

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

"Estudio técnico-económico para elegir un sistema de trasvase adecuado de agua de contacto en la unidad minera Pierina"

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por

José Jhonatan Melendez Rivera

 [0009-0006-3689-6592](https://orcid.org/0009-0006-3689-6592)

Asesor

MSc. Samuel Vladimir Rivera Castilla

 [0009-0008-1714-6002](https://orcid.org/0009-0008-1714-6002)

LIMA – PERÚ

2025

Cita	(Melendez, 2025)
Referencia/Reference	Melendez J. (2025). <i>Estudio técnico-económico para elegir un sistema de trasvase adecuado de agua de contacto en la unidad minera Pierina</i> [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía en cada paso de mi vida y darme la fortaleza para superar los desafíos.

A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Mamá y papá, sus sacrificios y enseñanzas han sido mi mayor motivación.

A mis profesores y mentores, quienes con paciencia y sabiduría han iluminado mi camino profesional.

A mis amigos, por su compañía, palabras de aliento y por compartir este viaje académico conmigo.

Finalmente, a mí mismo, por no rendirme, por aprender de los errores y por seguir adelante con determinación.

Resumen

Esta tesis se centra en el análisis técnico-económico para la selección óptima de proyectos de trasvase de agua, utilizando un enfoque comparativo de dos opciones distintas. El objetivo principal es desarrollar un marco metodológico que permita evaluar y comparar estas opciones en términos de viabilidad técnica, costos y beneficios económicos, así como la sostenibilidad a largo plazo.

El estudio comienza con una revisión de la literatura sobre trasvase de agua, identificando los principales desafíos y criterios de evaluación. Luego, se describen las opciones de trasvase consideradas, detallando sus características técnicas y los contextos en los que se aplicarían.

Para el análisis económico, se emplean métricas clave como la relación beneficio-costos, así como los gastos de capital (CAPEX) y los gastos operativos (OPEX). Además, se consideran beneficios intangibles como el cumplimiento de normativas ambientales y la mejora en la reputación corporativa.

El análisis de riesgos identifica y evalúa los posibles eventos que podrían afectar el éxito de cada opción, considerando tanto la probabilidad de ocurrencia como el impacto potencial. La durabilidad y fiabilidad de los sistemas propuestos también son evaluadas para asegurar una operación continua y eficiente.

Los resultados de este estudio proporcionan una comparación detallada de las opciones de trasvase, destacando las ventajas y desventajas de cada una. Esta tesis contribuye a la toma de decisiones informada en la mina Pierina, proporcionando una herramienta valiosa para la selección de proyectos de trasvase que maximicen los beneficios y minimicen los riesgos.

Palabras clave-Trasvase, viabilidad, riesgos, CAPEX, OPEX, costo-beneficio

Abstract

This thesis focuses on the technical-economic analysis for the optimal selection of water transfer projects, using a comparative approach of two different options. The main objective is to develop a methodological framework that allows to evaluate and compare these options in terms of technical feasibility, costs and economic benefits, as well as long-term sustainability.

The study begins with a review of the literature on water transfer, identifying the main challenges and evaluation criteria. Then, the transfer options considered are described, detailing their technical characteristics and the contexts in which they would be applied. For the economic analysis, key metrics such as the benefit-cost ratio, as well as capital expenditures (CAPEX) and operating expenses (OPEX) are used. In addition, intangible benefits such as compliance with environmental regulations and improvement in corporate reputation are considered.

The risk analysis identifies and evaluates the possible events that could affect the success of each option, considering both the probability of occurrence and the potential impact. The durability and reliability of the proposed systems are also assessed to ensure continued and efficient operation.

The results of this study provide a detailed comparison of the water transfer options, highlighting the advantages and disadvantages of each. This thesis contributes to informed decision making at the Pierina mine, providing a valuable tool for the selection of water transfer projects that maximize benefits and minimize risks. Furthermore, the developed methodological framework can be applied in other contexts and sectors facing similar challenges in water resource management.

Tabla de Contenido

<i>Dedicatoria</i>	iii
Resumen	iv
Abstrac	v
Lista de Figuras	viii
Introducción	ix
Capítulo I: Planteamiento de la realidad problemática	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Descripción de la realidad problemática	4
1.3. Formulación del problema	5
1.3.1. <i>Problema General</i>	6
1.3.2. <i>Problemas específicos</i>	6
1.3.3. <i>Justificación e importancia</i>	6
1.4. Objetivos	7
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	7
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	7
1.5. Hipótesis	7
1.5.1. <i>Hipótesis general</i>	7
1.5.2. <i>Hipótesis específicas</i>	7
1.6. Variables, dimensiones e indicadores	8
1.6.1. <i>Variables Independiente:</i>	8
1.6.2. <i>Variable dependiente:</i>	8
1.6.3. <i>Operacionalización de variables</i>	10
1.7. <i>Metodología de la investigación</i>	11
1.7.1. <i>Unidad de Análisis</i>	11
1.7.2. <i>Tipo Enfoque, nivel y diseño de investigación</i>	11
1.7.3. <i>Recopilación de datos</i>	11
1.7.4. <i>Procesamiento de datos</i>	12
1.7.5. <i>Análisis de resultados</i>	12
1.7.6. <i>Fuentes de información e instrumentos utilizados</i>	12
Capítulo II: Marco Teórico y Marco Conceptual	13
2.1 Marco Teórico	13
2.1.1. <i>Sistema De Traslase</i>	13
2.1.2. <i>Sistema de Bombeo</i>	13
2.1.3. <i>Diseño de un Sistema de Bombeo</i>	15
2.1.4. <i>Evaluación Económica De Los Proyectos</i>	25
2.2. Marco Conceptual	27

2.2.1. <i>Evaluación Técnica Del Proyecto De Traslase</i>	27
2.2.2. <i>Evaluación Económica De Proyecto De Traslase</i>	30
Capítulo III: Desarrollo del trabajo de investigación.....	34
3.1. Evaluación Técnica	34
3.1.1. <i>Descripción general</i>	34
3.1.1.1 . <i>Caso I-Poza Intermedia:</i>	34
3.1.1.2. <i>Caso II-Bombeo en serie:</i>	34
3.1.2. <i>Parámetros de diseño</i>	35
3.1.3. <i>Bombas empleadas y características</i>	36
3.1.4. <i>Sistema de Tubería</i>	36
3.1.5. <i>Calculo hidráulico</i>	38
3.2. Evaluación económica	43
3.2.1. <i>Cotización del sistema de bombeo</i>	43
3.2.2. <i>Análisis de Costo-Beneficio Cualitativo</i>	47
3.2.3. <i>Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)</i>	48
3.3. Análisis de riesgos	50
3.3.1. <i>Análisis de riesgos para la Alternativa 1: Sistema de bombeo con Poza Intermedia</i>	50
3.3.2. <i>Análisis de riesgos para la Alternativa 2: Sistema de bombeo en serie</i>	55
Capítulo IV: Resultados, contrastación de hipótesis y discusión de resultados	59
4.1. Análisis de resultados	59
4.2. Discusión de resultados	61
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Referencias	64
Anexos.....	65

Lista de Tablas

Tabla 1	Matriz de Operacionalización	10
Tabla 2	<i>Rugosidades absolutas</i>	22
Tabla 3	<i>Tuberías 6" HDPE</i>	23
Tabla 4	<i>Características Técnicas de las alternativas de trasvase Ard Pucauran - Pacchac</i>	28
Tabla 5	<i>Características del fluido de trabajo</i>	35
Tabla 6	<i>Condiciones de trabajo - 1</i>	36
Tabla 7	<i>Condiciones de trabajo - 2</i>	37
Tabla 8	<i>Rugosidades absolutas</i>	38
Tabla 9	<i>Cálculo del diámetro mínimo de tubería</i>	39
Tabla 10	<i>Velocidades críticas</i>	39
Tabla 11	<i>Evaluación de pérdidas de carga</i>	40
Tabla 12	<i>Configuración de alternativa 1 y 2</i>	40
Tabla 13	<i>Cálculos de perdida de carga</i>	41
Tabla 14	<i>Cálculo de potencias requeridas</i>	42
Tabla 15	<i>Costos fijos alternativa 1</i>	43
Tabla 16	<i>Costos operativos alternativa 1</i>	44
Tabla 17	<i>Costos fijos alternativa 2</i>	45
Tabla 18	<i>Costos operativos alternativa 2</i>	46
Tabla 19	<i>Análisis multicriterio</i>	48
Tabla 20	<i>Cálculo del CAUE</i>	50
Tabla 21	<i>Lista de Riesgos</i>	51
Tabla 22	<i>Curva S -Alternativa 12</i>	55
Tabla 23	<i>Resumen de TDH</i>	59
Tabla 24	<i>Resumen CAPEX-OPEX</i>	60

Lista de Figuras

Figura 1	Proyecto Olmos	13
Figura 2	Arreglo General de un sistema de bombeo	14
Figura 3	Velocidad límite de transporte	16
Figura 4	Clasificación Flujo maquinas	18
Figura 5	Bomba centrifugas	19
Figura 6	Bomba de flujo radial	19
Figura 7	Bomba axial	20
Figura 8	Curva característica de la bomba	20
Figura 9	Diagrama de Moody	21
Figura 10	Alternativa 1 sistema de bombeo con poza intermedia	28
Figura 11	Alternativa 2 Sistema de bombeo en serie	29
Figura 12	Diagrama de Gantt alternativa 1	52
Figura 13	Registro de riesgos probabilidad vs impacto	52
Figura 14	Curva S -Alternativa 1	53
Figura 15	Análisis de sensibilidad -Alternativa 1	54
Figura 16	Resumen de impacto de riesgos -Alternativa 1	54
Figura 17	Resumn grafico -Alternativa 1	54
Figura 18	Diagrama Gantt Alternativa 2	56
Figura 19	Registro de riesgos probabilidad vs impacto	56
Figura 20	Curva S -Alternativa 2	57
Figura 21	Análisis de sensibilidad -Alternativa 2	57
Figura 22	Resumen de impacto de riesgos -Alternativa 2	58
Figura 23	Resumen grafico-Alternativa 2	58

Introducción

La adecuada gestión de los recursos hídricos representa uno de los mayores retos en la industria minera, especialmente en el marco de los procesos de cierre de minas. En este contexto, la mina Pierina debe implementar un sistema eficiente para el trasvase de aguas contaminadas, cumpliendo con las normativas ambientales y optimizando los recursos económicos disponibles.

Esta investigación tiene como objetivo comparar dos alternativas de trasvase mediante un análisis técnico y económico que evalúe aspectos clave como viabilidad operativa, costos de instalación (CAPEX) y costos de operación (OPEX), además de considerar beneficios intangibles. Estas alternativas forman parte de las soluciones planteadas para el cierre de la mina, priorizando un enfoque sostenible y minimizando posibles impactos negativos.

La metodología utilizada se centra en un enfoque cuantitativo, donde se diseñan y analizan sistemas de bombeo adaptados a las condiciones específicas del proyecto. Mediante herramientas de ingeniería económica, como el análisis costo-beneficio y la determinación de costos equivalentes anuales, se busca identificar la opción más adecuada.

Los resultados obtenidos serán esenciales para la toma de decisiones en Pierina y podrían servir de guía para otras iniciativas similares en el sector minero, promoviendo una gestión hídrica y ambiental más responsable.

Capítulo I: Planteamiento de la realidad problemática

1.1. Antecedentes investigativos

Sumaria y Suarez (2019) realizó una investigación cuyo objetivo fue analizar la viabilidad de un proyecto de ampliación de un sistema de bombeo en el interior de una mina subterránea mediante un análisis técnico - económico. Se utilizó un diseño experimental, la muestra es el sistema de aguas subterráneas pertenecientes a la Minera volcán ubicada en Huayllay. Como instrumento de medición se usó los estudios geomecánicos, hidrogeológicos, topográficos e hidráulicos previamente realizados por la compañía minera en los últimos años. Los resultados mostrados en la evaluación técnica demostró que es posible implementar un sistema de bombeo en tres etapas mediante bombas centrífugas multietapas, así también la evaluación económica demostró la viabilidad del proyecto con un VAN de US\$ 65,562,057 y un TIR de US\$ 18.1% para un CAPEX de US\$ 13,571,442. La tesis concluye que técnica y económicamente es viable la implementación del sistema de bombeo con las consideraciones técnicas mencionadas en esta investigación, se recomienda en la tesis realizar estudios de caracterización hidráulica de las aguas subterráneas, lo cuales incluyen pruebas de campo en la cercanías del tajo, para determinar las necesidades de desagüe en el corto y largo plazo.

Peralta Vera (2018) realizó una investigación cuyo objetivo fue evaluar aspectos técnicos -económicos para la instalación de un sistema de bombeo solar fotovoltaico en una frontera agrícola aislada en Arequipa. Se utilizó un diseño experimental, la muestra es el complejo agrícola de la empresa Majes Tradición S.A ubicado en la región Arequipa, dentro de este complejo se encuentra la fuente de agua natural, un derivado del río Majes. Como instrumento de medición se usó los informes topográficos e hidráulicos obtenidos por Majes Tradición S.A. El análisis técnico determinó los parámetros electro -hidráulicos más relevantes para el correcto funcionamiento de los

equipos, se determinó mediante el análisis económico la rentabilidad del proyecto obteniendo un PBP de 5.3 años. La tesis concluye que técnica y económicamente es confiable y rentable ejecutar este proyecto.

Bas Gonzales (2020) realizó una investigación cuyo objetivo fue optimizar el diseño de un sistema híbrido mediante un análisis técnico - económico. Se utilizó un diseño experimental, la muestra son los proyectos que se sitúan en diferentes partes de Senegal. Como instrumento de medición se usó los estudios geomecánicas, hidrológicos, topográficos e hidráulicos previamente realizados en los últimos años. Los resultados mostrados en la evaluación técnica demostraron que es posible optimizar un sistema de bombeo, así también el análisis económico nos muestra la inversión que este sistema híbrido implica. La tesis concluye que la implementación en la región aporta un gran valor, esto se muestra en el análisis técnico, social y medioambiental, así también el CAPEX muestra un alto valor inicial que equivale a la mejora de calidad de vida de los habitantes de España y Senegal.

Rodríguez Núñez (2017) realizó una investigación cuyo objetivo fue realizar un estudio de prefactibilidad técnica y económica de un sistema de bombas de calor geotérmicas para la climatización para el proyecto de viviendas de integración social San Alberto de Casas Viejas. Se utilizó un diseño experimental, la muestra es la comuna de Puente Alto, sector de Casas Viejas, junto al río Maipo. Como instrumento de medición se usaron los registros geotérmicos de los últimos años en estas áreas, así como la distribución por área de las casas de esta comuna, que sirvió como base para obtener la demanda energética. Los resultados mostrados en la evaluación técnica demostraron que es posible implementar un sistema de climatización, la evaluación económica determinó una inversión de 14 millones de dólares cuando solo se usa para calefaccionar en invierno, el tiempo de retorno de inversión cae en un rango de 6 a 20

años. La tesis concluye que la solución de climatización es técnica, económica y socialmente factible ya que conserva la sustentabilidad del recurso energético, así también es económicamente competitiva con otras tecnologías convencionales; considerando como una tecnología que no contamina y mejora la calidad de vida y el confort térmico por lo menos de 8000 personas de recursos escasos.

Auccacusi Montejo (2015) realizó una investigación cuyo objetivo fue demostrar cuál de las bombas de ER es la óptima para cumplir con los requerimientos del sistema de bombeo; así también analizar económicamente la rentabilidad y factibilidad del proyecto, la muestra son las familias de la zona poblada del distrito de Pucyura, provincia de Anta, Cusco, una zona agrícola y ganadera por lo que necesita usar diversas fuentes de agua. Como instrumento de medición se usaron los registros geotérmicos de los últimos años en estas áreas, así como la distribución por área de las casas de esta comuna, que sirvió como base para obtener la demanda energética. Los resultados mostrados en la evaluación técnica demostró que es posible implementar un sistema de climatización, la evaluación económica determinó una inversión de 14 millones de dólares cuando solo se usa para calefaccionar en invierno, el tiempo de retorno de inversión cae en un rango de 6 a 20 años .La tesis concluye que la solución de climatización es técnica , económica y socialmente factible ya que conserva la sustentabilidad del recurso energético ,así también es económicamente competitiva con otras tecnologías convencionales ;considerando como una tecnología que no contamina y mejora la calidad de vida y el confort térmico por lo menos de 8000 personas de recursos escasos.

Davalos Pongo (2019) realizó una investigación cuyo objetivo fue diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, así también evaluar técnica y económicamente del proyecto. La muestra es toda la zona agrícola que se necesitaba servir de agua para evidenciar el impacto. Como instrumento

de medición se usaron los registros de radiación solar de los últimos años en estas áreas, así como la distribución de hectáreas agrícolas a regar. Los resultados mostrados en la evaluación técnica demostraron la potencia suministrada es suficiente para bombear la demanda hídrica, se obtuvo un TIR del 9% siendo factible el proyecto económicamente el proyecto. La tesis concluye que la solución de bombeo mediante energía fotovoltaica es económica y técnicamente factible para el caso de la agricultura de este centro poblado Chinumani.

Neira Basto (2019) realizó una investigación cuyo objetivo evaluar técnica y financieramente la eficiencia de la nueva tecnología REDlift en bombeo electrosumergible, para tres pozos en el Valle Superior del Magdalena y para tres pozos en la provincia de Sucumbíos en Ecuador. Son los Valles de Sucumbios donde se requiere recurso hídrico utilizando los pozos de las zonas. Como instrumento de medición se usaron los estudios topográficos, hidrológicos y demanda hídrica para seleccionar las pozas a utilizar para el sistema del bombeo. Se concluye que una selección adecuada de los equipos de bombeo electrosumergible para los requerimientos de producción, determina la eficiencia y el beneficio de la tecnología REDLift frente a la tecnología estándar, la evaluación financiera muestra un ahorro de 27 mil dólares en el Campo A y 16 mil dólares en el Campo B, el cual se debe a que el costo de mano de obra, producción y ensamble fue considerablemente reducido por parte de la empresa soporte para su implementación sin afectación en la calidad el producto. La tesis concluye que la implementación de esta nueva tecnología como sistema de bombeo género una optimización técnica y económica en comparativa con otras alternativas.

1.2.Descripción de la realidad problemática

En la actualidad, la mina Pierina se encuentra llevando a cabo el primer gran cierre de mina en el Perú, bajo nuestro marco regulatorio actual, un plan de cierre de

mina es una herramienta de gestión ambiental que describe las acciones técnicas y legales para cerrar y rehabilitar una unidad minera para lograr características ecosistémicas consistentes con un entorno de desarrollo saludable y adecuado. Este proceso implica cumplir con diversos requerimientos ambientales obligatorios establecidos por el estado, tales como revegetación, limpieza de zonas de explotación, demolición de infraestructuras, tratamiento de aguas (actividad que continuará en el post cierre por 30 años), afianzamiento hídrico, entre otros.

Todas las infraestructuras por demoler o dismantelar, así como las que se quedaran intactas para el post cierre deben estar dentro del plan del cierre de mina presentado a las autoridades del estado. Muchas de las infraestructuras a preservar son aquellas encargadas del tratamiento del recurso hídrico, recurso vital y eje de muchos temas que conllevan este cierre. Dentro de las infraestructuras que se mantendrán en el post-cierre se encuentran las plantas de tratamiento de agua ARD PUCAURAN Y ARD PACCHAC. Unas de las infraestructuras que contemplan este plan de cierre de mina es el sistema de descarga de las aguas tratadas al Rio Santa, se optó por realizar un trasvase desde la planta Ard Pucauran hacia Pacchac y luego realizar la descarga hacia el Rio Santa, en lugar de realizar la descarga directamente desde la planta de tratamiento Ard Pucauran al Rio Santa.

El proyecto del trasvase de las plantas de tratamiento aún se encuentra en una etapa de prefactibilidad, teniendo así varias alternativas técnicas como opción de análisis. La problemática de este trabajo de tesis se centra en obtener la alternativa óptima basándonos en un análisis técnico económico en comparativa con las demás.

1.3. Formulación del problema

Se han planteado varias opciones para llevar a cabo el proyecto de trasvase, cada una con características diferentes que se reflejan en los costos de inversión, operación y mantenimiento. Los riesgos asociados a cada alternativa varían según su

implicancia y el nivel de ingeniería requerido. Una elección incorrecta de la alternativa podría resultar en pérdidas e inconvenientes durante la ejecución del proyecto, lo que incrementaría los gastos futuros. La selección óptima de las opciones propuestas para este trasvase depende de un análisis técnico-económico exhaustivo que tome en cuenta las consideraciones necesarias para la ejecución de cada proyecto.

Es necesario evaluar meticulosamente cada alternativa para identificar la más adecuada en términos de viabilidad técnica, económica y ambiental, garantizando así el éxito del proyecto y la mitigación de posibles impactos negativos.

1.3.1.Problema General

¿Permitirá un estudio técnico-económico elegir un sistema de trasvase adecuado de aguas de contacto en la unidad minera Pierina?

1.3.2.Problemas específicos

¿De qué manera el estudio de la viabilidad técnica permitirá la elección adecuada de un sistema de trasvase de agua de contacto en la unidad minera Pierina?

¿En qué medida un estudio económico de los costos de inversión (capex), costos de operación (opex) y de los beneficios, permitirán la elección de un sistema de trasvase adecuado de aguas de contacto en la unidad minera Pierina?

1.3.3.Justificación e importancia

La importancia de esta tesis radica en su potencial para mejorar la gestión de recursos hídricos en el sector minero, específicamente en la mina Pierina. Al abordar la selección de proyectos de trasvase desde un enfoque técnico-económico, se pueden identificar soluciones que no solo sean técnicamente viables sino también económicamente rentables. Esto es crucial para la sostenibilidad y competitividad de las operaciones mineras, dado que una gestión hídrica eficiente puede reducir costos,

minimizar impactos ambientales y asegurar la continuidad operativa. Además, los resultados y metodologías desarrolladas en este estudio pueden servir como referencia para otros proyectos mineros y sectores industriales, promoviendo prácticas más sostenibles y eficientes en el uso de recursos hídricos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Proponer un estudio técnico económico que permita elegir un sistema de trasvase adecuado, de aguas de contacto, en la unidad minera Pierina.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la viabilidad técnica de un sistema de trasvase adecuado, de aguas de contacto, en la unidad minera Pierina.
- Determinar un estudio económico de los costos de inversión (capex), costos de operación (opex) y de los beneficios que permitan la elección de un sistema de trasvase adecuado de aguas de contacto en la unidad minera Pierina

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Un estudio técnico-económico permitirá elegir un sistema de trasvase adecuado, de aguas de contacto, en la unidad minera Pierina.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La determinación de la viabilidad técnica permitirá elegir un sistema de trasvase adecuado, de aguas de contacto, en la unidad minera Pierina.
- Un estudio económico de los costos de inversión (capex), costos de operación (opex) y de los beneficios permitirá elegir un sistema de trasvase adecuado de aguas de contacto en la unidad minera Pierina

1.6. Variables, dimensiones e indicadores

1.6.1. Variables Independiente:

Estudio técnico – económico

El estudio técnico-económica es un proceso integral que combina aspectos técnicos y económicos para analizar la viabilidad y el rendimiento de un proyecto, inversión o iniciativa. Este tipo de evaluación permite tomar decisiones informadas al considerar tanto los aspectos técnicos relacionados con la factibilidad y eficiencia del proyecto, como los aspectos económicos asociados con los costos, ingresos, beneficios y riesgos financieros.

Dimensiones:

- Viabilidad técnica

Indicador:

Volumen de agua trasvasada Unidad de medida metros cúbicos, Potencia requerida Unidad de medida kilowatts

- Viabilidad económica

Indicador:

CAPEX Unidad de medida dólares, OPEX Unidad de medida dólares

1.6.2. Variable dependiente:

Sistema de trasvase

Es la configuración o diseño para un sistema hidráulico que depende de ciertas variables o factores, un sistema de trasvase generalmente implica la transferencia de líquidos, gases o materiales sólidos de un lugar a otro y depende de la viabilidad técnica y económica para su construcción y operación, estos sistemas se aplican en la minería

Dimensiones:

- Capacidad de trasvase

Indicador:

Volumen de agua a trasvasar(m3),

- Capacidad energética

Indicador

Potencia requerida (kW)

1.6.3. Operacionalización de variables

Tabla 1
Matriz de Operacionalización

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escalas de medición
Sistema de trasvase	Es una obra o configuración hidráulica cuya finalidad es trasladar algún fluido desde un punto hacia otro.	Es la configuración o diseño para un sistema hidráulico que depende de ciertas variables o factores, un sistema de trasvase generalmente implica la transferencia de líquidos, gases o materiales sólidos de un lugar a otro y depende de la viabilidad técnica y económica para su construcción y operación, estos sistemas se aplican en la minería	Capacidad del sistema Eficiencia operativa	Capacidad de trasvase Potencia requerida(kW) Costos operativos(\$/m3)	Proyecto viable/Proyecto no viable
ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO	Estudio que permite sustentar la viabilidad la ejecución o comercialización de algún producto o proyecto.	La evaluación técnica-económica es un proceso integral que combina aspectos técnicos y económicos para analizar la viabilidad y el rendimiento de un proyecto, inversión o iniciativa. Este tipo de evaluación permite tomar decisiones informadas al considerar tanto los aspectos técnicos relacionados con la factibilidad y eficiencia del proyecto,	Viabilidad técnica Viabilidad Económica	Costos de inversión (CAPEX) Costos Operativos (OPEX) Ingresos y beneficios (Costo-Beneficio) Volumen de trasvase (m3) Potencia requerida (Kw)	Costo-Beneficio (C/B) Muy Bueno: C/B > 1 y significativamente alto. Bueno: C/B > 1. Regular: C/B = 1. Malo: C/B < 1. Ratio CAPEX/OPEX: Muy Bueno: Ratio < 1 (significa que los costos operativos son más bajos que la inversión inicial, indicando sostenibilidad). Bueno: Ratio entre 1 y 2. Regular: Ratio entre 2 y 3. Malo: Ratio > 3 (los costos operativos son significativamente altos en comparación con la inversión inicial, lo que puede ser un riesgo).

Fuente: Elaboración Propia

1.7. Metodología de la investigación

1.7.1. Unidad de Análisis

El trabajo de investigación utilizará como unidad de análisis la unidad minera Pierina, distrito de Jangas, departamento de Huaraz, de los cual se obtendrán diversos datos para el estudio técnico (estudios topográficos, hidrológicos, etc) y análisis financiero que se consideran dentro la presente tesis.

1.7.2. Tipo Enfoque, nivel y diseño de investigación

Dankhe (1986) propone cuatro tipos de estudios: exploratorios, descriptivos, correlacionales y experimentales. Hay quienes prefieren denominar estos últimos, estudios explicativos en lugar de experimentales pues consideran que existen investigaciones no experimentales que pueden aportar evidencias para explicar las causas de un fenómeno.

La presente investigación es de nivel correlacional ya que la investigación correlacional es un tipo de método de investigación no experimental en el cual un investigador mide dos variables. Entiende y evalúa la relación estadística entre ellas sin influencia de ninguna variable extraña o externa.

Es un tipo de investigación aplicada ya que tiene como objetivo solucionar problemas prácticos a necesidades específicas en la toma de decisiones a nivel de proyectos industriales o mineros.

Finalmente se utilizará un enfoque cuantitativo en la presente investigación, es decir asociar los datos numéricos para establecer patrones y comprobar las hipótesis.

1.7.3. Recopilación de datos.

Registro de datos técnicos del sistema de bombeo de las posibles alternativas. En esta etapa se reúnen las especificaciones técnicas de diferentes sistemas de bombeo, incluyendo capacidad, eficiencia, materiales, tipos de bombas y motores, requerimientos de energía, y sistemas de control.

Registro de riesgos hidrológicos, geológicos, sociales de cada alternativa.

En esta etapa se identifican y documentan los riesgos hidrológicos (inundaciones, sequías), geológicos (terremotos, deslizamientos) y sociales (impacto en comunidades locales, aceptación social) asociados con cada sistema alternativo

1.7.4. *Procesamiento de datos*

Análisis técnico de cada alternativa. En esta etapa se evalúan las características técnicas de cada alternativa, considerando factores como eficiencia energética, durabilidad, facilidad de mantenimiento, y compatibilidad con las condiciones del sitio.

Análisis económico de cada alternativa.

En esta etapa se realiza una evaluación económica detallada, incluyendo los costos de inversión inicial (CAPEX), costos operativos y de mantenimiento (OPEX), vida útil del equipo, y posibles beneficios económicos a largo plazo

1.7.5. *Análisis de resultados*

Comparativa de las alternativas y selección óptima. En esta etapa se comparan todas las alternativas con base en los análisis técnicos y económicos, utilizando criterios de evaluación como eficiencia, costos, riesgos y beneficios a largo plazo, para seleccionar la opción más adecuada y sostenible.

Conclusiones y recomendaciones. En esta etapa se presentan las conclusiones del análisis comparativo, destacando las ventajas y desventajas de cada alternativa, y se ofrecen recomendaciones sobre la mejor opción para el sistema de bombeo, considerando tanto los aspectos técnicos como económicos y sociales.

1.7.6. *Fuentes de información e instrumentos utilizados*

Se utilizarán como fuentes de información para esta investigación, los estudios hídricos y topográficos propios de la Unidad minera Pierina, memorias de cálculo basadas en bibliografía de mecánica de fluidos.

Capítulo II: Marco Teórico y Marco Conceptual

2.1 Marco Teórico

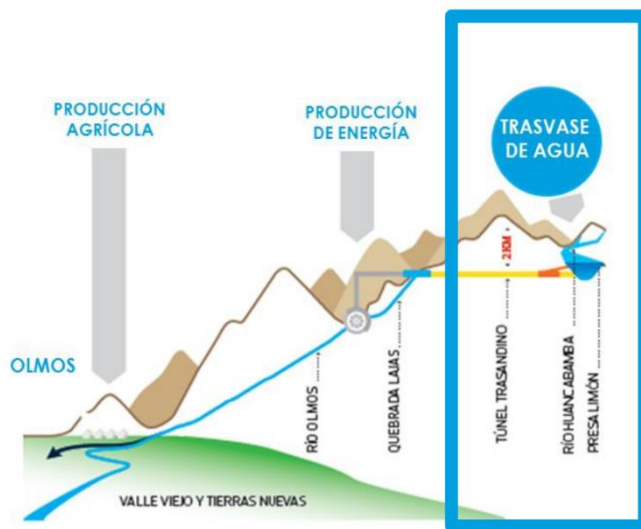
2.1.1. Sistema De Traslase

Según la RAE, el vocablo “trasvase” – o “transvase”, se define como la acción de cambiar un líquido de un recipiente a otro; en gestión hídrica se refiere usualmente a la derivación de volúmenes relevantes de agua de una cuenca hidrográfica hacia otra, usualmente durante un periodo prolongado o incluso permanente.

Los trasvases de agua son acuerdos legales y reguladores, que definen qué cantidad de recursos hídricos se transfieren cada año o en qué situaciones concretas, tenemos un claro ejemplo en el proyecto de Olmos, dicho proyecto se ubica en la región Lambayeque, comprendiendo un conjunto de obras que permiten el regadío de 190000 ha y la generación hidroeléctrica (5000 Gwh) aprovechando los recursos hídricos.

Figura 1

Proyecto Olmos



Fuente. Plataforma del estado peruano-Proyecto Olmos

2.1.2. Sistema de Bombeo

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma

que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos (Marigorta, 1994, p. 18)

El diseño de un sistema de bombeo puede variar según las características propias del uso del fluido a bombear, por lo que los componentes pueden ser distintos; un arreglo general de un sistema de bombeo típico puede ser el siguiente:

Tubería de aspiración.

Bomba Hidráulica.

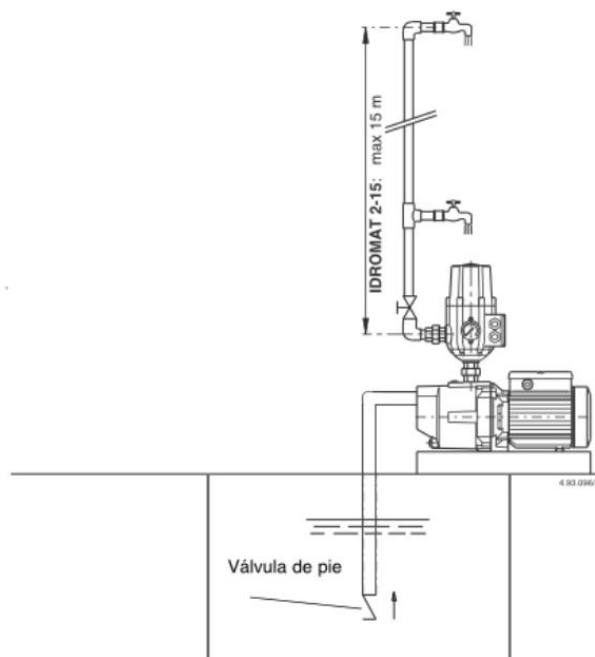
Tubería de descarga.

Tanque o depósito de descarga.

Pozas intermedias o de almacenamiento.

Figura 2

Arreglo General de un sistema de bombeo



Fuente. Hutech Consulting

2.1.3. Diseño de un Sistema de Bombeo

Diseñar un sistema de bombeo requiere una cuidadosa planificación y cálculos precisos para garantizar su eficiencia y confiabilidad. Aquí detallo los pasos generales que podemos seguir en el diseño de un sistema de bombeo:

Requisitos del sistema. Primero se define los requerimientos de caudal y presión del sistema, considerando factores como la demanda de flujo en el proceso o sistema a ser bombeado, la distancia horizontal y vertical que la bomba debe superar, las pérdidas de carga debidas a fricción en tuberías y accesorios, y las características de la pulpa a transportar.

Una pulpa es una mezcla de cualquier líquido con algunas partículas sólidas en suspensión. La naturaleza, tamaño, forma y cantidad de partículas sólidas junto con la naturaleza, densidad y viscosidad del líquido de transporte, determinan las características de la pulpa (Warman, 1992).

La información necesaria que se debe conocer de una pulpa:

El gradiente de presión necesario para producir el escurrimiento en tubos.

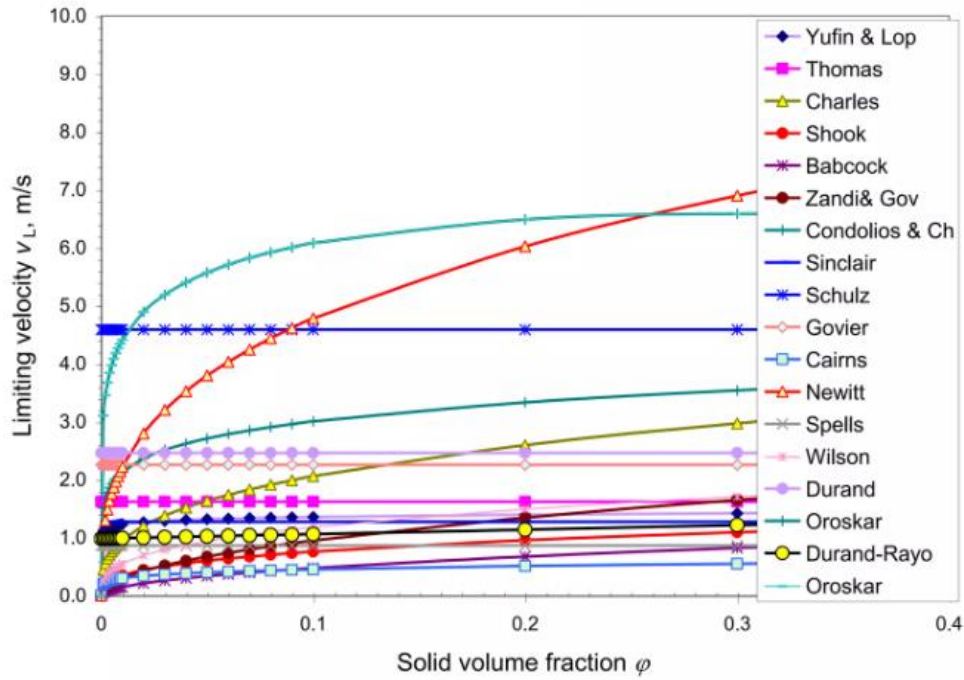
Propiedades de las pulpas.

La velocidad mínima del flujo necesaria para evitar la sedimentación.

El punto 1 y 2 son características que nos ofrece el sistema y el fluido, pero el punto 3, la sedimentación, abarca un análisis más experimental en ciertos aspectos. El flujo turbulento y la velocidad límite de transporte son condiciones para evitar la sedimentación. (Concha, 2020, p. 30)

Figura 3

Velocidad límite de transporte



Fuente. Se muestran la figura diferentes modelos para obtener la velocidad límite. Concha ,2020

Existen ecuaciones empíricas que se toman según sean sólidos finos o gruesos, ya sea una distribución angosta o ancha, de los modelos mostrados en la ilustración anterior, Durand y Rayo nos muestran las siguientes ecuaciones:

Para sólidos finos y distribución angosta en tuberías pequeñas:

$$v_l = 1.1 \times F_l(\varphi, d_{50}) \times (2gD\Delta\rho/\rho_f)^{0.5}; \text{ para } \varphi < 0.2$$

Para sólidos gruesos y distribución ancha en tuberías pequeñas:

$$v_l = F_l(\varphi, d_{50}) \times (2gD\Delta\rho/\rho_f)^{0.5} \times \left(\frac{d_{80}}{d_0}\right); \text{ para } \varphi < 0.2$$

Para sólidos finos y distribución angosta en tuberías grandes:

$$v_l = 1.25 \times F_l(\varphi, d_{50}) \times (2gD\Delta\rho/\rho_f)^{0.25}$$

$$F_l = (0.2154\varphi + 0.1584) \ln(d_{50}) + (1.112\varphi + 1.19); \text{ para } 5 < d_{50}(\mu\text{m}) < 500$$

Donde:

v_l : Velocidad de sedimentación $\left(\frac{m}{s}\right)$

F_l : Factor de corrección dimensional

g = Aceleración de la gravedad

φ : Porcentaje de sólidos (volumen)

ρ/ρ_f : Densidad relativa de sólidos (S)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

Otra variable importante que resume los requisitos del sistema podría ser la THD (altura total dinámica), se obtiene de la siguiente manera.

Altura total dinámica

$$TDH = H_{static} + H_{friction} + H_{minor}$$

Donde:

H_{static} : Altura estática o geodésica

$H_{friction}$: Pérdida de carga por fricción

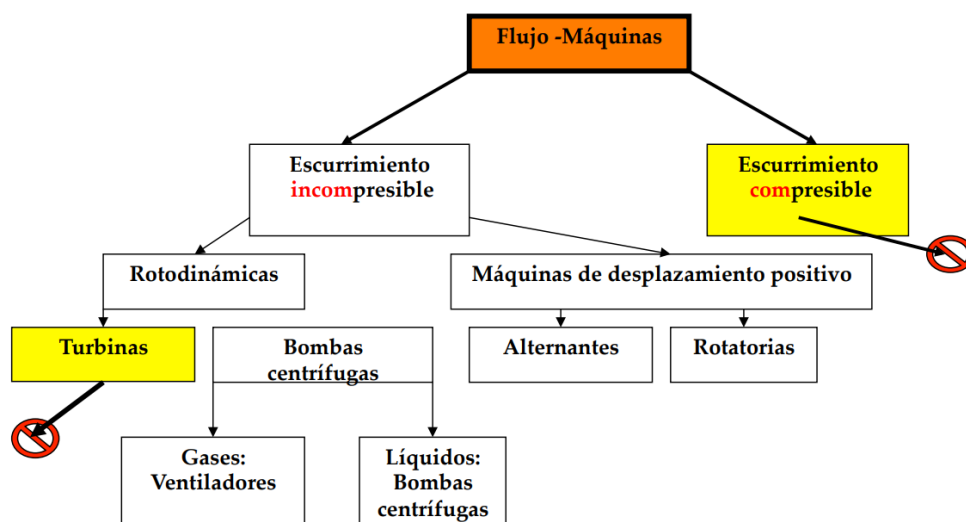
H_{minor} : Pérdida menores por accesorios

Selección de bomba. Una bomba es una máquina hidráulica que recibe energía mecánica y la transforma en energía del fluido más una cantidad de calor (Parga, 2015).

Existen diferentes tipos de flujo máquinas, algunas generan energía como las turbinas o molinos y otras nos brindan movimiento como las bombas. Seleccionar una bomba (centrífuga, de desplazamiento positivo, etc.) adecuada para el tipo de fluido y condiciones de operación es un punto crítico dentro del diseño. Una clasificación comprensible y general es la siguiente. (Cafaggi, 2021)

Figura 4

Clasificación Flujo máquinas

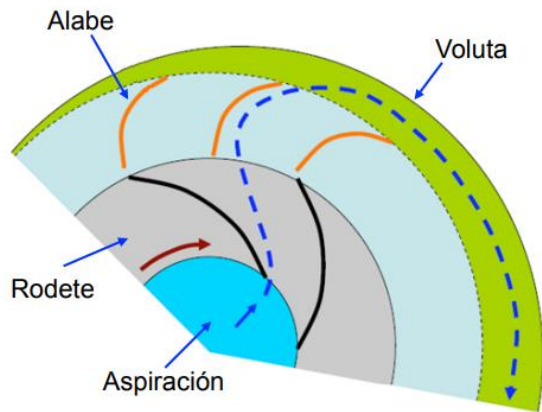


Fuente. El esquema mostrado resume de manera simple la clasificación del flujo máquinas.

Bombas rotodinámicas. El rodete o impulsor que utilizan estas máquinas, tienen alabes o aletas con unos determinados ángulos de incidencia que impulsa el líquido que recibe. El líquido es aspirado por el ojo del rodete, el rodete entrega la energía cinética al fluido; la función del alabe es recoger el fluido y enviarlo sin choques ni turbulencias.

Figura 5

Bomba centrífugas

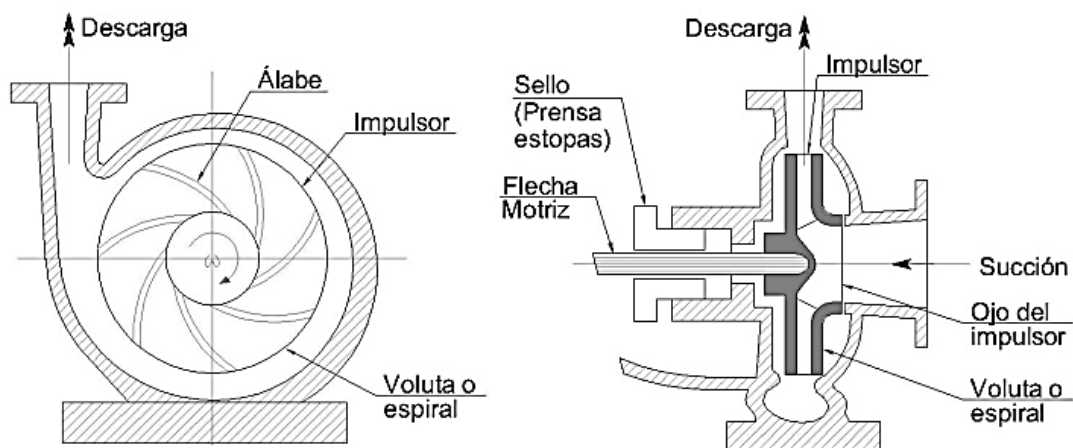


Fuente: Parga, Hidráulica aplicada a procesos mineros

Bomba de flujo radial. La entrada del líquido es axial hasta el ojo del rodete, el líquido es llevado hacia el rodete de forma radial, el escurrimiento se mantiene radial hasta la salida por la periferia (Parga, 2015).

Figura 6

Bomba de flujo radial

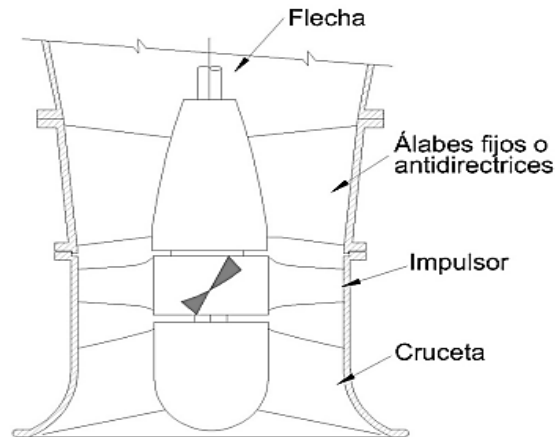


Fuente: Parga, Hidráulica aplicada a procesos mineros

Bomba de flujo axial. Son aquellas bombas en la cual el líquido entra y sale en la misma dirección del eje.

Figura 7

Bomba axial

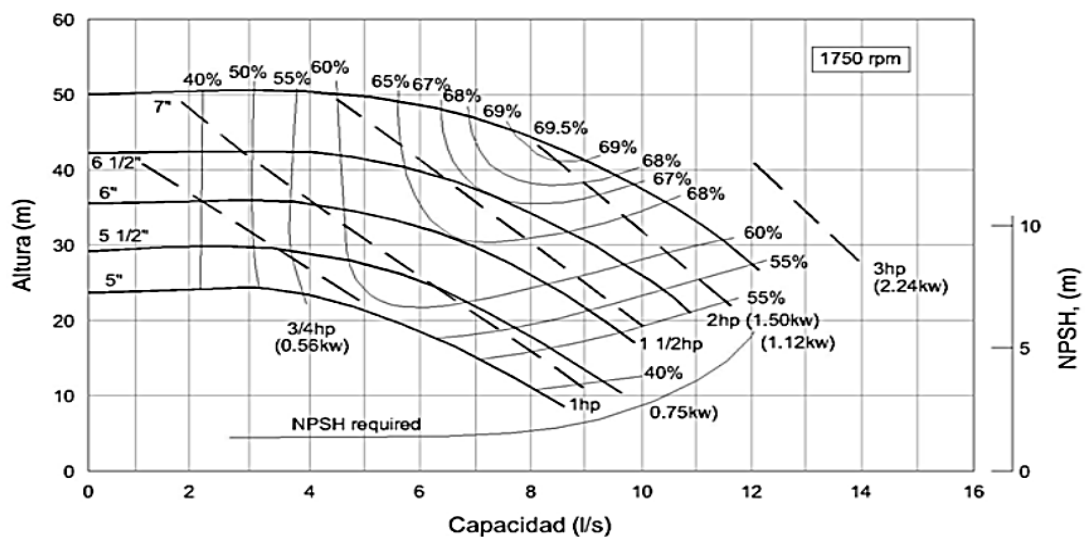


Fuente: Parga, Hidráulica aplicada a procesos mineros

Curva característica de la bomba. Es un gráfico que relaciona la altura de elevación (H) vs el Caudal (Q) que puede ofrecer la máquina.

Figura 8

Curva característica de la bomba



Fuente. Este diagrama nos permite analizar la operación de la bomba según los parámetros indicados.

Columna de succión positiva neta (CSPN). La rotación de los alabes de la bomba produce una disminución de presión interior de la bomba, si esta es menor a la presión de vapor del líquido produce un fenómeno llamado cavitación, para evitar este fenómeno es necesaria una columna de agua de presión de entrada.

$$CSPN = h_{succion} + (h_{psalida} - h_{pvapor}) - h_{fsuccion}$$

Otras consideraciones a tener en cuenta. Caudal, altura de elevación, viscosidad, temperatura, corrosividad, espacio disponible y requisitos de mantenimiento.

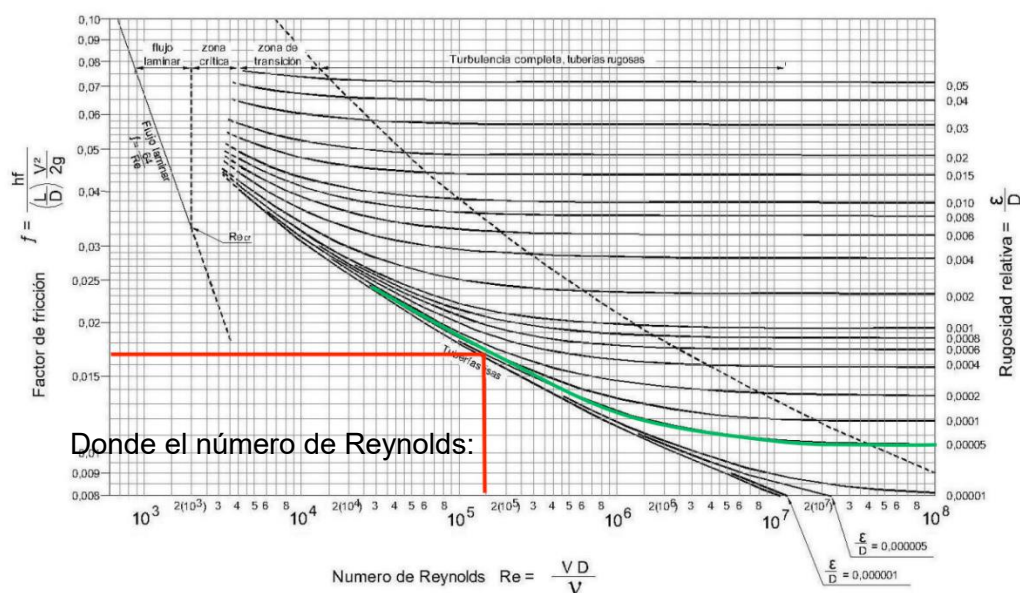
Cálculos hidráulicos

Perdida de Carga Friccional. La pérdida friccional es la pérdida de energía debido a la fricción, en fluidos newtonianos y puros, el gradiente de la carga friccional se calcula mediante el coeficiente de fricción", el cual se encuentra en función del número Reynolds y de la rugosidad de la tubería, esta se puede obtener del diagrama de Moody el cual permite obtener de manera iterativa las condiciones de flujo (Parga, 2015).

$$f = f(Re, \varepsilon/D)$$

Figura 9

Diagrama de Moody



$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Mientras que rugosidad relativa de la conducción, es el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de conducción.

$$k = \frac{\varepsilon}{D}$$

La rugosidad absoluta es dependiente del material de fabricación de la tubería por donde circula el fluido.

Tabla 2
Rugosidades absolutas

Material (Descripción)	rugosidad (mm)
Tubos de Acero soldado de calidad Normal	
Acero Pulido	0,01 – 0,015
Acero Comercial Nuevo	0,046 – 0,15
Acero pulido por flujo de Pulpas	0,05
Acero con Remaches transversales en buen estado	0,1
Acero con ligera Oxidación	0,1 – 0,3
Acero Galvanizado	0,15
Acero Limpiado despues de mucho uso	0,15 – 0,2
Acero Escorreado sin Incrustaciones	0,25
Acero Medianamente Escorreado	0,4
Acero con Grandes Incrustaciones	0,5 – 3
Tubos de Acero Lisos	
Acero Laminado Nuevo	0,04 – 0,1
Acero Laminado Recubierto por Asfalto	0,05
Asbesto Cemento	0,01 – 0,03
Bronce Pulido, Cobre	0,001 – 0,002
Fierro Fundido	0,25 – 0,26
Fierro Fundido con Incrustaciones	1,5 – 3
HDP (Pecc, Sclairpipe, etc.)	0,0015
Hormigón	
Hormigón bien Terminado	0,025
Hormigón Juntas bien Hechas	0,1
Hormigón	0,15 – 0,35
Hormigón mala Terminación	0,35 – 3
Madera	0,18 – 1
Poliuretano	0,0015 – 0,0025
Vidrio	0,001 – 0,002

Calcula las pérdidas friccionales en el sistema de tuberías utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach:

Formula de Darcy - WEISBACH

$$h_f = \left(\frac{8}{g * \pi^2} \right) * f * \left(\frac{Q^2}{D^5} \right) * L$$

hf= Pérdida de carga debida a la fricción [m]

g = gravedad [m/s²]

f =coeficiente de fricción de Darcy

Q = caudal [m³/s]

D = diámetro interno de la tubería [m].

L =Longitud de tubería [m]

Selección de tuberías y accesorios. Se debe seleccionar el material y el tamaño de las tuberías y accesorios adecuados para el sistema, teniendo en cuenta las pérdidas de carga calculadas y las propiedades del fluido.

La selección de la tubería se encuentra relacionada a la presión requerida en el sistema.

Tabla 3
Tuberías 6" HDPE

Alternativas	PN (Psi)	PN (Bar)	PN (mca)	OD (mm)	ID (mm)
11	200	13.79	141	168.3	137.7
9.3	241	16.62	170	168.3	132.1
8.3	274	18.89	193	168.3	127.7
7.3	317	21.86	223	168.3	122.1

Fuente: Catalogo Tuberías HDPE

En la ilustración 2 se observa las alternativas según el SDR (cociente entre el diámetro y el espesor) de tuberías de 6" en HDPE, y como varia la PN(Presión nominal) que pueden soportar en columnas de agua.

Diseño del sistema eléctrico. Se debe diseñar el sistema eléctrico que alimentará la bomba, considerando la capacidad de la fuente de alimentación, la protección contra sobrecargas, la protección contra cortocircuitos y las especificaciones del motor de la bomba.

Los factores a considerar para seleccionar la bomba es el tipo de fluido, los requerimientos de caudal y presión, las curvas de rendimiento, la eficiencia y el tipo de aplicación. La potencia instalada de la bomba definirá la potencia requerida del motor eléctrico, las eficiencias mecánica y eléctrica relacionan estos conceptos de la siguiente manera:

La fórmula de la potencia hidráulica:

$$P_H = \frac{Q * H * S}{75}$$

P_H : Potencia Hidráulica (HP)

Q: Caudal (l/s)

H: Altura TDH (m)

S: Gravedad específica del fluido

S=1, para agua limpia

$$P_{Real\ bomba} = \frac{P_H}{\eta_H}$$

$P_{Real\ bomba}$: Potencia real de bomba (HP)

P_H : Potencia Hidráulica (HP)

η_H : eficiencia mecánica de bomba

$$P_{Real\ Motor\ electrico} = \frac{P_{Real\ bomba}}{\eta_E}$$

$P_{Real\ Motor\ electrico}$: Potencia real de motor eléctrico (HP)

$P_{Real\ bomba}$: Potencia real de bomba (HP)

η_E : eficiencia Eléctrica de motor eléctrico

Análisis de eficiencia. Calcula la eficiencia de la bomba y del sistema en general, teniendo en cuenta las pérdidas mecánicas y eléctricas, y optimiza el diseño según sea necesario para maximizar la eficiencia energética.

Diseño de protecciones y controles. Diseña sistemas de protección como válvulas de alivio de presión, válvulas de retención y sistemas de control para garantizar la operación segura y confiable del sistema de bombeo.

Pruebas y puesta en marcha. Realiza pruebas de funcionamiento del sistema para verificar su rendimiento y corregir cualquier problema antes de la puesta en marcha completa.

2.1.4. Evaluación Económica De Los Proyectos

Esparza (2020) en la mayoría de las empresas del sector minero, las evaluaciones económicas de los proyectos suelen llevarse a cabo de manera convencional. Esto implica el uso del método de Flujo de Caja Descontado (FCD), donde se obtienen estimaciones de valoración mediante indicadores como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), el período de recuperación de la inversión, entre otros métodos. Estos indicadores sirven como herramientas de apoyo para la toma de decisiones de inversión.

El proceso de una evaluación económica de un proyecto se podría estructurar de la siguiente manera:

Identificación del Proyecto. El primer paso es definir claramente el proyecto en cuestión, incluyendo sus objetivos, alcance y actividades principales.

Estimación de Costos de Inversión. Se deben identificar y cuantificar todos los costos asociados con la puesta en marcha del proyecto, incluyendo equipos, materiales, mano de obra, y cualquier otro gasto inicial necesario.

Estimación de Costos Operativos. Además de los costos de inversión, se deben considerar los costos operativos recurrentes del proyecto, como salarios, mantenimiento, suministros, entre otros.

Proyección de Ingresos. Se realiza una estimación de los ingresos generados por el proyecto a lo largo de su vida útil. Esto puede incluir ventas de productos o servicios, alquileres, tarifas, entre otros.

Cálculo de Flujos de Efectivo. Se proyectan los flujos de efectivo netos del proyecto, teniendo en cuenta los ingresos y costos estimados en un período de tiempo específico. Esto generalmente se hace para toda la vida útil del proyecto, aunque a veces se limita a un período más corto, como 5 o 10 años.

- **Determinación de la Tasa de Descuento.** Se elige una tasa de descuento adecuada para calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros. Esta tasa suele basarse en la tasa de rendimiento esperada de inversiones similares o en el costo de capital de la empresa.
- **Cálculo de Indicadores de Rentabilidad.** Se calculan varios indicadores financieros, como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Período de Recuperación de la Inversión (PRI), entre otros, para evaluar la viabilidad financiera del proyecto.
- **Análisis de Sensibilidad.** Se realizan análisis de sensibilidad para evaluar cómo variaciones en diferentes variables clave, como los costos, los precios de venta o la demanda, podrían afectar la rentabilidad del proyecto.
- **Evaluación de Riesgos.** Se identifican y evalúan los riesgos asociados con el proyecto, tanto internos como externos, y se desarrollan estrategias para mitigarlos o gestionarlos.
- **Toma de Decisiones.** Finalmente, se revisan los resultados de la evaluación económica en conjunto con otros factores relevantes, como consideraciones

estratégicas, legales, ambientales y sociales, para tomar una decisión informada sobre la viabilidad y la continuación del proyecto.

Este proceso proporciona una base sólida para evaluar la viabilidad económica de un proyecto y tomar decisiones fundamentadas sobre su implementación. Es importante tener en cuenta que la evaluación económica es solo una parte del proceso de evaluación integral de un proyecto, que también puede incluir consideraciones técnicas, sociales, ambientales y legales.

2.2.Marco Conceptual

2.2.1. Evaluación Técnica Del Proyecto De Traslase

El proyecto de traslase desde la Planta Ard Pucauran hacia Planta Ard Pacchac es una necesidad de la compañía minera Barrick asociada al cierre de mina, por lo que luego de tratar estas aguas de contacto serán descargadas al Río Santa, evaluar técnicamente las opciones disponibles para este proyecto de traslase es de vital importancia.

Este trabajo de tesis se centra en un análisis completo a 2 alternativas posibles como solución para el proyecto de traslase, se muestran en la **Tabla 3**, las características técnicas asociadas a cada alternativa, algunas de estas características técnicas como la potencia se obtienen de los cálculos realizados en la evaluación técnica usando las distancias verticales y horizontales a superar. Otras características son naturales al contexto en el que se encuentra realizando el proyecto como el caudal máximo de operación que podría alcanzar el sistema de bombeo según los estudios hidrológicos y proyecciones de flujos de agua a tratar.

Características Técnicas de las alternativas de trasvase Ard Pucauran -Pacchac

Fuente Elaboración propia

Alternativa 1 sistema de bombeo con poza intermedia



28

Figura 11

Alternativa 2 Sistema de bombeo en serie



Fuente. Esta figura muestra el recorrido de la alternativa 2. Fuente Barrick.

La evaluación técnica que se realiza a un proyecto de trasvase como el mostrado en este trabajo de investigación se centra en el diseño del sistema de bombeo, para lo cual se seguirá la metodología mostrada en el marco teórico, debemos considerar los puntos de operación para la selección de todos los elementos, sin embargo, la investigación se centrará en la selección de motores y bombas debido a la magnitud económica que estos equipos representarían en el análisis económico.

Las características de estos elementos deben estar definidos a nivel conceptual, conocer la presión, temperatura, velocidad del fluido, densidad del fluido, y otros parámetros importantes para su selección. Esta evaluación técnica también contempla los consumos energéticos que realiza todo este sistema y su proyección por 30 años (duración del post cierre de mina); por lo que el análisis energético contemplará las tarifas de consumo actuales de la mina.

La presente evaluación técnica es una actividad antecesora a la evaluación económica debido a un tema de estimación de costos fijos y operativos que varían según las características de cada diseño del sistema de bombeo que se ha propuesto.

2.2.2. Evaluación Económica De Proyecto De Trasvase

Análisis de Inversión CAPEX.

EL CAPEX se define como la inversión destinada a bienes de capital para mejorar la productividad de la empresa esto es, el gasto destinado a la adquisición o renovación del inmovilizado. (Boronat, 2019)

CAPEX (Capital Expenditure) o Gasto de Capital se refiere a los costos iniciales que se incurren para adquirir, instalar y poner en marcha un sistema de bombeo. Este tipo de gastos se consideran inversiones a largo plazo. Los componentes del CAPEX incluyen:

1. Costo de adquisición de equipos:

- ✓ Bombas
- ✓ Motores eléctricos
- ✓ Tuberías y accesorios
- ✓ Sistemas de control y automatización

2. Instalación y montaje:

- ✓ Mano de obra para instalación
- ✓ Obras civiles y estructurales (bases de montaje, construcción de casetas, etc.)
- ✓ Integración con sistemas existentes

3. Ingeniería y diseño:

- ✓ Estudios de factibilidad
- ✓ Diseño detallado del sistema
- ✓ Supervisión de la obra

4. Costos administrativos y de permisos:

- ✓ Trámites legales y licencias
- ✓ Estudios de impacto ambiental

5. **Pruebas y puesta en marcha:**

- ✓ Comisionamiento del sistema
- ✓ Pruebas de funcionamiento y ajuste

Análisis de Operación y Mantenimiento OPEX

El OPEX se entiende como el gasto destinado al funcionamiento de la operativa para poder desarrollar la actividad de la empresa. (Boronat, 2019)

OPEX (Operational Expenditure) o Gasto Operativo incluye todos los costos recurrentes asociados con la operación y el mantenimiento del sistema de bombeo una vez que está en funcionamiento. Los componentes del OPEX son:

1. ***Costos de energía:***

- ✓ Consumo eléctrico de las bombas y motores
- ✓ Tarifas de electricidad y variaciones estacionales

2. ***Mantenimiento preventivo y correctivo:***

- ✓ Inspecciones regulares y mantenimiento programado
- ✓ Reparación y reemplazo de componentes desgastados o dañados

3. ***Personal operativo:***

- ✓ Salarios y beneficios de los operadores y personal de mantenimiento
- ✓ Capacitación y desarrollo del personal

4. ***Consumo de insumos:***

- ✓ Lubricantes, sellos y otros consumibles
- ✓ Tratamiento de agua y productos químicos si son necesarios

5. ***Seguros y seguridad:***

- ✓ Pólizas de seguro para el equipo y las instalaciones
- ✓ Medidas de seguridad y equipos de protección personal

Análisis Costo-Beneficio.

El Análisis Costo-Beneficio evalúa la viabilidad económica del proyecto al comparar los costos totales (CAPEX + OPEX) con los beneficios esperados del sistema de bombeo. Los pasos para realizar este análisis son:

1. Identificación y cuantificación de beneficios:

- ✓ Aumento en la eficiencia del bombeo
- ✓ Reducción de costos operativos debido a tecnologías más eficientes
- ✓ Incremento en la capacidad de bombeo y cobertura

2. Cálculo del Flujo de Caja Neto (FCN):

- ✓ Ingresos generados por el sistema (si aplica)
- ✓ Ahorros en costos operativos comparados con sistemas anteriores
- ✓ Subvenciones o incentivos gubernamentales

3. Período de recuperación (Payback):

- ✓ Tiempo necesario para recuperar la inversión inicial (CAPEX) a través de los beneficios netos anuales

4. Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR):

- ✓ VAN: Descuento de todos los flujos de caja futuros al presente para determinar si el proyecto es rentable.
- ✓ TIR: Tasa de descuento que hace que el VAN sea cero. Una TIR mayor que la tasa de descuento del proyecto indica viabilidad.

5. Análisis de sensibilidad:

- ✓ Evaluación de cómo los cambios en los costos y beneficios afectan la rentabilidad del proyecto.
- ✓ Escenarios optimistas, pesimistas y más probables.

Costo Anual Uniforme Equivalente

Es una herramienta de la ingeniería económica que permite evaluar y obtener un costo promedio anual de una inversión de un producto o proyecto, teniendo como variables el CAPEX y OPEX.

El método CAUE consiste en convertir todos los ingresos y egresos en una serie uniforme de pagos. La principal ventaja de este método sobre los otros costos es que no requiere que la comparación se lleve a cabo sobre el mínimo común múltiplo de años cuando las alternativas tienen diferentes vidas útiles. (Distancia, 2005)

METODO DE FONDO DE AMORTIZACION DE SALVAMENTO:

Un fondo de amortización es una suma de dinero que se deposita en una cuenta donde genera intereses (Diaz, 2008). El objetivo es obtener un monto que pueda reemplazar un bien en un periodo determinado. (Enciso, 2022)

Mediante el siguiente método el costo inicial se convierte en un costo anual uniforme equivalente mediante el factor A/P , de la misma manera el valor de salvamento se convierte en un costo anual uniforme equivalente mediante el factor de amortización, la ecuación general quedaría de esta manera:

$$CAUE = \frac{P}{\frac{A}{P}, i\%, n} - VS \left(\frac{A}{F}, i\%, n \right) + CAO$$

Donde:

P: Costo inicial

VS: Valor de salvamento

I: Tasa de interés

N: Periodo de tiempo

CAO: Costo anual de operación

Capítulo III: Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Evaluación Técnica

3.1.1 Descripción general

3.1.1.1 Caso I-Poza Intermedia:

La alternativa 1 inicia la ruta en la poza PCN 02, instalando una bomba de turbina vertical de 150 HP, mediante la cual se bombeará el agua de contacto hacia una poza intermedia para lograr reducir la altura dinámica de las bombas: la poza intermedia, es proyectada se construida dentro del tajo (en su zona colindante). El segundo sistema de bombeo es ubicado en la poza intermedia, seleccionando una bomba centrífuga de 200 HP, que direccionara el flujo hacia la poza Collection. Se considera tuberías HDPE de 8" SDR 8.3, para el transporte de las aguas de contacto con un caudal de 50 l/s. Se considera para el sistema de bombeo la construcción de la infraestructura de alimentación energética para cada bomba en BT(0.48KV):05 Postes(20m), 01 Transformador 13.8/0.48kV-160 kVA(Poza PCN02),01 Transformador 13.8/0.48kV-250 kVA(Poza Intermedia)

Para la implementación de los equipos principales que intervienen en el sistema de bombeo: 02 barcasas, 02 bombas sumergibles, 02 motores (150HP y 200 HP), 02 MCCs ,02 arrancadores, y una poza intermedia (500 m3 aprox) que divide el primer sistema de bombeo del segundo.

3.1.1.2 Caso II-Bombeo en serie:

La alternativa 2 inicia la ruta en la poza PCN02. Los 02 sistemas de bombeo en serie estarán ubicados una en la PCN2 y otra en 9°26'54.20"S; 77°34'49.20"O (anterior poza Vinotinto).

Se considera para el sistema de bombeo la construcción de la infraestructura de alimentación energética para cada bomba en BT(0.48KV):06 Postes(20m), 01

Transformador 13.8/0.48kV-250 KVA Poza PCN02),01 Transformador 13.8/0.48kV-160 kVA(Poza Intermedia).Se considera Tuberías HDPE de 10" SDR7.3 y línea existente de 8" SDR 11 para el transporte de las aguas de contacto con un caudal de 50 l/s. Se considera la implementación de los equipos principales que intervienen en el sistema de bombeo: 01 barcasas, 02 bombas, 01 motor (200HP),01 motor (100HP), 02 MCCs ,02 arrancadores

3.1.2 Parámetros de diseño

Características del fluido de trabajo:

En la tabla se muestra las características de las aguas de contacto a manejar en la planta ARD Pucauran.

Tabla 5
Características del fluido de trabajo

TIPO DE FLUIDO		AGUA ACIDA	
PARÁMETRO	UNID	VALOR	
Caudal de diseño para bombeo	l/s	50	
% Sólidos en suspensión (%)	%	De 2% Hasta 5%	
Gravedad específica		1.01	
Gravedad específica Solidos		1.6	
PH		2-3	
Viscosidad a 15°C	cP	1.1375	
Temperatura del fluido	°C	De 10°C a 18°C	
Velocidad cinemática de agua a	m2	1.141x10 ^{^(-6)}	

Nota. Fuente propia

Condiciones de sitio:

El sistema de bombeo, la línea de trasvase recorre el límite del tajo y tiene como punto de mayor altura geométrica durante su recorrido la cota +4020 msnm. Las condiciones de sitio en las distintas instalaciones del proyecto se muestran en la Tabla.

Tabla 6**Condiciones de trabajo - 1**

PARÁMETRO	POZA PCN02	POZA COLLETION	2da. POZA DE BOMBEO
Altitud (msnm)	3740	3900	3900
Presión atmosférica (kPa)	64.1	62.2	61.4
Temperatura Min/Max (°C)	-3.6/ +26.3	-3.6/ +26.3	-3.6/ +26.3

Nota. Fuente propia

3.1.3 Bombas empleadas y características

Caso I-Poza intermedia

Las bombas que se plantean utilizar en la estación de bombeo I(PCN02)

Caso II-Bombeo en serie

Las bombas que se plantean utilizar en la estación de bombeo I(PCN02)

3.1.4 Sistema de Tubería

Para la selección del sistema de tubería se consideró la velocidad de operación según el balance de aguas de MBP, siendo el flujo requerido de 50 l/s. Los criterios considerados para la selección del diámetro de la tubería fueron los siguientes:

Criterios de Velocidad

El dimensionamiento de tuberías se realizará teniendo en cuenta que caudal de diseño, la caída de presión y la velocidad de flujo se encuentren dentro de los límites permisibles.

Las velocidades máximas en tuberías que transportan soluciones con sedimentos serán calculadas en función de su Granulometría, densidad del sólido y porcentaje de sólidos por peso (Durand "Calculation methods for transport velocity"). La tabla 6- muestra las velocidades máximas recomendadas:

Tabla 7
Condiciones de trabajo - 2

Fluido	Condición	Velocidad
Lodos	Todas	Velocidad de transporte >1.10 velocidad de sedimentación
Lodos	AC / HDPE	$V \leq 4$ m/s
Agua / Soluciones de procesos	Succión de bomba	0.6 a 1.5 m/s
Agua / Soluciones de procesos	Descarga de bomba	1.0 a 3.0 m/s
Agua / Soluciones de procesos	Distribución	1.0 a 3.0 m/s

Velocidad de sedimentación

La velocidad mínima de transporte del flujo deberá ser 10% mayor a la velocidad de sedimentación excepto aquellos casos en que las condiciones de diseño y de fluido permitan utilizar velocidades ligeramente mayores.

La velocidad de sedimentación de será estimada empleando la ecuación modificada de Durand y Rayo, para solidos finos y distribución angosta en tuberías grandes (partículas entre 5 y 500 μm).

$$V_l = 1.25 \times F_l(\varphi, d_{50}) \times (2gD(S - 1))^{0.25}$$

$$F_l(\varphi, d_{50}) = (0.2154\varphi + 0.1584) \times \ln(d_{50}) + (1.112\varphi + 1.19)$$

$$\text{para } 5 < d_{50}(\mu\text{m}) < 500$$

Donde:

V_l :	Velocidad de sedimentación (m/s)
F_l :	Factor de corrección dimensional
g :	Aceleración de la gravedad (9.81 m/s ²)
D :	Diámetro interior de la tubería (m)
d_{50} :	Tamaño representativo de partículas (mm)
S :	Densidad relativa de sólidos
φ :	% Sólidos (volumen)

Criterios de caída de presión

Las tuberías se deberán dimensionar de modo de no consumir más que la presión admisible a las condiciones de flujo especificadas.

La caída de presión friccional para los sistemas de una fase deberá calcularse usando la fórmula de Darcy-Weisbach. Para determinar el factor de fricción, se usará la ecuación de Colebrook-White o el nomograma de Moody.

Se deberá agregar a todos los cálculos de pérdidas por fricción un margen de seguridad para tomar en cuenta el envejecimiento de la tubería, la diferencia en diámetro o cualquier condición anormal de la superficie interior de la tubería. El margen de seguridad sólo se agregará a las pérdidas friccionales y no a pérdidas de presión debidas a cambios de elevación o aceleración.

Formula de Darcy - WEISBACH

$$h_f = \left(\frac{8}{g * \pi^2} \right) * f * \left(\frac{Q^2}{D^5} \right) * L$$

hf= Pérdida de carga debida a la fricción [m]

g= gravedad [m/s²]

f=coeficiente de fricción de Darcy

Q= caudal [m³/s]

D= diametro interno de la tubería [m].

L=Longitud de tubería [m]

Altura Cinética

$$h_v = \left(\frac{1}{2} \right) * \left(\frac{V^2}{g} \right)$$

h_v= altura cinetica[m]

v=velocidad del fluido[m]

g= gravedad [m/s²]

La tabla muestra valores de rugosidad absoluta que se usarán en el proyecto, dichos valores han sido tomados de fabricantes de materiales:

Tabla 8

Rugosidades absolutas

Material	Rango	Nuevo	Usado
Caucho, Goma	0,01 - 0,15	0.01	0.15
Plástico	0,01 - 0,07	0.01	0.07
HDPE	0,01 – 0,09	0.01	0.09
Poliuretano	0,009 – 0,015	0.009	0.015
Acero	0,05 - 0,5	0.05	0.5
Concreto	0,3 - 3	0.3	3

3.1.5 Cálculo hidráulico

Criterio de velocidad máxima y mínima recomendada

Se realiza evaluaciones con diámetros de tubería 6", 8", 10", en material HDPE. Las velocidades mínimas/máximas recomendadas de acuerdo con los criterios de la sección (3.1.4) son compatibles para los diámetros de 8" y 10".

Tabla 9
Cálculo del diámetro mínimo de tubería

ESTIMACION DE DIAMETRO MINIMO DE TUBERIA					
<u>Tubería HDPE PE100 de 6" (160mm)</u>					
Diam_i_prom	0.12	m	Área	0.01202	m ²
Velocidad	14969.57	m/h	Velocidad	4.16	m/s
<u>Tubería HDPE PE100 de 8" (200mm)</u>					
Diam_i_prom	0.15	m	Área	0.01879	m ²
Velocidad	9580.52	m/h	Velocidad	2.66	m/s
<u>Tubería HDPE PE100 de 10" (250mm)</u>					
Diam_i_prom	0.19346667	m	Área	0.02940	m ²
Velocidad	6123.09	m/h	Velocidad	1.70	m/s

Velocidad de sedimentación:

La Velocidad de sedimentación fue calculada según la ecuación modificada de Durand y Rayo mostradas en el punto 3.1.4.

Tabla 10
Velocidades críticas

TUBERÍA HDPE ISO 4427 PE-100			
EVALUACIÓN VELOCIDAD CRÍTICA: VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN			
% sólidos	CV	5%	%
Tamaño partic.	d50	0.075	mm
Gravedad	g	9.81	m/s ²
Densidad relativa	S	1.6	
Factor corrección	FL	0.81	
Tubería	Di [m]	Vel. Sedimen [m/s]	Vel. Fluido= 1.1*Vel.sec
HDPE 8" SDR11	0.131	1.1243	1.24
HDPE 8" SDR9	0.155	1.1734	1.29
HDPE 8" SDR7.4	0.145	1.1540	1.27
HDPE 10" SDR11	0.205	1.2573	1.38
HDPE 10" SDR9	0.194	1.2410	1.37
HDPE 10" SDR7.4	0.145	1.1540	1.27

Fuente propia

Las velocidades críticas de sedimentación son aceptables para las velocidades de transporte en las tuberías de diámetros 8" y 10". (V de transporte>Sedimentación)

Cálculos de caída de presión

En la siguiente tabla se muestran los valores a considerar para el cálculo de caída de presión.

Tabla 11
Evaluación de pérdidas de carga

EVALUACIÓN PERDIDAS DE CARGA M.C. A			
Caudal	Q=	180	m3/h
		0.05	m3/s
		50	l/s
Gravedad	g	9.81	m/s^2
Viscosidad cinemática de agua @15°C	v	0.000001141	m2/s
Rugosidad HDPE	e	0.015	mm
Densidad relativa	S1	2	
Gravedad especifica del fluido	S2	1.01	
CÁLCULO MANUAL DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN f			
Reynolds @tubería 8"		3.30E+05	
Reynolds @tubería 10"		2.65E+05	

Formula de Darcy - WEISBACH

$$h_f = \left(\frac{8}{g * \pi^2} \right) * f * \left(\frac{Q^2}{D^5} \right) * L$$

hf= Pérdida de carga debida a la fricción [m]
g= gravedad [m/s2]
f=coeficiente de fricción de Darcy
Q= caudal [m3/s]
D= diametro interno de la tubería [m].
L=Longitud de tubería [m]

Altura Cinética

$$h_v = \left(\frac{1}{2} \right) * \left(\frac{v^2}{g} \right)$$

hv= altura cinetica[m]
v=velocidad del fluido[m]
g= gravedad [m/s2]

Rugosidad relativa para 8"	8.86787E-05	<i>F</i>	Coeficiente de fricción @tubería 8"	0.01520
Rugosidad relativa para 10"	7.11406E-05	<i>F</i>	Coeficiente de fricción @tubería 10"	0.01600

Nota. Fuente propia

Los coeficientes de fricción mostrados en la tabla anterior fueron obtenidos mediante el diagrama de Moody, cruzando la rugosidad relativa y el número de Reynolds. Se muestran en la figura 9.

Considerando los siguientes datos sobre la configuración de cada alternativa:

Tabla 12
Configuración de alternativa 1 y 2

CASO 1: tramo 1 y 2 tubería 8" SDR 8.3	
Q tramo1_1	0.050
D_interno tramo1_1	0.166
Longitud tramo1_1	800
coeficiente de carga f_caso1	0.015

velocidad tramo1_1	2.30
Altura geodésica tramo1 [m]	145.00
Q tramo2	0.050
D_interno tramo2	0.166
Longitud tramo2	2000
velocidad tramo2	2.30
Altura geodésica tramo2	129.00

CASO 2: tramo 1 x10" SDR8.3 y tramo 2 tubería 8" SDR 11	
Q tramo1	0.050
D_interno tramo1	0.198
Longitud tramo1	1050
coeficiente de carga f_{caso1}	0.016
velocidad tramo1	1.62
Altura geodésica tramo1 [m]	220.00
Q tramo2	0.050
D_interno tramo2	0.179
Longitud tramo2	1838
velocidad tramo2	1.98
Altura geodésica tramo2	59.00

Los cálculos de pérdida de carga según las alternativas serían los siguientes:

Tabla 13
Cálculos de pérdida de carga

	CASO 1 Pérdida de carga (m)	CASO 2 Pérdida de carga (m)
TRAMO 1-hf [m]	19.75	11.32
TRAMO 1-hv [m]	0.270	0.134
Altura geodésica tramo1 [m]	145.00	220.00
TDH [m]- SISTEMA DE BOMBEO 1	165.02	231.45
TRAMO 2-hf [m]	49.37	32.77
TRAMO 2-hv [m]	0.270	0.134
Altura geodésica tramo2	129.00	59.00
TDH [m]- SISTEMA DE BOMBEO 2	178.64	91.91

Fuente Elaboración propia

Dimensionamiento de bombas:

Se muestran los valores de eficiencia considerados para el cálculo de la potencia requerida por el motor eléctrico, con el fin de seleccionar el equipo y proyectar el consumo necesario.

Tabla 14
Cálculo de potencias requeridas

Gravedad Especifica			S2	1.01			
Eficiencia mecánica de bomba			ηH	0.80			
Eficiencia eléctrica de motor eléctrico			ηE	0.95			
EVALUACIÓN DIMENSIONAMIENTO DE BOMBAS							
CASO 1	TRAMO 1	Caudal (l/s)	Q	50.00			
CASO 1	TRAMO 1	TDH (m)	H	165			
CASO 1	TRAMO 1	Potencia Hidráulica (HP)	PH	111	HP	83.6	KW
CASO 1	TRAMO 1	Potencia Real de Bomba (HP)	PReal	139	HP	104.6	KW
CASO 1	TRAMO 1	Potencia Motor (HP)	PReal	146	HP	110.1	KW
CASO 1	TRAMO 2	Caudal (l/s)	Q	50.00			
CASO 1	TRAMO 2	TDH (m)	H	179			
CASO 1	TRAMO 2	Potencia Hidráulica (HP)	PH	120.29	HP	90.5	KW
CASO 1	TRAMO 2	Potencia Real de Bomba (HP)	PReal	150	HP	113.2	KW
CASO 1	TRAMO 2	Potencia Motor (HP)	PReal	158	HP	119.1	KW
CASO 2	TRAMO 1	Caudal (l/s)	Q	50.00			
CASO 2	TRAMO 1	TDH (m)	H	231			
CASO 2	TRAMO 1	Potencia Hidráulica (HP)	PH	156	HP	117.3	KW
CASO 2	TRAMO 1	Potencia Real de Bomba (HP)	PReal	195	HP	146.6	KW
CASO 2	TRAMO 1	Potencia Motor (HP)	PReal	205	HP	154.4	KW
CASO 2	TRAMO 2	Caudal (l/s)	Q	50.00			
CASO 2	TRAMO 2	TDH (m)	H	92			
CASO 2	TRAMO 2	Potencia Hidráulica (HP)	PH	61.88	HP	46.6	KW
CASO 2	TRAMO 2	Potencia Real de Bomba (HP)	PReal	77	HP	58.2	KW
CASO 2	TRAMO 2	Potencia Motor (HP)	PReal	81	HP	61.3	KW

Fuente Elaboración propia

3.2 Evaluación económica

3.2.1 Cotización del sistema de bombeo

Para la cotización del sistema de bombeo se tomó en cuenta el CAPEX y el OPEX de ambas alternativas. El CAPEX incluye equipamiento mecánico, equipos eléctricos, tuberías, estructuras civiles.

El OPEX toma en cuenta el consumo energético, mantenimiento de equipos como eje principal del funcionamiento del sistema de bombeo.

Alternativa I-Sistema de bombeo poza intermedia

CAPEX:

Tabla 15

Costos fijos alternativa 1

TRASVASE RIO SANTA -CASO 1 (POZA INTERMEDIA)		
CAPEX		
EQUIPOS ELECTRICOS		115,000.00
MCC, NEMA ICS18, voltaje nominal 480Vac, 3P, 60Hz, para operación a 4100 m.s.n.m, Envolverte MCC Nema 4, Capacidad de corriente 600A min, Switch y puerto de comunicación, protocolo ethernet IP, Sistema de medición multifunción. Cargas: 01 Arrancador con softstarted potencia 150HP, 01 interruptor para Transformador seco de 10KVA, 01 interruptores spare de 05KVA.	\$	35,000.00
MCC, NEMA ICS18, voltaje nominal 480Vac, 3P, 60Hz, para operación a 4100 m.s.n.m, Envolverte MCC Nema 4, Capacidad de corriente 600A min, Switch y puerto de comunicación, protocolo ethernet IP, Sistema de medición multifunción. Cargas: 01 Arrancador con softstarted potencia 200HP, 01 interruptor para tablero de distribución de transformadores 10KVA, 01 interruptores spare de 05KVA.	\$	35,000.00
TRANSFORMADOR, EN ACEITE, 13.8KV/0.48 KV, 160KVA, 3P, 60Hz, Dyn5, refrigeración ONAN	\$	10,000.00
TRANSFORMADOR, EN ACEITE, 13.8KV/0.48 KV, 250KVA, 3P, 60Hz, Dyn5, refrigeración ONAN	\$	25,000.00
TRANSFORMADOR SECO, NEMA TP-1-2002, 480/230Vac 5KVA, 3P,60Hz, Dyn1.	\$	5,000.00
TRANSFORMADOR SECO, NEMA TP-1-2002, 480/120Vac 5KVA, 3P,60Hz, Dyn1.	\$	5,000.00
EQUIPOS MECANICOS	\$	585,000.00

Bomba vertical multietapa, Columna de descarga bridada INOX, impeler INOX, para trabajo con aguas acidas de contacto PH=3-5; Q= 50l/s, TDH= 171m.c.a, Motor eléctrico 150HP	\$	230,000.00
Bomba vertical multietapa, Columna de descarga bridada INOX, impeler INOX, para trabajo con aguas acidas de contacto PH=3-5; Q= 50l/s, TDH= 186m.c.a, Motor eléctrico 150 HP	\$	230,000.00
Barcazas #01 capacidad=2,200Kg (1,000Kg bomba; 900Kg motor, 300Kg 02 personas)	\$	60,000.00
Barcazas #02 capacidad=2,200Kg (1,000Kg bomba; 900Kg motor, 300Kg 02 personas)	\$	60,000.00
Bomba de agua infiltrada Impeler en Acero inox, longitud de cable sumergible 15m. Q=5m3/h, TDH=10m.c. a, motor eléctrico 2HP.	\$	5,000.00
PIPING	\$	40,810.00
Tubería HDPE 8"X SDR 08.3, PE100, ISO 4427 (1100m)	\$	40,810.00
CONSTRUCCION	\$	130,000.00
CONSTRUCCION POZA INTERMEDIA (500M3)	\$	30,000.00
Tendido de línea MT(1km)	\$	100,000.00
OTROS	\$	15,000.00
POSTES 20 m (5 unidades)	\$	15,000.00
TOTAL		\$885,810.00

Fuente Elaboración propia

OPEX:

Se considero los precios de tarifa de consumo de energía y potencia asociados con los últimos meses de la tarifa eléctrica MBP.

Tabla 16
Costos operativos *alternativa 1*

Cantidad de horas operando por día	6
Meses al año Operando	5
Días al mes	30
Años previstos de operación	30

OPEX -POTENCIA RIO SANTA OPCION 250KW		
-Potencia nominal del sistema	260.00	KW
-Consumo diario [KW-h/día)	1,560.00	KW-h/d
-Consumo al año	234,000.00	KW-h/yr
-Tarifa	0.04	USD/KW-h
-Costo al año	9,360.00	USD/year

COSTO DE ENERGIA A 30 AÑOS	280,800.00	USD
- Tarifa	6.00	USD/ (KW-Mes)
COSTO DE POTENCIA A 30 AÑOS	234,000.00	USD
COSTO TOTAL + PEAJES Y CARGOS	720,720.00	USD

Fuente Elaboración propia

Alternativa II: Sistema de bombeo en serie

CAPEX:

Tabla 17

Costos fijos alternativa 2

TRASVASE RIO SANTA -CASO 2 Bomba en serie		
CAPEX		
EQUIPOS ELECTRICOS		150,000.00
MCC, NEMA ICS18, voltaje nominal 480Vac, 3P, 60Hz, para operación a 4100 m.s.n.m, Envolverte MCC Nema 4, Capacidad de corriente 600A min, Switch y puerto de comunicación, protocolo ethernet IP, Sistema de medición multifunción. Cargas: 01 Arrancador con softstarted potencia 200HP, 01 interruptor para Transformador seco de 10KVA, 01 interruptores spare de 05KVA.	\$	40,000.00
MCC, NEMA ICS18, voltaje nominal 480Vac, 3P, 60Hz, para operación a 4100 m.s.n.m, Envolverte MCC Nema 4, Capacidad de corriente 600A min, Switch y puerto de comunicación, protocolo ethernet IP, Sistema de medición multifunción. Cargas: 01 Arrancador con softstarted potencia 100HP, 01 interruptor para tablero de distribución de transformadores 10KVA, 01 interruptores spare de 05KVA. Variador+Controlador	\$	50,000.00
TRANSFORMADOR, EN ACEITE, 13.8KV/0.48 KV, 250KVA, 3P, 60Hz, Dyn5, refrigeración ONAN	\$	25,000.00
TRANSFORMADOR, EN ACEITE, 13.8KV/0.48 KV, 160KVA, 3P, 60Hz, Dyn5, refrigeración ONAN	\$	25,000.00
TRANSFORMADOR SECO, NEMA TP-1-2002, 480/230Vac 5KVA, 3P,60Hz, Dyn1.	\$	5,000.00
TRANSFORMADOR SECO, NEMA TP-1-2002, 480/120Vac 5KVA, 3P,60Hz, Dyn1.	\$	5,000.00
EQUIPOS MECANICOS		455,000.00

Bomba vertical multietapa, Columna de descarga bridada INOX, impeler INOX, para trabajo con aguas acidas de contacto PH=3-5; Q= 50l/s, TDH= 217m.c.a, Motor eléctrico 200HP	\$	300,000.00
Bomba en serie XXX para trabajo con aguas acidas de contacto PH=3-5; Q= 50l/s, TDH= 91m.c.a, Motor eléctrico 100 HP	\$	75,000.00
Barcazas #01 capacidad=2,400Kg (1,000Kg bomba; 1100Kg motor, 300Kg 02 personas)	\$	80,000.00
PIPING (TUBERIA HDPE 10" SDR 7.3) 1km		42,000.00
Construcción		120,000.00
construcción electromecánica + civil		
Tendido de línea MT(1.2km)	\$	120,000.00
OTROS		18,000.00
POSTES 20 m (6 unidades)	\$	18,000.00
TOTAL		\$785,000.00

Fuente Elaboración propia

OPEX:

Se considero los precios de tarifa de consumo de energía y potencia asociados con los últimos meses de la tarifa eléctrica MBP.

Tabla 18
Costos operativos alternativa 2

Cantidad de horas operando por día	6
Meses al año Operando	5
Días al mes	30
Años previstos de operación	30

OPEX-POTENCIA RIO SANTA OPCION II		
-Potencia nominal del sistema	255.00	KW
-Consumo diario [KW-h/día)	1,530.00	KW-h/d
-Consumo al año	229,500.00	KW-h/yr
-Tarifa	0.04	USD/KW-h
-Costo al año	9,180.00	USD/year
COSTO DE ENERGIA A 30 AÑOS	275,400.00	USD
- Tarifa	6.00	USD/ (KW-Mes)
COSTO DE POTENCIA A 30 AÑOS	229,500.00	USD
COSTO TOTAL + PEAJES Y CARGOS	706,860.00	USD

Fuente Elaboración propia

3.2.2 Análisis de Costo-Beneficio Cualitativo

El análisis de costo-beneficio cualitativo se enfoca en la comparación de los costos directos del proyecto, expresados en términos de inversión inicial (CAPEX) y costos operativos (OPEX), con los beneficios intangibles que, aunque no tienen un valor monetario directo, aportan valor estratégico al proyecto y a la operación minera en general.

Beneficios Intangibles:

Los beneficios intangibles no tienen un impacto financiero directo en los balances, pero son esenciales para la sostenibilidad del proyecto y la relación de la compañía con sus grupos de interés. Estos beneficios incluyen:

- **Mejora de la relación con las comunidades aledañas:** La implementación del trasvase permitiría el uso de zonas que actualmente están restringidas por las comunidades. Este aspecto mejora la relación entre la empresa y las comunidades locales, previniendo potenciales conflictos sociales que podrían retrasar o paralizar las operaciones.
- **Cumplimiento con normativas ambientales:** El tratamiento de aguas de contacto antes de su descarga al río Santa asegura el cumplimiento con las normativas ambientales locales y nacionales. Este cumplimiento previene la posibilidad de multas, sanciones o litigios ambientales, lo cual, aunque difícil de cuantificar, reduce riesgos financieros futuros.
- **Reducción del riesgo operativo:** La correcta gestión de las aguas residuales y el adecuado manejo del sistema de trasvase disminuye el riesgo de incidentes ambientales, como derrames o contaminación, que podrían tener consecuencias legales y operativas graves. Esto agrega valor al proyecto al garantizar una operación segura y ambientalmente responsable.

El análisis multicriterio se utiliza para facilitar la toma de decisiones sobre políticas, programas o alternativas de proyectos cuyos impactos son razonablemente bien entendidos por expertos y que contienen un elemento técnico significativo. (Torres, 2013)

En la siguiente tabla se muestra el análisis multicriterio considerando los principales aspectos que involucran la viabilidad del proyecto.

Tabla 19
Análisis multicriterio

Criterios			Peso	Alternativa 1(Poza intermedia)	Alternativa 2(Bombeo en serie)
CAPEX(USD)			40%	885,810.00 (35.48)	785,000.00 (40)
OPEX(USD)			20%	720,720.00 (19.6)	706,860.00 (20)
Relación	con	las	15%	Alta (4/5) 12	Alta (4/5) 12
comunidades					
Cumplimiento	normativo		10%	Máximo (5/5)10	Máximo (5/5)10
ambiental					
Reducción	del	riesgo	10%	Alta (4/5) 8	Alta (3/5) 6
operativo					
Beneficios intangibles			5%	Uso de zonas restringidas (4/5) 4	Uso de zonas restringidas (4/5)4
Puntaje total				89.1 %	92 %

Nota. Fuente propia

3.2.3 Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)

El CAUE nos permite comparar diferentes alternativas de inversión en términos un costo uniforme anual, esto permitirá seleccionar la opción más económica en el tiempo.

Mediante la siguiente ecuación se realizará la comparación de CAUE de cada una de las alternativas de sistema de trasvase mostradas en este trabajo de investigación.

$$CAUE = \frac{P}{\frac{A}{P}, i\%, n} - VS \left(\frac{A}{F}, i\%, n \right) + CAO$$

Donde:

P: Costo inicial

VS: Valor de salvamento

I: Tasa de interés

N: Periodo de tiempo

CAO: Costo anual de operación

Los proyectos de trasvase tienen bajos riesgo técnico, sin embargo, representa desafíos ambientales y de cumplimiento. Generalmente este tipo de proyectos no tiende a tener riesgos altos, debido a que estos compromisos son parte del cierre de mina. El valor típico de la tasa de descuento para proyectos mineros en términos reales se encuentra comúnmente entre el 5% y 6%, especialmente para la industria de metales preciosos como el oro, ya que se perciben como activos de menor riesgo en comparación con otros tipos de inversiones. (Vipond, 2019)

Según el análisis del sector se usa un rango de 8-10% en proyectos de trasvase de esta categoría. Para nuestro cálculo del CAUE se consideraron los siguientes parámetros.

Se ha considerado una vida útil de 10 años como primer ciclo, esto a manera de estudio, de manera que obtengamos un CAUE para cada alternativa, considerando que ambos sistemas tendrán una finalidad y uso equivalente.

Para el caso específico de nuestro análisis la formula se reduce de la siguiente manera, debido al no contar con un flujo de ingreso directo.

$$CAUE = \frac{CAPEX * (Factor\ de\ recuperacion\ de\ capital) + OPEX}{Vida\ util\ del\ proyecto}$$

$$Factor\ de\ recuperacion\ de\ capital = \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Tabla 20
Cálculo del CAUE

	Alternativa 1(Poza intermedia)	Alternativa 2 (Bombeo en serie)
CAPEX	\$ 885,810.00	\$ 785,000.00
OPEX	\$ 720,720.00	\$ 706,860.00
Tasa de interés	8%	8%
Periodo de tiempo (Años)	10	10
Factor de recuperación de capital	\$ 132,011.81	\$ 116,988.15
OPEX anual	\$ 28,828.80	\$ 28,274.40
CAUE	\$ 160,840.61	\$ 145,262.55

Se concluye que el costo uniforme anual de la alternativa 2 es menor al de la alternativa 1, siendo la más económica en el tiempo.

3.3 Análisis de riesgos

Este apartado tiene como objetivo presentar el análisis de riesgos realizado para ambas alternativas del sistema de trasvase de agua en la unidad minera Pierina. Se utilizó la herramienta Ricky Project para modelar y evaluar los riesgos asociados. En el Anexo 1 se muestra la línea base.

3.3.1 Análisis de riesgos para la Alternativa 1: Sistema de bombeo con Poza Intermedia

Identificación y Evaluación de riesgos

La lista de riesgos identificados en esta alternativa se observa en la Tabla 21.

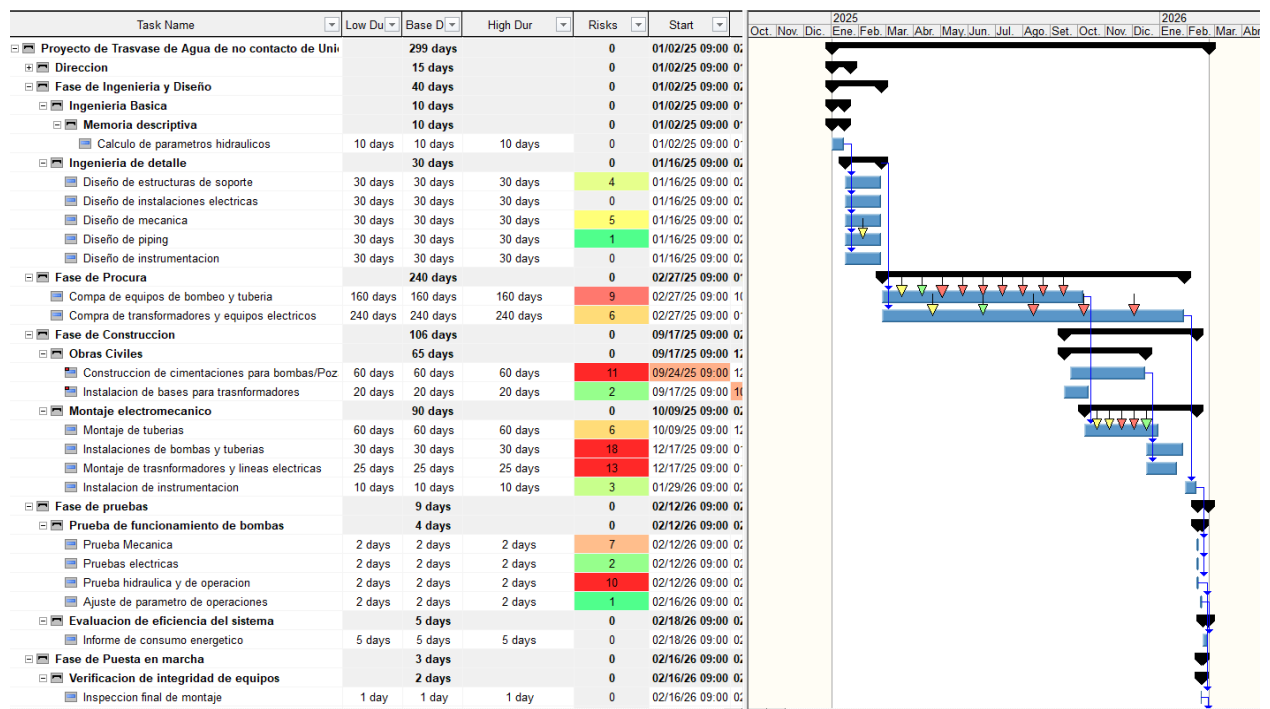
Tabla 21
Lista de Riesgos

	Risk Name	Open/Closed	Risk Assigned To
1	Problemas de Logística Internacional	Open	Assigned to 3 tasks/resources
2	Fluctuación en Costos de Materiales	Open	Assigned to 2 tasks/resources
3	Fallas en la Supervisión de Obra	Open	Assigned to 3 tasks/resources
4	Fallas en el Diseño del Sistema	Open	Assigned to 4 tasks/resources
5	Errores en Cálculos Estructurales de poza intermedia	Open	Assigned to 3 tasks/resources
6	Disponibilidad Limitada de Personal Calificado	Open	Assigned to 4 tasks/resources
7	Ineficiencia Energética	Open	Assigned to 3 tasks/resources
8	Errores Humanos en Ejecución de Pruebas	Open	Assigned to 3 tasks/resources
9	Cambios en Requisitos del Proyecto	Open	Assigned to 4 tasks/resources
10	Problemas de Calidad en Materiales	Open	Assigned to 3 tasks/resources
11	Condiciones Meteorológicas Adversas	Open	Assigned to 3 tasks/resources
12	Accidentes Laborales	Open	Task 7: Gestion de Calidad
13	Resultados de Pruebas No Conformes	Open	Task 32: Prueba Mecanica
14	Fallas en el Sistema de Monitoreo	Open	Assigned to 2 tasks/resources
15	Problemas en la Integración de Sistemas	Open	Task 7: Gestion de Calidad
16	Fallas en Equipos Durante Pruebas	Open	Assigned to 3 tasks/resources
17	Interrupciones en el Suministro de Energía	Open	Assigned to 4 tasks/resources
18	Deficiencias en la Gestión de Contratistas	Open	Assigned to 2 tasks/resources
19	Disponibilidad Inadecuada de Equipos de Prueba	Open	Assigned to 3 tasks/resources
20	Fallas en la Evaluación de Proveedores	Open	Assigned to 3 tasks/resources

Los riesgos son asignados a tareas o entregables dentro del EDT, así como también a recursos de estas mismas. Se puede visualizar en la figura 13 que la mayor cantidad de riesgos identificados se encuentran dentro del montaje electromecánico, la fase procura y la fase de operación.

Figura 12

Diagrama de Gantt alternativa 1



Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

El análisis de riesgos también contempla la probabilidad e impacto, para poder asociarlos a alguna etapa del proyecto. Estos se muestran en la Figura 14.

Figura 13

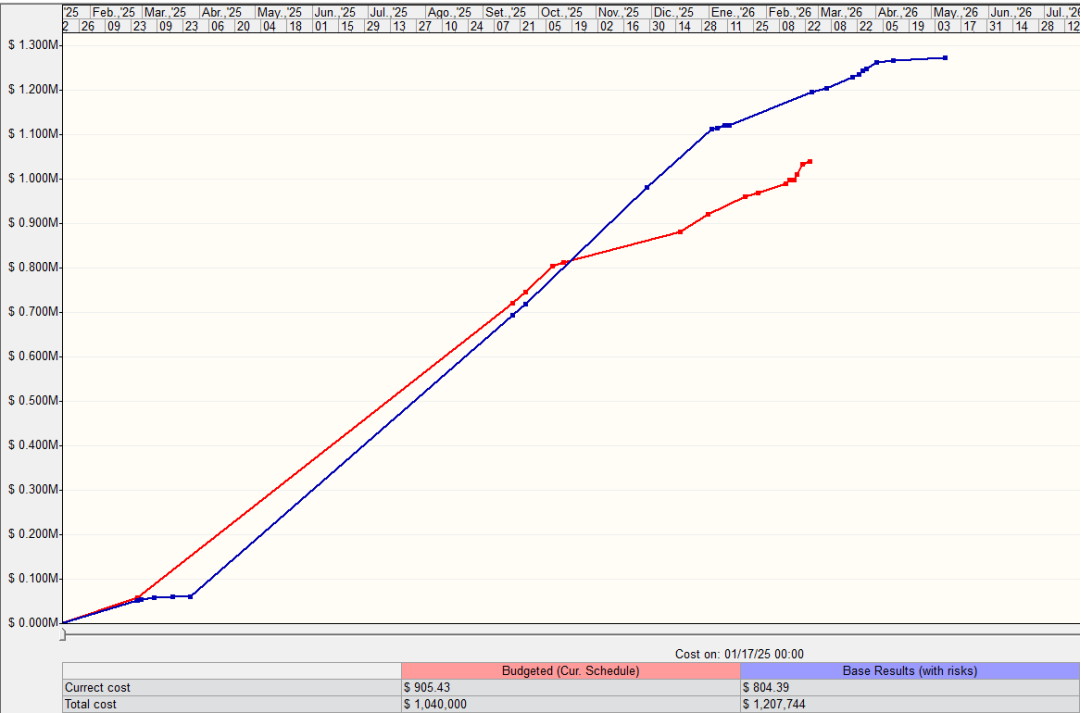
Registro de riesgos probabilidad vs impacto

Risk Name	Probability (Pre-Mitigati	Impact (Pre-Mitigatori	Score (Pre-Mitigation)	Score
Problemas de Logística Internacional	37.0 %	100.0 %	37.0 %	
Fluctuación en Costos de Materiales	36.6 %	79.6 %	29.1 %	
Fallas en la Supervisión de Obra	39.4 %	52.9 %	20.8 %	
Fallas en el Diseño del Sistema	29.6 %	61.1 %	18.1 %	
Errores en Cálculos Estructurales de poza intermedi	32.2 %	55.1 %	17.7 %	
Disponibilidad Limitada de Personal Calificado	28.2 %	52.6 %	14.9 %	
Ineficiencia Energética	12.7 %	92.6 %	11.8 %	
Errores Humanos en Ejecución de Pruebas	42.8 %	26.3 %	11.3 %	
Cambios en Requisitos del Proyecto	28.7 %	37.8 %	10.8 %	
Problemas de Calidad en Materiales	16.4 %	63.7 %	10.5 %	
Condiciones Meteorológicas Adversas	45.1 %	20.8 %	9.37 %	
Accidentes Laborales	18.0 %	46.5 %	8.36 %	
Resultados de Pruebas No Conformes	15.0 %	52.6 %	7.89 %	
Fallas en el Sistema de Monitoreo	15.5 %	43.8 %	6.80 %	
Problemas en la Integración de Sistemas	15.0 %	43.8 %	6.57 %	
Fallas en Equipos Durante Pruebas	13.9 %	43.9 %	6.09 %	
Interrupciones en el Suministro de Energía	16.2 %	35.1 %	5.68 %	
Deficiencias en la Gestión de Contratistas	14.1 %	35.1 %	4.95 %	
Disponibilidad Inadecuada de Equipos de Prueba	27.8 %	17.5 %	4.87 %	
Fallas en la Evaluación de Proveedores	16.7 %	17.5 %	2.92 %	

Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

Los riesgos impactan a los costos asociados de cada actividad, entregable o etapa del proyecto, con esto se puede evaluar el impacto de los riesgos tanto en tiempo como en costo. El modelamiento dentro del software nos permite mostrar la variabilidad de la curva S del proyecto con riesgos y sin riesgos asociados como se muestra en la imagen.

Figura 14
Curva S -Alternativa 1



Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

Análisis de sensibilidad de riesgos

Este análisis de sensibilidad nos indica cuanto influye la finalización de una tarea en el tiempo de otra dentro del cronograma del proyecto. Un alto valor de sensibilidad, es decir cercano a 1, indica que una tarea afectara directamente el tiempo de finalización de otra tarea. Este análisis nos permite entender que tareas son criticas por un riesgo de retraso en el cronograma.

Figura 15

Análisis de sensibilidad -Alternativa 1

Sensitivity to finish times of 5 other tasks			
Task ID	Task Name	Correlation Coefficient	
21	Task: Fase de Construccion	0.96	
25	Task: Montaje electromecanico	0.85	
19	Task: Compa de equipos de bombeo y tuberia	0.58	
22	Task: Obras Civiles	0.55	
18	Task: Fase de Procura	0.54	

Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

Como resumen del análisis de riesgos, se observan en las figuras 17 y 18, que muestran cuantitativamente la variación del proyecto con bajo, base y altos riesgos; tanto a nivel de duración y en términos de costo.

Figura 16

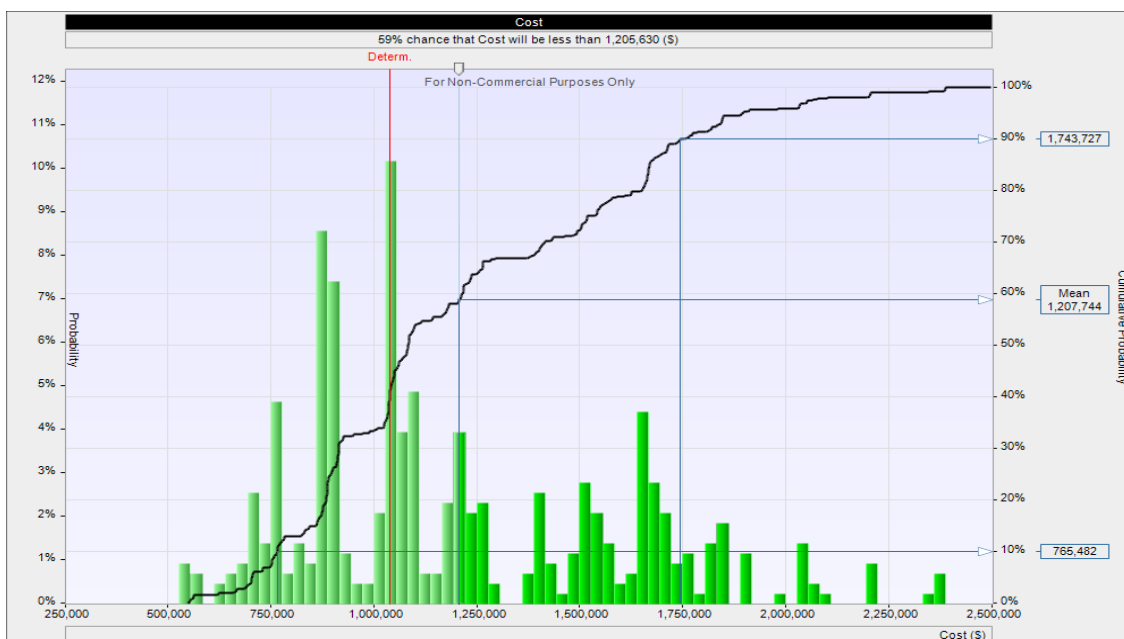
Resumen de impacto de riesgos -Alternativa 1

		Project Start Time	Project Duration	Project Finish Time	Total Project Cost
No Risks	Cur. Schedule	01/02/25 09:00	299 days	02/25/26 09:00	\$ 1,040,000
With Risks	Low	01/02/25 09:00	299 days	02/25/26 09:00	\$ 765,482
	Base	01/02/25 09:00	404.5 days	07/22/26 13:00	\$ 1,207,744
	High	01/02/25 09:00	532 days	01/18/27 09:01	\$ 1,743,727

Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

Figura 17

Resumn grafico -Alternativa 1



Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

3.3.2 Análisis de riesgos para la Alternativa 2: Sistema de bombeo en

serie

Identificación y Evaluación de riesgos

La lista de riesgos identificados en esta alternativa.

Tabla 22

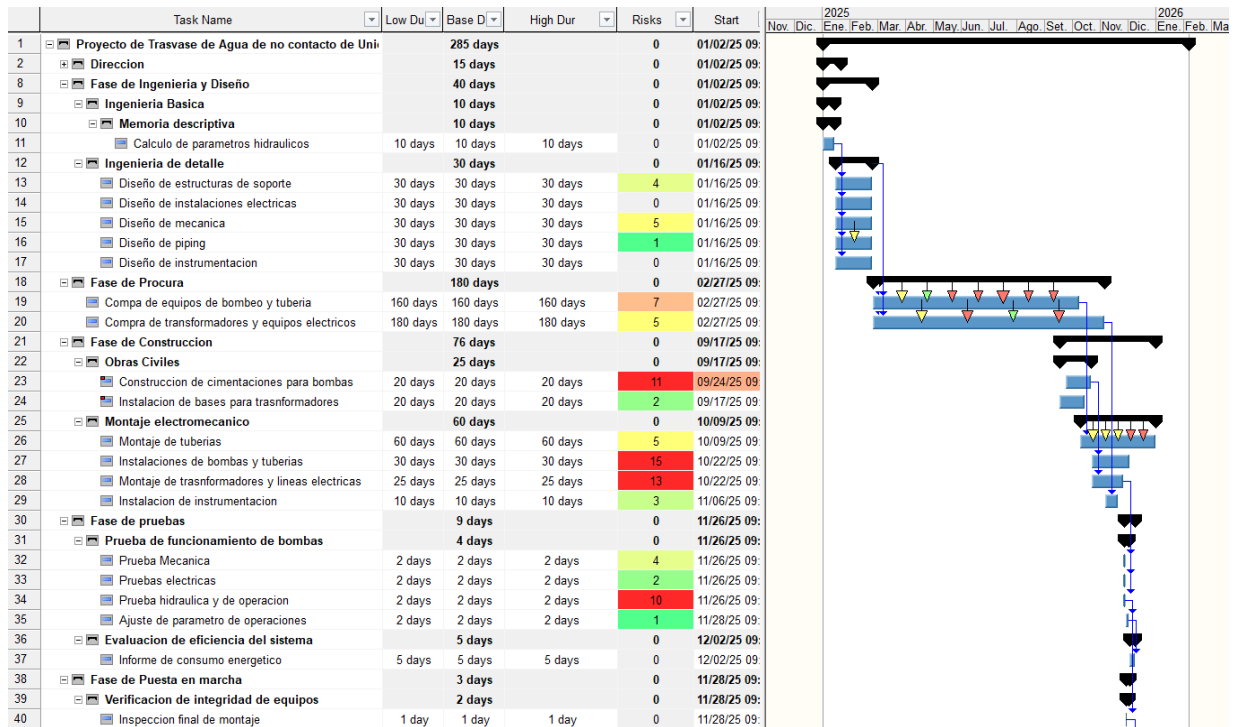
Curva S -Alternativa 12

	Risk Name	Risk Assigned To
1	Problemas de Logística Internacional	Assigned to 3 tasks/resources
2	Fluctuación en Costos de Materiales	Assigned to 2 tasks/resources
3	Fallas en el Diseño del Sistema	Assigned to 4 tasks/resources
4	Fallas en la Supervisión de Obra	Assigned to 3 tasks/resources
5	Errores en Cálculos Estructurales	Assigned to 3 tasks/resources
6	Disponibilidad Limitada de Personal Calificado	Assigned to 4 tasks/resources
7	Errores Humanos en Ejecución de Pruebas	Assigned to 3 tasks/resources
8	Ineficiencia Energética	Task 50: Analisis de desempeño opera
9	Problemas de Calidad en Materiales	Assigned to 3 tasks/resources
10	Cambios en Requisitos del Proyecto	Assigned to 4 tasks/resources
11	Accidentes Laborales	Task 7: Gestion de Calidad
12	Resultados de Pruebas No Conformes	Task 32: Prueba Mecanica
13	Interrupciones en el Suministro de Energía	Assigned to 4 tasks/resources
14	Condiciones Meteorológicas Adversas	Assigned to 3 tasks/resources
15	Fallas en el Sistema de Monitoreo	Assigned to 2 tasks/resources
16	Fallas en Equipos Durante Pruebas	Assigned to 2 tasks/resources
17	Problemas en la Integración de Sistemas	Task 7: Gestion de Calidad
18	Deficiencias en la Gestión de Contratistas	Assigned to 2 tasks/resources
19	Disponibilidad Inadecuada de Equipos de Prueba	Assigned to 3 tasks/resources
20	Fallas en la Evaluación de Proveedores	Assigned to 3 tasks/resources

Se puede visualizar en la figura que la mayor cantidad de riesgos identificados se encuentran dentro del montaje electromecánico, la fase procura, la fase de operación y fase de obras civiles.

Figura 18

Diagrama Gantt Alternativa 2



Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

El análisis de riesgos también contempla la probabilidad e impacto. Estos se muestran en la siguiente imagen.

Figura 19

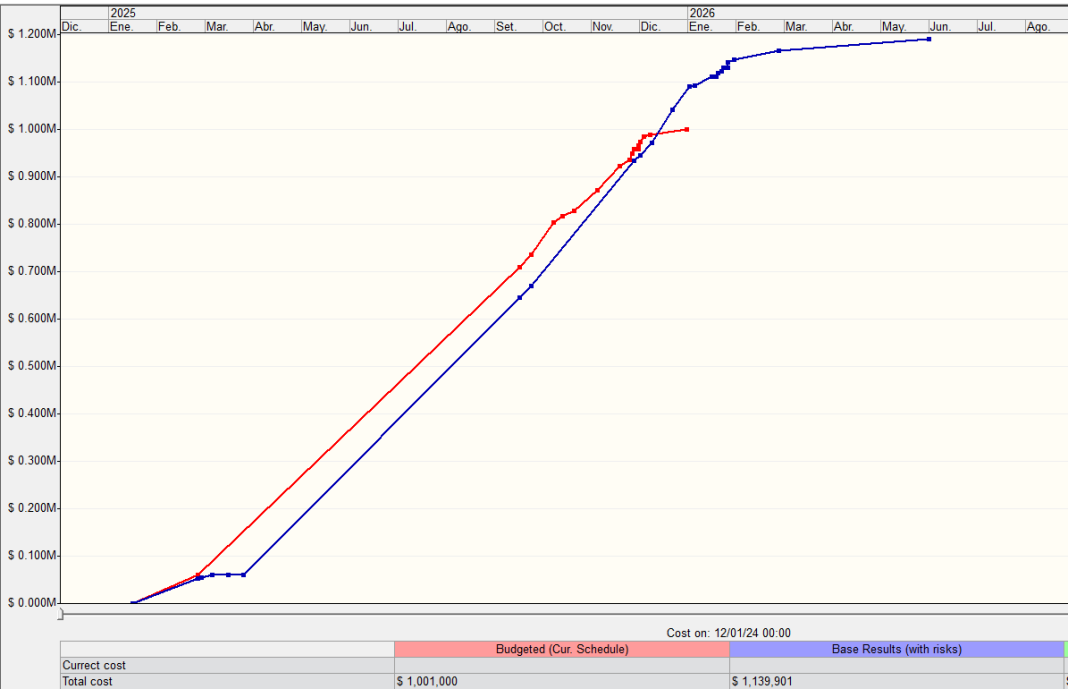
Registro de riesgos probabilidad vs impacto

Risk Name	Probability (Pre-Mitigation)	Impact (Pre-Mitigation)	Score (Pre-Mitigation)	Score
Problemas de Logística Internacional	37.0 %	84.5 %	31.3 %	
Fluctuación en Costos de Materiales	36.6 %	70.9 %	25.9 %	
Fallas en el Diseño del Sistema	29.6 %	82.2 %	24.4 %	
Fallas en la Supervisión de Obra	39.4 %	61.5 %	24.2 %	
Errores en Cálculos Estructurales	32.2 %	62.6 %	20.2 %	
Disponibilidad Limitada de Personal Calificado	28.2 %	60.0 %	16.9 %	
Errores Humanos en Ejecución de Pruebas	54.4 %	30.0 %	16.3 %	
Ineficiencia Energética	25.0 %	65.0 %	16.2 %	
Problemas de Calidad en Materiales	16.4 %	79.9 %	13.1 %	
Cambios en Requisitos del Proyecto	28.7 %	44.9 %	12.9 %	
Accidentes Laborales	18.0 %	53.0 %	9.54 %	
Resultados de Pruebas No Conformes	15.0 %	60.0 %	9.00 %	
Interrupciones en el Suministro de Energía	16.2 %	54.5 %	8.83 %	
Condiciones Meteorológicas Adversas	27.5 %	30.0 %	8.26 %	
Fallas en el Sistema de Monitoreo	15.5 %	50.0 %	7.75 %	
Fallas en Equipos Durante Pruebas	13.9 %	55.5 %	7.71 %	
Problemas en la Integración de Sistemas	15.0 %	50.0 %	7.50 %	
Deficiencias en la Gestión de Contratistas	14.1 %	40.0 %	5.65 %	
Disponibilidad Inadecuada de Equipos de Prueba	27.8 %	20.0 %	5.56 %	
Fallas en la Evaluación de Proveedores	16.7 %	20.0 %	3.33 %	

Nota. Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

Los riesgos impactan a los costos asociados de cada actividad, entregable o etapa del proyecto, con esto se puede evaluar el impacto de los riesgos tanto en tiempo como en costo. El modelamiento dentro del software nos permite mostrar la variabilidad de la curva S del proyecto con riesgos y sin riesgos asociados como se muestra en la imagen.

Figura 20
Curva S -Alternativa 2



Análisis de sensibilidad de riesgos

Este análisis de sensibilidad nos indica cuanto influye la finalización de una tarea en el tiempo de otra dentro del cronograma del proyecto. Como se observa en la figura , se observan tareas críticas por que afectarían directamente al cronograma.

Figura 21
Análisis de sensibilidad -Alternativa 2

Sensitivity to finish times of 5 other tasks			
Task ID	Task Name	Correlation Coefficient	
21	Task: Fase de Construccion	0.97	
25	Task: Montaje electromecanico	0.90	
22	Task: Obras Civiles	0.69	
19	Task: Compa de equipos de bombeo y tuberia	0.61	
24	Task: Instalacion de bases para trasnformadores	0.58	

Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

Como resumen del análisis de riesgos, se observa las siguientes figuras, que muestran cuantitativamente la variación del proyecto con bajo, base y altos riesgos; tanto a nivel de duración y en términos de costo.

Figura 22

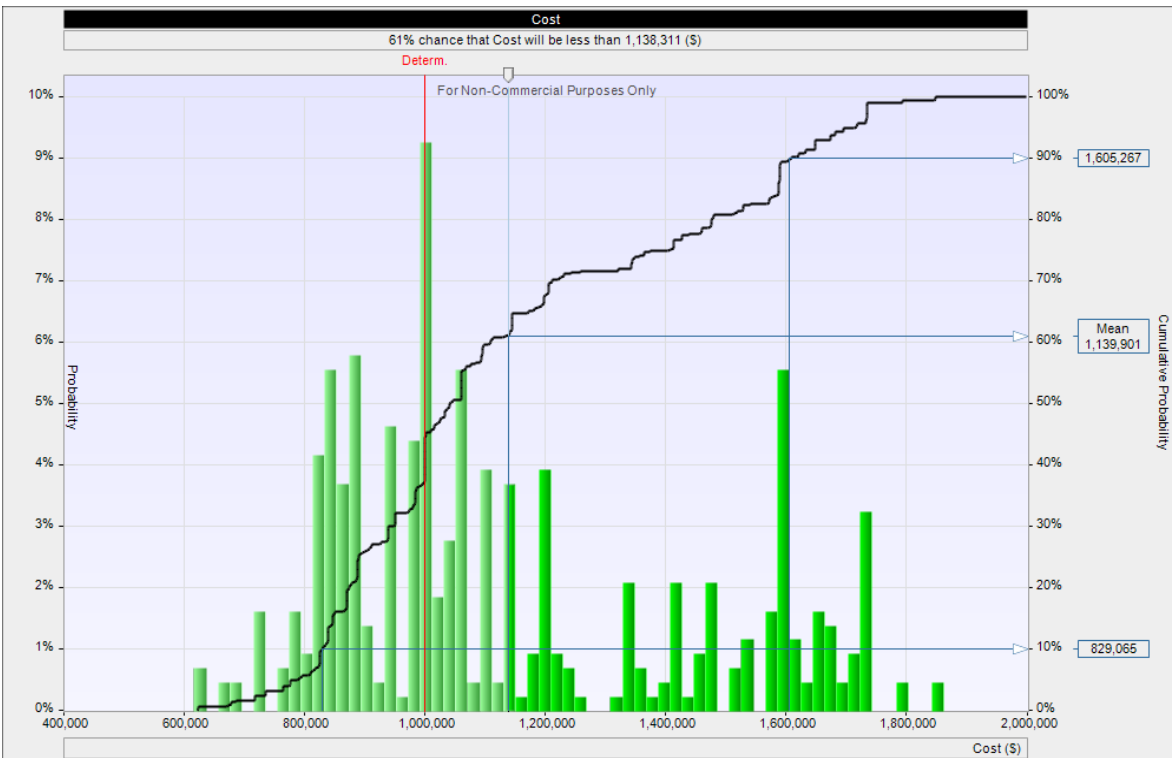
Resumen de impacto de riesgos -Alternativa 2

		Project Start Time	Project Duration	Project Finish Time	Total Project Cost
No Risks	Cur. Schedule	01/02/25 09:00	285 days	02/05/26 09:00	\$ 1,001,000
With Risks	Low	01/02/25 09:00	285 days	02/05/26 09:00	\$ 829,065
	Base	01/02/25 09:00	392 days	07/03/26 19:00	\$ 1,139,901
	High	01/02/25 09:00	536.6 days	01/22/27 15:48	\$ 1,605,267

Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

Figura 23

Resumen grafico-Alternativa 2



Fuente: Proyecto de trasvase UM Pierina-Risky Project

Capítulo IV: Resultados, contrastación de hipótesis y discusión de resultados

4.1 Análisis de resultados

Viabilidad técnica

La alternativa 1, con Poza intermedia, permite reducir la altura dinámica en el tramo 1 en comparación a la alternativa 2 de bombeo en serie. Además, incluye una infraestructura dentro del tajo, como poza intermedia con capacidad 500 m³ que optimiza el rendimiento hidráulico.

Por otro lado, la alternativa 2, elimina la necesidad de esta infraestructura adicional, sin embargo, implica una mayor altura dinámica en el primer tramo, esto conlleva a un mayor consumo de energía y esfuerzos operativos de la bomba a considerar.

Tabla 23
Resumen de TDH

Resumen de TDH	CASO 1 Perdida de carga (m)	CASO 2 Perdida de carga (m)
TRAMO 1-hf [m]	19.75	11.32
TRAMO 1-hv [m]	0.270	0.134
Altura geodésica tramo1 [m]	145.00	220.00
TDH [m]- SISTEMA DE BOMBEO 1	165.02	231.45
TRAMO 2-hf [m]	49.37	32.77
TRAMO 2-hv [m]	0.270	0.134
Altura geodésica tramo2	129.00	59.00
TDH [m]- SISTEMA DE BOMBEO 2	178.64	91.91

La evaluación técnica muestra que la alternativa 1 considera bombas de 146 y 158 HP, mientras que la alternativa 2, 205 y 81 HP, los consumos en potencia a nivel global son similares, siendo 300 HP la potencia instalada solo en bombas aproximadamente en cada una de ellas. La diferencia radica en el costo asociado a través de la operación de

las bombas a lo largo de los años, siendo más económica la segunda opción de bombeo en serie.

Las dos opciones son viables técnicamente, por lo que se debe evaluar económicamente la rentabilidad según la configuración propia de cada alternativa.

Viabilidad económica

El CAPEX de la alternativa 1 es mayor debido a la construcción de la poza intermedia como infraestructura adicional, así también los costos energéticos asociados al OPEX. En comparación a la alternativa 2, con bombeo en serie, esto se observa en la siguiente tabla.

Tabla 24
Resumen CAPEX-OPEX

	Alternativa 1 (Poza intermedia)	Alternativa 2 (Bombeo en serie)
CAPEX	\$ 885,810.00	\$ 785,000.00
OPEX	\$ 720,720.00	\$ 706,860.00

El CAUE muestra que la alternativa 2 es menor que el de la alternativa 1. Lo que demuestra que a largo plazo es la opción más sostenible económicamente.

El análisis multicriterio revela que a pesar cambios de tarifas energéticas o costos en mantenimiento, la alternativa 2 mantiene una ventaja económica sobre la primera.

El análisis de riesgos realizado para las dos alternativas del proyecto RISKYP PROJECT, se identificaron una serie de factores que podrían impactar tanto la duración como los costos de cada opción. A través de la curva S, se visualizó la evolución de estos riesgos a lo largo del tiempo. En la alternativa 1, los riesgos asociados con el retraso en la ejecución y los costos imprevistos son más significativos comparados a la alternativa 2, esto debido a los costos asociado a los equipos de mayor potencia, así

también a la etapa de construcción civil asociada a la poza intermedia, lo que podría generar un incremento en el tiempo total del proyecto. Por otro lado, la alternativa 2 muestra una mayor estabilidad en cuanto a costos, sin embargo, ambas alternativas muestran riesgos considerables en la etapa de procura y logística internacional.

4.2 Discusión de resultados

De la comparación de las dos alternativas se aprecia que la alternativa 2 tiene menor CAPEX y OPEX en comparación a la alternativa 1; siendo ambas alternativas técnicamente factibles, la decisión final se toma con el análisis económico del CAUE que se muestra en la tabla 20 en la cual se puede apreciar que la alternativa 2, es la más conveniente.

Como elemento adicional para la elección de la mejor alternativa también se usó el análisis multicriterio que se muestra en la tabla 19, como se puede apreciar la alternativa 2 obtiene un puntaje de 92 frente a 89.1 de la alternativa 1; en consecuencia, se elige la alternativa 2.

Los antecedentes utilizados en el desarrollo de la presente tesis de Sumaria Suarez y de Blas concluyen que el análisis técnico-económico teniendo en cuenta el CAPEX y el OPEX permiten calcular el TIR y el VAN para aceptar la viabilidad de los proyectos evaluados, en el caso de esta investigación también se determinó el CAPEX y el OPEX pero no es posible calcular el TIR y el VAN porque el proyecto no genera flujos de ingresos futuros, frente a esto se utilizó la técnica del Costo Anual Uniforme Equivalente conocido como CAUE, que es una técnica que se utiliza cuando no existen flujos de ingresos futuros. El uso de este método del CAUE nos permite señalar que la alternativa 2 es la más conveniente por tener un menor CAUE.

Conclusiones

- Se propuso un estudio técnico económico de ambas alternativas para seleccionar el sistema de trasvase adecuado, el análisis multicriterio muestra como mejor alternativa el sistema de trasvase mediante bombeo en serie. Siendo esta alternativa favorable debido a un ahorro económico en el CAPEX, OPEX, riesgos operativos y mediante el CAUE se concluyó que esta alternativa es la más económica a lo largo de los años.
- Se determinó la viabilidad técnica de ambas alternativas, siendo la alternativa 2 ,6% más eficiente respecto a al consumo de potencia instalada de bombas que la alternativa 1. Esto conlleva a lo largo de los años un ahorro económico en la operatividad y sostenibilidad del sistema.
- Se determinó mediante el estudio económico que la alternativa 2 es un 10 % más económica que la alternativa 1 refiriéndonos al CAPEX y OPEX, siendo este porcentaje un ahorro de 114,670 \$.
- En conclusión, el análisis de riesgos para las dos alternativas, revela que la alternativa 1 presenta mayores riesgos en términos de duración y costos debido a factores imprevistos que podrían incrementar los tiempos de ejecución. Sin embargo, la alternativa 2, a pesar de tener un enfoque similar a nivel global, técnica y operativamente son muy distintas, esta alternativa muestra una mayor estabilidad a largo plazo.

Recomendaciones

- Se recomienda seleccionar, según el análisis técnico económico, la alternativa 2-sistema de bombeo en serie, debido a las ventajas mostradas en el análisis multicriterio desarrollado.
- Se recomienda profundizar el análisis técnico una vez seleccionada la alternativa, con información más precisa para una etapa de factibilidad y realizar una planificación preliminar de la implementación, con el objetivo de tomar una decisión final por parte de gerencia.
- Se recomienda utilizar el CAUE en evaluación de proyectos que, como en el presente caso no se cuenta con ingresos futuros generados por el proyecto.
- Considerando el análisis de resultados mostrados en la sección anterior, se recomienda optar por la alternativa 2, ya que presenta menos probabilidades de retrasos significativos, lo que a largo plazo optimizaría los recursos y disminuiría los costos imprevistos

Referencias

- Boronat, G. (2019). Gestion Financiera. *Smarteca*, 8.
- Cafaggi. (2021). *Sistemas de bombeo*. Obtenido de Repositorio UNAM: [https://www.ingenieria.unam.mx/deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/Sistemas%20de%20bombeo%20\(dig-2021\)%201.pdf](https://www.ingenieria.unam.mx/deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/Sistemas%20de%20bombeo%20(dig-2021)%201.pdf)
- Concha, F. (2020). Transporte de pulpa en tuberia y canales. *Cettem*.
- Diaz, A. (2008). Matematicas financieras. Obtenido de https://www.academia.edu/23833219/Matematicas_financieras_4ed_diaz_matta_y_aguiler
- Distancia, U. n. (2005). Evaluacion del costo anual equivalente. 4.
- Enciso, V. (2022). Depreciacion y Amortizacion. *Universidad Nacional de Asuncion*, 24.
- Esparza, J. L. (2020). *Analisis y evaluacion de proyectos*. Obtenido de <http://web.uqroo.mx/archivos/jlesparza/acpsc137/Unidad%205%20Evaluacion.pdf>
- Marigorta, B. (1994). *Sistemas de Bombeo*. Gijon.
- Parga, F. (2015). Hidraulica aplicada a procesos mineros. *MineClass*, 14.
- Torres, Z. (2013). Sustentabilidad de proyectos mineros:el analisis multicriterio como perspectiva acertada para su evaluacion. *Minera y Geologia*, 90.
- Vipond, T. (2019). Mining Financial Model and Valuation. 13.
- Warman. (1992). *Manual de bombeo de pulpas*. España: Toledo.

Anexos

Anexo 1 Linea Base.....	1
Anexo 2 Matriz de consistencia.....	5
Anexo 3 Matriz de operacionalizacion.....	6
Anexo 4 Calculo de analisis multicriterio	7

Anexo 1

Línea base

La línea base de los proyectos desarrollados en el marco de esta tesis incluye los aspectos fundamentales como los cronograma, presupuesto y los riesgos identificados mostrados en la sección de análisis de riesgos.

Alternativa 1: Cronograma

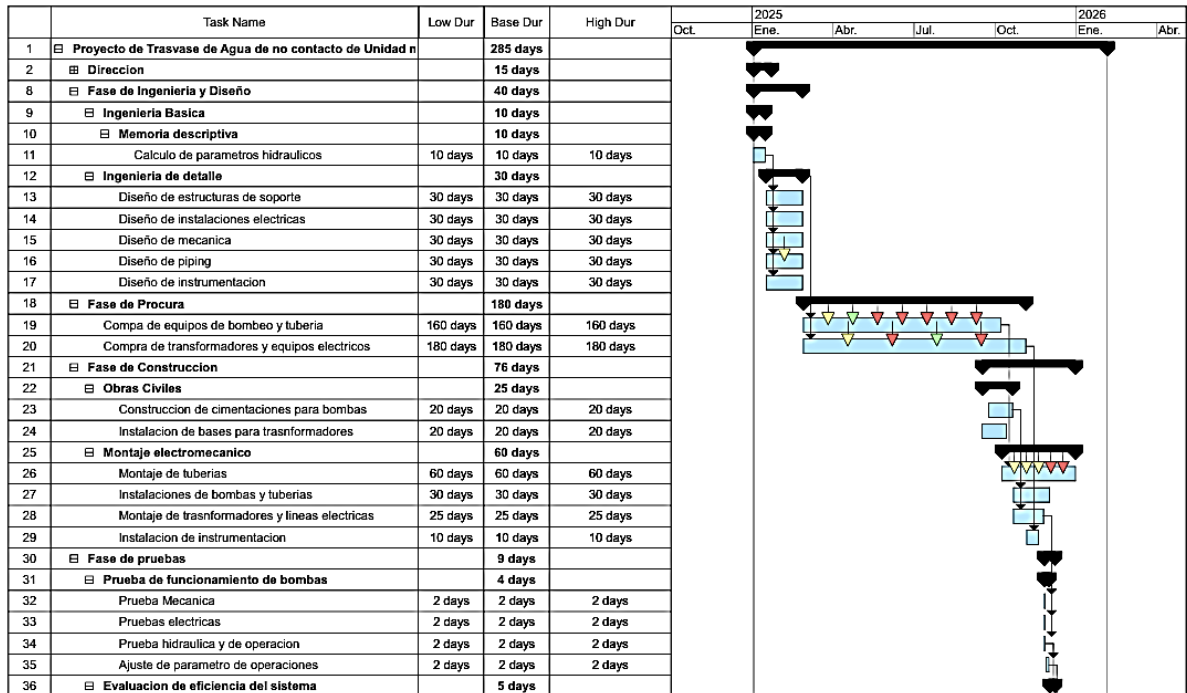
	Task Name	Low Dur	Base Dur	High Dur	Ene., '25											
					08	22	05	19	02	16	02	16	30	13	27	11
1	▢ Proyecto de Trasvase de Agua de no contacto de Unidad minera Pierina		299 days													
2	▢ Direccion		15 days													
3	▢ EDT		15 days													
4	▢ Cronograma		15 days													
5	▢ Presupuesto		15 days													
6	▢ Gestion de riesgos		15 days													
7	Gestion de Calidad	15 days	15 days	15 days												
8	▢ Fase de Ingeniería y Diseño		40 days													
9	▢ Ingeniería Basica		10 days													
10	▢ Memoria descriptiva		10 days													
11	Calculo de parametros hidraulicos	10 days	10 days	10 days												
12	▢ Ingeniería de detalle		30 days													
13	Diseño de estructuras de soporte	30 days	30 days	30 days												
14	Diseño de instalaciones electricas	30 days	30 days	30 days												
15	Diseño de mecanica	30 days	30 days	30 days												
16	Diseño de piping	30 days	30 days	30 days												
17	Diseño de instrumentacion	30 days	30 days	30 days												
18	▢ Fase de Procura		240 days													
19	Compa de equipos de bombeo y tuberia	160 days	160 days	160 days												
20	Compra de transformadores y equipos electricos	240 days	240 days	240 days												
21	▢ Fase de Construccion		106 days													
22	▢ Obras Civiles		65 days													
23	Construccion de cimentaciones para bombas/Poza intermedia	60 days	60 days	60 days												
24	Instalacion de bases para trasnformadores	20 days	20 days	20 days												
25	▢ Montaje electromecanico		90 days													
26	Montaje de tuberias	60 days	60 days	60 days												
27	Instalaciones de bombas y tuberias	30 days	30 days	30 days												
28	Montaje de trasnformadores y lineas electricas	25 days	25 days	25 days												
29	Instalacion de instrumentacion	10 days	10 days	10 days												
30																
31																
32	Prueba Mecanica	2 days	2 days	2 days												
33	Pruebas electricas	2 days	2 days	2 days												
34	Prueba hidraulica y de operacion	2 days	2 days	2 days												
35	Ajuste de parametro de operaciones	2 days	2 days	2 days												
36	▢ Evaluacion de eficiencia del sistema		5 days													
37	Informe de consumo energetico	5 days	5 days	5 days												
38	▢ Fase de Puesta en marcha		3 days													
39	▢ Verificacion de integridad de equipos		2 days													
40	Inspeccion final de montaje	1 day	1 day	1 day												
41	Conexion de sistemas electricos	1 day	1 day	1 day												
42	▢ Calibracion y arranque		1 day													
43	Configuracion de variadores de frecuencia	1 day	1 day	1 day												
44	Puesta en operacion controlado	1 day	1 day	1 day												
45	▢ Fase de operacion y mantenimiento		4 days													
46	▢ Monitoreo del sistema		4 days													
47	▢ Revision periodica de equipos		4 days													
48	Sustitucion de piezas desgastadas	4 days	4 days	4 days												
49	▢ Optimizacion del sistema		2 days													
50	Analisis de desempeno operativo	2 days	2 days	2 days												
51	Fin de proyecto	0 days	0 days	0 days												

Alternativa 1: Presupuesto

	Task Name	Accrual	Tot.Cost
1	▣ Proyecto de Trasvase de Agua de no contacto de Unidad minera Pierina	Prorated	\$ 1,040,000
2	▣ Direccion	Prorated	\$ 0.00
3	▣ EDT	Prorated	\$ 0.00
4	▣ Cronograma	Prorated	\$ 0.00
5	▣ Presupuesto	Prorated	\$ 0.00
6	▣ Gestion de riesgos	Prorated	\$ 0.00
7	Gestion de Calidad	Prorated	\$ 0.00
8	▣ Fase de Ingenieria y Diseño	Prorated	\$ 60,000
9	▣ Ingenieria Basica	Prorated	\$ 0.00
10	▣ Memoria descriptiva	Prorated	\$ 0.00
11	Calculo de parametros hidraulicos	Prorated	\$ 0.00
12	▣ Ingenieria de detalle	Prorated	\$ 60,000
13	Diseño de estructuras de soporte	Prorated	\$ 20,000
14	Diseño de instalaciones electricas	Prorated	\$ 10,000
15	Diseño de mecanica	Prorated	\$ 10,000
16	Diseño de piping	Prorated	\$ 10,000
17	Diseño de instrumentacion	Prorated	\$ 10,000
18	▣ Fase de Procura	Prorated	\$ 785,000
19	Compra de equipos de bombeo y tuberia	Prorated	\$ 635,000
20	Compra de transformadores y equipos electricos	Prorated	\$ 150,000
21	▣ Fase de Construccion	Prorated	\$ 145,000
22	▣ Obras Civiles	Prorated	\$ 25,000
23	Construccion de cimentaciones para bombas/Poza intermedia	Prorated	\$ 15,000
24	Instalacion de bases para trasnformadores	Prorated	\$ 10,000
25	▣ Montaje electromecanico	Prorated	\$ 120,000
26	Montaje de tuberías	Prorated	\$ 40,000
27	Instalaciones de bombas y tuberías	Prorated	\$ 30,000
28	Montaje de trasnformadores y lineas electricas	Prorated	\$ 30,000
29	Instalacion de instrumentacion	Prorated	\$ 20,000
30	▣ Fase de pruebas	Prorated	\$ 15,000
31	▣ Prueba de funcionamiento de bombas	Prorated	\$ 12,000

	Task Name	Accrual	Tot.Cost
32	Prueba Mecanica	Prorated	\$ 3,000.00
33	Pruebas electricas	Prorated	\$ 3,000.00
34	Prueba hidraulica y de operacion	Prorated	\$ 3,000.00
35	Ajuste de parametro de operaciones	Prorated	\$ 3,000.00
36	▣ Evaluacion de eficiencia del sistema	Prorated	\$ 3,000.00
37	Informe de consumo energetico	Prorated	\$ 3,000.00
38	▣ Fase de Puesta en marcha	Prorated	\$ 15,000
39	▣ Verificacion de integridad de equipos	Prorated	\$ 10,000
40	Inspeccion final de montaje	Prorated	\$ 5,000.00
41	Conexion de sistemas electricos	Prorated	\$ 5,000.00
42	▣ Calibracion y arranque	Prorated	\$ 5,000.00
43	Configuracion de variadores de frecuencia	Prorated	\$ 3,000.00
44	Puesta en operacion controlado	Prorated	\$ 2,000.00
45	▣ Fase de operacion y mantenimiento	Prorated	\$ 20,000
46	▣ Monitoreo del sistema	Prorated	\$ 0.00
47	▣ Revision periodica de equipos	Prorated	\$ 0.00
48	Sustitucion de piezas desgastadas	Prorated	\$ 0.00
49	▣ Optimizacion del sistema	Prorated	\$ 10,000
50	Analisis de desempeño operativo	Prorated	\$ 10,000
51	Fin de proyecto	Prorated	\$ 0.00

Alternativa 2: Cronograma



Alternativa 2: Presupuesto

	Task Name	Accrual	Res.Cost	Tot.Cost
1	☐ Proyecto de Trasvase de Agua de no co	Prorated	\$ 0.00	\$ 1,001,000
2	☐ Direccion	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00
8	☐ Fase de Ingenieria y Diseño	Prorated	\$ 0.00	\$ 61,000
9	☐ Ingenieria Basica	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00
10	☐ Memoria descriptiva	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00
11	Calculo de parametros hidraulic	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00
12	☐ Ingenieria de detalle	Prorated	\$ 0.00	\$ 61,000
13	Diseño de estructuras de soporte	Prorated	\$ 0.00	\$ 21,000
14	Diseño de instalaciones electricas	Prorated	\$ 0.00	\$ 10,000
15	Diseño de mecanica	Prorated	\$ 0.00	\$ 10,000
16	Diseño de piping	Prorated	\$ 0.00	\$ 10,000
17	Diseño de instrumentacion	Prorated	\$ 0.00	\$ 10,000
18	☐ Fase de Procura	Prorated	\$ 0.00	\$ 735,000
19	Compa de equipos de bombeo y tube	Prorated	\$ 0.00	\$ 620,000
20	Compra de transformadores y equipo	Prorated	\$ 0.00	\$ 115,000
21	☐ Fase de Construccion	Prorated	\$ 0.00	\$ 165,000
22	☐ Obras Civiles	Prorated	\$ 0.00	\$ 35,000
23	Construccion de cimentaciones pa	Prorated	\$ 0.00	\$ 25,000
24	Instalacion de bases para trasnfor	Prorated	\$ 0.00	\$ 10,000
25	☐ Montaje electromecanico	Prorated	\$ 0.00	\$ 130,000
26	Montaje de tuberias	Prorated	\$ 0.00	\$ 40,000
27	Instalaciones de bombas y tuberias	Prorated	\$ 0.00	\$ 40,000
28	Montaje de trasnformadores y linea	Prorated	\$ 0.00	\$ 30,000
29	Instalacion de instrumentacion	Prorated	\$ 0.00	\$ 20,000
30	☐ Fase de pruebas	Prorated	\$ 0.00	\$ 15,000
31	☐ Prueba de funcionamiento de bom	Prorated	\$ 0.00	\$ 12,000
32	Prueba Mecanica	Prorated	\$ 0.00	\$ 3,000.00
33	Pruebas electricas	Prorated	\$ 0.00	\$ 3,000.00
34	Prueba hidraulica y de operacion	Prorated	\$ 0.00	\$ 3,000.00
35	Ajuste de parametro de operacion	Prorated	\$ 0.00	\$ 3,000.00
36	☐ Evaluacion de eficiencia del sistem	Prorated	\$ 0.00	\$ 3,000.00

	Task Name	Accrual	Res.Cost	Tot.Cost
37	Informe de consumo energetico	Prorated	\$ 0.00	\$ 3,000.00
38	☐ Fase de Puesta en marcha	Prorated	\$ 0.00	\$ 15,000
39	☐ Verificacion de integridad de equip	Prorated	\$ 0.00	\$ 10,000
40	Inspeccion final de montaje	Prorated	\$ 0.00	\$ 5,000.00
41	Conexion de sistemas electricos	Prorated	\$ 0.00	\$ 5,000.00
42	☐ Calibracion y arranque	Prorated	\$ 0.00	\$ 5,000.00
43	Configuracion de variadores de fre	Prorated	\$ 0.00	\$ 3,000.00
44	Puesta en operacion controlado	Prorated	\$ 0.00	\$ 2,000.00
45	☐ Fase de operacion y mantenimiento	Prorated	\$ 0.00	\$ 10,000
46	☐ Monitoreo del sistema	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00
47	☐ Revision periodica de equipos	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00
48	Sustitacion de piezas desgastad	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00
49	☐ Optimizacion del sistema	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00
50	Analisis de desempeño operativo	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00
51	Fin de proyecto	Prorated	\$ 0.00	\$ 0.00

Anexo 2

Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGIA
¿Permitirá un estudio técnico-económico elegir un sistema de trasvase adecuado de aguas de contacto en la unidad minera Pierina?	¿Permitirá un estudio técnico-económico elegir un sistema de trasvase adecuado de aguas de contacto en la unidad minera Pierina?	Un estudio técnico-económico permitirá elegir un sistema de trasvase adecuado, de aguas de contacto, en la unidad minera Pierina.	Estudio técnico-económico	<u>Tipo de investigación:</u> Aplicada <u>Nivel:</u> Correlacional <u>Enfoque:</u> Cuantitativo <u>población y muestra:</u> UM PIERINA <u>técnicas e instrumentación de recolección de datos:</u> <u>técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos:</u> Estudios hídricos, geológicos y topográficos de UM PIERINA. Software de simulación.
¿De qué manera el estudio de la viabilidad técnica permitirá la elección adecuada de un sistema de trasvase de agua de contacto en la unidad minera Pierina?	Determinar la viabilidad técnica de un sistema de trasvase adecuado, de aguas de contacto, en la unidad minera Pierina.	La determinación de la viabilidad técnica permitirá elegir un sistema de trasvase adecuado, de aguas de contacto, en la unidad minera Pierina.		
¿En qué medida un estudio económico de los costos de inversión (capex), costos de operación (opex) y de los beneficios, permitirán la elección de un sistema de trasvase adecuado de aguas de contacto en la unidad minera Pierina?	Determinar un estudio económico de los costos de inversión (capex), costos de operación (opex) y de los beneficios que permitan la elección de un sistema de trasvase adecuado de aguas de contacto en la unidad minera Pierina.	Un estudio económico de los costos de inversión (capex), costos de operación (opex) y de los beneficios permitirá elegir un sistema de trasvase adecuado de aguas de contacto en la unidad minera Pierina.	Sistema de trasvase	

Anexo 3

Matriz Operacionalización

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escalas de medición
Sistema de trasvase	Es una obra o configuración hidráulica cuya finalidad es trasladar algún fluido desde un punto hacia otro.	Es la configuración o diseño para un sistema hidráulico que depende de ciertas variables o factores, un sistema de trasvase generalmente implica la transferencia de líquidos, gases o materiales sólidos de un lugar a otro y depende de la viabilidad técnica y económica para su construcción y operación, estos sistemas se aplican en la minería	Capacidad del sistema Eficiencia operativa	Capacidad de trasvase Potencia requerida(kW) Costos operativos(\$/m3)	Proyecto viable/Proyecto no viable
ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO	Estudio que permite sustentar la viabilidad la ejecución o comercialización de algún producto o proyecto.	La evaluación técnica-económica es un proceso integral que combina aspectos técnicos y económicos para analizar la viabilidad y el rendimiento de un proyecto, inversión o iniciativa. Este tipo de evaluación permite tomar decisiones informadas al considerar tanto los aspectos técnicos relacionados con la factibilidad y eficiencia del proyecto,	Viabilidad técnica Viabilidad Económica	Costos de inversión (CAPEX) Costos Operativos (OPEX) Ingresos y beneficios (Costo-Beneficio) Volumen de trasvase (m3) Potencia requerida (Kw)	Costo-Beneficio (C/B) Muy Bueno: C/B > 1 y significativamente alto. Bueno: C/B > 1. Regular: C/B = 1. Malo: C/B < 1. Ratio CAPEX/OPEX: Muy Bueno: Ratio < 1 (significa que los costos operativos son más bajos que la inversión inicial, indicando sostenibilidad). Bueno: Ratio entre 1 y 2. Regular: Ratio entre 2 y 3. Malo: Ratio > 3 (los costos operativos son significativamente altos en comparación con la inversión inicial, lo que puede ser un riesgo).

Anexo 4

Cálculo del análisis multicriterio

El cálculo se viene a dar de la siguiente manera:

CAPEX:

- Alternativa 1 (885,810): Puntaje más alto = 5/5.
- Alternativa 2 (785,000): Puntaje más bajo es proporcional a la otra alternativa.

OPEX:

- Alternativa 1 (720,720): Puntaje más alto = 5/5.
- Alternativa 2 (706,860): Puntaje más bajo es proporcional a la otra alternativa.

El cumplimiento normativo, reducción del riesgo, beneficios intangibles son puntajes asignados y se realiza un producto con su peso % utilizando la siguiente expresión.

$$Puntaje\ total = \sum (Peso\ del\ criterio * Puntaje\ de\ la\ alternativa)$$

Criterios	Peso	Alternativa 1(Poza intermedia)	Alternativa 2(Bombeo en serie)
CAPEX(USD)	40%	885,810.00 (35.48%)	785,000.00 (40%)
OPEX(USD)	20%	720,720.00 (19.6%)	706,860.00 (20%)
Relación con las comunidades	15%	Alta (4/5) 12%	Alta (4/5) 12%
Cumplimiento normativo ambiental	10%	Máximo (5/5) 10%	Máximo (5/5)10%
Reducción del riesgo operativo	10%	Alta (4/5) 8%	Alta (3/5) 6%
Beneficios intangibles	5%	Uso de zonas restringidas (4/5) 4%	Uso de zonas restringidas (4/5) 4%
Puntaje total		89.1 %	92 %