criterios económicos y financieros.

Teoría o teorías utilizadas en el Estudio

Las teorías utilizadas en este estudio son metodologías financieras incluyendo el valor del dinero en el tiempo, riesgos e incertidumbre, el costo de capital, análisis de costo-beneficio y de decisión. Demostrando la importancia de estas herramientas financieras al momento de la toma de decisiones en un proyecto de factibilidad.

Tipos de Cálculos Realizados

En esta investigación se realizaron cálculos financieros como ser; Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Indicadores de Rentabilidad (IR), Periodo de Recuperación de la Inversión (PIR) y Punto de Equilibrio.

Metodologías Aplicadas

Para este estudio se aplicaron enfoques financieros, mediante el análisis de la rentabilidad de un proyecto realizando comparativas entre métodos con ejemplos de aplicación numérica y estimaciones.

Modelo Aplicado

Se aplicaron modelos de estimaciones predictivas y enfoques financieros mediante el flujo de caja descontados, presentando esquemas comparativos entre métodos con ejemplos de aplicabilidad numérica.

Resultados más Relevantes

Los resultados más relevantes en esta investigación revelan la importancia que tienen la realizar un análisis financiero previo a la toma de decisión en ejecución de un proyecto.

Conclusiones

El estudio argumenta la importancia que tienen cada método de evaluación financiera en un proyecto, aportando perspectivas distintas que permiten la toma de decisiones argumentadas. Permittiéndonos medir la rentabilidad de un proyecto y por medio de esto decidir si es o no viable invertir en un proyecto.

Aporte de la Tesis

El aporte de este estudio radica en la claridad y profundidad en el análisis sobre la aplicación de los indicadores financieros. Ofreciendo las herramientas claves para evaluar la viabilidad económica, proporciona la justificación técnica para seleccionar métodos como el VPN y TIR en el análisis financiero y destaca el diseño desde una perspectiva de estudio de factibilidad desde un enfoque estructurado que permite contrastar alternativas de inversión bajo escenarios de incertidumbre.

2.3.2.2 MEJORA DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Título del Estudio

Mejora del Sistema de Aire Comprimido para Optimizar la Perforación en la Cantera Caballo Viejo, Jauja, Junín.

Autor/es

(Roque Boggiano, 2021)

Objetivo Principal del Estudio

El Objetivo principal de este estudio es proponer la mejora del sistema de aire comprimido para hacer más eficiente la perforación en la cantera Caballo Viejo, ubicada en Jauja, Junín, Perú.

Teoría o teorías utilizadas en el Estudio

1. Eficiencia energética en sistemas de aire comprimido (Palacios, 2019)
2. Diseño y dimensionamiento de sistemas neumáticos (Toasa, 2014)
3. Termodinámica de gases ($P \cdot V = n \cdot R \cdot T$)
4. Geomecánica de macizos rocosos (Bieniawski, 1989).

Tipos de Cálculos Realizados

Se realizaron varios cálculos durante el estudio como el requerimiento de aire comprimido para 8 perforadoras, así como la conversión de litros/min a m^3/h , se utilizaron fórmulas de flujo, ciclos de carga y descarga y diferencias de presión, se calcularon las pérdidas por fugas y ampliaciones futuras, así como el costo energético total

Metodologías Aplicadas

Se realizó una investigación básica, con un diseño transversal no descriptivo incluyendo unas técnicas de recolección de datos por medio de la observación directa, análisis documental y visitas técnicas, con un método sistemático mediante el uso de Excel para los cálculos y simulaciones, utilizando el código de ética de la universidad mencionada.

Modelo Aplicado

Se aplicó un modelo de mejora técnico operativo, adaptando otros sistemas y tecnologías al compresor Atlas corp. Con el objetivo de optimizar el suministro de aire a 8 perforadoras

Jackelg, asegurando suficientes caudales y presiones.

Resultados más Relevantes

Se obtuvieron los resultados necesarios de capacidad del aire comprimido, así como un tiempo de 2 minutos de respaldo antes las caídas de presión, una potencia del compresor de 86 KW, reduciendo el tiempo de perforación y consumo de combustible.

Conclusiones

Las mejoras realizadas mejoraron la eficiencia del sistema de neumático, optimizando el uso de perforadoras eliminando tiempos muertos, se redujo el consumo de combustible y tiempo de operación por turnos, logrando que el sistema sea técnica y económicamente viable para su aplicación en otras canteras o frentes mineros.

Aporte de la Tesis

El estudio da una solución muy práctica, replicable y de bajo costo para este tipo de canteras con limitaciones en el sistema de aire comprimido, también ofrece un método claro para calcular las demandas, mejorar la presión y evaluar las mejoras en sistemas neumáticos industriales o mineros.

2.3.2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS

Título del Estudio

Diseño del sistema de distribución de aire comprimido para la reducción de costos – Caso de estudio pequeña minería de oro en la ciudad de Arequipa.

Autor/es

(Bejarano Eguiluz, 2022)

Objetivo Principal del Estudio

El objetivo principal del estudio fue diseñar un sistema de distribución de aire comprimido que permita la reducción de los costos en una mina de pequeña escala ubicada en Arequipa. Esto se logra a través del análisis técnico de la infraestructura existente, el dimensionamiento adecuado de tuberías, y la evaluación del rendimiento energético de los compresores, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema neumático empleado en las labores mineras.

Teoría o teorías utilizadas en el Estudio

La investigación se sustenta principalmente en teorías de física de gases y neumática, incluyendo la Ley de Boyle-Mariotte, la Ley de Gay-Lussac y la ecuación de los gases ideales. También se aplican fundamentos de la hidráulica y mecánica de fluidos, especialmente conceptos relacionados con la presión, caudal, energía, y pérdidas por fricción. Estas bases teóricas sustentan los cálculos y el diseño propuesto para optimizar la red de distribución de aire.

Tipos de Cálculos Realizados

Entre los cálculos más relevantes que se realizaron destacan: el volumen efectivo de los depósitos de aire, la presión atmosférica a la altitud de la mina, el factor de corrección por altura, el consumo real de los equipos neumáticos, el caudal necesario para cada frente de trabajo, y la caída de presión en la red de distribución. Además, se determinó el déficit de aire en la sala de compresores y en el interior de la mina, así como la longitud efectiva de la red incluyendo accesorios.

Metodologías Aplicadas

Se aplicó una metodología de tipo descriptiva, enfocada en diagnosticar las condiciones actuales del sistema, identificar fallas en la instalación y operación, y proponer un diseño nuevo basado en parámetros técnicos. Las técnicas de recolección de datos incluyeron la observación directa, análisis documental y cálculo técnico. La investigación fue guiada por una hipótesis experimental: si el actual sistema causa elevados costos, un rediseño técnico puede reducirlos significativamente.

Modelo Aplicado

El modelo aplicado fue de rediseño ingenieril basado en análisis de eficiencia energética y dimensionamiento hidráulico de redes neumáticas. No se especifica un modelo matemático complejo, pero sí se emplea un enfoque sistémico que considera parámetros físicos (presión, caudal, fricción), condiciones ambientales (altitud y temperatura), y características operativas de los equipos.

Resultados más Relevantes

Los resultados evidencian que las pérdidas de presión en los frentes de trabajo con el nuevo diseño propuesto son pequeñas, lo cual implica un ahorro de costos al mediano plazo. Se identificó que el consumo de diésel y la falta de uniformidad en los compresores existentes elevaban innecesariamente los costos operativos. La implementación de un diseño correcto de la red permitió también proyectar mejoras en el rendimiento de las máquinas neumáticas y en la ventilación subterránea.

Conclusiones

Se concluye que el sistema actual de distribución de aire comprimido era ineficiente, presentando fallas en el diseño de la red, en el dimensionamiento de tuberías y en el tipo de compresores usados. Al implementar un diseño optimizado se logrará reducir costos, mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de los equipos. Además, se destacó la necesidad de controlar y monitorear las pérdidas por fugas para mantener una operación eficiente.

Aporte de la Tesis

La tesis aporta una propuesta técnica concreta que puede ser implementada en otras operaciones de pequeña minería con condiciones similares. Su enfoque práctico y basado en cálculos permite replicar el modelo en minas que presenten problemas de eficiencia energética en sus sistemas neumáticos. También contribuye a la formación de criterios técnicos para tomar decisiones de inversión en infraestructura auxiliar minera.

2.3.3 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

En el desarrollo de una investigación es fundamental seleccionar instrumentos adecuados que permitan la recolección de información precisa, confiable y pertinente al objetivo del estudio. Es por esta razón que para la recolección de datos de esta investigación se adaptara un enfoque mixto, con el propósito de obtener una visión integral de la factibilidad del proyecto. En el componente cualitativo, se aplicará una matriz de decisión o multicriterio y se realizaran entrevistas a expertos en el área industrial, operación minera y gestión energética, lo cual permitirá valorar criterios técnicos y operativos clave desde la experiencia profesional. En el ámbito cuantitativo, se llevarán a cabo un análisis financiero riguroso, orientados a evaluar la viabilidad económica del proyecto mediante la estimación de indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Actual Neto (VAN) y el Retorno sobre la Inversión (ROI), los cuales permitirán fundamentar objetivamente las decisiones de inversión.

2.4 MARCO LEGAL

En el marco legal aplicable a la presente investigación del desarrollo de estudio de factibilidad para el mejoramiento del sistema de aire comprimido en la mina el Mochito, no solo debe responder a criterios técnicos y financieros, sino que también debe enmarcarse en el cumplimiento de normativas legales vigentes internacional y nacionalmente. A continuación, se presenta la normativa que aplica a esta investigación

En el Reglamento General de medidas preventivas de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, Establece que todos los trabajadores deben operar en condiciones que garanticen la seguridad y la salud de los trabajadores, independientemente de la actividad específica (Secretaría de Trabajo y Seguridad Social. , 2004). Este marco legal obliga al empleador a prevenir riesgos profesionales como lo menciona en el artículo 9 donde establece la responsabilidad y obligación del empleador en garantizar programas permanentes de seguridad en el uso de equipos eficientes y el control de contaminación. Cabe mencionar que también en el capítulo XIII (Art. 134 al 140) se detalla específicamente los requisitos de seguridad en calderas y sistemas de aire comprimido.

III. METODOLOGÍA

En este capítulo se darán a conocer una serie de conocimientos, procedimientos y técnicas que se aplicarán en esta investigación, con la finalidad de argumentar los resultados obtenidos. Mediante la sustentación de las bases teóricas que responda a las preguntas de investigación y cumplimiento de los objetivos

3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA

3.1.1 MATRIZ DE CONGRUENCIA

Tabla 1: Matriz Metodológica

Título de la Investigación	Objetivo de la Investigación		Variables	Dimensiones
	General	Específico		
Estudio de factibilidad para el mejoramiento del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito	Evaluar la factibilidad técnica, económica y operativa del mejoramiento del sistema del aire comprimido en la mina el Mochito, con el propósito de garantizar un suministro eficiente, confiable y sostenible que responda a las necesidades actuales y futuras de las operaciones mineras.	Evaluar el estado actual del servicio de aire comprimido de la mina el Mochito, identificando sus principales limitaciones técnicas, operativas y el comportamiento general de la infraestructura en las condiciones actuales de la operación.	Estudio Técnico	Operación y mantenimiento
		Analizar las principales deficiencias del sistema actual en cuanto a presión, consumo energético y mantenimiento para determinar cómo estas están afectado eficiencia y continuidad de las actividades mineras.		Vida útil
		Identificar y analizar opciones tecnológicas viables para la mejora o sustitución del sistema existente de la mina.		Dimensionamiento
		Estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados a cada alternativa propuesta.	Estudio Económico	Costo Financiero Rentabilidad
		Evaluar la factibilidad de modernizar el sistema de aire comprimido desde un enfoque financiero, considerando los costos de inversión, el ahorro proyectado y el impacto económico que tendría para la mina a mediano y largo plazo.	Estudio Financiero	ROI VAN Payback
			Legal y Ambiental	Cumplimiento de normativa Impacto Ambiental

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la matriz anterior se detalla la estructura de la presente investigación, dando a conocer de forma clara el problema de la investigación, el objetivo general y los objetivos específicos. Además, se presenta una separación entre las variables, donde la TIR es la variable dependiente y estudio técnico, el estudio económico, el estudio financiero, legal y ambiental son las variables independientes.

3.1.2 ESQUEMA DE VARIABLES DE ESTUDIO

A continuación, se presentará la identificación de las variables que influyen en el Estudio de factibilidad para el mejoramiento del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito, se estableció una clasificación de variables de la investigación que permita obtener información y los datos necesarios para dar respuesta a las preguntas de investigación, como se muestra a continuación en los siguientes diagramas de variables de estudio:

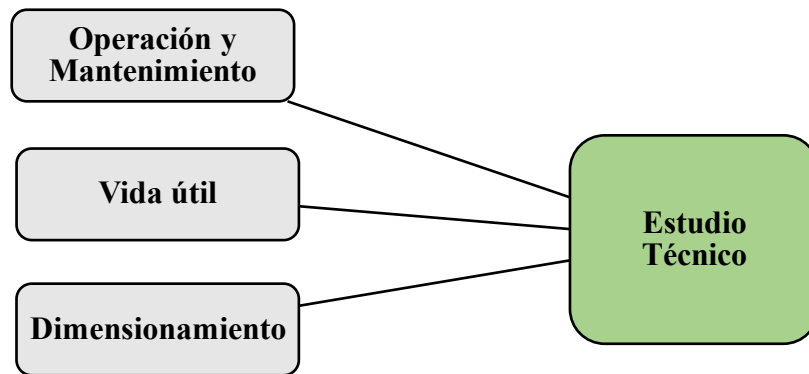


Figura 5: Variable de Estudio Técnico

Fuente: Elaboración Propia (2025)

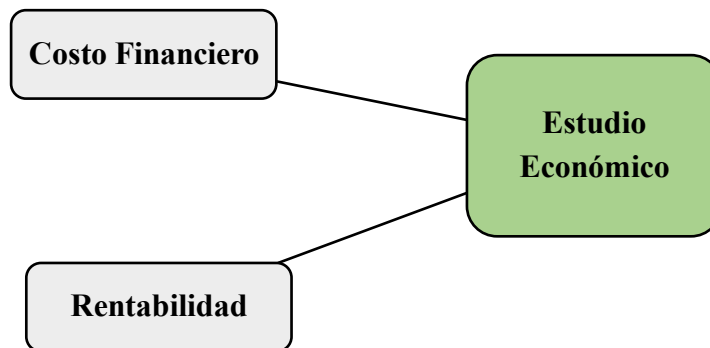


Figura 4: Variable de Estudio Económico

Fuente: Elaboración Propia (2025).

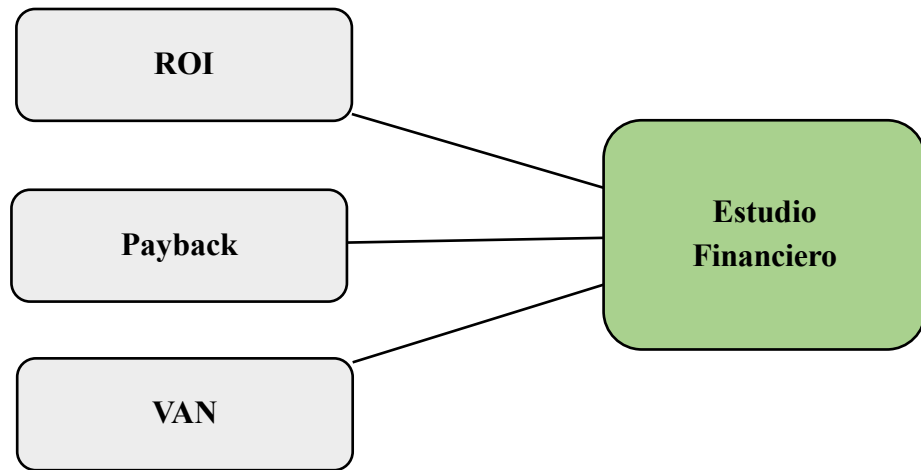


Figura 6: Variable de Estudio Financiero

Fuente: Elaboración Propia (2025).

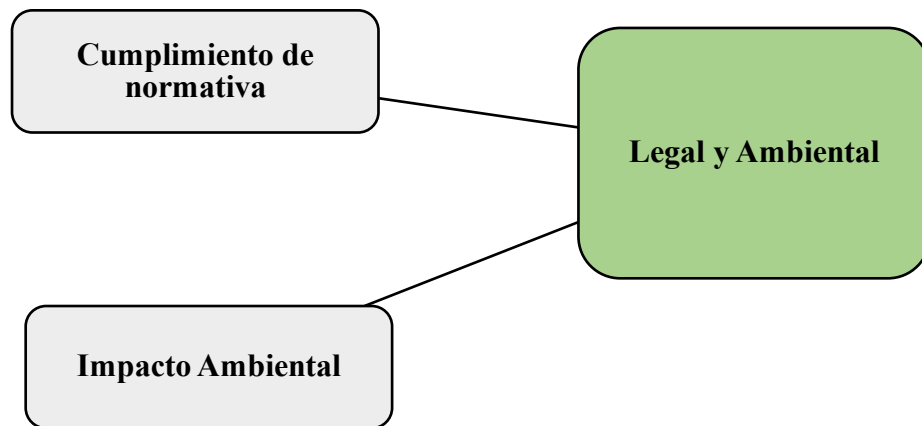


Figura 7: Variable de Estudio Legal Y Ambiental

Fuente: Elaboración Propia (2025).

3.1.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Dando seguimiento a la matriz de congruencia, se lleva a cabo la construcción de la matriz de operacionalización de las variables de estudio, lo cual permite definir las dimensiones e identificar los ítems correspondientes para su medición. Este proceso incluye tanto la definición conceptual como la operativa de cada variable de estudio y sirviendo como fundamento para las preguntas que conforman las entrevistas a expertos y recolecciones de datos.

Tabla 2. Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	ITEMS
Estudio Técnico	Es el análisis sistemático de los aspectos operativos, tecnológicos y de infraestructura necesarios para ejecutar un proyecto, con el fin de asegurar su viabilidad y sostenibilidad desde el punto de vista funcional (Gutiérrez Pulido, 2021)	Que por medio de este estudio se podrán demostrar las principales causas que están afectando el sistema de aire comprimido de la mina el Mochito.	Operación y mantenimiento. Vida útil Dimensionamiento	Costos Operativos Fallas en el sistema Perdidas de presión Eficiencia Equipo Precio Localización Tamaño Aplicación
Estudio Económico	El estudio económico consiste en expresar en términos monetarios todas las determinaciones hechas en el estudio técnico, como inversiones y gastos, para así calcular la rentabilidad de la inversión (Baca Urbina , 2010)	Determinar la viabilidad del proyecto mediante las consideraciones de los flujos de efectivo, estimados, ahorros, inversión y beneficios esperados bajo diferentes escenarios.	Costo financiero Rentabilidad	Inversión inicial Financiamiento Costos Ingresos
Estudio financiero	Evaluación financiera del proyecto de mejora, considerando inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, y retorno económico proyectado. (Chumacero A. , 2021)	Realizar un estudio financiero para determinar la viabilidad económica del Estudio de factibilidad para el mejoramiento del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito.	Payback ROI VAN	Depreciación y Amortización Inflación Tasa de interés Ahorros Costos Inversión
Legal y Ambiental	Todo proyecto debe ajustarse a la legislación vigente, considerando el tipo de sociedad, leyes ambientales, permisos y autorizaciones requeridas para su funcionamiento legal. (Baca Urbina , 2010)	El estudio legal y ambiental para este proyecto consiste en identificar, recopilar y verificar todos los requisitos legales, permisos, licencias, y normas ambientales necesarios para que el proyecto cumpla con la ley vigente en materia laboral y ecológica antes de su ejecución.	Seguridad laboral, licencias Ruidos Energía Emisiones de CO ₂	revisión de STSS- -053-04 Permisos ambientales Nivel dB Consumo KWh Cálculo CO _{2e}

Fuente: Elaboración Propia (2025)

3.1.4 HIPÓTESIS

La hipótesis de la investigación el estudio de factibilidad para el mejoramiento del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito, son la siguientes

Tabla 3. Matriz de Formulación de Hipótesis

PREGUNTAS	HIPÓTESIS
¿Es técnica, económica y operativamente factible mejorar el sistema de aire comprimido en la mina El Mochito, de manera que se garantice un suministro eficiente, confiable y sostenible, acorde a las necesidades actuales y futuras de sus operaciones mineras?	<p>Hg: El mejoramiento del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito es técnica, económica y operativamente factible para garantizar un suministro de aire; eficiente, confiable y sostenible para la operación de la mina.</p> <p>Ho: El mejoramiento del sistema de aire comprimido de la mina El Mochito no es técnica, económica ni operativamente factible para garantizar un suministro aire; eficiente, confiable y sostenible para la operación de la mina.</p>
1 ¿Cuál es el estado actual de la infraestructura de aire comprimido de la mina El Mochito?	<p>H1: La infraestructura actual del sistema de aire comprimido de la mina, presenta deficiencias técnicas y operativas que afectan la producción.</p> <p>Ho: La infraestructura actual del sistema de aire comprimido de la mina, no presenta deficiencias significativas que afectan la producción.</p>
2 ¿Cuáles son las principales deficiencias que presenta el sistema en términos de presión, consumo de energía y mantenimiento?	<p>H2: El sistema actual de aire comprimido de la mina, presenta deficiencias relevantes que comprometen la continuidad de la operación de la mina.</p> <p>Ho: El sistema actual de aire comprimido de la mina, presenta deficiencias irrelevantes que no comprometen la continuidad de la operación de la mina.</p>
3 ¿Qué alternativas tecnológicas existen para optimizar o reemplazar el sistema actual?	<p>H3: La implementación de alternativas tecnológicas en el sistema de aire comprimido de la mina, mejorará el desempeño del sistema de aire comprimido de forma significativa.</p> <p>Ho: La implementación de alternativas tecnológicas en el sistema de aire comprimido de la mina, No mejorar el desempeño del sistema de aire comprimido de forma significativa.</p>
4 ¿Cuál es la inversión requerida para cada alternativa y qué beneficios económicos y operativos aportaría?	<p>H4: Las alternativas tecnológicas propuestas, implican inversiones que se compensarán con beneficios económicos y operativos sustanciales para la empresa.</p> <p>Ho: Las alternativas tecnológicas propuestas, implican inversiones que no se compensan con beneficios económicos y operativos sustanciales para la empresa.</p>

<p>5 ¿Qué solución garantiza una mayor eficiencia energética y fiabilidad en el suministro de aire comprimido para la mina</p>	<p>Hs: Las soluciones propuestas tendrán un impacto significativo para la empresa en términos de; eficiencia energética y confiabilidad del sistema de aire comprimido. Ho: Las soluciones propuestas no tendrán un impacto significativo para la empresa en términos de; eficiencia energética y confiabilidad del sistema de aire comprimido.</p>
<p>6 ¿Qué tan factible es la modernización del sistema de aire comprimido en la Mina El Mochito, desde un análisis financiero?</p>	<p>H6: La modernización del sistema de aire comprimido es factible, considerando costos de inversión y beneficios del proyectados para la empresa. Ho: La modernización del sistema de aire comprimido no es factible, considerando costos de inversión y beneficios del proyectados para la empresa.</p>

Fuente: Elaboración Propia (2025).

3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

Esta investigación adapta un enfoque mixto tanto cuantitativo como cualitativo para garantizar una evaluación integral del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito. El enfoque cualitativo permite recolectar información contextual y técnica a través de las entrevistas a expertos, mientras que el cuantitativo proporciona los fundamentos numéricos necesarios para valorar la factibilidad técnica, económica y financiera del proyecto. Esta combinación metodológica es pertinente dado a que el estudio no solo se busca describir el estado actual del sistema y justificar el cambio del equipo, sino que no también busca proponer mejoras sostenibles basadas en un análisis riguroso de datos (Creswell, J. W. & Plano Clark, V. L., 2020).

El diseño de la investigación No experimental debido a que no se basa en experimentos puros, sino que en analizar datos que ya fueron manipulados y contempla el uso de la teoría fundamentada a fin de sustentar el enfoque cualitativo de este estudio (Hernández, R., & Mendoza, C. P. , 2020).

Esta investigación se considera transversal porque recolecta información en un solo momento y un tiempo único; con el objetivo de describir las variables involucradas y analizar cómo se relacionan e influyen entre sí en un momento dado (Hernández, R., & Mendoza, C. P. , 2020).

El estudio adapta un diseño transversal de tipo descriptivo orientada a explorar como inciden las distintas modalidades o niveles de una o más variables dentro de una población determinada (Sapieri Hernandez & Fernando Collado, 2010)

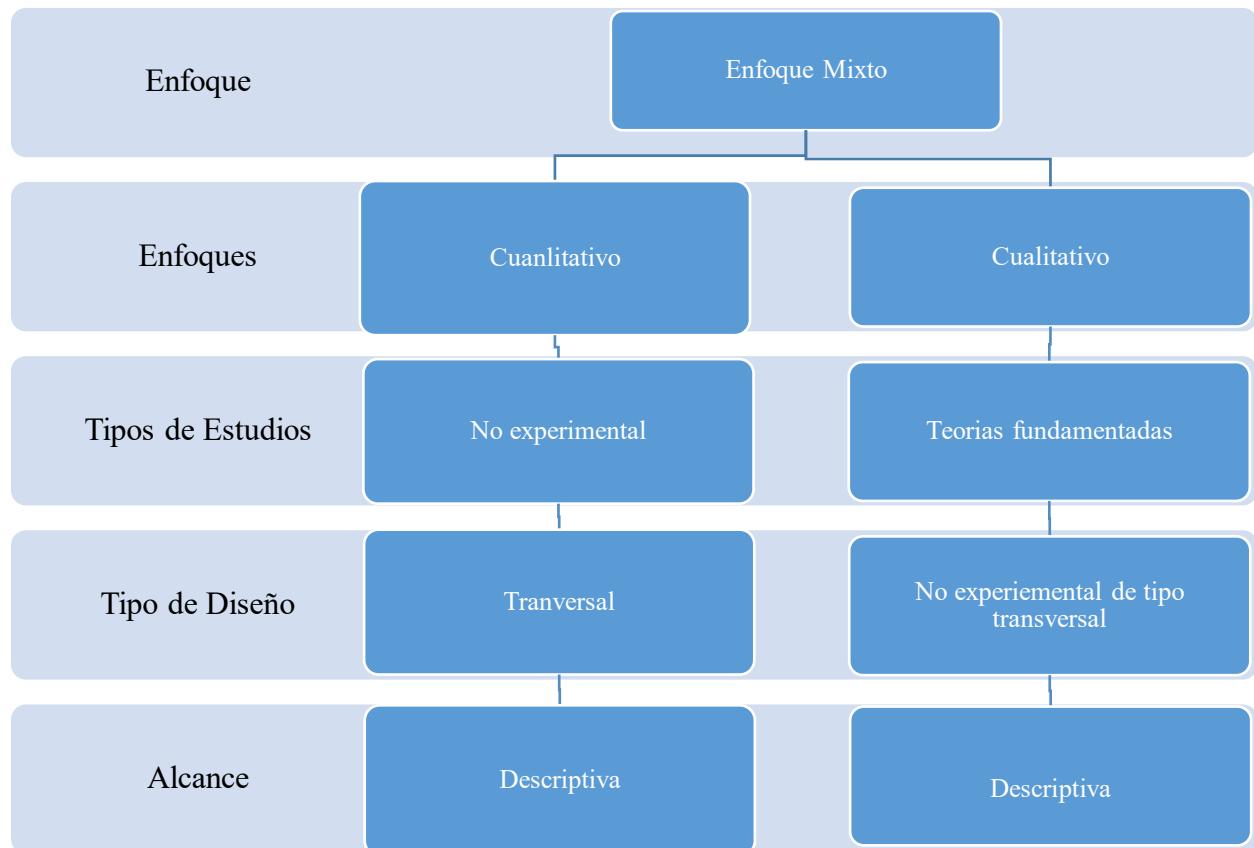


Figura 8: Diseño de Esquema Metodológico

Fuente: Elaboración Propia (2025).

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación plantea de qué manera va a hacer abordada la investigación para obtener toda la información que se requiera. Por lo que se presenta a continuación en la tabla 3 el diseño a seguir en la investigación con sus responsables. Cabe mencionar que para este estudio se realizaron diez entrevistas a expertos.

Tabla 4: Diseño de la Investigación

Estrategia	Actividad	Recursos		Tiempo de Ejecución	Responsables
		Humanos	Materiales		
Estudio Técnico	Recolección de información	1 personas	Entrevista	4 días	Angel y Víctor
	Diagnóstico del sistema actual de aire comprimido	1 personas	Entrevistas, observación directa	3 días	Angel
	Medición de presión y caudal en puntos críticos	1 personas	Manómetros, sensores, hojas de control	2 días	Angel
	Evaluación del consumo energético del sistema	1 persona	SCADA, Excel	2 días	Víctor
	Revisión de historial de fallas y mantenimiento	1 persona	Archivos técnicos, SCADA	2 días	Víctor
	Análisis de Equipos obsolescencia y repuestos	2 personas	Inventario, fichas técnicas, Excel	2 días	Angel y Víctor
	Identificación de tecnologías alternativas	2 personas	Revisión bibliográfica, fichas técnicas	3 días	Angel y Víctor
	Comparación técnica entre opciones de mejora	2 personas	Matriz multicriterio	2 días	Angel y Víctor
Estudio Económico	Estimación de costos de inversión, operación y mantenimiento	2 personas	Excel, cotizaciones	3 días	Angel y Víctor
	Evaluación de ahorro energético	1 persona	Excel, escenarios comparativos	2 días	Angel y Víctor
	Proyección de beneficios económicos	1 persona	Excel	2 días	Angel y Víctor
	Cálculo del VAN y TIR de cada alternativa	2 personas	Excel, Crystal Ball	3 días	Angel y Víctor
Estudio Operativo	Análisis de impacto en la producción por fallas en el sistema actual	1 persona	SCADA, CECONIN	2 días	Angel y Víctor
	Evaluación del nivel de confiabilidad de suministro	1 persona	Registro de paros e interrupciones	2 días	Angel y Víctor
Estudio Financiero	Análisis de rentabilidad de la inversión	2 personas	Excel, flujos de caja proyectados	3 días	Angel y Víctor
	Análisis de sensibilidad (VAN y TIR)	2 personas	Crystal Ball	2 días	Angel y Víctor

Fuente: Elaboración Propia (2025).

3.3.1 POBLACIÓN

La población objeto de esta investigación está conformada por el conjunto de profesionales, técnicos y operativo de los departamentos que están directamente involucrados en el proceso del proyecto. Esto incluye ingenieros de mantenimiento, operadores de compresores, técnicos eléctricos, personal del área de energía y especialistas en automatización, quienes poseen conocimiento sobre el rendimiento del sistema actual, como limitaciones operativas y los costos asociados al uso de compresores obsoletos.

Dado que la investigación tiene como eje central la evaluación técnica, económica y operativa del sistema de aire comprimido, la población también comprende a los responsables de la planificación de inversiones y a los expertos encargados de la toma de decisiones en el área de infraestructura energética y proyectos industriales dentro de la mina.

3.3.2 MUESTRA

Para la determinación de la muestra se fundamenta en el uso de un muestreo estratificado proporcional, técnica recomendada cuando se desea garantizar la representatividad de todos los subgrupos de una población, en especial aquellos con menor probabilidad de selección (Creswell & Creswell, 2018). Este enfoque permite reducir el error muestral y mejorar la precisión de los resultados, particularmente en investigaciones aplicadas al ámbito organizacional o industrial (Lohr, 2021). En el contexto de esta investigación esta técnica facilita una distribución equitativa de los participantes según sus áreas funcionales dentro de la operación de la mina.

Es por esta razón que la muestra seleccionada para esta investigación es el muestreo estratificado proporcional, que garantiza la representatividad de los distintos grupos involucrados en el sistema de aire comprimido, especialmente aquellos con menor cantidad de personal, que podrían quedar excluidos en un muestreo aleatorio simple.

La población objeto de estudio fue tomada de la empresa minera American Pacific Honduras (AMPAC), específicamente del departamento de mantenimiento de la operación minera, ubicada en Las Vegas, Santa Bárbara. Para efectos de esta investigación la población fue definida con base en la estructura organizacional vigente al mes de junio de 2025, fecha en la que se estableció el corte para la selección la población, misma que se dividió en tres estratos principales conforme a sus funciones operativas:

Departamento de mantenimiento y operación técnica (d1): 25 personas

Departamento de ingeniería y automatización (d2): 8 personas

Supervisión operativa y jefaturas relacionadas (d3): 10 personas

Con una muestra total de 10 personas, se asignó el número de participantes proporcionalmente al tamaño de cada grupo, obteniéndose:

d1 (58%): 6 personas

d2 (19%): 2 personas

d3 (23%): 2 personas

Los participantes fueron seleccionados de forma aleatoria dentro de cada estrato, lo que permite captar con equidad las percepciones y conocimientos técnicos desde cada área, favoreciendo la calidad de la información recolectada y reduciendo sesgos. Esta estrategia asegura que tanto las áreas con mayor personal como aquellas con menor número, pero alta influencia técnica, estén representadas de forma adecuada en el análisis.

3.3.3 TÉCNICAS DE MUESTREO

Para esta investigación se utilizó la técnica de muestreo estratificado proporcional, debido a que la población se encuentra organizada en diferentes áreas funcionales con tamaños heterogéneos. Esta técnica es apropiada cuando se busca asegurar la representatividad de todos los grupos que componen la población, especialmente aquellos que, por su tamaño reducido, podrían no ser incluidos en un muestreo aleatorio simple (Lohr, 2021).

El procedimiento consistió en dividir la población en tres estratos previamente definidos: (1) el área de mantenimiento y operación técnica, (2) el área de ingeniería y automatización, y (3) el personal de supervisión operativa y jefaturas. Luego, se determinó el número de participantes

de cada estrato de forma proporcional al tamaño de su grupo en la población total. Finalmente, dentro de cada estrato, los individuos son seleccionados al azar para garantizar objetividad en la muestra.

Este enfoque no solo mejora la precisión de los resultados estadísticos, sino que también permite captar la diversidad de opiniones técnicas y estratégicas sobre el sistema de aire comprimido, fortaleciendo la validez interna de los datos obtenidos (Creswell & Creswell, 2018)

3.4 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS APLICADOS

Para el desarrollo del presente estudio de factibilidad sobre el mejoramiento del sistema de aire comprimido en la Mina El Mochito, se aplicarán tres técnicas que son las siguientes; fichas de observación directa, entrevistas y monitoreo del sistema SCADA. Esta aproximación permitirá recopilar y analizar datos objetivos relacionados con el desempeño actual del sistema, así como con las alternativas de mejora propuestas.

3.4.1 TÉCNICA

3.4.1.1 FICHAS DE OBSERVACIÓN DIRECTA

Se llevará a cabo una observación sistemática y no participante de las operaciones del sistema de aire comprimido en sus diferentes puntos de la mina (Trackless, superficie y mina convencional). Esta técnica permitirá identificar visualmente las condiciones actuales de los equipos, las líneas de distribución, posibles fugas, ineficiencias o anomalías en el funcionamiento

3.4.1.2 ENTREVISTAS

Se aplicarán entrevistas al personal clave de la mina El Mochito; incluyendo ingenieros técnicos de mantenimiento y operadores que interactúan directamente con el sistema de aire comprimido, así como también a expertos en sistemas industriales y gestión energética. Esta técnica permitirá obtener información detallada sobre percepciones, experiencias problemas recurrentes y sugerencias relacionadas con el funcionamiento, mantenimiento y posibles mejoras del sistema actual. Las entrevistas buscan capturar tanto el conocimiento empírico del personal operativo como el enfoque técnico-analítico de los expertos, enriqueciendo así el análisis integral del sistema.

3.4.1.3 SISTEMA SCADA (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION)

Este sistema será un instrumento fundamental para el monitoreo continuo y la recolección de datos operativos en tiempo real. A través del SCADA, se obtendrán registros históricos y actuales de parámetros críticos como la presión, el caudal, el estado de los compresores (encendido/apagado), y el consumo de energía. La información del SCADA permitirá una visión detallada del comportamiento dinámico del sistema de aire comprimido.

3.4.2 PROCEDIMIENTOS

El proceso de recolección y análisis de datos seguirá los siguientes pasos:

Fase de Planificación:

- Definición precisa de las variables a medir y los datos a recopilar.
- Diseño y validación de las entrevistas
- Programación de las visitas a las instalaciones de la Mina El Mochito para las observaciones y la aplicación de cuestionarios.

Fase de Recopilación de Datos:

- Revisión Documental: Acceso y análisis de los archivos y bases de datos internos de la mina tomados bitácoras, reportes y Sistema SCADA.
- Extracción de Datos SCADA: Obtención de los registros históricos de operación (presión, caudal, consumo energético) directamente del sistema SCADA de la Mina El Mochito.
- Observación Directa: Realización de recorridos por las áreas donde opera el sistema, registrando las observaciones relevantes en los formatos preestablecidos.
- Aplicación de Entrevistas: Administración de las entrevistas al personal seleccionado, garantizando la confidencialidad y la correcta comprensión de las preguntas.

3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo del presente estudio de factibilidad, se utilizarán tanto fuentes de información primarias como secundarias, con el objetivo de asegurar la validez y confiabilidad de los datos y el análisis.

3.5.1 FUENTES PRIMARIAS

Las fuentes primarias de información son aquellas que proporcionan datos de primera mano, obtenidos directamente de la Mina El Mochito. Estas incluyen:

3.5.1.1 SISTEMA SCADA (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION)

La información operativa en tiempo real e histórica proporcionada por el sistema SCADA de la mina, incluyendo registros de presión, caudal, consumo energético y estado de los equipos.

3.5.1.2 PERSONAL DE LA MINA EL MOCHITO

Ingenieros de mantenimiento, operadores de equipos, supervisores y gerentes de operaciones que poseen conocimiento y experiencia directa sobre el sistema de aire comprimido. Se obtendrá información de ellos mediante la aplicación de entrevistas y posibles consultas adicionales para validar observaciones y obtener detalles operativos que no se encuentren en la documentación.

3.5.1.3 REGISTROS INTERNOS DE LA MINA

Documentos generados por la propia operación, tales como informes de mantenimiento, hojas de vida de los equipos (especialmente de los compresores Ingersoll-Rand de 300hp y Joy de 900hp), registros de consumo de energía, reportes de producción, y bases de datos de inventario de repuestos y materiales. Se utilizarán para la revisión del historial de fallas y mantenimiento, y el análisis de obsolescencia.

3.5.1.4 OBSERVACIONES DIRECTAS

La información recabada mediante la inspección visual y sistemática del sistema y sus componentes en operación.

3.5.2 FUENTES SECUNDARIAS

Las fuentes secundarias de información son aquellas que han sido previamente publicadas o recopiladas por terceros y que complementan los datos primarios, proporcionando un marco teórico y comparativo. estas incluyen; literatura científica y técnica, normas y estándares, informes y publicaciones de organismos internacionales y nacionales. Asimismo, se recurrirá a sitios web de instituciones especializadas como la comisión reguladora de energía eléctrica (CREE), el instituto de geología y minas (INHGEOMIN) y la secretaria del trabajo y seguridad social. cabe mencionar que la información recopilada para esta investigación provendrá de diversos autores y sitios que ofrecerán perspectivas pertinentes que contribuirán a respaldar el marco teórico y la comprensión de las metodologías implementadas, así como también proporcionar respuestas a los objetivos y preguntas de investigación.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo tiene como propósito mostrar los resultados obtenidos a partir de la aplicación del instrumento de recolección de datos diseñado para esta investigación. A través del análisis de la información recolectada en la población de objeto de estudio para esta investigación. Representando las frecuencias de respuesta correspondientes a cada ítem evaluado. Este análisis permite dar respuesta a la pregunta de investigación planteada, orientada a comprobar la viabilidad técnica y financiera de la modernización del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito. Los resultados aquí expuestos no solo reflejan las percepciones y criterios de los encuestados, sino que también aportan evidencias que respaldan la propuesta de mejora, considerando aspectos operativos, energéticos y económicos clave que inciden directamente en la eficiencia y sostenibilidad del proyecto.

4.1 INFORME DE PROCESOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El proceso de recolección de datos de esta investigación se llevó a cabo mediante la aplicación de entrevistas directas dirigidas a personal técnico, operativo, jefaturas y administrativo de la mina El Mochito. Ver anexo 4. Estas entrevistas permitieron obtener información de primera mano sobre el estado actual del sistema de aire comprimido, las condiciones de operación, los costos asociados y la percepción de los actores clave respecto a la viabilidad del proyecto de modernización.

Las encuestas aplicadas fueron tabuladas y organizadas utilizando Microsoft Excel. Lo que facilitó la sistematización y análisis de la información obtenida permitiendo identificar patrones de respuesta y tendencias significativas.

De manera complementaria se incorporó información derivada del sistema SCADA el cual aportó registros de consumo energético, historial de fallas y parámetros de operación de los equipos. Ver anexo 5. Estos datos técnicos resultaron fundamentales para contrastar las percepciones de los entrevistados con la evidencia empírica. Asimismo, se realizaron visitas de campo a las áreas de operación y mantenimiento, con el fin de observar directamente las condiciones de los equipos, los procedimientos de trabajo y los puntos críticos del sistema. Ver anexo 6. Esta etapa permitió validar la información obtenida mediante encuestas y entrevistas. Enriqueciendo el análisis con observaciones técnicas in situ.

En conjunto, el proceso de recolección de datos se ejecutó de manera integral y sistemática combinando fuentes primarias y secundarias que garantizan la confiabilidad de los resultados. Estos insumos constituyen la base para el análisis presentado en las secciones siguientes de este capítulo.

4.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS APLICADAS

En este apartado se presentan de manera detallada los aspectos más relevantes obtenidos a través de la aplicación de entrevistas, observaciones de campo y datos técnicos proporcionados por el sistema SCADA. Los resultados comprenden cifras cuantitativas y apreciaciones cualitativas que contribuyen al desarrollo del análisis, permitiendo obtener una visión integral del estado actual del sistema de aire comprimido de la mina El Mochito.

Los hallazgos obtenidos a partir de la información recolectada constituyen la base para responder a las preguntas y objetivos planteados en la investigación, orientados a evaluar la viabilidad técnica, operativa y financiera de la modernización del sistema de aire comprimido.

Los resultados muestran datos vinculados al consumo energético, la frecuencia de fallas, los costos de mantenimiento, así como la percepción del personal respecto a la eficiencia y confiabilidad de los equipos actuales. De igual forma, las entrevistas a expertos permitieron identificar riesgos potenciales y beneficios esperados al implementar mejoras en la infraestructura.

Estos resultados permiten establecer tendencias que indican la necesidad de una intervención técnica y financiera. Que permita confirmar que la propuesta de modernización representa una alternativa viable para optimizar el uso de la energía, reducir costos operativos y garantizar la continuidad de la operación minera.

4.2.1 RESULTADOS CUANTITATIVOS

Mediante la aplicación de las encuestas realizadas a personal técnico, operativo jefaturas y gerentes, se recopilaron datos cuantitativos orientados a identificar los principales aspectos técnicos, operativos, energéticos y financieros relacionados con el sistema de aire comprimido en la mina El Mochito. Ver anexo 7. Estos resultados permiten tener una visión más clara de la situación actual del sistema de aire comprimido de la mina. Finalmente, se desarrolla un análisis comparativo de las propuestas, contrastando sus ventajas, limitaciones y viabilidad en función de los criterios técnicos, económicos y operativos definidos en la investigación.

4.2.1.1 ENTREVISTA DIRIGIDA AL PERSONAL TÉCNICO Y OPERATIVO

Mediante la realización de encuestas al personal técnico y operativo se logró evaluar el estado del sistema de aire comprimido, identificando fallas frecuentes, prácticas de mantenimiento y riesgos asociados. En la pregunta; ¿Cómo calificaría el estado actual del sistema en cuanto a operación y mantenimiento? Se obtuvieron los siguientes resultados:

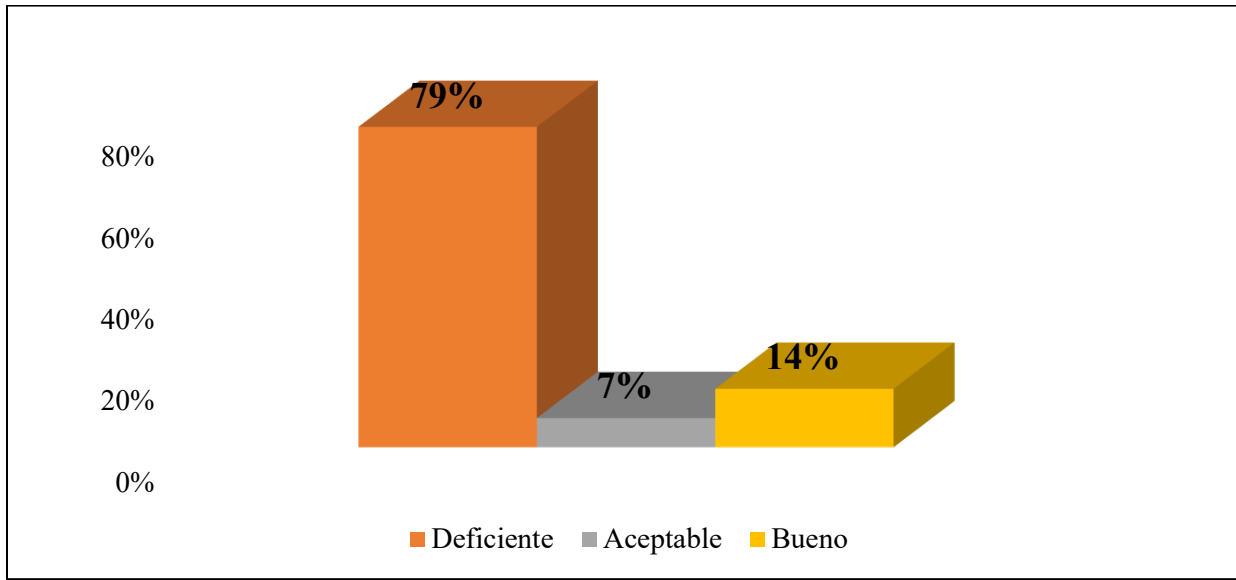


Figura 9: Evaluación del estado actual del sistema de aire comprimido.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Al analizar los resultados de la figura 9, se observa que el 79% del personal técnico calificó el estado actual del sistema de aire comprimido como deficiente, lo que refleja una percepción generalizada de que el equipo presenta limitaciones importantes en su funcionamiento y en las labores de mantenimiento. Un 7% consideró el sistema como aceptable, mientras que únicamente el 14% lo valoró como bueno.

Este hallazgo permite identificar una clara tendencia hacia la insatisfacción respecto al desempeño del sistema evidenciando que, aunque se mantienen ciertos niveles de operatividad el mantenimiento realizado no es suficiente para garantizar condiciones óptimas. La concentración de respuestas en la categoría deficiente constituye un indicador clave que respalda la necesidad de implementar mejoras técnicas y de gestión orientadas a prolongar la vida útil de los equipos y optimizar los recursos energéticos de la mina. En la pregunta; ¿Qué tipo de fallas son más comunes? Los resultados son los siguientes:

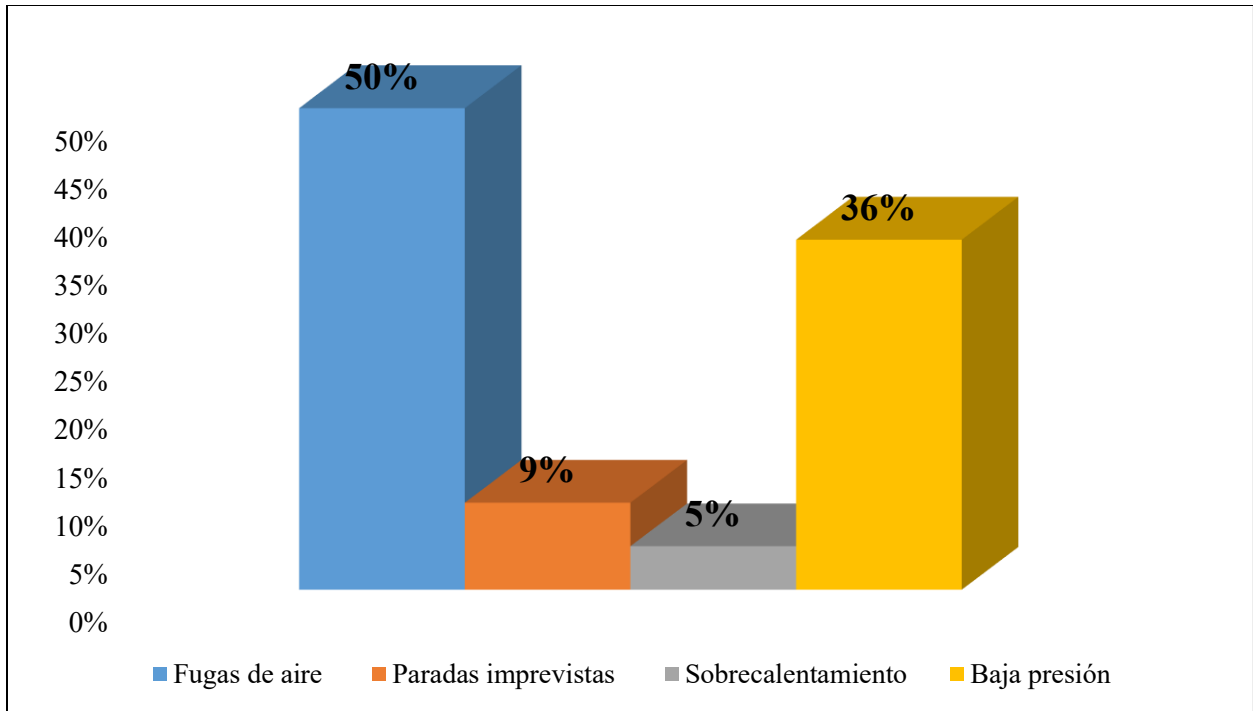


Figura 10: Fallas más frecuentes en el sistema de aire comprimido.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Al revisar los datos representados en la figura 10. Se aprecia que la incidencia más alta corresponde a las fugas de aire con un 50%, lo que confirma que esta es la principal problemática que enfrenta el sistema de aire comprimido. En segundo lugar, con un 36% los encuestados señalaron la baja presión como una falla frecuente, situación que repercute directamente en la eficiencia de la operación. Por otra parte, las paradas imprevistas alcanzan un 9%, mientras que el sobrecalentamiento se mantiene en un 5%, evidenciando que, aunque estos eventos son menos recurrentes, no dejan de representar riesgos para la continuidad del servicio.

Estos resultados ponen de manifiesto que las mayores dificultades se concentran en aspectos directamente relacionados con la pérdida de eficiencia del sistema, tanto por fugas como por la inestabilidad en la presión de trabajo. La relevancia de estos hallazgos radica en que ambos factores generan un consumo energético elevado y costos adicionales de mantenimiento, lo cual repercute negativamente en la productividad de la mina. En la pregunta; ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza actualmente? Los resultados son los siguientes.

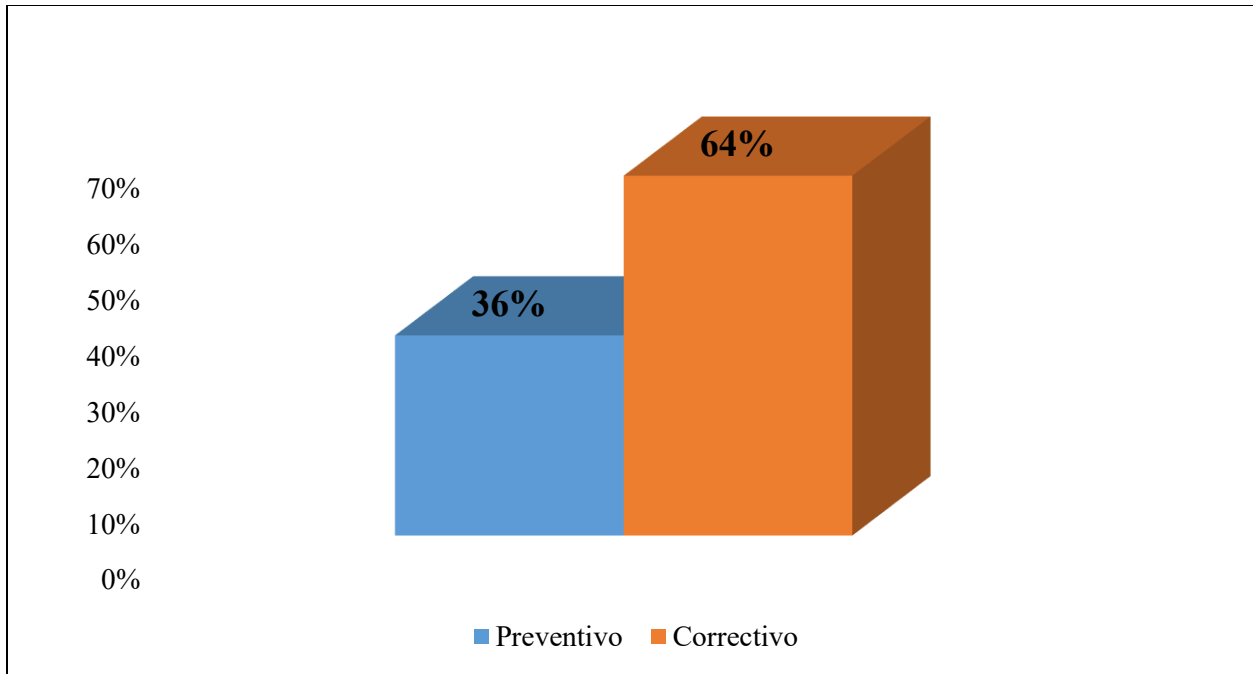


Figura 11: Tipo de mantenimiento más frecuentes en el sistema.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Al verificar los resultados de la figura 11. Se observa que el 64% del personal técnico indicó que las intervenciones realizadas en el sistema de aire comprimido corresponden principalmente a mantenimiento correctivo mientras que únicamente un 36% señaló que se realizan actividades de mantenimiento preventivo. Llama la atención que ningún encuestado manifestó la inexistencia de mantenimientos, lo que evidencia que sí existe atención sobre los equipos, aunque la misma se orienta en su mayoría a reparar fallas una vez que estas ocurren.

Este hallazgo revela una clara dependencia de acciones reactivas frente a los problemas lo cual incrementa los riesgos de paradas imprevistas, eleva los costos de operación y reduce la vida útil de los equipos. En la pregunta; ¿Considera que una modernización reduciría las intervenciones de mantenimiento? Los resultados son los siguientes:

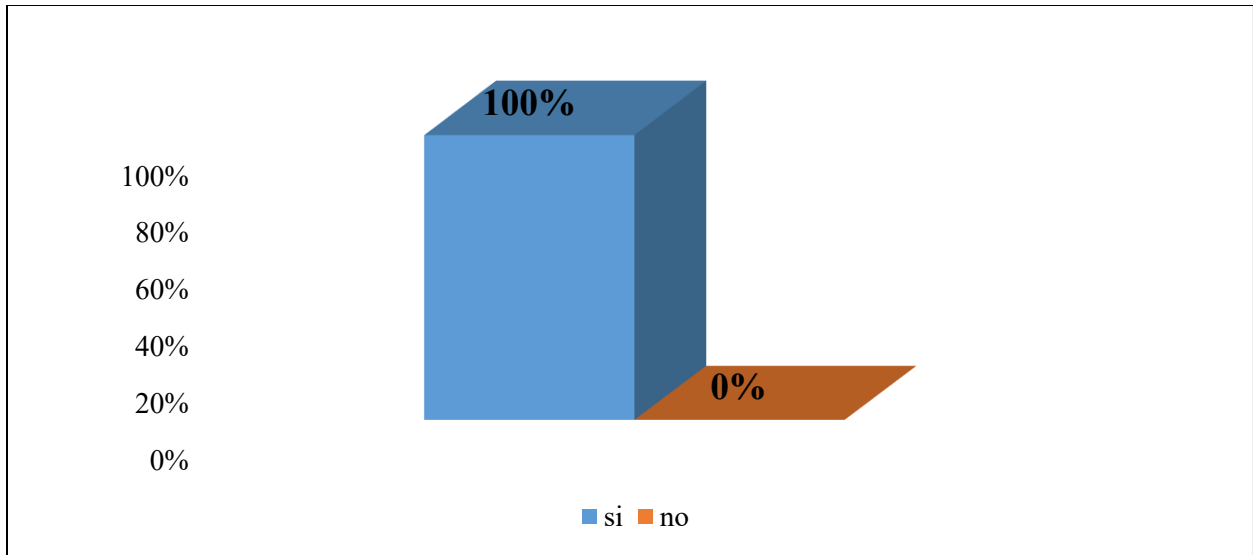


Figura 12: La opinión sobre la modernización.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Los resultados de la figura 12 muestran unanimidad en las respuestas: el 100% del personal encuestado coincidió en que una modernización del sistema de aire comprimido reduciría de manera significativa las intervenciones de mantenimiento. Este resultado refleja un consenso total y respalda la necesidad de actualizar los equipos para garantizar mayor eficiencia y confiabilidad operativa. En la pregunta; ¿Cuál considera que es la vida útil restante de los compresores? Los resultados son los siguientes:

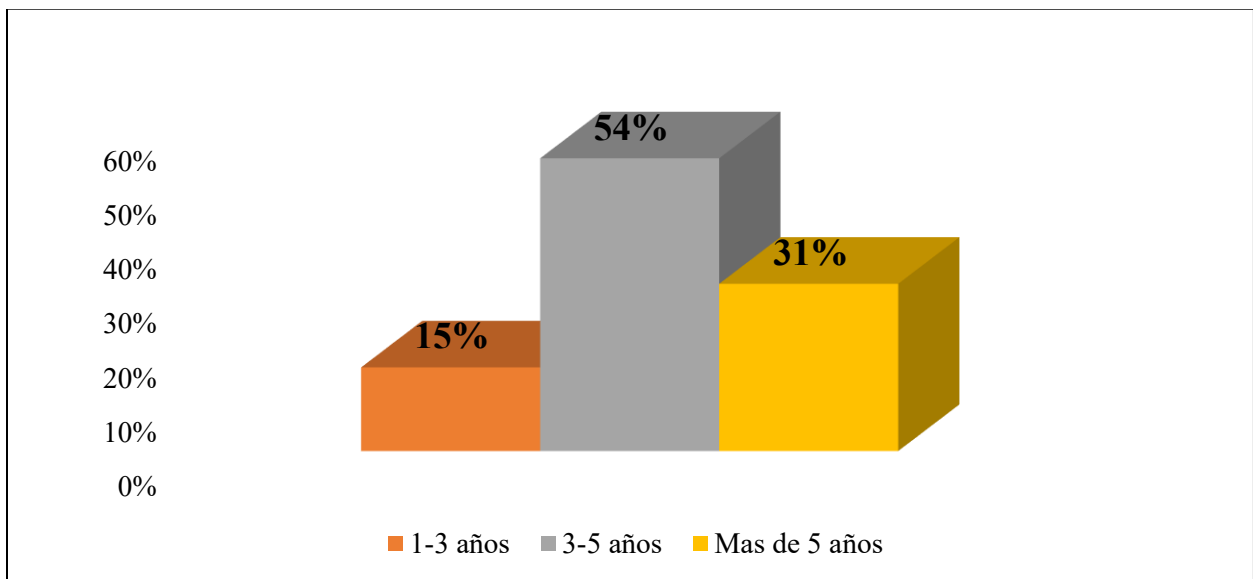


Figura 13: Estimación de la vida útil de los compresore.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Al analizar los resultados de la figura 13. Se observa que el 54% del personal técnico considera que los compresores tienen una vida útil restante entre 3 y 5 años, mientras que un 31% estima que supera los 5 años. En menor medida, un 15% indicó que la vida útil es de 1 a 3 años, y ningún encuestado señaló menos de un año.

Este resultado refleja que, aunque los equipos aún cuentan con un tiempo operativo considerable. Se encuentran en una etapa donde es necesario planificar su modernización, a fin de evitar fallas críticas y costos elevados de mantenimiento en el futuro cercano. En la pregunta; ¿Considera que una nueva tecnología mejoraría la eficiencia operativa del sistema? Los resultados son los siguientes:

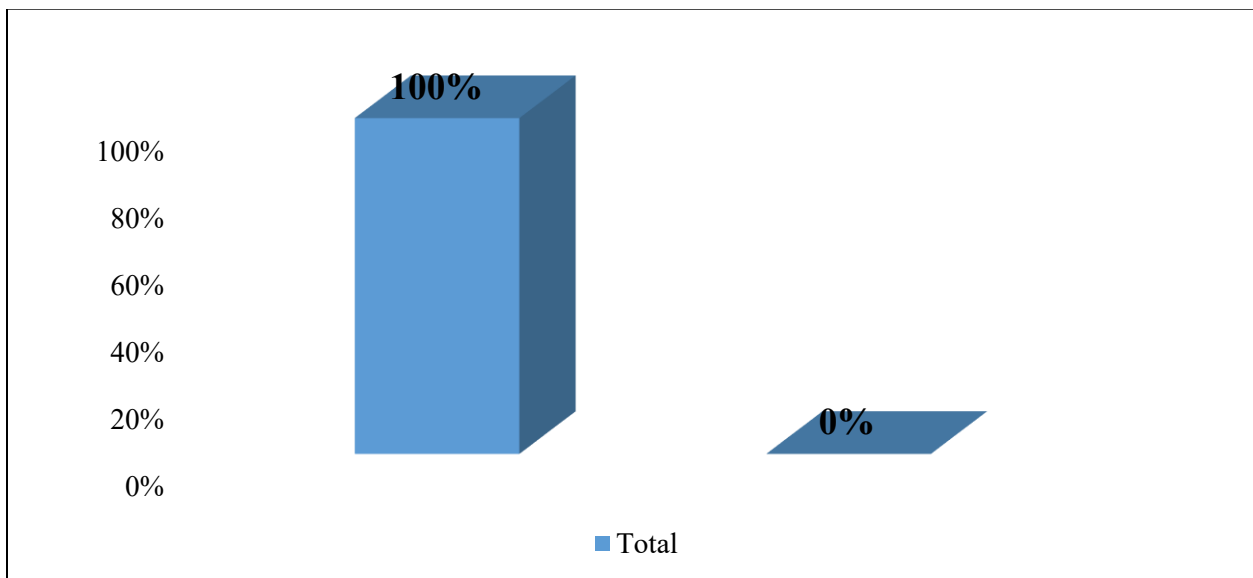


Figura 14: El impacto de una nueva tecnología en la eficiencia operativa del sistema

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Al analizar los resultados de la figura 14. Evidencia que el 100% respondió afirmativamente que considerando que la incorporación de una nueva tecnología mejoraría de forma significativa la eficiencia operativa del sistema de aire comprimido. Ninguno manifestó lo contrario lo cual refleja un consenso total en torno a la necesidad de modernización.

Este resultado confirma que existe una percepción compartida de que la actualización tecnológica no solo es conveniente, sino imprescindible para optimizar el rendimiento del sistema y garantizar la continuidad operativa de la mina. En la pregunta; ¿Qué beneficios cree que aportaría una nueva tecnología en eficiencia y reducción de costos? Los resultados son los siguientes:

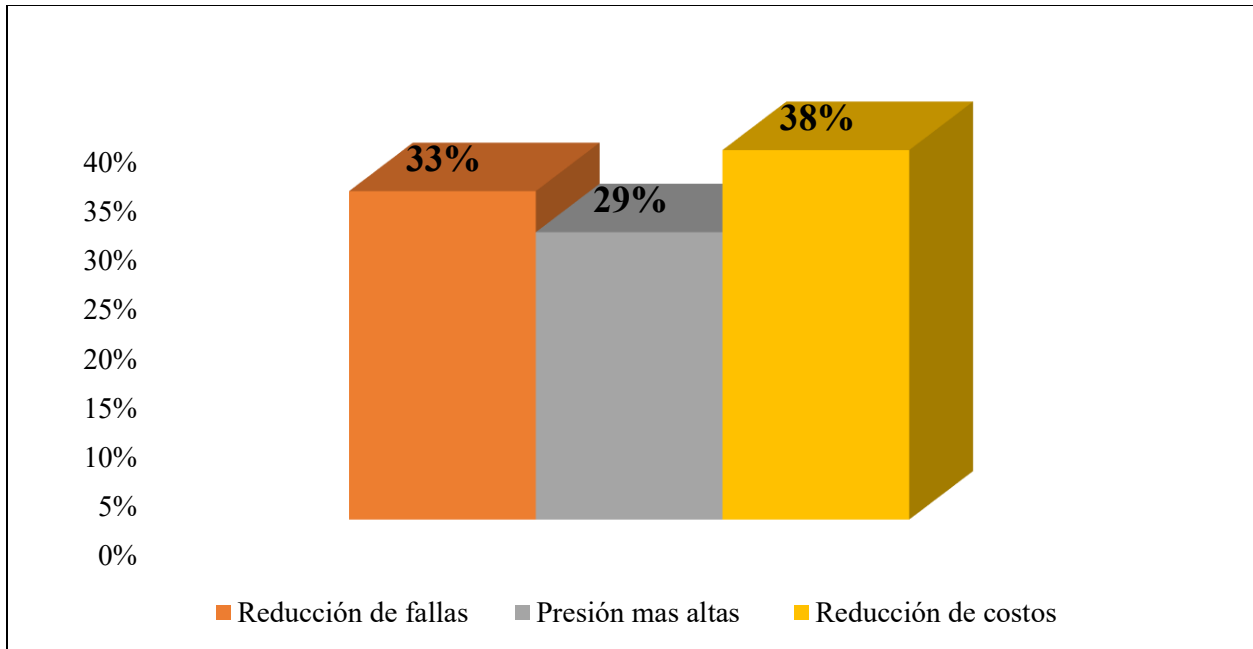


Figura 15: Los beneficios esperados sobre la implementación de una nueva tecnología

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Según los resultados de la figura 15. El 38% del personal considera que la principal ventaja de implementar una nueva tecnología sería la reducción de costos, seguido de un 33% que señaló la disminución de fallas. Asimismo, un 29% identificó como beneficio alcanzar presiones más altas. Estos resultados demuestran que la expectativa general está centrada en mejorar la eficiencia económica y operativa del sistema. Confirmando que la modernización no solo es vista como una solución técnica, sino también como una estrategia clave para optimizar los recursos de la mina. En la pregunta; ¿Se han presentado incidentes o riesgos laborales vinculados al sistema? Los resultados son los siguientes:

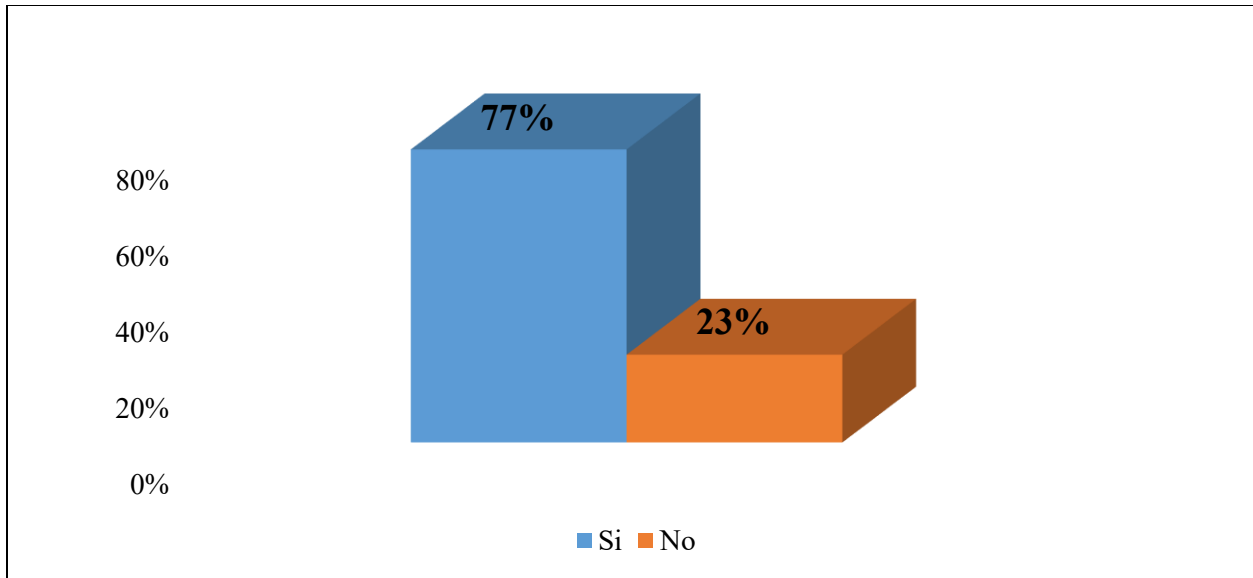


Figura 16: Incidentes laborales asociados al sistema.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

De acuerdo con los resultados de la figura 16. El 77% del personal encuestado manifestó que sí se han presentado incidentes o riesgos laborales asociados al sistema de aire comprimido, mientras que un 23% indicó que no.

Este resultado evidencia que existe una preocupación significativa respecto a la seguridad operativa lo cual refuerza la importancia de implementar medidas de modernización y mantenimiento preventivo que contribuyan a minimizar riesgos y proteger la integridad del personal. En la pregunta; ¿Cómo calificaría el nivel de ruido del sistema y su impacto en la salud? Los resultados son los siguientes:

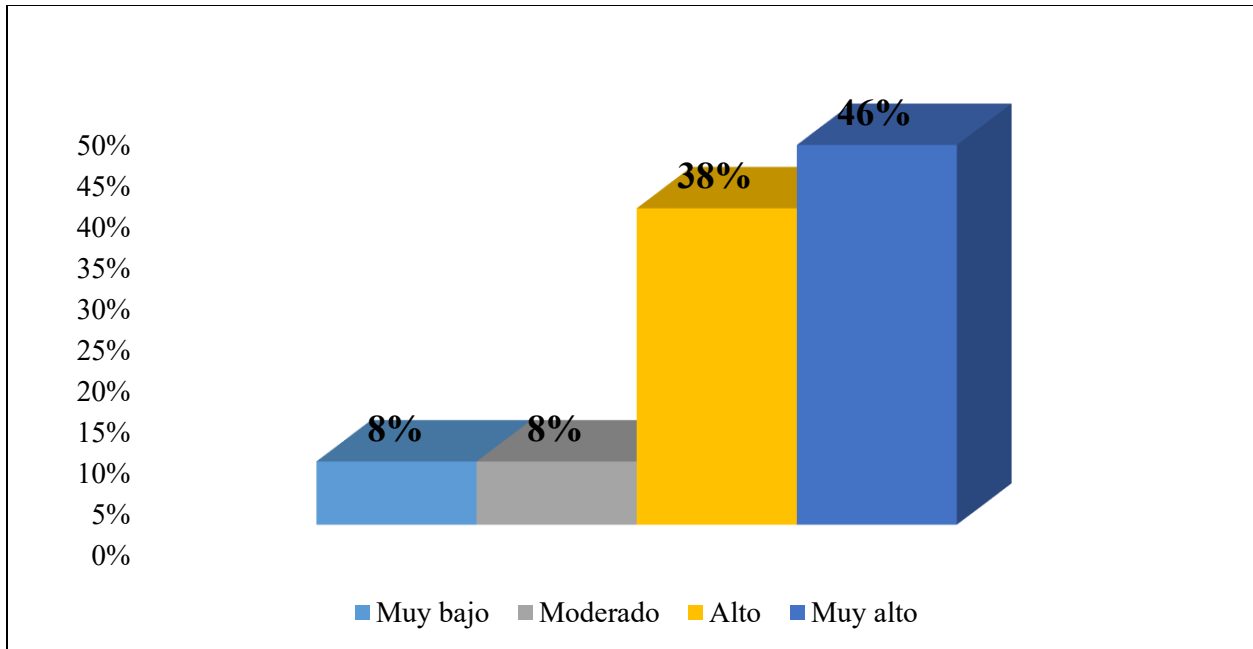


Figura 17: Nivel de ruido de los compresores.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Al analizar los resultados de la figura 17. Se observa que el 46% del personal calificó el nivel de ruido del sistema como muy alto, mientras que un 38% lo consideró alto, un 8% señaló un nivel moderado y otro 8% lo catalogó como muy bajo; ninguna respuesta correspondió a la categoría bajo.

Este hallazgo evidencia que la mayoría percibe el ruido del sistema como un factor crítico que puede afectar la salud y el bienestar de los trabajadores. La concentración de respuestas en los niveles altos refleja la necesidad de implementar medidas de mitigación acústica y programas de control ocupacional que reduzcan la exposición prolongada al ruido garantizando así un ambiente laboral más seguro. En la pregunta; ¿Existen registros o controles de emisiones de CO₂ asociados al sistema? Los resultados son los siguientes:

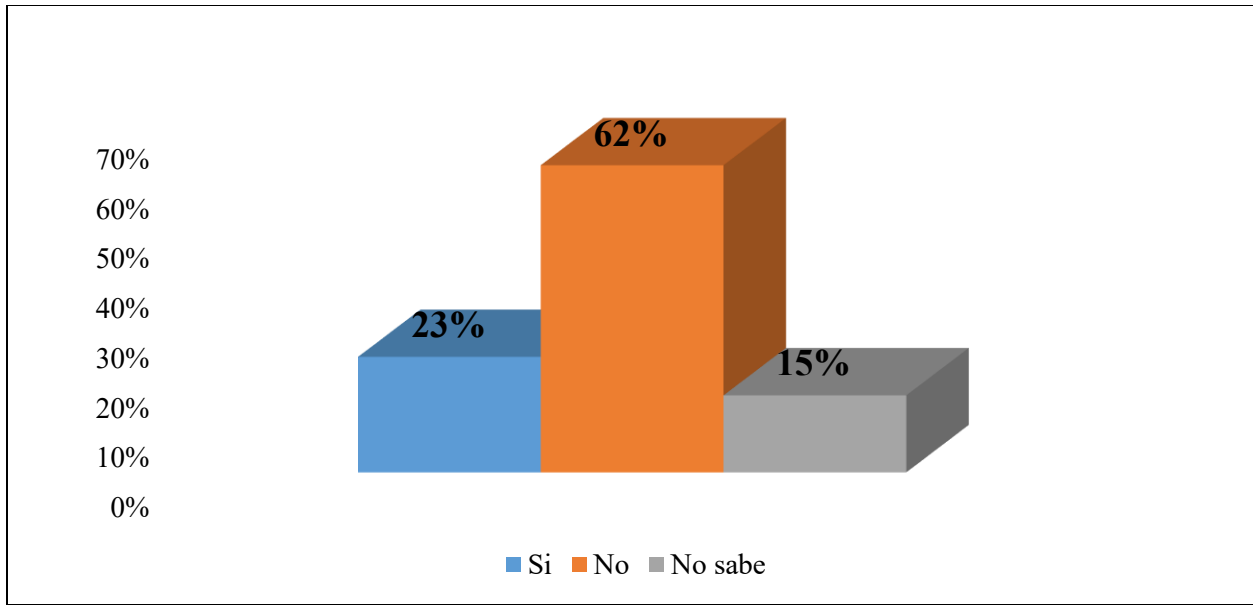


Figura 18: Registros o controles de emisiones de CO₂ asociados al sistema.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

De acuerdo con los resultados de la figura 18. El 62% del personal técnico indicó que no existen registros ni controles de emisiones de CO₂ relacionados con el sistema de aire comprimido. En contraste un 23% afirmó que sí se llevan a cabo, mientras que un 15% manifestó no tener certeza al respecto.

Este hallazgo refleja una limitación importante en el ámbito ambiental y de gestión operativa ya que la ausencia de registros formales impide evaluar con precisión el impacto de las emisiones generadas. La falta de control sistemático también limita la posibilidad de implementar medidas de mitigación acordes a estándares ambientales lo que refuerza la necesidad de integrar prácticas de monitoreo y gestión sostenible en el sistema. En la pregunta; ¿Qué permisos o licencias conoce que aplican al sistema? Los resultados son los siguientes:

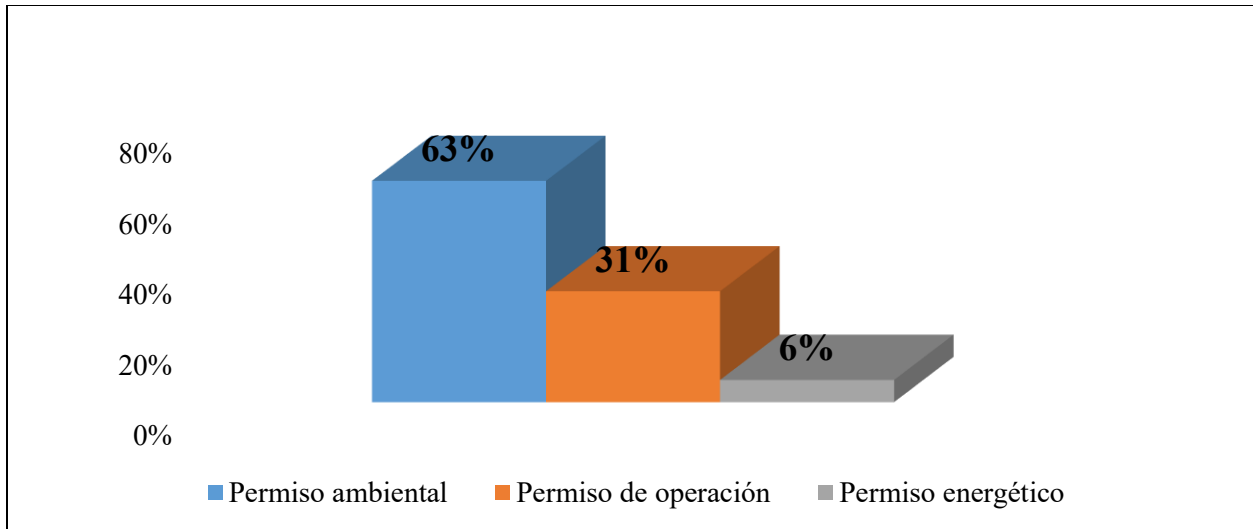


Figura 19: Permisos o licencias aplicables al sistema de aire comprimido

Fuente: Elaboración Propia (2025).

La figura 19. Muestran que el 63% del personal identificó el permiso ambiental como el principal requisito aplicable al sistema. En segundo lugar, con un 31% los permisos de operación, mientras que solo un 6% señaló el permiso energético.

Reflejando que existe una mayor conciencia sobre los aspectos ambientales vinculados a la operación del sistema lo que pone de manifiesto la relevancia del cumplimiento normativo en materia de sostenibilidad. En la pregunta; ¿Cree usted que el dimensionamiento actual del sistema es el adecuado para satisfacer la demanda de la operación? Los resultados son los siguientes:

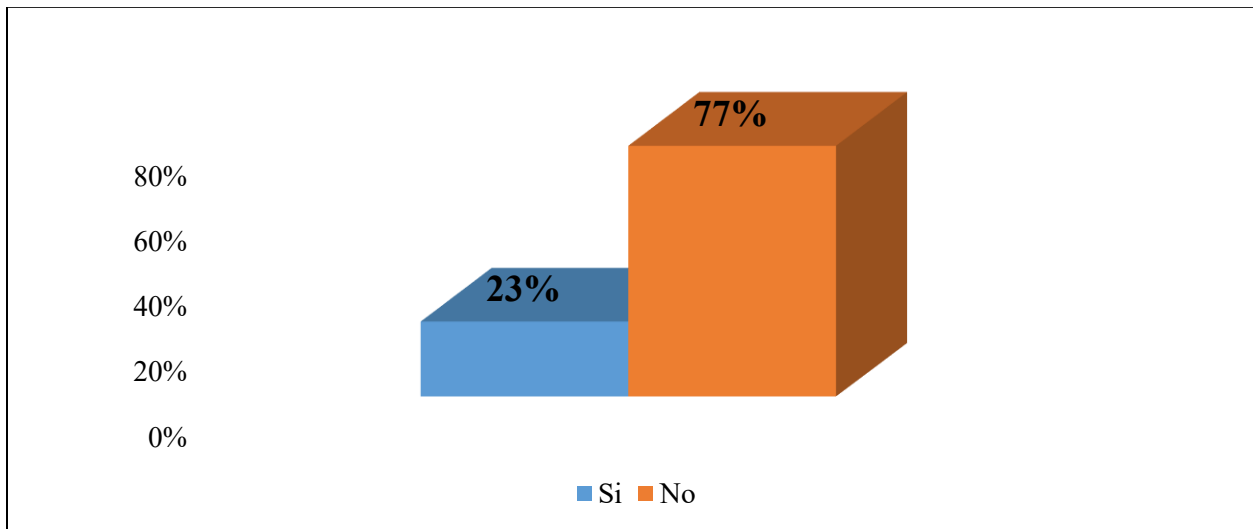


Figura 20: Dimensionamiento del sistema para satisfacer la demanda.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Los resultados de la figura 20. Muestran que el 77% del personal considera que el sistema actual no cubre la demanda requerida, mientras que solo el 23% lo estima suficiente. Esto evidencia la necesidad de un redimensionamiento que asegure un desempeño óptimo en las operaciones. En la pregunta; ¿Qué áreas y equipos son más afectados por falta de presión o suministro de aire? Los resultados son los siguientes:

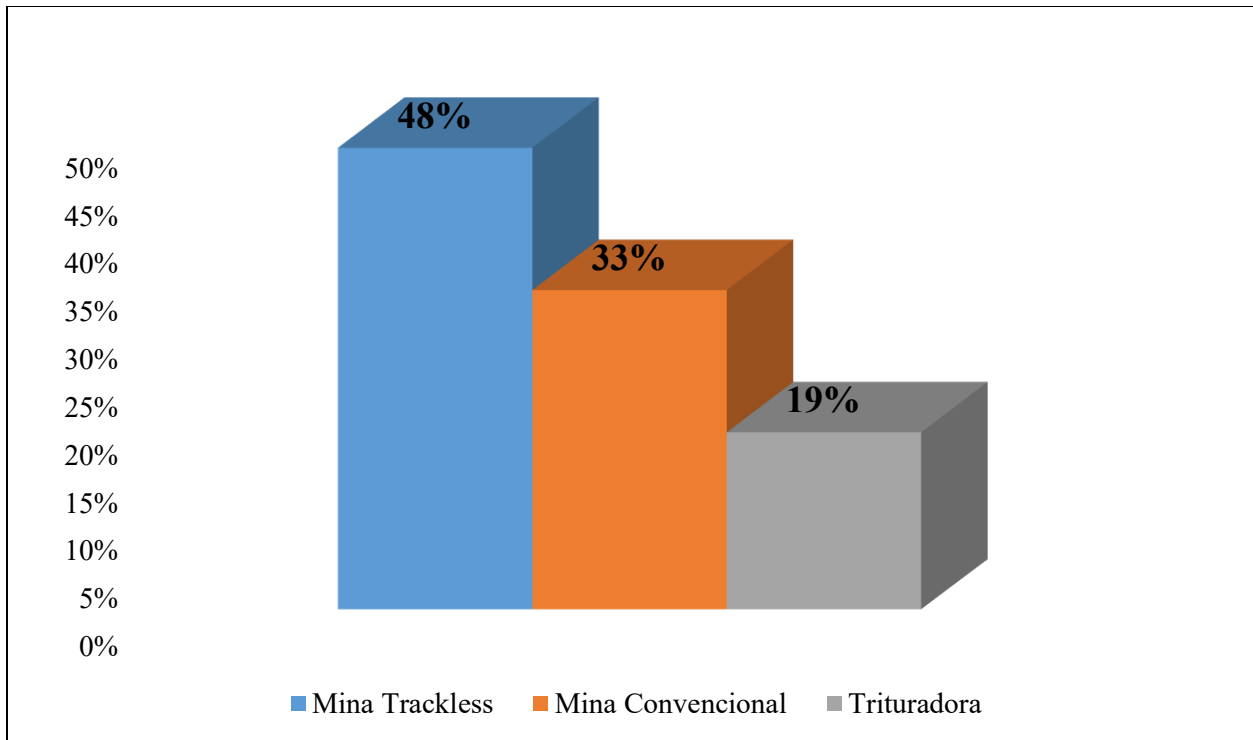


Figura 21: Áreas más afectadas por la falta de presión o suministro de aire.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Los resultados reflejan que el 48% del personal señaló a la mina trackless como la más afectada, seguida de la mina convencional con 33%, mientras que la trituradora fue mencionada por un 19%. Esto evidencia que las operaciones subterráneas, especialmente las que dependen de equipos de mayor consumo son las más vulnerables a las deficiencias en el suministro de aire comprimido, lo que repercute directamente en la operación minera.

4.2.2 COMPORTAMIENTO DE LA PRESIÓN OPERATIVA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LA MINA EL MOCHITO.

En la figura 22. Se puede observar la comparación entre la presión real entregada por el sistema de aire comprimido y la presión mínima requerida para garantizar un funcionamiento adecuado de los equipos. Los resultados muestran que, aunque en ciertos momentos la presión se aproxima al valor requerido 90 [psi] existen caídas abruptas que llegan a niveles inferiores a los 50 psi. Esta inestabilidad refleja deficiencias importantes en la red de distribución las cuales se asocian principalmente a fugas, pérdidas de carga y limitaciones en la capacidad de los compresores actuales.

Estas fluctuaciones no solo comprometen la confiabilidad del suministro, sino que también obligan a los compresores a operar durante más tiempo para recuperar la presión nominal lo que incrementa el consumo de energía y los costos de mantenimiento. La evidencia presentada en este gráfico confirma la brecha entre la presión demandada por la operación minera y la que efectivamente suministra el sistema. reforzando la necesidad de considerar alternativas de modernización que garanticen estabilidad, eficiencia y sostenibilidad en la operación.

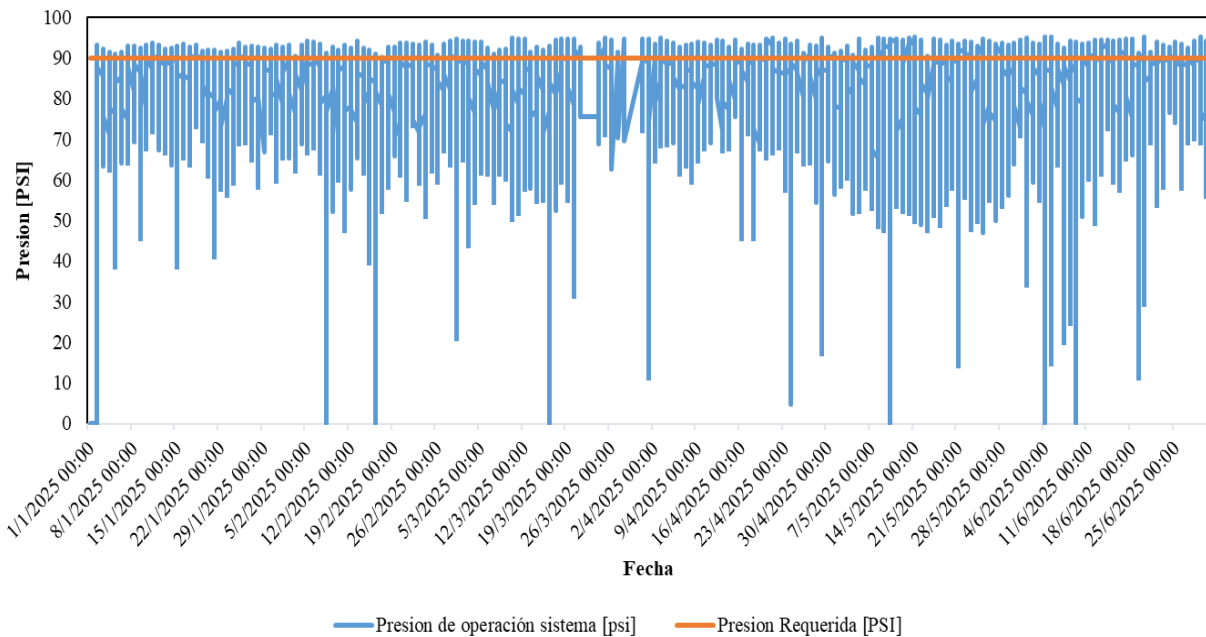


Figura 22: Variación de la presión real vs presión requerida en el sistema de aire comprimido de la Mina El Mochito.

Fuente: Elaboración Propia con datos del sistema SCADA (2025).

4.2.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS MENSUAL DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

En los costos energéticos asociados al sistema de aire comprimido constituye un aspecto fundamental dentro de la evaluación de su eficiencia operativa y económica. Es por esta razón que La Tabla 5. Refleja el consumo energético mensual de los compresores en operación, clasificando los equipos según marca y características técnicas. Los resultados muestran que los compresores Joy de 900 HP representan la mayor proporción del costo \$47,132 y 52,369.20 dólares, respectivamente. Por su parte, los compresores Ingersoll Rand, de menor capacidad (350 HP y 300 HP) y los más antiguos, registran costos mensuales de \$16,293 y \$12,219.

El costo total de energía mensual del sistema de aire comprimido asciende a \$128,013, confirmando que el sistema de aire comprimido constituye uno de los principales centros de consumo eléctrico dentro de la operación minera. Estos resultados reafirman la necesidad de evaluar alternativas de modernización o reemplazo tecnológico, orientadas a reducir la dependencia energética y mejorar la eficiencia global del sistema.

Tabla 5: Estimación de costos mensual de energía

Marca	Potencia nominal [Hp]	Voltaje operación	Corriente de operación [Amp]	Potencia [kW]	Horas de operación Mes	energía [kWh/Mes]	Costo [\$kWh/Mes]
Joy	900	2,300	177	671	540	362,556	\$47,132
Joy	900	2,300	36	671	600	402,840	\$52,369
Ingersoll Rand	350	480	320	261	480	125,328	\$16,293
Ingersoll Rand	300	2,300	46	224	420	93,996	\$12,219
Costo de energía Mensual del sistema de aire comprimido							\$128,014

Fuente: Elaboración Propia (2025).

4.2.4 ESTIMACIÓN DE COSTOS POR FUGAS EN EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

El análisis de los costos asociados a las fugas en el sistema de aire comprimido constituye un elemento esencial dentro de la evaluación de eficiencia energética de la operación. Las fugas, aunque muchas veces pasan desapercibidas representan pérdidas constantes de energía que se traducen en un incremento significativo de los costos anuales de operación. Por lo que se presentada a continuación la estimación de costos anuales en función del diámetro de fuga, considerando un tiempo de escape continuo de 24 horas diarias.

Tabla 6: Estimación de costos anuales por fugas en el sistema de aire comprimido

Diámetro de fuga en pulgadas	tiempo de fuga por día (horas)	Perdidas por fugas [kW]	Energía kWh/Día	cantidad de fugas	Costos por fuga en un año
1/64	24	0.05	1.2	1	\$58
1/32	24	0.19	4.7	1	\$229
3/64	24	0.44	10.7	1	\$522
1/16	24	0.78	18.8	1	\$918
3/32	24	1.76	42.1	1	\$2,061
1/8	24	3.13	75.0	1	\$3,670
3/16	24	7.02	168.5	1	\$8,243
1/4	24	12.51	300.1	1	\$14,680
1/2	24	49.90	1,197.7	1	\$58,579
3/4	24	112.31	2,695.5	1	\$131,838
1	24	199.74	4,793.6	1	\$234,457
2	24	800.87	19,220.8	1	\$940,087

Fuente: Elaboración Propia (2025).

La tabla 5. Denuestra cual es el costo por fugas en el sistema de aire comprimido de la mina. Convirtiéndose en un aspecto muy relevante para comprender las pérdidas energéticas y económicas que enfrenta la empresa, los resultados evidencian que las fugas de pequeño diámetro; como las de 1/64” o 1/32” aunque aparentemente son insignificantes generan costos de \$58 y \$229 anuales respectivamente. Sin embargo, conforme aumenta el tamaño de la tubería el impacto económico crece de manera exponencial: una fuga de 1/4” alcanza los \$14,680 anuales, mientras que en el caso de 1” y 2” los costos se elevan hasta \$234,457 y \$940,087 dólares por año.

Este comportamiento confirma que las fugas representan una de las principales fuentes de ineficiencia del sistema de aire comprimido no solo por el gasto energético adicional requerido para mantener la presión, sino también por la pérdida de confiabilidad en la operación de los equipos neumáticos. Estos resultados refuerzan la necesidad de establecer un programa riguroso de detección y control de fugas con el fin de reducir el impacto económico, mejorar la eficiencia operativa y garantizar la sostenibilidad del sistema en el largo plazo.

4.2.5 RESULTADOS DE PRUEBA DE FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO MINA

Con el objetivo de evaluar la magnitud de las pérdidas energéticas en el sistema de aire comprimido de la mina, se realizó una prueba de descarga y carga bajo condiciones controladas. La metodología consistió en medir la caída de presión cuando los compresores permanecieron apagados, seguida del tiempo requerido para restablecer la presión nominal una vez encendidos nuevamente.

Durante la fase de descarga; se registró una presión inicial de 90.16 PSI a las 06:04 a.m. la cual disminuyó hasta 43.49 PSI en un lapso de 23 minutos evidenciando la presencia de fugas significativas en la red. Posteriormente en la fase de carga el sistema requirió 47 minutos para recuperar la presión desde 43.49 PSI hasta 90.20 PSI. Lo que refleja un consumo adicional de energía por parte de los compresores para compensar las pérdidas. Ver figura 23.

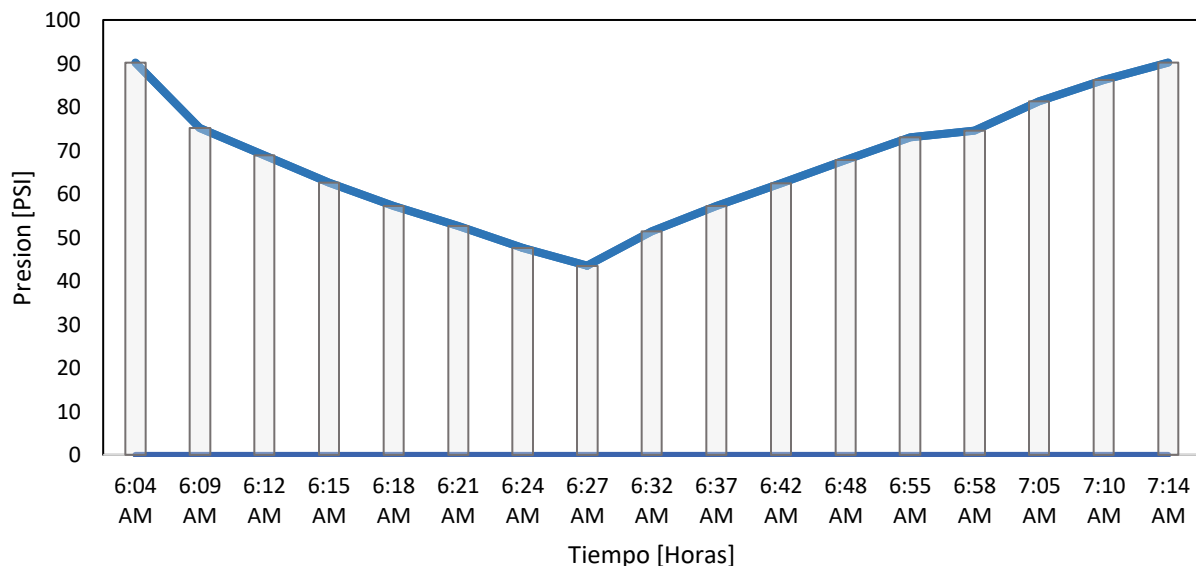


Figura 23: Grafico sobre descarga y carga del sistema de aire comprimido.



Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la figura anterior se puede apreciar la variación de presión en ambas fases, mostrando con claridad la rapidez de la descarga frente al tiempo prolongado necesario para la recuperación. Estos resultados confirman que las fugas representan un factor crítico en la eficiencia del sistema. Incrementando tanto el consumo energético como los costos operativos. Justifican la necesidad de implementar medidas de control y mantenimiento correctivo.

ANÁLISIS COMPRESOR IR RECIPROCANTE VRS COMPRESOR TORNILLO GARNER DENVER.



En este apartado se comparte el análisis comparativo de costos anuales de operación de compresores. Ver tabla 7, 8 y 9. Tomando como base los datos de placa (HP y CFM) para estimar desempeño energético y efectos operativos.

Tabla 7: Análisis comparative de costos anuales de operación de compresores Propuesta #1.

 <p>Figura 24: Compresor IR Fuente: Elaboración Propia (2025).</p>	 <p>Figura 25: Compresor de Tornillo Garner Denver Fuente: (Denver, 2025).</p>
<p>Compresor recíprocante IR 3.74 CFM/HP BHP= 350hp \$/kW = 0.19 Hrs/Yrs = 988 año 2024 m.e. = 95% \$/Yr = (350hp*0.746*0.19\$*988hrs/yr) /0.95 \$/Yr = 51,593.36\$</p>	<p>Compresor de tornillo Garner Denver 5CFM/Hp BHP=300hp \$/kW = 0.19 Hrs/Yrs = 988 año 2024 m.e. = 95% \$/Yr= (300hp*0.746*0.19\$*988hrs/yr) /0.95 \$/Yr= 44,222.88\$</p>
<p>Ahorro = 51,593.36\$ - 44,222.88\$ = 7,370\$ Diferencia de CFM = 1500 - 1310 = 190CFM (190CFM / 5CFM) * 1HP = 38hp = 5,601.56\$ Ahorro Total = 12,971\$ anual</p>	
<p>Compresor tipo Tornillo Potencia = 300hp Marca = Garner Denver Costo = 179,619\$ Retorno de inversión Costo compresor tornillo / ahorro anual RI = 179,619\$ / 12,971\$ RI = 13.8 años</p>	



Fuente: Elaboración propia (2025), con apoyo en la fórmula de cálculo de costos operativos presentada en el Anexo 10 y 11.

Tabla 8: Análisis comparativo de costos anuales de operación de compresores Propuesta #2.

 <p>Figura 26: Compresos IR Fuente: Elaboración Propia (2025).</p>	 <p>Figura 27: Compresor de Tornillo Garner Denver Fuente: (Denver, 2025).</p>
<p>Compresor reciprocante IR 3.74 CFM/HP BHP= 350hp \$/kW = 0.19 Hrs/Yrs = 8,187 Hrs año 2024 m.e.= 95% \$/Yr= (350hp*0.746*0.19\$*8,187hrs / yr) /0.95 \$/Yr= 427,525\$</p>	<p>Compresor de tornillo Garner Denver 5CFM/HP BHP=300hp \$/kW= 0.19 Hrs/Yrs= 8,187 Hrs año 2024 m.e.= 95% \$/Yr = (300hp*0.746*0.19\$*8,187hrs/yr) / 0.95 \$/Yr = 366,450\$</p>
<p>Ahorro = 427,525\$-366,450\$ = 61,075\$ Diferencia de CFM = 1500-1310 = 190CFM (190CFM/5CFM) *1HP = 38hp = 5,601.56\$ Ahorro Total=66,676\$ anual</p>	
<p>Compresor tipo Tornillo Potencia = 300hp Marca = Garner Denver Costo = 179,619\$ Retorno de inversión Costo compresor tornillo/ahorro anual RI = (179,619\$/108,257\$) RI = 2.6 año</p>	

Fuente: Elaboración propia (2025), con apoyo en la fórmula de cálculo de costos operativos presentada en el Anexo 10 y 11.

Tabla 9: Análisis comparative de costos anuales de operación de compresores Propuesta #3.

 <p>Figura 28: Compresor Joy Fuente: Elaboración Propia (2025).</p>	 <p>Figura 29: Compresor centrifugo IR Fuente: (Rand., 2016)</p>
<p>Compresor Centrifugo Joy 3.5cfm*hp BHP = 900hp \$/KW = 0.19 Hrs/Yrs = 8,187 Hrs año 2024 m.e.= 95% \$/yr = $(900hp * 0.746 * 0.19\\$ * 8,187hrs/yr) / 0.95$ \$/Yr = 1,099,350\$</p>	<p>Compresor centrifugo IR. 5cfm*hp BHP = 800hp \$/kW = 0.19 Hrs/Yrs = 8,187 Hrs año 2024 m.e. = 95% \$/yr = $(800hp * 0.746 * 0.19\\$ * 8,187hrs/yr) / 0.95$ \$/Yr = 977,200\$</p>
<p>Ahorro = $1,099,350\\$ - 977,200\\$ = 122,150\\$ Diferencia de CFM = $4000 - 3145 = 855CFM$ $(855CFM / 5CFM) * 1HP = 171hp = 208,876\\$ Ahorro Total = \$ 331,026 anual</p>	
<p>Compresor tipo Tornillo Potencia = 300hp Marca = Garner Denver Costo = 356,500\$ Retorno de inversión = Costo compresor Centrifugo/ahorro anual RI = $(356,500\\$) / 331,026\\$/anuales$ RI=1 año</p>	

Fuente: Elaboración propia (2025), con apoyo en la fórmula de cálculo de costos operativos presentada en el Anexo 10 y 11.

4.2.6 ANÁLISIS FINANCIERO

Con el propósito de evaluar la rentabilidad y viabilidad económica del proyecto de modernización del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito. Se desarrolla un análisis financiero integral. Sirviendo como base fundamental para la toma de decisiones relacionadas con la propuesta, al proporcionar indicadores objetivos que permiten determinar el nivel de rentabilidad, el tiempo de recuperación de la inversión y los beneficios económicos esperados a lo largo de la vida útil del proyecto. Ver anexos 12.

Tabla 10: Datos de análisis financiero

ANÁLISIS FINANCIERO	
Tarifa energía [\$/kWh]	0.19
Incremento en tarifa anual [%]	3%
Costo total de inversión [\$]	\$179,619
Inversión fondos propios [%]	30%
Inversión fondos propios [\$]	\$53,886
Deuda [%]	70%
Deuda [\$]	\$125,733
TREMA [%]	12.18%
Plazo de préstamo [años]	10
Ciclo de vida del proyecto [años]	15

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Los resultados obtenidos muestran diferencias relevantes entre los escenarios evaluados con y sin apalancamiento. En el escenario sin apalancamiento, el proyecto alcanza un Valor Presente Neto (VPN) de USD 374,789 una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 31% y un periodo de recuperación de la inversión (Payback) de 3 años. ver Tabla 11. Estos indicadores reflejan un proyecto rentable, con capacidad de generar beneficios sostenidos a lo largo de su vida útil.

Tabla 11: Resumen de resultados financieros sin apalancamiento

RESUMEN DE RESULTADOS FINANCIEROS	
Valor Presente Neto (VPN)	\$374,789
Tasa Interna de Retorno (TIR)	31%
Tiempo de Retorno de la inversión	3 años

Fuente: Elaboración Propia (2025).

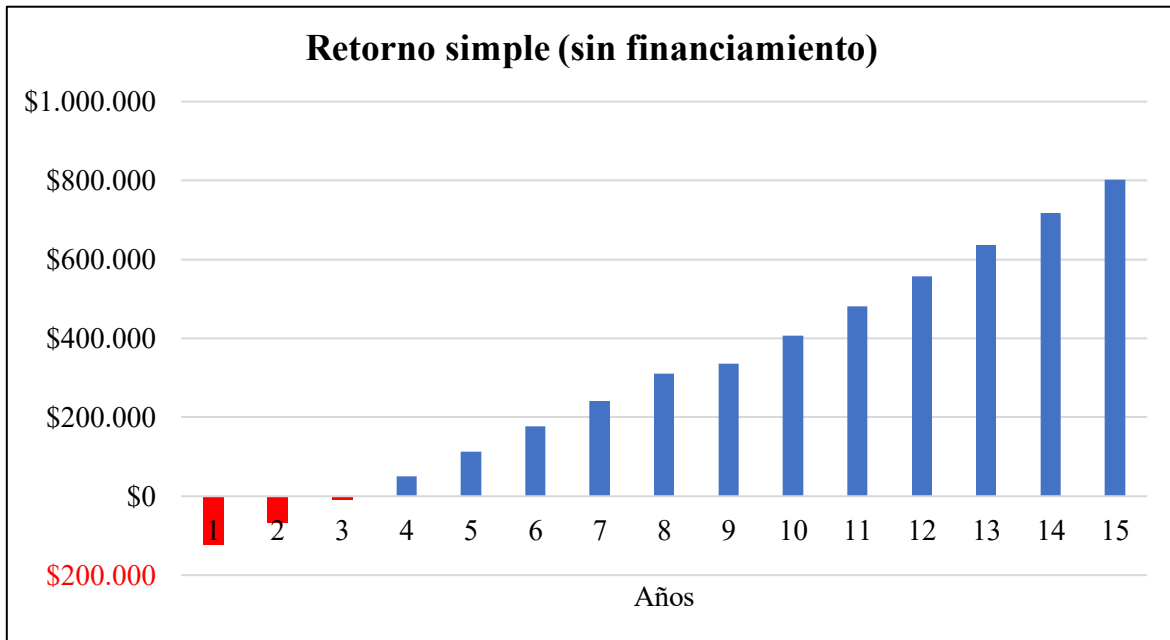


Figura 30: Retorno simple sin financiamiento

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Por su parte, en el escenario apalancado se obtiene un VPN de USD 249,056 una TIR del 66% y un tiempo de retorno de la inversión de un año. ver Tabla 12. Este escenario evidencia que el uso de financiamiento incrementa de forma significativa la rentabilidad relativa y reduce drásticamente el periodo de recuperación, siempre que se mantenga la capacidad de cumplir con los compromisos de deuda.

Tabla 12: Resumen de resultados financieros con apalancamiento

RESUMEN DE RESULTADOS FINANCIEROS	
Valor Presente Neto (VPN)	\$249,056
Tasa Interna de Retorno (TIR)	66%
Tiempo de Retorno de la inversión	1 años

Fuente: Elaboración Propia (2025).

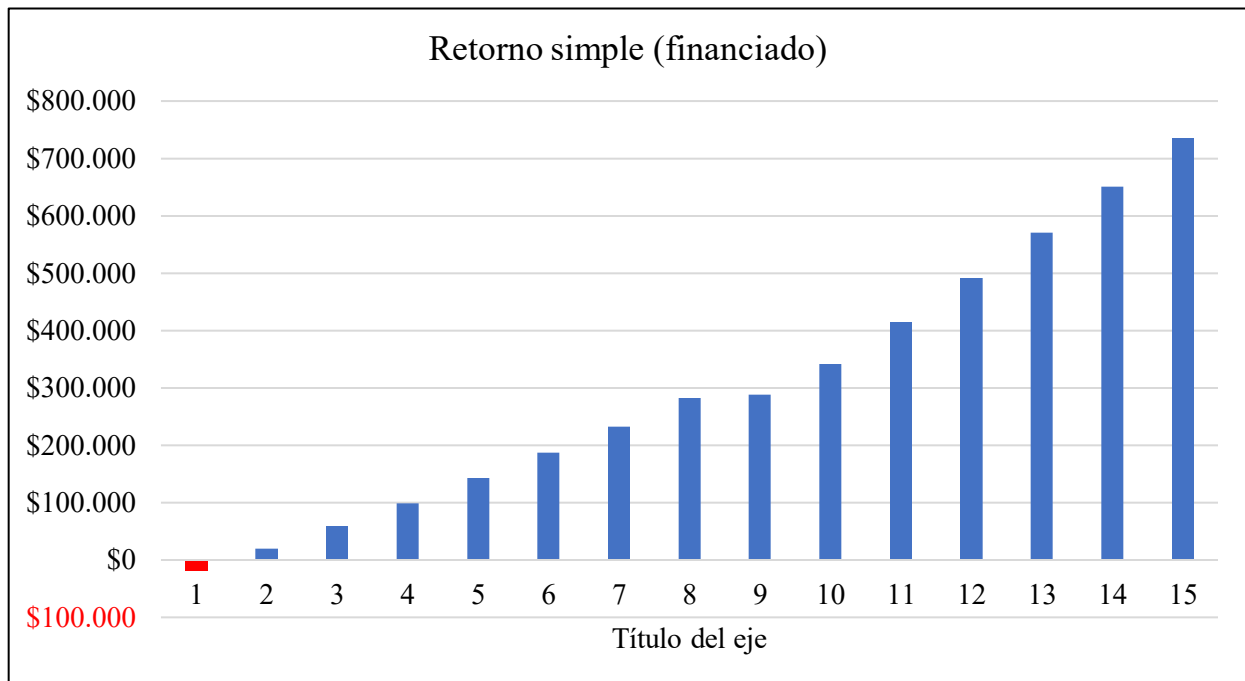


Figura 31: Retorno simple con financiamiento

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En términos comparativos, ambos escenarios resultan atractivos para la empresa. El proyecto, tanto financiado como no financiado, garantiza un retorno positivo y sostenido, con capacidad de generar ahorros energéticos y reducir costos operativos. Los gráficos de retorno simple (con y sin financiamiento). Ver figura 39 y 40. Muestran una tendencia creciente en los flujos acumulados, confirmando la sostenibilidad económica de la propuesta a lo largo de los 15 años de vida útil proyectados.

De acuerdo con estos resultados, el análisis financiero valida la factibilidad del proyecto, ya que los indicadores clave (VPN, TIR y Payback) superan ampliamente los criterios mínimos de aceptación (TREMA 12.18), consolidando la propuesta como una alternativa viable, rentable y estratégica para la operación de la mina.

4.2.7 RESULTADOS CUALITATIVOS

En este apartado se presentan los resultados cualitativos obtenidos a partir del análisis de la información recolectada durante el estudio. Para ello se empleó una matriz de decisión que permitió identificar y priorizar los criterios clave para evaluar el remplazo total o actualización tecnológica del sistema, tomando en cuenta las percepciones de los expertos encuestados. Ver anexo 7. Asimismo, se incorporan los hallazgos derivados de las visitas a campo las cuales aportaron evidencias sobre el estado actual de los equipos y las condiciones de operación.

4.2.7.1 ENTREVISTA DIRIGIDA A JEFATURAS

A continuación, se dan a conocer los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas a las jefaturas, con el propósito de conocer su perspectiva sobre la eficiencia del equipo, los costos de operación, la planificación de mantenimientos y las proyecciones de modernización. Sus aportes permiten complementar la visión técnica con un enfoque estratégico y de toma de decisiones. Destacando especialmente las siguientes preguntas clave (para consultar los resultados de las preguntas restantes, se hace referencia al anexo 9). En la pregunta; ¿Qué áreas y equipos son más afectados por falta de presión o suministro de aire? Los resultados son los siguientes:

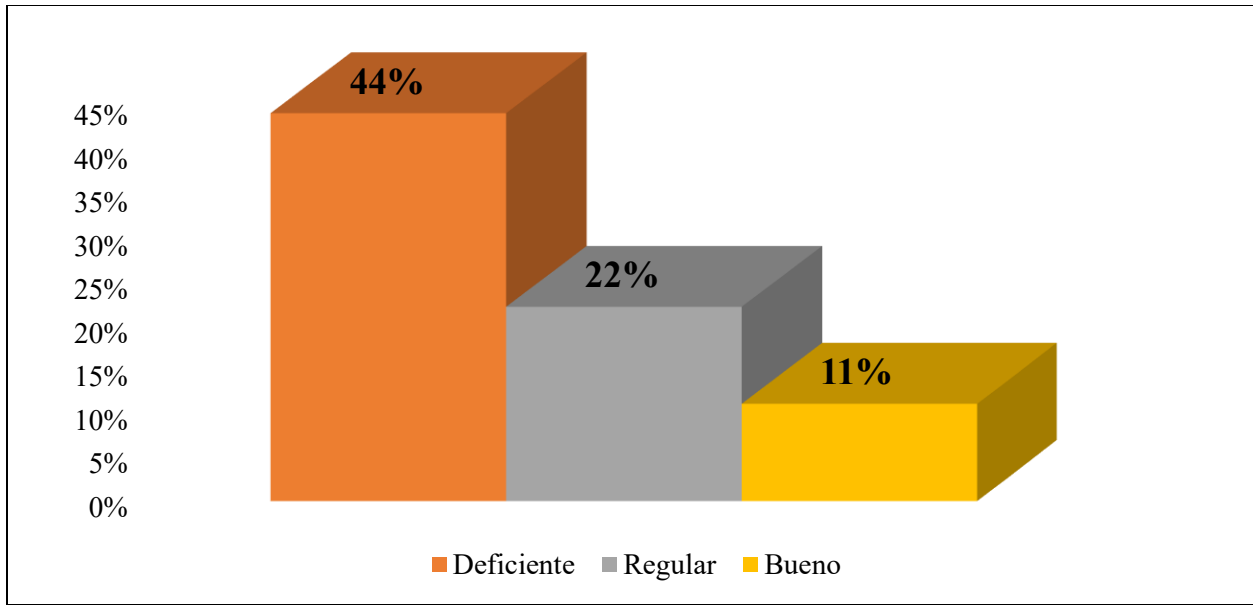


Figura 32: Evaluación general de la vida útil del sistema de aire comprimido.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Los resultados de la figura 32. Muestran que el 44% calificó el sistema como deficiente, un 22% como regular y solo el 11% como bueno. Esto evidencia que la mayoría percibe un desempeño limitado lo que respalda la necesidad de mejoras para garantizar mayor confiabilidad operativa. En la pregunta; ¿Como afectaría una solución modera la seguridad del personal? Los resultados son los siguientes:

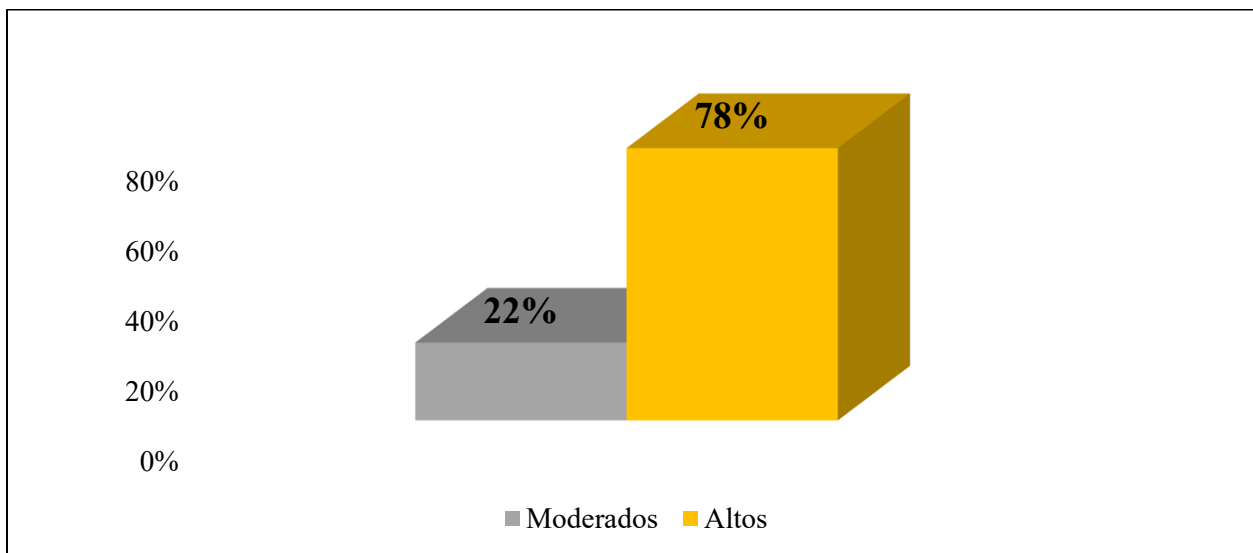


Figura 33: Impacto sobre la implementación de una modernización en el sistema de aire comprimido.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

La Figura 33. Indica que el 78% selecciona que mejoraría significativamente la seguridad, mientras que el 22% consideró que la transformaría completamente. Esto evidencia una expectativa clara de que la modernización tendría un efecto positivo directo en la protección del personal y en la reducción de riesgos laborales. En la pregunta; ¿Cómo considera los costos financieros implicados en el mantenimiento del sistema actual? Los resultados son los siguientes:

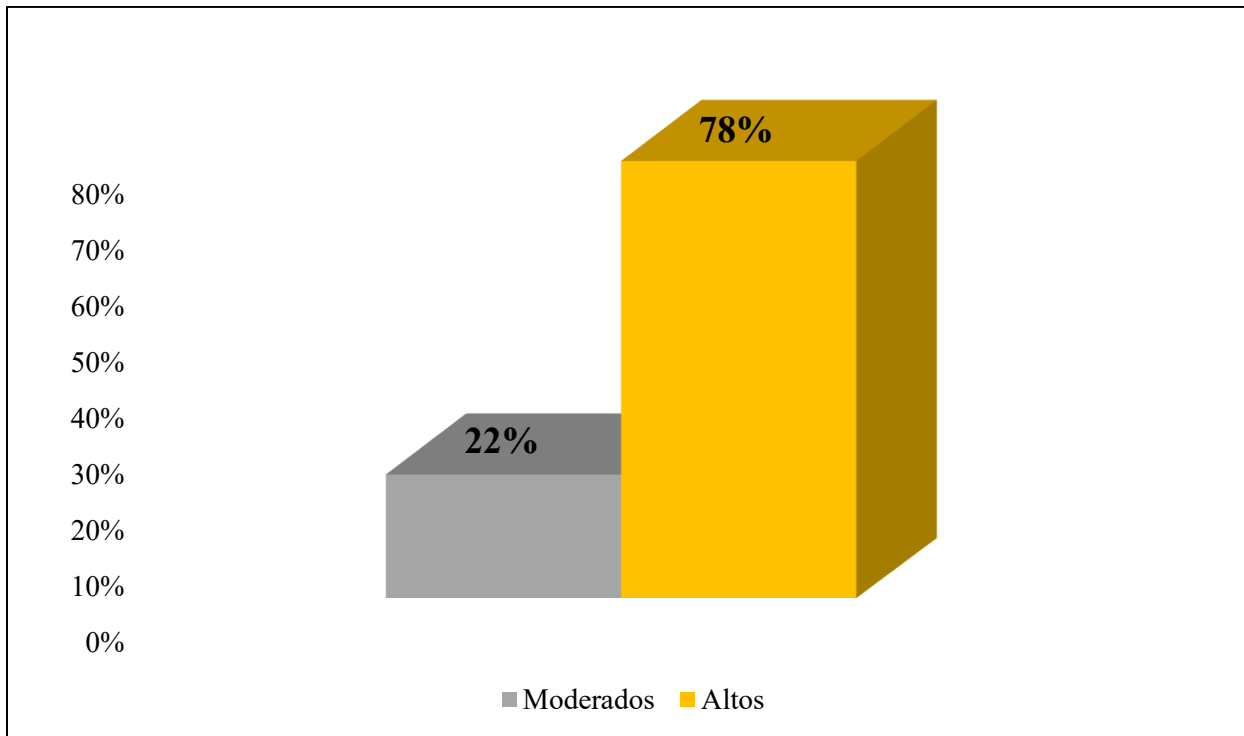


Figura 34: Costos financieros por mantenimiento del sistema actual.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la Figura 34. se observa que el 78% del personal encuestado considera que los costos de mantenimiento son altos, mientras que un 22% los percibe como moderados. Este resultado evidencia que el mantenimiento del sistema de aire comprimido representa un gasto significativo para la operación de la mina lo cual puede limitar la eficiencia en la gestión de recursos financieros. La concentración de opiniones en los niveles altos resalta la necesidad de evaluar alternativas tecnológicas que reduzcan la frecuencia y magnitud de estas inversiones optimizando así el presupuesto destinado a la sostenibilidad del sistema. En la pregunta; ¿? Los resultados son los siguientes:

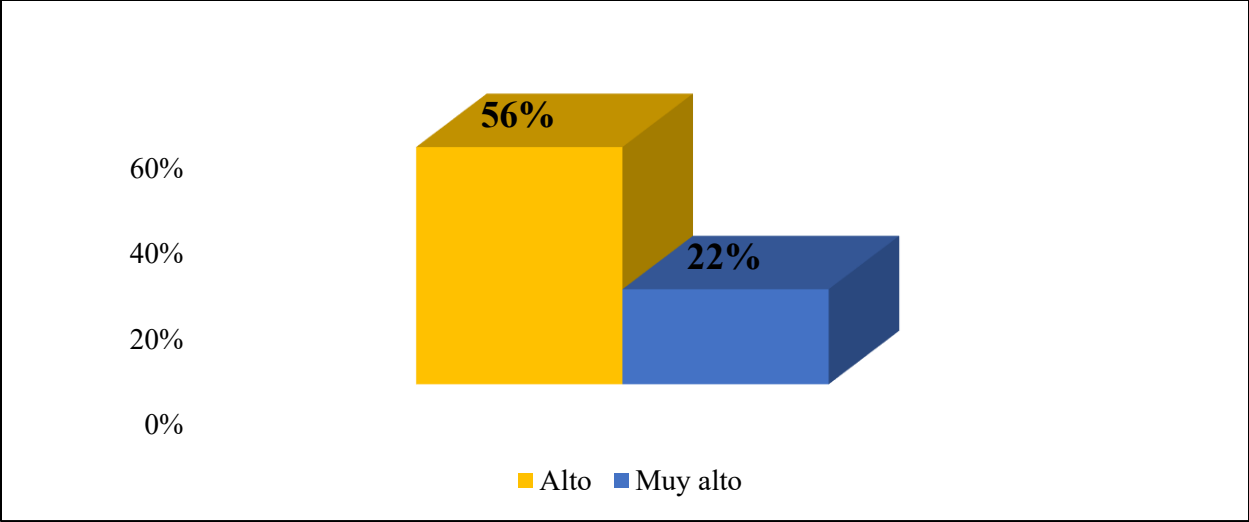


Figura 35: Costos de energía

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la Figura 35. se aprecia que el 56% de los encuestados señaló un impacto alto de los costos de energía en el presupuesto de operaciones, mientras que un 22% lo calificó como muy alto. Este resultado refleja que el consumo energético del sistema de aire comprimido constituye una carga significativa para la empresa lo que evidencia la urgencia de implementar medidas de eficiencia que permitan reducir el gasto eléctrico y mejorar la rentabilidad operativa. En la pregunta; ¿Cuál sería la inversión aproximada para una modernización parcial? Los resultados son los siguientes:

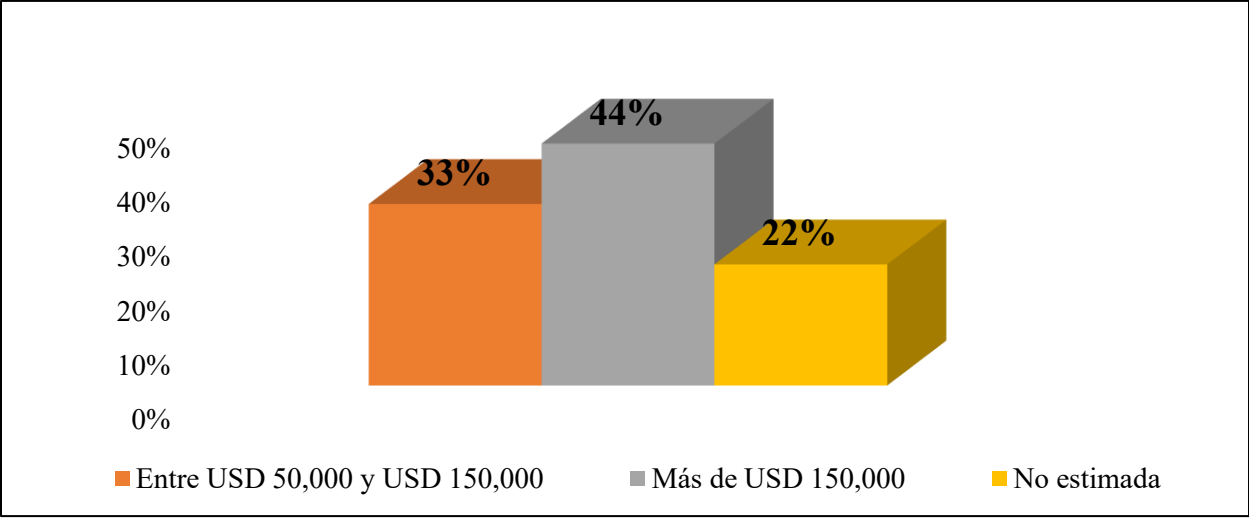


Figura 36: Estimación de inversión para una modernización parcial del sistema.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la Figura 36 se observa que el 44% de los encuestados estima un costo superior a USD 150,000, mientras que un 33% lo sitúa entre USD 50,000 y USD 150,000, Por su parte un 22% no tiene una estimación definida y ninguno consideró un valor menor a USD 50,000. Indican que la mayoría percibe la modernización como una inversión significativa. Lo que resalta la necesidad de un análisis financiero detallado para evaluar la viabilidad y los beneficios de implementar mejoras en el sistema. En la pregunta; ¿Qué beneficios financieros a corto y mediano plazo se esperan con la implementación de un sistema moderno? Los resultados son los siguientes:

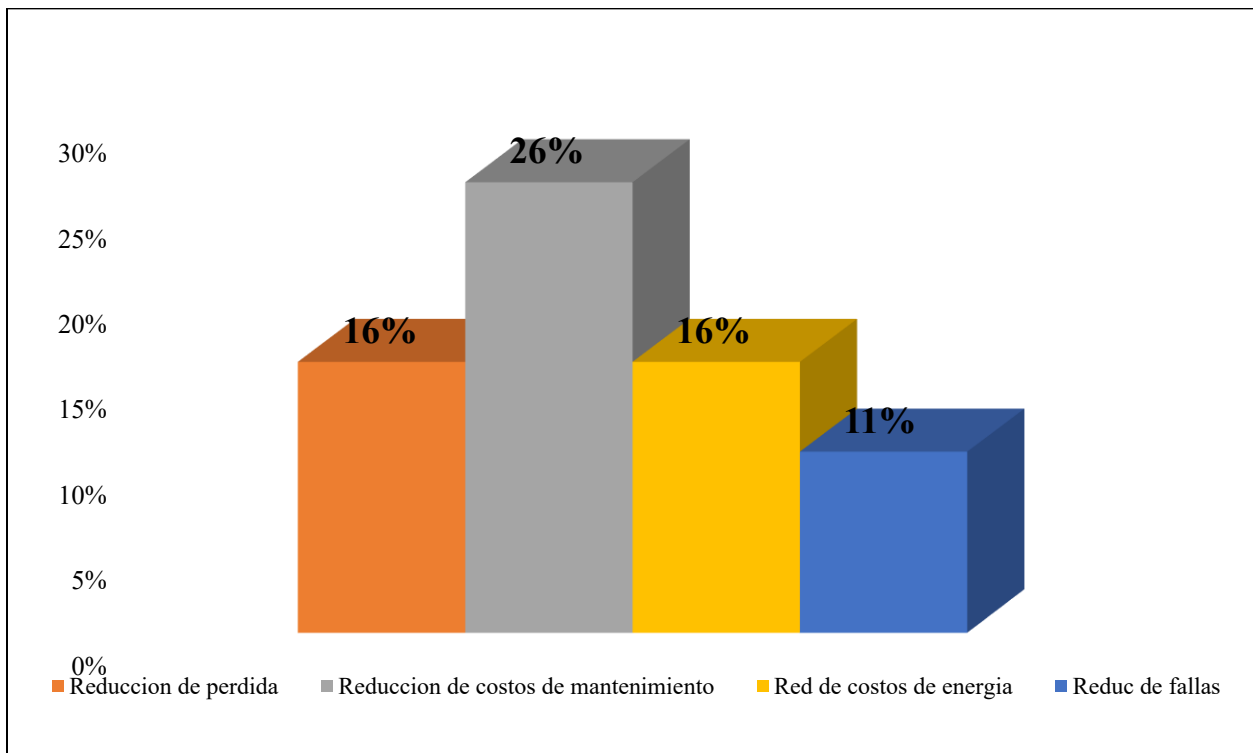


Figura 37: Beneficios financieros esperados con un sistema moderno.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la Figura 37. Se aprecia que el 26% de los encuestados considera como principal beneficio la reducción de costos de mantenimiento, mientras que un 16% menciona tanto la disminución de pérdidas como la reducción de costos de energía. Por su parte, un 11% señala la reducción de fallas. Estos resultados reflejan que la modernización del sistema no solo generaría ahorros directos en mantenimiento y energía. Sino que también contribuiría a mejorar la continuidad operativa al reducir pérdidas y fallas en el sistema. En la pregunta; ¿Se ha realizado alguna proyección financiera sobre el ahorro energético y operativo de un nuevo sistema? Los resultados son los siguientes:

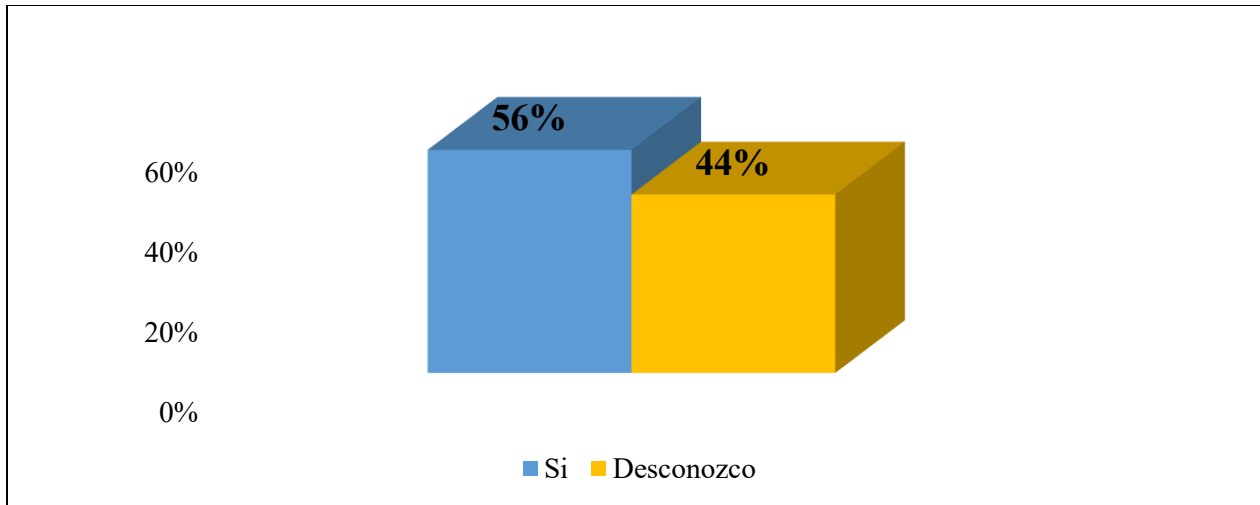


Figura 38: Proyección financiera sobre ahorro energético y operativo

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la Figura 38. Se observa que el 56% de los encuestados afirma que sí se ha realizado una proyección financiera sobre el ahorro del nuevo sistema, mientras que un 44% lo desconoce. Esto evidencia que más de la mitad cuenta con estimaciones claras de ahorro lo cual respalda la viabilidad económica de la modernización; sin embargo, la proporción que desconoce estos estudios refleja la necesidad de una mayor difusión de la información para fortalecer la toma de decisiones. En la pregunta; ¿Cómo afectan las deficiencias del sistema a la productividad general de la mina? Los resultados son los siguientes:

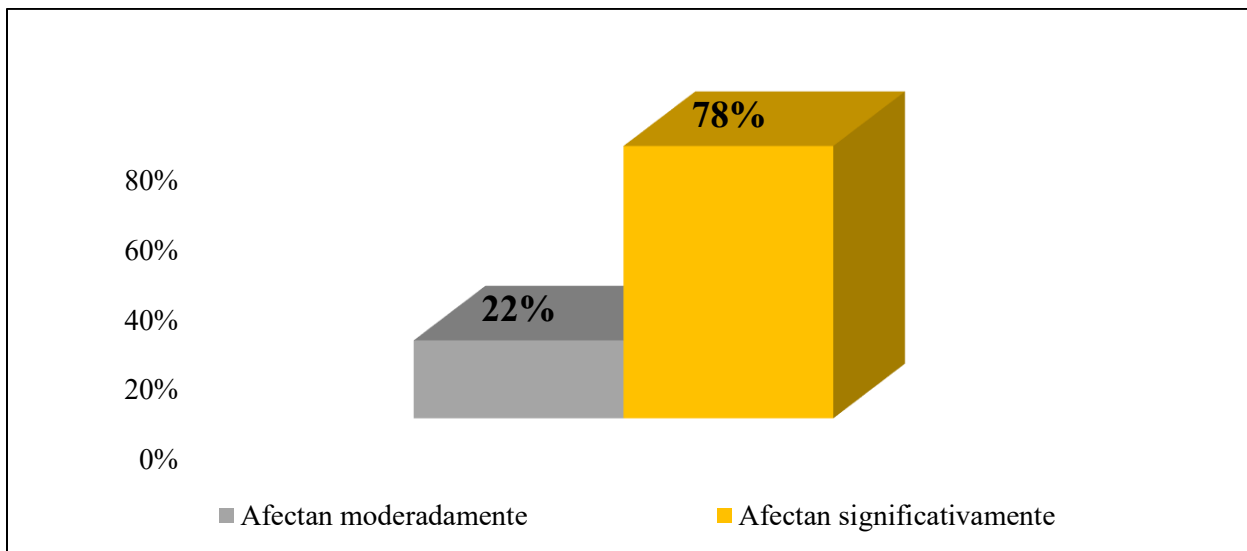


Figura 39: Cómo afecta las deficiencias del sistema a la producción.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

La Figura 39. Muestra que el 78% de los encuestados considera que las deficiencias del sistema afectan significativamente la productividad de la mina, mientras que un 22% las percibe con un impacto moderado. Evidenciando que el desempeño del sistema de aire comprimido constituye un factor crítico para la operación pues la mayoría coincide en que sus fallas reducen la eficiencia general y generan retrasos en los procesos productivos. En la pregunta ¿? Los resultados son los siguientes:

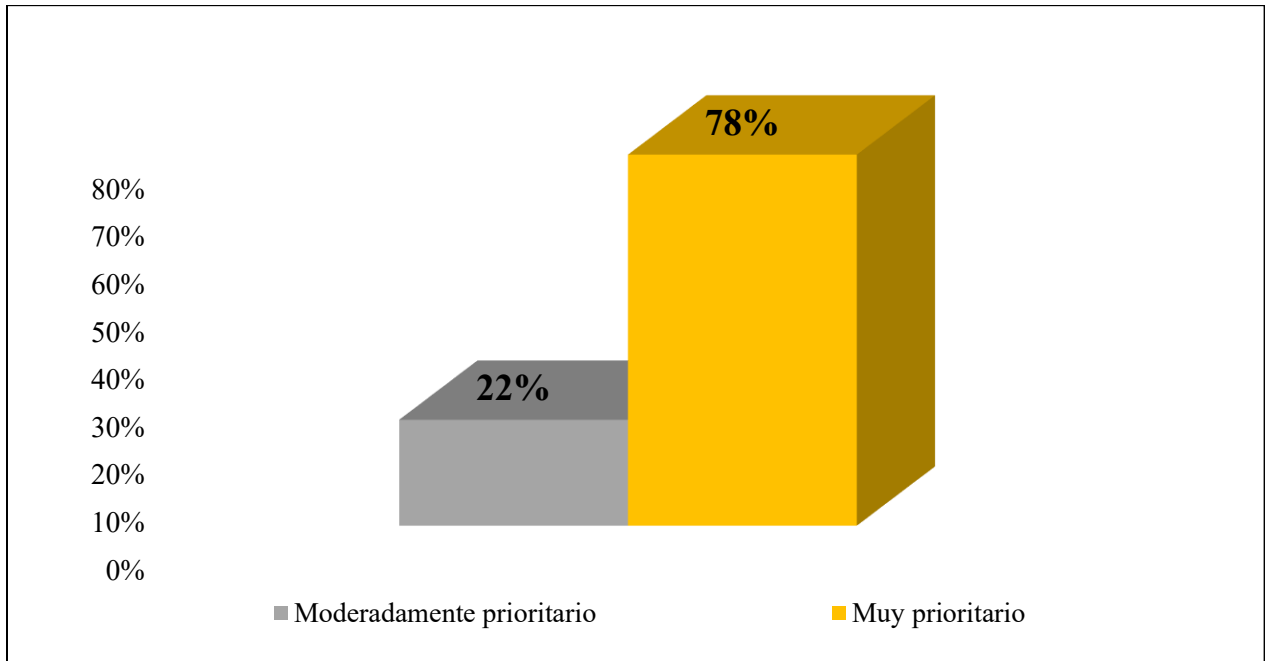


Figura 40: Sobre la priorización del proyecto dentro del plan estratégico.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la Figura 40. Se observa que el 78% de los encuestados considera la modernización del sistema como un proyecto muy prioritario, mientras que un 22% lo clasifica como moderadamente prioritario. Este resultado refleja un consenso en torno a la relevancia de la inversión, ya que la mayoría reconoce que el sistema actual representa un factor clave para la continuidad y eficiencia de las operaciones en la mina.

4.2.7.2 MATRIZ DE DECISIÓN

La siguiente matriz de decisión se elaboró a partir de las encuestas realizadas a las diferentes jefaturas de la empresa minera. En ella se mencionaron los criterios clave al momento de evaluar la decisión de reemplazo de compresores y la modernización del sistema de aire comprimido. Los valores representan la frecuencia con la que los encuestados asociaron cada criterio con un indicador que ellos compartieron.

Tabla 13: Matriz de decisión de los resultados obtenidos

Criterio evaluado	Criterio de Evaluación				
	20%	40%	60%	80%	100%
Costo					X
Tamaño				X	
Capacidad			X		
Cumplimiento de estándares		X			
Eficiencia del equipo					X

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Los resultados de la Tabla 13. Muestran que la elección entre el reemplazo total o la actualización tecnológica debe basarse principalmente en dos ejes prioritarios: la viabilidad económica (Costo) y el desempeño operativo (Eficiencia del equipo). Los cuales concentran el mayor nivel de importancia en la evaluación. No obstante, los criterios técnicos de capacidad, tamaño y cumplimiento de estándares también desempeñan un papel relevante; aunque presentan un peso menor, su consideración es indispensable para asegurar que la solución seleccionada sea sostenible en el tiempo y plenamente compatible con las condiciones operativas de la mina.

4.2.8 HALLAZGOS ENCONTRADOS EN LAS VISITAS A CAMPO

Durante las inspecciones realizadas en las diferentes áreas de la mina El Mochito se identificaron deficiencias críticas en la infraestructura de la red de distribución de aire comprimido. Evidenciadas en diferentes puntos de las tuberías y accesorios.

En la Figura 40 se muestran las condiciones actuales observadas en las visitas de campo, donde se aprecian fugas significativas, corrosión avanzada en válvulas, conexiones y tuberías de distribución, además de uniones con evidentes desgastes estructurales. Estas fallas no solo representan pérdidas energéticas por fugas constantes, sino también un incremento en los costos de operación debido al mayor esfuerzo de los compresores para mantener la presión requerida. Las observaciones permiten destacar los siguientes hallazgos:

Corrosión y desgaste de tuberías y válvulas: La falta de recubrimientos adecuados y la antigüedad de los materiales han acelerado el deterioro, comprometiendo la confiabilidad del sistema.

Fugas constantes en uniones y derivaciones: Se detectaron escapes visibles de aire que generan pérdidas energéticas considerables, confirmando los resultados de la prueba de descarga y carga del sistema. ver Figura 23.

Deficiencias en los sistemas de sujeción y soporte: En varias secciones, las tuberías presentan fijaciones improvisadas que no cumplen con estándares de seguridad, lo que incrementa el riesgo de fallas súbitas.

Impacto en seguridad y costos: Estas condiciones, además de limitar la eficiencia operativa, representan riesgos para la seguridad del personal y aumentan el gasto en mantenimiento correctivo.

Vibraciones excesivas de los compresores: Se identifico que las bases actuales no cuentan con un diseño que absorba de manera eficiente las vibraciones generadas durante la operación. Esto provoca micro fisuras en el concreto, desajustes en pernos de anclaje y acelerado desgaste en componentes, lo que a su vez incrementa los costos de mantenimiento y reduce la vida útil de los equipos.



Figura 41: Estado actual del sistema de aire comprimido de la mina

Fuente: Elaboración Propia (2025).

La evidencia obtenida en campo refuerza la necesidad de implementar un plan de modernización integral del sistema de aire comprimido, priorizando el reemplazo de líneas obsoletas, la instalación de accesorios con mayor resistencia a la corrosión y el establecimiento de un programa riguroso de mantenimiento preventivo.

4.2.9 ESTUDIO TÉCNICO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE BASES DE COMPRESORES

Dentro del proceso de modernización del sistema de aire comprimido, se considera fundamental no solo la sustitución de equipos, sino también el diseño adecuado de la infraestructura que los soportará de los compresores. En este sentido, el plano de la base del compresor representa una solución técnica que asegura estabilidad estructural, disminución de vibraciones y un montaje confiable para prolongar la vida útil de los equipos. Ver figura 42.

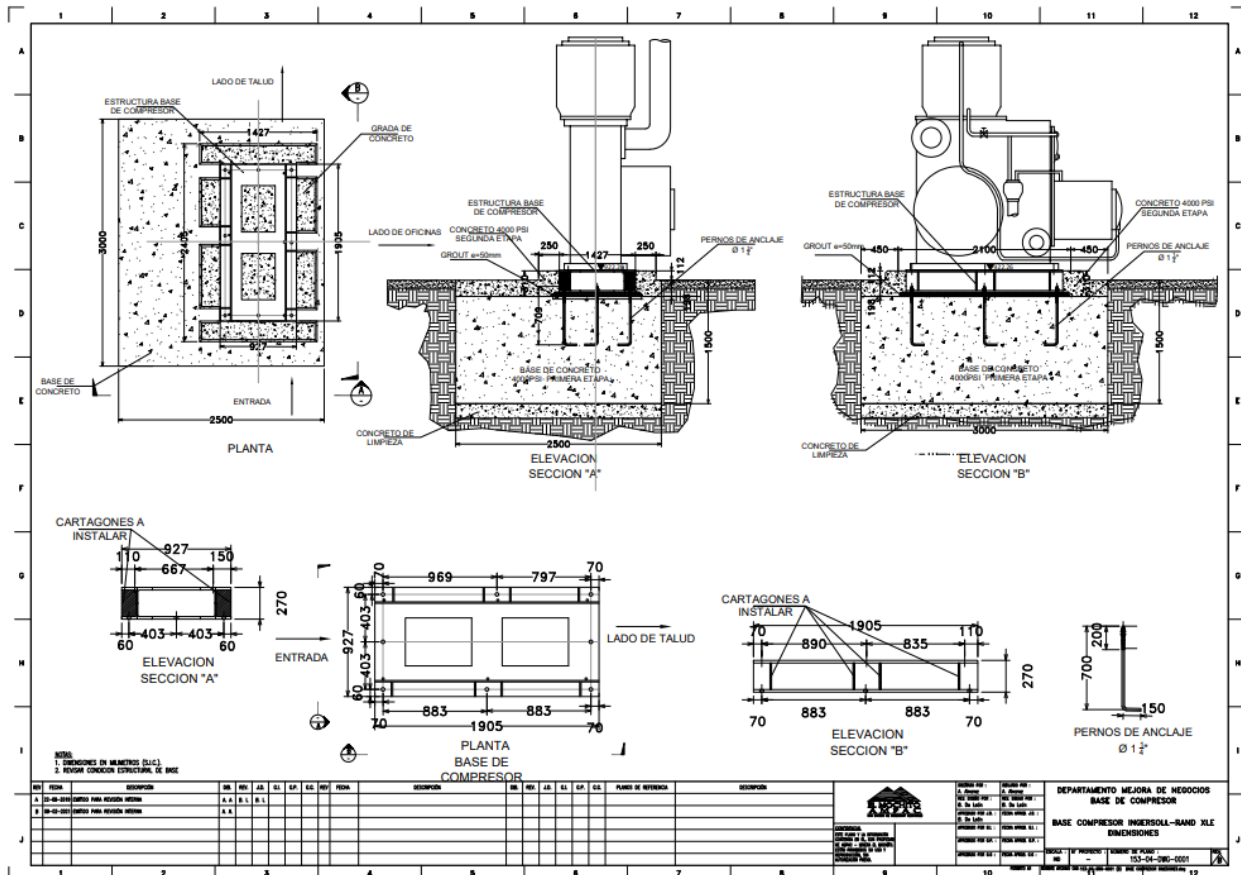


Figura 42: Diseño estructural de bases de compresores

Fuente: Elaboración propia, en colaboración con el área de ingeniería de la mina (2025),

Esta propuesta no solo responde a una necesidad técnica de instalación, sino que se convierte en una medida preventiva frente a los problemas que actualmente enfrentan los compresores por inadecuado soporte estructural. Su implementación contribuirá a mejorar la confiabilidad operativa del sistema de aire comprimido, disminuir los costos de mantenimiento correctivo y asegurar condiciones más estables para la operación de la mina.

4.3 ESTUDIO LEGAL Y AMBIENTAL REGULATORIO

La modernización del sistema de aire comprimido en Mina El Mochito se enmarca en una operación minera vigente, con permisos otorgados y licencia ambiental operativa. En consecuencia, las intervenciones propuestas (sustitución tecnológica de compresores, control de fugas y telemetría/SCADA) se gestionan como modificaciones al proyecto existente, manteniendo los compromisos de cumplimiento ambiental, seguridad ocupacional y reportes ante las autoridades competentes. El marco normativo aplicable asegura que cualquier mejora mantenga la trazabilidad legal, la protección ambiental y la seguridad de las personas trabajadoras. Ver tabla 14.

Tabla 14: Marco legal aplicable

N.º	Regulación / Autoridad	Decreto / Acuerdo	Temas clave	Aplicación específica al proyecto
1	Ley General del Ambiente	Decreto 104-93	Política ambiental nacional; control de contaminación; gestión de recursos	Base para mantener medidas de prevención, mitigación y monitoreo de la operación; sustenta la obligación de reportes y auditorías ambientales.
2	Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SINEIA)	Acuerdo 189/2009 y reforma 2019	Licenciamiento, categorización y modificaciones	La modernización se tramita como actualización/modificación del proyecto licenciado, sin requerir nueva licencia de inicio.
3	Ley General de Minería e INHGEOMIN	Decreto 238-2012 y reglamento 2013	Concesiones, obligaciones y fiscalización minera	Todo cambio que afecte capacidad o seguridad debe notificarse conforme al reglamento minero.
4	Reglamento Especial de Seguridad y Salud Ocupacional Minera	2018	Condiciones de trabajo, riesgos de ruido y presión	Exige controles de ruido, presión estable, mantenimiento seguro y capacitación en neumática.
5	Autoridad Ambiental (SERNA/MIAMBIENTE/DECA) y SLAS	Lineamientos institucionales	Competencia en EIA, licencias y actualizaciones	Acredita licencia vigente, canaliza modificaciones mediante actualizaciones del PMA en la plataforma SLAS.
6	Normativa municipal (Las Vegas, Santa Bárbara)	Planes y permisos municipales	Permisos de obra e instalación	Aplica en caso de obra civil menor, como bases o cuartos de compresores.

Fuente: Elaboración propia (2025)

4.3.1 SITUACIÓN DEL TÍTULO Y LICENCIAMIENTO AMBIENTAL

La unidad minera mantiene vigente su licencia ambiental de carácter permanente, la cual respalda legalmente la operación en curso y garantiza el cumplimiento de la normativa establecida por MIAMBIENTE/DECA. Las mejoras tecnológicas contempladas en el proyecto no implican una ampliación de la huella operativa ni un cambio en la categoría del licenciamiento, por lo que no se requiere la tramitación de una nueva licencia, sino únicamente la formalización de una modificación y actualización del expediente ambiental a través de la plataforma SLAS. Este proceso asegura que las innovaciones implementadas se enmarquen en la normativa nacional y que los compromisos adquiridos previamente con el Estado continúen vigentes, evitando cualquier riesgo de incumplimiento legal o de interrupción en las actividades de la mina.

Como parte de esta actualización, se incorpora una revisión integral del Plan de Manejo Ambiental (PMA), de las matrices de impactos residuales y del plan de monitoreo, ajustándolos a las nuevas condiciones derivadas de las mejoras tecnológicas. Estos documentos actualizados refuerzan las medidas de prevención, mitigación y compensación ambiental, asegurando la sostenibilidad de la operación minera y su compatibilidad con las normativas ambientales. De esta manera, se mantiene la continuidad de los compromisos previamente adquiridos, garantizando que la operación no solo cumpla con la legislación vigente, sino que también fortalezca su gestión ambiental a través de prácticas más eficientes, transparentes y acordes con los estándares internacionales.

4.3.2 COMPROMISOS Y EVIDENCIAS DE CUMPLIMIENTO

- 1) Plan de Manejo Ambiental actualizado con medidas de prevención y mitigación.
- 2) Monitoreo y reportes de variables operativas y ambientales.
- 3) Procedimientos de seguridad ocupacional conforme al Reglamento Especial Minero.
- 4) Manejo de residuos (aceites, filtros, trapos contaminados) conforme a normativas.
- 5) Comunicación permanente con INHGEOMIN y MIAMBIENTE para ajustes técnicos o regulatorios.

4.4 ANÁLISIS DE LAS HIPÓTESIS

Con base en los resultados obtenidos en las encuestas al personal técnico y jefaturas, las visitas en campo, los registros del sistema SCADA y el análisis financiero, se procede a comprobar las hipótesis planteadas en el Capítulo III. Ver tabla 15.

Tabla 15: comprobación de hipótesis de investigación

Hipótesis	Resultados obtenidos	Conclusión
HG: El mejoramiento del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito es técnica, económica y operativamente factible.	VAN positivo de hasta USD 699,242, TIR de 33% (sin apalancamiento) y 71% (con apalancamiento), payback \leq 3 años. El 100% del personal encuestado considera que la modernización mejorará la eficiencia.	Se Comprueba hipótesis HG.
H1: La infraestructura actual presenta deficiencias técnicas y operativas.	79% calificó el sistema como deficiente. Se identificaron fugas, corrosión y vibraciones en bases de compresores.	Se Comprueba hipótesis H1.
H2: El sistema presenta deficiencias en presión, energía y mantenimiento.	Caídas de presión hasta 50 psi, pérdidas por fugas de hasta USD 940,087 anuales, predominio de mantenimiento correctivo (64%).	Se Comprueba hipótesis H2.
H3: Las alternativas tecnológicas mejoran significativamente el desempeño del sistema.	Compresor de tornillo Garner Denver: ahorro anual de USD 113,093, ROI de 1.6 años. Integración de SCADA garantiza confiabilidad.	Se Comprueba hipótesis H3
H4: Las inversiones en alternativas se compensan con beneficios económicos y operativos.	Los ahorros en energía y mantenimiento superan la inversión inicial, con recuperación rápida y sostenida.	Se Comprueba hipótesis H4
H5: Las soluciones propuestas incrementan eficiencia energética y confiabilidad.	Compresores de tornillo + SCADA aseguran presiones estables, reducen fallas y emisiones indirectas de CO ₂ .	Se Comprueba hipótesis H5
H6: La modernización es factible desde un análisis financiero.	VAN positivo, TIR superior al costo de capital y payback corto (1 a 3 años).	Se Comprueba hipótesis H6

Fuente: Elaboración propia (2025)

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan conclusiones con base a los resultados del estudio de investigación de las variables analizadas en los capítulos anteriores, de igual forma se presentan las recomendaciones que han sido argumentadas en función de las mejores opciones para desarrollar el proyecto.

5.1. CONCLUSIONES

A continuación, se detallan las conclusiones más relevantes del proyecto de investigación, que generan recomendaciones listadas posteriormente.

1) Se Confirmó que la infraestructura actual del sistema de aire comprimido de la mina se encuentra en condiciones críticas: dos compresores principales provocan vibraciones excesivas y han sobrepasado su vida útil y las líneas de distribución presentan fugas significativas. Esto se reflejó en los resultados de campo, donde el 87% del personal encuestado afirmó que el sistema actual no responde a las demandas operativas, y el 92% señaló que las caídas de presión afectan la continuidad de las labores diarias de la operación de la mina.

2) Se determino que las principales deficiencias técnicas son; pérdidas energéticas por fugas de 1/4" representan pérdidas anuales de \$14,680, las de 1" alcanzan \$234,457 y fugas de 2" hasta \$940,087 anuales según la estadísticas generadas, presión insuficiente para cubrir las necesidades en áreas críticas debido a la elevada cantidad de fugas presentes la presión bajó 90.16 PSI a 43.49 PSI en solo 23 min, necesitando 47 min para recuperar la presión inicial, elevados costos de operación y mantenimiento correctivo recurrente como se indican en las encuestas donde, el 79% del personal calificó el sistema como deficiente, el 64% indico que el mantenimiento es correctivo, no preventivo, la alternativa del compresor de tornillo junto con la implementación de SCADA, respalda la hipótesis planteada.

3) Se demostró que el compresor de tornillo de nueva generación presenta una mejor relación de costo-beneficio frente al sistema actual, debido a su mayor eficiencia energética, menor costo de mantenimiento y mayor confiabilidad operativa. Esta ventaja se potencia al integrarse con un sistema SCADA, que permite monitoreo en tiempo real las variables, control automático de la demanda y mantenimiento predictivo. De manera complementaria, la percepción del personal encuestado coincide plenamente con estos hallazgos: el 100% de los participantes manifestó que la modernización tecnológica aumentaría la eficiencia del sistema y reduciría significativamente

las fallas.

4) Queda comprobado que la sustitución del compresor IR de 350 HP por un compresor de tornillo Garner Denver de 300 HP representa una opción técnica y económicamente viable. Bajo condiciones de operación reales de 8,187 horas anuales, esta alternativa genera un ahorro de USD 58,611 al año, con una inversión de USD 179,619.

5) Se determinó que la modernización del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito es factible técnica, económica y operativamente, con respaldo del 100% del personal encuestado. La sustitución del compresor IR de 350 HP por uno de tornillo Garner Denver de 300 HP permite un ahorro anual de USD 61,075 y un retorno de inversión de tres años, con un VAN positivo de USD 374,789 y una TIR de 31%. Este resultado adquiere mayor solidez financiera al superar ampliamente la Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva (TREMA) estimada en 12.18%, lo que confirma la conveniencia de la inversión. Además, la propuesta se alinea con el marco legal vigente en materia de seguridad industrial y eficiencia energética, y contribuye a la reducción de emisiones y ruidos, fortaleciendo el compromiso ambiental y la sostenibilidad de la mina.

5.1 RECOMENDACIONES

Basadas en las conclusiones, a continuación, se presentan las recomendaciones.

1) Se recomienda sustituir los compresores obsoletos, renovar la red de distribución y rehabilitar las bases estructurales de los compresores, a fin de garantizar estabilidad, seguridad y continuidad operativa.

2) El análisis técnico evidenció que los compresores de tornillo de alta eficiencia presentan mejor relación costo–beneficio frente a los equipos actuales, por lo que se recomienda su implementación como reemplazo de los compresor IR.

3) Para mejorar la confiabilidad del sistema y reducir las intervenciones de mantenimiento correctivo, se recomienda la integración de un sistema SCADA que permita monitoreo en tiempo real, control automático y mantenimientos.

4) Los resultados financieros proyectaron un ahorro anual de USD 113,093 y un retorno de inversión de 1.6 años con la sustitución del compresor IR de 350 HP por un compresor Garner Denver de 300 HP; por lo tanto, se recomienda priorizar esta alternativa como primera fase de modernización.

5) Al confirmarse un VAN positivo de hasta USD 374,789 y una TIR de hasta 66%, se recomienda ejecutar el proyecto de modernización de manera escalonada, asegurando un financiamiento flexible que no comprometa la capacidad de pago de la empresa.

VI. APLICABILIDAD

5.2 NOMBRE DE LA PROPUESTA

Plan de modernización del sistema de aire comprimido en la Mina El Mochito para mejorar la eficiencia energética, reducir costos operativos y garantizar la confiabilidad del suministro

5.3 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta de modernización del sistema de aire comprimido en la Mina El Mochito se justifica en función de las condiciones críticas identificadas en el análisis técnico, operativo y financiero. Actualmente, el sistema representa un elevado costo energético mensual que impacta significativamente el presupuesto operativo, agravado por pérdidas anuales por fugas que ascienden hasta USD 940,087, reflejando una ineficiencia estructural. A esto se suma la obsolescencia de los compresores IR, los cuales han superado su vida útil y generan riesgos de seguridad relacionados con niveles de ruido excesivos y presiones inestables que afectan tanto la productividad como la salud ocupacional del personal. Frente a este panorama, la modernización se presenta no solo como una necesidad técnica, sino también como una decisión estratégica respaldada por la viabilidad financiera comprobada. Lo que garantiza beneficios económicos sostenibles, mejora en la confiabilidad del sistema y un aporte directo a la eficiencia energética y la seguridad operacional de la mina.

5.4 ALCANCE DE LA PROPUESTA

El alcance de la propuesta contempla acciones técnicas y estratégicas orientadas a garantizar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de aire comprimido en la Mina El Mochito. En primer lugar, se plantea el reemplazo del compresor IR de 350 HP por un compresor de tornillo Garner Denver de 300 HP, cuya mayor eficiencia permitirá reducir costos energéticos y mejorar la confiabilidad operativa. De manera complementaria se propone el diseño de un plan integral de control y reducción de fugas de aire en la red neumática, con el fin de minimizar pérdidas energéticas y económicas asociadas a esta situación. Asimismo, se incluye la integración de un sistema SCADA que permitirá el monitoreo en tiempo real de variables críticas como presión, caudal y consumo eléctrico, brindando un mayor control operativo y facilitando la toma de decisiones. Finalmente, se contempla la implementación de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo, orientado a prolongar la vida útil de los equipos, reducir fallas no

programadas y asegurar la continuidad en las operaciones minera.

5.5 DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO A DETALLE DE LA PROPUESTA

La propuesta de modernización del sistema de aire comprimido en la Mina El Mochito tiene como propósito mejorar la eficiencia energética, reducir los costos operativos y garantizar la confiabilidad del suministro. Su diseño se fundamenta en la necesidad de disminuir gastos recurrentes, optimizar el uso de la energía y asegurar la continuidad de la operación minera. Para alcanzar estos objetivos se establecen cuatro componentes principales que integran el plan de acción: la sustitución de los compresores obsoletos, la implementación de un plan de control y reducción de fugas, la integración de un sistema SCADA para el monitoreo y control en tiempo real, y el establecimiento de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo. A continuación, se detalla el desarrollo de cada uno de estos componentes.

4.4.1 DESCRIPCIÓN

A continuación, se describe cada una de las acciones que se realizarán en la aplicabilidad del desarrollo del proyecto.

1) Sustitución de compresor: se llevará a cabo el reemplazo del compresor Ingersoll Rand de 350 HP debido a su antigüedad y baja eficiencia, por un compresor tornillo de 300 HP de alta eficiencia, el cual ha sido seleccionado basado en la demanda de la operabilidad de la mina y los beneficios que tendrá la mina El Mochito.

2) Control de fugas en la red: se pondrá en marcha un programa sistematizado para la detección, reparación y prevención de fugas utilizando tecnología de ultrasonido, tomando en cuenta los protocolos de inspección por periodos, así como un plan de acciones correctivas.

3) Integración de un sistema SCADA: se incorporará un sistema de telemetría que permita el monitoreo en tiempo real de presión, caudal y consumo eléctrico, brindando una base sólida para ejecutar mantenimientos predictivos, disminuir riesgos laborales por presión inestable y optimizar la eficiencia energética.

4) Programa de mantenimiento preventivo y predictivo: se establecerá un esquema estructurado de mantenimiento con cronogramas, inspecciones programadas y protocolos de seguridad. Este programa reducirá la dependencia del mantenimiento correctivo, prolongará la vida útil de los equipos y mitigará riesgos asociados a ruido y fallas súbitas.

4.4.2 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El desarrollo de la propuesta de modernización del sistema de aire comprimido en la Mina El Mochito. Se diseñan con base en los hallazgos del análisis técnico, operativo, financiero y legal, y buscan dar respuesta inmediata y sostenible a las deficiencias identificadas en el diagnóstico. Cada uno de ellos constituye una guía práctica que la institución podrá aplicar directamente para asegurar la eficiencia energética, la reducción de costos operativos y la continuidad del suministro de aire comprimido. A continuación, se detallan los elementos más relevantes:

1.5.2.1 CRONOGRAMA DEL PLAN ESTRATÉGICO

El cronograma del plan estratégico constituye la herramienta de planificación que organiza las actividades clave de la modernización del sistema de aire comprimido, definiendo responsables y tiempos de ejecución mediante un diagrama de Gantt que facilita el control y seguimiento del proyecto.

Tabla 16: Diagrama de Gantt del Plan Estratégico para diciembre 2025

Actividad	Responsable	MES										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Planificación, especificaciones y construcción de base de montaje	Dpto. Ingeniería y desarrollo	■	■	■								
Compra y sustitución de compresor	Finanzas, logística y Dpto. de ingeniería y desarrollo		■	■	■	■	■					
Plan integral de fugas	Dpto. de mantenimiento.				■	■	■	■	■			
Implementación SCADA	Dpto. Eléctrico					■	■	■	■			
Programa preventivo predictivo	Supervisor eléctrico y mecánico								■	■	■	■
Capacitación del personal	Dpto. Ingeniería y desarrollo									■	■	■

Fuente: Elaboración Propia (2025).

1.5.2.2 PLANES DE INTERVENCIÓN

Los planes de intervención tienen como finalidad establecer procedimientos claros y estructurados para responder ante situaciones críticas o no previstas que puedan comprometer la operación del sistema de aire comprimido. Su implementación permite reducir el tiempo de inactividad, mitigar riesgos para el personal y garantizar la continuidad del suministro. Estos planes se diseñan bajo un enfoque preventivo y correctivo, considerando la coordinación entre áreas de mantenimiento, operación, seguridad y supervisión.

Tabla 17: Planes de Intervención Propuestos

Escenario	Acción inmediata	Responsable	Medida correctiva
Falla total del compresor principal	Activar compresor de respaldo y notificar al supervisor	Operadores	Ejecución de mantenimiento correctivo y análisis de causa raíz
Pérdida de presión crítica en red	Activar alarmas SCADA y abrir válvulas de seccionamiento	Supervisor de turno	Revisión de fugas, balanceo de red y ajuste de caudal
Falla en instrumentación SCADA	Cambiar a operación manual y registrar evento en bitácora	Dpto. Eléctrico	Calibración/reemplazo de sensores y respaldo de datos
Retraso en órdenes de mantenimiento	Notificar a jefatura y priorizar en CMMS	Supervisor de mantenimiento	Reprogramación y auditoría de cumplimiento
Fugas de gran magnitud detectadas	Aislar ramal afectado y registrar en CMMS	Técnicos de mantenimiento	Reparación inmediata y actualización del plan de control de fugas
Emergencia por sobrecalentamiento	Apagar compresor, ventilar sala y activar protocolo de seguridad	Operadores / mecánicos	Verificación del sistema de ventilación y reinstalación de protecciones térmicas

Fuente: Elaboración Propia (2025).

1.5.2.3 DESARROLLO DE ESTRATEGIAS FINANCIERAS

Las estrategias financieras propuestas se enfocan en optimizar la inversión de capital (CAPEX), controlar los costos operativos (OPEX), estructurar un financiamiento equilibrado y gestionar los riesgos asociados a la modernización. La Tabla 17 resume los lineamientos estratégicos definidos, los cuales garantizan un uso eficiente de los recursos y la sostenibilidad del proyecto.

Tabla 18: Lineamientos Estratégicos

Línea de acción	Detalle	Responsable
Optimización del CAPEX	Negociación de compra del compresor, garantía extendida, contratos de mantenimiento preventivo y capacitación.	Gerencia de ingeniera
Control de OPEX	Reducir el consumo eléctrico (15-25%), disminución de fugas (50-70%), mantenimiento preventivo.	Supervisor de mantenimiento
Estructura de financiamiento	30% recursos propios, 70% financiamiento externo con crédito bancario	Gerencia general / Finanzas
Gestión de riesgos financieros	Fondo de contingencia (10%) del valor del compresor, revisión energética, control de ahorros reales.	Gerencia financiera

Fuente: Elaboración Propia (2025).

1.5.2.4 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

A partir de los análisis financieros confirman la viabilidad de la inversión, mostrando un VAN positivo, una TIR que superior a Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva (TREMA) estimada en 12.18% y un payback no mayor a tres años, además de un ahorro estimado de USD 58,611 anuales por eficiencia energética con la incorporación del nuevo compresor. Ver anexo 12.

Tabla 19: Resumen de Resultados Financieros sin Apalancamiento

RESUMEN DE RESULTADOS FINANCIEROS	
Valor Presente Neto (VPN)	\$374,789
Tasa Interna de Retorno (TIR)	31%
Tiempo de Retorno de la inversión	3 años

Fuente: Elaboración Propia (2025).

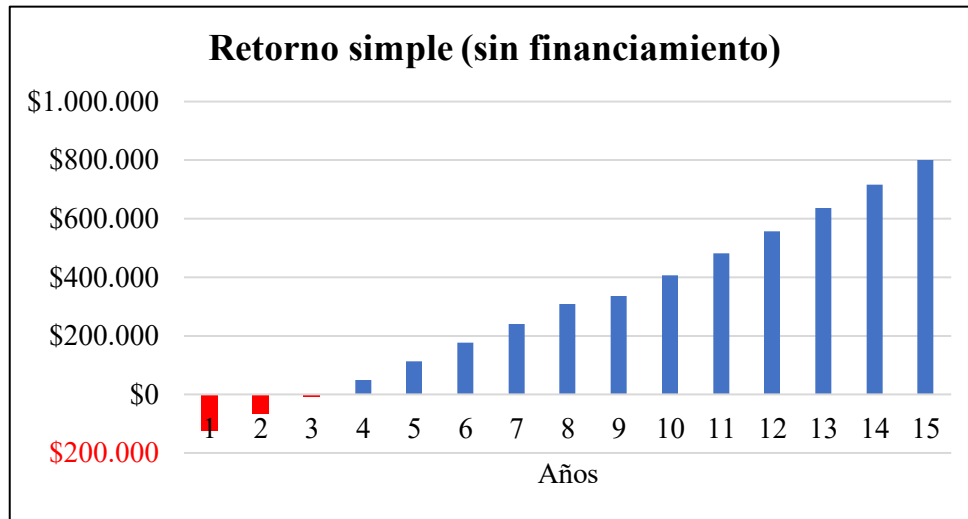


Figura 43: Retorno de la inversión sin apalancamiento

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Los resultados obtenidos muestran diferencias relevantes entre los escenarios evaluados con y sin apalancamiento. En el escenario sin apalancamiento, el proyecto alcanza un Valor Presente Neto (VPN) de \$374,789 una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 31% y un periodo de recuperación de la inversión (Payback) de 3 años. ver Tabla 19. Estos indicadores reflejan un proyecto rentable, con capacidad de generar beneficios sostenidos a lo largo de su vida útil.

Tabla 20: Resumen de Resultados Financieros con Apalancamiento

RESUMEN DE RESULTADOS FINANCIEROS	
Valor Presente Neto (VPN)	\$249,056
Tasa Interna de Retorno (TIR)	66%
Tiempo de Retorno de la inversión	1 años

Fuente: Elaboración Propia (2025).

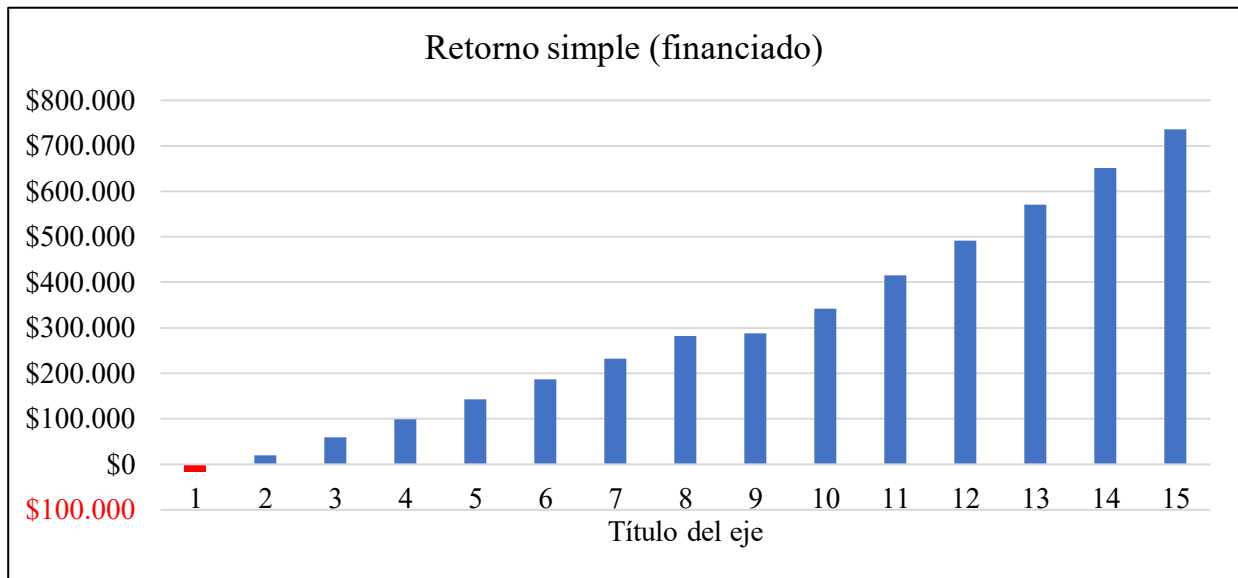


Figura 44: Retorno de la inversión con apalancamiento

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Por su parte, en el escenario apalancado se obtiene un VPN de \$249,056 una TIR del 66% y un tiempo de retorno de la inversión de apenas 1 años. ver Tabla 20. Este escenario evidencia que el uso de financiamiento incrementa de forma significativa la rentabilidad relativa y reduce drásticamente el periodo de recuperación, siempre que se mantenga la capacidad de cumplir con los compromisos de deuda.

En términos comparativos, ambos escenarios resultan atractivos para la empresa. El proyecto, tanto financiado como no financiado, garantiza un retorno positivo y sostenido, con capacidad de generar ahorros energéticos y reducir costos operativos. Los gráficos de retorno simple (con y sin financiamiento). Ver figura 43 y 44. Muestran una tendencia creciente en los flujos acumulados, confirmando la sostenibilidad económica de la propuesta a lo largo de los 15 años de vida útil proyectados.

De acuerdo con estos resultados, el análisis financiero valida la factibilidad del proyecto, ya que los indicadores clave (VPN, TIR y Payback) superan ampliamente los criterios mínimos de aceptación, consolidando la propuesta como una alternativa viable, rentable y estratégica para la operación de la mina.

Tabla 21:: Indicadores Financieros de Control.

Indicador	Meta / Control
Ahorro mensual neto (L/mes)	Mayor o igual al ahorro proyectado según VAN Y TIR
Eficiencia energética (kWh/m ³)	Reducción 15-25%
Cumplimiento de ROI (%)	Mayor o igual al 90% del proyectado
Cumplimiento TIR (%)	Mayores al 30% en los de los proyectado

Fuente: Elaboración Propia (2025).

1.5.2.5 DOCUMENTACIÓN Y MEJORA DE PROCESOS

Tiene como objetivo que las actividades críticas de operación, inspección y mantenimiento se estandaricen, asegurando la repetición y reducción de errores, estos documentos que se generan permitirán mejorar los procesos internos.

Tabla 22: Documentación y Mejora de Procesos

Acción	Detalle	Beneficio esperado
Procedimientos normalizados de operación (PNO)	Arranque y parada de compresores, conmutación de equipos y protocolos de emergencia.	Disminución de riesgos operativos y estandarización de prácticas.
Protocolos de mantenimiento	Check list semanal y mensual: lubricación, cambio de filtros y purgas de condensados.	Prolongación de la vida útil de los equipos y reducción de fallas inesperadas.
Gestión de fugas	Procedimiento de detección con ultrasonido, clasificación de fugas A/B/C y registro en CMMS.	Reducción de pérdidas energéticas y control sistemático de fugas.
Mejora de procesos	Flujo de órdenes de trabajo en CMMS, aplicación de roles RACI y reportes mensuales de desempeño.	Mayor disciplina operativa, trazabilidad de actividades y mejora continua.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

La estandarización de los procesos operativos y de mantenimiento se convierte en un pilar del plan estratégico de modernización, ya que asegura la coherencia entre la sustitución de equipos, la gestión de fugas, la integración del SCADA y la implementación de mantenimientos preventivos. Con ello, la mina contará con procedimientos claros, trazables y sostenibles que fortalecerán la confiabilidad del sistema de aire comprimido y optimizarán los recursos disponibles.

1.5.2.6 ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos tiene como objetivo identificar, clasificar y mitigar las amenazas técnicas, operativas y financieras que podrían afectar la implementación y operación del sistema de aire comprimido. La Tabla 20 presenta la matriz de riesgos, clasificada por tipo, nivel de impacto y las medidas de mitigación propuestas:

Los riesgos identificados se agrupan en tres categorías principales:

- 1) Riesgos técnicos: fallas del nuevo compresor, sobrecalentamiento por condiciones extremas de trabajo, pérdida de presión crítica en horas pico y fallas de instrumentación SCADA.
- 2) Riesgos operativos: dependencia de personal no capacitado, retrasos en la ejecución de órdenes de mantenimiento, fallas en protocolos de bloqueo/etiquetado (LOTO), errores en la detección de fugas y problemas de coordinación entre áreas.
- 3) Riesgos financieros: desviaciones respecto a los ahorros energéticos proyectados, incremento en costos de repuestos, incumplimiento del ROI esperado, variación en la tarifa eléctrica o en condiciones de financiamiento.

Tabla 23: Matriz de Riesgos

Riesgo	Tipo	Impacto	Medidas de mitigación
Falla del nuevo compresor	Técnico	Alto	Redundancia con equipos auxiliares, stock de repuestos críticos, contrato de servicio con proveedor.
Pérdida de presión crítica en horas pico	Operativo	Alto	Alarmas SCADA, protocolos de emergencia y válvulas de seccionamiento estratégicas.
Fallas de instrumentación SCADA	Técnico	Medio	Mantenimiento preventivo, calibración periódica y respaldo de sensores.
Retrasos en órdenes de mantenimiento	Operativo	Medio	Uso de CMMS, programación preventiva, check list estandarizados.
Sobrecalentamiento del compresor	Técnico	Medio	Ventilación forzada en sala de compresores y monitoreo térmico.
Dependencia de personal no capacitado	Operativo	Alto	Programa de capacitación continua y manuales de operación.
Incremento en costos de repuestos	Financiero	Medio	Contratos de suministro con proveedores y compras anticipadas.
Incumplimiento del ROI esperado	Financiero	Alto	Escenarios de simulación financiera y revisión anual de estrategia.
Variación en tarifas eléctricas	Financiero	Medio	Negociación de contratos energéticos y búsqueda de eficiencia adicional.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

1.5.2.7 PLAN DE CAPACITACIÓN

El plan de capacitación busca garantizar que el personal de mantenimiento, operativo y de supervisión cuente con las competencias necesarias para operar y mantener el sistema de aire comprimido bajo condiciones de seguridad, eficiencia y confiabilidad. La formación está diseñada de manera diferenciada según los roles del personal, incluyendo aspectos técnicos, operativos y de gestión. Además, incorpora evaluaciones periódicas y sesiones prácticas en campo, con el fin de asegurar la transferencia efectiva del conocimiento y la actualización constante frente a nuevas tecnologías.

Tabla 24: Plan de Capacitación

Grupo	Contenido	Frecuencia
Operadores	<ul style="list-style-type: none"> - Arranque y parada de compresores - Interpretación de alarmas SCADA - Protocolos de emergencia - Seguridad industrial aplicada (EPP, LOTO) 	Actualizaciones anuales
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección y control de fugas - Mantenimiento preventivo - Análisis predictivo (vibraciones, aceite y termografía) - Gestión de órdenes en CMMS 	Semestral
Supervisión / Ingeniería	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de dashboards e indicadores - Interpretación de KPI's - Generación de reportes de desempeño - Análisis de eficiencia energética y benchmarking 	Trimestral
Seguridad y medio ambiente (opcional)	<ul style="list-style-type: none"> - Protocolos de bloqueo/etiquetado (LOTO) - Manejo de residuos (aceites, filtros) - Normativa ambiental y minera aplicable 	Anual

Fuente: Elaboración Propia (2025).

5.6 MEDIDAS DE CONTROL

Con el propósito de cumplir y garantizar la eficacia y eficiencia de la propuesta, se establecen los indicadores de desempeño, su periodicidad de medición, las herramientas de recolección de datos y los límites aceptables.

Tabla 25:: Indicadores Propuestos y Medición.

Indicador	Meta	Frecuencia de Medición	Límite / Alerta	Responsable
Energía específica (kWh/m ³)	Reducción de 15–25 % respecto a la línea base.	Diaria (SCADA), consolidación mensual.	Alerta si supera el percentil 95 del histórico reciente.	Dpto. Eléctrico
Estabilidad de presión (%)	≥ 97 % del tiempo dentro de la banda de 6.2 ± 0.2 bar.	Continua (SCADA), análisis semanal.	Incidente si cae por debajo de 90 %.	Jefe de Planta Diésel
Tasa de fuga (%)	Reducción ≥ 50 % en seis meses, ≥ 70 % en doce meses.	Mensual (prueba), trimestral (auditoría con ultrasonido).	Alerta si se incrementa un 10 % respecto al mes anterior.	Dpto. Mantenimiento
Disponibilidad operacional (%)	≥ 98 %.	Mensual (CMMS).	Incidente si es < 96 %.	Jefe de Planta Diésel
Horas de paro no planificado (h/mes)	Reducción de 30 % en seis meses y 50 % en doce meses.	Mensual.	Alerta si supera el percentil 75 histórico.	Jefe de Planta Diésel
Cumplimiento de mantenimiento preventivo (%)	≥ 95 %.	Semanal y mensual (CMMS).	Alerta si es < 90 %.	Jefe de Mantenimiento
Ahorro económico (L/mes)	Coherente con VAN positivo y TIR superior al 30 %.	Mensual (consolidación), trimestral (validación).	Alerta si la desviación es > 10 %.	Finanzas
Cumplimiento de SOPs (%)	≥ 95 %.	Auditoría mensual.	Alerta si es < 90 %.	Jefe de Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Tabla 26: Cronograma de monitoreo y reporte

Frecuencia	Fuentes de Datos	Tareas Clave	Responsables
Diaria	SCADA	Monitoreo de energía específica.	Ingeniería/Energía
Semanal	SCADA, CMMS	Análisis de estabilidad de presión. Seguimiento de cumplimiento de mantenimiento.	Jefe de Operaciones, jefe de Mantenimiento
Mensual	SCADA, CMMS, Registros de auditoría, Registros financieros	Consolidación y análisis de todos los KPIs: energía, fugas, disponibilidad, paros, cumplimiento de mantenimiento, ahorro económico, y cumplimiento de SOPs.	Múltiples (jefes de Mantenimiento, Operaciones, Ingeniería/Energía y Finanzas)
Trimestral	CMMS, Registros financieros, Auditorías de fugas	Auditoría de fugas con ultrasonido. Validación de ahorros económicos. Revisión ejecutiva de resultados.	Finanzas, Gerencia, Ingeniería/Energía

Fuente: Elaboración Propia (2025).

5.7 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN Y PRESUPUESTO

El cronograma de implementación constituye una herramienta fundamental para asegurar la correcta planificación, ejecución y seguimiento de cada una de las actividades necesarias en el proceso de modernización del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito. Su diseño busca establecer un orden lógico y secuencial de las fases, desde la presentación de la propuesta y la evaluación inicial hasta la instalación, pruebas, ajustes y finalización del proyecto.

Tabla 27: Cronograma de Implementación

Fase	Actividad	Duración	Responsable	Fecha estimada
Propuesta y Evaluación	Presentación formal de la propuesta a gerencia y aprobación del presupuesto	1 semana	Dpto. Proyectos, Finanzas	Dic 2025
	Evaluación técnica del sistema actual y priorización de acciones	2 semanas	Dpto. Proyectos, Mantenimiento	Ene 2026
	Revisión de factibilidad financiera (VAN, TIR, Payback)	1 semana	Dpto. Finanzas	Ene 2026
Diagnóstico inicial	Levantamiento de información de red neumática y compresores existentes	2 semanas	Dpto. Proyectos, Mantenimiento	Ene 2026
	Detección de fugas con ultrasonido y registro en SCADA	1 semana	Dpto. Proyectos, Operaciones	Ene 2026
Capacitación	Taller de operación del compresor de tornillo (teórico-práctico)	1 semana	Proveedor, Dpto. Proyectos	Feb 2026
	Entrenamiento en uso de software SCADA y protocolos de monitoreo	1 semana	Dpto. Proyectos	Feb 2026
	Capacitación en plan de control y reparación de fugas	1 semana	Jefatura de Mantenimiento	Feb 2026
Ejecución	Proceso de licitación/compra del compresor Garner Denver de 300 HP	3 semanas	Compras, Finanzas	Feb–Mar 2026
	Obras civiles y construcción de bases de instalación	2 semanas	Contratista, Dpto. Proyectos	Mar 2026
	Instalación del nuevo compresor	2 semanas	Proveedor, Mantenimiento	Mar 2026
	Integración del sistema SCADA (sensores, caudalímetros, PLCs)	2 semanas	Dpto. Proyectos, TI	Abr 2026
	Ejecución del programa de control de fugas	4 semanas	Mantenimiento	Abr–May 2026

Fuente: Elaboración Propia (2025).

continuación Tabla 28: Cronograma de Implementación

Fase	Actividad	Duración	Responsable	Fecha estimada
Evaluación	Pruebas de arranque del compresor y validación de parámetros eléctricos	1 semana	Dpto. Proyectos, Proveedor	May 2026
	Pruebas de caudal, presión y eficiencia energética	2 semanas	Dpto. Proyectos, Operaciones	May 2026
	Evaluación de ahorro energético vs línea base	1 semana	Dpto. Finanzas, Energía	May 2026
Ajustes y Finalización	Ajustes correctivos en parámetros de operación	1 semana	Dpto. Proyectos, Proveedor	Jun 2026
	Optimización del SCADA y generación de reportes automáticos	1 semana	Dpto. Proyectos, TI	Jun 2026
	Informe final de cierre y entrega de resultados	1 semana	Dpto. Proyectos, Gerencia	Jun 2026

Fuente: Elaboración Propia (2025).

5.8 PRESUPUESTO E IMPACTO DEL PRESUPUESTO

El presupuesto es un elemento clave para dimensionar los recursos necesarios y asegurar la correcta ejecución del proyecto. Incluye los principales rubros de inversión en equipos, tecnología, capacitación y soporte, integrando tanto la compra del compresor de tornillo de 300 HP como las obras civiles, la implementación del sistema SCADA, el programa de control de fugas, la formación del personal y un fondo de contingencia.

La inversión inicial (CAPEX) asciende a USD 197,938.00, monto que respalda la modernización del sistema y sienta las bases para proyectar el retorno de la inversión (ROI), sustentado en ahorros energéticos, reducción de pérdidas y mayor confiabilidad operativa en la mina El Mochito.

Tabla 29: Distribución de costos para el mejoramiento del Sistema de Aire Comprimido

Actividad	Costo estimado (USD)
Adquisición de compresor de tornillo 300 HP	179,619.000\$
Obras civiles y bases de instalación	2,500.00\$
Implementación de sistema SCADA	200.00\$
Programa de control de fugas	4,000.00\$
Capacitación técnica y operativa	1,000.00\$
Fondo de contingencia (10%)	10,619.00\$
Total	197,938.00\$

Fuente: Elaboración Propia (2025).

5.9 CONCORDANCIA DE LOS SEGMENTOS DE LA TESIS CON LA PROPUESTA

Tabla 30: Matriz de Concordancia.

Título	Capítulo I		Capítulo II	Capítulo III		Capítulo IV	Capítulo VI		
	General	Específico	Teorías/ Metodología a de sustento	Variables	Poblaciones	Técnicas	Conclusiones	Nombre de la propuesta	Objetivo de la propuesta
Estudio de factibilidad para el mejoramiento del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito	Evaluar la factibilidad técnica, económica y operativa del mejoramiento del sistema del aire comprimido en la mina el Mochito, con el propósito de garantizar un suministro eficiente, confiable y sostenible que responda a las necesidades actuales y futuras de las operaciones mineras.	Evaluar el estado actual del servicio de aire comprimido de la mina el Mochito, identificando sus principales limitaciones técnicas, operativas y el comportamiento general de la infraestructura en las condiciones actuales de la operación.	Teoría de la Justificación Económica de Proyectos de Capital (Capital Budgeting), que permite valorar el impacto de las deficiencias técnicas y operativas en términos de costos y eficiencia.	Estudio Técnico	La población total de la Mina El Mochito está conformada por 1,500 empleados directos e indirectos de los cuales la muestra tomada es de 43 colaboradores entre ingenieros, técnicos y personal operativo vinculados al sistema de aire comprimido. Se excluye al personal administrativo y de apoyo equivalente a 12 personas, debido a que no tienen relación directa con el funcionamiento, operación y mantenimiento del sistema; dando como resultado final una población total de 31 personas.	Entrevistas realizadas en campo a personal técnico, jefaturas, gerentes de la mina. visitas a campo, observación directa, pruebas de campo y análisis de datos (bitácoras y SCADA).	Se comprobó que el sistema de aire comprimido presenta compresores obsoletos, fugas críticas y caídas de presión que, según el 92% del personal, afectan la continuidad operativa de la mina.	Control de fugas en la red.	Disminuir pérdidas energéticas y mejorar la eficiencia del sistema mediante la detección y reparación de fugas.
		Análisis de las principales deficiencias del sistema actual en cuanto a presión, consumo energético y mantenimiento para determinar cómo estas están afectando eficiencia y continuidad de las actividades mineras.	La Teoría de la Optimización de Procesos busca mejorar la eficiencia y reducir costos mediante el análisis y ajuste de actividades, recursos y tecnologías, asegurando mayor productividad y sostenibilidad...				Se determinó que las principales deficiencias técnicas son; pérdidas energéticas por fugas, presión insuficiente para cubrir las necesidades en áreas críticas, elevados costos de operación y mantenimiento correctivo recurrente.	Programa de mantenimiento preventivo y predictivo.	Prolongar la vida útil de los equipos y reducir fallas mediante inspecciones y mantenimientos programados.
		Identificar y analizar opciones tecnológicas viables para la mejora o sustitución del sistema existente de la mina.	Teorías de la Automatización y Mecanización Industrial: Plantean que la incorporación de sistemas automatizados y equipos mecanizados mejora la productividad, reduce errores humanos, optimiza el control de procesos y aumenta la seguridad y confiabilidad operativa.				Se determinó que el compresor de tornillo de nueva generación ofrece mejor costo-beneficio por su eficiencia, menor mantenimiento y confiabilidad, ventajas reforzadas con el sistema SCADA. El 100% del personal encuestado respaldó que esta modernización aumentaría la eficiencia y reduciría fallas.	Integración de un sistema SCADA.	Monitoreo en tiempo real de presión, caudal y consumo energético.
							Sustitución de compresor	Reducir costos energéticos y mejorar la eficiencia operativa mediante la sustitución del compresor IR de 350 HP por uno de tornillo Garner Denver de 300 HP.	

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Continuación Tabla 31: Matriz de Congruencia

Capítulo I		Capítulo II	Capítulo III		Capítulo IV	Capítulo VI			
Título	General	Específico	Teorías/ Metodología a de sustento	Variables	Poblaciones	Técnicas	Conclusiones	Nombre de la propuesta	Objetivo de la propuesta
		Estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados a cada alternativa propuesta.	La Teoría de la Relación Costo-Beneficio (ACB) permite comparar los costos de inversión y operación frente a los beneficios económicos y operativos obtenidos, facilitando decisiones eficientes sobre la viabilidad de un proyecto.	Estudio Económico		Entrevistas realizadas en campo a personal técnico, jefaturas, gerentes de la mina.	Se demostró que la sustitución del compresor IR de 350 HP por un compresor de tornillo Garner Denver de 300 HP representa una opción técnica y económicamente viable. Bajo condiciones de operación reales de 8,187 horas anuales, esta alternativa genera un ahorro de \$58,611 al año, con una inversión de 179,619\$.	Sustitución de compresor	Reducir costos energéticos y mejorar la eficiencia operativa mediante la sustitución del compresor IR de 350 HP por uno de tornillo Garner Denver de 300 HP.
	Evaluar la factibilidad de modernizar el sistema de aire comprimido desde un enfoque financiero, considerando los costos de inversión, el ahorro proyectado y el impacto económico que tendría para la mina a mediano y largo plazo.	Teoría de la Justificación de Proyectos de Capital (Capital Budgeting Theory): Permite evaluar la viabilidad financiera de proyectos de inversión mediante indicadores como VAN, TIR y Payback, facilitando decisiones estratégicas sobre asignación eficiente de recursos.	Estudio Financiero	Legal y Ambiental	visitas a campo, observación directa, pruebas de campo y análisis de datos (bitácoras y SCADA). Análisis financiero (VAN, TIR, Payback),	La modernización del sistema de aire comprimido en la mina El Mochito es factible técnica, económica y operativamente, con respaldo total del personal encuestado. La sustitución del compresor IR por uno de tornillo Garner Denver genera un ahorro anual de USD 61,075, un payback de tres años, un VAN positivo de USD 374,789 y una TIR de 31%, la cual supera el TREMA de 12.18%. Estos resultados confirman la conveniencia de la inversión y su alineación con la normativa vigente y los compromisos ambientales de la mina.			

Fuente: Elaboración Propia (2025).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lara, I. J., & Carvache Franco, O. (abril-junio de 2017). “Análisis del Costo – Beneficio una Herramienta. Obtenido de <http://eumed.net/ce/2017/2/costo-beneficio.html>
- Aguilar Inga. (2019). *Compresores de Maquinaria Minera*.
<https://es.scribd.com/presentation/409144621/compresores-de-maquinaria-minera>.
- Aguilera Díaz, A. (15 de 05 de 2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. Obtenido de
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s2073-60612017000200022&script=sci_arttext
- Álvarez-Silva, M. I.-R.-G. (2020). *Reingeniería del proceso administrativo de gestión inmobiliaria en una empresa de telecomunicaciones*. Medellín: Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro, 13(13), 2–11.
<https://doi.org/10.22463/24221783.2551>.
- APLITER TERMOGRAFIA. (2023). *La Importancia de los Sistemas de Aire Comprimido en la Industria Minera*. https://www.aplitter.com/blog/fugas-de-aire-comprimido-en-operaciones-mineras/?utm_source=chatgpt.com.
- Arias Coello, A. (2013). *La gestión de los procesos*. Facultad de Ciencias de la Documentación, Universidad Complutense de Madrid.
- Arroyo, M., & González, J. . (2021). *Gestión de activos y obsolescencia tecnológica en la industria*.
- Aswath , D. (2024). *Industry Betas*. Obtenido de
https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html
- Aswath, D. (2024). *Country default spreads and risk premiums (2024, formatted)*. Obtenido de Stern School of Business, New York University:
<https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/pdfiles/papers/countryrisk2024formatted.pdf>
- Atlas Copco. (2024). La automatización de los compresores es el siguiente gran paso. *Atlas Copco*.
- Baca Urbina , G. (2010). *Evaluacion De Proyectos*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Banco Central de Honduras. (11 de Agosto de 2025).
- Bejarano Eguiluz, K. M. (2022). Diseño del sistema de distribución de aire comprimido para la

- reducción de costos – Caso de estudio pequeña minería de oro en la ciudad de Arequipa. *Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Repositorio UNSA.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Wiley-Interscience.
- Bigoni Ordóñez, M. (2024). *Análisis costo-beneficio extendido del proyecto megaminero Loma Larga (Kimsacocha) en la provincia del Azuay para el periodo 2023-2120*. Quito: Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Blázquez, M., & Amato, C. (2022). *EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE PROCESOS ORGANIZACIONALES*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Boardman, A. E. (2018). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice (5th ed.)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Boyer, S. A. (2020). *Supervisory Control and Data Acquisition*.
- Burger, P. V. (2024). *South African Journal of Industrial Engineering*. Obtenido de Future Mines' Compressed Air Planning Using Digital Twin Simulations.: https://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S2224-78902024000300010&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com
- Cabeza, L. F., & Üрге-Vorsatz, D. (2020). *Energía y sostenibilidad: eficiencia energética y energías renovables para mitigar el cambio climático*.
- Carrizosa, F. L. (2008). *ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA GESTIÓN POR PROCESOS*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Cedeño, E. (2009). *Análisis Económico y Distributivo de los Impactos de la Actividad Minera en Panamá*. Panama: The Nature Conservancy. Panamá. .
- Cervone, H. F. (1 de junio de 2010). Using cost benefit analysis to justify digital library projects. 45-57. Obtenido de <https://doi.org/10.1108/10650751011048443>
- Chazi, A., & Hossain, M. (2024). Capital budgeting techniques and financial performance. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/23322039.2024.2404707>
- Chicu, D. (2015). Los métodos VAN y TIR en la valoración de los proyectos de inversión. *Universitat Oberta de Catalunya*, <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/150126/2/LosMetodosVANyTIREnLaValoracionDeLosProyectosDeInversion.pdf>.

- Chumacero, A. (2021). Técnicas para la evaluación de proyectos de inversión. *Editorial de Ciencias Económicas*.
- Chumacero, J. A. (2021). Técnicas para la evaluación de proyectos de inversión. *Grupo de Investigación Omega Beta Gamma*.
- Comisión Reguladora de Energía Eléctrica. (2025). *Comisión Reguladora de Energía Electrica-CREE*. Obtenido de <https://www.cree.gob.hn/>
- Congreso Nacional de la República de Honduras. (1998). *Ley General de Minería*. Tegucigalpa, Honduras : Diario Oficial La Gaceta.
- Creswell, J. W. (2020). *Investigación cualitativa, cuantitativa y mixta* . Pearson Educación.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.)*. SAGE Publications.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2020). *Diseño y desarrollo de la investigación mixta* . Editorial Morata.
- Denver, G. (<https://www.gardnerdenver.com/en-us/reciprocating-compressors> de 2025). *Gardner Denver*. Obtenido de Reciprocating air compressors – overview and selection guide. Gardner Denver.
- Díaz, M., & Peña, R. (2021). *Gestión por procesos en organizaciones industriales y de servicios*.
- Distribuidora Cummins Centroamérica Hondura. (2025). *Catálogo de compresores Ingersoll Rand*. Obtenido de Cummins Centroamérica.
- Dupuit, J. (1952). On the measurement of the utility of public works. *Annales des Ponts et Chaussées. International Economic Papers*, 83-110.
- Echeverría Ruíz, C. d. (2017). Metodología para determinar la factibilidad de un proyecto. *Revista Publicando*. Obtenido de <https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/836>
- Economipedia, & Sevilla Arias, A. (Mayo de 2017). *Economipedia*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Escalante, J. A., & Rodríguez, M. C. . (2021). *Gestión de procesos y eficiencia operativa en entornos industriales*. .
- Espín-Guerrero, R. T.-R.-C.-S. (2022). *Optimización de los procesos operativos mediante la teoría de restricciones en una empresa metalmecánica*. S.C.: Novasinergia, 5(2), 33–57. <https://doi.org/10.37135/ns.01.10.03>.

- Fernández, P. (2020). *Market Risk Premium used in 82 countries in 2012: A survey with 7,192 answers*. Obtenido de <https://www.iese.edu/media/research/pdfs/WP-1059-E.pdf>
- Gitman, L. J. (2007). El presupuesto de capital en proyectos de inversión. *Revista Cultural Universidad Libre de Colombia*, https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/revista_cultural/article/download/4067/3431.
- Gutiérrez Pulido, H. &. (2021). *Formulación y evaluación de proyectos: Enfoques aplicados a la ingeniería*. Bogotá , Colombia : Ecoe Ediciones.
- Harrington, H. J. (1991). *Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness*. McGraw-Hill.
- Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. . (2002). *Introductory mining engineering*.
- Hassan et al. (2014). <https://www.researchgate.net>. Obtenido de researchgate: https://www.researchgate.net/publication/261247348_Optimization_of_the_compressed_air-usage_in_South_African_mines
- Hernández, R.,, & Mendoza, C. P. . (2020). *Diseños de investigación en psicología y educación*.
- Kwame, O. A. (2020). Capital budgeting: A systematic review of the literature. 54. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101252>
- Lohr, S. L. (2021). *Sampling: Design and analysis (2nd ed.)*. Chapman and Hall/CRC.
- López Seiko, J. A. (2013). *Mejoramiento del sistema de aire comprimido para optimizar perforación en operaciones mineras subterráneas en U.E.A. Orcopampa Mina Chipmo. . Huancayo: Tesis de Bachiller*). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. .
- Maya Mendoza, J. &. (2022). Selección y evaluación de las herramientas de mejora de procesos. *Revista Venezolana De Gerencia*,, 27(Especial 8), 1230–1248. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.8.32>.
- Minera., T. (2024). Cómo la automatización está transformando la industria minera. . *Tecnología Minera*, https://tecnologiaminera.com/noticia/como-la-automatizacion-esta-transformando-la-industria-minera-1689256371?utm_source=chatgpt.com .
- Molleda, J. A., & González, R. (2020). *Sistemas de aire comprimido: eficiencia energética y mantenimiento*. .
- Nicolai, M. (2019). Uso de aire comprimido en la industria minera. . <https://europe.sullair.com/es/blog/uso-de-aire-comprimido-en-la-industria-minera>.

- Palacios, R. (2019). Análisis de eficiencia energética en sistemas de aire comprimido para industrias. [Tesis]. Universidad de Chile.
- Quincy Compressor. (2025). *Uso del aire comprimido en la industria minera*. .
https://www.quincycompressor.com/es/industries/mining/?utm_source=chatgpt.com.
- Rahimdel, M. J. (2023). *Scientific Reports*. Obtenido de Reliability analysis of the compressed air supplying system in underground mines: A case study of Qaleh-Zari Copper Mine, Iran.: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37100840/>
- Rand., I. (2016). *Engineering Data*. Obtenido de Calculating Compressor Operating Costs. Ingersoll Rand: <https://www.ingersollrand.com>
- Rifkin, J. (2020). *El trabajo en la era de la automatización: La lucha contra el colapso del empleo y la transformación del futuro* .
- Roque Boggiano, J. J. (2021). Mejora del sistema de aire comprimido para optimizar la perforación en la cantera Caballo Viejo, Jauja, Junín. *Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo*, Repositorio UCV.
- Ryan, P. A., & Ryan, G. P. (2022). The capital budgeting process: Theory and practice. 22. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/25060944>
- Sapieri Hernandez, R., & Fernando Collado, C. (2010). *Metodologías de la Investigación* . México: Mc Graw Hill.
- Secretaría de Trabajo y Seguridad Social. . (2004). *Reglamento General de Medidas Preventivas de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales (Acuerdo Ejecutivo STSS-053-04)*. Diario Oficial La Gaceta, República de Honduras. Obtenido de <https://www.trabajo.gob.hn>
- Serrano Gómez, L. &. (2012). Una revisión de los modelos de mejoramiento de procesos con enfoque en el rediseño. *Estudios Gerenciales*,, 28(125), 13–22.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21226279002>.
- Serrano Gómez, L., & Ortiz Pimiento, N. R. (2012). Una revisión de los modelos de mejoramiento de procesos con enfoque en el rediseño. *Universidad ICESI Estudios Gerenciales*, vol. 28, núm. 125, octubre-diciembre, 2012, pp. 13-22, 13-22.
- Soto, F. V. (2019). *Investigación enfocada en los compresores de aire*. Universidad Técnica Nacional. .
- Toasa, J. (2014). Diseño e implementación de la red de aire comprimido para el laboratorio de

automatización y neumática en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica. *[Tesis de grado]. ESPOCH.*

Urbina, A. A. (2020). *PRÁCTICA PROFESIONAL*. San Pedro Sula : Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC. Obtenido de <https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/11376>

Vela-Almeida, D. L. (2021). *Indicadores de sostenibilidad en la minería metálica*. Tegucigalpa, Honduras: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Virreira Avila, M. M. (2020). *Evaluación financiera de proyectos de inversión: Métodos y aplicaciones*. Santa Cruz de la Sierra: Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra – UPSA.

ANEXOS

Anexo 1; INGERSOLL-RAND 300HP



Figura 45. Datos técnicos de compresores Ingersoll-Rand

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Anexo 2; COMPRESORES JOY DE 900HP



Figura 46. Datos técnicos de compresores Joy

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Anexo 3; SITUACIÓN DEL ACTUAL DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

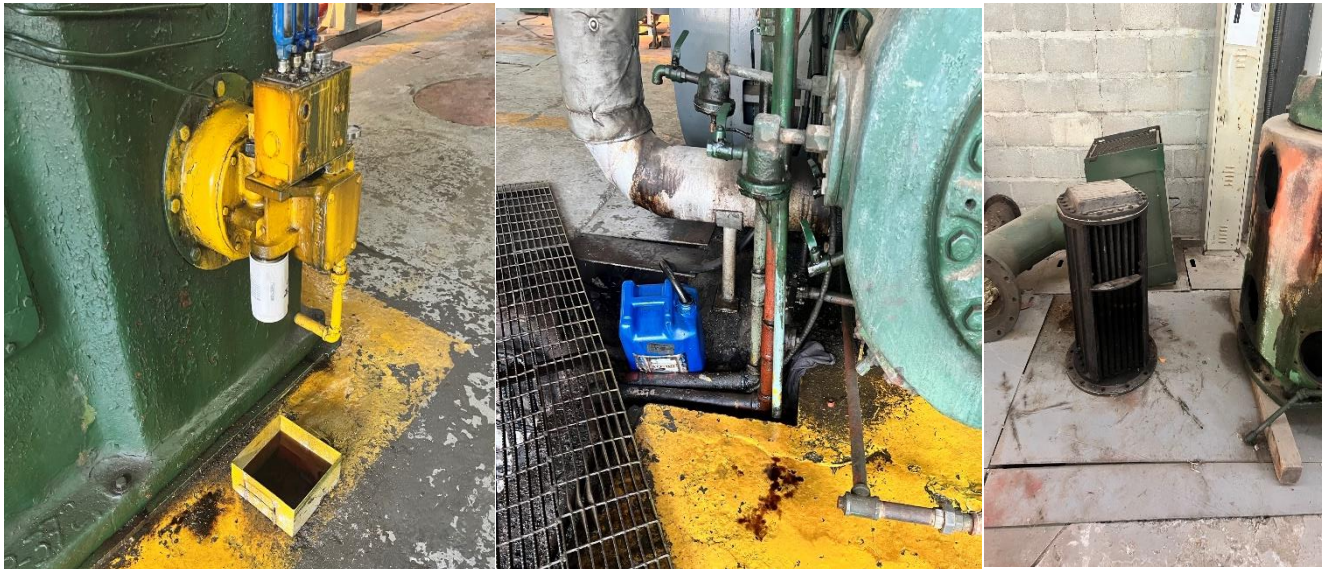


Figura 47. Condiciones actuales de los compresores Ingersoll-Rand.

Fuente: Elaboración Propia (2025).



Figura 48. Condiciones actuales de la línea de distribución en mina Trackless y superficie.

Figura: Elaboración Propia (2025).



Figura 49. Condiciones actuales de la línea de distribución en mina convencional

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Anexo 4; EVIDENCIA DE REALIZACIÓN DE ENCUESTAS



Figura 50. Encuestas realizadas a personal Administrativo de la mina.

Fuente: Elaboración Propia (2025).



Figura 51. Encuestas realizadas a personal técnico

Fuente: Elaboración Propia (2025).



Figura 52. Encuestas realizadas a jefaturas

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Anexo 5; SISTEMA SCADA

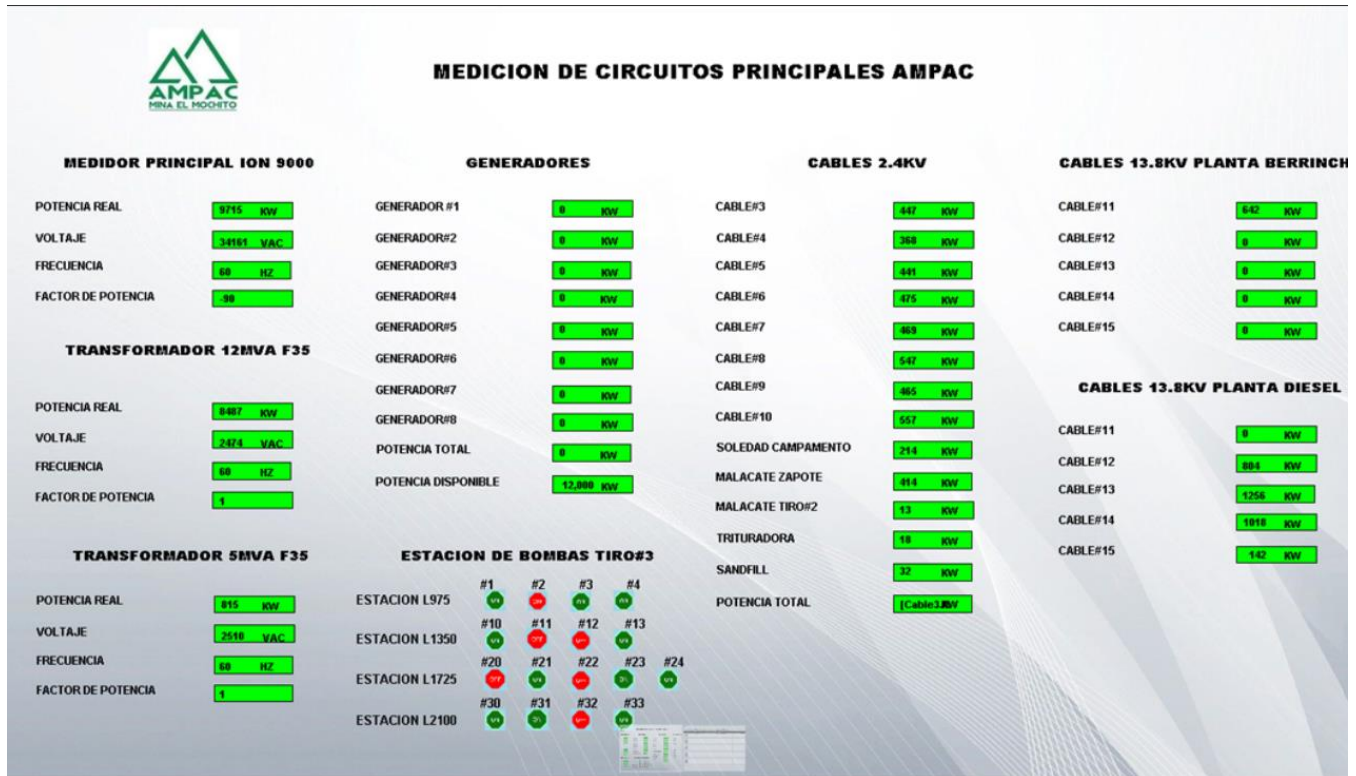


Figura 53. Sistema SCADA de la mina.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Anexo 6; VISITAS A CAMPO.



Figura 54. Inspecciones en campo

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Anexo 7; ENTREVISTA DIRIGIDA AL PERSONAL TÉCNICO Y OPERATIVO



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN LA MINA EL MOCHITO REALIZADO POR ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE HONDURAS

La presente encuesta es de carácter estrictamente académico. Todas sus respuestas serán tratadas de manera anónima y confidencial. La información recopilada será analizada únicamente de forma agregada y no se utilizará con fines comerciales ni individuales. Agradecemos sinceramente su colaboración.

ENTREVISTA DIRIGIDA AL PERSONAL TÉCNICO Y OPERATIVO

Objetivo: Obtener información técnica detallada sobre el funcionamiento, mantenimiento y deficiencias del sistema actual de aire comprimido de la mina.

Departamento:

Fecha:

1. ¿Cómo calificaría el estado actual del sistema en cuanto a operación y mantenimiento?
 Muy deficiente Deficiente Aceptable Bueno Excelente
2. ¿Qué tipo de fallas son más comunes?
 Fugas de aire Paradas imprevistas Sobre calentamiento Baja presión
3. ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza actualmente?
 Preventivo Correctivo Ninguno
4. ¿Considera que una modernización reduciría las intervenciones de mantenimiento?
 Sí No
5. ¿Cuál considera que es la vida útil restante de los compresores?
 Menos de 1 año 1–3 años 3–5 años Más de 5 años
6. ¿Considera que una nueva tecnología mejoraría la eficiencia operativa del sistema?
 Sí No
7. ¿Qué beneficios cree que aportaría una nueva tecnología en eficiencia y reducción de costos?
 Ninguno Reducción de fallas presión más alta Reducción de costos
8. ¿Se han presentado incidentes o riesgos laborales vinculados al sistema?
 Sí No

9. ¿Cómo calificaría el nivel de ruido del sistema y su impacto en la salud?
 Muy bajo Bajo Moderado Alto Muy alto
10. ¿Existen registros o controles de emisiones de CO₂ asociados al sistema?
 Sí No No sabe
11. ¿Qué permisos o licencias conoce que aplican al sistema?
 Permiso ambiental Permiso de operación Permiso energético
12. ¿Cree usted que el dimensionamiento actual del sistema es el adecuado para satisfacer la demanda de la operación?
 Sí No
13. ¿Qué áreas y equipos son más afectados por falta de presión o suministro de aire?
 Mina Trackless Mina Convencional Trituradora

Anexo 8; ENTREVISTA DIRIGIDA AL PERSONAL TÉCNICO Y OPERATIVO



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN LA MINA EL MOCHITO REALIZADO POR ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE HONDURAS

La presente encuesta es de carácter estrictamente académico. Todas sus respuestas serán tratadas de manera anónima y confidencial. La información recopilada será analizada únicamente de forma agregada y no se utilizará con fines comerciales ni individuales. Agradecemos sinceramente su colaboración.

ENTREVISTA DIRIGIDA A JEFATURAS

Objetivo: Obtener información estratégica, económica y de gestión sobre la factibilidad financiera, rentabilidad y sostenibilidad de modernizar el sistema de aire comprimido.

Departamento:

Fecha:

1. ¿Cuál es su evaluación general sobre la vida útil y estado actual del sistema de aire comprimido?
 Muy deficiente Deficiente Regular Bueno Excelente
2. ¿Cómo afectaría una solución moderna la seguridad laboral del personal?
 No mejoraría Mejoraría ligeramente Mejoraría moderadamente Mejoraría significativamente Transformaría completamente la seguridad
3. ¿Cómo considera los costos financieros implicados en el mantenimiento del sistema actual?
 Muy bajos Bajos Moderados Altos Muy altos
5. ¿Qué impacto tienen los altos costos de energía asociados al sistema actual en el presupuesto de operaciones?
 Sin impacto Bajo Moderado Alto Muy alto
6. ¿Cuál sería la inversión aproximada para una modernización del sistema?
 Menos de USD 50,000
 Entre USD 50,000 y USD 150,000
 Más de USD 150,000
 No estimada

7. ¿Qué beneficios financieros a corto y mediano plazo se esperan con la implementación de un sistema moderno?
- Ninguno reducción de perdidas Reducción de costos de mantenimiento
 - reducción de costos de energía reducción de fallas
8. ¿Se ha realizado alguna proyección financiera sobre el ahorro energético y operativo del nuevo sistema?
- Sí
 - No
 - En proceso
 - Desconozco
9. ¿Cuáles son los principales obstáculos para invertir en un nuevo sistema?
- Falta de presupuesto
 - Tiempo de implementación
 - Permisos regulatorios
 - Riesgo operativo
10. ¿Cómo afectan las deficiencias del sistema a la productividad general de la mina?
- No afectan Afectan ligeramente Afectan moderadamente
 - Afectan significativamente Afectan gravemente
11. ¿Cómo contribuiría un sistema más eficiente al cumplimiento de metas de sostenibilidad ambiental?
- Nada Poco Moderadamente Mucho Totalmente
12. ¿Cómo priorizaría este proyecto dentro del plan estratégico de la mina El Mochito?
- Nada prioritario
 - Poco prioritario
 - Moderadamente prioritario
 - Muy prioritario
 - Prioridad máxima

13. ¿Qué criterios se consideran clave para elegir entre reemplazo total o actualización tecnológica?

14. ¿Qué indicadores financieros se utilizarían para justificar la inversión?

Anexo 9; RESULTADOS DE LAS PREGUNTAS RESTANTES

➤ Análisis para la pregunta 8. ¿Cuáles son los principales obstáculos para invertir en un nuevo sistema?

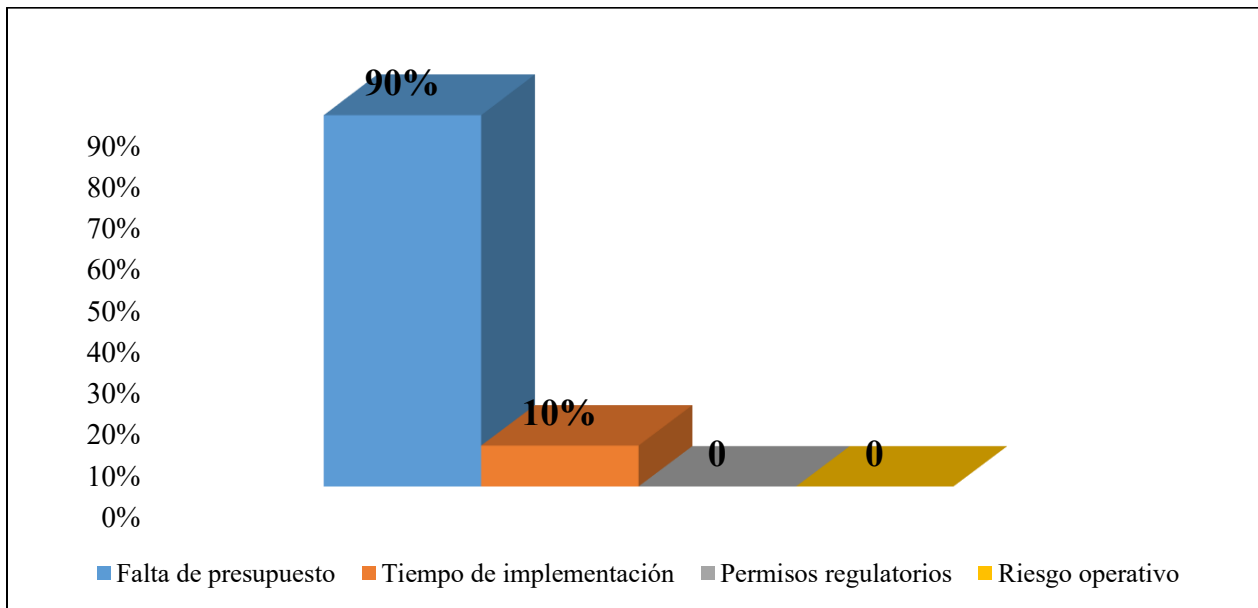


Figura 55. limitantes en la modernización del sistema de aire comprimido

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En la Figura 42. Se presentan los principales obstáculos identificados para la inversión para un nuevo sistema de aire comprimido. Los resultados muestran que la falta de presupuesto representa el factor más relevante con un 90%, seguido del tiempo de implementación con un 10%. En contraste, aspectos como los permisos regulatorios y el riesgo operativo no se perciben como limitantes significativas.

Este resultado evidencia que la principal barrera para la modernización no está en los requisitos externos ni en los riesgos técnicos, sino en la capacidad financiera de la empresa lo cual resalta la necesidad de una adecuada justificación económica que respalde la viabilidad de la inversión.

- Análisis para la pregunta 10. ¿Cómo afectan las deficiencias del sistema a la productividad general de la mina?

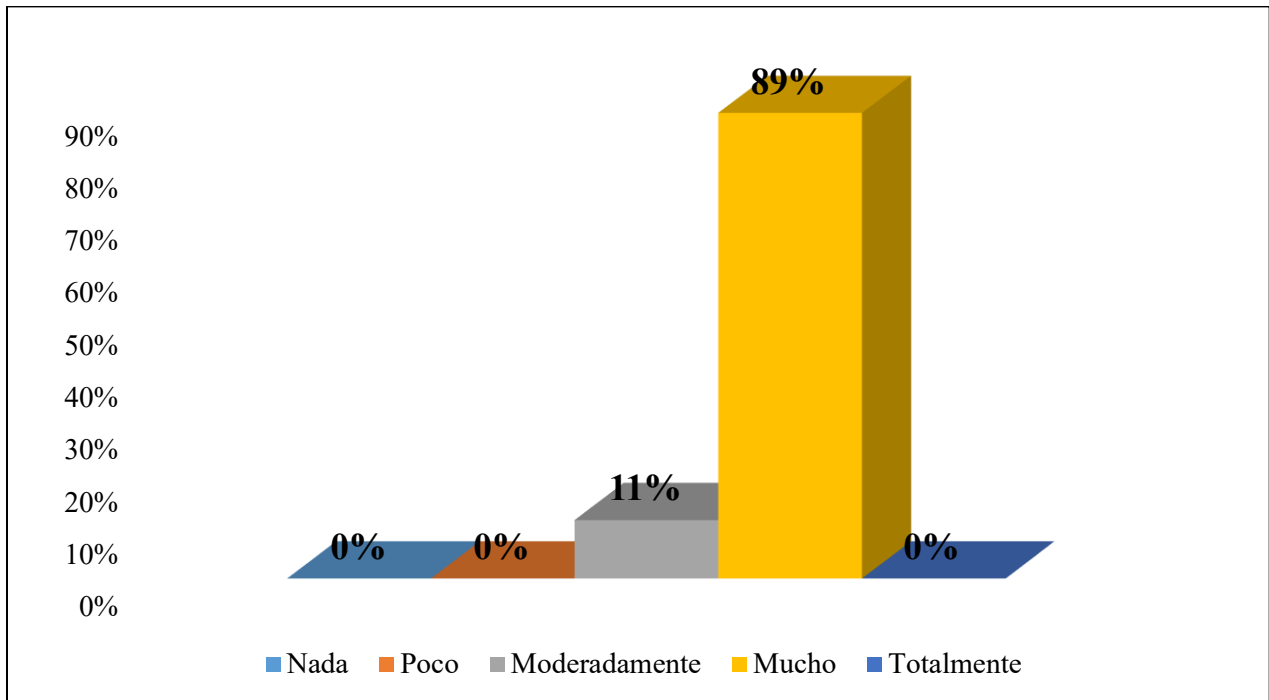


Figura 56. Contribución de la modernización del sistema de aire comprimido

Fuente: Elaboración Propia (2025).

En cuanto al análisis de la figura 43. Se observa la percepción sobre la contribución de un sistema más eficiente al cumplimiento de metas de sostenibilidad ambiental. El 89% de los encuestados considera que contribuiría mucho, mientras que un 11% lo percibe como un aporte moderado. Este resultado refleja que la gran mayoría reconoce la importancia ambiental de modernizar el sistema de aire comprimido, principalmente por la reducción en el consumo de energía y con ello en las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero.


Anexo 10; FÓRMULA DE CÁLCULO DE COSTOS DE OPERACIÓN DE COMPRESORES

$$\frac{\$}{Yr} = \frac{BHP * 0.746 * \frac{\$}{kwhr} * \frac{hrs}{yr}}{m. e.}$$

Fuente: (Rand., 2016)

- \$/Yr = Cost per year.
- BHP= brake horsepower
- \$/kwhr = electricity cost per kilowatt hour.
- m.e. = motor defficiency
- hrs/yr = operational hours of the compressor.

Anexo 11; COTIZACIÓN DE COMPRESORES


BOMOHSA S.A. de C.V.

Cotización No. 0245-2025
San Pedro Sula, Honduras
Fecha: 20 de agosto de 2025

Cliente:
Mina El Mochito AMPAC


Cotización de Compresor de Tornillo Gardner Denver


Cantidad	Descripción	Modelo / Potencia	Precio Unitario (USD)	Total (USD)
1	Compresor de Tornillo Gardner Denver lubricado, accionado por motor eléctrico de alta eficiencia	300 HP (aprox. 220 kW), 460V, 3F, 60 Hz	\$179,619.00	\$179,619.00

Incluye:

- Compresor de tornillo Gardner Denver de 300 HP.
- Arrancador suave / variador según aplicación.
- Garantía de 12 meses contra defectos de fabricación.
- Manual de operación y mantenimiento.
- Capacitación básica de operación.

Sucursal San Pedro Sula. Barrio Lempira 5ta Ave. 8 y 9 Calle Tel: 2552-6820
R.T.N.: 05019014656529 Tel.: (504) 9540-1268

 **Centroamérica**



CUADRO RESUMEN DEL EQUIPO OFERTADO:

Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Compresor centrífugo TurboAir modelo TA3000 con capacidad 4000 cfm con de presión de 115 psi, conexión de voltaje 2300V/3/60, control especial MAESTRO, potencia 800 hp.	1	\$ 310,000.00	\$ 310,000.00
Impuesto sobre venta			\$ 46,500.00
Valor total			\$ 356,500.00

Esta oferta no incluye instalación.

GARANTÍA:
Tiene vigencia de **1 año**.

FORMA DE PAGO:

- A convenir

TIEMPO Y LUGAR DE ENTREGA:
El equipo tiene un tiempo de entrega de:

- Compresor centrífugo: 32 semanas
- Puesto en su plantel, AMPAC

VALIDEZ DE LA OFERTA:
La presente propuesta será válida por 30 días.

Figura 57: Cotización de compresores de tornillo y centrífugo

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Anexo 12; ANÁLISIS FINANCIERO

Tabla 32: Determinación del WACC (TREMA)

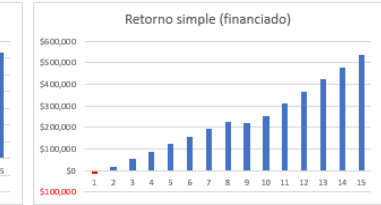
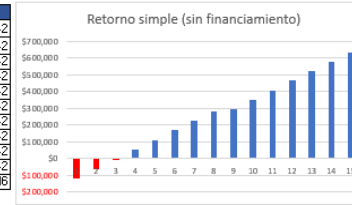
Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva	
Tasa libre de riesgo (Rf, bono)	4.04%
Market Risk Premium (MRP)	13.90%
Beta de la minería metálica (β)	1.02
Prima de riesgo país Honduras (Riesgo País)	6.64%
Costo de deuda antes de impuestos (Kd)	9%
Impuesto corporativo en Honduras (ISR)	25%
Estructura de financiamiento típica en minería:	
Equity	30%
Deuda	70%
Costo del Equity (Ke)	
$Ke = Rf + \beta * MRP + \text{Riesgo país}$	24.862%
Costo de deuda después de impuestos	
$Kd_{neto} = Kd \cdot (1 - T)$	6.75%
$WACC = E/V \cdot Ke + D/V \cdot Kd_{neto}$	
Equity (E)	30%
Deuda (D)	70%
Total (V)	1
E/V	0.3
D/V	0.7
WACC / TREMA	12.18%

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Modelado	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10	año 11	año 12	año 13	año 14	año 15
Consumo anual de energía [kwh/año]		321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447	321,447
Ingresos																
Tarifa energía [\$kwh]		0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Total Ahorros anuales [\$]		\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075	\$61,075
Costos de Operación																
Compresor de tornillo																
Operación y mantenimiento [\$]		1,386.11	1,785.20	1,803.13	3,598.24	1,841.47	1,857.50	3,656.05	1,518.12	46,320.26	2,005.15	3,691.91	2,001.91	2,091.76	3,777.18	2,093.77
Seguros [\$]		1,077.71	1,121.30	1,166.65	1,213.84	1,262.93	1,314.01	1,367.15	1,422.44	1,473.97	1,539.83	1,602.10	1,666.30	1,734.32	1,804.46	1,877.44
Total gastos de operación		\$2,464	\$2,906	\$2,970	\$4,812	\$3,104	\$3,172	\$5,023	\$2,941	\$48,400	\$3,545	\$5,294	\$3,669	\$3,826	\$5,582	\$3,977
TIR proyecto																
Utilidad Neta		\$58,611	\$58,169	\$58,105	\$56,263	\$57,971	\$57,904	\$56,052	\$58,134	\$12,675	\$57,530	\$55,781	\$57,406	\$57,249	\$55,493	\$57,098
% de crecimiento			0.01	0.00	0.03	0.03	0.00	0.03	0.04	0.78	3.54	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03
Flujo de efectivo Anual[\$]	\$179,619	\$58,611	\$58,169	\$58,105	\$56,263	\$57,971	\$57,904	\$56,052	\$58,134	\$12,675	\$57,530	\$55,781	\$57,406	\$57,249	\$55,493	\$57,098
Flujo de efectivo acumulado [\$]	\$179,619	\$121,008	\$62,839	\$4,734	\$51,529	\$109,500	\$167,403	\$223,455	\$281,589	\$294,264	\$351,794	\$407,575	\$464,981	\$522,230	\$577,724	\$634,821
Flujo de caja descontado[\$]	\$179,619	\$52,246	\$46,220	\$41,155	\$35,522	\$32,626	\$29,049	\$25,066	\$23,174	\$4,504	\$18,222	\$15,749	\$14,448	\$12,843	\$11,097	\$10,178
Flujo de caja descontado acumulado[\$]	\$179,619	\$127,373	\$81,153	\$39,998	\$4,476	\$28,150	\$57,199	\$82,264	\$105,438	\$109,942	\$128,164	\$143,313	\$158,361	\$171,204	\$182,302	\$192,480
Ultimo año acumulado negativo		0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Porción del año siguiente de repago		0	0	1.125996047	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Análisis con Financiamiento	
Deuda	125,733.30
Equity	\$53,886
Forma de amortización	Cuota nivelada

Periodo N	Monto	Interés	Capital	Total
1	125,733.30	15,319.00	7,101.42	224,204.22
2	118,631.68	14,453.78	7,966.64	224,204.22
3	110,665.24	13,483.15	8,937.27	224,204.22
4	101,727.97	12,394.25	10,026.16	224,204.22
5	91,701.81	11,172.69	11,247.72	224,204.22
6	80,454.09	9,802.30	12,616.11	224,204.22
7	67,835.97	8,264.95	14,155.47	224,204.22
8	53,680.50	6,540.28	15,880.13	224,204.22
9	37,800.37	4,605.49	17,814.32	224,204.22
10	19,985.45	2,434.37	19,985.45	224,204.22
Totales		96,470.86	125,733.30	224,204.16



Estado de resultado	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10	año 11	año 12	año 13	año 14	año 15
Utilidad Bruta		\$58,611	\$58,169	\$58,105	\$56,263	\$57,971	\$57,904	\$56,052	\$58,134	\$12,675	\$57,530	\$55,781	\$57,406	\$57,249	\$55,493	\$57,098
Amortización del activo		\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28	\$17,782.28
Utilidad Operativa		76,393.47	75,950.80	75,887.52	74,045.22	75,752.90	75,685.80	73,834.30	75,316.74	30,457.07	75,312.32	73,563.28	75,188.49	75,031.23	73,275.66	74,880.09
Gastos por Intereses		15,319.00	14,453.78	13,483.15	12,394.25	11,172.69	9,802.30	8,264.95	6,540.28	4,605.49	2,434.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad antes de impuestos		61,074.48	61,497.02	62,404.38	61,650.97	64,580.21	65,883.50	65,569.16	69,376.45	25,851.58	72,877.35	73,563.28	75,188.49	75,031.23	73,275.66	74,880.09
impuesto		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad Neta		61,074.48	61,497.02	62,404.38	61,650.97	64,580.21	65,883.50	65,569.16	69,376.45	25,851.58	72,877.35	73,563.28	75,188.49	75,031.23	73,275.66	74,880.09
FLUJO DE EFECTIVO																
Utilidad Neta		\$61,074	\$61,497	\$62,404	\$61,651	\$64,580	\$65,883	\$65,569	\$69,376	\$25,852	\$72,877	\$73,563	\$75,188	\$75,031	\$73,276	\$74,880
(+)Amortización del activo		\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782	\$17,782
(-)Pago de deuda		\$7,101	\$7,967	\$8,937	\$10,026	\$11,248	\$12,618	\$14,155	\$15,880	\$17,815	\$19,985	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(+)Valor de rescate																
Flujo de efectivo anual	\$53,886	\$36,191	\$35,748	\$35,685	\$33,843	\$35,550	\$35,483	\$33,631	\$35,714	\$9,746	\$35,110	\$55,781	\$57,406	\$57,249	\$55,493	\$57,098
Acumulado		\$36,191	\$71,939	\$107,624	\$141,466	\$177,016	\$212,500	\$246,131	\$281,845	\$272,099	\$307,209	\$362,390	\$420,396	\$477,645	\$533,139	\$590,236
Retorno simple		\$17,695	\$18,053	\$53,738	\$87,581	\$123,131	\$158,614	\$192,245	\$227,959	\$218,214	\$253,323	\$309,104	\$366,510	\$423,759	\$479,253	\$536,351
Flujo de caja descontado	\$53,886	\$32,260	\$28,405	\$25,275	\$21,367	\$20,008	\$17,801	\$15,040	\$14,236	\$3,463	\$11,121	\$15,749	\$14,448	\$12,843	\$11,097	\$10,178
Flujo de caja descontado acumulado	\$53,886	\$21,625	\$6,779	\$32,055	\$53,422	\$73,429	\$91,230	\$106,270	\$120,506	\$117,043	\$128,164	\$143,313	\$158,361	\$171,204	\$182,302	\$192,480
Ultimo año acumulado negativo		1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Porción del año siguiente de repago		0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 58: Análisis financiero de propuesta de proyecto

Fuente: Elaboración Propia (2025).

Tabla 33: Riegos País

<i>Country</i>	<i>Inflation (2019-2023)</i>	<i>Expected inflation (2024-28)</i>	<i>Riskfree Rate</i>
Dominican Republic	5.48%	4.84%	6.58%
Ecuador	1.16%	1.78%	3.47%
Egypt	11.40%	19.24%	21.21%
El Salvador	2.88%	1.96%	3.65%
Equatorial Guinea	2.66%	2.90%	4.60%
Estonia	6.94%	3.34%	5.05%
Eswatini	3.98%	3.80%	5.52%
Ethiopia	25.42%	20.20%	22.19%
Fiji	1.20%	3.80%	5.52%
Finland	3.02%	2.22%	3.91%
France	3.10%	2.26%	3.95%
Gabon	2.54%	2.72%	4.42%
Gambia, The	9.78%	9.44%	11.25%
Georgia	6.82%	3.84%	5.56%
Germany	3.94%	2.48%	4.18%
Ghana	19.24%	13.16%	15.03%
Greece	2.66%	2.50%	4.20%
Grenada	1.34%	2.34%	4.03%
Guatemala	4.86%	4.80%	6.54%
Guinea	10.20%	11.48%	13.33%
Guinea-Bissau	4.04%	2.60%	4.30%
Guyana	3.52%	5.92%	7.67%
Haiti	25.56%	16.86%	18.80%
Honduras	5.64%	4.90%	6.64%
Hong Kong SAR	1.76%	2.90%	4.60%
Hungary	8.70%	3.82%	5.54%

Fuente: (Aswath, Country default spreads and risk premiums (2024, formatted), 2024)

Tabla 34: Prima de Riesgo de Mercado (MRP)

	Average	Median	St. Dev.	Min.	Q1	Q3	Max.	Number of answers	Max.-Min.
Philippines	7.4	6.1	2.0	5.5	6.0	10.1	10.1	18	4.6
Kuwait	6.8	6.6	1.1	5.0	6.5	6.8	10.6	17	5.6
Nigeria	10.1	8.5	3.7	6.0	8.5	10.0	20.0	17	14.0
Romania	7.7	8.0	1.4	5.0	7.0	9.0	9.5	17	4.5
UAE	8.0	8.0	1.2	6.8	6.8	9.0	10.0	17	3.3
Ecuador	13.5	15.9	5.8	6.0	6.8	18.8	20.0	16	14.0
Bahrain	7.3	8.3	1.8	5.5	5.5	8.3	11.1	14	5.6
Croatia	7.8	9.0	1.4	5.5	6.6	9.0	9.0	14	3.5
Oman	6.6	7.3	1.7	5.0	5.0	7.3	11.1	14	6.1
Bulgaria	8.3	8.6	0.9	6.5	7.8	8.6	10.0	13	3.5
Qatar	7.1	7.0	0.9	6.8	6.8	7.0	10.1	13	3.3
Bolivia	10.2	10.5	1.8	7.5	8.4	12.0	13.1	12	5.6
Lebanon	9.0	9.0	3.1	6.0	6.0	12.0	12.0	12	6.0
Morocco	7.3	7.3	2.4	5.0	5.0	9.6	9.6	12	4.6
Senegal	11.0	11.0	2.0	8.0	10.0	12.0	16.0	12	8.0
Vietnam	10.8	12.0	2.4	3.9	10.0	12.0	12.0	12	8.1
Panama	9.2	9.0	1.4	6.0	9.0	9.6	11.3	11	5.3
Venezuela	12.2	12.0	3.6	6.0	12.0	13.5	17.8	11	11.8
Malta	6.6	7.5	1.6	3.1	6.6	7.5	7.5	10	4.4
Slovenia	6.5	7.3	1.2	3.6	6.0	7.3	7.3	10	3.7
Zimbabwe	10.5	12.5	3.0	5.5	8.0	12.5	12.5	10	7.0
Costa Rica	8.5	9.0	1.8	3.8	9.0	9.0	10.0	9	6.2
Cyprus	7.9	9.0	2.4	2.5	9.0	9.0	9.0	9	6.5
Iran	17.2	19.5	7.9	5.0	10.0	22.9	26.5	9	21.5
Kenya	6.2	7.0	1.4	3.0	6.2	7.0	7.0	9	4.0
Slovakia	6.9	7.3	0.8	5.0	7.3	7.3	7.5	9	2.5
Uruguay	9.3	9.6	1.3	6.0	9.6	9.6	10.4	9	4.4
Zambia	7.2	7.0	1.0	6.0	7.0	7.0	9.8	9	3.8
Albania	11.1	12.0	2.5	5.0	12.0	12.0	12.0	8	7.0
Trinidad & Tobago	9.8	8.3	4.1	8.3	8.3	8.4	20.0	8	11.8
Guatemala	10.1	9.6	1.3	9.6	9.6	9.6	13.0	7	3.4
Honduras	13.9	13.5	0.9	13.5	13.5	13.5	16.0	7	2.5
Lithuania	7.9	8.3	0.9	6.0	8.3	8.3	8.3	7	2.3
Ghana	9.6	10.0	1.7	8.0	8.0	10.0	12.0	5	4.0

Fuente: (Fernández, 2020)

Tabla 35: Indicadores de riesgo sistemático por sector económico

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Effective Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value	Unlevered beta corrected for cash	HiLo Risk	Standard deviation of equity	Standard deviation in operating income (last 10 years)
Advertising	54	1.34	26.20%	7.67%	1.12	6.56%	1.20	0.6098	67.19%	12.10%
Aerospace/Defense	67	0.90	22.79%	11.02%	0.77	3.87%	0.80	0.4341	42.74%	23.92%
Air Transport	24	1.24	106.83%	10.15%	0.69	10.28%	0.76	0.5255	65.27%	204.02%
Apparel	37	0.99	45.89%	8.08%	0.74	10.86%	0.83	0.4841	50.93%	24.49%
Auto & Truck	34	1.62	22.40%	2.11%	1.39	3.51%	1.43	0.6646	77.59%	46.93%
Auto Parts	33	1.23	47.83%	12.77%	0.91	8.61%	0.99	0.3843	52.62%	20.56%
Bank (Money Center)	15	0.88	183.19%	18.10%	0.37	29.77%	0.53	0.2337	30.47%	NA
Banks (Regional)	591	0.52	60.32%	16.84%	0.36	24.75%	0.48	0.2078	29.96%	265.19%
Beverage (Alcoholic)	18	0.61	30.47%	8.28%	0.50	1.86%	0.51	0.5509	63.08%	21.67%
Beverage (Soft)	29	0.57	19.73%	6.94%	0.50	3.57%	0.51	0.6427	47.67%	15.38%
Broadcasting	22	0.92	149.56%	10.74%	0.43	9.47%	0.48	0.5390	52.60%	28.23%
Brokerage & Investment Banking	30	0.95	186.59%	14.42%	0.40	15.59%	0.47	0.3990	40.49%	57.36%
Building Materials	39	1.36	18.97%	19.11%	1.19	3.57%	1.23	0.3033	34.75%	46.33%
Business & Consumer Services	152	1.00	16.78%	12.48%	0.89	3.27%	0.92	0.4832	45.39%	26.12%
Cable TV	9	0.96	126.35%	10.47%	0.49	2.19%	0.50	0.4196	49.73%	28.09%
Chemical (Basic)	31	1.15	58.25%	7.97%	0.80	7.16%	0.86	0.5490	50.02%	38.53%
Chemical (Diversified)	4	0.99	113.12%	0.00%	0.54	7.34%	0.58	0.2709	46.97%	38.49%
Chemical (Specialty)	60	0.92	27.12%	9.99%	0.76	3.58%	0.79	0.4247	48.15%	18.52%
Coal & Related Energy	16	1.18	9.47%	2.77%	1.10	12.87%	1.27	0.4805	53.78%	245.43%
Computer Services	63	1.23	26.33%	10.78%	1.03	5.58%	1.09	0.5269	44.40%	22.99%
Computers/Peripherals	35	1.14	4.82%	8.99%	1.10	1.42%	1.12	0.4501	52.62%	29.18%
Construction Supplies	46	1.29	21.56%	13.55%	1.11	3.40%	1.15	0.4555	47.52%	35.39%
Diversified	21	1.09	16.09%	5.01%	0.97	4.08%	1.01	0.5726	59.35%	73.55%
Drugs (Biotechnology)	535	1.25	17.09%	1.05%	1.11	5.07%	1.17	0.6315	86.83%	39.35%
Drugs (Pharmaceutical)	231	1.07	16.89%	2.58%	0.95	3.08%	0.98	0.6501	80.05%	25.33%
Education	29	0.98	19.44%	11.89%	0.86	6.95%	0.92	0.5231	55.82%	15.92%
Electrical Equipment	101	1.27	14.84%	5.14%	1.14	4.87%	1.20	0.6052	72.12%	15.35%
Electronics (Consumer & Office)	11	0.92	13.31%	0.00%	0.84	12.32%	0.95	0.6540	73.20%	1011.22%
Electronics (General)	122	1.06	14.42%	6.59%	0.96	5.57%	1.01	0.5014	61.61%	26.37%
Engineering/Construction	42	0.99	17.92%	14.71%	0.87	5.05%	0.92	0.4576	47.33%	27.96%
Entertainment	96	1.04	20.34%	2.06%	0.90	3.67%	0.94	0.6256	62.70%	30.41%
Environmental & Waste Services	50	0.92	19.32%	6.84%	0.80	1.41%	0.82	0.5672	54.48%	31.77%
Farming/Agriculture	35	0.98	53.33%	8.89%	0.70	4.11%	0.73	0.5104	69.59%	50.76%
Financial Svcs. (Non-bank & Insur)	166	1.07	286.66%	11.81%	0.34	2.79%	0.35	0.3957	41.96%	34.87%
Food Processing	77	0.47	36.52%	10.12%	0.37	2.74%	0.38	0.4525	46.27%	10.04%
Food Wholesalers	14	0.72	43.28%	15.53%	0.54	1.39%	0.55	0.3446	39.17%	33.58%
Furn/Home Furnishings	28	0.87	41.93%	11.61%	0.66	4.52%	0.69	0.4093	54.80%	22.10%
Green & Renewable Energy	18	1.13	176.18%	1.22%	0.49	2.71%	0.50	0.6739	71.93%	41.18%
Healthcare Products	218	1.01	12.79%	4.10%	0.92	3.38%	0.96	0.5519	67.41%	32.72%
Healthcare Support Services	113	0.94	32.20%	8.80%	0.76	7.02%	0.82	0.5578	54.00%	26.43%
Healthcare Information and Techno	116	1.22	16.20%	3.82%	1.09	2.93%	1.12	0.5497	64.54%	44.24%
Homebuilding	30	1.43	17.50%	17.73%	1.26	8.31%	1.38	0.3436	41.43%	67.64%
Hospitals/Healthcare Facilities	33	0.86	77.15%	9.05%	0.54	3.95%	0.57	0.5355	50.81%	18.23%
Hotel/Gaming	65	1.19	43.21%	10.65%	0.90	5.17%	0.95	0.4344	45.10%	101.92%
Household Products	101	0.90	15.22%	8.00%	0.81	3.07%	0.83	0.6304	56.67%	11.91%
Information Services	16	0.98	35.37%	15.37%	0.77	3.12%	0.80	0.4241	39.66%	44.39%
Insurance (General)	22	0.76	17.35%	8.78%	0.67	2.45%	0.69	0.3637	51.01%	52.59%
Insurance (Life)	19	0.73	62.73%	14.51%	0.50	19.81%	0.62	0.2558	34.31%	28.77%
Insurance (Prop/Cas.)	53	0.61	15.46%	16.05%	0.55	4.62%	0.57	0.2914	33.69%	29.88%
Investments & Asset Management	231	0.57	35.04%	6.19%	0.45	10.06%	0.50	0.2668	22.94%	19.98%
Machinery	109	1.07	15.70%	11.22%	0.96	2.92%	0.98	0.4267	46.07%	20.52%
Metals & Mining	24	1.02	16.76%	1.80%	0.91	5.56%	0.96	0.6103	72.37%	56.53%
Office Equipment & Services	14	1.20	46.51%	13.45%	0.89	7.65%	0.96	0.3777	49.89%	17.10%
Oil/Gas (Integrated)	4	0.48	13.71%	25.23%	0.44	3.77%	0.46	0.1820	25.56%	107.91%

Fuente: (Aswath , Industry Betas, 2024)