

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA
RECUPERADA DE LA DESCARGA DE RELAVE PARA REDUCIR
EL CONSUMO DE AGUA FRESCA EN UNA UNIDAD MINERA EN
QUIACA-PUNO 2021”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
EN ENERGÍA**

ARNOLD LEON ARELLANO

Callao, 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Arnold Leon Arellano".

PERÚ

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Alfonso Caldas B."
Mg. Alfonso Caldas B.
Ing. Mecánico
CIP 53266

(Resolución N° 019-2021-C.U. del 20 de enero de 2021)

**ACTA N° 040 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE TESIS PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA
LIBRO 001 FOLIO N°. 066 ACTA N° 040 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

A los 16 días del mes setiembre, del año 2021, siendo las 18:20 horas, se reunieron, en la sala meet: <http://meet.google.com/npd-amoz-jcn>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de **Ingeniero en Energía** de la **Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

- | | | |
|---------------------------------------|---|------------|
| ▪ Dr. Juan Manuel Palomino Correa | : | Presidente |
| ▪ Mg. Carlos Zacarías Díaz Cabrera | : | Secretario |
| ▪ Mg. Vladimiro Contreras Tito | : | Miembro |
| ▪ Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri | : | Asesor |

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **LEÓN ARELLANO ARNOLD**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero en Energía sustentó la tesis titulada "**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA RECUPERADA DE LA DESCARGA DE RELAVE PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA FRESCA EN UNA UNIDAD MINERA EN QUIACA - PUNO 2021**", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N° 039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **15 (quince)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018- CU del 30 de Octubre del 2018.

Se dio por cerrada la Sesión a las 19:30 horas del día 16 del mes y año en curso.

Dr. Juan Manuel Palomino Correa
Presidente de Jurado

Mg. Carlos Zacarías Díaz Cabrera
Secretario de Jurado

Mg. Vladimiro Contreras Tito
Miembro de Jurado

Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARÍA GENERAL

EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO que suscribe, CERTIFICA: Que la presente es copia fiel del original. Se expide la presente certificación a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que juzgue conveniente.

Callao, 03 NOV 2021 del 20



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Oficina de Secretaría General

Mg. Luis Alfonso Cuadros Cuadros
Secretario General

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA
RECUPERADA DE LA DESCARGA DE RELAVE PARA REDUCIR
EL CONSUMO DE AGUA FRESCA EN UNA UNIDAD MINERA EN
QUIACA-PUNO 2021”**

DEDICATORIA

Con mucho cariño a Dios y a mi madre, Sonia
María Arellano.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, a mi madre por su constante
mención para tomar la decisión de realizar este trabajo
de investigación, a mis profesores que
fueron de orientación y guía,
y a mis compañeros con quienes
enrumbamos este corto trayecto de titulación.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
TABLAS DE CONTENIDO	4
TABLA DE IMÁGENES	5
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 Descripción de la realidad problemática	11
1.2 Formulación del Problema	12
1.2.1 Problema General	12
1.2.2 Problemas Específicos	12
1.3 Objetivos de la Investigación	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 Justificación	13
1.4.1 Justificación legal	13
1.4.2 Justificación Teórica	13
1.4.3 Justificación Práctica	13
1.4.4 Justificación Tecnológica.....	13
1.5 Limitantes de la investigación	14
1.5.1 Limitación teórica.....	14
1.5.2 Limitación temporal	14
1.5.3 Limitación espacial	14
II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 Antecedentes del estudio nacionales e internacionales.....	15

2.1.1	Antecedentes Internacionales	15
2.1.2	Antecedentes Nacionales	17
2.2	Bases Teóricas	19
2.2.1	Conceptos básicos de fluidos	19
2.2.2	El flujo de los fluidos y la ecuación de Bernoulli	19
2.2.3	Pérdidas y Ganancias de Energía	20
2.2.4	Sistema de tuberías en serie	21
2.2.5	Sistema de tuberías en paralelo	21
2.2.6	Nudo de tuberías	21
2.2.7	Selección y aplicación de bombas	22
2.3	Conceptual	23
2.4	Definición de términos básicos	24
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	26
3.1	Hipótesis General	26
3.1.1	Hipótesis Específicas	26
3.2	Definición conceptual de variables	26
3.3	Operacionalización de variables	27
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	28
4.1	Tipo y Diseño de Investigación.	28
4.2	Método de investigación.	28
4.3	Población y muestra	30
4.4	Lugar de estudio.	30
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de información	31
4.5.1	Validez y confiabilidad	32
4.6	Análisis y procesamiento de datos	33
4.6.1	Metodología de Cálculo para la Pérdida de energía:	34

4.6.2	Metodología de Cálculo para el Diámetro de tubería:	35
4.6.3	Validación del diseño del sistema de bombeo de agua recuperada 62	
4.6.4	Análisis energético	66
4.6.5	Presupuesto técnico	68
4.6.6	Evaluación técnico económico	70
V.	RESULTADOS	72
5.1	Resultados descriptivos	72
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	77
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	77
6.1.1	Contrastación de la Hipótesis con los resultados.	79
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	80
	CONCLUSIONES	80
	RECOMENDACIONES	82
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	ANEXOS	86
	Anexo 1: Matriz de consistencia.....	87
	Anexo 2: Árbol de problemas	88
	Anexo 3: Tuberías.....	89
	Anexo 4: Plano de arreglo general.....	94
	Anexo 5: Bomba Centrífuga Horizontal.....	95
	Anexo 6: Programación del proyecto (MSP)	101

TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 1. <i>Definición conceptual de variables</i>	26
Tabla 2. <i>Operacionalización de variables</i>	27
Tabla 3. <i>Técnicas e instrumentos</i>	31
Tabla 4. <i>Técnicas e instrumentos</i>	32
Tabla 5. <i>Tuberías y accesorios del sistema de bombeo de agua recuperada</i> .	38
Tabla 6. <i>Resistencia de válvulas y acoplamientos, como longitud equivalente en diámetros de tubería</i>	41
Tabla 7. <i>Valores del factor de fricción de acuerdo al diámetro de tubería</i>	42
Tabla 8. <i>Cálculo de Pérdidas de energía por tuberías y accesorios tramo I</i>	50
Tabla 9. <i>Cálculo de Pérdidas de energía por tuberías y accesorios tramo II</i> ...	51
Tabla 10. <i>Cálculo de Pérdidas de energía por tuberías y accesorios tramo III</i>	52
Tabla 11. <i>Resumen de los parámetros iniciales tomados del levantamiento de información del sistema</i>	53
Tabla 12. <i>Resumen de valores obtenidos de diámetro y pérdidas de energía</i>	56
Tabla 13. <i>Presupuesto técnico-económico detallado</i>	68
Tabla 14. <i>Evaluación técnico económico</i>	70
Tabla 15. <i>Resumen de resultados del dimensionamiento de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada</i>	72
Tabla 16. <i>Resumen de las especificaciones técnicas de la bomba del sistema de bombeo de agua recuperada</i>	73
Tabla 17. <i>Resumen de la selección de accesorios del sistema de bombeo de agua recuperada</i>	74
Tabla 18. <i>Resultados del análisis técnico - económico</i>	76
Tabla 19. <i>Resultados de dimensionamiento de tuberías</i>	77
Tabla 20. <i>Características de la bomba centrífuga horizontal del sistema</i>	78
Tabla 21. <i>Matriz de contrastación de la hipótesis con los resultados</i>	79

TABLA DE IMÁGENES

Figura 1. Distribución de fluido. Tomado del «Libro Mecánica de fluidos», por (Mott L., 2006 pág. 156).....	20
Figura 2. Red de tuberías en serie desde A hacia B. Tomado de «La obra de Sistema de bombeo», por (Blanco Marigorta , y otros, 1994 pág. 39).....	21
Figura 3. Red de Tuberías en paralelo desde i a j. Tomado de «La obra de Sistema de bombeo», por (Blanco Marigorta , y otros, 1994 pág. 29).....	21
Figura 4. Nudo de tuberías. Tomado de «La obra de Sistema de bombeo», por (Blanco Marigorta , y otros, 1994 pág. 31).....	22
Figura 5. Bomba centrífuga horizontal Goulds Pumps. Tomado del «Catálogo de bombas», por (Intech S.A, 2020 pág. 12).	22
Figura 6. Presa de Relave. Tomado de «La página web», por (Cori Puno , 2017).....	23
Figura 7. Caja negra del sistema de bombeo de agua recuperada en la Unidad Minera en Quiaca-Puno. Tomada en «Base a las entradas y salidas de la investigación», por (Espinoza Montes, 2014).....	29
Figura 8. Caja blanca del sistema de bombeo de agua recuperada en la Unidad Minera en Quiaca-Puno. Tomada en «Base a las entradas y salidas de la investigación», por (Espinoza Montes, 2014).....	29
Figura 9. Vista satelital de la Unidad Minera. Tomada de «Google Maps», por (2021).....	30
Figura 10. Flujo de cálculo para las pérdidas de energía en un fluido Newtoniano. Tomada en «Base a la información teórica», por (Mott L., 2006).....	34
Figura 11. Flujo de cálculo del diámetro de tubería del sistema de bombeo de agua recuperada. Tomada en «Base a la información teórica», por (Mott L., 2006).....	35

Figura 12. Descarga de relave hacia un tanque amortiguador que lo transporta al tanque espesador. Tomada en base al «Proceso de espesado de la planta de Filtrado y Relave».	36
Figura 13. Sistema de bombeo de agua recuperada. Tomada en base al «Proceso del sistema de bombeo de agua recuperada de la planta de Filtrado y Relave».	37
Figura 14. Diagrama de coeficiente de resistencia-contracción súbita. Tomada del «Libro Mecánica de fluidos», por (Mott L., 2006 pág. 288).....	41
Figura 15. Codos de tuberías y Tes estándar. Tomada del «Libro Mecánica de fluidos», por (Mott L., 2006 pág. 296).	42
Figura 16. Diseño para determinar las características de la bomba. Tomada en base al «Sistema de tuberías y tanques existentes en planta», por (Mott L., 2006).....	57
Figura 17. Sistema para determinar la presión de succión. Tomada en base del «Sistema de bombeo», por (Mott L., 2006).	59
Figura 18. Sistema de tuberías y bomba centrífuga. Tomada en base al «Sistema de descarga de la bomba», por (Mott L., 2006).	60
Figura 19. Dimensionamiento de tubería tramo 1. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).	63
Figura 20. Dimensionamiento de tubería tramo 1. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).	63
Figura 21. Dimensionamiento de tubería tramo 2. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).	64
Figura 22. Dimensionamiento de tubería tramo 2. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).	64

Figura 23. Dimensionamiento de tubería tramo 3. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).	65
Figura 24. Dimensionamiento de tubería tramo 3. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).	65
Figura 25. Características de la bomba del sistema. Tomada en base al «Diseño del sistema de bombeo de agua recuperada figura 16» por (Mott L., 2006).....	66
Figura 26. Espesor de tubería según diámetro. Tomada de «Selección de espesores de tuberías», según norma (ASTM-A53 2002).	72
Figura 27. Curva de rendimiento de la bomba centrífuga Goulds Pumps carga total vs capacidad. Tomada del «Informe técnico de calidad de la bomba centrífuga», por (Intech S.A, 2020).	74
Figura 28. Curva de eficiencia de la bomba centrífuga Goulds Pumps y carga total vs capacidad. Tomada del «Informe técnico de calidad de la bomba centrífuga», por (Intech S.A, 2020).	75

RESUMEN

La investigación fue realizada en una Unidad Minera del distrito de Quiaca del departamento de Puno cuyo objetivo es el diseño de un Sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de Relave para reducir el consumo de agua fresca de la zona. Investigación de tipo tecnológico con un nivel de investigación aplicada, diseño descriptivo simple y método deductivo-sintético. Como primera etapa del diseño se utilizó información documental levantada en campo, fichas bibliográficas de mecánica de fluidos, precisando los criterios de diseño y los procedimientos de cálculos manuales, se hizo uso de la herramienta Excel para la obtención de los resultados. Se determinó los diámetros de las tuberías y accesorios entre ellas del caudal inicial es de 10 pulgadas, se seleccionó la bomba centrífuga horizontal del sistema marca Goulds Pumps con una capacidad de bombeo de 243.67 m³/hora entre otras, se elaboró el presupuesto técnico detallado del sistema con un monto de 221,192.49 soles y se determinó el flujo volumétrico de 190.8 m³/hora para reducir el consumo de agua fresca de la zona. Se concluye con la selección de la bomba, con el presupuesto y el tipo de tubería y se evaluó un ahorro anual de 68,410.44 soles, un monto significativo por el uso del agua fresca, en beneficio del medio ambiente cumpliendo con el contrato social de la empresa con la comunidad de Untuca y a su vez se logró reemplazar el uso de agua fresca del río Untuca por agua recuperada de la presa de relave.

PALABRAS CLAVES: Sistema de bombeo de agua recuperada, Consumo Hidroenergético, presa de relave Untuca.

ABSTRACT

The investigation was carried out in a Mining Unit in the Quiaca district of the department of Puno whose objective: It is the design of a system to pump water recovered from the tailings discharge to reduce the consumption of fresh water in the area. Technological research with a level of applied research, simple descriptive design and deductive-synthetic method. As a first stage of the design, documentary information collected in the field was used, bibliographic records of fluid mechanics, specifying the design criteria and manual calculation procedures, and the Excel tool was used to obtain the results. The diameters of the pipes and accessories were determined, including the initial flow rate of 10 inches, the horizontal centrifugal pump of the Goulds Pumps system was selected with a pumping capacity of 243.67 m³ / hour among others, the technical budget was drawn up detailed system with an amount of 221,192.49 soles and the volumetric flow of 190.8 m³ / hour was determined to reduce the consumption of fresh water in the area. It concludes with the selection of the pump, with the budget and the type of pipe and an annual saving of 68,410.44 soles was evaluated, a significant amount for the use of the water resource, for the benefit of the environment, complying with the social contract of the company with the community of Untuca and in turn it is possible to replace the use of fresh water from the Untuca river with water recovered from the tailings dam.

KEY WORDS: Recovered water pumping system, Hydropower Consumption, Untuca tailings dam.

INTRODUCCIÓN

Las plantas concentradoras de las unidades mineras en sus operaciones metalúrgicas llevan a cabo los procesos productivos del mineral, cuentan con las áreas de chancado, molienda, gravimetría y flotación de estos dos últimos se obtienen los concentrados. La demanda del recurso hídrico es constante para los procesos mencionados.

La presente tesis, titulada “Diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca-Puno 2021” tuvo como objetivo aprovechar y recircular el agua acumulada de la presa de relave, donde llegan los residuos de la planta concentradora, así como también disminuir las dimensiones en volumen del relave, abastecer de agua a los procesos productivos y reducir el consumo de agua fresca de la zona.

El estudio consta de las siguientes etapas. En la primera etapa se reunió información del lugar de estudio y las condiciones del área para determinar los parámetros para el diseño sistema de bombeo de agua recuperada. En la segunda etapa se elaboró un diseño del sistema y se obtuvieron resultados mediante procedimientos y parámetros de cálculo. En la tercera etapa se seleccionó las tuberías, accesorios y la bomba de acuerdo a los criterios de diseño como las pérdidas y ganancias de energía, caudal, presión y características del fluido. En la cuarta etapa se validó los resultados con investigaciones similares y catálogos de equipos reconocidos de marca mundial.

El resultado que se obtuvo de los valores de flujo de la recuperación del agua del relave reduce el consumo de agua fresca del río Untuca en la unidad minera y sirve de reserva para nuevos procesos en la unidad minera.

Los beneficiados del presente trabajo de investigación además de la empresa minera serán la población circundante y el medio ambiente.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Los sectores mineros se encargan de la explotación o extracción de los minerales aglomerados en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos, en sus operaciones metalúrgicas cuentan con plantas concentradoras de minerales. En los procesos productivos de mineral se vió reflejado el uso del recurso hídrico como materia prima. En su mayoría los procesos de tratamiento de este bien como el mineral necesitan el abastecimiento del recurso hídrico y disminuir el consumo de agua fresca proveniente de las fuentes de aguas locales y con ello cubrir la demanda productiva del sector minero.

En la Unidad Minera ubicada en el distrito de Quiaca en el departamento de Puno, en la presa de relave se encuentra un gran volumen de agua acumulada producto de la canalización residual de líquidos provenientes de la planta concentradora y se plantea aprovechar el agua recirculando para reducir el consumo de agua fresca de la zona siendo su valor igual a $4.43 \frac{m^3}{s}$, abastecer de $190.8 \frac{m^3}{s}$ de agua a los procesos mineros y contribuir con el medio ambiente.

Según estudios en el Perú él 1.2 % del recurso hídrico utilizado corresponde al sector minero y el 2.4% del total del consumo en los procesos del mineral corresponde al agua fresca utilizada en la Unidad Minera en estudio. Es conveniente que la unidad minera cuente con reservas de este recurso hídrico y cubra la demanda total en diversos procesos como de producción y construcción a nivel de superficie y subterráneo.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿Cómo diseñar un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca-Puno 2021?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo dimensionar los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca- Puno 2021?
- ¿Cómo seleccionar la bomba adecuada y accesorios para el sistema de bombeo de agua recuperada para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca- Puno 2021?
- ¿De qué manera se puede evaluar el análisis técnico económico del sistema de bombeo de agua recuperada para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca- Puno 2021?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minería en Quiaca-Puno 2021.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minería en Quiaca-Puno 2021.
- Seleccionar la bomba adecuada y accesorios para el sistema de bombeo de agua recuperada para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minería en Quiaca-Puno 2021.

- Evaluar el análisis técnico económico del sistema de bombeo de agua recuperada para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minería en Quiaca-Puno 2021.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación legal

La presente investigación se justifica legalmente dado que se apoya en la normativas nacionales e internacionales, dichas normas y estándares determinan parámetros sobre el diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave. Las normas como guías en mención son la ASME B31.11, API 610 y ISO 4427:2008 PE-80.

1.4.2 Justificación Teórica

En la presente investigación se aplicó los conceptos básicos, teorías y leyes para contrastar la tecnología en un área determinada como en el sector de producción de minería en el ámbito del consumo energético y el medio ambiente. De tal forma se demostró que, mediante estudios, diseño, cálculo y precedentes teóricos, dar solución real a una problemática existente en el sector industrial, como es el caso de recuperar el agua de la presa de relave y minimizar la exposición del relave con el medio ambiente.

1.4.3 Justificación Práctica

En este trabajo de investigación mediante el diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave, se aprovechó el agua almacenada del relave, permitiendo con esto reducir la demanda de agua fresca en la unidad minera, obtener reservorios del recurso hídrico y reducir el volumen del efluente.

1.4.4 Justificación Tecnológica

El presente trabajo de investigación se justifica tecnológicamente porque pretende mejorar el sistema de producción, mejorar el medio ambiente y reducir el consumo de agua fresca.

1.5 Limitantes de la investigación

1.5.1 Limitación teórica

El diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada para reducir el consumo de agua fresca se limita teóricamente debido a que se orienta sobre estudios de dinámica de fluidos y el aprovechamiento del recurso hídrico.

1.5.2 Limitación temporal

En la presente investigación se recopiló datos sobre el consumo del recurso hídrico y producción del mineral en el periodo comprendido del año 2014 y el año 2017 y se realizó el estudio del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave.

1.5.3 Limitación espacial

En la presente investigación se abordó el estudio en la Planta de Filtrado y Relave el cual es un área perteneciente a la Unidad Minera ubicada en el distrito de Quiaca departamento de Puno.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio nacionales e internacionales.

2.1.1 Antecedentes Internacionales

- Muñoz (2019), en su investigación titulada “Análisis de las pérdidas de carga en sistemas de bombeo para relaves de mineral cobre y hierro mediante simulación computacional”, tuvo como objetivo analizar las pérdidas de carga en sistemas de bombeo de pulpas con la propuesta de utilización de dos modelos matemáticos empleados al mineral. Es de tipo de investigación tecnológica y diseño no experimental y se concluye que el análisis en las instalaciones se basa en el correcto dimensionamiento y selección de factores que están presentes e intervienen en las pérdidas de carga.

La presente Memoria fue de guía para este trabajo de investigación ya que nos brindó información aplicada del uso del Software AFT Fathom, siendo una herramienta utilizada no sólo para estudios de investigación sino también en las distintas empresas que analizan este tipo de sistemas.

- Capone (2016), en su tesis titulada “Filtros de prensa para relaves”, tuvo como objetivo analizar y comparar la tecnología de filtrado de relaves con filtros de prensa con el espesado de relaves de alta densidad, para hacer una evaluación más objetiva en proyectos de concentración de minerales. Es de tipo de investigación tecnológica y diseño experimental y se concluye que la depositación de relaves y la recuperación de agua se trata de una alternativa competitiva.

La tesis en mención brindó información valiosa como datos estadísticos en cuanto al gasto del agua en una planta procesadora de mineral y explica acerca de la recuperación del agua de relaves en unidades

mineras, esto fue de referencia y soporte para este trabajo de investigación.

- Pacheco (2007), en su investigación titulada “Uso del agua en la industria minera”, tuvo como objetivo minimizar el consumo de agua y la disminución de su impacto ambiental sin afectar su eficiencia en los procesos mineros. Es de tipo de investigación tecnológica y diseño no experimental y se concluye que la conservación de los cuerpos de agua es necesaria, el tratamiento mediante bacterias sulfato-reductoras promete ser el más eficiente debido a sus bajos costos de operación y de mantenimiento.

El estudio del uso del agua y su recirculación en los procesos mineros ayudó a conocer los procesos de recuperación de agua y las cantidades en volúmenes para entender su funcionamiento.

- Fuenzalida (2017), en su investigación titulada “Estudio y evaluación del sistema de espesadores de relave de la división andina mediante herramientas de simulación computacional”, tuvo como objetivo estudiar el sistema de espesamiento de relaves, utilizando herramientas de simulación computacional para entregar lineamientos para un protocolo de operación. Es de tipo de investigación tecnológica y diseño experimental y se concluye el estudio del proceso de concentrado y los diferentes tipos de espesadores y sus partes y las características del sistema de espesadores de relave.

La presente investigación fue de guía para conocer el tratamiento, transporte y disposición de relaves así como también el proceso de separación del mineral y grandes cantidades de agua, de tal forma se recopiló dicha información para cuantificar volúmenes de agua en tratamiento.

- Zuñiga (2013), en su investigación titulada “Balance de agua en planta de sulfuros y tranque el Torito”, tuvo como objetivo realizar el balance de

agua de la planta de Sulfuros y Tranque El Torito, para mejorar la optimización del consumo hídrico y proporcionar propuestas de mejoras. Es de tipo de investigación tecnológica y diseño no experimental y se concluye que el agua es de gran importancia, especialmente en la minería, en donde el recurso hídrico es fundamental, por lo que se busca realizar una gestión adecuada, dar propuestas de mejoras para así tomar medidas que permiten el ahorro del recurso hídrico.

El balance de agua y su aprovechamiento del tranque de relave ayudó a recopilar información en cuanto al tipo de fluido y la canalización del relave para su recuperación.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

- Niño (2019), en su tesis titulada “Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación minera”, tuvo como objetivo la selección de bombas de pulpa con comportamiento newtoniano, a través de cálculos manuales y se validan los resultados con el uso del software de selección de bombas. Es de tipo de investigación tecnológica y diseño no experimental y se concluye que en la actualidad es posible la fabricación de una sola bomba de pulpa para el caudal de 5706 m³/hora y la altura requerida de 66.11 m.
La presente tesis mostró una alternativa de cómo dimensionar y seleccionar nuestro sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave mediante cálculos manuales.
- López (2014), en su tesis titulada “Diseño hidráulico de un sistema gravimétrico para relaves mineros con un caudal de 202 m³/h y 220 m de desnivel”, tuvo como objetivo diseñar el sistema hidráulico de descarga gravimétrica por tuberías para el relave minero de la planta concentradora Inmaculada, con un rango de caudal aproximado de 202 m³/h, aprovechando una cota de 226 m. Es de tipo de investigación tecnológica

y diseño no experimental y se concluye que la pulpa ha sido recepcionada y acondicionada en el sistema de recepción, transportada mediante tuberías y evacuada al sistema de descarga de la presa de relaves a la presión requerida.

La tesis en mención brindó información en cuanto al tipo de fluido como del relave y sus propiedades físicas y las consideraciones que debemos tener para el diseño del sistema de descarga y bombeo, ayudó en el marco teórico sobre los parámetros físicos del fluido.

- Moreno (2014), en su tesis titulada “Proyecto de expansión de la capacidad instalada de 350 tpd de la planta Untuca a una capacidad media anual de 1700 tpd”, tuvo como objetivo ampliar el tonelaje de la planta concentradora Untuca a una capacidad media anual de 1700 TMSD. Es de tipo de investigación tecnológica y diseño no experimental y se concluye que debido a las características de los depósitos de minerales de la zona, volumen y las condiciones del mercado, se justifica la ejecución del proyecto de ampliación.

La presente tesis mostró un panorama más claro de los procesos en plantas de concentrados de mineral, cantidades reales y el consumo de agua en la Planta Concentradora. Este trabajo ayudó a poder cuantificar datos de la unidad minera en estudio y facilitó el objetivo de esta investigación.

- Luna (2019), en su tesis titulada “Sistema de despacho de gasolina para garantizar el parámetro de operación de 350 gpm terminal Eten-Lambayeque”, tuvo como objetivo determinar las condiciones de diseño del sistema de despacho de gasolina bajo las cuales se podrá garantizar el parámetro de operación de 350 GPM en el transporte de gasolina para su venta a los distribuidores mayoristas. Es de tipo de investigación aplicada y diseño no experimental y se concluye que se realizó el diagnóstico de las condiciones actuales mediante un levantamiento de información de campo del sistema de despacho que facilitaron los cálculos para garantizar el despacho de 350 GPM de gasolina.

El procedimiento del análisis técnico económico de la investigación fue de guía para determinar el análisis económico del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave.

- Retamozo (2017), en su tesis titulada “Diseño de un sistema de conducción hidráulica sometida a 43 psig de presión y 82 l/s de capacidad para irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar. Fundo Olmos – Agrolmos S.A – La Libertad”, tuvo como objetivo diseñar un sistema de conducción hidráulica sometida a 43 PSIG de presión y 82 l/s de capacidad mediante un pivote que permita irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar. Se aplicó una investigación tecnológica y diseño no experimental y se concluye que para el diseño del sistema se tomó en cuenta el diámetro hidráulico, dispositivos de protección y la electrobomba, garantizando el buen funcionamiento.

El trabajo de investigación fue de guía en la validación de los conceptos teóricos de mecánica de fluidos y cálculos para determinar los datos técnicos del sistema de bombeo.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Conceptos básicos de fluidos

“La mecánica de fluidos es el estudio del comportamiento de los fluidos. Se analizará los fluidos cuando fluyen a través de tuberías circulares, la energía del fluido según su velocidad, elevación, presión, las pérdidas y ganancias de energía”. (Mott, 2006 p. 1).

2.2.2 El flujo de los fluidos y la ecuación de Bernoulli

“El método de cálculo de la velocidad de flujo en un sistema de ductos cerrados depende del principio de continuidad. La cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante” (Mott, 2006 p. 156).

$$M_1 = M_2$$

O bien, debido a que $M = \rho AV$, Tenemos:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

Siendo: M = flujo másico, ρ =densidad, A =área y V =velocidad

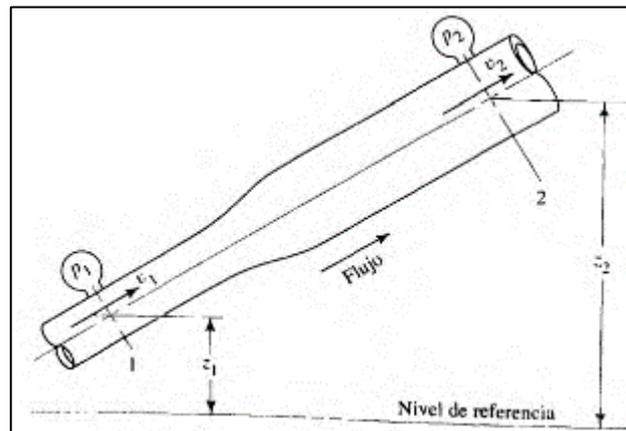


Figura 1. Distribución de fluido. Tomado del «Libro Mecánica de fluidos», por (Mott, 2006 p. 156).

“La ecuación es el enunciado matemático del principio de continuidad y se le denomina ecuación de continuidad. Se utiliza para relacionar la densidad de fluido” (Mott, 2006 p. 156).

Todo esto compone la ecuación de Bernoulli tomado del libro de Mecánica de fluidos:

$$\frac{\rho_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{\rho_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

2.2.3 Pérdidas y Ganancias de Energía

“Los distintos dispositivos y componentes de los sistemas de circulación de flujo de fluido. Se encuentran en la mayoría de los sistemas y agregan energía al fluido, la retiran de éste, o provocan pérdidas indeseables de ella” (Mott, 2006 p. 199).

2.2.4 Sistema de tuberías en serie

“Un sistema de tubería en serie es aquel donde el fluido sigue una trayectoria única a través de él” (Mott, 2006 p. 320).

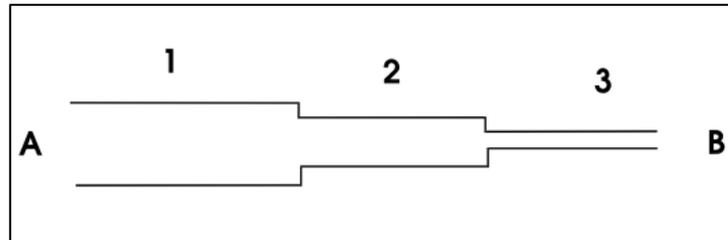


Figura 2. Red de tuberías en serie desde A hacia B. Tomado de «La obra de Sistema de bombeo», por (Blanco, 1994 p. 39).

2.2.5 Sistema de tuberías en paralelo

“Son aquellos en los que hay más de una trayectoria que el fluido puede recorrer para llegar de un punto de origen a otro de destino. El flujo volumétrico que ingresa al sistema es el mismo que sale” (Mott, 2006 p. 358).

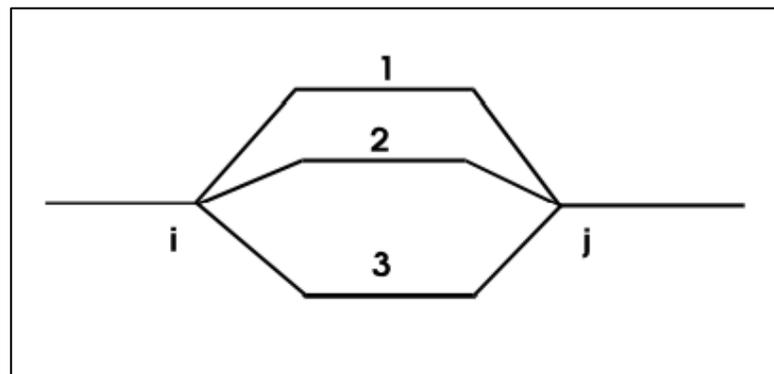


Figura 3. Red de Tuberías en paralelo desde i a j. Tomado de «La obra de Sistema de bombeo», por (Blanco, 1994 p. 29).

2.2.6 Nudo de tuberías

“Confluyen varias tuberías en un único punto, es decir, en un nudo, la altura de ese nudo hay que referirse a las alturas de los otros extremos de las tuberías y exigir que se cumpla la ecuación de continuidad” (Blanco, 1994 p. 31)

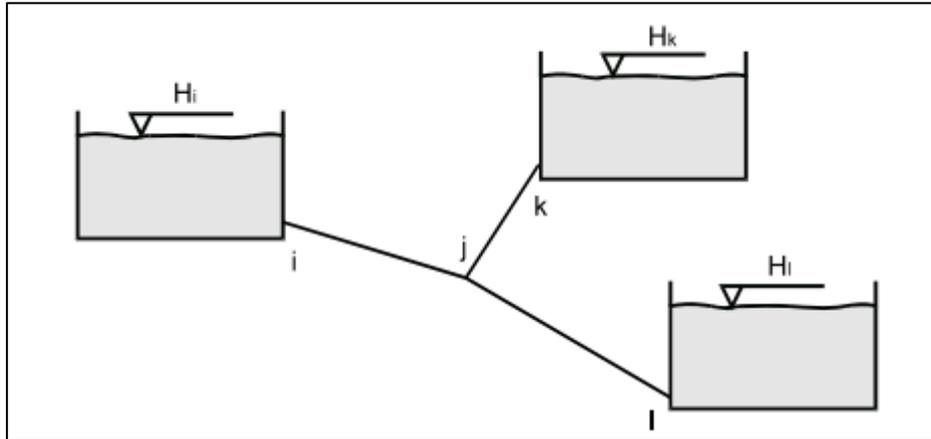


Figura 4. Nudo de tuberías. Tomado de «La obra de Sistema de bombeo», por (Blanco, 1994 p. 31).

$$Q_{ij} + Q_{kj} + Q_{lj} = 0$$

La ecuación anterior se ha escrito suponiendo positivos los caudales que van del primer índice al segundo, es decir, Q_{ij} tendrá signo positivo si el flujo va desde i hasta j y negativo en caso contrario.

2.2.7 Selección y aplicación de bombas

“Se utilizan para impulsar líquidos a través de sistemas de tuberías. Deben mover el flujo volumétrico, desarrollan la carga dinámica total, creada por los cambios de elevación, diferencias en las cargas de presión y de velocidad” (Mott, 2006 p. 382).



Figura 5. Bomba centrífuga horizontal Goulds Pumps. Tomado del «Catálogo de bombas», por (Intech s.a, 2020 p. 12).

2.3 Conceptual

- a) Sistemas 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” (Blanco, 1994 p. 1).
- b) Consumo del recurso hídrico: “El agua es utilizada en ciertas etapas del proceso para facilitar el transporte y la separación de los materiales” (Moreno, 2014 p. 51).
- c) Relave: “Es un conjunto de desechos de procesos mineros de las concentraciones de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga” (wikipedia, 2015 párr. 1).
- d) Embalse: “Emplazamiento, natural o artificial, usado para el almacenamiento, regulación y control de los recursos hídricos” (Zuñiga, 2013 p. 124).



Figura 6. Presa de Relave. Tomado de «La página web», por (Coripuno, 2017).

- e) Relave Espesado: “Espesador, que favorece la sedimentación de los sólidos, con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida, la que puede ser reutilizada para reducir el consumo hídrico de fuentes de agua limpia” Relave (wikipedia, 2015 párr. 1).

- f) Características físicas de la Pulpa: “Existen propiedades físicas que definen a una pulpa y que básicamente dependen de la cantidad de partículas sólidas que albergan, de la densidad de estas y de la densidad del líquido transportante” (López, 2014 p. 5).
- g) Recuperación de agua de tranque de relave: “Los relaves generados en la planta de flotación son procesados en una planta de filtros de prensa verticales, donde se recupera el agua para ser devuelta al proceso de flotación y los relaves filtrados son descargados mediante correas transportadas” (Capone, 2016 p. 27).

2.4 Definición de términos básicos

- a) Flujo volumétrico: “Permite determinar la velocidad de flujo en cualquier punto y las áreas de las tuberías en las secciones de interés” (Mott, 2006 p. 198). Se mide en metros cúbicos por segundos (m^3/s).
- b) Potencia: Es la cantidad de trabajo (fuerza o energía aplicada a un cuerpo) en una unidad de tiempo. Se mide en vatios o watts (W).
- c) Energía: Es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Se mide en joule (J).
- d) Peso específico: Es la relación entre el peso de una sustancia y su volumen. Se mide en newtons por metro cúbico (N/m^3)
- e) Presión: Mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie. Se mide en Pascal (Pa).
- f) Viscosidad del fluido: La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensores cortantes o tensores de tracción en un fluido.
- g) Densidad: Es la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Se mide en kilogramos por metros cúbicos (ρ).
- h) Numero de Reynolds (Re): “Es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa. Los flujos tienen números de Reynolds grandes debido a una velocidad elevada y/o una viscosidad baja, y tienden a ser turbulentos” (Mott, 2006 p. 231).

- i) Rugosidad relativa (D/ϵ): “Es la relación del diámetro de la tubería D a la rugosidad promedio de su pared E ” (Mott, 2006 p. 235).
- j) Eficiencia: “Es una medida de la relación del flujo volumétrico entregado por la bomba a la entrega teórica, con base en el desplazamiento por revolución de la bomba, multiplicado por la velocidad de rotación” (Mott, 2006 p. 392).
- k) Fricción del fluido: “Un fluido en movimiento presenta resistencia por fricción al fluir. Parte de la energía del sistema se convierte en energía térmica(calor), que se disipa a través de las paredes de la tubería por la que circula el fluido” (Mott, 2006 p. 202).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis General

- El diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave permite reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca – Puno 2021.

3.1.1 Hipótesis Específicas

- Si dimensionamos los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave se reduce el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca – Puno 2021.
- Si seleccionamos la bomba adecuada y accesorios permite un óptimo sistema de bombeo de agua recuperada en una Unidad Minera en Quiaca – Puno 2021.
- Si evaluamos el análisis técnico económico del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave se reduce el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca – Puno 2021.

3.2 Definición conceptual de variables

Variable Independiente:

- Sistema de bombeo de agua recuperada.

Variable Dependiente:

- Consumo de agua fresca.

Tabla 1. *Definición conceptual de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL
Variable Independiente: SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA RECUPERADA	Es el transporte del agua almacenada que se encuentra en la presa de relave a través de tuberías y equipos para la recuperación de agua.
Variable Dependiente: CONSUMO DE AGUA FRESCA	Es el uso o gasto de un recurso natural para satisfacer las necesidades primarias o secundarias.

3.3 Operacionalización de variables

Tabla 2. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	MÉTODO	
SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA RECUPERADA	PARÁMETROS DEL ESTUDIO HIDROENERGÉTICO	Caudal	Caudal(m ³ /s)	Tipo y nivel: Tecnológico- Aplicada	
		Niveles de referencia	Altura(m)		
		Presión de diseño	Presión (Pa)		
	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA	Peso específico del fluido	Peso específico (KN/m ³)	Diseño: Descriptivo simple	
		Diámetro de tubería	Diámetro (m)		
		Viscosidad dinámica	Viscosidad (Pa. s)	Método: Deductivo- Sintético	
		Velocidad del fluido	Velocidad (m/s)		
		Densidad del fluido	Densidad (kg/m ³)		
		SELECCIÓN DE TUBERÍAS	Longitud	Longitud(m)	TÉCNICA
			Caudal	Caudal(m ³ /s)	
	Pérdida de energía		Pérdida de energía (HL: m)	Documental: Fichas bibliográficas	
	Rugosidad de la pared de la tubería		Rugosidad (E: m)		
	SELECCIÓN DE BOMBA Y ACCESORIOS		Carga dinámica	Carga(m)	Empírica: *Registros técnicos de campo
			Potencia	Potencia(W)	
Capacidad nominal		Capacidad(m ³ /s)	*Hoja de cálculo Excel		
Presión	Presión (Pa)				
CONSUMO DE AGUA FRESCA	DEMANDA DE RECURSO HÍDRICO	Flujo	Caudal (m ³ /s)		

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y Diseño de Investigación.

“La investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad. Sus niveles son la experimentación y la aplicación” (Espinoza, 2014 p. 90).

El trabajo de investigación es tecnológico y nivel de investigación aplicada, se preocupa por la aplicación del conocimiento científico, producto de la investigación básica.

De lo citado el trabajo es de tipo investigación tecnológica y nivel aplicada por que aplica el diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca-Puno 2021. Mediante teorías y procedimientos de dinámica de los fluidos, tablas, estándares, normas, ayudó a identificar los parámetros de diseño y calcular y validar el dimensionamiento de las tuberías y seleccionar la bomba adecuada para el sistema.

El diseño de investigación que utilizaremos es descriptivo simple “busca recoger información actualizada sobre el objeto de investigación. Sirve para estudios de diagnóstico descriptivo, caracterizaciones, perfiles, etc. No podemos suponer las influencias de algunas variables. Nos limitamos a recoger información de la situación actual” (Espinoza, 2014 p. 93).

Diagrama:

M → O

Donde:

M: Sistema de bombeo de agua recuperada.

O: Consumo de agua fresca.

4.2 Método de investigación.

Método deductivo: “Consiste en tomar conclusiones generales para obtener explicaciones particulares. El método se inicia con el análisis de los postulados,

teoremas, leyes, principios, etcétera, de aplicación universal y de comprobada validez, para aplicarlos a soluciones o hechos particulares” (Bernal, 2010 p. 59).

Método sintético: “Integra los componentes dispersos de un objeto de estudio para estudiarlos en su totalidad” (Bernal, 2010 p. 60).

El método de la investigación es método deductivo-sintético que hace referencia al diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca-Puno 2021.



Figura 7. Caja negra del sistema de bombeo de agua recuperada en la Unidad Minera en Quiaca-Puno. Tomada en «Base a las entradas y salidas de la investigación», por (Espinoza, 2014).

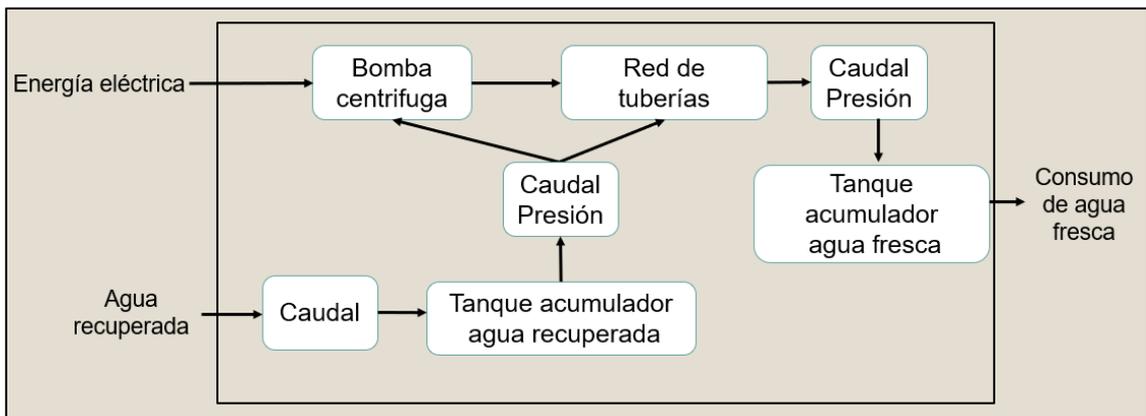


Figura 8. Caja blanca del sistema de bombeo de agua recuperada en la Unidad Minera en Quiaca-Puno. Tomada en «Base a las entradas y salidas de la investigación», por (Espinoza, 2014).

4.3 Población y muestra.

La población: “Es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Hernández, 2018 p. 195).

La muestra: “En la ruta cuantitativa, una muestra es un subgrupo de la población o universo que te interesa, sobre la cual se recolectarán los datos pertinentes, y deberá ser representativa de dicha población” (Hernández, 2018 p. 196)

Por lo tanto, en la presente investigación la muestra coincide con la población ya que todos los componentes del sistema de bombeo de agua recuperada son fácilmente identificables.

Población: Diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca-Puno 2021.

4.4 Lugar de estudio.

El lugar de estudio del presente trabajo de investigación es en una Unidad Minera en la localidad de Untuca, distrito de Quiaca, provincia de Sandia en el Departamento de Puno, cuya altitud es de 4283.241 msnm.



Figura 9. Vista satelital de la Unidad Minera. Tomada de «Google Maps», por (Google Maps, 2021).

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de información.

“La técnica documental permite la recopilación de evidencias para demostrar las hipótesis de investigación. Está formada por documentos como revistas, memorias, actas, registros, datos e información estadísticas y documentos de instituciones y empresas que registran datos de su funcionamiento” (Espinoza, 2014 p. 107).

Para el desarrollo del proyecto de esta investigación se utilizó la técnica del análisis documental, el cual permite la recopilación de información incluyendo el uso de instrumentos definidos según la fuente documental, para el diseño del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave en una Unidad Minera en Quiaca-Puno 2021.

Tabla 3. *Técnicas e instrumentos*

DESCRIPCIÓN	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Planteamiento del Problema	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Fichas Textuales Informes de investigación
Marco Teórico	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Fichas Textuales Informes de investigación
Hipótesis y Variables	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Fichas Textuales Informes de investigación
Diseño Metodológico	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Fichas Textuales Informes de investigación
Resultados	DOCUMENTAL	Ficha Bibliográfica Fichas Textuales Informes de investigación Catálogos Fichas técnicas
	EMPÍRICA	Hoja de cálculo Programas (AutoCad, Excel) Software TLV Toolbox

Tabla 4. *Técnicas e instrumentos*

DESCRIPCIÓN	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	
	Documental	Empírica
Parámetros del estudio hidroenergético	<ul style="list-style-type: none"> -Registros de datos técnicos -Planos de la Planta Minera -Fichas Bibliográficas 	<ul style="list-style-type: none"> -Levantamiento de información en campo. -Programa visualizador del área de estudio(Google Maps) -Fotos proyectos similares (Web) -Videos proyectos similares (Web)
Cálculo de pérdidas de energía	<ul style="list-style-type: none"> -Fichas bibliográficas -Compendios, Libros, tablas, etc. -Fichas técnica del fluido -Fichas técnica de los materiales 	<ul style="list-style-type: none"> -Hoja de cálculo -Programa (Excel)
Selección de tuberías	<ul style="list-style-type: none"> - Fichas bibliográficas - Normas, estándares - Catálogos - Planos referenciales 	<ul style="list-style-type: none"> -Hoja de cálculo -Diseño de recorrido de tuberías -Software (AutoCad) -Software TLV Toolbox
Selección de bomba y accesorios	<ul style="list-style-type: none"> - Fichas bibliográficas - Normas, estándares - Catálogos - Planos referenciales 	<ul style="list-style-type: none"> -Hoja de cálculo -Programa (Excel)
Demanda de recurso hídrico	<ul style="list-style-type: none"> -Fichas bibliográficas -Tablas de datos 	<ul style="list-style-type: none"> -Fotos proyectos similares (Web) -Videos proyectos similares (Web)

4.5.1 Validez y confiabilidad

De acuerdo al análisis documental realizado en la investigación, se recopiló información de proyectos similares; Diseño hidráulico de un sistema gravimétrico para relaves mineros con un caudal de 202 m³/h y 220 m de desnivel (López, 2014); Sistema de despacho de gasolina para garantizar el parámetro de operación de 350 GPM Terminal Eten-Lambayeque (Luna, 2019), y se apoya en

los principios de conservación de la energía, dimensionamiento de tuberías según la norma ASME B31.3, selección de equipos, sistemas de tuberías en serie y teoría relacionada a la mecánica de fluidos ya implementados en otros sistemas de bombeo, esto fue de ayuda para la obtención de resultados. Se validó datos de especificaciones técnicas con catálogos de marcas reconocidas mundialmente correspondiente a los componentes del sistema de bombeo del trabajo de investigación que sustenta toda la información presentada.

4.6 Análisis y procesamiento de datos.

La presente investigación no se basó en un análisis estadístico de datos debido a que solo se enfocó en la recopilación de datos obtenidos en campo para determinar las características del “Diseño de un Sistema de Bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca”, por lo tanto, no amerita realizar un procesamiento de datos.

4.6.1 Metodología de Cálculo para la Pérdida de energía:

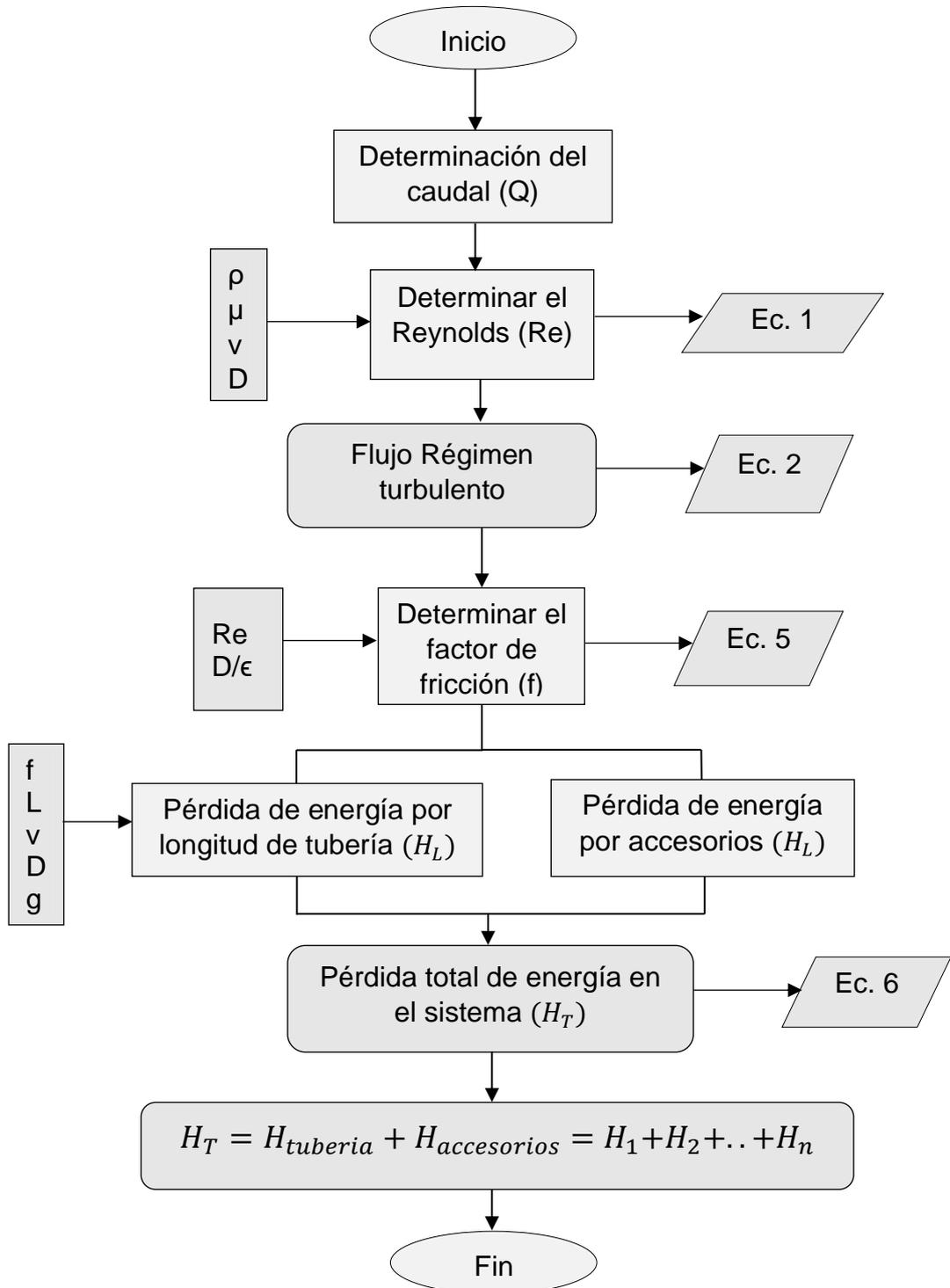


Figura 10. Flujo de cálculo para las pérdidas de energía en un fluido Newtoniano. Tomada en «Base a la información teórica», por (Mott, 2006).

4.6.2 Metodología de Cálculo para el Diámetro de tubería:

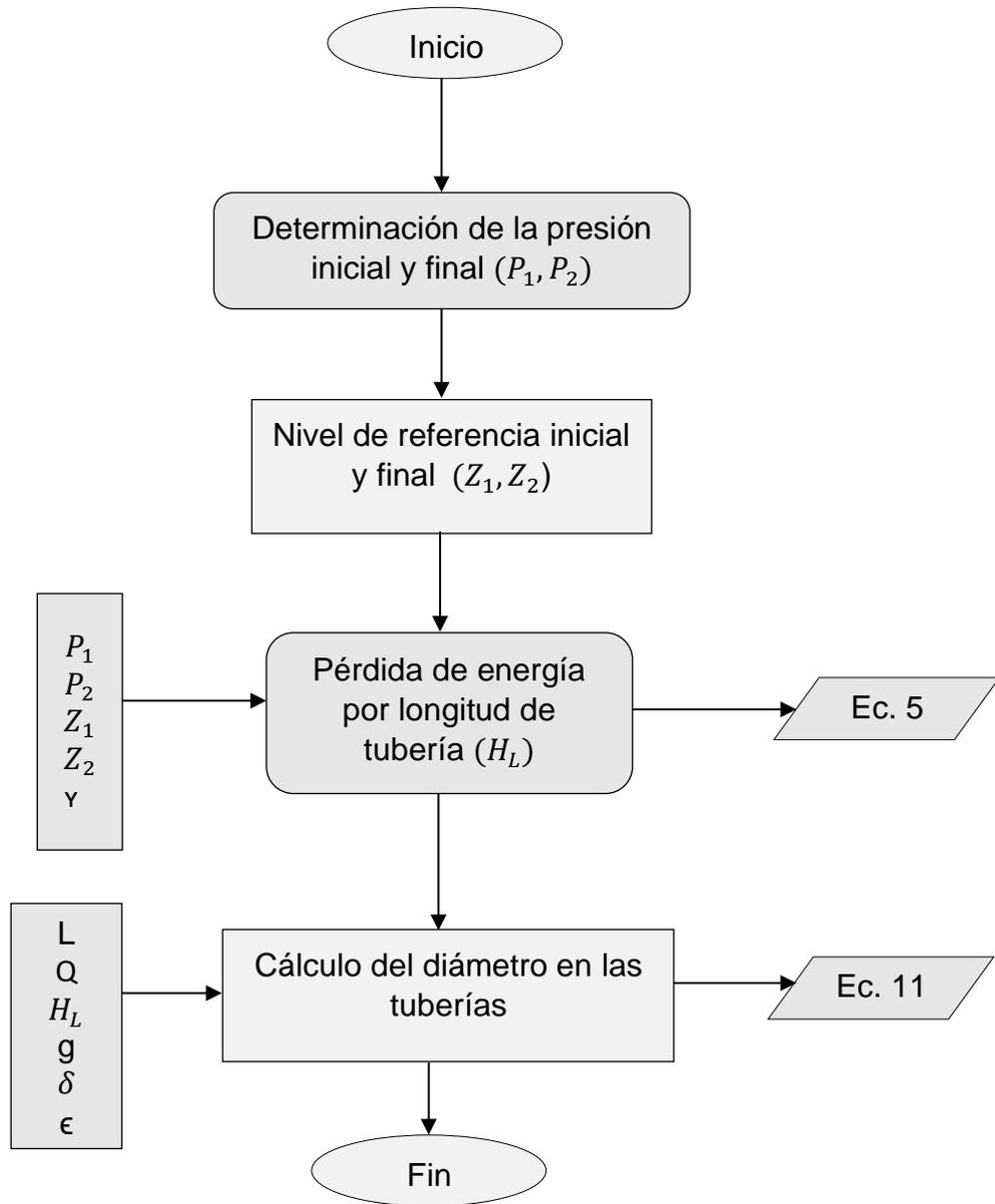


Figura 11. Flujo de cálculo del diámetro de tubería del sistema de bombeo de agua recuperada. Tomada en «Base a la información teórica», por (Mott, 2006).

En la siguiente figura se muestran 02 tanques existentes en planta y describe la descarga de relave por gravedad de la presa a través de 03 tuberías tipo SCH 40 normalizado según (ASTM-A53, 2002) de diámetro 8 y 6 pulgadas hacia un tanque amortiguador y luego transportado a un tanque espesador, para ser sometido el Relave a un proceso de sedimentación lo cual retira parte del agua contenida y lo transporta hacia un tanque de agua recuperada.

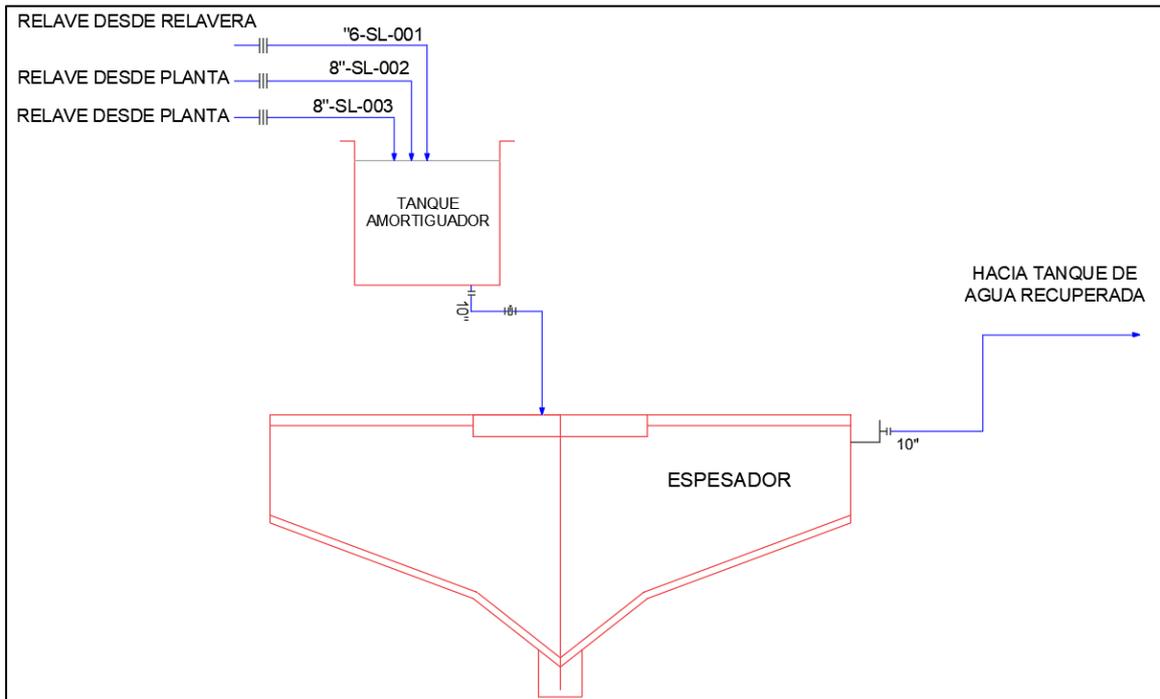


Figura 12. Descarga de relave hacia un tanque amortiguador que lo transporta al tanque espesador. Tomada en base al «Proceso de espesado de la planta de Filtrado y Relave».

En la siguiente figura se muestra la descarga de agua que viene del tanque espesador como indica la figura 12. hacia el tanque de agua recuperada y luego es transportado mediante un sistema de bombeo hacia un tanque de almacenamiento y a una planta de beneficio para luego reducir el uso de agua fresca.

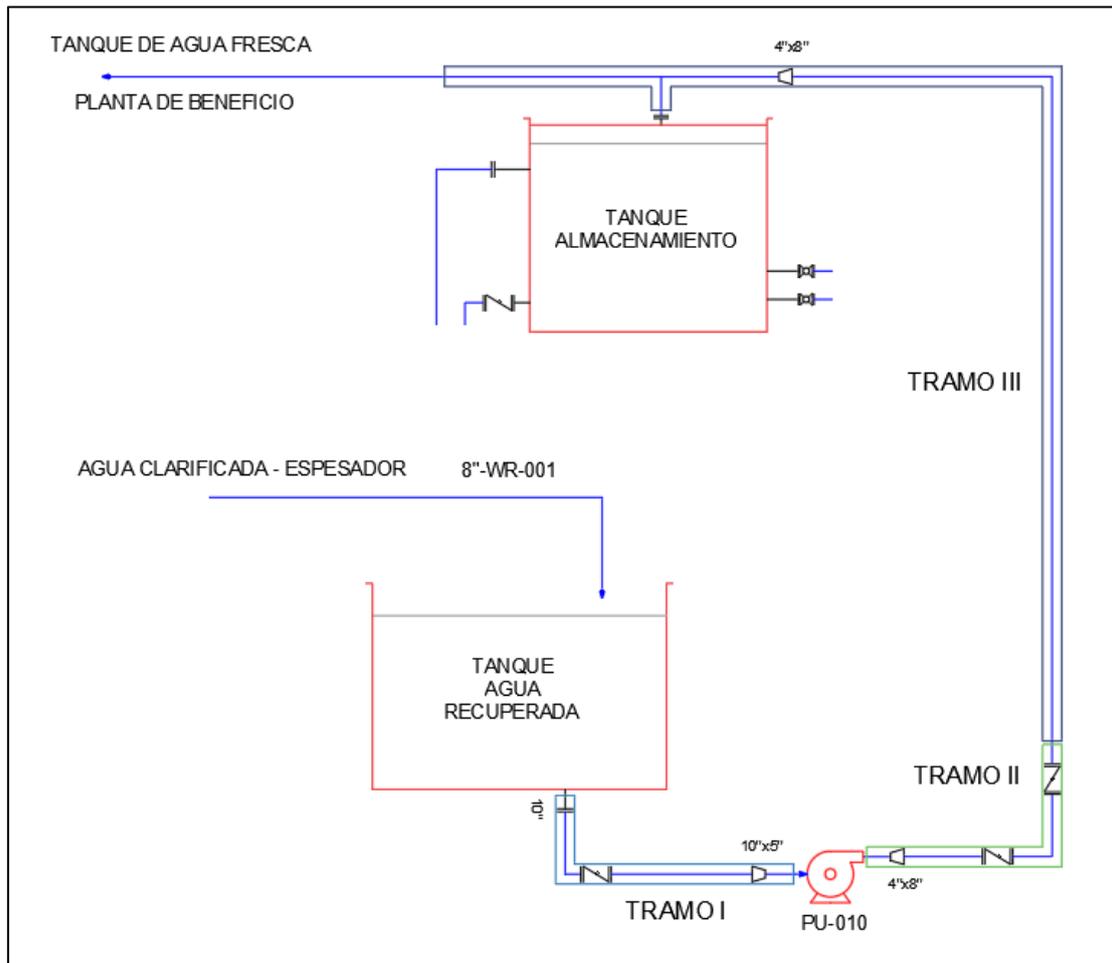


Figura 13. Sistema de bombeo de agua recuperada. Tomada en base al «Proceso del sistema de bombeo de agua recuperada de la planta de Filtrado y Relave».

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones técnicas de las tuberías y tipo de material según norma (ASTM-A53, 2002) y los accesorios, se utilizó los datos para hallar las pérdidas de energía por cada tramo. Se colocó longitudes de acuerdo a la distribución en la planta y los equipos existentes y se determinó previamente los diámetros según tabla 13 resumen.

Tabla 5. *Tuberías y accesorios del sistema de bombeo de agua recuperada*

TRAMO I	Diámetro	D1=10"			D2=5"		
	Longitud	L1=987 mm			L2=100 mm		
	Accesorios	*01	Válvula	mariposa			
		*01	codo	de 90°	*01	reducción concéntrica 10x5	
TRAMO II	Diámetro	D1=4"			D2=8"		
	Longitud	L1=309 mm			L2=6,418 mm		
	Accesorios	*01 reducción concéntrica 8x4 (expansión)			*01 válvula mariposa		
					*01 codo 90°		
TRAMO III	Diámetro	D1=8"			D2=4"		
	Longitud	L1=25,772 mm			L2=312 mm		
		*01	válvula	mariposa			
		*04	codos	de 90°			
	Accesorios	*02	codos	de 45°			
		*01	reducción 8x4 (contracción)				

A continuación se muestran los parámetros iniciales para el cálculo del sistema de bombeo de agua recuperada como las pérdidas de energía en cada tramo de tubería, dimensionamiento de tuberías, accesorios y selección de bomba.

Las características del fluido como el agua recuperada del relave, tiene 0.08% de sólidos, densidad relativa (SG):1 y temperatura de 2°C a 4°C, además de lo siguiente:

-Densidad del fluido:

$$(\rho) = 1000 \frac{kg}{m^3} \text{ (a)}$$

-Viscosidad dinámica:

$$(\mu) = 1,52 \times 10^{-3} Pa \cdot s \text{ (b)}$$

-Viscosidad cinemática:

$$(\delta) = 1,52 \times 10^{-6} m^2/s \text{ (e)}$$

-Gravedad:

$$(g) = 9,81 \frac{m}{s^2} \text{ (d)}$$

-Peso específico:

$$V = 9,81 \frac{KN}{m^3} \text{ (g)}$$

Parámetro de diseño:

-Caudal requerido por el cliente:

$$(Q) = 270 \frac{m^3}{hora} \approx (Q) = 0,075 \frac{m^3}{seg} \text{ (c)}$$

Para el material de la tubería se usó la norma (ASME B31.11, 2018) y ASTM-A53-B tipo S (ASTM-A53, 2002).

-Rugosidad de la pared de tubería:

$$\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} m \text{ (f)}$$

Lista de ecuaciones para determinar las pérdidas de energía y pérdidas menores en el sistema de bombeo de agua recuperada:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \text{ (1)}$$

donde:

Re: número de Reynolds para determinar el tipo de flujo

ρ : densidad del fluido ($\frac{kg}{m^3}$)

v: velocidad del fluido ($\frac{m}{s}$)

D: diámetro de la tubería (*m*)

μ : Viscosidad dinámica del fluido (μ)

$$f = \frac{0.25}{[\log(\frac{1}{3.7(\frac{D}{\epsilon})} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})]^2} \text{ (2)}$$

donde:

$\frac{D}{\epsilon}$: rugosidad relativa

ϵ : rugosidad de la pared de la tubería (*m*)

f: factor de fricción en la tubería

$$Q = A x v \text{ (3)}$$

donde:

Q: caudal (m^3/s)

A: área de la sección de la tubería (m)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4)$$

donde:

π : 3,1416

$$H_L = \frac{f_x L x v^2}{D x 2g} \quad (5)$$

donde:

L: longitud de la tubería (m)

H_L : pérdida de energía por longitud de tubería (m)

$$H_{\text{accesorios}} = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (6)$$

donde:

k: coeficiente de resistencia para válvulas y acoplamientos

$H_{\text{accesorios}}$: pérdida de energía por accesorios (m)

$$H_{\text{Entrada}} = k \left(\frac{v^2}{2g} \right), k = 1 \quad (7)$$

donde:

H_{Entrada} : pérdida en la entrada de tubería (m)

$$k = f_t \left(\frac{L_e}{D} \right) \quad (8)$$

donde:

L_e : longitud equivalente en diámetros de tubería (m)

$$k = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \quad (9)$$

donde:

k: coeficiente de resistencia para acoplamientos de expansión gradual

En el siguiente diagrama se presentan los coeficientes de resistencia y la relación de diámetros para el cálculo de pérdidas menores de energía por accesorios tipo contracción súbita.

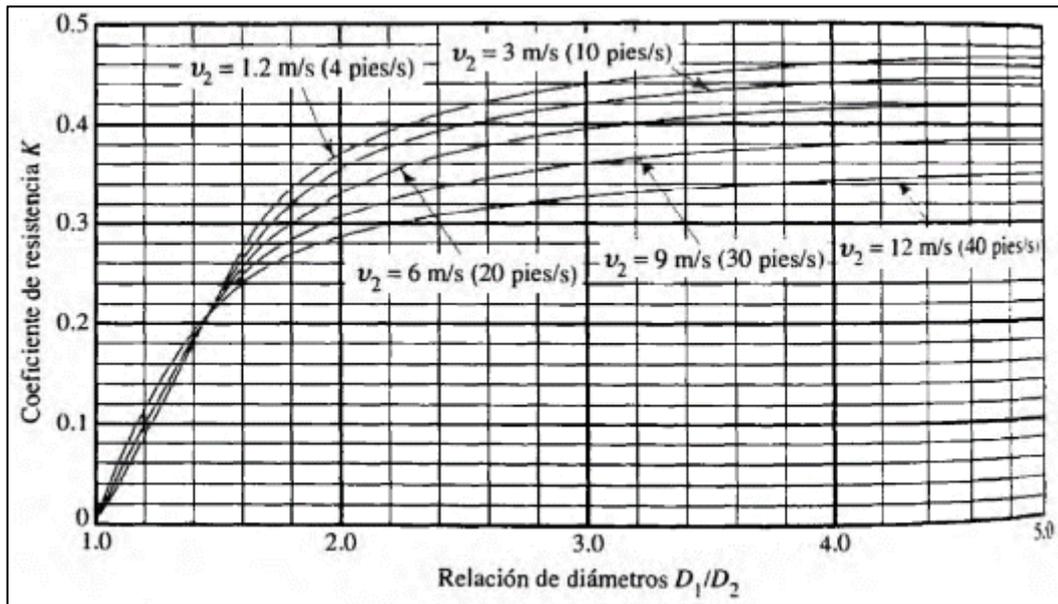


Figura 14. Diagrama de coeficiente de resistencia-contracción súbita. Tomada del «Libro Mecánica de fluidos», por (Mott, 2006 p. 288).

En la siguiente tabla se muestran los valores para hallar el coeficiente de resistencia “k” y determinar las pérdidas menores de energía por válvulas y accesorios.

Tabla 6. Resistencia de válvulas y acoplamientos, como longitud equivalente en diámetros de tubería

Tipo	Longitud equivalente en diámetro de tubería L_e/D
Válvula de mariposa-abierta por completo, 2 a 8 pulgadas	45
10 a 14 pulgadas	35
16 a 24 pulgadas	25
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo estándar a 45°	16
Te estándar-con flujo directo	20
-con flujo en el ramal	60

Nota: Elaborado en base a los datos de resistencias de accesorios (Mott, 2006 p. 297)

En la siguiente figura se presentan los valores de “k” de accesorios para determinar las pérdidas menores de energía.

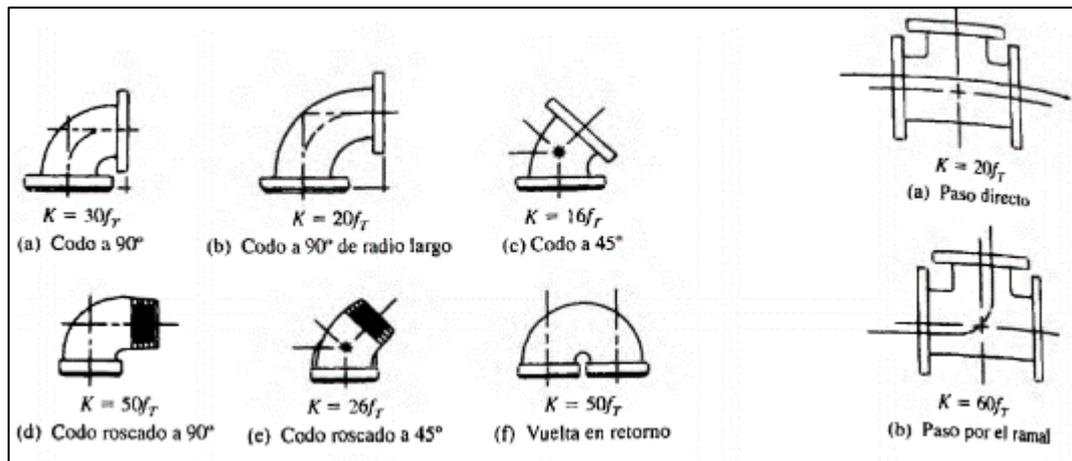


Figura 15. Codos de tuberías y Tes estándar. Tomada del «Libro Mecánica de fluidos», por (Mott, 2006 p. 296).

En la siguiente tabla muestra los valores de fricción de acuerdo al diámetro de tubería.

Tabla 7. Valores del factor de fricción de acuerdo al diámetro de tubería

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_T	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_T
1/2	0.027	3 1/4, 4	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8-10	0.014
1 1/2	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

Nota: Tomado del libro Mecánica de fluidos (Mott, 2006 p. 297).

Lista de ecuaciones para el dimensionamiento de tuberías:

$$H_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 \quad (10)$$

donde:

P_1 : presión manométrica inicial (Pa)

P_2 : presión manométrica final (Pa)

Z : nivel de referencia inicial y final (m)

$$D = 0,66 \left[\epsilon^{1.25} \left(\frac{LxQ^2}{gxH_L} \right)^{4.75} + \delta Q^{9.4} \left(\frac{L}{gxH_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad (11)$$

donde:

δ : viscosidad cinemática (m^2/s)

A continuación se calculó las pérdidas de energía por fricción en tuberías y accesorios en cada tramo del sistema de bombeo de agua recuperada figura 13, usando los parámetros iniciales del sistema y las ecuaciones tomadas del libro de mecánica de fluidos (Mott, 2006).

TRAMO I

Cálculo de la pérdida de energía por longitud 1 tabla 6.

Utilizando el parámetro de diseño:

$$Q = 0,075 \frac{m^3}{seg} \quad (c)$$

Usando las ecuaciones (c), (4) y el diámetro 1 de la tabla 6. y reemplazando en la ecuación (3) obtenemos la velocidad del fluido (v):

$$v = 1,48 \frac{m}{s} \quad (12)$$

Usando las ecuaciones (a), (b) y (12) y reemplazando en la ecuación (1) se obtuvo el número de Reynold en régimen turbulento:

$$Re_1 = 2,47 \times 10^5 \quad (13)$$

Usando la ecuación (f) y reemplazando en la rugosidad relativa se obtuvo:

$$\frac{D}{E} = 5521,74 \quad (14)$$

Usando las ecuaciones (13) y (14) y reemplazando en la ecuación (2) se obtuvo el factor de fricción:

$$f = 0,01458 \quad (15)$$

Usando las ecuaciones (12), (15) y L1 y reemplazando en la ecuación (5) se obtuvo la pérdida de energía del tramo I:

$$H_{Tramo L1} = 0,006m$$

Cálculo de pérdidas menores de energía por accesorios

Usando la ecuación (12) y reemplazando en la ecuación (7) tenemos la pérdida de energía en la entrada:

$$H_{Entrada} = 0,11m$$

Usando la tabla 7 para válvula mariposa de 10" tenemos:

$$L_e/D = 35 \quad (16)$$

Usando la ecuación (15) y (16) y reemplazando en la ecuación (8) tenemos el coeficiente de resistencia:

$$k = 0,5103 \quad (17)$$

Usando la ecuación (12) y (17) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{valvula 10"} = 0,057m$$

Usando la ecuación (15) y la tabla 7 para codo estándar de 90° y reemplazando en la ecuación (8) tenemos:

$$k = 0,435 \quad (19)$$

Usando la ecuación (12) y (19) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{codo 90^\circ} = 0,048m$$

Pérdida total de energía:

$$H_{Total} = 0,006m + 0,11m + 0,057m + 0,048m = 0,221m$$

Cálculo de pérdida de energía por longitud 2 tabla 6.

Usando las ecuaciones (c), (4) y el diámetro 2 del tramo I y reemplazando en la ecuación (3) obtenemos la velocidad del fluido (v):

$$v = 5.92 \frac{m}{s} \quad (20)$$

Usando las ecuaciones (a), (b) y (20) y reemplazando en la ecuación (1) se obtuvo el número de Reynold en régimen turbulento:

$$Re_2 = 4.94 \times 10^5 \quad (21)$$

Usando la ecuación (f) y reemplazando en la rugosidad relativa se obtuvo:

$$\frac{D}{E} = 2760.87 \quad (22)$$

Usando las ecuaciones (21) y (22) y reemplazando en la ecuación (2) se obtuvo el factor de fricción:

$$f = 0.0168 \quad (23)$$

Usando las ecuaciones (20), (23) y L2 y reemplazando en la ecuación (5) se obtuvo la pérdida de energía tramo I:

$$H_{Tramo L2} = 0.0236m$$

Cálculo de pérdidas menores de energía por accesorios

Usando los D1 y D2 tabla 6 tenemos:

$$D1/D2 = 2 \quad (24)$$

Usando las ecuaciones (20) y (24) y el diagrama de la figura 14. se obtiene:

$$k = 0.325 \quad (25)$$

Usando la ecuación (20) y (25) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{contracción 10" \times 5"} = 0.58m$$

Pérdida total de energía:

$$H_{Total} = 0.678m + 0.58m = 1.258m$$

TRAMO II

Cálculo de pérdida de energía por longitud 1 tabla 6.

Usando las ecuaciones (c), (4) y el diámetro 1 y reemplazando en la ecuación (3) obtenemos la velocidad del fluido (v):

$$v = 9.4 \frac{m}{s} \quad (26)$$

Usando las ecuaciones (a), (b) y (26) y reemplazando en la ecuación (1) se obtuvo el número de Reynold en régimen turbulento:

$$Re_1 = 6.28 \times 10^5 \quad (27)$$

Usando la ecuación (f) y reemplazando en la rugosidad relativa se obtuvo:

$$\frac{D}{E} = 2208.7 \quad (28)$$

Usando las ecuaciones (27) y (28) y reemplazando en la ecuación (2) se obtuvo el factor de fricción:

$$f = 0.017 \quad (29)$$

Usando las ecuaciones (26), (29) y L1 y reemplazando en la ecuación (5) se obtuvo la pérdida de energía:

$$H_{Tramo L1} = 0.23m$$

Cálculo de pérdidas menores de energía por accesorios

Usando los D1 y D2 y reemplazando en la ecuación (9) tenemos el coeficiente de resistencia:

$$k = 0.5625 \quad (30)$$

Usando la ecuación (26) y (30) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{expansión 4"x8"} = 2.52m$$

Pérdida total de energía:

$$H_{Total} = 0.23m + 2.52m = 2.75m$$

Cálculo de pérdida de energía por longitud 2 tabla 6.

Usando las ecuaciones (c), (4) y el diámetro 2 y reemplazando en la ecuación (3) obtenemos la velocidad del fluido (v):

$$v = 2.34 \frac{m}{s} \quad (31)$$

Usando las ecuaciones (a), (b) y (31) y reemplazando en la ecuación (1) se obtuvo el número de Reynold en régimen turbulento:

$$Re_2 = 3.12 \times 10^5 \quad (32)$$

Usando la ecuación (f) y reemplazando en la rugosidad relativa se obtuvo:

$$\frac{D}{E} = 4417.4 \quad (33)$$

Usando las ecuaciones (32) y (33) y reemplazando en la ecuación (2) se obtuvo el factor de fricción:

$$f = 0.016 \quad (34)$$

Usando las ecuaciones (31), (34) y L2 y reemplazando en la ecuación (5) se obtuvo la pérdida de energía:

$$H_{Tramo L2} = 0.141m$$

Cálculo de pérdidas menores de energía por accesorios

Usando la tabla 7 para válvula mariposa de 8" tenemos:

$$L_e/D = 45 \quad (35)$$

Usando la ecuación (34) y (35) y reemplazando en la ecuación (8) tenemos el coeficiente de resistencia:

$$k = 0.72 \quad (36)$$

Usando la ecuación (31) y (36) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{válvula\ 8"} = 0.2m$$

Usando la ecuación (34) y la tabla 6 para codo estándar de 90° y reemplazando en la ecuación (8) tenemos:

$$k = 0.48 \quad (37)$$

Usando la ecuación (31) y (37) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{codo\ 90^\circ} = 0.134m$$

Pérdida total de energía:

$$H_{Total} = 0.141m + 0.2m + 0.134m = 0.475m$$

TRAMO III

Cálculo de pérdida de energía por longitud 1 tabla 6.

Usando las ecuaciones (c), (4) y el diámetro 1 y reemplazando en la ecuación (3) obtenemos la velocidad del fluido (v):

$$v = 2.34 \frac{m}{s} \quad (38)$$

Usando las ecuaciones (a), (b) y (38) y reemplazando en la ecuación (1) se obtuvo el número de Reynold en régimen turbulento:

$$Re_1 = 3.12 \times 10^5 \quad (39)$$

Usando la ecuación (f) y reemplazando en la rugosidad relativa se obtuvo:

$$\frac{D}{E} = 4417.4 \quad (40)$$

Usando las ecuaciones (39) y (40) y reemplazando en la ecuación (2) se obtuvo el factor de fricción:

$$f = 0.016 \quad (41)$$

Usando las ecuaciones (38), (41) y L1 y reemplazando en la ecuación (5) se obtuvo la pérdida de energía:

$$H_{Tramo L1} = 0.566m$$

Cálculo de pérdidas menores de energía por accesorios

Usando la tabla 7 para válvula mariposa de 8" tenemos:

$$L_e/D = 45 \quad (42)$$

Usando la ecuación (41) y (42) y reemplazando en la ecuación (8) tenemos el coeficiente de resistencia:

$$k = 0.72 \quad (43)$$

Usando la ecuación (38) y (43) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{valvula 8"} = 0.2m$$

Usando la ecuación (41) y la tabla 7 para codo estándar de 90° y reemplazando en la ecuación (8) tenemos:

$$k = 0.48 \quad (44)$$

Usando la ecuación (38) y (44) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{4 codos 90^\circ} = 0.54m$$

Usando la ecuación (41) y la tabla 7 para codo estándar de 45° y reemplazando en la ecuación (8) tenemos:

$$k = 0.256 \quad (45)$$

Usando la ecuación (38) y (45) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{2 codos 45^\circ} = 0.14m$$

Pérdida total de energía:

$$H_{Total} = 0.566m + 0.2m + 0.54m + 0.14m = 1.446m$$

Cálculo de pérdida de energía por longitud 2 tabla 6.

Usando las ecuaciones (c), (4) y el diámetro 2 y reemplazando en la ecuación (3) obtenemos la velocidad del fluido (v):

$$v = 9.4 \frac{m}{s} \quad (46)$$

Usando las ecuaciones (a), (b) y (46) y reemplazando en la ecuación (1) se obtuvo el número de Reynold en régimen turbulento:

$$Re_2 = 6.28 \times 10^5 \quad (47)$$

Usando la ecuación (f) y reemplazando en la rugosidad relativa se obtuvo:

$$\frac{D}{E} = 2208.7 \quad (48)$$

Usando las ecuaciones (47) y (48) y reemplazando en la ecuación (2) se obtuvo el factor de fricción:

$$f = 0.017 \quad (49)$$

Usando las ecuaciones (46), (49) y L2 y reemplazando en la ecuación (5) se obtuvo la pérdida de energía:

$$H_{Tramo L2} = 0.235m$$

Cálculo de pérdidas menores de energía por accesorios

Usando los diámetros D1 y D2 tenemos:

$$D1/D2 = 2 \quad (50)$$

Usando las ecuaciones (46) y (50) y el diagrama de la figura 14. se obtiene:

$$k = 0.31 \quad (51)$$

Usando la ecuación (46) y (51) y reemplazando en la ecuación (6) tenemos la pérdida de energía:

$$H_{contracción 8" \times 4"} = 1.4m$$

Pérdida total de energía:

$$H_{Total} = 0.235m + 1.4m = 1.635m$$

En las siguientes tablas se presenta el resumen de cálculo de pérdidas de energía por tramo de tuberías y accesorios.

Tabla 8. *Cálculo de Pérdidas de energía por tuberías y accesorios tramo I*

SISTEMA EN SERIE TRAMO I	Diámetro especificado de la tubería: Tubería de acero de 10" cedula 40 Área=0.05067m ²
Método: haciendo uso de la ecuación de la energía y los parámetros iniciales se hallaron las pérdidas de energía por fricción de tubería y accesorios	Propiedades del fluido: Densidad específica: SG=1 Densidad: d= 1000 kg/m ³ Temperatura: 2°C - 4°C Viscosidad dinámica: $\nu=1.52 \times 10^{-3}$ Pa. s
Datos del sistema: Presión en el punto 1=0 Pa Presión en el punto 2=-3.57 Pa Elevación en el punto 1=4283.24m Elevación en el punto 2=4282.87m Flujo volumétrico: Q=0.075 m ³ /s Longitud de tubería: L= 0.987m Rugosidad de la pared de la tubería: E=4.6x10 ⁽⁻⁵⁾ m Rugosidad relativa: D/E=5521.74 Velocidad de flujo=1.48 m/s No. de Reynolds=247315.78 Turbulento Factor de fricción: f=0.01458	a) Pérdidas de energía en la tubería b) Pérdida en la entrada c) 01 válvula mariposa d) 01 codo de 90° a) Pérdida de energía h L1= 0.006m b) Pérdida de energía h L2= 0.11m c) Pérdida de energía h L3= 0.057m d) Pérdida de energía h L4= 0.048m Pérdida total de energía HL total= 0.221m
Presión en el punto 1=0.231516 Presión en el punto 2=0 Elevación en el punto 1=4282.87m Elevación en el punto 2=4282.87m Velocidad de flujo=5.92 m/s Longitud de tubería: L= 0.100m No. de Reynolds=494631.57 Turbulento Rugosidad relativa: D/E=2760.87 Factor de fricción: f=0.0168	Diámetro especificado de la tubería: Tubería de acero de 5" cedula 40 Área=0.01266m ² a) Pérdidas de energía en la tubería b) 01 reducción concéntrica 10"x5" a) Pérdida de energía: h L1=0.0236m b) Pérdida de energía: h L2= 0.58m Pérdida total de energía HL total= 1.258m

Tabla 9. *Cálculo de Pérdidas de energía por tuberías y accesorios tramo II*

SISTEMA EN SERIE TRAMO II	Diámetro especificado de la tubería: Tubería de acero de 4" cedula 40 Área=0.008m ²
Método: haciendo uso de la ecuación de la energía y los parámetros iniciales se hallaron las pérdidas de energía por fricción de tubería y accesorios	Propiedades del fluido: Densidad específica: SG=1 Densidad: d= 1000 kg/m ³ Temperatura: 2°C - 4°C Viscosidad dinámica: $\mu=1.52 \times 10^{-3}$ Pa. s
Datos del sistema: Presión en el punto 1=5.28759Pa Presión en el punto 2=0 Pa Elevación en el punto 1=4283.185m Elevación en el punto 2=4283.494m Flujo volumétrico: Q=0.075 m ³ /s Longitud de tubería: L= 0.309m Rugosidad de la pared de la tubería: E=4.6x10 ⁽⁻⁵⁾ m Rugosidad relativa: D/E=2208.7 Velocidad de flujo=9.4 m/s No. de Reynolds=628315.78 Turbulento Factor de fricción: f=0.017	a) Pérdidas de energía en la tubería b) 01 reducción concéntrica(expansión) 8"x4" a) Pérdida de energía h L1= 0.23m b) Pérdida de energía h L2= 2.522m Pérdida total de energía HL total= 2.75m
Presión en el punto 1=51.178Pa Presión en el punto 2=0 Pa Elevación en el punto 1=4283.494m Elevación en el punto 2=4288.57m Velocidad de flujo=2.34 m/s Longitud de tubería: L=6.418m No. de Reynolds=312821.05 Turbulento Rugosidad relativa: D/E=4417.4 Factor de fricción: f=0.016	Diámetro especificado de la tubería: Tubería de acero de 8" cedula 40 Área=0.032m ² a) Pérdidas de energía en la tubería b) 01 válvula mariposa c) 01 codo 90° a) Pérdida de energía: h L1=0.141m b) Pérdida de energía: h L2=0.2m c) Pérdida de energía: h L3=0.134m Pérdida total de energía HL total= 0.475m

Tabla 10. *Cálculo de Pérdidas de energía por tuberías y accesorios tramo III*

SISTEMA EN SERIE TRAMO III	Diámetro especificado de la tubería: Tubería de acero de 8" cedula 40 Área=0.032m ²
Método: haciendo uso de la ecuación de la energía y los parámetros iniciales se hallaron las pérdidas de energía por fricción de tubería y accesorios	Propiedades del fluido: Densidad específica: SG=1 Densidad: d= 1000 kg/m ³ Temperatura: 2°C - 4°C Viscosidad dinámica: $\mu=1.52 \times 10^{-3}$ Pa. s
Datos del sistema: Presión en el punto 1=20.81Pa Presión en el punto 2=0 Pa Elevación en el punto 1=4288.57m Elevación en el punto 2=4290.126m Flujo volumétrico: Q=0.075 m ³ /s Longitud de tubería: L= 25.772m Rugosidad de la pared de la tubería: E=4.6x10 ⁽⁻⁵⁾ Rugosidad relativa: D/E=4417.4 Velocidad de flujo=2.34 m/s No. de Reynolds=312821.05 Turbulento Factor de fricción: f=0.016	a) Pérdidas de energía en la tubería b) 01 válvula mariposa c) 04 codos de 90° d) 02 codos de 45° a) Pérdida de energía h L1= 0.566m b) Pérdida de energía h L2= 0.2m c) Pérdida de energía h L3= 0.54m d) Pérdida de energía h L4= 0.14m Pérdida total de energía HL total= 1.446m
Presión en el punto 1=Pa Presión en el punto 2=-0.755Pa Elevación en el punto 1=4290.126m Elevación en el punto 2=4289.814m Velocidad de flujo=9.4 m/s Longitud de tubería: L=0.312m No. de Reynolds=628315.78 Turbulento Rugosidad relativa: D/E=2208.7 Factor de fricción: f=0.017	Diámetro especificado de la tubería: Tubería de acero de 4" cedula 40 Área=0.008m ² a) Pérdidas de energía en la tubería b) 01 reducción concéntrica(contracción) 8"x4" a) Pérdida de energía: h L1=0.235m a) Pérdida de energía: h L1=1.4m Pérdida total de energía HL total= 1.635m Suma de pérdidas total de energía HL=7,775 m

DIMENSIONAMIENTO DEL DIÁMETRO DE TUBERÍAS

Mediante una metodología de cálculo tomado del libro de mecánica de fluidos, se dimensionó los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada, se tomó las presiones teóricas referenciales de diseño y las elevaciones en cada punto.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los parámetros tomados del levantamiento de información del sistema y se utilizó en el cálculo de diámetro de tuberías.

Tabla 11. *Resumen de los parámetros iniciales tomados del levantamiento de información del sistema*

TRAMO	ΔP (KPa)	Z1(m)	Z2(m)	ΔZ (m)
I	-3.57	4283.24	4282.87	0.37
	0.23	4282.87	4282.87	0
II	5.28	4283.185	4283.494	-0.309
	51.17	4283.494	4288.57	-5.076
III	20.81	4288.57	4290.126	-1.556
	-0.75	4290.126	4289.814	0.312

Cálculo de diámetro de tuberías:

Tramo I

Para la longitud 1 tabla 6 :

$$\text{Caudal: } Q = 0,075 \frac{m^3}{seg}$$

$$\text{Diferencia de Presión: } \Delta P = -3.57 kPa$$

$$\text{Variación del nivel de referencia: } \Delta Z = 0,37m$$

$$\text{Peso específico: } \gamma = 9,81 \frac{KN}{m^3}$$

Ecuación (10):

$$H_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2$$

Donde:

H_L : pérdida de energía por longitud de tubería (m)

P_1 : presión inicial (P_a)

P_2 : presión final (P_a)

Z_1 : elevación en el punto 1 (m)

Z_2 : elevación en el punto 2 (m)

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (10) tenemos:

$$H_L = \frac{0 - 3,57}{9,81} + 0,37$$

$$H_L = 0,006m \quad (52)$$

Usando las ecuaciones (e), (d), (f), (52) y L1 y reemplazando en la ecuación (11) tenemos:

Ecuación (11):

$$D = 0,66[\epsilon^{1.25} \left(\frac{LxQ^2}{gxH_L}\right)^{4.75} + \delta Q^{9.4} \left(\frac{L}{gxH_L}\right)^{5.2}]^{0.04}$$

$$D = 0.66[(4.6x10^{-5})^{1.25} \left(\frac{0.987x0.075^2}{9.81x0.006}\right)^{4.75} + (1.52x10^{-6})(0.075)^{9.4} \left(\frac{0.987}{9.81x0.006}\right)^{5.2}]^{0.04}$$

$$D = 0.266m \approx D1 = 10''$$

Para la longitud 2 tabla 6 :

Diferencia de Presión $\Delta P = 0.2315kPa$

Variación del nivel de referencia: $\Delta Z = 0m$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (10) tenemos:

$$H_L = \frac{0.2315 - 0}{9.81} + 0$$

$$H_L = 0.0236m \text{ (53)}$$

Usando las ecuaciones (e), (d), (f), (53) y L2 y reemplazando en la ecuación (11) tenemos:

$$D = 0.66[(4.6x10^{-5})^{1.25} \left(\frac{0.1x0.075^2}{9.81x0.0236}\right)^{4.75} + (1.52x10^{-6})(0.075)^{9.4} \left(\frac{0.1}{9.81x0.0236}\right)^{5.2}]^{0.04}$$

$$D = 0.129m \approx D2 = 5''$$

Tramo II

Para la longitud 1 tabla 6 :

Diferencia de Presión $\Delta P = 5.28kPa$

Variación del nivel de referencia: $\Delta Z = -0,309m$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (10) tenemos:

$$H_L = \frac{5.28 - 0}{9.81} + 0$$

$$H_L = 0.23m \text{ (54)}$$

Usando las ecuaciones (e), (d), (f), (54) y L1 y reemplazando en la ecuación (11) tenemos:

$$D = 0.66[(4.6x10^{-5})^{1.25} \left(\frac{0.309x0.075^2}{9.81x0.23}\right)^{4.75} + (1.52x10^{-6})(0.075)^{9.4} \left(\frac{0.309}{9.81x0.23}\right)^{5.2}]^{0.04}$$

$$D = 0.103m \approx D1 = 4''$$

Para la longitud 2 tabla 6 :

Diferencia de Presión $\Delta P = 51,178kPa$

Variación del nivel de referencia: $\Delta Z = -5,076m$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (10) tenemos:

$$H_L = \frac{51,178 - 0}{9,81} + (-5,076)$$

$$H_L = 0,141m \text{ (55)}$$

Usando las ecuaciones (e), (d), (f), (55) y L2 y reemplazando en la ecuación (11) tenemos:

$$D = 0,66[(4,6 \times 10^{-5})^{1,25} \left(\frac{6,418 \times 0,075^2}{9,81 \times 0,141}\right)^{4,75} + (1,52 \times 10^{-6})(0,075)^{9,4} \left(\frac{6,418}{9,81 \times 0,141}\right)^{5,2}]^{0,04}$$

$$D = 0,206m \approx D2 = 8''$$

Tramo III

Para la longitud 1 tabla 6 :

Diferencia de Presión $\Delta P = 20,816kPa$

Variación del nivel de referencia: $\Delta Z = -1,556m$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (10) tenemos:

$$H_L = \frac{20,816 - 0}{9,81} + (-1,556)$$

$$H_L = 0,566m \text{ (56)}$$

Usando las ecuaciones (e), (d), (f), (56) y L1 y reemplazando en la ecuación (11) tenemos:

$$D = 0,66[(4,6 \times 10^{-5})^{1,25} \left(\frac{25,772 \times 0,075^2}{9,81 \times 0,566}\right)^{4,75} + (1,52 \times 10^{-6})(0,075)^{9,4} \left(\frac{25,772}{9,81 \times 0,566}\right)^{5,2}]^{0,04}$$

$$D = 0,206m \approx D1 = 8''$$

Para la longitud 2 tabla 6 :

Diferencia de Presión $\Delta P = -0,755kPa$

Variación del nivel de referencia: $\Delta Z = 0,312m$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (10) tenemos:

$$H_L = \frac{0 - 0,755}{9,81} + 0,312$$

$$H_L = 0,235m \text{ (57)}$$

Usando las ecuaciones (e), (d), (f), (57) y L2 y reemplazando en la ecuación (11) tenemos:

$$D = 0.66[(4.6 \times 10^{-5})^{1.25} \left(\frac{0.312 \times 0.075^2}{9.81 \times 0.235}\right)^{4.75} + (1.52 \times 10^{-6})(0.075)^{9.4} \left(\frac{0.312}{9.81 \times 0.235}\right)^{5.2}]^{0.04}$$

$$D = 0.103m \approx D2 = 4"$$

En la siguiente tabla se muestra el resumen de cálculo de pérdidas de energía por tramo de tuberías y el diámetro de tuberías usando las ecuaciones del libro Mecánica de fluidos (Mott, 2006).

Tabla 12. *Resumen de valores obtenidos de diámetro y pérdidas de energía*

TRAMO	(E) ^{1.25}	L(m)	(Q) ²	HL(m)	(Q) ^{9.4}	D(m)	D(pulg.)	D(Nom.)
	$3,78 \times 10^{-6}$	0.987	0.0056	0.006	$2,66 \times 10^{-11}$	0.266	10.49	10"
I	$3,78 \times 10^{-6}$	0.100	0.0056	0.0236	$2,66 \times 10^{-11}$	0.129	5.08	5"
	$3,78 \times 10^{-6}$	0.309	0.0056	0.23	$2,66 \times 10^{-11}$	0.103	4.07	4"
II	$3,78 \times 10^{-6}$	6.418	0.0056	0.141	$2,66 \times 10^{-11}$	0.206	8.11	8"
	$3,78 \times 10^{-6}$	25.772	0.0056	0.566	$2,66 \times 10^{-11}$	0.206	8.11	8"
III	$3,78 \times 10^{-6}$	0.312	0.0056	0.235	$2,66 \times 10^{-11}$	0.103	4.06	4"

Selección de bomba del sistema

Se muestra a continuación en la figura 16 el diseño del sistema de bombeo de agua recuperada, el transporte del fluido a través de tuberías desde el tanque de agua recuperada hacia el tanque de agua fresca y se procede a utilizar la ecuación de la energía y se toma las superficies de los depósitos como puntos de referencia y, se tiene:

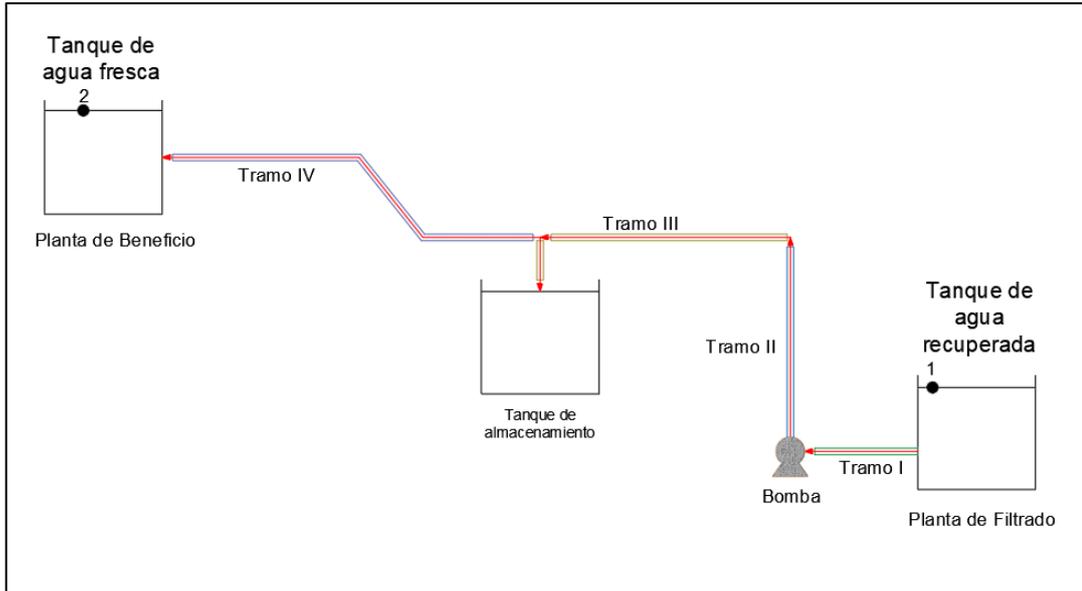


Figura 16. Diseño para determinar las características de la bomba. Tomada en base al «Sistema de tuberías y tanques existentes en planta», por (Mott, 2006).

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + H_a - H_L = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

Donde:

H_a : carga total de la bomba(m)

H_L : pérdida de energía(m)

P : presión (Pa)

v : velocidad (m/s)

Z : elevación (m)

Donde:

$$P_1 = 0Pa ; P_2 = 0Pa; v_1 = 0 m/s; v_2 = 0 m/s; Z_1 = 0m; Z_2 = 30m$$

Reemplazando los datos de entrada en la ecuación de la energía se tiene:

$$Z_1 + H_a - H_L = Z_2$$

Despejando la carga total de la bomba se tiene:

$$H_a = Z_2 - Z_1 + H_L$$

Por lo tanto:

$$H_L = H_{L1} + H_{L2}$$

Donde:

$H_{L1} = 7,775m$ (pérdida total de energía tramos 1, 2 y 3.)

H_{L2} = pérdida por fricción en la línea de descarga (tramo IV)

La longitud de la línea de descarga es igual a 102,4m según requerimiento del proyecto, el diámetro es de 4 pulgadas que continúa del tramo 3, el caudal de $0.075 \text{ m}^3/\text{s}$, y la fricción es 0.017 según la tabla 8.

Se calcula H_{L2} .

$$H_{L2} = \frac{fxLxv^2}{Dx2g}$$

$$H_{L2} = \frac{0.017x102,4x9,4^2}{0.1016x2x9,81}$$

$$H_{L2} = 77,225m$$

Por lo tanto:

$$H_L = 7,775m + 77,225m$$

$$H_L = 85m$$

Reemplazando en la ecuación de la carga total de la bomba, se tiene:

$$H_a = 30m - 0m + 85m$$

$$H_a = 115m$$

Ahora se calcula la potencia suministrada a la bomba, P :

$$Potencia = Q * \gamma * H_a$$

Donde :

P : potencia (kw)

$$P = 0.075x9.81x115$$

$$P = 84,6kw$$

Se presenta una metodología de cálculo de la presión de succión y descarga de la bomba del sistema, tomando como referencia la investigación (Luna, 2019).

Tramo I

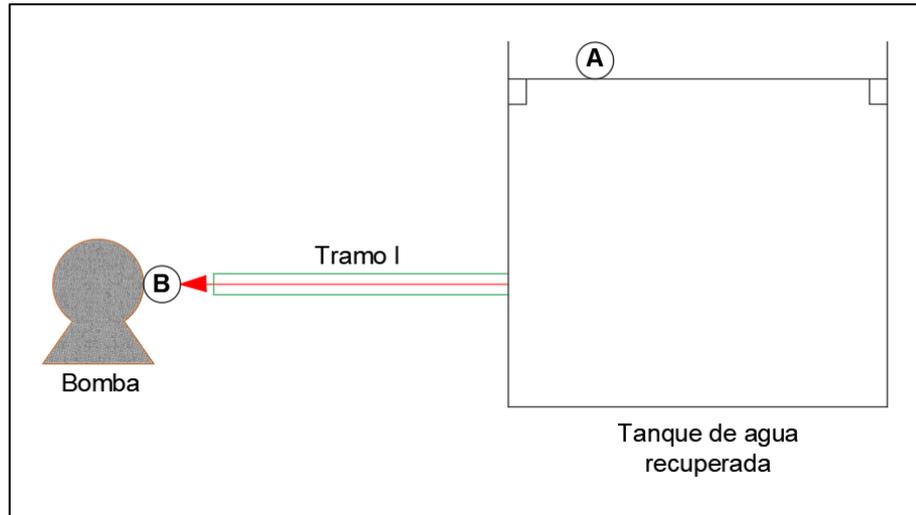


Figura 17. Sistema para determinar la presión de succión. Tomada en base del «Sistema de bombeo», por (Mott, 2006).

Evaluación de presión de succión para la bomba centrífuga horizontal

Para tubería de 10" de diámetro y tubería de 4" de diámetro tabla 6.

Elevación punto B = 4,282.87m

Elevación punto A = 4,283.24m + Longitud del tanque de agua recuperada

A = 4,283.24m + 3m = 4,286.24m

Caudal: $Q = 0.075 \text{ m}^3/\text{s}$

Ecuación de la energía en los puntos A y B

$$Z_A + \frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma} - h_{f1} - h_{f2} - h_{s1} - h_{s2} - h_E = Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\gamma}$$

$$Z_A + \frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma} = Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\gamma} + h_{f1} + h_{f2} + h_{s1} + h_{s2} + h_E$$

Donde: $Z_A = 3.37\text{m}$; $V_A = 0 \text{ m/s}$; $P_A = 0\text{Pa}$; $Z_B = 0\text{m}$

Por lo tanto:

$$-\frac{P_B}{\gamma} + 3,37 = \frac{V_B^2}{2g} + h_{f1} + h_{f2} + h_{s1} + h_{s2} + h_E$$

$$-\frac{P_B}{\gamma} + 3,37 = \left(\frac{4 * Q}{\pi * D^2}\right)^2 * \frac{1}{2g} + h_{f1} + h_{f2} + h_{s1} + h_{s2} + h_E$$

$$-\frac{P_B}{\gamma} = \left(\frac{4 * 0.075}{\pi * 0.127^2}\right)^2 * \frac{1}{2 * 9.81} + 1.479 - 3.37$$

$$-\frac{P_B}{\gamma} = 1.78 + 1.479 - 3.37$$

$$\frac{P_B}{\gamma} = 0.12$$

$$P_B = 9.81 * 0.12 = 1,17KPa$$

Presión de succión al ingreso de la bomba centrífuga horizontal.

Tramo II hasta el depósito de agua fresca en planta de beneficio

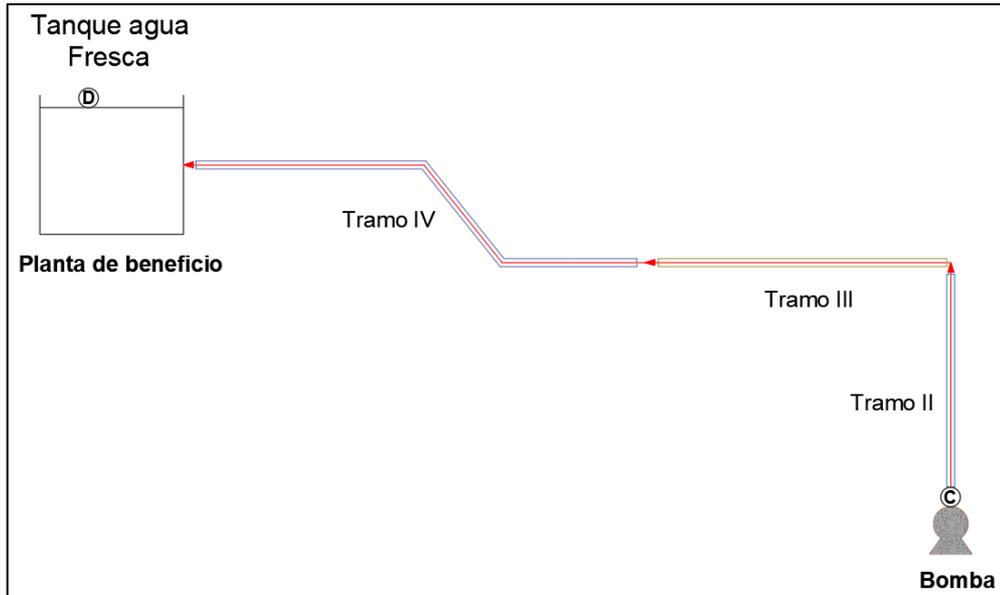


Figura 18. Sistema de tuberías y bomba centrífuga. Tomada en base al «Sistema de descarga de la bomba», por (Mott, 2006).

Presión de descarga para la bomba centrífuga horizontal

Elevación punto C = 4,283.185m

Elevación punto D = 4,313.185m

Caudal: $Q = 0.075 \text{ m}^3/\text{s}$

Ecuación de la energía en los puntos C y D

$$Z_C + \frac{V_C^2}{2g} + \frac{P_C}{\gamma} = Z_D + \frac{V_D^2}{2g} + \frac{P_D}{\gamma} + h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + h_{s1} + h_{s2} + h_{s3} + h_{s4} + H_{L2}$$

Donde: $Z_C = 0\text{m}$; $P_D = 0Pa$; $Z_D = 30\text{m}$; $V_D = 0 \text{ m/s}$ y tomando las pérdidas de energía de las tablas resumen 9, 10 y 11 y H_{L2} de la línea de descarga.

Por lo tanto:

$$\frac{V_C^2}{2g} + \frac{P_C}{\gamma} = Z_D + h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + h_{s1} + h_{s2} + h_{s3} + h_{s4} + H_{L2}$$

$$\frac{P_C}{\gamma} = 30 + 2.75 + 0.475 + 1.446 + 1.635 + 4.93 + 77.225 - \left(\frac{4 * Q}{\pi * D^2} \right)^2 * \frac{1}{2g}$$

$$\frac{P_C}{\gamma} = 118,46 - \left(\frac{4 * 0,075}{3,1416 * 0,1016^2} \right)^2 * \frac{1}{2 * 9,81}$$

$$\frac{P_C}{\gamma} = 118.46m - 4.36m$$

$$P_C = 114,1m * 9,81 \frac{KN}{m^3} = 1,119.32kpa$$

$$P_C = 11.19 \text{ bar}$$

Presión de descarga a la salida de la bomba centrífuga horizontal.

Determinación del NPSH disponible para la bomba centrífuga horizontal

$$NPSH_d = \frac{P_a}{\gamma} + Z - h_f - \frac{P_v}{\gamma}$$

Donde:

P_a : presión atmosférica (Pa)

Z : elevación del punto de succión en el tramo I

h_f : pérdida de energía por fricción en la tubería tramo I

P_v : presión de vapor del fluido

Se tiene:

$P_a = 0.594 \text{ bar}$ (presión a 4,282.87 msnm)

$P_v = 0.87KPa$ (Mott, 2006 pág. 413)

$$NPSH_d = \frac{59.401kPa}{1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}} + 3.37m - 1.48m - \frac{0.87KPa}{9.81 \frac{kN}{m^3}}$$

$$NPSH_d = 7.85m$$

Cálculo de flujo de agua recuperada para reducir el uso de agua fresca en la planta concentradora

Donde:

$$V_1 = V_2 = V_3 = 0 \text{ m/s}$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = 0Pa$$

$$Q_A = 0,075 \text{ m}^3/\text{s}$$

Según (Blanco, 1994 pág. 31) se tomó como valores iniciales.

$$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}, V_A = V_C \text{ y } Q_A = Q_C$$

Pérdidas por fricción de tuberías:

$$H_{LA} = f_A * \frac{L_A}{D_A} * \frac{V_A^2}{2g}$$

$$H_{LC} = f_C * \frac{L_C}{D_C} * \frac{V_C^2}{2g}$$

$$H_{LB} = f_B * \frac{L_B}{D_B} * \frac{V_B^2}{2g}$$

$$Q_A = Q_B + Q_C$$

$$Z_1 + H_A - H_{L1-3} = Z_3$$

$$H_{L1-3} = Z_1 - Z_3 + H_A$$

$$H_{L1-3} = H_{LA} + H_{LC}$$

$$Z_1 - Z_3 + H_A = \left(f_A * \frac{L_A}{D_A} + f_C * \frac{L_C}{D_C} \right) * \frac{V_A^2}{2g}$$

$$V_A = 9.4 \text{ m/s}$$

: Q_B

$$Z_1 + H_A - H_{L1-2} = Z_2$$

$$H_{L1-2} = Z_1 - Z_2 + H_A$$

$$H_{L1-2} = H_{LA} + H_{LB}$$

$$Z_1 - Z_2 + H_A = \left(f_A * \frac{L_A}{D_A} * \frac{V_A^2}{2g} + f_B * \frac{L_B}{D_B} * \frac{V_B^2}{2g} \right)$$

$$V_B = 2.75 \text{ m/s}$$

$$Q_B = 0.022 \text{ m}^3/\text{s}$$

: Q_C

$$Q_C = Q_A - Q_B$$

$$Q_C = 0.053 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_C = 190.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.6.3 Validación del diseño del sistema de bombeo de agua recuperada

La validación del diseño del sistema de bombeo de agua recuperada se modeló en el Software TLV ToolBox.

A continuación, se muestra el dimensionamiento de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada.

Dimensionamiento de Tubería por Velocidad		Resultados	
Grado de Tubería	ANSI Sch40	Tamaño de Tubería	NPS10
Longitud de la Tubería*	0.987 m	Diámetro Interno Tubería	254.508 mm
Válvulas de Flujo Cerradas (ej. Globo) (Cant)*	0	Velocidad del Agua	1.47424 m/s
Válvulas de Flujo Instaladas (ej. Comp) (Cant)*	1	Caída de Presión	1.37197 kPa
Válvulas Check (Cant)*	0	Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	20.1958 m
Codos (Cant)	1		
Rugosidad Interna de la Tubería*	0.05 mm		
Rango de Flujo del Líquido	270 m ³ /h		
Velocidad Máxima Permissible*	1.48 m/s		

Figura 19. Dimensionamiento de tubería tramo 1. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).

Dimensionamiento de Tubería por Caída de Presión		Resultados	
Grado de Tubería	ANSI Sch40	Tamaño de Tubería	NPS5
Presión del Agua	0 MPaG	Diámetro Interno Tubería	128.194 mm
Máxima Pérdida de Presión Permissible	0.23 kPa	Velocidad del Agua	5.81082 m/s
Longitud de la Tubería*	0.1 m	Caída de Presión	0.220095 kPa
Válvulas de Flujo Cerradas (ej. Globo) (Cant)*	0	Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	0.1 m
Válvulas de Flujo Instaladas (ej. Comp) (Cant)*	0		
Válvulas Check (Cant)*	0		
Codos (Cant)	0		
Rugosidad Interna de la Tubería*	0.05 mm		
Rango de Flujo del Líquido	270 m ³ /h		

Figura 20. Dimensionamiento de tubería tramo 1. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).

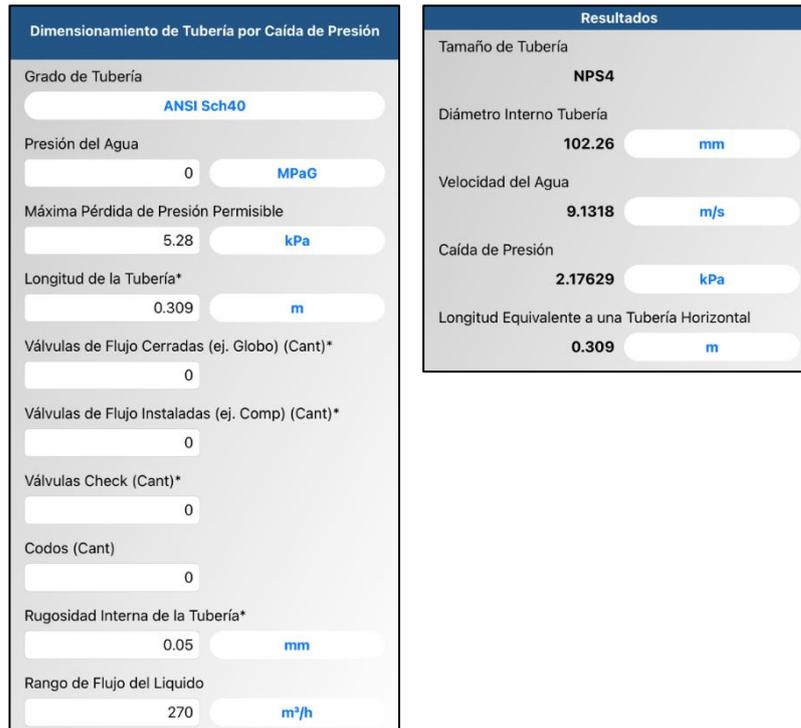


Figura 21. Dimensionamiento de tubería tramo 2. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).

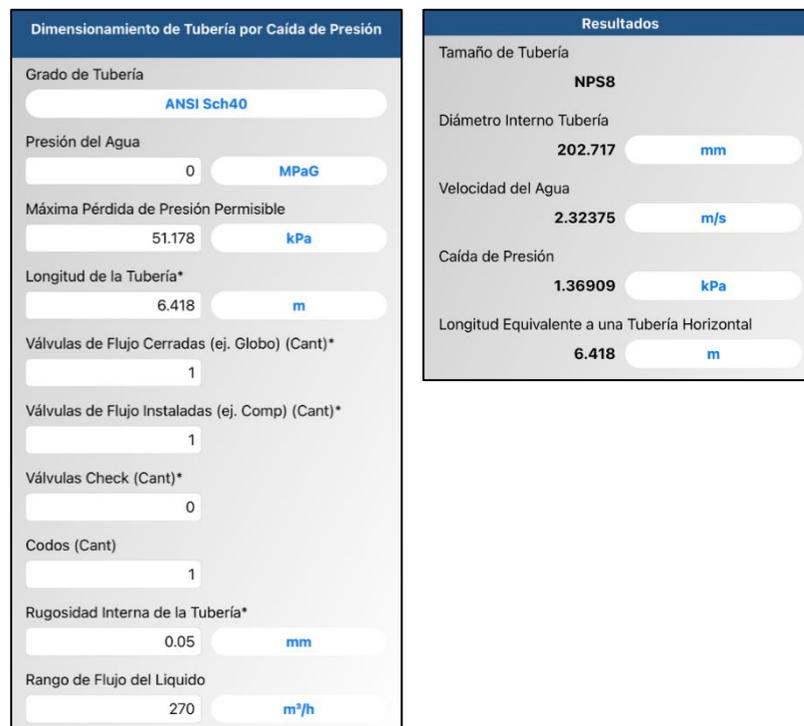


Figura 22. Dimensionamiento de tubería tramo 2. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).

Dimensionamiento de Tubería por Caída de Presión	
Grado de Tubería	ANSI Sch40
Presión del Agua	0 MPaG
Máxima Pérdida de Presión Permissible	20.81 kPa
Longitud de la Tubería*	25.77 m
Válvulas de Flujo Cerradas (ej. Globo) (Cant)*	0
Válvulas de Flujo Instaladas (ej. Comp) (Cant)*	0
Válvulas Check (Cant)*	0
Codos (Cant)	2
Rugosidad Interna de la Tubería*	0.05 mm
Rango de Flujo del Líquido	270 m ³ /h

Resultados	
Tamaño de Tubería	NPS8
Diámetro Interno Tubería	202.717 mm
Velocidad del Agua	2.32375 m/s
Caída de Presión	10.9007 kPa
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	51.1004 m

Figura 23. Dimensionamiento de tubería tramo 3. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).

Dimensionamiento de Tubería por Velocidad	
Grado de Tubería	ANSI Sch40
Longitud de la Tubería*	0.312 m
Válvulas de Flujo Cerradas (ej. Globo) (Cant)*	0
Válvulas de Flujo Instaladas (ej. Comp) (Cant)*	0
Válvulas Check (Cant)*	0
Codos (Cant)	0
Rugosidad Interna de la Tubería*	0.05 mm
Rango de Flujo del Líquido	270 m ³ /h
Velocidad Máxima Permissible*	9.4 m/s

Resultados	
Tamaño de Tubería	NPS4
Diámetro Interno Tubería	102.26 mm
Velocidad del Agua	9.1318 m/s
Caída de Presión	2.19742 kPa
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	0.312 m

Figura 24. Dimensionamiento de tubería tramo 3. Tomada en base al «Modelamiento del sistema», por (TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021).

La validación del diseño del sistema de bombeo de agua recuperada se modeló en una plantilla en el Software Microsoft Excel.

A continuación, se muestra el modelamiento de las características de la bomba.

Selección de la bomba del sistema						Resultados	
Carga dinámica del sistema							
P1(Pa)	P2(Pa)	V1(m/s)	V2(m/s)	Z1(m)	Z2(m)	HL(m)	Ha(m)
0	0	0	0	0	30	85	115
Potencia de la bomba							
				Q(m ³ /s)	y(KN/m ³)	Ha(m)	Pot(kw)
				0.075	9.81	115	84.611
Presión de succión de la bomba							
g(m/s ²)	y(KN/m ³)	Va(m/s)	Vb(m/s)	Za(m)	(hf+hs+hE)(m)	Zb(m)	Pb(Kpa)
9.81	9.81	0	5.92	3.37	1.479	0	1.028
Presión de descarga de la bomba							
g(m/s ²)	y(KN/m ³)	Vc(m/s)	Vd(m/s)	Zc(m)	(hf+hs+hL)(m)	Zd(m)	Pc(Kpa)
9.81	9.81	9.25	0	0	88.46	30	1119.311
NPSH disponible de la bomba							
g(m/s ²)	Pa(Kpa)	y(KN/m ³)	Pv(Kpa)	Z(m)	hf(m)		NPSHd(m)
9.81	59.4	9.81	0.87	3.37	1.48		7.856

Figura 25. Características de la bomba del sistema. Tomada en base al «Diseño del sistema de bombeo de agua recuperada figura 16» por (Mott, 2006).

4.6.4 Análisis energético

Como Ingeniero en Energía se propone dar solución técnica a una realidad en la industria minera con respecto a la reducción de costos por consumo del recurso hídrico y a su vez a favor del medio ambiente. Una de estas propuestas es el análisis energético a través de una metodología de elaboración de un proyecto viable.

Condiciones del análisis:

- La operación del sistema de bombeo de agua recuperada sería 12 horas diarias de lunes a domingo.
 - Cantidad: 01 bomba centrifuga horizontal
 - Potencia: 135.75 HP
 - Accionamiento de bomba por motor eléctrico trifásico (motor accionado por energía eléctrica)
 - Costo de energía por hora: 0.085 s/. /kwh

- Sistema de bombeo de agua recuperada proyectado.

Cálculo de gasto por consumo de energía:

- P_M : Potencia del motor eléctrico

$$P_M = 150 \text{ HP}$$

$$P_M = 150 * 0.746 \text{ KW} = 111.9 \text{ KW}$$

Consumo de energía mensual por la operación de la bomba centrífuga horizontal proyectada.

$$\text{Consumo de energía} = 111.9 \text{ KW} * 12 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 1 = 1,342.8 \text{ kwh} - \text{día}$$

$$\text{Consumo de energía} = 1,342.8 \text{ kwh} - \text{día} * 7 \frac{\text{días}}{\text{Sem}} * 4 \frac{\text{Sem}}{\text{mes}}$$

$$\text{Consumo de energía}_{\text{mensual}} = 37,598.4 \text{ kwh} - \text{mes}$$

Precio de energía eléctrica por hora 0.085 s/. /kwh

$$\text{Gasto} = \text{Consumo de energía}_{\text{mensual}} * \text{Precio}_{\text{energía}}$$

$$\text{Gasto} = 37,598.4 \text{ kwh} - \text{mes} * 0.085 \text{ S/. /kwh}$$

$$\text{Gasto} = 3,195.86 \text{ S/. /mensual}$$

Consumo de agua fresca mensual (tabla 1.)

$$\text{Consumo de agua} = 4,43 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * 12 \frac{\text{hr}}{\text{día}} = 53,16 \text{ m}^3 - \text{día}$$

$$\text{Consumo de agua} = 53,16 \text{ m}^3 - \text{día} * 7 \frac{\text{días}}{\text{sem}} * 4 \frac{\text{sem}}{\text{mes}}$$

$$\text{Consumo de agua}_{\text{mensual}} = 1,488.48 \text{ m}^3 - \text{mes}$$

Precio estimado de agua por m^3 3,83 S/. / m^3

$$\text{Gasto} = \text{Consumo de agua}_{\text{mensual}} * \text{Precio}_{\text{agua}}$$

$$\text{Gasto} = 1,488.48 \text{ m}^3 - \text{mes} * 3,83 * \frac{\text{S/.}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Gasto} = 5,700.87 \text{ S/. /mensual}$$

Ahorro mensual en el consumo de agua fresca local del sistema de bombeo de agua recuperada proyectado:

$$\text{AHORRO} = \text{GASTO}$$

$$AHORRO_{mensual} = S/.5,700.87$$

$$AHORRO_{anual} = S/.68,410.44$$

Costo estimado de agua recuperada por m^3 1.70 S/. / m^3

$$\begin{aligned} \text{Consumo agua recuperada} &= 190.8 \frac{m^3}{hr} * 12 \frac{hr}{día} * 7 \frac{días}{sem} * 4 \frac{sem}{mes} \\ &= 64,108.8 m^3 - mes \end{aligned}$$

$$\text{Gasto} = 64,108.8 m^3 - mes * 1.70 \frac{S/}{m^3}$$

$$\text{Gasto} = 108,984.96 \frac{S/}{mensual}$$

4.6.5 Presupuesto técnico

Tabla 13. *Presupuesto técnico-económico detallado*

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN.	CAN.	P.UN. (US\$)	VALOR (US\$)
1	GENERAL				12,000.39
1.1	Gastos preliminares (seguridad, movilización de equipos, herramientas, personal)	Glb	01	6,500.00	6,500.00
1.2	Montaje de bomba centrífuga horizontal	und	01	1,500.39	1,500.39
1.3	Prueba de funcionamiento de Bomba centrífuga horizontal	und	01	2,500.00	2,500.00
1.4	Camión grúa PM 6.55 t	Glb	01	1,500.00	1,500.00
2	TUBERÍAS				6,672.198
2.1	TUBERÍA, A53-B-E, ERW, STD WT, BBE 10"	m	0.987	129.80	128.11
2.2	TUBERÍA, A53-B-E, ERW, STD WT, BBE 8"	m	32.19	95.28	3,067.10
2.3	TUBERÍA, A53-B-E, ERW, STD WT, BBE 4"	m	0.621	42.72	26.53
2.4	TUBERÍA, SEAMLESS, PE, ASME B36.10 5"	m	0.100	54.38	5.438
2.5	CODO 90°, LR, BW, A234-WPB, STDWT 10"	und	01	29.94	29.94
2.6	CODO 45°, LR, BW, A234-WPB, STDWT 8"	und	02	21.71	43.42
2.7	Válvula Mariposa, CL 150, type wafer, ASTM-A216-WCB, GO w/side handwheel. 10 "	und	01	385.74	385.74
2.8	CODO 90°, LR, BW, A234-WPB, STDWT 8"	und	05	23.92	119.60

2.9	REDUCTOR CONCÉNTRICO, BW, A234-WPB, STDWT 10"X5"	und	01	19.01	19.01
2.10	REDUCTOR CONCÉNTRICO, BW, A234-WPB, STDWT 8"X4"	und	01	19.60	19.60
2.11	Válvula Mariposa, CL 150, type lug, ASTM-A216-WCB, LO. 8 "	und	01	308.59	308.59
2.12	BRIDA SO, 150 LB, RF, ASME B16.5 10"	und	02	120.14	240.28
2.13	BRIDA SO, 150 LB, RF, ASME B16.5 5"	und	02	54.38	108.76
2.14	BRIDA SO, 150 LB, RF, ASME B16.5 8"	und	04	99.84	399.36
2.15	BRIDA SO, 150 LB, RF, ASME B16.5 4"	und	04	48.5	194
2.16	Empaquetadura, FLATFF, NON ASB / NB, 1/8" CL150, B16.21, B16.5 4"	und	04	43.16	172.64
2.17	Empaquetadura, FLATFF, NON ASB / NB, 1/8" CL150, B16.21, B16.5 8"	und	04	110.52	442.08
2.18	Empaquetadura, FLATFF, NON ASB / NB, 1/8" CL150, B16.21, B16.5 5"	und	04	63.95	255.8
2.19	Empaquetadura, FLATFF, NON ASB / NB, 1/8" CL150, B16.21, B16.5 10"	und	04	138.15	552.6
2.20	Esparragos, A193B7/2H 5/8"X89	und	20	3.58	71.60
2.21	Esparragos, A193B7/2H 5/8"X150	und	20	4.1	82
3	MECÁNICA				25,236.00
3.1	Bomba Centrífuga Goulds IC 125-100-315	und	01	14,880.00	14,880.00
3.2	Motor Eléctrico Trifásico 150HP/3600RPM/230-460V	und	01	10,356.00	10,356.00
4	ELECTRICIDAD				936.20
4.1	Conexionado de bomba centrífuga horizontal	und	01	21.20	21.20
4.2	Conexionado de Botonera de control; con pulsador de arranque	und	01	65	65
4.3	Puesta a tierra	und	01	850	850
				COSTO DIRECTO (US\$)	44,844.78
				UTILIDADES 10% (US\$)	4,484.50
				SUB TOTAL (US\$)	49,329.28
				IGV 18% (US\$)	8,879.27
				TOTAL (US\$)	58,208.55
				Tipo de cambio 3.80-TOTAL (S/.)	221,192.49

4.6.6 Evaluación técnico económico

Condiciones de cálculo :

- Meses de evaluación: 3 meses
- Tasa de descuento: 8%
- Inversión : Costo de Implementación (Presupuesto)

En la siguiente tabla se muestra la evaluación técnica económica del sistema de bombeo de agua recuperada.

Tabla 14. *Evaluación técnico económico*

MES DE EVALUACIÓN	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3
Costo de Implementación (soles)	-S/. 221,192.49			
Mantenimiento (soles)		-S/. 3,000.00	-S/. 3,000.00	-S/. 3,000.00
Consumo eléctrico (soles)		-S/. 3,195.86	-S/. 3,195.86	-S/. 3,195.86
TOTAL DE COSTOS (soles)	-S/. 221,192.49	-S/. 6,195.86	-S/. 6,195.86	-S/. 6,195.86
Ahorro por sistema de bombeo proyectado		S/. 5,700.87	S/. 5,700.87	S/. 5,700.87
TOTAL DE AHORRO(soles)		S/. 5,700.87	S/. 5,700.87	S/. 5,700.87
Costo estimado de agua recuperada		S/. 108,984.96	S/. 108,984.96	S/. 108,984.96
FLUJO DE CAJA	-S/. 221,192.49	S/. 108,489.97	S/. 108,489.97	S/. 108,489.97

Cálculo del VAN:

$$VAN = -221,192.49 + \frac{108,489.97}{(1 + 0.08)^1} + \frac{108,489.97}{(1 + 0.08)^2} + \frac{108,489.97}{(1 + 0.08)^3}$$

$$VAN = S/. 58,376.99$$

$VAN > 0$, *proyecto viable*

Cálculo del TIR:

$$0 = -221,192.49 + \frac{108,489.97}{(1 + TIR)^1} + \frac{108,489.97}{(1 + TIR)^2} + \frac{108,489.97}{(1 + TIR)^3}$$

$$TIR = 25\%$$

$TIR > 24\%$ *proyecto viable*

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

Resultados del dimensionamiento de tuberías:

De acuerdo al primer objetivo de la investigación se obtuvo las siguientes dimensiones de los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en la Unidad Minera en Quiaca del departamento de Puno.

 A 53/A 53M – 02								
TABLE X2.2 <i>Continued</i>								
NPS Designator	DN Designator	Outside Diameter, in. [mm]	Nominal Wall Thickness, in. [mm]	Nominal Weight [Mass] per Unit Length, Plain End, lb/ft [kg/m]	Weight Class	Schedule No.	Test Pressure, ^A psi [kPa]	
							Grade A	Grade B
			0.337 [8.56]	15.00 [22.32]	XS	80	2700 [18 600]	2800 [19 300]
			0.438 [11.13]	19.02 [28.32]	...	120	2800 [19 300]	2800 [19 300]
			0.531 [13.49]	22.53 [33.54]	...	160	2800 [19 300]	2800 [19 300]
			0.674 [17.12]	27.57 [41.03]	XXS	...	2800 [19 300]	2800 [19 300]
5	125	5.563 [141.3]	0.156 [3.96]	9.02 [13.41]	...	...	1010 [7000]	1180 [8100]
			0.188 [4.78]	10.80 [16.09]	...	...	1220 [8400]	1420 [9800]
			0.219 [5.56]	12.51 [18.61]	...	...	1420 [9800]	1650 [11 400]
			0.258 [6.55]	14.63 [21.77]	STD	40	1670 [11 500]	1950 [13 400]
			0.281 [7.14]	15.87 [23.62]	...	...	1820 [12 500]	2120 [14 600]

Figura 26. Espesor de tubería según diámetro. Tomada de «Selección de espesores de tuberías», según norma (ASTM-A53, 2002).

Tabla 15. Resumen de resultados del dimensionamiento de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada

	DIÁMETRO		LONGITUD		ESPESOR	
TRAMO I	10	pulg.	254	mm.	987	mm.
	5	pulg.	127	mm.	100	mm.
TRAMO II	4	pulg.	101.6	mm.	309	mm.
	8	pulg.	203.2	mm.	6418	mm.
TRAMO III	8	pulg.	203.2	mm.	25772	mm.
	4	pulg.	101.6	mm.	312	mm.

Resultados de la selección de bomba adecuada y accesorios:

De acuerdo al segundo objetivo de la investigación se obtuvo los datos de la bomba de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en la Unidad Minera en Quiaca del departamento de Puno.

Tabla 16. *Resumen de las especificaciones técnicas de la bomba del sistema de bombeo de agua recuperada.*

Marca	Goulds Pumps	-
Tipo de bomba	Bomba Centrífuga	-
	Horizontal	
Modelo	IC 125-100-315	-
No Serie	GS02A102	-
Capacidad nominal	243.67	m ³ /h
Mínimo flujo hidráulico	72.41	m ³ /h
Carga total	117.00	m
Rendimiento	3550	RPM
Eficiencia	76.9	%
Potencia nominal	101.48	kW
NPSHR	5.71	m
NPSH	2.10	m
Presión de descarga	11.54	bar
Curva de rendimiento	IC083-2	Rotación CW vista desde el extremo del acoplamiento
Motor Eléctrico Trifásico	150	Hp
Voltaje	230-460	V

De acuerdo al segundo objetivo de la investigación se seleccionó los accesorios de los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en la Unidad Minera en Quiaca del departamento de Puno.

Tabla 17. Resumen de la selección de accesorios del sistema de bombeo de agua recuperada.

	Descripción	Cantidad	Diámetro (pulg.)
TRAMO I	Válvula Mariposa	01	10
	Codo de 90°	01	10
	Reducción concéntrica	01	10x5
TRAMO II	Reducción concéntrica	01	8x4
	Válvula Mariposa	01	8
	Codo de 90°	01	8
TRAMO III	Válvula Mariposa	01	8
	Codo de 90°	04	8
	Codo de 45°	02	8
	Reducción concéntrica	01	8x4

En la siguiente figura se muestra la curva de rendimiento de la bomba centrífuga.

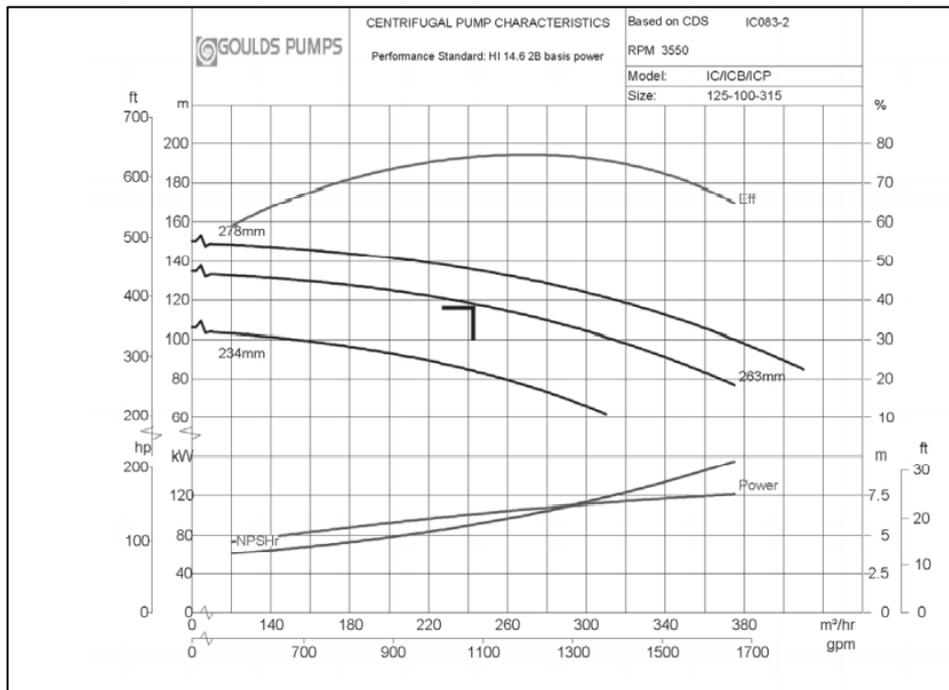


Figura 27. Curva de rendimiento de la bomba centrífuga Goulds Pumps carga total vs capacidad. Tomada del «Informe técnico de calidad de la bomba centrífuga», por (Intech s.a, 2020).

En la siguiente figura se muestra la curva de eficiencia de la bomba centrífuga.

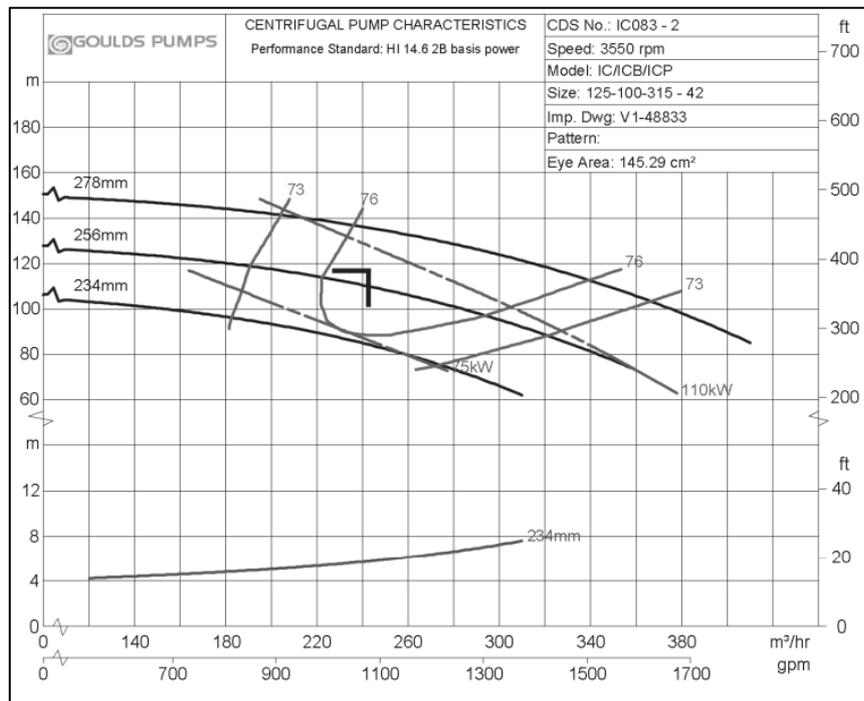


Figura 28. Curva de eficiencia de la bomba centrífuga Goulds Pumps y carga total vs capacidad. Tomada del «Informe técnico de calidad de la bomba centrífuga», por (Intech s.a, 2020).

De acuerdo al tercer objetivo de la investigación se obtuvo el análisis técnico económico del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en la Unidad Minera en Quiaca del departamento de Puno.

Resultados del análisis técnicos económico:

- Resultados del análisis energético - económico

$$AHORRO_{mensual} = S/.5,700.87$$

$$AHORRO_{anual} = S/.68,410.44$$

- Resultados del análisis técnico – económico (VAN y TIR)

Tabla 18. *Resultados del análisis técnico - económico*

MES DE EVALUACIÓN	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3
FLUJO DE CAJA	-S/. 221,192.49	S/. 108,489.97	S/. 108,489.97	S/. 108,489.97
Tasa de descuento(Td)	8%			
VAN	S 1.58,376.99	VAN>0		
TIR	25%	TIR>24%		
Proyecto es viable y rentable				

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Hipótesis General:

El diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave permite reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca – Puno 2021.

Hipótesis específica 1:

Si dimensionamos los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave se reduce el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca – Puno 2021.

Resultados de los diámetros de los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada:

Utilizando información del área de estudio en campo como el caudal requerido por la Unidad Minera, bases teóricas de mecánica de fluidos y el Software TLV Toolbox , se determinó los diámetros de tuberías en cada tramo del sistema.

Tabla 19. *Resultados de dimensionamiento de tuberías*

		DIÁMETRO				
		Calculado			Simulado	
TRAMO I	10	pulg.	266	mm.	254.50	mm.
	5	pulg.	129	mm.	128.19	mm.
TRAMO II	4	pulg.	103	mm.	102.26	mm.
	8	pulg.	206	mm.	202.71	mm.
TRAMO III	8	pulg.	206	mm.	202.71	mm.
	4	pulg.	103	mm.	102.26	mm.

Hipótesis específica 2:

Si seleccionamos la bomba adecuada y accesorios permite un óptimo sistema de bombeo de agua recuperada en una Unidad Minera en Quiaca – Puno 2021.

Resultados de las características de la bomba centrífuga del sistema de bombeo de agua recuperada:

Utilizando información del área de estudio en campo, las características de los tramos de tuberías y bases teóricas de mecánica de fluidos, se seleccionó la bomba adecuada del sistema y accesorios.

Tabla 20. *Características de la bomba centrífuga horizontal del sistema*

Bomba centrífuga horizontal Goulds Pumps	Agua recuperada	
	Calculado	Catálogo
Flujo	270 $\frac{m^3}{hora}$	243 $\frac{m^3}{hora}$
Presión de descarga	11.19 bar	11.54 bar
NPSH	7.85 m	5.7 m
Carga dinámica total	115 m	117 m
Potencia	85.62 KW	101.48 KW

Hipótesis específica 3:

Si evaluamos el análisis técnico económico del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave se reduce el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca – Puno 2021.

Resultados del análisis técnico económico:

Se demostró mediante cálculos en el capítulo IV el gasto por el consumo de agua fresca y el ahorro generado implementando este sistema de bombeo de agua recuperada que permite reducir el consumo de agua fresca.

- Resultados del análisis energético - económico

$$AHORRO_{mensual} = S/. 5,700.87$$

$$AHORRO_{anual} = S/. 68,410.44$$

$$VAN = S/. 58,376.99$$

$$VAN > 0, \text{proyecto viable}$$

$$TIR = 25\%$$

$$TIR > 24\% \text{ proyecto viable}$$

6.1.1 Contrastación de la Hipótesis con los resultados.

Tabla 21. *Matriz de contrastación de la hipótesis con los resultados*

Resultados de la Investigación	Demostración de la Hipótesis	Contrastación
Se determinó que el diámetro mayor del sistema de tubería es 10 pulgadas con espesor 9.27mm y longitud 987mm.	Si dimensionamos las tuberías del sistema de bombeo se logrará reducir el consumo de agua fresca.	Se recupera el agua con un caudal de 190,8 m ³ /hora y reduce el consumo de agua fresca.
Se determinó que la potencia de la bomba es 101.48 KW y se seleccionó la válvula mariposa para el sistema.	Si seleccionamos la bomba adecuada y accesorios nos permitirá un óptimo sistema de bombeo de agua recuperada.	Se seleccionó la bomba centrífuga garantizando un bajo consumo de energía y optimizando el sistema.
Se determinó un $AHORRO_{anual} = S/.68,410.44$ resultando un proyecto viable.	Si evaluamos el análisis técnico económico del sistema se logrará reducir el consumo de agua fresca.	Se reduce el consumo de agua fresca de la zona y se minimiza el gasto.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares.

En el presente trabajo de investigación el diámetro menor obtenido de la tubería fue de 4 pulgadas, del análisis técnico económico fue el VAN>0 y el TIR>24%; mientras que Luna (2019) en su tesis, “Sistema de despacho de gasolina para garantizar el parámetro de operación de 350 GPM terminal Eten-Lambayeque”, determinó el diámetro menor de 4 pulgadas, el VAN>0 y el TIR>24% ; por lo que ambos resultados del sistema de bombeo coinciden.

En el presente trabajo de investigación la potencia de la bomba obtenida fue de 101.48 KW y el diámetro mayor de la tubería fue de 10 pulgadas; mientras que Retamozo (2017) en su tesis, “Diseño de un sistema de conducción hidráulica sometida a 43 psig de presión y 82 l/s de capacidad para irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar”, determinó una potencia de 142 KW y el diámetro mayor de 10 pulgadas; por lo que ambos resultados son similares.

En el presente trabajo de investigación el tipo de bomba obtenido fue centrífuga horizontal y la potencia de la bomba fue de 101.48 KW; mientras que Niño, (2019) en su tesis, “Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación minera”, determinó que el tipo de bomba fue centrífuga horizontal y la potencia de 650 KW; por lo que el segundo resultado no coincide porque la carga dinámica para este sistema varía con relación al presente trabajo.

CONCLUSIONES

- Mediante la información recopilada en campo como el caudal de $270\text{ m}^3/\text{hora}$ requerido del proyecto, puntos referenciales, y demás datos técnicos. Se diseñó el sistema de bombeo de agua recuperada, calculando los diámetros de tuberías, siendo el mayor de 10 pulgadas, las especificaciones técnicas de la bomba, siendo la potencia requerida de 101.48 kw y se determinó el tipo de válvula mariposa.
- Se determinó mediante una metodología de cálculo de mecánica de fluidos los diámetros de los tramos de tuberías, siendo el mayor diámetro de 10 pulgadas y el menor de 4" del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave, permitiendo reducir el consumo de agua fresca en la Unidad Minera en Quiaca-Puno.
- Se seleccionó la bomba de tipo centrífuga horizontal de marca Goulds Pumps con capacidad nominal de $243.67\text{ m}^3/\text{hora}$, potencia nominal de 101.48 kw , y carga total de 117 m y se seleccionó los accesorios a utilizar como la válvula de tipo mariposa de 10", con esto permitiendo optimizar el sistema de bombeo de agua recuperada.
- Se determinó la evaluación energético – económico deduciendo un ahorro de $68,410.44$ soles al año reduciendo el consumo de agua fresca al implementar este sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave. Mediante la evaluación técnica económica se calculó que el VAN es positivo, el TIR $> 24\%$ resultando un proyecto viable.

RECOMENDACIONES

- Para la instalación del sistema de bombeo se deberá instalar de acuerdo a la norma ASME, con esto garantizar la calidad, el correcto funcionamiento y certificado por la ISO 9001-ISO 14001.
- Realizar estudios con mayor detalle con respecto a la captación del agua fresca del río de la zona por la empresa minera y en qué medida afecta al medio ambiente y pobladores aledaños a la zona.
- Tener presente que la Autoridad Nacional del Agua es la entidad que regula el consumo de agua fresca y el valor de caudal a utilizar por el sector industrial.
- Se recomienda realizar un estudio con respecto al sistema de bombeo para la succión de relave de la presa y el transporte del fluido hacia la planta de procesos de agua recuperada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASME B31.11. 2018. Sistema de tuberías de transporte de sólidos fluidificados. Código de Tuberías a Presión ASME B 31 B31.11. 14 de Octubre de 2018. pág. 113.
- ASTM-A53. 2002. Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless. s.l. : This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense., 10 de octubre de 2002. pág. 22.
- BERNAL, C. 2010. Metodología de la investigación. [ed.] Orlando Fernández Palma. Tercera edición. s.l. : Pearson Educación, Colombia, 2010, 2010. pág. 298.
- BLANCO, E. 1994. Sistemas de bombeo. Obra. Gijón, España : Universidad de Oviedo Departamento de Energía, 1994. pág. 230.
- CAPONE, M. 2016. Filtros de prensa para relaves. Tesis. Santiago, Chile : Universidad de Chile, 2016. pág. 47.
- CORIPUNO. 2017. Cori puno. Cori puno. [En línea] 2017. [Citado el: 20 de junio de 2021.] <https://www.coripuno.com.pe/>.
- ESPINOZA, C. 2014. Metodología de investigación tecnológica. Segunda edición. huancayo : soluciones gráficas s.a.c, 2014. pág. 203.
- FUENZALIDA, N. 2017. Estudio y evaluación del sistema de espesadores de relave de la división andina mediante herramientas de simulación computacional. Memoria. Santiago : Universidad de Chile, 2017. pág. 134.
- GOOGLE MAPS. 2021. Google Maps. [En línea] 24 de 08 de 2021. <https://www.google.com/maps>.
- HERNÁNDEZ, R. 2018. Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México : Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C. V., 2018. pág. 753.
- INTECH S.A. 2020. Catálogo de Bombas Goulds IC. Lima : s.n., 2020. pág. 178, Catálogo.

- LÓPEZ, J. 2014. Diseño hidráulico de un sistema gravimétrico para relaves mineros con un caudal de 202 m³/h y 220 m de desnivel. Tesis. Lima, Perú : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014. pág. 111.
- LUNA, A. 2019. Sistema de despacho de gasolina para garantizar el parámetro de operación de 350 gpm terminal eten-lambayeque. Tesis. Lima, Perú : Universidad Nacional del Callao, 2019. pág. 137.
- MORENO, E. 2014. Proyecto de expansión de la capacidad instalada de 350 TPD de la planta untuca a una capacidad media anual de 1700 TPD. Tesis. Arequipa, Perú : Universidad Nacional de San Agustín, 2014. pág. 135.
- MOTT, R. 2006. Mecánica de fluidos. Sexta edición. México : Pearson Educación, 2006. pág. 626.
- MUÑOZ, M. 2019. Análisis de las pérdidas de carga en sistemas de bombeo para relaves de mineral cobre y hierro mediante simulación computacional. Memoria. Valparaíso, Chile : Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2019. pág. 108.
- NIÑO, C. 2019. Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación minera. Tesis. Piura, Perú : Universidad de Piura, 2019. pág. 134.
- PACHECO, L. 2007. Uso del agua en la industria minera. Trabajo de investigación. Monterrey, México : Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C, 2007. pág. 29.
- RETAMOZO, V. 2017. Diseño de un sistema de conducción hidráulica sometida a 43 psig de presión y 82 l/s de capacidad para irrigar 95 hectáreas de cultivo de caña de azúcar. fundo olmos – agrolmos s.a – la libertad. Tesis. Lima, Perú : Universidad Nacional del Callao, 2017. pág. 152.
- TLV. COMPAÑÍA ESPECIALISTA EN VAPOR 2021. TLV. Compañía Especialista en Vapor. [En línea] TLV. Compañía Especialista en Vapor 2021. [Citado el: 10 de 10 de 2021.] <https://www.tlv.com/global/LA/mobile/>.
- WIKIPEDIA. 2015. Relave. wikipedia. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de julio de 2021.] <https://es.wikipedia.org/wiki/Relave>.

ZUÑIGA, Z. 2013. Balance de agua en planta de sulfuros y tranque El Torito. Trabajo de investigación. s.l., Chile : Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2013. pág. 194.

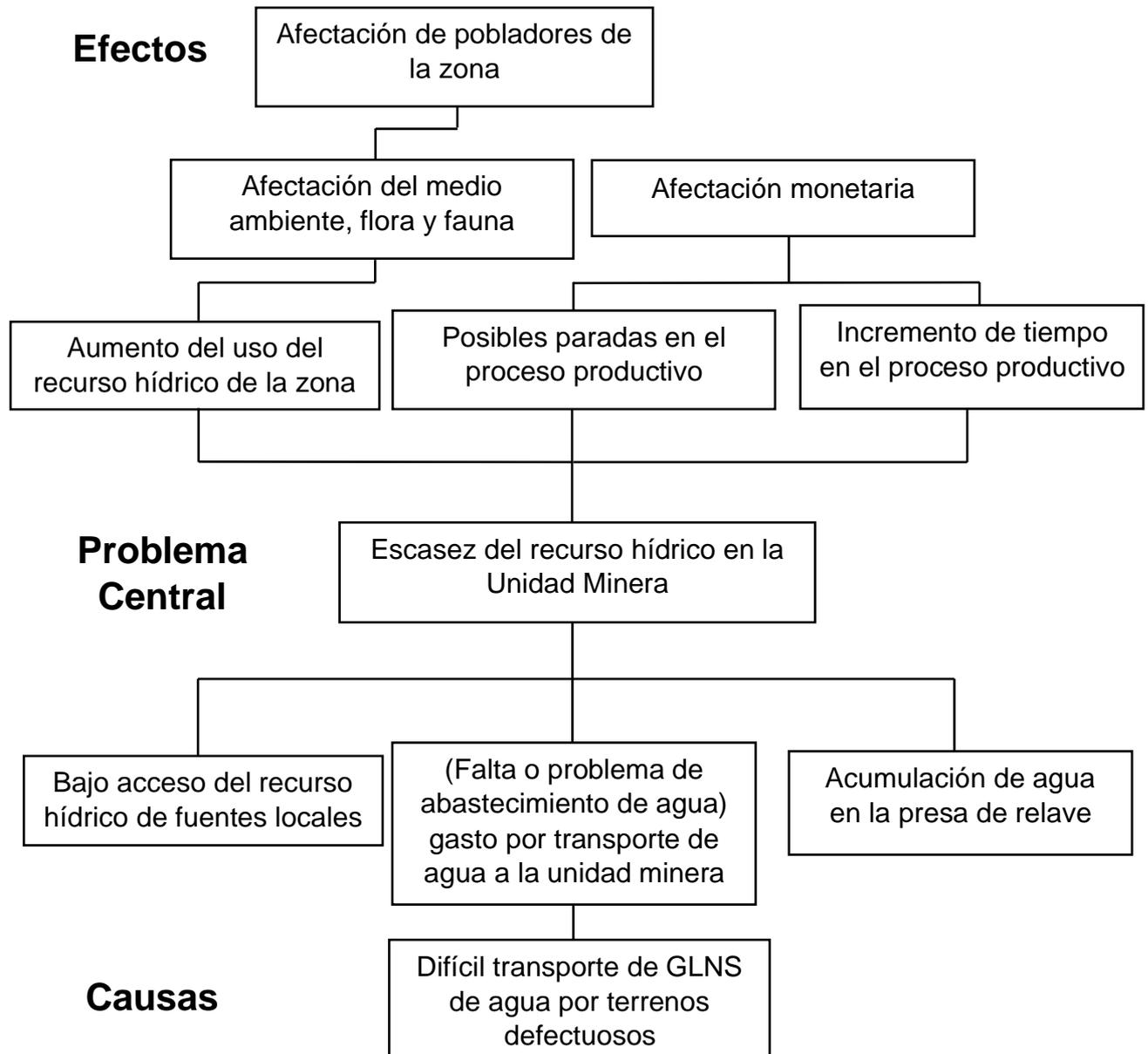
ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA RECUPERADA DE LA DESCARGA DE RELAVE PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA FRESCA EN UNA UNIDAD MINERA EN QUIACA-PUNO 2021						
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA			VARIABLES E HIPÓTESIS			DISEÑO METODOLÓGICO
Realidad problemática	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables		Tipo y nivel de la investigación
En la Unidad Minera ubicada en el distrito de Quiaca en el departamento de Puno , en la presa de relave se encuentra un gran volumen de agua acumulada producto de la canalización residual de líquidos provenientes de la planta concentradora y se plantea aprovechar el agua recirculando para reducir el consumo de agua fresca de la zona, abastecer de agua a los procesos mineros y contribuir con el medio ambiente.	Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	VI: Sistema de bombeo de agua recuperada	Indicadores	Tipo y nivel: -Tecnológico y aplicativo Diseño: -Descriptivo Simple Método: -Deductivo-Sintético
	¿Cómo diseñar un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca-Puno 2021?	Diseñar un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca-Puno 2021.	Si diseñamos un sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave permite reducir el consumo de agua fresca en una Unidad Minera en Quiaca-Puno 2021.	<u>Dimensiones:</u> Parámetros del estudio Hidro energético	-Caudal -Niveles de referencia -Presión de diseño -Peso específico del fluido	
Según estudios en el Perú el 1.2 % del recurso hídrico utilizado corresponde al sector minero y el 2.4% del total del consumo en los procesos del mineral corresponde al agua fresca utilizada en la Unidad Minera en estudio.	Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Cálculo de pérdidas de energía	-Diámetro de tubería -Viscosidad dinámica -Velocidad del fluido -Densidad del fluido	Técnicas-Instrumentos
	¿Cómo dimensionar los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca?	Dimensionar los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave para reducir el consumo de agua fresca.	Si dimensionamos los tramos de tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave se reduce el consumo de agua fresca.	Selección de tuberías	-Longitud -Caudal -Pérdida de energía -Rugosidad de la pared de la tubería	
Es conveniente que la unidad minera cuente con reservas de este recurso hídrico y cubra la demanda total en diversos procesos como de producción y construcción a nivel de superficie y subterráneo.	¿Cómo seleccionar la bomba adecuada y accesorios para el sistema de bombeo de agua recuperada?	Seleccionar la bomba adecuada y accesorios para el sistema de bombeo de agua recuperada.	Si seleccionamos la bomba adecuada y accesorios permite un óptimo sistema de bombeo de agua recuperada.	Selección de bomba y accesorios	-Carga dinámica -Potencia -Capacidad nominal -Presión	Documental: -Fichas bibliográficas Empírica: -Registros técnicos de campo -Hoja de cálculo -Excel
	¿De qué manera se puede evaluar el análisis técnico económico del sistema de bombeo de agua recuperada?	Evaluar el análisis técnico económico del sistema de bombeo de agua recuperada.	Si evaluamos el análisis técnico económico del sistema de bombeo de agua recuperada de la descarga de relave se reduce el consumo de agua fresca.	VD: Consumo de agua fresca <u>Dimensiones:</u> Demanda del recurso hídrico	-Flujo	

Anexo 2: Árbol de problemas

-Árbol de problemas.



Anexo 3: Tuberías

SE CONECTA CON:
 BOMBA
 300-PU-10
 E 191.054M
 N 47.489M
 EL +4282.870M

12 16 19

FFW

287 (+150 mm DE EXCESO)

E 191.387M
 N 47.021M
 EL +4282.888M

SPOOL Nº : MK-COR-197

10X1"-NS

3/8"-BA-074

3/8"-BA-074

E 191.387M
 N 47.021M
 EL +4282.736M

SE CONECTA CON:
 10" WR-300-009-C1E3A
 E 191.054M
 N 46.492M
 EL +4283.241M

10"-BU-040

SPINDLE EO S90

FFW

11 15 18

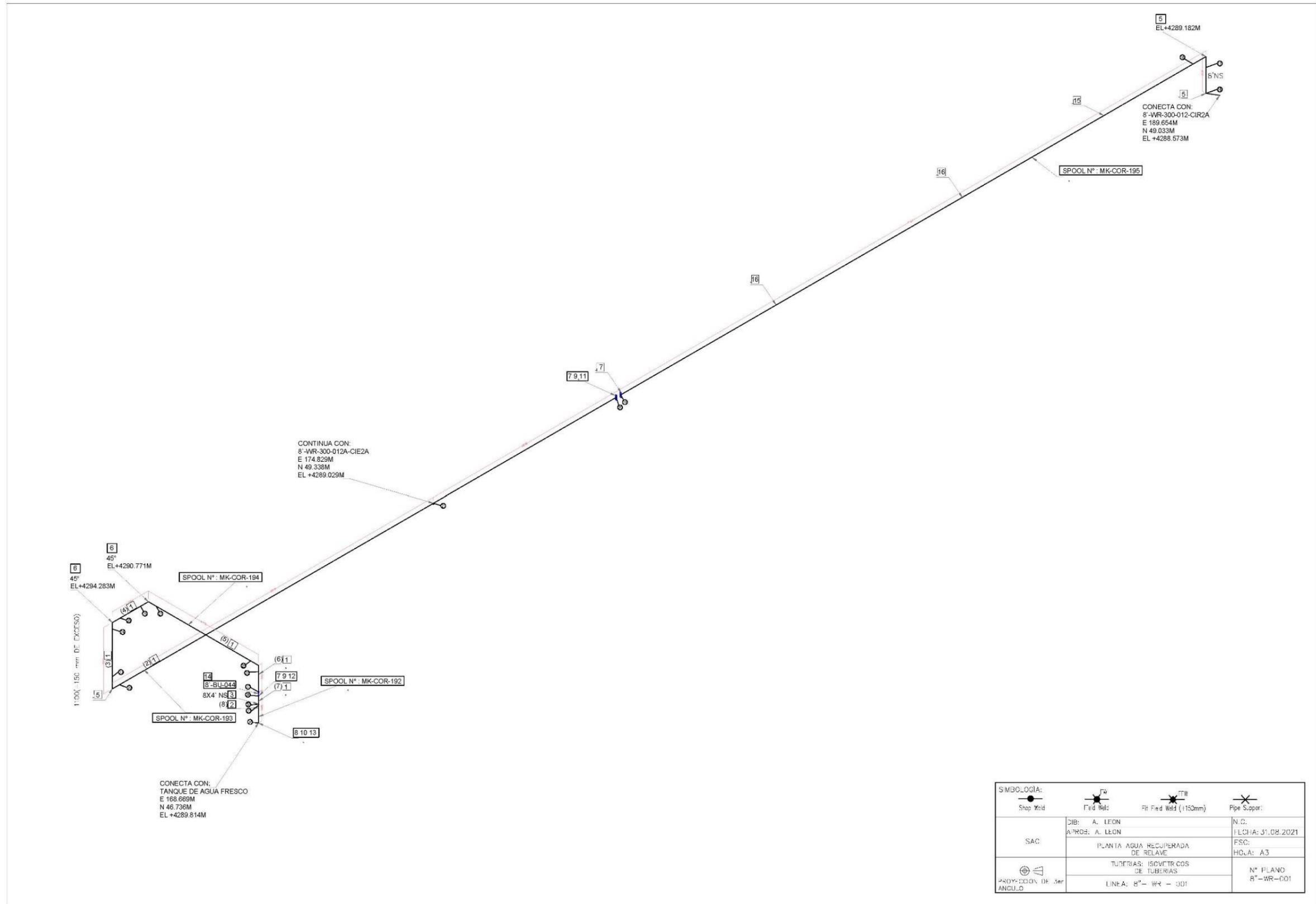
DETALLE-1

75°
 90 Deg LR Elbow
 EL+4282.870M

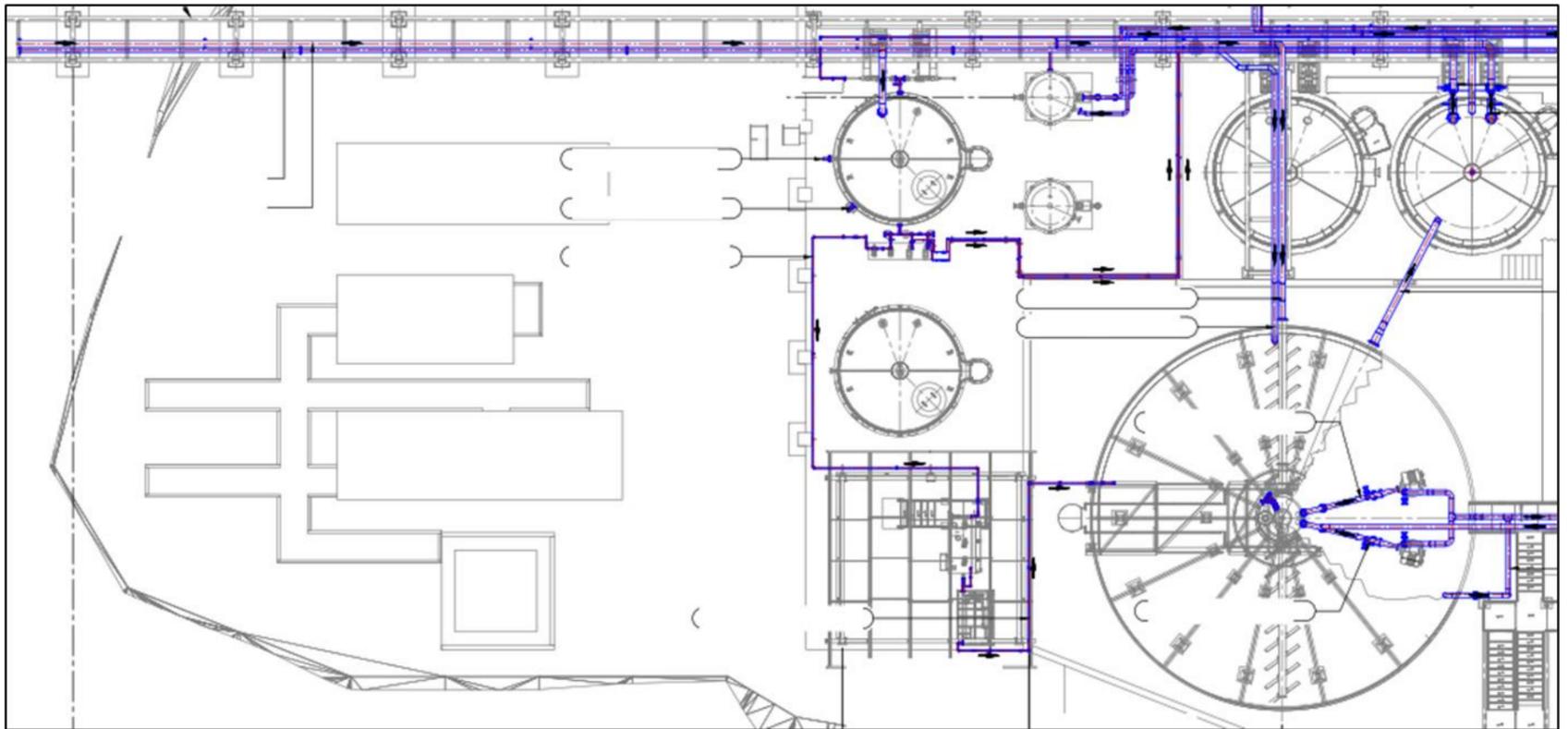
3"-BU-046

DRENAJE AL PISO

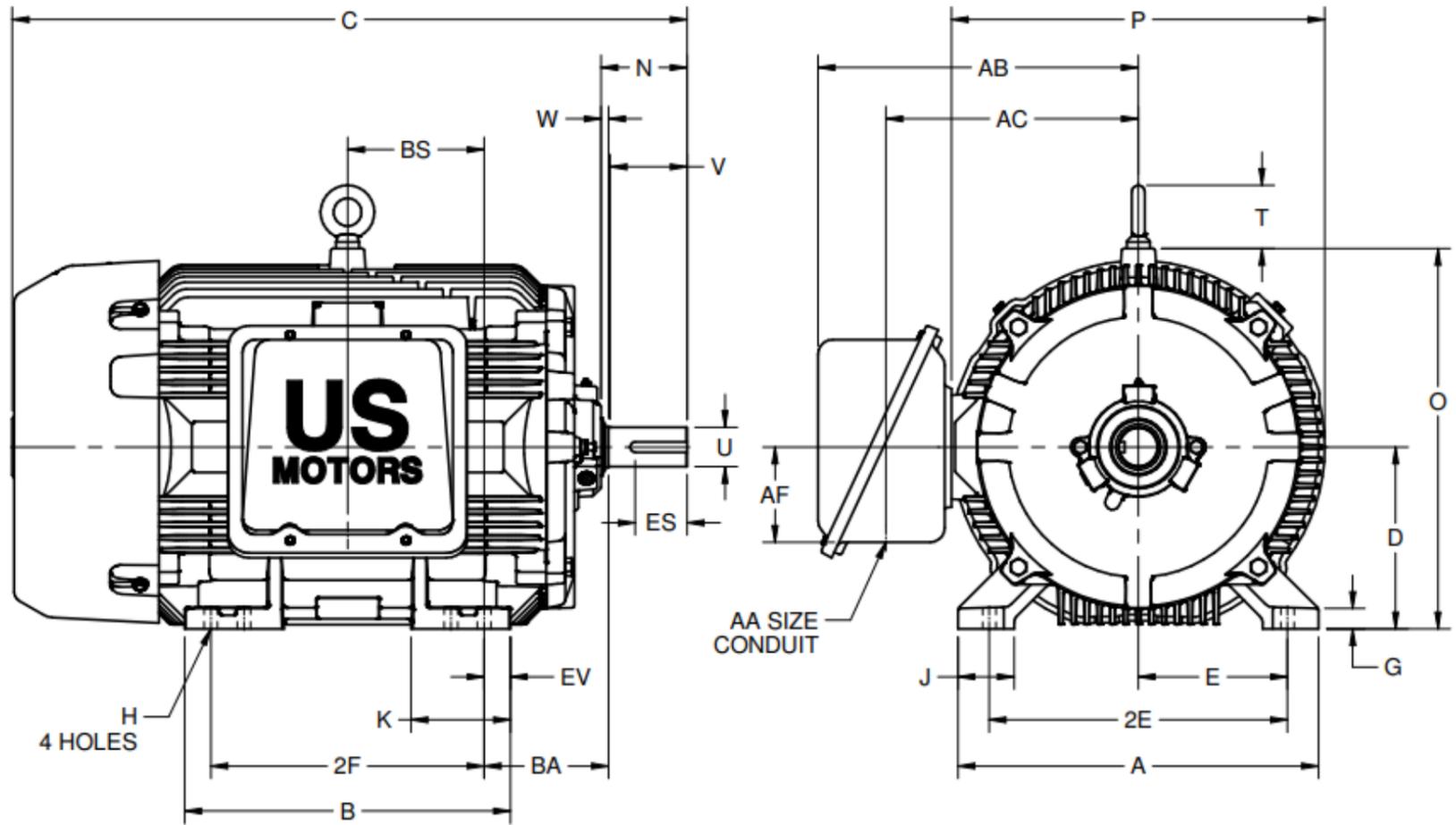
SIMBOLOGIA:		
SAC	DIB: A. LEON	N.O.
	APROB: A. LEON	FECHA: 31.08.2021
	PLANTA AGUA RECUPERADA DE RELAVE	ESC:
		HOJA: A3
	TUBERIAS: ISOMETRICOS DE TUBERIAS	N° PLANO 10"-WR-001
	LINEA: 10"-WR-001	



Anexo 4: Plano de arreglo general



Anexo 5: Bomba Centrífuga Horizontal

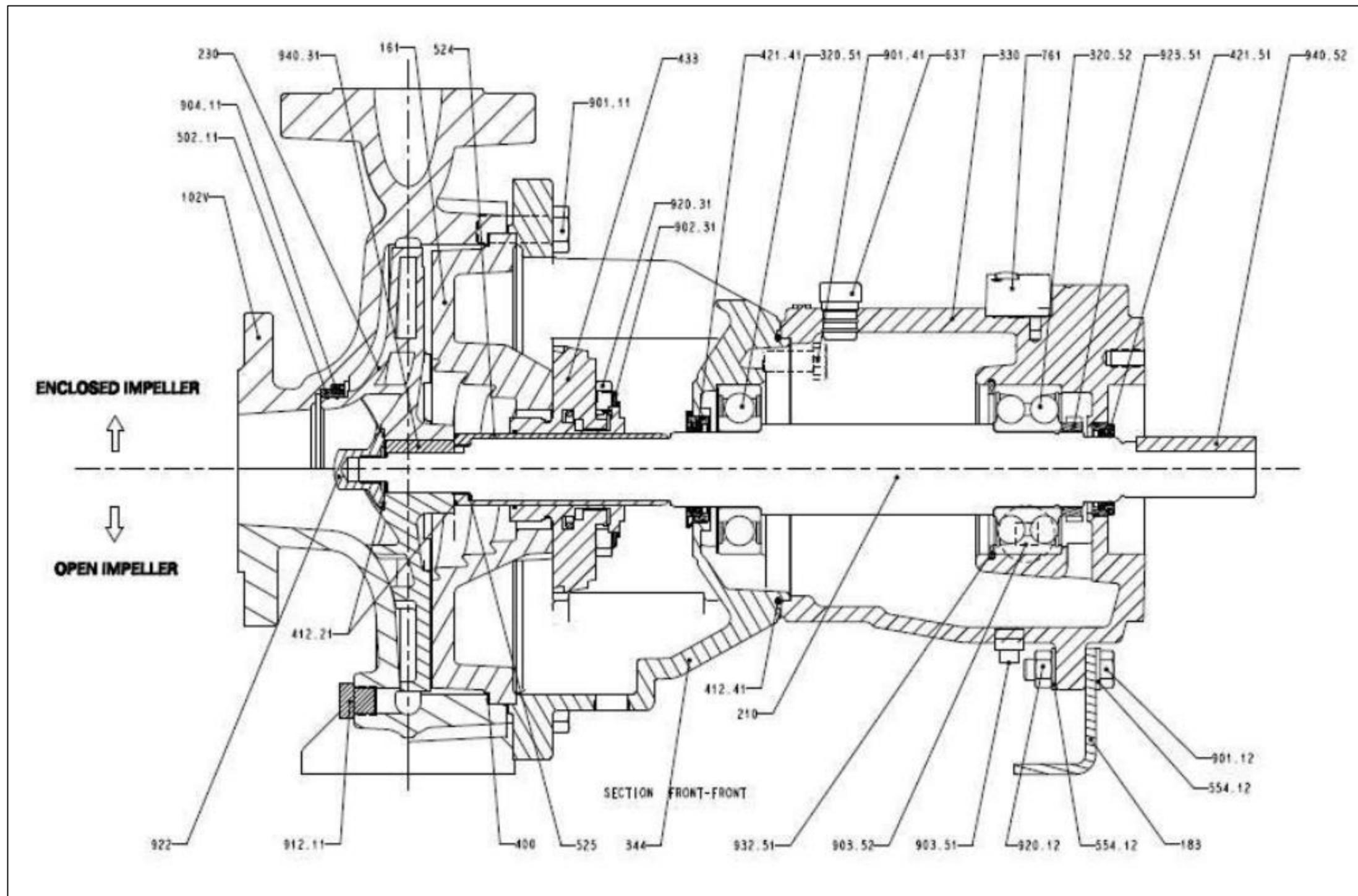


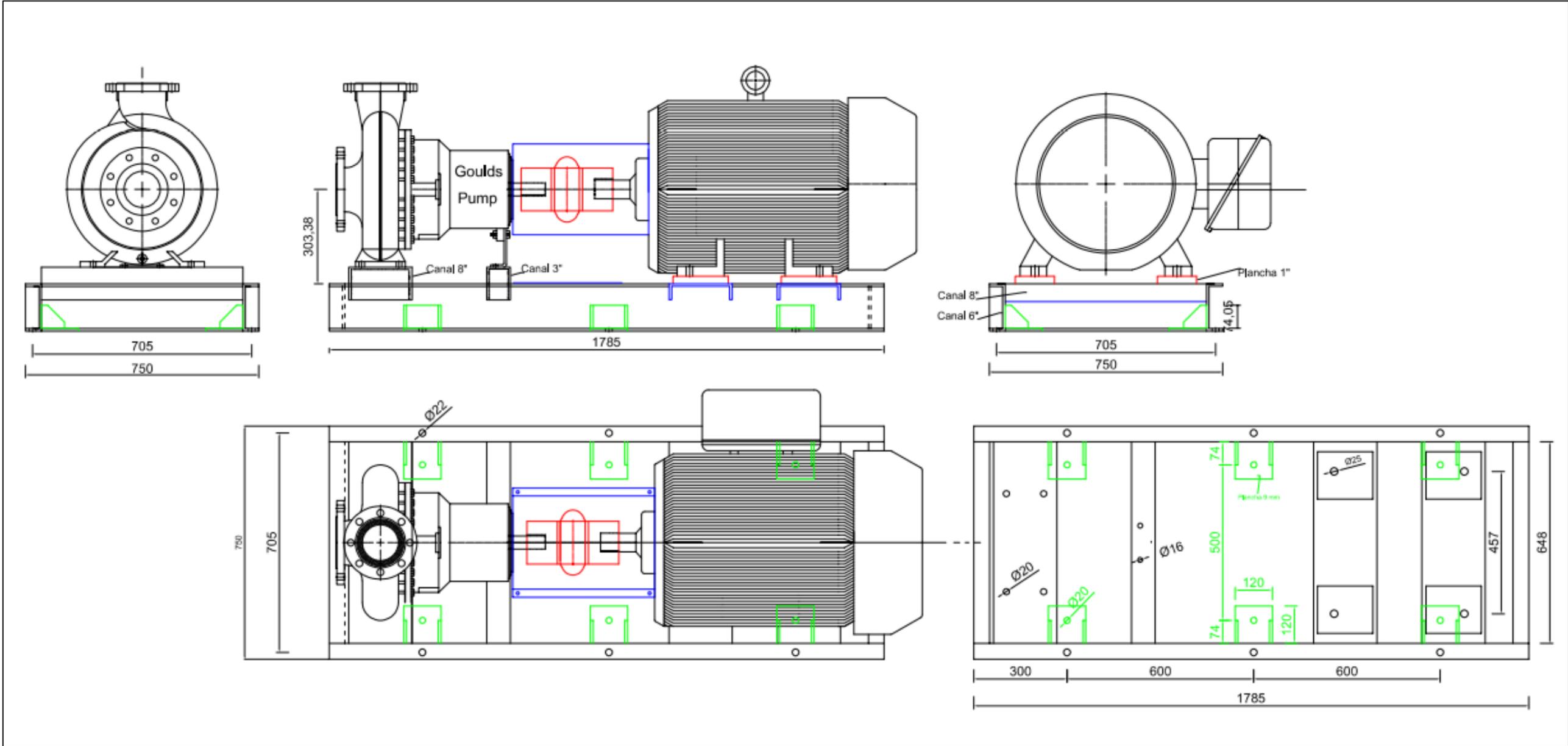
ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES AND MILLIMETERS

UNITS	A	B	C	D -.06	E	2E ±.03	G	H +.05	J	K	N	O	P ²
IN	21.75	19.69	40.75	11.00	9.00	18.00	1.25	.81	3.38	6.00	5.19	23.00	22.81
MM	552	500	1035	279	229	457	32	21	86	152	132	584	579

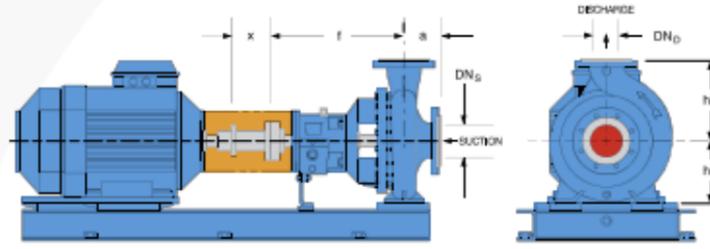
UNITS	T	U -.001	V MIN	W	AA	AB	AC	AF	BA	BS	EV	ES MIN	SQ KEY
IN	3.81	2.375	4.50	.44	3 NPT	19.34	15.25	5.75	7.50	8.25	1.59	3.03	.625
MM	97	60.33	114	11		491	387	146	191	210	40	77	15.88

FRAME	UNITS	2F ±.03
444TS	IN	14.50
	MM	368
445TS	IN	16.50
	MM	419





Dimensions



DIMENSIONS									
Pump size	Frame	Flanges		a	f	h1	h2	X	Bare pump weights
		Dns	DNd						
40-25-160	24	40	25	80	385	132	160	100	42
40-25-200	24	40	25	80	385	160	180	100	50
40-25-250	32	40	25	100	500	180	225	100	79
50-32-160	24	50	32	80	385	132	160	100	43
50-32-200	24	50	32	80	385	160	180	100	53
50-32-250	32	50	32	100	500	180	225	100	83
50-32-315	32	50(1)	32(1)	125	500	200	250	100	111
65-40-160	24	65	40	80	385	132	160	100	44
65-40-200	24	65	40	100	385	160	180	100	54
65-40-250	32	65	40	100	500	180	225	100	85
65-40-315	32	65(1)	40(1)	125	500	200	250	100	121
80-50-160	24	80	50	100	385	160	180	100	50
80-50-200	24	80	50	100	385	160	200	100	57
80-50-250	32	80	50	125	500	180	225	100	88
80-50-315	32	80(1)	50(1)	125	500	225	280	100	126
100-65-160	32	100	65	100	500	160	200	100	74
100-65-200	32	100	65	100	500	180	225	140	79
100-65-250	32	100	65	125	500	200	250	140	98
100-65-315	42	100(1)	65(1)	125	530	225	280	140	155
125-80-160	32	125	80	125	500	180	225	140	81
125-80-200	32	125	80	125	500	180	250	140	87
125-80-250	32	125	80	125	500	225	280	140	109
125-80-315	42	125(1)	80(1)	125	530	250	315	140	165
125-80-400	42	125	80	125	530	280	355	140	210
125-100-200	32	125	100	125	530	200	280	140	93
125-100-250	42	125	100	140	530	225	280	140	134
125-100-315	42	125(1)	100(1)	140	530	250	315	140	180
125-100-400	42	125	100	140	530	280	355	140	218
150-125-250	42	150	125	140	530	250	355	140	151
150-125-315	42	150	125	140	530	280	355	140	180
150-125-400	42	150	125	140	530	315	400	140	252
200-150-250	42	200	150	160	530	280	375	180	195
200-150-315	48	200	150	160	670	315	400	180	257
200-150-400	48	200	150	160	670	315	450	180	305

Cast Material Standards		
	Standards	
	DIN	ASTM
Cast Iron	0.6025	A48, Class 35
Ductile	0.7043	A3695, Grade 60-40-18
Carbon Steel	1.0619	A216 WCB
Stainless Steel	1.4408	A744 CF-8M
	1.4404	A744 CF-3M
Duplex SS	1.4517	Duplex SS - A995 CD4-McuN
Super Duplex	1.4469	A995 CD3MWCuN
Alloy 20	1.4527	A744 CN-7M
Hastelloy C	2.4686	A 494 CW-2M
Hastelloy B	2.481	A 494N-1 2MV
Titanium	3.7031	B367 Grade 2

Anexo 6: Programación del proyecto (MSP)

