

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

Análisis del sistema de bombeo de aguas acidas para mejorar el control del borde libre en una planta de tratamiento de Quiulacocha

Para obtener el título profesional de: Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por

Bach. Miguel Angel Huallpa Huaman

 [0009-0006-9080-7001](https://orcid.org/0009-0006-9080-7001)

Asesor

Dr. Francisco Manuel Ugarte Palacin

 [0000-0002-2129-9342](https://orcid.org/0000-0002-2129-9342)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Huallpa Huaman [1]
Referencia/Reference	[1] M. Huallpa Huaman, "). "Análisis del sistema de bombeo de aguas acidas para mejorar el control del borde libre en una planta de tratamiento de Quiulacocha" [Tesis]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Huallpa, 2025)
Referencia/Reference	Huallpa, M. (2025). <i>Análisis del sistema de bombeo de aguas acidas para mejorar el control del borde libre en una planta de tratamiento de Quiulacocha</i> . [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Citar/How to cite	Huallpa Human [1]
Referencia/Reference	[1] M. Huallpa Human, "Análisis del sistema de bombeo de aguas acidas para mejorar el control del borde libre en una planta de tratamiento de Quilacocha" [Tesis]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Huallpa, 2025)
Referencia/Reference	Huallpa, M. (2025). <i>Análisis del sistema de bombeo de aguas acidas para mejorar el control del borde libre en una planta de tratamiento de Quilacocha</i> . [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

DEDICATORIA

A mis padres José y Sabina por inculcarme el valor de la educación, por su apoyo y sacrificio incondicional constante, para ser de mí, un profesional de éxito.

A mi hermano que es fuente de inspiración y mi impulso para seguir adelante, así como por brindarme su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a mi familia y amigos, quienes estuvieron a mi lado brindándome su apoyo moral y emocional en todo momento. Su comprensión y aliento fueron pilares fundamentales durante este exigente proceso.

Además, agradezco a todos los participantes y colaboradores que de alguna manera contribuyeron con este proyecto. Su disposición y ayuda fueron esenciales para lograr los objetivos planteados.

RESUMEN

Los pasivos ambientales mineros (PAM) son depósitos de drenajes de operaciones mineras ubicados en la zona, y durante la temporada de lluvias representan un riesgo de desbordamiento. En la actualidad, opera una planta de neutralización con el propósito de mejorar la calidad del agua antes de enviarla a la relavera de Ocroyoc.

El objetivo de esta tesis es analizar el sistema de bombeo de aguas ácidas para controlar el borde libre de la relavera de Quiulacocha. En este estudio se presentan los conceptos y definiciones necesarios para el análisis detallado del sistema de bombeo.

Los resultados principales indican que el sistema de bombeo debe ser monitoreado durante períodos de temporada seca y lluvias para garantizar el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha.

Las conclusiones del estudio revelan que el análisis realizado del sistema de bombeo ha demostrado que es posible aumentar su capacidad de 198 m³/h a un caudal de diseño 437.8 m³/h. Este diseño asegura que no ocurra desbordamiento en la relavera de Quiulacocha.

Palabras clave — Sistema de bombeo, borde libre, caudal, Agua acida.

ABSTRACT

Mining environmental liabilities (PAM) are drainage deposits from mining operations located in the area, and during the rainy season they represent a risk of overflow. Currently, it operates a neutralization plant with the purpose of improving water quality before sending it to the Ocroyoc tailings dam.

The objective of this thesis is to analyze the acid water pumping system to control the free edge of the Quiulacocha tailings dam. This study presents the concepts and definitions necessary for the detailed analysis of the pumping system.

The main results indicate that the pumping system must be monitored during dry and rainy season periods to guarantee control of the free edge of the Quiulacocha tailings dam.

The conclusions of the study reveal that the analysis carried out on the pumping system has shown that it is possible to increase its capacity from 198 m³/h to a design flow rate of 437.8 m³/h. This design ensures that no overflow occurs at the Quiulacocha tailings dam.

Keywords — pumping system, free edge, flow, Acid water.

PRÓLOGO

El sector minero deja grandes pasivos ambientales mineros (PAM), los cuales son parte de la contaminación ambiental. Esta tesis busca dar solución a la pérdida del borde libre en la relavera Quiulacocha. El objetivo principal de este estudio es analizar el sistema de bombeo de aguas ácidas para mantener el borde libre de la relavera Quiulacocha, evitando así su desbordamiento, el cual podría afectar a las zonas aledañas, incluidas las comunidades y la flora que consumen los animales.

Además, el análisis del sistema de bombeo permitirá ampliar la capacidad de la planta de neutralización, crucial para el bienestar de la región.

Este trabajo busca contribuir de manera significativa al diseño y el análisis de sistemas de bombeo, y servir como referencia para futuros estudios en el campo de la ingeniería.

La presente tesis se encuentra dividido en cinco capítulos. En el primero, se presenta el marco teórico y conceptual del estudio, proporcionando una base sólida para entender el problema. El segundo capítulo detalla la metodología empleada en la investigación, describiendo la recopilación, procesamiento y análisis de los datos. En el tercer capítulo se presenta los análisis y cálculos realizados, mientras que el cuarto capítulo expone los resultados obtenidos. Finalmente, el quinto capítulo se dedica a la discusión de los resultados, proporcionando conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados del estudio.

Tabla de Contenido
Pág.

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
PRÓLOGO	vi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	2
1.2.1 Planteamiento del problema	3
1.3 Objetivos del estudio	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivo secundario.....	3
1.4 Hipótesis y operacionalización de variables	4
1.4.1 Hipótesis general.....	4
1.4.2 Hipótesis secundaria	4
1.4.3 Operacionalización de variables	4
1.5 Antecedentes investigativos	5
1.5.1 Antecedentes internacionales.....	5
1.5.2 Antecedentes nacionales.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	8
2.1 Marco teórico	8
2.1.1 Bombas hidráulicas	8
2.1.2 Clasificación de las bombas hidráulicas	8
2.1.3 Curva característica de una bomba	9
2.1.4 Curva del sistema de bombeo	10

2.1.5	Punto de trabajo de la bomba.....	10
2.1.6	Velocidad del fluido	11
2.1.7	Número de Reynolds.....	11
2.1.8	Régimen de flujo.....	11
2.1.9	Factor de fricción	12
2.1.10	Perdidas de carga en tuberías.....	13
2.1.11	Caudal de diseño:.....	15
2.1.12	Altura dinámica de succión.....	15
2.1.13	Altura dinámica de descarga	16
2.1.14	Altura dinámica total	16
2.1.15	Potencia Hidráulica.....	16
2.1.16	Potencia al eje.....	17
2.1.17	Altura neta de succión positiva	17
2.1.18	Sumergencia minima.....	17
2.1.19	Bombas instaladas en serie.....	18
2.1.20	Bombas instaladas en paralelo.....	18
2.1.21	Válvulas.....	19
2.1.22	Regulación con valvulas	21
2.1.23	Celeridad de la onda	22
2.1.24	Tiempo de parada de la bomba	23
2.1.25	Tiempo critico	24
2.1.26	Golpe de ariete en la impulsión	24
2.1.27	Cierre gradual.....	24
2.2	Marco conceptual.....	26
2.2.1	Borde libre	26

2.2.2	Precipitación	26
2.2.3	Relavera	26
2.2.4	Tratamiento de aguas.....	26
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		27
3.1	Tipo de Investigación	27
3.2	Diseño	27
3.3	Unidad de análisis	27
3.4	Etapas de la Investigación.....	28
3.4.1	Recopilación de datos	28
3.4.2	Procesamiento de los datos:	29
3.4.3	Análisis de los datos	29
3.4.4	Limitaciones	29
3.4.5	Matriz de consistencia	30
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y CÁLCULOS.....		31
4.1	Análisis de caudales.....	31
4.1.1	Capacidad operativa de la planta de neutralización.....	32
4.2	Análisis de tubería actual	34
4.3	Criterios de cálculo	35
4.4	Parámetros de bombeo	35
4.5	Cálculo hidráulico – Sistema de bombeo actual	36
4.5.1	Sistema de bombeo actual	36
4.5.2	Cálculo de ADT	37
4.6	Clasificación de las bombas hidráulicas	40

4.7	Cálculo hidráulico – Sistema de bombeo en diseño	43
4.7.1	Caudal de diseño.....	43
4.7.2	Cálculo del diámetro de las tuberías.....	43
4.7.3	Selección de material de tubería	48
4.7.4	Cálculo de la Altura dinámica total en temporadas de lluvias.....	52
4.7.5	Cálculo de la Altura dinámica total en temporadas secas	58
4.7.6	Resumen de puntos de operación según la temporada	65
4.7.7	Selección del modelo de bomba.....	66
4.7.8	Resumen resultados.....	69
4.7.9	Cálculo del Golpe de Ariete	70
4.7.10	Cálculo con software ANSYS	71
	CAPÍTULO V. RESULTADOS	75
5.1	Descripción del sistema de bombeo	75
	CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN	77
6.1	Discusiones.....	77
6.2	Interpretación	77
	CONCLUSIONES	78
	RECOMENDACIONES	79
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	ANEXOS	82

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	4
Tabla 2 Coeficientes de pérdidas por fricción en accesorios.	14
Tabla 3 Coeficientes de pérdidas en válvulas	14
Tabla 4 Matriz de consistencia.....	30
Tabla 5 Caudales de operación	33
Tabla 6 Longitudes de tuberías de succión y descarga.....	35
Tabla 7 Rango de velocidades recomendado	35
Tabla 8 Parámetros de bombeo.....	35
Tabla 9 Válvulas y accesorios en la instalación actual	36
Tabla 10 Características de tuberías HDPE.....	36
Tabla 11 Parámetros de operación de la bomba actual	39
Tabla 12 Comparación de las propiedades generales de las bombas	41
Tabla 13 Principales características de las bombas dinámicas	41
Tabla 14 Características de tuberías HDPE – Alternativa N°1	50
Tabla 15 Características de tuberías HDPE – Alternativa N°2	51
Tabla 16 Características de tuberías HDPE – Alternativa N°3	51
Tabla 17 Características de tuberías HDPE – Alternativa N°4	51
Tabla 18 Resumen parámetros de operación en temporadas de lluvias	65
Tabla 19 Resumen parámetros de operación en temporadas de secas.....	65
Tabla 20 Modelo de bombas de acuerdo con la aplicación	66
Tabla 17 Resumen parámetros de operación en temporadas de secas.....	69
Tabla 22 Modo de operación del sistema de bombeo	70

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Ubicación de la relavera Quiulacocha</i>	1
Figura 2 <i>Sección de la relavera Quiulacocha</i>	2
Figura 3 <i>Clasificación de bombas</i>	8
Figura 4 <i>Curva característica de una bomba</i>	9
Figura 5 <i>Curva del sistema</i>	10
Figura 6 <i>Punto de operación de una bomba</i>	10
Figura 7 <i>Bombas instaladas en serie</i>	18
Figura 8 <i>Bombas instaladas en paralelo</i>	19
Figura 9 <i>Tipos de válvulas</i>	20
Figura 10 <i>Tipos de válvulas</i>	21
Figura 11 <i>Regulación con válvula</i>	22
Figura 12 <i>Distribución de presión por cierre rápido</i>	25
Figura 13 <i>Distribución de la presión por cierre lento</i>	25
Figura 14 <i>Ubicación del distrito Simón Bolívar</i>	27
Figura 15 <i>Relavera de Quiulacocha</i>	28
Figura 16 <i>Volumen de agua retirada por año</i>	31
Figura 17 <i>Registro de precipitación mensual</i>	32
Figura 18 <i>Balance hídrico</i>	32
Figura 19 <i>Trazo de tubería actual – 1 bomba en operación actual</i>	34
Figura 20 <i>1 bomba en operación actual</i>	37
Figura 21 <i>Curva característica de la bomba centrífuga en operación</i>	40
Figura 22 <i>Tabla de materiales</i>	42
Figura 23 <i>1 bomba en operación – Alternativa N°1</i>	44
Figura 24 <i>1 bomba en operación – Alternativa N°2</i>	44
Figura 25 <i>2 bombas en paralelo en operación – Alternativa N°2</i>	45
Figura 25 <i>1 bomba en operación – Alternativa N°3</i>	46
Figura 27 <i>1 bomba en operación – Alternativa N°4</i>	47
Figura 28 <i>2 bombas en paralelo en operación – Alternativa N°4</i>	47
Figura 29 <i>Resistencia química de materiales</i>	49
Figura 30 <i>Dimensiones de tubería de polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD)</i>	50
.....	
Figura 31 <i>Curvas de operación Bombas Serie IC</i>	67
Figura 32 <i>Curvas de operación Bombas Serie IC</i>	67
Figura 33 <i>Curvas de operación Bombas Model HSUL</i>	68

Figura 34 <i>Curvas de operación Bombas Model HSUL</i>	69
Figura 35 <i>Configuración de software ANSYS – Diagrama de bloques</i>	72
Figura 36 <i>Ingreso y salida del flujo</i>	72
Figura 37 <i>Iteraciones en software ANSYS</i>	73
Figura 38 <i>Resultados de velocidades - software ANSYS</i>	73
Figura 39 <i>Resultados de presiones - software ANSYS</i>	74
Figura 40 <i>Imagen referencial de la Bomba sumergible Modelo HSUL</i>	75
Figura 41 <i>Barcaza Flotante - Referencial</i>	76

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El sector minero en los años 1943 al 1992 en el Departamento de Pasco, Provincia Pasco, producto de las operaciones de Cerro de Pasco Cooper Corporation y Centromin Peru S.A, usó el depósito de relaves Quiulacocha que tiene una extensión de 110 hectáreas y cuenta con aproximadamente 70 millones de toneladas de relaves.

Figura 1

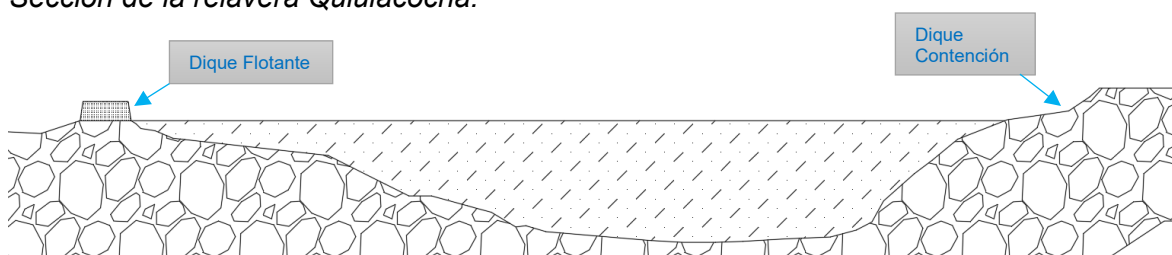
Ubicación de la relavera Quiulacocha.



Fuente: Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN)

En la figura 1, el depósito presenta un dique flotante, la cual divide al depósito en dos secciones, con un desnivel de dos metros, presentando el nivel más bajo, en la parte suroeste del depósito y un nivel superior al noreste.

Figura 2
Sección de la relavera Quiulacocha.



Fuente: Elaboración propia

El balance hídrico es esencial para evaluar y prevenir en el desbordamiento del área de estudio. Por ello, se realizan estudios hidrológicos tanto en temporadas de lluvias como en temporadas secas, ya que el caudal de extracción aumenta durante la temporada de lluvias.

Los sistemas de bombeo son herramientas esenciales para el manejo adecuado de la relavera, evitando desbordamiento y minimizando riesgos ambientales.

1.2 Descripción del problema de investigación

La relavera de Quiulacocha es un pasivo ambiental minero, que en temporadas de lluvia (diciembre a abril) acumula agua acida (pH 3.2). Desde el año 2016, vienen desarrollando actividades de tratamiento de agua acida a través de una Planta de Neutralización, la cual dispone de un sistema de bombeo con una capacidad instalada de 180 m³/h que bombea de la relavera de Quiulacocha hacia la planta de neutralización.

Durante enero del 2021 se han presentado lluvias con precipitaciones superiores a 10 mm/día, lo que ha generado que los niveles del borde libre del dique de la relavera disminuyan hasta 50 cm, poniendo en riesgo las estructuras, población y al medio ambiente.

Durante esta temporada (diciembre a abril), la planta de tratamiento, está funcionando a su máxima capacidad con la finalidad de controlar los niveles de agua en la relavera de Quiulacocha, resultando insuficiente para cubrir la demanda, incluso se recurre a contratar los servicios de bombeo y tratamiento de las aguas a una empresa externa.

Según, diario El Peruano (27/02/2021) “Decreto supremo que declara el Estado de Emergencia en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco, del departamento de Pasco, por peligro inminente ante el desembalse de la relavera Quiulacocha”; menciona que, el nivel de riesgo en que se encuentra el desembalse de las aguas acidas de la relavera de Quiulacocha es considerando como nivel de riesgo muy alto, el cual afectará a tres centros poblados directamente Quiulacocha, Yurajhuanca y Rancas con una población aproximada de 2187 personas; además, al rio Ragra, la vegetación natural de pastizales, césped de puna y bofedales que se encuentran debajo de la relavera.

En este sentido, a fin de evitar impactos negativos y/o emergencias ambientales a causa del desborde de la relavera de Quiulacocha, se propone aumentar la capacidad de bombeo a la planta de neutralización, de esta manera mantener el borde libre.

1.2.1 Planteamiento del problema

1.2.1.1 Problema general

¿En qué medida el análisis de un sistema de bombeo de aguas acidas permitirá el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha?

1.2.1.2 Problema secundario

- ¿De qué manera establecer los parámetros de operación de las bombas?
- ¿Qué características tendrá las tuberías en el sistema de bombeo?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Analizar el sistema de bombeo de aguas acidas para el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha.

1.3.2 Objetivo secundario

- Determinar los parámetros de operación de las bombas para el caudal bombeado.
- Establecer las características de las tuberías en el sistema de bombeo mediante el cálculo hidráulico.

1.4 Hipótesis y operacionalización de variables

1.4.1 Hipótesis general

El análisis del sistema de bombeo de aguas acidas permite el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha

1.4.2 Hipótesis secundaria

- Al determinar los parámetros de operación de las bombas se logrará el control del borde libre.
- Al establecer las características de las tuberías, se obtendrá la correcta operación del sistema de bombeo.

1.4.3 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables.

Tipo de Variable	Variable	Dimensiones	Indicadores
Independiente	Análisis de un sistema de bombeo de aguas acidas		Caudal variable
		Capacidad de bombeo	l/s
			m ³ /h
		Tipo de configuración	Serie o paralelo
		Operación	Continua o Intermitente
Dependiente	Control del bode libre de la relavera de Quiulacocha	Volumen bombeado	m ³
		Distancia del borde libre de la relavera	cm

Fuente: Elaboración propia.

1.5 Antecedentes investigativos

1.5.1 Antecedentes internacionales

Corredor E. (2016), en su tesis titulada “Análisis del sistema de bombeo del túnel tecnificado San Joaquín en la mina subterránea de carbones san Fernando S.A.S”, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, concluye que el análisis de un sistema de bombeo debe considerarse el punto más crítico del sistema; para evitar operar los equipos con sobre carga, lo cual podría causar diversos daños mecánicos y eléctricos. Además, menciona que es importante determinar la altura máxima de ubicación de la bomba para su selección adecuado, a fin de prever la aparición del fenómeno de cavitación y evitar las consecuencias negativas que afecta la eficiencia y vida útil del equipo.

Muñoz A. (2016) en su tesis titulada “Optimización del sistema de bombeo y manejo de las aguas residuales producto de la explotación mineral en la mina de carbón San Fernando, Amagá-Antioquia”, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, concluye que las bajas eficiencias se debían a una incorrecta selección del diámetro de tubería y no tener un programa de mantenimiento preventivo. Además, menciona que un correcto dimensionamiento y operación del sistema de bombeo logró aumentar la eficiencia del 17 % al 53 %, reduciendo así las inundaciones y así evitar paralizaciones en la mina.

1.5.2 Antecedentes nacionales

Ventura M. (2021), en su tesis titulada “Diseño de un sistema de bombeo para la evacuación de aguas subterráneas en reemplazo del sistema existente, en la mina Islay del distrito de Huallay en la región Pasco”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, concluye que se debe implementar dos estaciones de bombeo, cada una con dos bombas instaladas en paralelo, con una potencia de 350 HP cada una. De esta manera logrando una mejora en la capacidad de bombeo de 150 l/s a 200 l/s. Además, menciona que fue necesario evaluar el sistema de bombeo instalado, afirmando que se obtuvieron un ahorro energético del 24% con respecto al sistema actual.

Rafael J. (2019), en su tesis titulada “Implementación de un sistema de bombeo integral para evacuación de aguas subterráneas en Minera Kolpa S.A”, Universidad Nacional del Centro del Perú, concluye que la evaluación del sistema bombeo anterior y el análisis de los reportes mensuales de precipitaciones fueron importantes para implementar el nuevo sistema de bombeo, el cual optimizó el retiro de agua acumulada debido a las lluvias en el fondo interior mina. Además, afirma que es importante considerar una bomba en reserva para entrar en operación en caso de la bomba principal falle o necesite mantenimiento y de manera asegurar la continuidad del sistema.

Casilla H. (2018), en su tesis titulada “Evaluación del sistema de drenaje de agua en profundización de la Mina Santa Teresa”, Universidad Nacional del Altiplano, concluye que el diseño consiste en la selección de la bomba y la línea de impulsión para asegurar la funcionalidad al sistema de bombeo. Además, menciona que para el cálculo es necesario considerar las pérdidas por accesorios. Afirmando que el sistema de bombeo de diseño aumento su eficiencia en un 55%.

Porras A. (2018), en su tesis titulada “Análisis de un sistema de tuberías para la extracción de aguas subterráneas en la Compañía Minera Chungar”, Universidad Nacional del Centro del Perú, concluye que para el diseño un sistema de bombeo es importante analizar las perdidas hidráulicas tanto primarias como secundarias en las tuberías y los accesorios. Esto tiene gran importancia para definir las características de operación del sistema de bombeo y teniendo influencia en la curva de operación de la bomba. Además, se menciona la importancia de analizar el funcionamiento del actual sistema de bombeo para proponer mejoras al sistema de bombeo.

Barreto C. (2017) “Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje – unidad minera Antapaccay”, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, concluye que la importancia de un sistema de bombeo consiste en las características del fluido que será transportado, para poder tener una correcta selección del tipo de bomba en cuanto a su construcción y materiales. Además, menciona que es necesario analizar las pérdidas

de carga en una instalación de tuberías debido que son un parámetro que permite evaluar si el consumo de energía es adecuado o excesivo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco teórico

2.1.1 Bombas hidráulicas

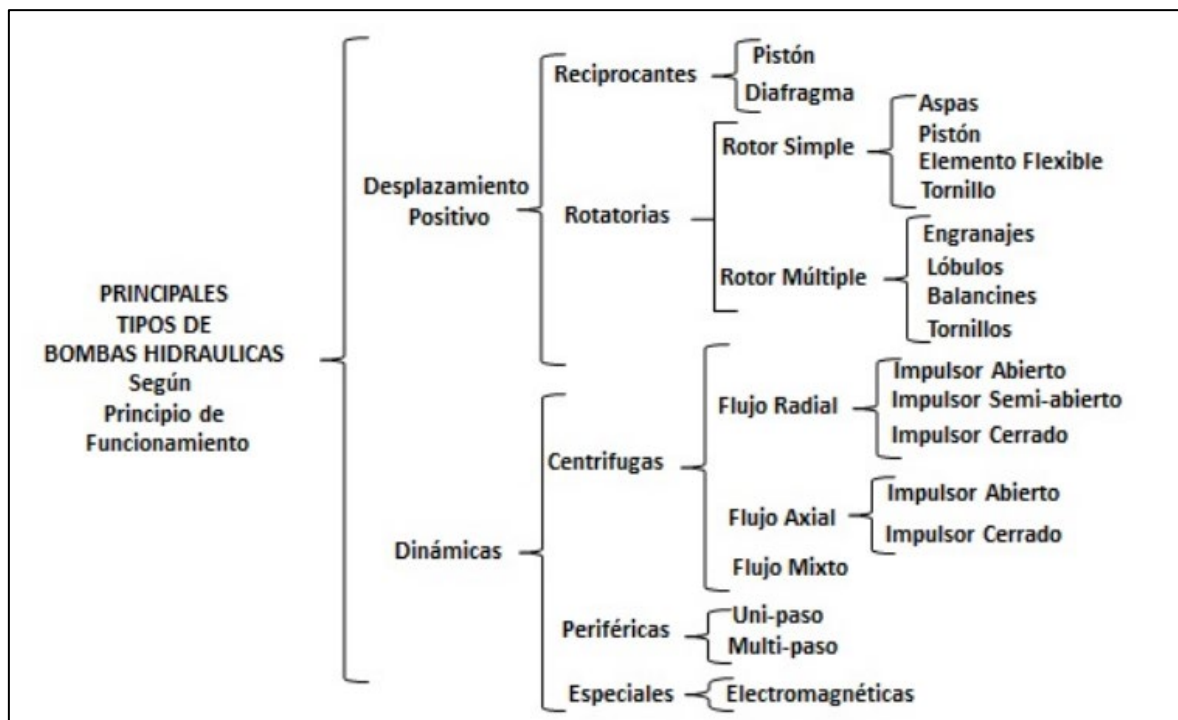
Según Hydraulic Institute (2010), las bombas hidráulicas son dispositivos diseñados que aprovechan la energía mecánica suministrada por un motor impulsor para generar movimiento en un fluido mediante la conversión de energía mecánica en energía hidráulica. La rotación del impulsor en el interior de la bomba genera un vacío, lo que produce una fuerza de succión que facilita la entrada del fluido en la bomba; una vez dentro, la velocidad del fluido aumenta, facilitando aplicaciones en diversos ámbitos industriales, comerciales y de ingeniería.

2.1.2 Clasificación de las bombas hidráulicas

Según Hydraulic Institute (2010), las bombas hidráulicas se pueden clasificar teniendo en cuenta sus aplicaciones, materiales de construcción de la bomba, el fluido bombeado.

Figura 3

Clasificación de bombas.



Fuente: Elaboración propia.

- Bombas dinámicas, son un tipo de bomba hidráulica que genera flujo mediante la acción de una fuerza centrífuga en el fluido. Este tipo de bombas se caracterizan por su diseño que permite la rotación del impulsor, el cual imparte energía cinética al fluido, aumentando su velocidad y presión a medida que atraviesa la bomba.
- Bombas de desplazamiento positivo, son un tipo de bomba que impulsan el fluido a través de un sistema hidráulico mediante el desplazamiento físico de un volumen fijo de líquido. Este tipo de bombas se caracterizan por su capacidad para generar presión mediante la acción directa sobre el fluido, siendo adecuadas para aplicaciones que requieren un flujo constante y controlado.

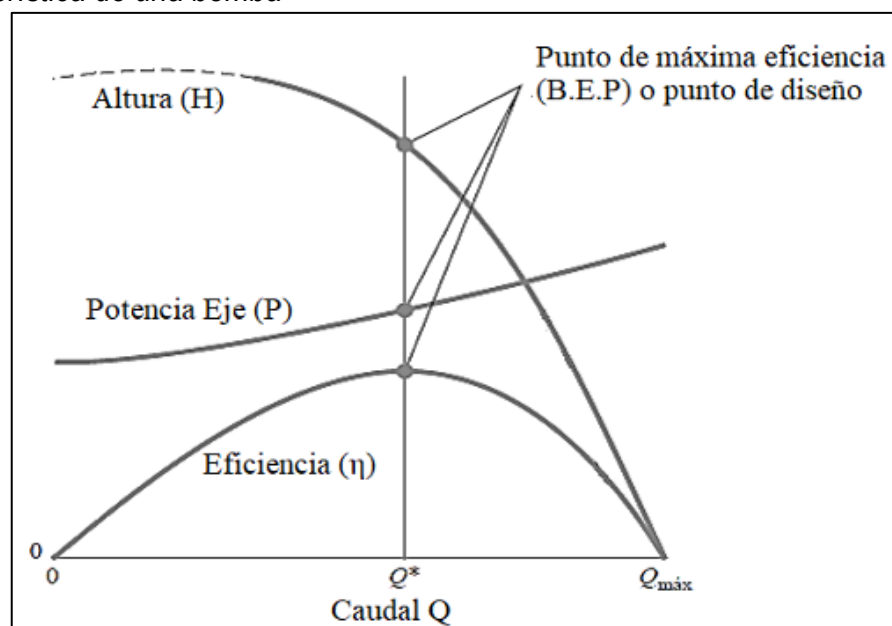
2.1.3 Curva característica de una bomba

Según F. M. White (2008), las bombas tienen una curva característica que los identifica a que altura pueden impulsar distintos caudales. Este gráfico representa la relación entre carga y caudal, que garantiza la operación de la bomba a determinada velocidad de giro.

El eje de ordenadas representa en la curva característica de la bomba la altura manométrica.

Figura 4

Curva característica de una bomba



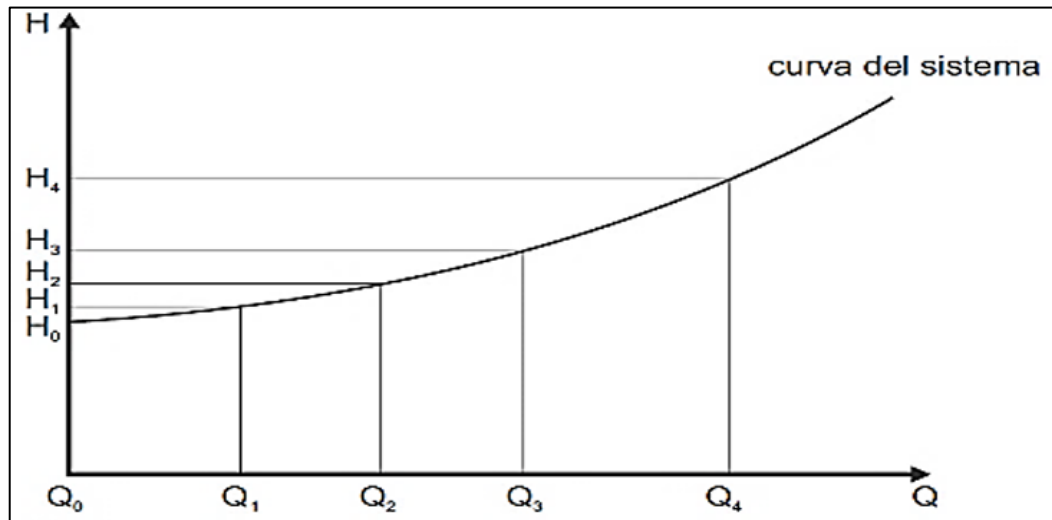
Fuente: Mecánica de fluidos (p. 761), por F. M. White, 2008, McGraw-Hill.

2.1.4 Curva del sistema de bombeo

Según el manual de KSB (2002), esta curva se obtiene del trazo de la altura dinámica total en función al caudal del sistema.

Figura 5

Curva del sistema



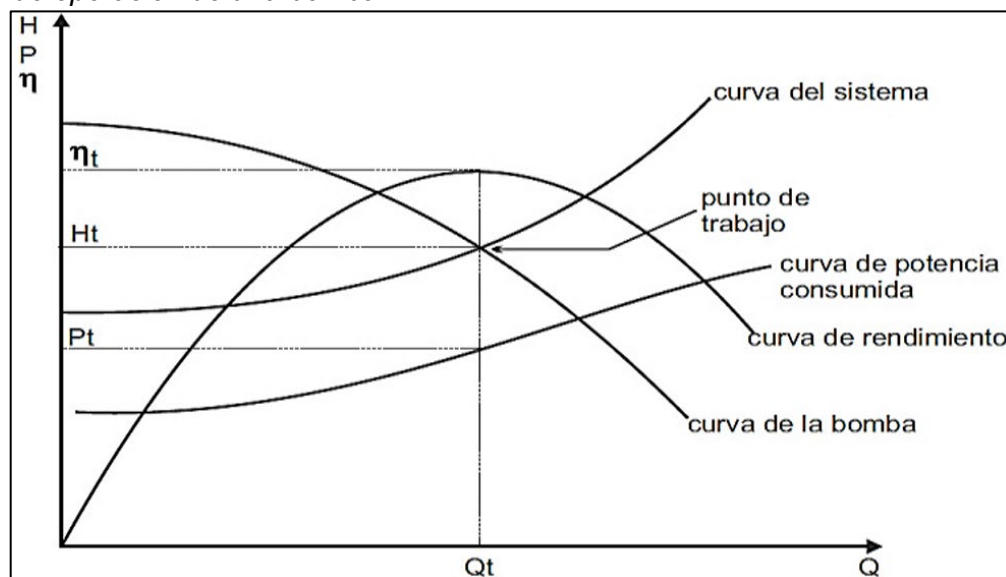
Fuente: Manual de entrenamiento selección y aplicación de bombas centrífugas (p.61) por KSB, 2002.

2.1.5 Punto de trabajo de la bomba

Según el manual de KSB (2002), la determinación del punto de trabajo resulta de la intersección entre la curva características de la bomba y la curva del sistema, garantizando un funcionamiento óptimo y eficiente del sistema de bombeo.

Figura 6

Punto de operación de una bomba



Fuente: Manual de entrenamiento selección y aplicación de bombas centrífugas (p.88) por KSB, 2002.

2.1.6 Velocidad del fluido

Según Bernoulli, es la rapidez con la que se transporta el fluido a través de una tubería o ducto.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Donde:

v: Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s)

Q: Caudal (m³/s)

A: Área (m²)

2.1.7 Número de Reynolds

El científico Osborne Reynolds señala que es una cantidad adimensional que describe el flujo de un fluido que relaciona las características del fluido, su velocidad y la geométrica de la tubería por el que fluye y está identificado por la siguiente ecuación 2.

$$Re = \frac{D_i \times v \times \rho}{\mu} \quad (2)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

D_i: Diámetro interno de la tubería (m)

v: Caudal dentro de la tubería (m/s)

ρ: Densidad del fluido (kg/m³)

μ: Viscosidad dinámica (Pa.s)

2.1.8 Régimen de flujo

El régimen de flujo es la condición del flujo que se establece dentro de una tubería a partir del número de Reynolds, que indica si el fluido en análisis se encuentra en régimen laminar o turbulento.

- Flujo laminar: En este régimen, el movimiento de las partículas del fluido es de forma organizada, siguiendo trayectorias suaves y paralelas dentro de la tubería.

Re < 2000: Flujo laminar.

- Flujo turbulento: En este régimen, el movimiento de las partículas del fluido es desordenado, generando remolinos y vórtices dentro de la tubería.

$Re > 4000$: Flujo turbulento.

- Flujo transitorio: En este régimen, es un estado intermedio entre el flujo laminar y el flujo turbulento, este fenómeno se hace presente en sucesos donde el flujo se inicia o se interrumpe.

$2000 \leq Re \leq 4000$: Flujo transitorio (entre laminar y turbulento)

2.1.9 Factor de fricción

El factor de fricción es la medida de la resistencia al flujo de un fluido a través de una tubería o ductos y se puede calcular utilizando ecuaciones.

- a) La ecuación de Hage-Poiseuille se aplica específicamente para calcular el factor de fricción en flujo laminar en tuberías. La fórmula tiene una relación simple entre el factor de fricción y el número de Reynolds.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

Donde:

Re: número de Reynolds

f: Factor de fricción

- b) La ecuación de Colebrook-White se utiliza para calcular el factor de fricción en tuberías de flujo turbulento. Esta fórmula relaciona el factor de fricción con el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.71 \times d_i} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (4)$$

Donde:

d_i : Diámetro interno de la tubería (mm)

f: Factor de fricción

ε : Rugosidad de la tubería (mm)

2.1.10 Pérdidas de carga en tuberías

- Pérdidas por fricción unitaria (J)

En sistemas de tuberías, las pérdidas por fricción se expresan mediante la ecuación de Darcy-Weisbach. La ecuación 5 establece relación entre el factor de fricción, diámetro de la tubería, velocidad del flujo.

$$J = \frac{f \times v^2}{2 \times g \times d_i} \quad (5)$$

Donde:

J: pérdida de presión por fricción unitaria (m/m)

f: Factor de fricción

v: velocidad del flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

d_i: Diámetro interno de la tubería (mm)

- Pérdidas de carga por fricción

Se generan debido a la fuerza contraria que encuentra el fluido al moverse a lo largo de la tubería. El cálculo se realiza utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$H_f = L \times J \quad (6)$$

Donde:

H_f: Pérdidas de carga por fricción o primarias (m)

L: Longitud de la tubería (m)

- Pérdidas por fricción en singularidades o secundarias

Las pérdidas secundarias en tuberías y/o ductos son causadas por elementos que alteran el flujo, variaciones en el diámetro, válvulas, accesorios y obstrucciones. Según la ecuación 7 se emplea para calcular las pérdidas secundarias.

$$H_{va} = \Sigma K * \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Donde:

H_{va}: Pérdidas secundarias (m)

K: coeficiente de pérdida por fricción.

v: Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s)

g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Tabla 2

Coeficientes de pérdidas por fricción en accesorios.

Accesorio	k
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Ampliación	0.30
Reducción	0.25
Codo 45°	0.40
Codo 90°	0.90
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Tee directa	1.30
Tee en angulo	1.50
Válvula compuerta	5.00
Válvula angulo	5.00
Válvula globo	10.0
Válvula retención	2.50
Válvula mariposa	0.24
Válvula pinch	0.40
Salida tanque	1.00
Entrada tanque	1.00

Fuente: Vasco, N. C., Vasco, J. P., & Vasco, D. C. (2020). *Hidráulica en tuberías y accesorios*. Ecuador.

Tabla 3

Coeficientes de pérdidas en válvulas

Type of valve	k
Globe valve	
Bevel sear, open	6.00
½ open	9.50
Composition seat, open	6.00
½ open	8.50
Plug disk, open	9.00
¾ open	13.00
½ open	36.00
¼ open	112.0

Angle valve, open	0.20
Y or blowoff valve, open	3.00
Plug cock	
$\theta = 5^\circ$	0.05
$\theta = 10^\circ$	0.29
$\theta = 20^\circ$	1.56
$\theta = 40^\circ$	17.3
$\theta = 60^\circ$	206.0
Butterfly valve	
$\theta = 5^\circ$	0.24
$\theta = 10^\circ$	0.52
$\theta = 15^\circ$	0.90
$\theta = 20^\circ$	1.54
$\theta = 25^\circ$	2.51
$\theta = 30^\circ$	3.91
$\theta = 35^\circ$	6.22
$\theta = 40^\circ$	10.8
$\theta = 50^\circ$	18.7

Fuente: Adaptado de Flow of Fluids - Through Valve, Fittings and Pipes (CRANE, 1999)

2.1.11 Caudal de diseño:

Es un parámetro para el diseño y la selección de equipos, ya que asegura que la capacidad de la bomba sea adecuada con los requisitos del proceso. El caudal de diseño puede variar de acuerdo con factores como el tipo de aplicación y condiciones operativas.

$$Q_{Diseño} = Fd \times Q \quad (8)$$

Donde:

Fd: Factor de diseño (1.1)

$Q_{Diseño}$: Caudal de diseño (m³/s)

2.1.12 Altura dinámica de succión

$$H_s = z_1 + \frac{P_s}{\rho \times g} + \frac{v_s^2}{2g} - (H_{fs} + H_{vas}) \quad (9)$$

Donde:

H_s : Altura dinámica de succión (m)

z_1 : Altura de succión (m)

H_{fs} : Pérdidas primarias en la succión (m)

H_{vas} : Pérdidas secundarias en la succión (m)

P_s : Presión en la succión (N/m²)

v_s : Velocidad del fluido en la succión (m/s)

2.1.13 Altura dinámica de descarga

$$H_d = z_2 + \frac{P_d}{\rho \times g} + \frac{v_d^2}{2g} + (H_{fd} + H_{vad}) \quad (10)$$

Donde:

H_d : Altura dinámica de descarga (m)

z_2 : Altura de descarga (m)

H_{fd} : Pérdidas primarias en la descarga (m)

H_{vad} : Pérdidas secundarias en la descarga (m)

P_d : Presión en la descarga (N/m²)

v_d : Velocidad del fluido en la descarga (m/s)

2.1.14 Altura dinámica total

Se utiliza en sistemas de bombeo para cuantificar la energía requerida por la bomba para vencer las pérdidas de energía y transportar el líquido desde el punto de ingreso hasta el punto salida, bombeando en el proceso.

$$ADT = (z_2 - z_1) + \frac{P_d - P_s}{\rho \times g} + \frac{v_d^2 - v_s^2}{2g} + (H_{fd} + H_{vad} - H_{fs} - H_{vas}) \quad (11)$$

Donde:

ADT: Altura dinámica total (m)

2.1.15 Potencia Hidráulica

Es la cantidad de energía que un fluido en movimiento puede transferir a una bomba hidráulica, se determina mediante la siguiente expresión.

$$P_H = \rho \times g \times Q \times ADT \quad (12)$$

Dónde:

PH: Potencia hidráulica (kW)

ρ : Densidad del agua (kg/m³)

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Q : Caudal (m³/s)

ADT: Altura dinámica total (m)

2.1.16 Potencia al eje

Potencia entregada por el motor al eje de la bomba.

$$BHP = \frac{P_H}{\eta} \quad (13)$$

Donde:

BHP: Potencia al eje (kW)

η : Rendimiento de la bomba (%)

2.1.17 Altura neta de succión positiva

La altura neta de succión disponible (NPSH_D) consiste en la diferencia entre la altura de succión total y la presión de vapor del líquido a ser transportado.

$$NPSH_D = p_o \pm h_g - p_v - (H_{fs+vas}) \quad (14)$$

Dónde:

NPSH_D: Altura neta de succión positiva (m)

p_o: Presión atmosférica absoluta (m)

p_v: Presión de vapor del líquido (m)

h_g: Altura estática del líquido (m)

H_{fs+va}: Pérdidas totales en la succión (m)

2.1.18 Sumergencia mínima

Según la ANSI/HI 9.8-2018 "Rotodynamic Pumps for Pump Intake Design". El cálculo de la sumergencia para prevenir la cavitación y asegurar el funcionamiento adecuado de la bomba utilizando la ecuación 15.

$$S = (1 + F_D)d_i \quad (15)$$

F_D es el número de Froude, calculado de acuerdo con la ecuación 19.

$$F_D = \frac{v}{\sqrt{g \times D_i}} \quad (16)$$

Donde:

S: Sumergencia (m)

v: Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

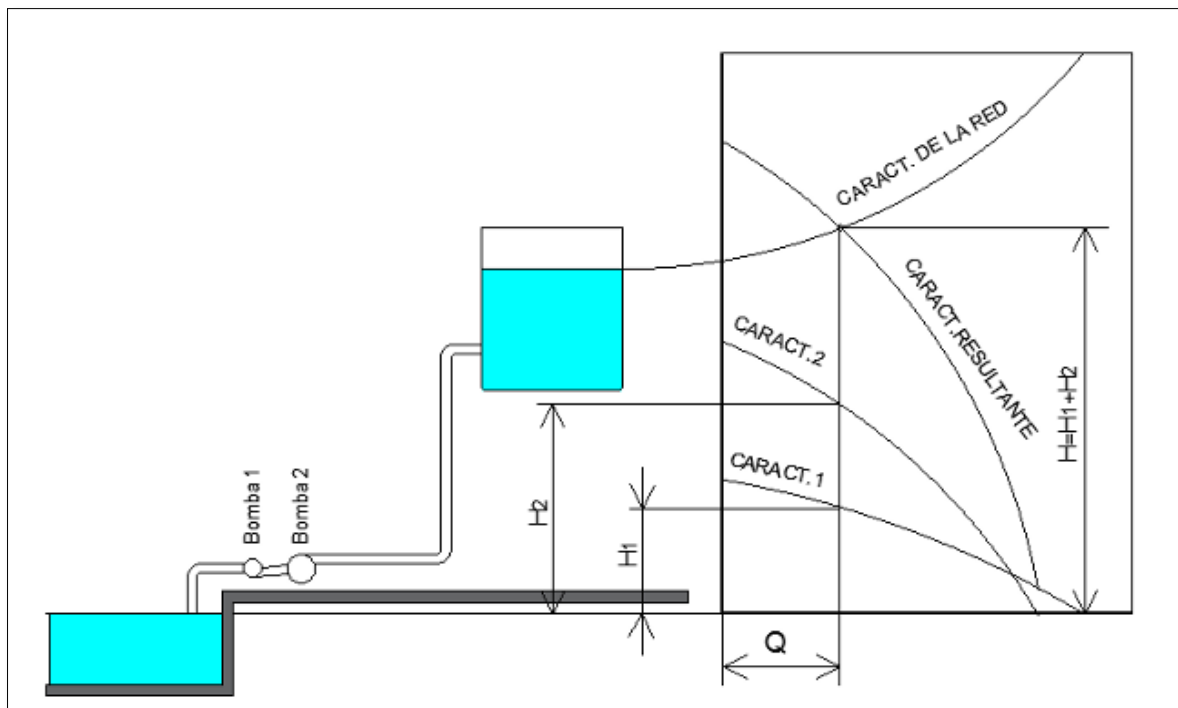
D_i: Diámetro interno de la tubería (m)

2.1.19 Bombas instaladas en serie

Luczczewski (1999) Este tipo de instalación es cuando las bombas se instalan a lo largo de la misma tubería. De esta manera, el caudal bombeado permanece constante para todas las bombas del sistema y como resultante la carga total del sistema es la suma de las cargas de las bombas del sistema.

Figura 7

Bombas instaladas en serie



Fuente: Luczczewski, A. (1999). *Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores, diseño y construcción*.

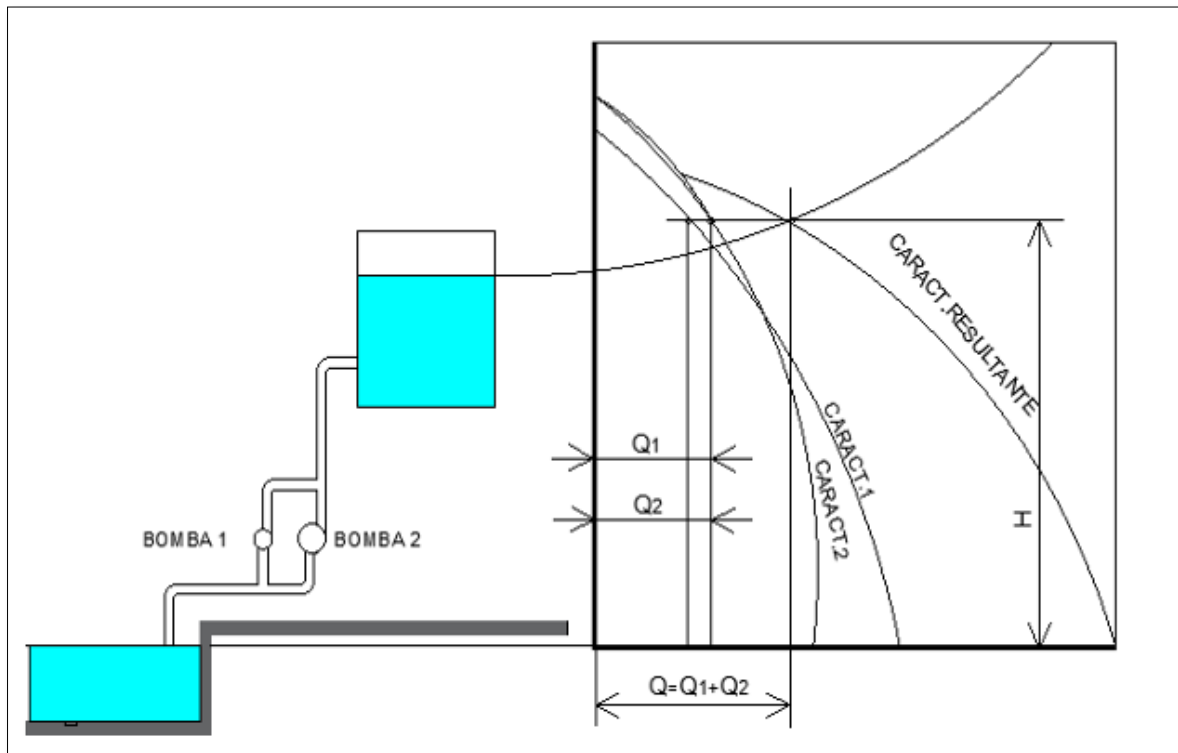
El punto de trabajo resultante del sistema se puede interpretar, para el cálculo, una bomba supuesta que representa la una nueva altura.

2.1.20 Bombas instaladas en paralelo

Luczczewski (1999) Las bombas en paralelo se usan cuando se requiere una demanda mayor. De esta forma se obtiene la curva resultante del conjunto de bombas, manteniendo la misma altura, pero se suman los caudales.

Figura 8

Bombas instaladas en paralelo



Fuente: Luszczeński, A. (1999). *Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores, diseño y construcción*.

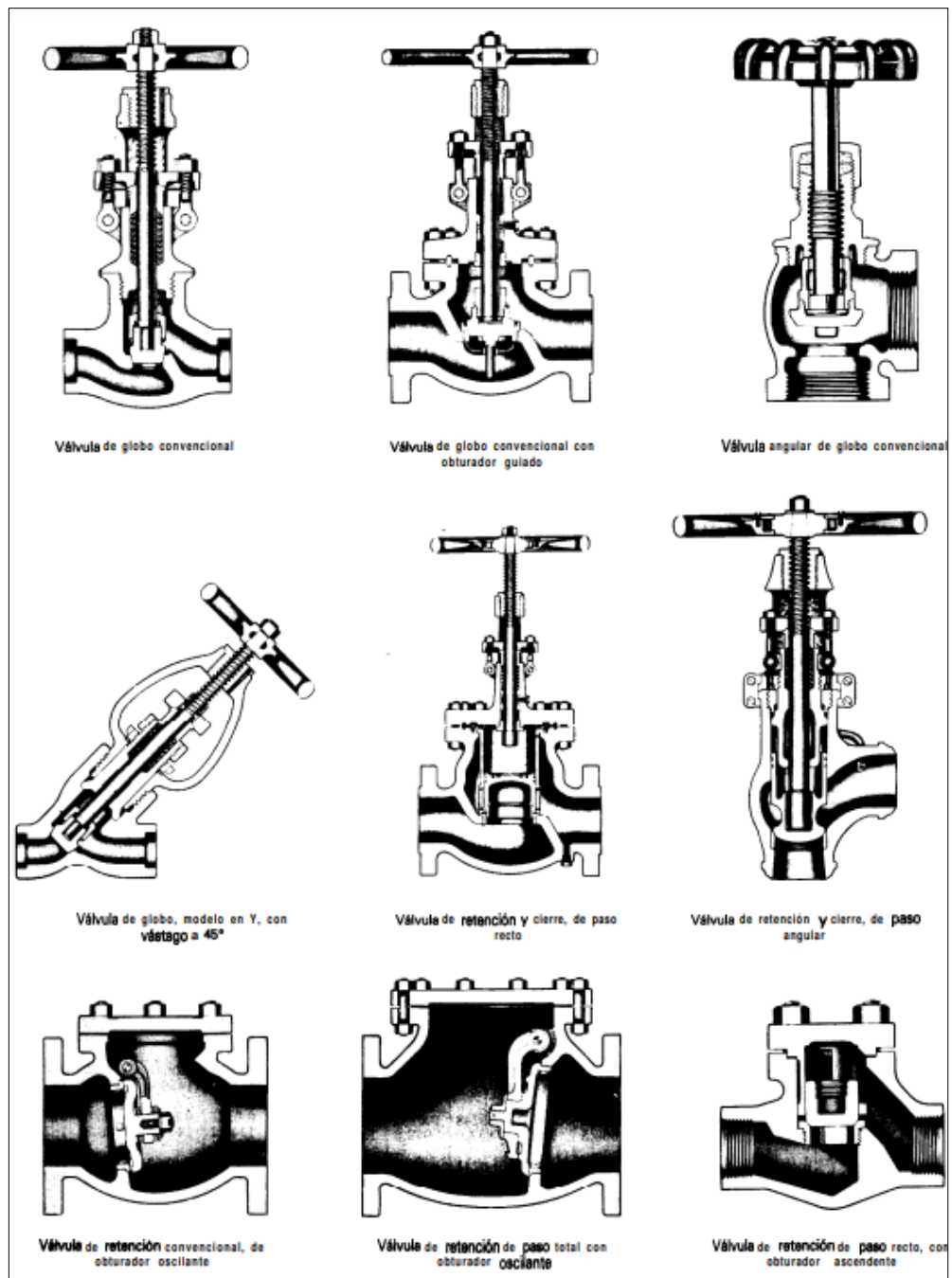
El punto de trabajo resultante del sistema de bombeo en paralelo dependerá de las curvas de operación de las bombas, por eso es conveniente que sean iguales, para evitar que alguna de ellas opere en una zona inadecuada.

2.1.21 Válvulas

Las válvulas son dispositivos mecánicos cuya función es regular el fluido en un sistema de tuberías, se emplean para controlar el caudal de operación. Pueden abrirse, cerrarse o regular el flujo mediante diversos mecanismos.

Figura 9

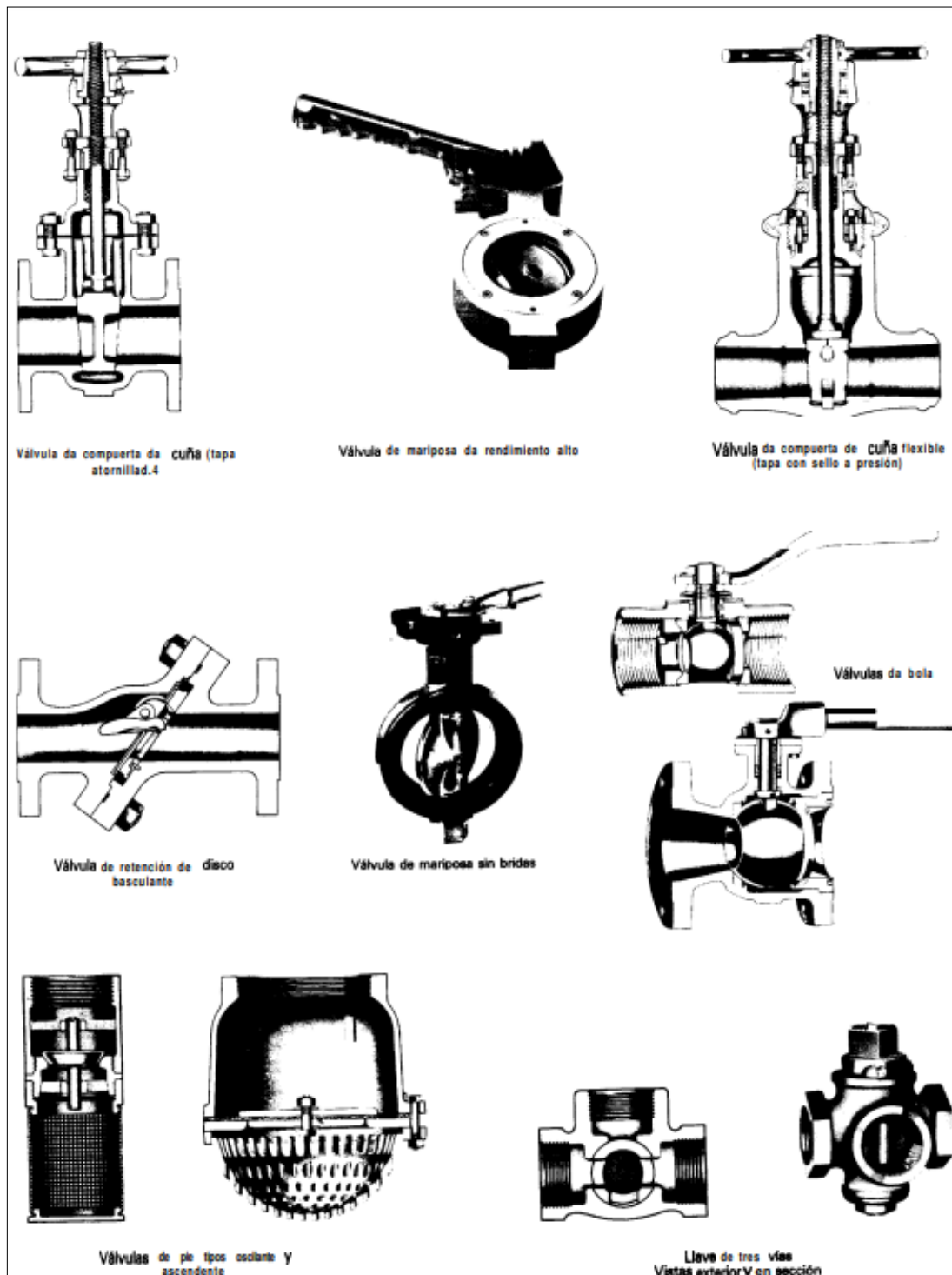
Tipos de válvulas



Fuente: Flow of Fluids - Through Valve, Fittings and Pipes (CRANE, 1999)

Figura 10

Tipos de válvulas



Fuente: Flow of Fluids - Through Valve, Fittings and Pipes (CRANE, 1999)

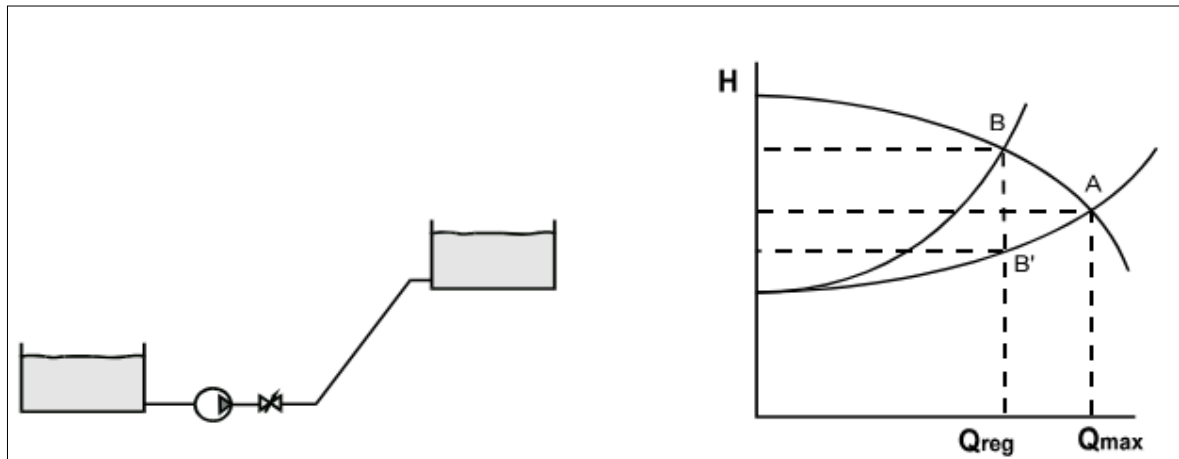
2.1.22 Regulación con válvulas

Un método de regulación del punto de operación, es cuando a medida que se va cerrando la válvula, lo que incrementa la resistencia del flujo. Este aumento en la

resistencia permite que el punto de operación se desplace hacia arriba a lo largo de la curva característica de la bomba, obteniéndose una reducción del caudal.

Figura 11

Regulación con válvula.



Fuente: Blanco Marigorta, E., Velarde Suárez, S., & Fernández Francos, J. (1994). *Sistemas de bombeo*. Universidad de Oviedo, Departamento de Energía.

2.1.23 Celeridad de la onda

La celeridad de la onda es la velocidad a la cual una onda de presión, como el golpe de ariete, se desplaza a lo largo de una tubería, determinada por las características del fluido y del material de la tubería, como su elasticidad y la densidad del fluido.

Según Joukowski, la celeridad de la onda en tuberías se calcula de acuerdo con la ecuación:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{k}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{k}{E} \times \frac{d_i}{t}}} \quad (17)$$

Dónde:

k: Módulo de elástico del fluido (Pa)

ρ : Densidad del fluido	(kg/m ³)
c: Celeridad de onda	(m/s)
di: Diámetro interior de la tubería	(m)
E: Módulo de elasticidad de la tubería	(N/m ²)
t: Espesor de la tubería	(m)

2.1.24 Tiempo de parada de la bomba

El tiempo que toma una bomba en detenerse, se evalúa con la fórmula empírica de Mendiluce.

$$T = C + \frac{K \times L \times v}{g \times ADT} \quad (18)$$

Dónde:

T: Tiempo de cierre de la válvula (s)

L: Longitud total de la tubería de impulsión (m)

v: Velocidad del fluido en la impulsión (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

C: Coeficiente adimensional empírico función a la pendiente de la impulsión.

$$\frac{ADT}{L} < 0.2 \rightarrow C = 1$$

$$\frac{ADT}{L} \approx 0.25 \rightarrow C = 0.8$$

$$\frac{ADT}{L} \approx 0.3 \rightarrow C = 0.6$$

K: Coeficiente adimensional empírico función de la longitud de la impulsión.

$$L < 500 \rightarrow k = 2$$

$$L \approx 500 \rightarrow k = 1.75$$

$$500 < L < 1500 \rightarrow k = 1.5$$

$$L \approx 1500 \rightarrow k = 1.25$$

2.1.25 Tiempo critico

Representa el tiempo que tarda la onda en completar un ciclo.

$$T_c = \frac{2 \times L}{c} \quad (19)$$

Donde:

T_c : Tiempo crítico. (s)

L : Longitud total de la tubería de impulsión. (m).

c : Celeridad de onda. (m/s)

2.1.26 Golpe de ariete en la impulsión

El transitorio rápido o golpe de ariete, se denomina como el aumento de presión que se produce por cambios bruscos que se propagan por la tubería.

2.1.27 Cierre gradual

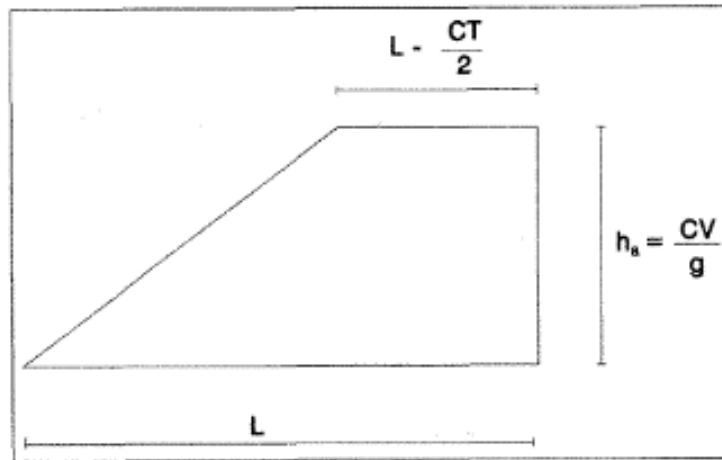
2.1.27.1 Cierre rápido o conducción larga

Situaciones donde el tiempo de parada del agua es menor que el período de propagación de la onda, o cuando su longitud excede la longitud crítica. Por tanto, se aplicará la ecuación de Allievi para calcular la variación de presión.

$$L > L_c \text{ (Conducción larga)} \rightarrow T_c < \frac{2 \times L}{c} \rightarrow \text{Allievi } \Delta H = \frac{c \times v}{g}$$

Figura 12

Distribución de presión por cierre rápido.



Fuente: (Jaraba Lozano, Méndez Navarro, & Salazar Cantor, 2009, p. 14)

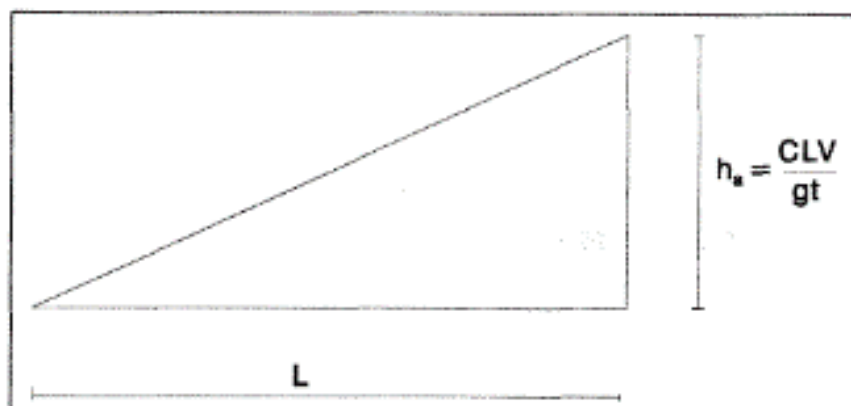
2.1.27.2 Cierre lento o conducción corta

Situaciones donde el tiempo de parada del agua es mayor que el periodo de propagación de la onda, o cuando su longitud es menor que la longitud crítica. Por tanto, se aplicará la ecuación de Michaud para calcular la variación de presión.

$$L < L_c \text{ (Conducción corta)} \rightarrow T_c > \frac{2 \times L}{c} \rightarrow \text{Michaud } \Delta H = \frac{c \times L \times v}{g \times T_c}$$

Figura 13

Distribución de la presión por cierre lento.



Fuente: (Jaraba Lozano, Méndez Navarro, & Salazar Cantor, 2009, p. 14)

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Borde libre

Se le refiere como la distancia o altura desde la superficie del líquido hasta la parte superior de la relavera o recipiente que lo contiene.

2.2.2 Precipitación

La precipitación significa la cantidad de agua, ya en forma líquida o sea en forma sólida, que cae de la atmósfera a la superficie terrestre: lluvia, nieve, granizo y otras formas de agua que descienden.

2.2.3 Relavera

Se usan como depósito de las operaciones de mina para recolectar el agua proveniente del proceso del mineral extraído y lluvias para posteriormente bombearla hacia una planta de tratamiento. La unidad en que se mide la precipitación es altura del agua caída sobre una superficie horizontal, cuya unidad de medida común es el milímetro (mm).

2.2.4 Tratamiento de aguas

Conjunto de operaciones del tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación del presente trabajo corresponde a una investigación aplicada, ya que se centra en mejorar el sistema de bombeo para evacuar las aguas acidas de la relavera. Esto se desarrollará aplicando conocimientos de mecánica de fluido y con el fin de implementar la solución propuesta.

3.2 Diseño

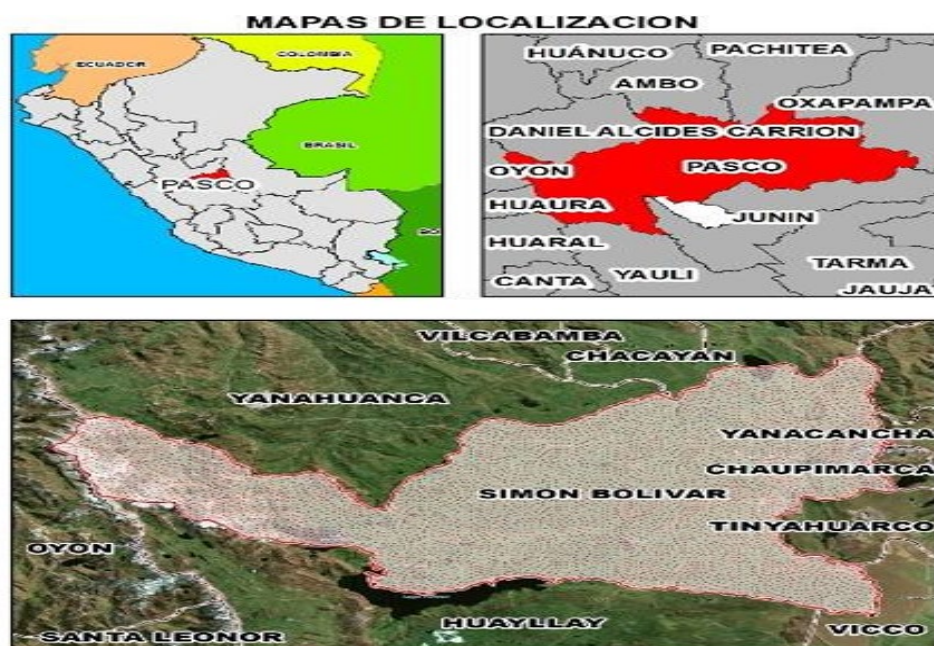
El presente trabajo, con respecto al diseño de investigación, es del tipo correlacional ya que relaciona como influye el control del borde libre y la eficiencia del sistema de bombeo en la evacuación de aguas acidas.

3.3 Unidad de análisis

El presente trabajo de investigación considera como unidad de análisis la Relavera de Quiulacocha.

Figura 14

Ubicación del distrito Simón Bolívar



Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Figura 15

Relavera de Quiulacocha



Fuente: Revista Energiminas (2022).

La relavera Quiulacocha está ubicada a 1.2 km al sur oeste de la ciudad de Cerro de Pasco, en el Distrito de Simón Bolívar, provincia de Pasco, región Pasco, limita con la comunidad urbana de champamarca y comunidad campesina de Quiulacocha.

La altura promedio del lugar es de 4300 msnm, el acceso desde la ciudad de Lima se realiza por la carretera central, a una distancia de 304 km al Noreste de la ciudad de Lima y a 130 km al norte de la ciudad de La Oroya. La temperatura mínima es de 5 °C y la máxima de 19.5°C.

3.4 Etapas de la Investigación

3.4.1 Recopilación de datos

- Condiciones ambientales: Los datos del ambiente (Temperatura, humedad, Altitud y Humedad) con los cuales operará el sistema de bombeo. Los datos fueron recopilados según el Anexo A.1, información brindada por parte de la planta de tratamiento de aguas acidas.
- Condiciones de operación: Los datos de operación del sistema de bombeo (tipo de fluido, caudal de ingreso, caudal de descarga y altura dinámica total). Los fueron

recopilados según el Anexo A.2, información brindada por parte de la planta de tratamiento de aguas acidas.

- Precipitación pluvial: Los datos de precipitación mensual en la relavera de Quiulacocha. Los datos fueron recopilados según el Anexo A.3, información brindada por parte de la planta de tratamiento de aguas acidas.

3.4.2 Procesamiento de los datos:

- Condiciones ambientales: Las condiciones ambientales que fueron procesadas para determinar las condiciones de operación del sistema de bombeo.
- Condiciones de operación: Los datos de operación del sistema de bombeo que fueron procesados para determinar el punto de operación de la bomba.
- Precipitación Pluvial: Los datos de precipitación pluvial que fueron procesados para determinar el caudal diseño del sistema de bombeo.

3.4.3 Análisis de los datos

- Condiciones ambientales: Las condiciones ambientales fueron analizadas para determinar las condiciones de operación del sistema de bombeo.
- Condiciones de operación: Los resultados de la ecuación general de la energía que fueron analizados para obtener el punto de operación de operación de la bomba de acuerdo con su curva.
- Precipitación Pluvial: Los valores de precipitación pluvial que fueron analizados para determinar el caudal diseño del sistema de bombeo.

3.4.4 Limitaciones

El presente trabajo se limita solo al diseño del sistema de bombeo y su impacto para el control nivel de la relavera de Quiulacocha

3.4.5 Matriz de consistencia

Tabla 4

Matriz de consistencia

Problema Principal	Objetivo General	Hipótesis Principal	Variable Independiente
¿En qué medida el análisis del sistema de bombeo de aguas acidas permitirán el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha?	Analizar el sistema de bombeo de aguas acidas para el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha.	El análisis del sistema de bombeo de aguas acidas permite el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha	Análisis de un sistema de bombeo de aguas acidas.
Problema Específico	Objetivo Especifico	Hipótesis Especifico	Variable Independiente
¿De qué manera establecer los parámetros de operación de las bombas?	Determinar los parámetros de operación de las bombas para el caudal bombeado.	Al determinar los parámetros de operación de las bombas se logrará el control del borde libre.	Control del borde libre de la relavera de Quiulacocha
¿Qué características tendrá las de tuberías en el sistema de bombeo?	Establecer las características de las tuberías en el sistema de bombeo mediante el cálculo hidráulico.	Al establecer las características de las tuberías, se obtendrá la correcta operación del sistema bombeo.	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y CÁLCULOS

4.1 Análisis de caudales

Para determinar los caudales máximos de acuerdo a las temporadas, se debe tener en cuenta la capacidad actual de la planta de tratamiento de neutralización de aguas acidas.

En la siguiente figura se muestra la cantidad de agua acida que se extrae de la relavera de Quiulacocha, con la finalidad de mantener el borde libre controlado, el promedio de agua bombeada anual es superior a un millón de m³/año.

Figura 16

Volumen de agua retirada por año.

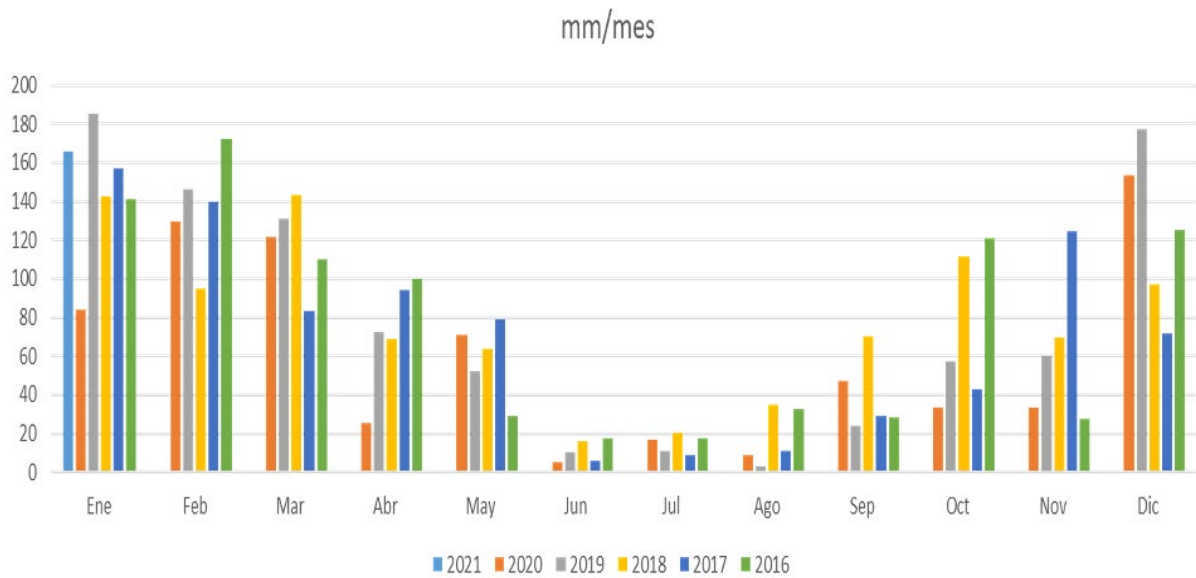


Fuente: Empresa AMSAC.

Se debe tener presente que los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril son los meses de mayor precipitación pluvial, para el cual la planta de tratamiento incrementará su capacidad de operación, mediante las mejoras o incorporación en el equipamiento y así evitar la pérdida de borde libre.

Figura 17

Registro de precipitación mensual



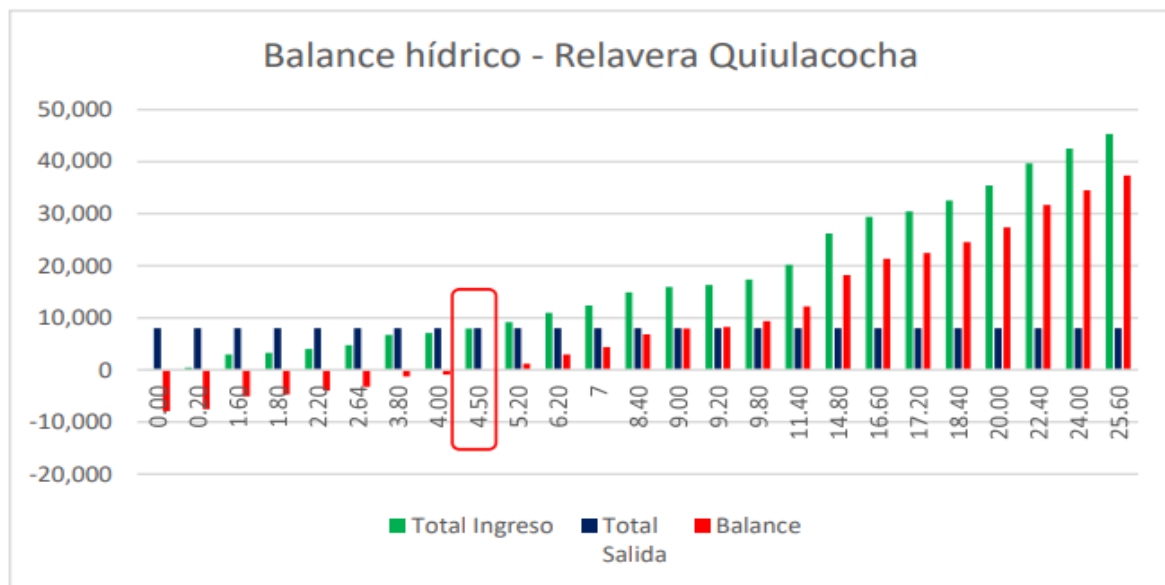
Fuente: Empresa AMSAC.

4.1.1 Capacidad operativa de la planta de neutralización

El balance hídrico, según la figura 18, realizado en la relavera Quiulacocha indica la cantidad de agua que entra y sale de la planta de neutralización durante el año 2021, según lo proporcionado por el departamento de Hidráulica.

Figura 18

Balance hídrico



Fuente: Empresa AMSAC.

De acuerdo a la figura 18 se obtiene que el factor hídrico es de 4.50, representa la cantidad total equivalente a un año, dado que los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril son los meses de mayor precipitación se alcanza la capacidad máxima de la planta de neutralización.

$$V_{mensual} = \frac{V_{anual-2021}}{4.5}$$

$$V_{mensual} = \frac{1,289,408}{4.5} = 286,535.11 \frac{m^3}{mes}$$

$$V_{horas} = \frac{286,535.11 \frac{m^3}{mes}}{30 \text{ días} * 24 \text{ horas}} = 397.96 \frac{m^3}{h}$$

El caudal promedio de tratamiento se ha calculado para 397.96 m³/h, con este caudal, se podrá tratar en promedio 9,500 m³/día de agua de la relavera, es decir para meses lluviosos con promedios mayores a 285,000 m³ /mes.

Para temporadas secas la planta de neutralización operará con un caudal de 250 m³/h. Se muestran los caudales de operación para los meses del año en la tabla 5.

Tabla 5
Caudales de operación

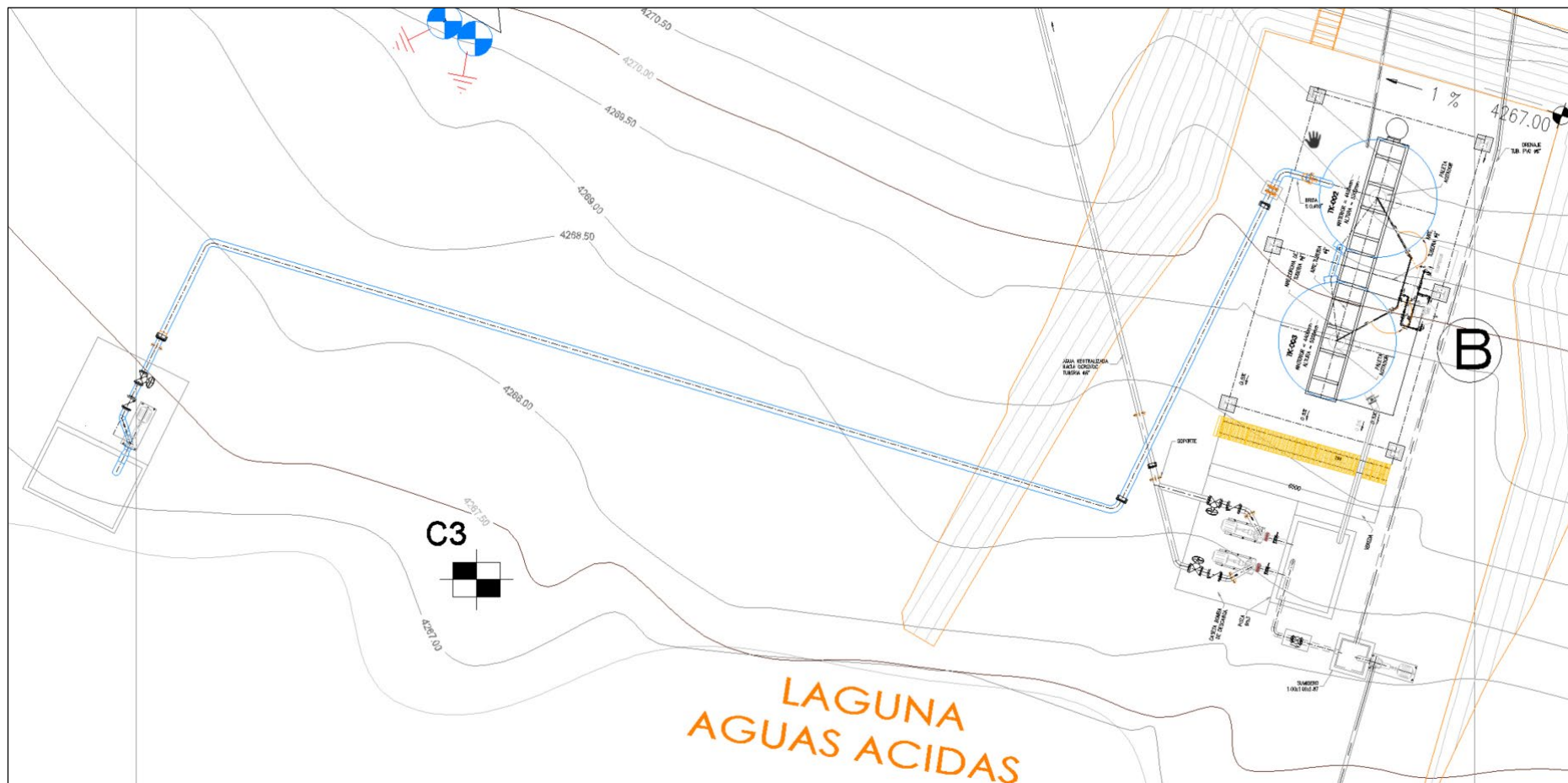
Mes	Q _{operación} (m ³ /h)	Q _{operación} (l/s)
Enero	397.96	110.5
Febrero	397.96	110.5
Marzo	397.96	110.5
Abril	397.96	110.5
Mayo	250	69.4
Junio	250	69.4
Julio	250	69.4
Agosto	250	69.4
Setiembre	250	69.4
Octubre	250	69.4
Noviembre	250	69.4
Diciembre	397.96	110.5

Fuente: Empresa AMSAC.

4.2 Análisis de tubería actual

Figura 19

Trazo de tubería actual – 1 bomba en operación actual.



Fuente: Empresa AMSAC.

En la tabla 6 se muestra las longitudes de tuberías instaladas en el sistema.

Tabla 6

Longitudes de tuberías de succión y descarga

Descripción	Cantidad
Longitud de tubería de succión	5 m
Longitud de tubería de descarga	60 m

Fuente: Elaboración propia

4.3 Criterios de cálculo

Para las tuberías se consideró velocidades recomendadas según la tabla 7.

Tabla 7

Rango de velocidades recomendado

Tipo de servicio	ft/s	m/s
Líneas de succión	2 – 4	0.6 – 1.2
Líneas de descarga	5 – 10	1.5 – 3

Fuente: Adaptado de Sulzer Centrifugal Pump Handbook, (1995), p.172, ítem 6.1.4.2.2: flow velocity delivery pipelines

El caudal de bombeo debe ser mayor o igual al caudal de operación, de esta manera garantizar la operatividad del sistema.

4.4 Parámetros de bombeo

Para realizar los cálculos del sistema de bombeo se consideró los parámetros de la tabla 8.

Tabla 8

Parámetros de bombeo

Descripción	Valor
Tipo de fluido	Agua ácida
Densidad	1.15 g/cm ³
Temperatura del fluido	12 °C
pH del fluido	3.2
Presión de vapor del líquido a 12 °C	0.14 m
Altura estática de succión	-2 m
Presión atmosférica absoluta	6.06 m
Nivel de instalación	4275 - 4268 m. s. n. m.
Longitud de tubería de succión	5 m
Longitud de tubería de descarga	60 m

Fuente: Elaboración propia

Además, para el análisis hidráulico, se consideró las válvulas y accesorios que tiene la instalación actual.

Tabla 9

Válvulas y accesorios en la instalación actual

Descripción	válvulas y accesorios
Tubería de succión	(01) Válvula de pie
	(01) Reducción
	(01) Codo de 90°
	(01) Válvula de retención
Tubería de descarga	(01) Válvula mariposa
	(01) Ampliación
	(04) Codo de 90°
	(04) Codo de 45°

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Cálculo hidráulico – Sistema de bombeo actual

4.5.1 Sistema de bombeo actual

Los cálculos del sistema de bombeo actual se realizan para corroborar el correcto dimensionamiento de la bomba, tuberías y accesorios.

4.5.1.1 Caudal de diseño

$$Q_{diseño\ s1} = fd \times Q_{s1} = 1.1 \times 180 \frac{m^3}{h} = 198 \frac{m^3}{h}$$

El sistema de bombeo actual esta dimensionado para transportar un caudal de diseño $198 \frac{m^3}{h}$.

Las características actuales de las tuberías tanto de la succión y descarga se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Características de tuberías HDPE

Descripción	Succión	Descarga
	HDPE 10" SDR 26	HDPE 6" SDR 26
Diámetro exterior	273.1 mm	168.3 mm
Diámetro interno	252.1 mm	155.3 mm
Espesor	10.49 mm	6.47 mm
Rugosidad absoluta	0.015 mm	0.015 mm
Presión de trabajo	80 psi	80 psi

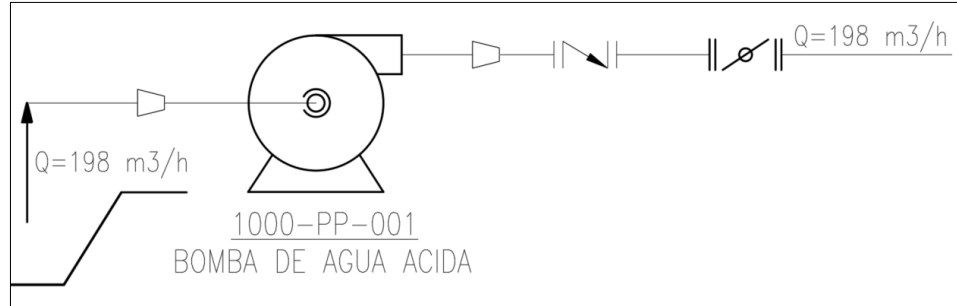
Fuente: AMSAC

4.5.2 Cálculo de ADT

4.5.2.1 Cálculo de ADT del sistema de bombeo actual

Figura 20

1 bomba en operación actual.



Fuente: Elaboración propia.

a) Cálculo de altura dinámica de succión

- Cálculo de la velocidad del fluido

$$v_{s_actual} = \frac{4 \left(198 \frac{m^3}{h} \right) \left(\frac{1h}{3600s} \right)}{\pi (252.1 \times 10^{-3}m)^2} = 1.1 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{s_actual} = \frac{(1150 \frac{kg}{m^3})(252.1 \times 10^{-3}m)(1.1 \frac{m}{s})}{(0.0012 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 266\,184.0 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{s_actual} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.015 \text{ mm}}{\frac{252.1 \times 10^{-3}m}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(266\,184.0)^{0.9}} \right]^2} = 0.0186$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fs_actual} = (5 \text{ m}) \frac{0.0186 \left(1.1 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) (252.1 \times 10^{-3}m)} = 0.01868 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{vas_actual} = (1(2.5) + 1(0.9) + 1(0.25)) \frac{\left(1.1 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right)} = 0.2258 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la succión

$$H_{fs_actual} + H_{vas_actual} = 0.2445 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de succión

$$H_{s_actual} = -2 \text{ m} - 0.2445 + \frac{\left(1.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.18 \text{ m}$$

b) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$v_{d_actual} = \frac{4 \left(198 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (155.3 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 2.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{d_actual} = \frac{(1150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(155.3 \times 10^{-3} \text{ m})(2.9 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0012 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 431\,966.6 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{d_actual} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.015 \text{ mm}}{\frac{155.3 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(431\,966.6)^{0.9}} \right]^2} = 0.0146$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fd_actual} = (60 \text{ m}) \frac{0.0146 \left(2.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (155.3 \times 10^{-3} \text{ m})} = 2.42 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_actual} = (1(2.5) + 1(0.24) + 2(0.4) + 5(0.9)) \frac{\left(2.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 3.58 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la descarga

$$H_{fd_actual} + H_{va_actual} = 6.00 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de descarga

$$H_{d_{s1}} = 7 \text{ m} + 6 \text{ m} + \frac{\left(2.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 13.42 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{s1} = 13.42 \text{ m} - (-2.18 \text{ m}) = 15.61 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H_{s1}} = \left(1150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(198 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) (15.61 \text{ mca}) = 9.7 \text{ kW}$$

c) Resumen de parámetros de operación del sistema de bombeo

Se muestra el resumen del sistema de bombeo actual en la tabla.

Tabla 11

Parámetros de operación de la bomba actual

Descripción	Unidades
Altura estática	7 m
Caudal de diseño	198 m ³ /h
Altura dinámica de descarga	13.42 m
Altura dinámica de Succión	2.18 m
Altura dinámica total	15.61 mca
Potencia hidráulica	9.7 kW

Fuente: Elaboración propia.

d) Bomba en operación actual

La bomba instalada tiene las siguientes características:

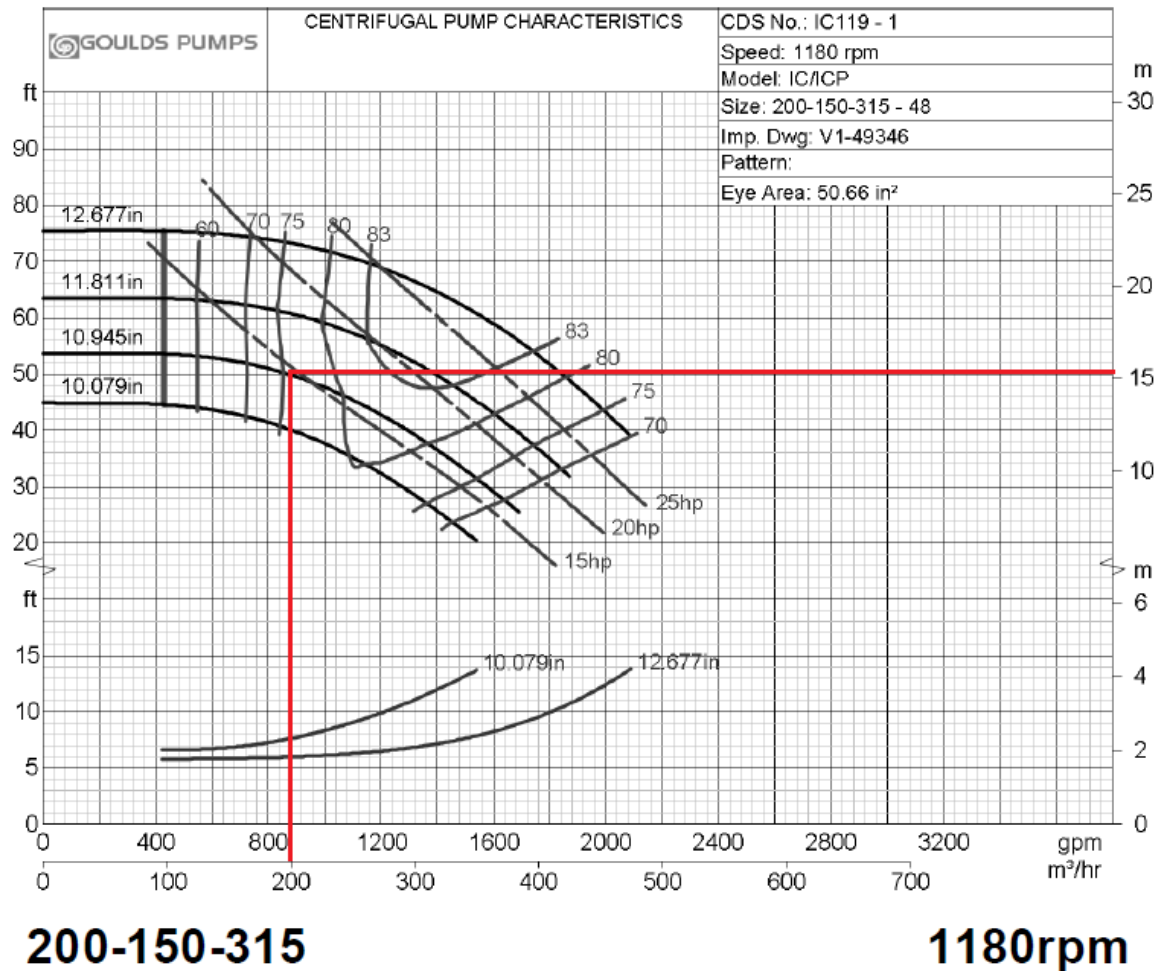
- Tipo: Bomba centrífuga
- Marca: Goulds Pumps
- Modelo: IC/ICP – IC119-1
- Size: 200-150-315-48
- Diámetro succión (in): 8
- Diámetro descarga (in): 6
- RPM: 1180.
- Max. Capacidad de flujo: 2100 GPM

- Tipo de operación: Continua

De acuerdo con los resultados obtenidos se obtiene el punto de operación.

Figura 21

Curva característica de la bomba centrífuga en operación.



Fuente: Adaptado de Goulds Pumps Manual (2013)

Según la gráfica, se verifica el punto de trabajo de la bomba en operación para un caudal de 198 m³/h.

4.6 Clasificación de las bombas hidráulicas

Las bombas se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios. En la siguiente tabla se comparan las características más importantes de las bombas hidráulicas.

Tabla 12*Comparación de las propiedades generales de las bombas*

Parámetro	Bombas de desplazamiento positivo	Bombas Dinámicas
Altura de elevación	Media y alta	Baja y media
Capacidad (caudal)	Poco	Medio y grande
Velocidad (rpm)	Grande	Pequeño
Capacidad para transportar líquido con partículas sólidas	Limitada	Buena
Costos de mantenimiento	Altos	Bajos
Ruido producido	Mayor	Menor
Costo de máquina por unidad de potencia	Alto	Bajo
Tiempo de trabajo sin mantenimiento	Corto	Largo

Fuente: Elaboración propia.

Las bombas dinámicas se clasifican en varios tipos según su diseño y aplicación. En la tabla 13 se muestra las principales características de las bombas dinámicas.

Tabla 13*Principales características de las bombas dinámicas*

Característica	Bombas Centrífugas	Bombas Periféricas
Dirección del Flujo	Radial, axial y mixta	Radial
Principio de Funcionamiento	Impulsor rotatorio que genera flujo y presión	Impulsor con álabes que inducen flujo y presión
Presión Generada	Intermedio	Alto
Caudal	Alto	Bajo
Eficiencia	Alto	Moderada
Aplicaciones Comunes	Suministro de agua, irrigación, procesos industriales, desagüe de aguas residuales	Calderas, sistemas de calefacción, pequeñas transferencias de líquidos
Capacidad de Autocebado	Generalmente no (requiere cebado inicial)	No
Mantenimiento	Moderado	Bajo a moderado
Costo	Moderado	Bajo
Tamaño y Peso	Varía, generalmente más grandes y pesadas	Compactas y ligeras
Eficiencia en Alta Presión	Moderada a alta	Alta
Adaptabilidad	Alta, para diversas aplicaciones	Baja, más especializada

Fuente: Elaboración propia.

Las bombas centrífugas son dispositivos mecánicos que transfieren líquidos mediante un impulsor giratorio que acelera el fluido hacia fuera, creando fuerzas centrífugas que aumentan la presión del líquido.

Los materiales utilizados para la construcción de una bomba centrífuga para diferentes tipos de fluidos, según el proveedor, se muestran en la figura.

Figura 22

Tabla de materiales.

Medio	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Carbon Iron	Carbon Steel	PTFE
Sodium Chloride	E	M	G	M	E
Sodium Chromate	E	E	G	G	E
Sodium Cyanide	E	-	G	G	E
Sodium Fluoride	M	-	X	X	E
Sodium Hydrosulphite	-	-	-	-	E
Sodium Hydroxide (20%)	E	E	E	-	E
Sodium Hydroxide (50% Solution)	E	G	G	-	E
Sodium Hydroxide (80% Solution)	E	X	M	-	E
Sodium Hypochlorite 3 (to 20%)	M	M	X	-	E
Sodium Hypochlorite	-	E	X	X	E
Sodium Hyposulphate	E	E	-	-	E
Sodium Metaphosphate	-	E	G	G	E
Sodium Metasilicate	-	E	M	M	E
Sodium Nitrate	E	E	E	G	E
Sodium Perborate	-	M	G	G	E
Sodium Peroxide	E	E	X	M	E
Sodium Polyphosphate (Mono, Di, Tribasic)	E	E	-	-	E
Sodium Silicate	E	G	-	G	E
Sodium Sulphate	E	E	E	G	E
Sodium Sulphide	E	G	E	G	E
Sodium Sulphite	M	M	E	-	E
Sodium Tetraborate	-	E	-	-	-
Sodium Thiosulphate ("Hypo")	E	E	M	G	E
Sorghum	E	E	E	-	-
Soy Sauce	E	E	X	-	-
Stannic Chloride	X	X	X	X	E
Stannic Fluoborate	-	E	X	-	-
Stannous Chloride	X	M	X	X	E
Starch	E	E	M	M	E
Stearic Acid	E	E	M	M	E
Stoddard Solvent	E	E	G	G	E
Styrene	E	E	-	E	E
Sugar (Liquids)	E	E	G	G	E
Sulphate Liquors	M	M	-	-	-
Sulphur Chloride	X	X	-	-	E
Sulphur Dioxide	E	E	-	-	E
Sulphur Dioxide (Dry)	E	E	E	G	E
Sulphur Trioxide (Dry)	E	M	G	G	E

Medio	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Carbon Iron	Carbon Steel	PTFE
Sulphuric Acid (to 10%)	X	M	X	-	E
Sulphuric Acid (10%-75%)	X	X	X	-	E
Sulphuric Acid 75%-100%	-	X	-	-	E
Sulphurous Acid	M	G	X	X	E
Sulphuryl Chloride	-	-	-	-	E
Syrup	E	E	-	-	-
Tallow	E	E	-	-	-
Tannic Acid	E	E	M	M	E
Tanning Liquors	E	E	-	-	E
Tartaric Acid	E	G	X	X	E
Tetrachlorethane	-	E	-	-	E
Tetrahydrofuran	E	E	X	E	E
Toluene, Toluol	E	E	E	E	E
Tomato Juice	E	E	M	M	E
Trichlorethane	M	E	M	-	E
Trichlorethylene	E	E	M	G	E
Trichloropropane	-	E	-	-	-
Tricresylphosphate	-	E	-	-	E
Triethylamine	-	-	-	-	-
Turpentine	E	E	G	G	E
Urine	E	E	G	-	-
Vegetable Juice	E	E	X	-	-
Vinegar	E	E	M	X	E
Varnish (Use Viton® for Aromatic)	E	E	-	M	E
Water, Acid, Mine	E	E	M	-	-
Water, Distilled, Lab Grade 7	E	E	X	-	E
Water, Fresh	E	E	G	X	E
Water, Salt	E	E	X	-	-
Weed Killers	E	E	-	-	-
Whey	E	E	-	-	-
Whiskey and Wines	E	E	X	X	E
White Liquor (Pulp Mill)	E	E	M	-	E
White Water (Paper Mill)	E	E	-	-	-
Xylene	E	E	E	G	E
Zinc Chloride	E	G	X	X	E
Zinc Hydrosulphite	-	E	X	-	-
Zinc Hydrosulphate	E	E	M	X	E
Zinc Sulphate	E	E	M	X	E

Fuente: Proveedor de Bombas Goulds.

4.7 Cálculo hidráulico – Sistema de bombeo en diseño

4.7.1 Caudal de diseño

El caudal de diseño será de acuerdo con la tabla 5, considerando el factor de diseño.

$$Q_{diseño\ s1} = fd \times Q_{s1} = 1.1 \times 250 \frac{m^3}{h} = 275 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{diseño\ s2} = fd \times Q_{s2} = 1.1 \times 398 \frac{m^3}{h} = 437.8 \frac{m^3}{h}$$

El nuevo sistema esta dimensionado para transportar un caudal de diseño $275 \frac{m^3}{h}$ en temporada seca y un caudal de diseño $437.8 \frac{m^3}{h}$ en temporadas de lluvia.

4.7.2 Cálculo del diámetro de las tuberías

Para determinar el diámetro de las tuberías de succión y descarga se consideró una succión de 1.2 m/s y una velocidad de descarga de 3 m/s.

Partiendo de la ecuación 1:

$$v = \frac{Q}{A} \rightarrow v = \frac{Q}{\pi \times \frac{d_i^2}{4}} \rightarrow d_i = 2 \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot v}}$$

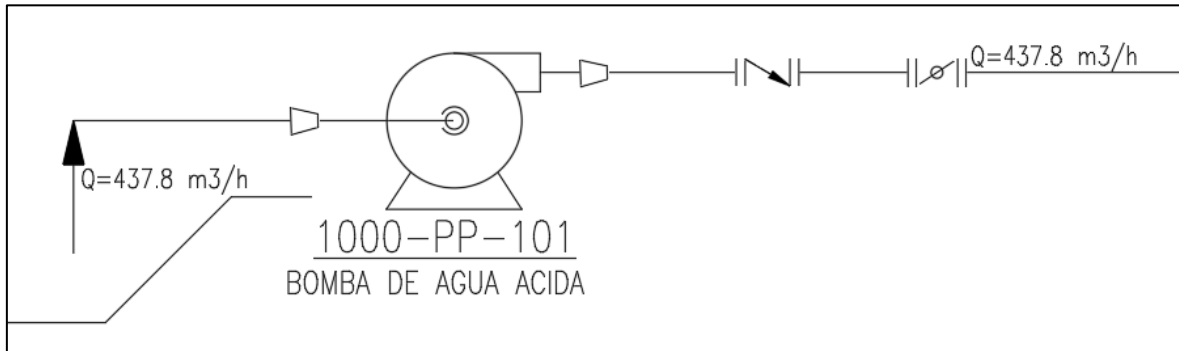
4.7.2.1 Diámetro de tubería de succión y descarga

Para el análisis del diámetro de la tubería de succión, se deberá analizar las 3 alternativas durante la temporada de lluvias y temporada seca.

Alternativa N°1 contempla de una bomba centrifuga horizontal en operación con regulación, con ajustes que se realizará según la temporada.

Figura 23

1 bomba en operación – Alternativa N°1.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura, se realiza el análisis en la succión y descarga con el caudal máximo a transferir.

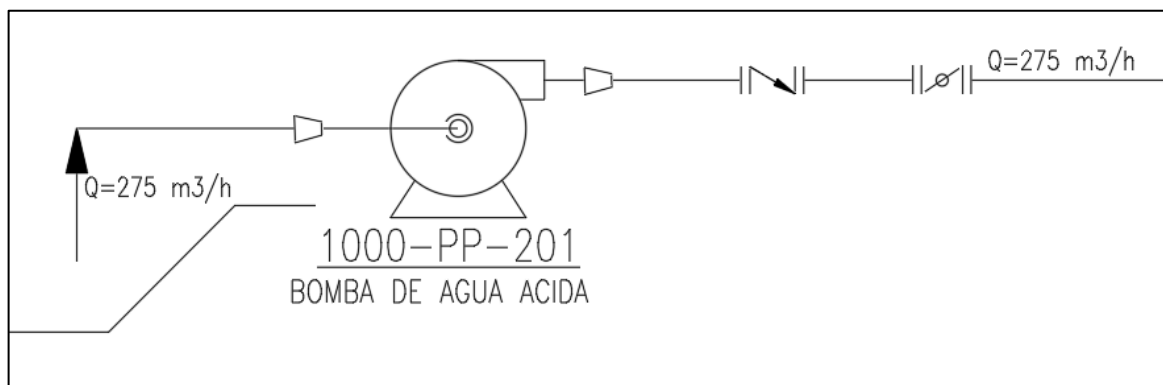
$$di_{succión_1} = 2 \sqrt{\frac{Q_{dmax}}{\pi \cdot v_{max}}} = 2 \sqrt{\frac{\left(437.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}}\right)}{\pi \left(1.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}} = 0.359 \text{ m}$$

$$di_{descarga_1} = 2 \sqrt{\frac{Q_{dmax}}{\pi \cdot v_{max}}} = 2 \sqrt{\frac{\left(437.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}}\right)}{\pi \left(3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}} = 0.227 \text{ m}$$

Alternativa N°2 contempla 2 bombas centrífugas horizontales con una configuración en paralelo, con una operación con regulación y ajustes que se realizará según la temporada.

Figura 24

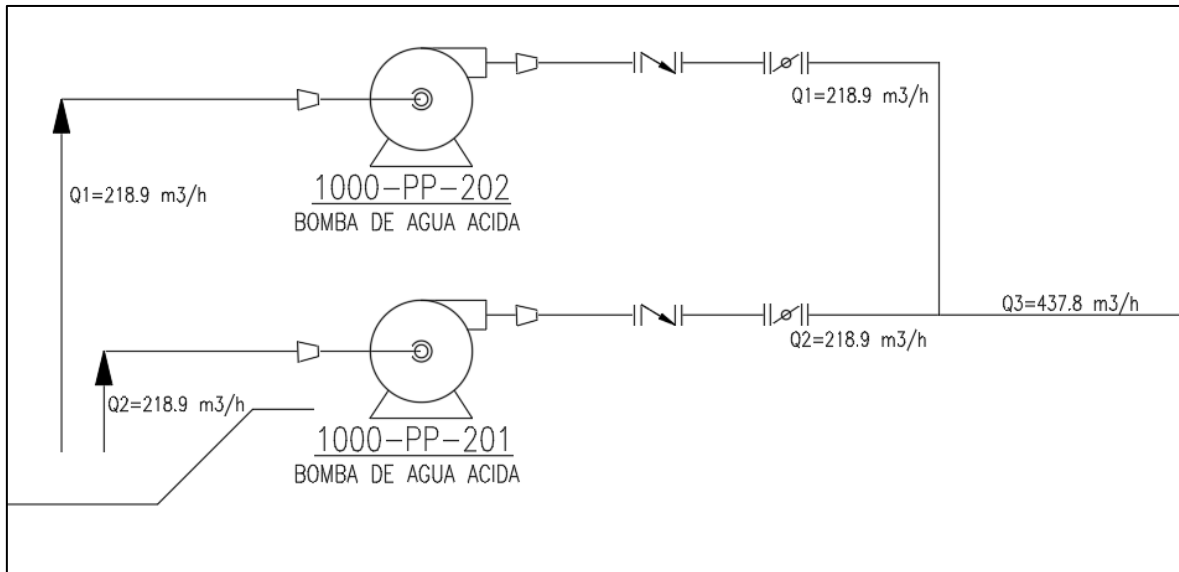
1 bomba en operación – Alternativa N°2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

2 bombas en paralelo en operación – Alternativa N°2.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los graficos, se realiza el análisis donde presente mayor caudal, es decir, cuando solo se encuentre 1 bomba en operación.

$$di_{succión_2} = 2 \sqrt{\frac{Q_{dmax}}{\pi \cdot v_{max}}} = 2 \sqrt{\frac{\left(275 \frac{m^3}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)}{\pi \left(1.2 \frac{m}{s}\right)}} = 0.284 m$$

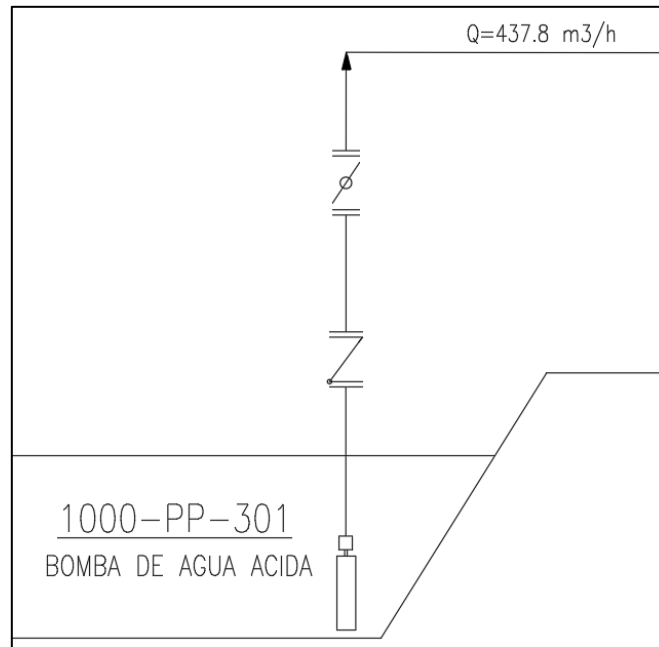
Para el análisis de la descarga donde presenta mayor caudal, es cuando se encuentra las 2 bombas en operación.

$$di_{descarga_2} = 2 \sqrt{\frac{Q_{dmax}}{\pi \cdot v_{max}}} = 2 \sqrt{\frac{\left(437.8 \frac{m^3}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)}{\pi \left(3 \frac{m}{s}\right)}} = 0.227 m$$

Alternativa N°3 contempla una bomba centrífuga sumergible, con una operación con regulación y ajustes que se realizará según la temporada.

Figura 26

1 bomba en operación – Alternativa N°3.



Fuente: Elaboración propia.

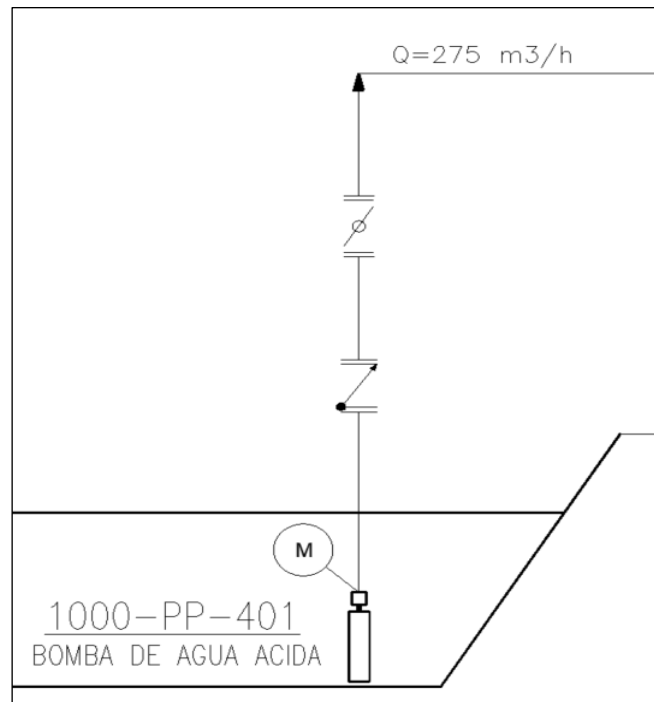
De acuerdo con la figura, se realiza el análisis para la descarga con el caudal máximo a transferir.

$$di_{descarga_3} = 2 \sqrt{\frac{Q_{dmax}}{\pi \cdot v_{max}}} = 2 \sqrt{\frac{\left(437.8 \frac{m^3}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)}{\pi \left(3 \frac{m}{s}\right)}} = 0.227 m$$

Alternativa N°4 contempla 2 bombas sumergibles con una configuración en paralelo, con una operación con regulación y ajustes que se realizará según la temporada.

Figura 27

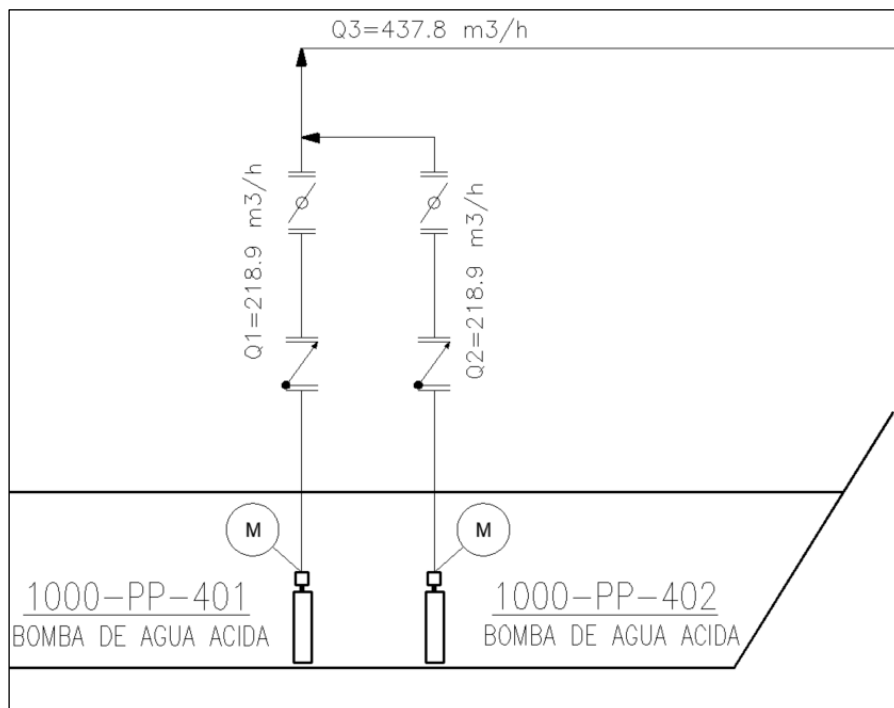
1 bomba en operación – Alternativa N°4.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28

2 bombas en paralelo en operación – Alternativa N°4.



Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de la descarga donde presenta mayor caudal, es cuando se encuentra las 2 bombas en operación.

$$di_{descarga_4} = 2 \sqrt{\frac{Q_{dmax}}{\pi \cdot v_{max}}} = 2 \sqrt{\frac{\left(437.8 \frac{m^3}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)}{\pi \left(3 \frac{m}{s}\right)}} = 0.227 \text{ m}$$

Según los cálculos realizados, se seleccionó las tuberías de acuerdo a diámetros normalizados.

4.7.3 Selección de material de tubería

Para la selección del material de tubería a utilizar, se debe tener presente los siguientes criterios:

- Condiciones del área del proyecto
- Resistencia a la corrosión provocada por el agua ácida.

Resistencia química de materiales

Fuente: Proindecsa.

Figura 30

Dimensiones de tubería de polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD)

		(1) Relación estándar de dimensión SDR																	
		32.5	26	21	17	15.5	13.5	11	9.3	9	8.3	7.3							
Presión de Trabajo (Psi)	PE-3608	51	64	80	100	110	128	160	193	200	219	254							
	PE-4710	63	80	100	125	138	160	200	241	250	274	317							
DN (Pulg.)	DN Equiv (mm)	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/m	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/m	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/m	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/m	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/m	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/m	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/m	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/m	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/m
2"	60.3	-	-	2.3	0.42	2.9	0.52	3.6	0.63	3.9	0.69	4.5	0.79	5.5	0.95	6.5	1.11	6.7	1.14
3	88.9	2.7	0.76	3.4	0.94	4.2	1.15	5.2	1.40	5.7	1.52	6.6	1.73	8.1	2.08	9.6	2.41	9.9	2.48
4	114.3	3.5	1.24	4.4	1.54	5.4	1.89	6.7	2.31	7.4	2.52	8.5	2.86	10.4	3.44	12.3	3.98	12.7	4.10
5	136.5	4.2	1.77	5.3	2.21	6.5	2.70	8.0	3.29	8.8	3.59	10.1	4.70	12.4	4.90	14.7	5.68	15.2	5.85
5 1/2	141.3	4.3	1.90	5.4	2.36	6.7	2.89	8.3	3.53	9.1	3.84	10.5	4.36	12.8	5.25	15.2	6.09	15.7	6.27
6	168.3	5.2	2.70	6.5	3.35	8.0	4.10	9.9	5.00	10.9	5.45	12.5	6.19	15.3	7.45	18.1	8.64	18.7	8.89
7	181.0	5.6	3.12	7.0	3.87	8.6	4.75	10.7	5.80	11.7	6.31	13.4	7.16	16.5	8.62	19.5	9.99	20.1	10.28
8	219.1	6.7	4.57	8.4	5.68	10.4	6.95	12.9	8.48	14.1	9.24	16.2	10.49	19.9	12.63	23.6	14.64	24.3	14.79
10	273.1	8.4	7.12	10.5	8.80	13.0	10.80	16.1	12.87	17.6	14.36	20.2	15.95	24.8	19.62	29.4	22.75	30.3	22.97
12	323.8	10.0	9.99	12.4	12.39	15.4	14.84	19.1	18.53	20.9	19.85	24.0	22.92	29.4	27.58	34.8	31.98	36.0	32.91
13	339.7	10.5	11.02	13.1	13.63	16.2	16.72	20.0	20.39	21.9	22.22	25.2	25.23	30.9	30.36	36.5	35.2	37.7	36.22
14	355.6	10.9	12.07	13.7	14.93	16.9	17.89	20.9	21.84	22.9	23.91	26.3	27.64	32.3	32.60	38.2	38.57	39.5	39.68
16	406.4	12.5	15.74	15.6	19.51	19.4	23.92	23.9	28.52	26.2	31.8	30.1	35.34	36.9	42.59	43.7	50.38	45.2	51.83
18	457.2	14.1	19.94	17.6	24.70	21.8	29.58	26.9	36.93	29.5	39.53	33.9	44.73	41.6	54.00	49.2	63.78	50.8	65.60
20	508.0	15.6	26.60	19.5	29.77	24.2	36.52	29.9	44.58	32.8	48.80	37.6	55.22	46.2	67.88	54.6	78.71	56.4	79.87
																		61.2	86.80
																		-	-

Fuente: Cidelsa

De acuerdo con la figura 29, se seleccionó tuberías HDPE para la succión y descarga.

Para la alternativa N°1, luego de calcularse el diámetro interno mínimo se realiza un comparativo con la figura 29 para la preselección del diámetro nominal de la tubería. Por lo tanto, el diámetro interno calculado para la succión es 359 mm y para la descarga es de 227 mm. Asimismo, se realizó el comparativo obteniéndose tubería de 16" para la succión y 10" para la descarga.

Las características se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14

Características de tuberías HDPE – Alternativa N°1

Descripción	Succión	Descarga
	HDPE 16" SDR 21	HDPE 10" SDR 17
Diámetro exterior	406.4 mm	273.1 mm
Diámetro interno	367.7 mm	241.0 mm
Espesor	19.355 mm	16.05 mm
Rugosidad absoluta	0.015 mm	0.015 mm
Presión de trabajo	100 psi	125 psi

Nota: Adaptado de <https://www.cidelsa.com/es/>

Para la alternativa N°2, luego de calcularse el diámetro interno mínimo se realiza un comparativo con la figura 28 para la preselección del diámetro nominal de la tubería. Por lo tanto, el diámetro interno calculado para la succión es 284 mm y para la descarga es de 227 mm. Asimismo, se realizó el comparativo obteniéndose tubería de 12" para la succión y 10" para la descarga.

Las características se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 15

Características de tuberías HDPE – Alternativa N°2

Descripción	Succión	Descarga
	HDPE 12" SDR 26	HDPE 10" SDR 17
Diámetro exterior	323.8 mm	273.1 mm
Diámetro interno	299.0 mm	241.0 mm
Espesor	12.40 mm	16.05 mm
Rugosidad absoluta	0.015 mm	0.015 mm
Presión de trabajo	80 psi	125 psi

Nota: Adaptado de <https://www.cidelsa.com/es/>

Para la alternativa N°3 y 4, luego de calcularse el diámetro interno mínimo se realiza un comparativo con la figura 28 para la preselección del diámetro nominal de la tubería. Por lo tanto, el diámetro interno calculado para la descarga es de 227 mm. Asimismo, se realizó el comparativo obteniéndose tubería de 10" para la descarga.

Las características se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 16

Características de tuberías HDPE – Alternativa N°3

Descripción	Descarga
	HDPE 10" SDR 17
Diámetro exterior	273.1 mm
Diámetro interno	241.0 mm
Espesor	16.05 mm
Rugosidad absoluta	0.015 mm
Presión de trabajo	125 psi

Nota: Adaptado de <https://www.cidelsa.com/es/>

Tabla 17**Características de tuberías HDPE – Alternativa N°4**

Descripción	Descarga
	HDPE 10" SDR 17
Diámetro exterior	273.1 mm
Diámetro interno	241.0 mm
Espesor	16.05 mm
Rugosidad absoluta	0.015 mm
Presión de trabajo	125 psi

Nota: Adaptado de <https://www.cidelsa.com/es/>

4.7.4 Cálculo de la Altura dinámica total en temporadas de lluvias.

4.7.4.1 Cálculo de ADT – Alternativa N°1

a) Cálculo de altura dinámica de succión

- Cálculo de la velocidad del fluido

$$v_{succión_1} = \frac{4 \left(437.8 \frac{m^3}{h} \right) \left(\frac{1h}{3600s} \right)}{\pi (367.7 \times 10^{-3}m)^2} = 1.14 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{succión_1} = \frac{(1150 \frac{kg}{m^3})(367.7 \times 10^{-3}m)(1.14 \frac{m}{s})}{(0.0012 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 403\,569.3 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{succión_1} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.015 \text{ mm}}{367.7 \times 10^{-3}m} \right) + \frac{5.74}{(403\,569.3)^{0.9}} \right]^2} = 0.0141$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fsucción_1} = (5 \text{ m}) \frac{0.0141 \left(1.14 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) (367.7 \times 10^{-3}m)} = 0.0128 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{vasucción_1} = (1(2.5) + 1(0.9) + 1(0.25)) \frac{\left(1.14 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right)} = 0.244 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la succión

$$H_{fsucción_1} + H_{vasucción_1} = 0.256 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de succión

$$ADT_{succión_1} = -2 \text{ m} - 0.256 + \frac{\left(1.14 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.19 \text{ m}$$

b) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$v_{descarga_1} = \frac{4 \left(437.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{descarga_1} = \frac{\left(1150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m}) \left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{\left(0.0012 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}\right)} = 615\,734.8 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{descarga_1} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.015 \text{ mm}}{\frac{241.0 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(615\,734.8)^{0.9}} \right]^2} = 0.0135$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fsdescarga_1} = (60 \text{ m}) \frac{0.0135 \left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})} = 1.22 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_{descarga_1}} = \left(1(2.5) + 1(0.24) + 2(0.4) + 5(0.9)\right) \frac{\left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 3.02 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la descarga

$$H_{fsdescarga_1} + H_{va_{descarga_1}} = 4.24 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de descarga

$$ADT_{descarga_1} = 7 \text{ m} + 4.24 \text{ m} + \frac{\left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 11.61 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{alternativa_1} = 11.61 \text{ m} - (-2.17 \text{ m}) = 13.80 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H_{alternativa_1}} = \left(1150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(437.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) (13.80 \text{ mca}) = 18.91 \text{ kW}$$

- Cálculo del NPSH del sistema

$$\text{NPSH}_{D_{alternativa_1}} = (6.06 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.14 \text{ m} - 0.25 \text{ m}) = 3.67 \text{ m}$$

4.7.4.2 Cálculo de ADT – Alternativa N°2

c) Cálculo de altura dinámica de succión

- Cálculo de la velocidad del fluido

$$v_{succión_2} = \frac{4 \left(\frac{437.8 \text{ m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (299.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 0.86 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$\text{Re}_{succión_2} = \frac{\left(1150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (299.0 \times 10^{-3} \text{ m}) \left(0.86 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{(0.0012 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 248\,141.1 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{succión_2} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.015 \text{ mm}}{\frac{299.0 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}}\right) + \frac{5.74}{(248\,141.1)^{0.9}} \right]^2} = 0.0153$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{f_{succión_2}} = (5 \text{ m}) \frac{0.0153 \left(0.86 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (299.0 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.00979 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{vasucción_2} = (2(2.5) + 2(0.9) + 2(0.25)) \frac{\left(0.86 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 0.279 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la succión

$$H_{fsucción_2} + H_{vasucción_2} = 0.288 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de succión

$$H_{succión_2} = -2 \text{ m} - 0.289 + \frac{\left(0.86 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = -2.25 \text{ m}$$

d) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$v_{descarga_2} = \frac{4 \left(437.8 \frac{m^3}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)}{\pi (241.0 \times 10^{-3}m)^2} = 2.67 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{descarga_2} = \frac{\left(1150 \frac{kg}{m^3}\right) (247.1 \times 10^{-3}m) \left(2.67 \frac{m}{s}\right)}{\left(0.0012 \frac{Pa \cdot s}{m^2}\right)} = 615\,719.5 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{d_{descarga_2}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{241.0 \times 10^{-3}m}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(615\,719.5)^{0.9}} \right]^2} = 0.0136$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fd_{descarga_2}} = (60 \text{ m}) \frac{0.0136 \left(2.67 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (241.0 \times 10^{-3}m)} = 1.22 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_{descarga_2}} = (1(1.5) + 4(0.9) + 4(0.4) + 2(0.24) + 2(2.5)) \frac{\left(2.67 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 4.74 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la descarga

$$H_{fdescarga_2} + H_{vdescarga_2} = 5.96 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de descarga

$$H_{descarga_2} = 7 \text{ m} + 5.36 + \frac{\left(2.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 13.32 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{alternativa_2} = 13.32 \text{ m} - (-2.25 \text{ m}) = 15.57 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H2_diseño} = \left(1150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(437.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) (15.57 \text{ mca}) = 10.7 \text{ kW}$$

- Cálculo del NPSH del sistema

$$NPSH_{D_{alternativa_2}} = (6.06 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.14 \text{ m} - 0.28 \text{ m}) = 3.64 \text{ m}$$

4.7.4.3 Cálculo de ADT – Alternativa N°3

e) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$V_{descarga_3} = \frac{4 \left(437.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{descarga_3} = \frac{\left(1150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m}) \left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{(0.0012 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 615\,734.8 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{descarga_3} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.015 \text{ mm}}{\frac{241.0 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(615\,734.8)^{0.9}} \right]^2} = 0.0135$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fsdescarga_3} = (60 \text{ m}) \frac{0.0135 \left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})} = 1.22 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_{descarga_3}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 2(0.4) + 5(0.9)) \frac{\left(2.67 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 3.02 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la descarga

$$H_{fs_{descarga_3}} + H_{va_{descarga_3}} = 4.24 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de descarga

$$ADT_{descarga_3} = 7 \text{ m} + 4.24 \text{ m} + \frac{\left(2.67 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 11.61 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{alternativa_3} = 11.61 \text{ m} - (0 \text{ m}) = 11.61 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H_{alternativa_3}} = \left(1150 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \left(437.8 \frac{m^3}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right) (11.61 \text{ mca}) = 15.91 \text{ kW}$$

4.7.4.4 Cálculo de ADT – Alternativa N°4

f) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$v_{descarga_4} = \frac{4 \left(437.8 \frac{m^3}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)}{\pi (241.0 \times 10^{-3} m)^2} = 2.67 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{descarga_4} = \frac{\left(1150 \frac{kg}{m^3}\right) (241.0 \times 10^{-3} m) \left(2.67 \frac{m}{s}\right)}{\left(0.0012 \frac{Pa \cdot s}{m^2}\right)} = 615\,734.8 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{d_{descarga_4}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{241.0 \times 10^{-3} m}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(584\,096.3)^{0.9}} \right]^2} = 0.0135$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fdescarga_4} = (60 \text{ m}) \frac{0.0135 \left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})} = 1.22 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_{descarga_4}} = (1(1.5) + 5(0.9) + 2(0.4) + 2(0.24) + 2(2.5) + 1(0.3)) \frac{\left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$= 4.56 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la descarga

$$H_{fdescarga_4} + H_{va_{descarga_4}} = 5.78 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de descarga

$$H_{descarga_4} = 7 \text{ m} + 5.78 + \frac{\left(2.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 13.14 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{alternativa_4} = 13.3 \text{ m} - (0 \text{ m}) = 13.3 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H4_diseño} = \left(1150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(437.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) (13.14 \text{ mca}) = 18.01 \text{ kW}$$

4.7.5 Cálculo de la Altura dinámica total en temporadas secas

4.7.5.1 Cálculo de ADT – Alternativa N°1

g) Cálculo de altura dinámica de succión

- Cálculo de la velocidad del fluido

$$V_{succión_1} = \frac{4 \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (367.7 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 0.72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{succión_1} = \frac{\left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (367.7 \times 10^{-3} \text{ m}) \left(0.72 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{\left(0.0011 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}\right)} = 240\,472.7 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{succión_1} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.015 \text{ mm}}{\frac{367.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(240\,472.7)^{0.9}} \right]^2} = 0.0153$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fsucción_1} = (5 \text{ m}) \frac{0.0153 \left(0.72 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (367.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.0055 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{vasucción_1} = (1(2.5) + 1(0.9) + 1(0.25)) \frac{\left(0.72 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.096 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la succión

$$H_{fsucción_1} + H_{vasucción_1} = 0.101 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de succión

$$ADT_{succión_1} = -2 \text{ m} - 0.101 + \frac{\left(0.72 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.08 \text{ m}$$

h) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$V_{descarga_1} = \frac{4 \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{descarga_1} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(241.0 \times 10^{-3} \text{ m})(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0011 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 366\,894.6 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{descarga_1} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.015 \text{ mm}}{\frac{241.0 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(366\,894.6)^{0.9}} \right]^2} = 0.0145$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fs_{descarga_1}} = (60 \text{ m}) \frac{0.0145 \left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.52 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_{descarga_1}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 4(0.4) + 4(0.9)) \frac{\left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 1.12 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la descarga

$$H_{fs_{descarga_1}} + H_{va_{descarga_1}} = 1.64 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de descarga

$$ADT_{descarga_1} = 7 \text{ m} + 1.64 \text{ m} + \frac{\left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 8.78 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{alternativa_1} = 8.78 \text{ m} - (-2.08 \text{ m}) = 10.86 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H_{alternativa_1}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) (10.86 \text{ mca}) = 8.13 \text{ kW}$$

- Cálculo del NPSH del sistema

$$\text{NPSH}_{D_{alternativa_1}} = (6.06 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.14 \text{ m} - 0.101 \text{ m}) = 3.82 \text{ m}$$

4.7.5.2 Cálculo de ADT – Alternativa N°2

i) Cálculo de altura dinámica de succión

- Cálculo de la velocidad del fluido

$$v_{succión_2} = \frac{4 \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (299.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 1.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$\text{Re}_{succión_2} = \frac{\left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (299.0 \times 10^{-3} \text{ m}) \left(1.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{(0.0011 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 295\,717.1 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{succión_2} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.015 \text{ mm}}{\frac{299.0 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(295\,717.1)^{0.9}} \right]^2} = 0.0149$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{f_{succión_2}} = (5 \text{ m}) \frac{0.0149 \left(1.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (299.0 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.015 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{vas_{succión_2}} = (1(2.5) + 1(0.9) + 1(0.25)) \frac{\left(1.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.21 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la succión

$$H_{f_{succión_2}} + H_{vas_{succión_2}} = 0.23 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de succión

$$H_{succión_2} = -2 \text{ m} - 0.23 + \frac{\left(1.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.17 \text{ m}$$

j) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$v_{descarga_2} = \frac{4 \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{descarga_2} = \frac{\left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (247.1 \times 10^{-3} \text{ m}) \left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{\left(0.0011 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}\right)} = 366\,894.6 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{d_{descarga_2}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{241.0 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(366\,894.6)^{0.9}} \right]^2} = 0.0145$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fdescarga_2} = (60 \text{ m}) \frac{0.0145 \left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.52 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{vadescarga_2} = (4(0.9) + 4(0.4) + 1(0.24) + 1(2.5)) \frac{\left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 1.18 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la descarga

$$H_{fdescarga_2} + H_{vadescarga_2} = 1.69 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de descarga

$$H_{descarga_2} = 7 \text{ m} + 1.69 + \frac{\left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 8.84 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{alternativa_2} = 8.84 \text{ m} - (-2.17 \text{ m}) = 11.01 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H2_diseño} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) (11.01 \text{ mca}) = 8.24 \text{ kW}$$

- Calculo del NPSH del sistema

$$NPSH_{D_{alternativa_2}} = (6.06 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.14 \text{ m} - 0.21 \text{ m}) = 3.71 \text{ m}$$

4.7.5.3 Cálculo de ADT – Alternativa N°3

k) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$v_{descarga_3} = \frac{4 \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{descarga_3} = \frac{\left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m}) \left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{\left(0.0011 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}\right)} = 366\,894.6 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{descarga_3} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.015 \text{ mm}}{\frac{241.0 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(366\,894.6)^{0.9}} \right]^2} = 0.0145$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fs_{descarga_3}} = (60 \text{ m}) \frac{0.0145 \left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.52 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_{descarga_3}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 4(0.4) + 4(0.9)) \frac{\left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 1.12 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la descarga

$$H_{fs_{descarga_3}} + H_{va_{descarga_3}} = 1.64 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de descarga

$$ADT_{descarga_3} = 7 \text{ m} + 1.64 \text{ m} + \frac{\left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 8.78 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{alternativa_3} = 8.78 \text{ m} - (0 \text{ m}) = 8.78 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H_{alternativa_3}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) (8.78 \text{ mca}) = 6.57 \text{ kW}$$

4.7.5.4 Cálculo de ADT – Alternativa N°4

I) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$v_{descarga_4} = \frac{4 \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)}{\pi (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{descarga_4} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(241.0 \times 10^{-3} \text{m})(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0011 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 366\,894.6 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{d_{descarga_4}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{241.0 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(366\,894.6)^{0.9}} \right]^2} = 0.0145$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fd_{descarga_4}} = (60 \text{ m}) \frac{0.0145 \left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (241.0 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.52 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_{descarga_4}} = (4(0.9) + 4(0.4) + 1(0.24) + 1(2.5)) \frac{\left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 1.18 \text{ m}$$

- Pérdidas totales en la descarga

$$H_{fd_{descarga_4}} + H_{va_{descarga_4}} = 1.69 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica de descarga

$$H_{descarga_4} = 7 \text{ m} + 1.69 + \frac{\left(1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 8.84 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{alternativa_4} = 8.84 \text{ m} - (0 \text{ m}) = 8.84 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H4_{diseño}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(275 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) (8.84 \text{ mca}) = 6.62 \text{ kW}$$

4.7.6 Resumen de puntos de operación según la temporada

4.7.6.1 Temporadas de lluvias

Tabla 18

Resumen parámetros de operación en temporadas de lluvias

	Alternativa N°1	Alternativa N°2	Alternativa N°3	Alternativa N°4
Cota inicial (m.s.n.m)	4268.0	4268.0	4268.0	4268.0
Cota final (m.s.n.m)	4275.0	4275.0	4275.0	4275.0
Caudal (m3/h)	437.8	437.8	437.8	437.8
Altura estática (m)	7.00	7.00	7.00	7.00
Altura dinámica descarga (m)	11.43	13.3	11.43	13.33
Altura dinámica succión (m)	2.19	2.24	-	-
Altura dinámica Total (m)	13.62	15.57	11.43	13.33
NPSH disponible (m)	3.67	3.64	-	-
Potencia Hidraulica (kW)	16.2	9.3	13.6	7.94

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Resumen parámetros de operación en temporadas de secas

	Alternativa N°1	Alternativa N°2	Alternativa N°3	Alternativa N°4
Cota inicial (m.s.n.m)	4268.0	4268.0	4268.0	4268.0
Cota final (m.s.n.m)	4275.0	4275.0	4275.0	4275.0
Caudal (m3/h)	275	275	275	275
Altura estática (m)	7.00	7.00	7.00	7.00
Altura dinámica descarga (m)	8.78	8.84	8.78	8.84
Altura dinámica succión (m)	2.08	2.17	-	-
Altura dinámica Total (m)	10.86	11.01	8.78	8.84
NPSH disponible (m)	3.82	3.71	-	-
Potencia Hidraulica (kW)	8.1	8.2	6.6	6.62

Fuente: Elaboración propia.

4.7.7 Selección del modelo de bomba

De acuerdo con las diferentes marcas de bombas, la planta de neutralización utiliza la marca de bombas Goulds Pumps. Por lo tanto, para el presente estudio se realizará la selección en su variedad de modelos existentes debido a la facilidad de repuestos.

Tabla 20

Modelo de bombas de acuerdo con la aplicación

Pump Category	Goulds Model	Pump Type	Chemical	Pulp & Paper	Mining & Minerals	Power Generation	Oil Refining & Gas Processing	Primary Metals	Water & Wastewater	Food & Beverage	Nature of Pumpage			
											Corrosive	High Temperature (300°F (260°C) and Greater)	Abrasive	Solids Non-Abrasive Fibrous/Stringy
Chemical Process	3171	Vertical Sump & Process												
	CV3171	Non-Clog Vertical Sump Process												
	4550	FPR Vert. Sump/Process												
	3196	ANSI Chemical Process												
	LF3196	Low Flow ANSI Process												
	HT3196	ANSI High-Temperature Process												
	CV3196	Non-Clog Process												
	3796	Self-Priming Process												
	3996	ANSI In-Line Process												
	3296 EZMAG	ANSI Metallic Sealless Process												
	4150	ANSI FRP Process												
	3298	ANSI Tefzel® Lined Sealless												
	SP3298	ANSI Tefzel® Lined Sealless												
	3198	ANSI PFA Teflon® Lined Process												
	V3298	Tefzel® Lined Sealless												
	3299	ANSI PFA Teflon® Lined Sealless												
	IC	ISO Chemical Process												
	ICB	Close-Coupled ISO Process												
	ICP	High-Temperature ISO Process												
	ICM	ISO Metallic Magnetic Drive												
	ICV	ISO Vertical Column, Wet Pit												
	ICMP	High-Temperature ISO Magnetic Drive												
API Process	API 3171	Industrial Duty Self-Priming												
	3700/3710	API-610 Process												
	3910	API-610 In-Line												
	3620	High Temp. Double Suction												
	3640	High Temp. Two-Stage												
Sump/ Abrasives/ Solids Handling	Trash Hog	Solids Handling, Self-Priming												
	VHS	Vertical Cantilever												
	VJC													
	HSU													
Abrasives Slurry/Solids Handling	HSUL	Submersible												
	JCU													
	AF													
	JC	Medium-Duty Abrasive Slurry												
	SRL	Rubber-Lined Abrasive Slurry												
	SRL-C	Rubber-Lined Abrasive Slurry												
	SRL-X	Rubber-Lined Abrasive Slurry												
	5500	Severe Duty Abrasive Slurry												
	HS	Non-Clog Solids Handling												
	CW	Abrasive Slurry												
	CWX	Abrasive Slurry												

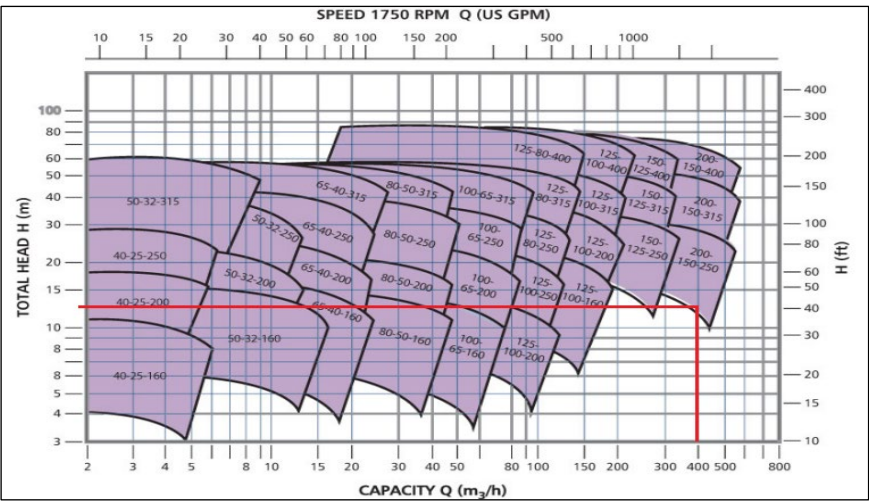
Fuente: Proveedor de bombas Goulds Pumps.

4.7.7.1 Bomba seleccionada – Alternativa N°1

La bomba seleccionada para la alternativa N°1, de acuerdo con la tabla 14, es la bomba IC – 200-150-250.

Figura 31

Curvas de operación Bombas Serie IC



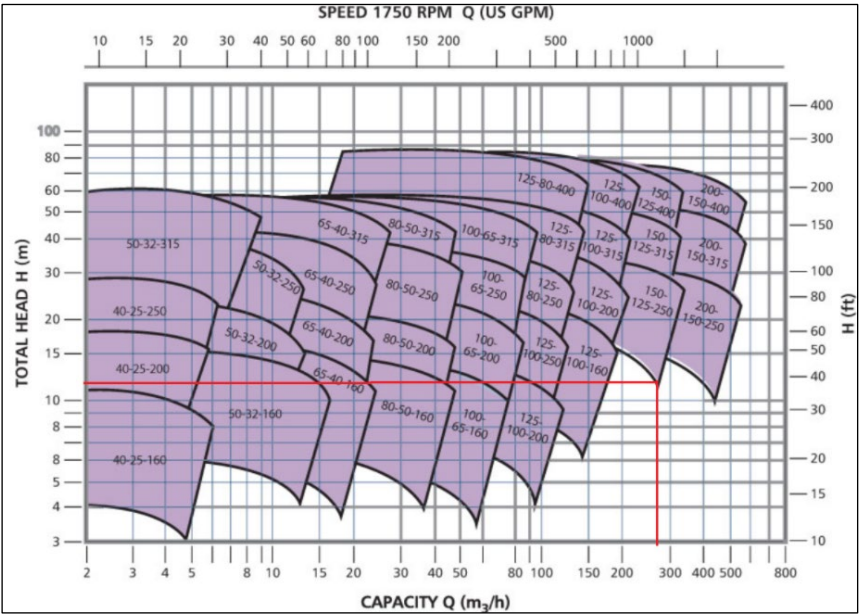
Fuente: Manual Gould Pumps

4.7.7.2 Bomba seleccionada – Alternativa N°2

La bomba seleccionada para la alternativa N°2, de acuerdo con la tabla 14, es la bomba IC – 200-125-250.

Figura 32

Curvas de operación Bombas Serie IC



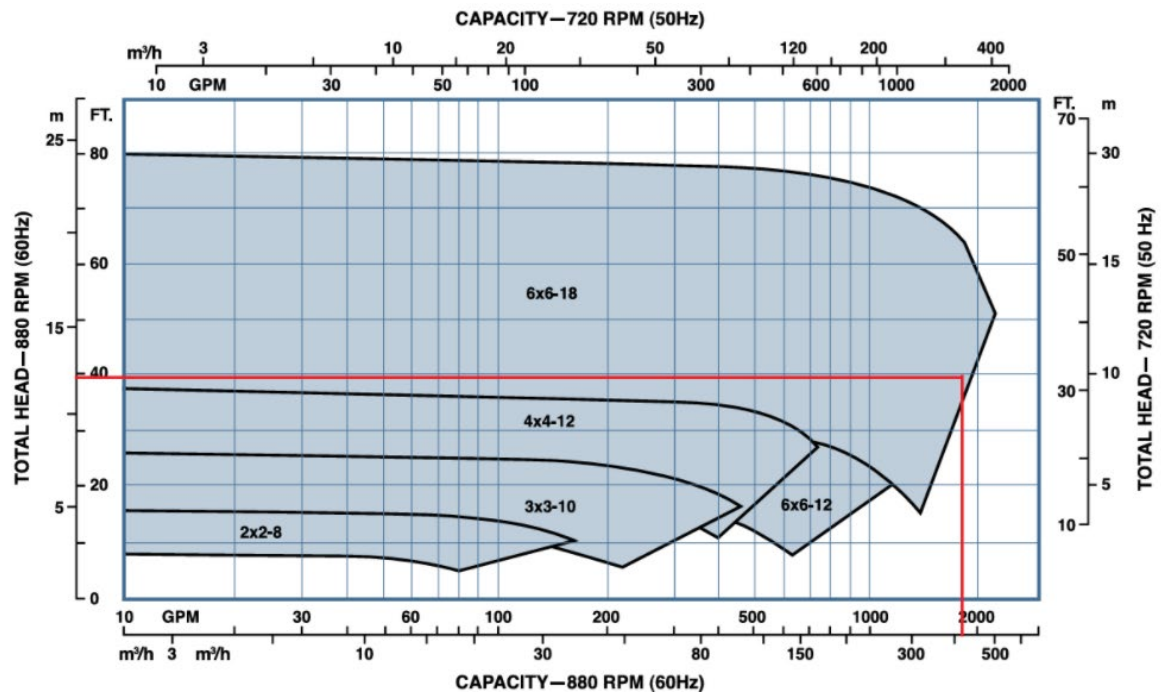
Fuente: Manual Gould Pumps

4.7.7.3 Bomba seleccionada – Alternativa N°3

La bomba seleccionada para la alternativa N°3, de acuerdo con la tabla 14, es la bomba Model HSUL sumergible 6 x 6 -18.

Figura 33

Curvas de operación Bombas Model HSUL



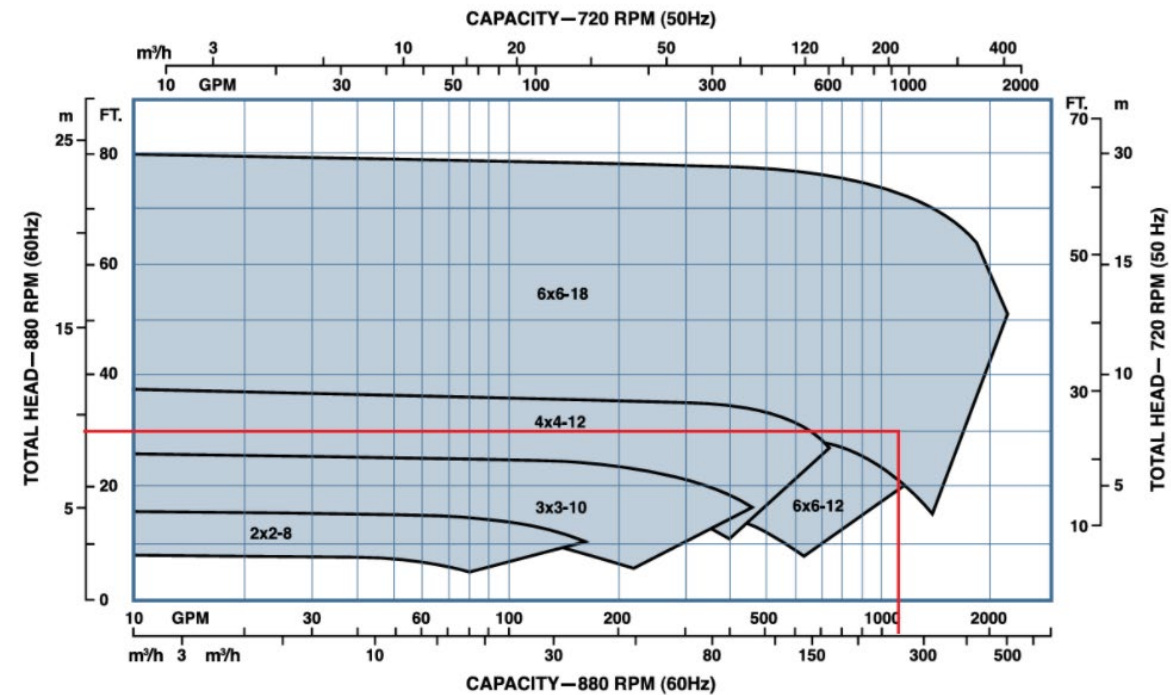
Fuente: Manual Gould Pumps

4.7.7.4 Bomba seleccionada – Alternativa N°4

La bomba seleccionada para la alternativa N°4, de acuerdo con la tabla 14, es la bomba Model HSUL sumergible 6 x 6 - 18.

Figura 34

Curvas de operación Bombas Model HSUL



Fuente: Manual Gould Pumps

4.7.8 Resumen resultados

Se muestra el resumen del sistema de bombeo de las 4 alternativas.

Tabla 21

Resumen parámetros de operación en temporadas de secas

	Alternativa N°1	Alternativa N°2	Alternativa N°3	Alternativa N°4
Modelo	IC - 200-150-250	IC - 200-125-250	HSUL – 6 x 6	HSUL – 6 x 6
Tipo	Centrifuga Horizontal	Centrifuga Horizontal	Sumergible	Sumergible
Cantidad	1 und	2 und	1 und	2 und
Regulación	Variador de Frecuencia	Variador de Frecuencia o Ajuste con Válvula	Variador de Frecuencia	Variador de Frecuencia o Ajuste con Válvula
Potencia Hidráulica (kW)	16.2	9.3	13.6	7.94

Fuente: Elaboración propia.

Las alternativas N°1 y N°2, se descartan ya que los puntos de operación se encuentran en el límite permisible de la región de trabajo.

Las alternativas N°4 y N°3, los puntos de operación se encuentran dentro de la región de trabajo de la bomba. Sin embargo, la diferencia entre estas alternativas es el control del caudal, la alternativa N°3 requiere un variador de frecuencia, mientras que la alternativa N°4 se puede realizar el ajuste manualmente mediante una válvula aumentando la resistencia al fluido, por ende, reduce el caudal.

Se establece entonces la alternativa N°4, debido que implica menor equipamiento el sistema de bombeo.

Tabla 22

Modo de operación del sistema de bombeo

Modo de operación	Q (m³/h)	ADT (mca)	RPM	Configuración
N°1	275	8.84	880	01 bomba
N°2	437.8	13.33	880	02 bomba en paralelo

Fuente: Elaboración propia.

Según el proveedor, las bombas operan de forma continua 24 horas durante los 365 días. Por consiguiente, se debe considerar un plan de mantenimiento para evitar daños mecánicos y eléctricos.

4.7.9 Cálculo del Golpe de Ariete

El cálculo del golpe de ariete se realiza para la integridad y la seguridad del sistema de tuberías.

4.7.9.1 Celeridad de onda

$$a = \frac{\sqrt{\frac{2 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{1000 \frac{kg}{m^3}}}}{\sqrt{1 + \frac{2 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{1 \times 10^9 \frac{N}{m^2}} \times \frac{241.0 \times 10^{-3} m}{13 \times 10^{-3} m}}} = 229.1 \frac{m}{s}$$

4.7.9.2 Tiempo de parada de la bomba

Coefficientes empíricos, según Mendiluce.

- $\frac{14.95 \text{ m}}{60 \text{ m}} \approx 0.20 \rightarrow C = 1$
- $60 \text{ m} < 500 \text{ m} \rightarrow k = 2$

$$T_p = 1 + \frac{2(60 \text{ m})(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(14.95 \text{ m})} = 3.18 \text{ s}$$

4.7.9.3 Sobrepresión

Se realiza el cálculo del tiempo crítico, para determinar qué tipo de cierre se trata.

$$\frac{2(60 \text{ m})}{229.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.52 \text{ s} < 3.18 \text{ s} \rightarrow \text{Cierre lento } \Delta H = \frac{c \times v}{g}$$

$$\Delta H = \frac{\left(229.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)\left(2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 61.5 \text{ m}$$

Presión máxima durante el cierre de la válvula.

$$P_{max} = H + \Delta H = (4275 - 4268) \text{ m.s.n.m} + 58.53 \text{ m}$$

$$P_{max} = 68.5 \text{ mca} <> 97.4 \text{ psi}$$

El aumento de presión a 97.4 psi durante el estado transitorio será soportada por la tubería HDPE de impulsión, cuya presión de operación es de 125 psi.

4.7.10 Cálculo con software ANSYS

La simulación realizada se realizó con el software ANSYS para verificar las velocidades y la presiones que ocurren dentro de la tubería HDPE.

Figura 35

Configuración de software ANSYS – Diagrama de bloques.

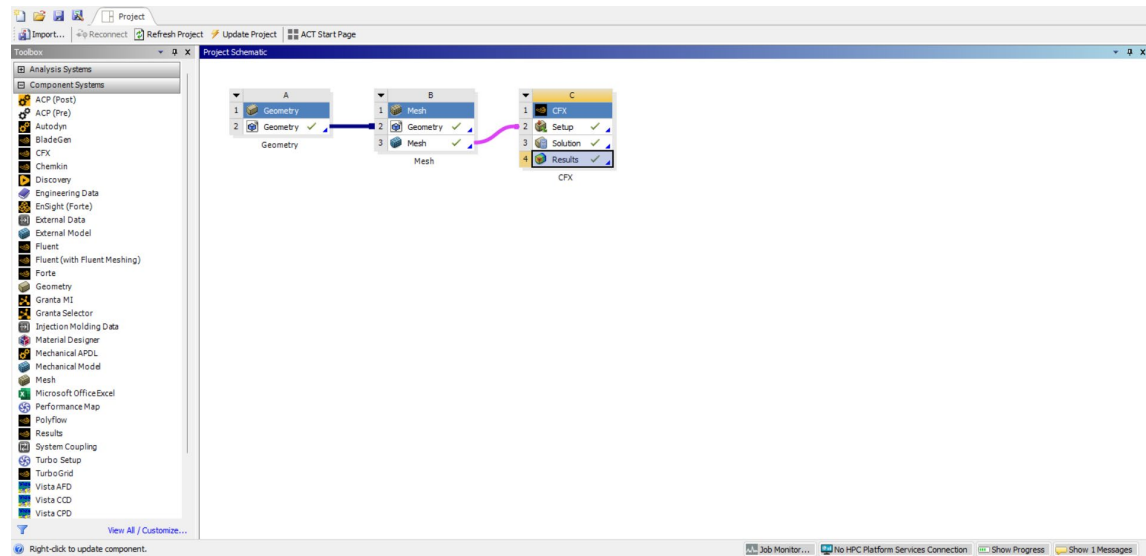
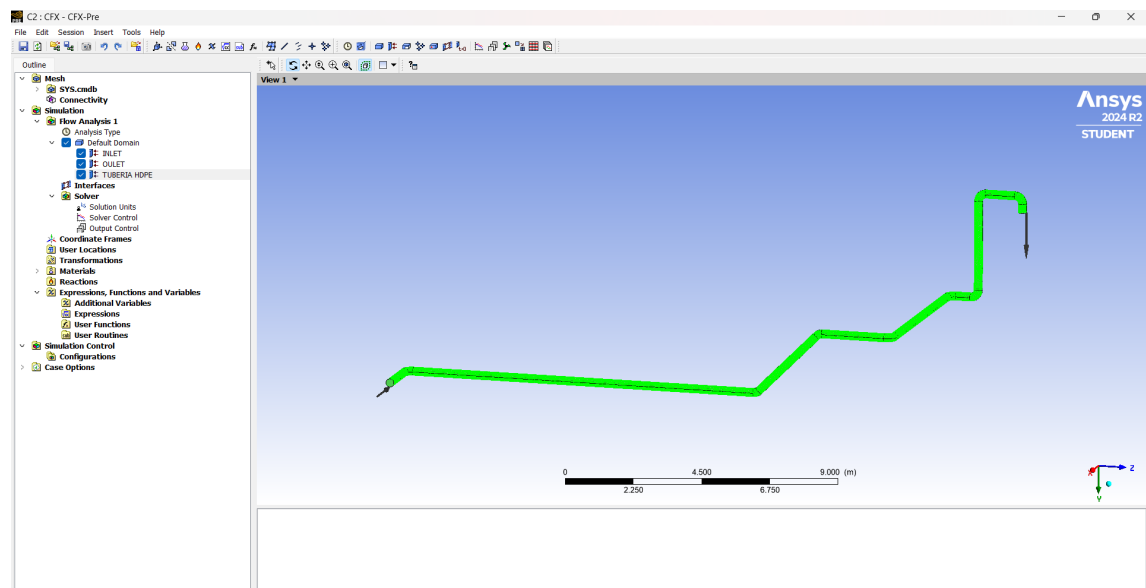


Figura 36

Ingreso y salida del flujo



Nota: La grafica muestra la configuración de ingreso y salida del flujo.

Figura 37

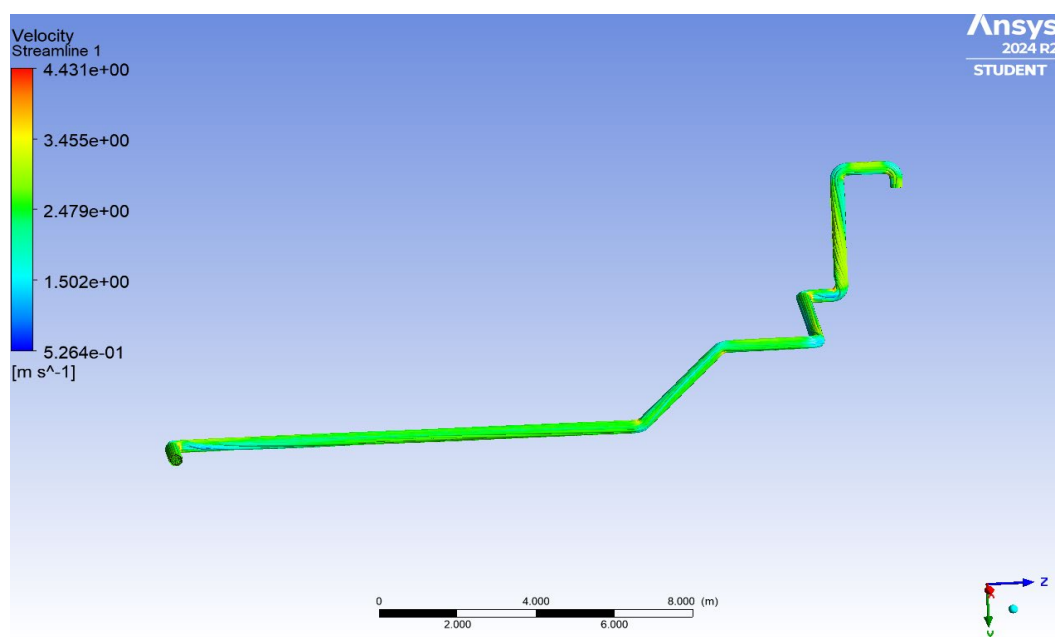
Iteraciones en software ANSYS



Nota: La grafica muestra las iteraciones realizadas para determinar los resultados.

Figura 38

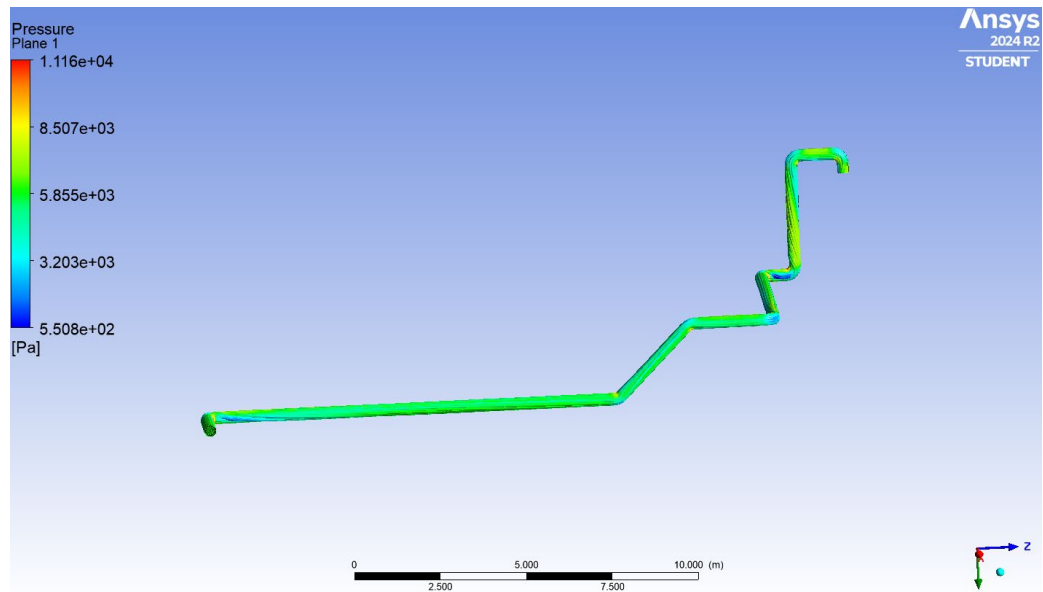
Resultados de velocidades - software ANSYS



Nota: La grafica muestra los resultados de velocidades a través de la tubería.

Figura 39

Resultados de presiones - software ANSYS



Nota: La grafica muestra los resultados de presiones a través de la tubería.

Se verifica que la presión de operación soportada por las tuberías HDPE es de 125 psi, siendo mayor a la presión que pueda existir durante el bombeo.

CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1 Descripción del sistema de bombeo

El sistema de bombeo proyectado es para controlar el nivel de agua acida en la relavera de Quiulacocha, ubicada a una altitud 4300 msnm. El sistema está diseñado para bombear un caudal máximo de 437.8 m³/h en temporadas de lluvias, asegurando de evitar desbordes y protegiendo las zonas aledañas. El agua ácida será bombeada desde la relavera hasta un tanque de proceso, donde se procederá con su tratamiento.

El análisis hidráulico permitió la determinación de la altura dinámica total (ADT) del sistema, considerando las pérdidas a lo largo de las tuberías y válvulas. Esto garantiza que la bomba seleccionada opere dentro de su región de trabajo.

Para el sistema de bombeo se instalará 2 bombas sumergibles y tuberías de HDPE de 10" para la línea de descarga. La tubería proyectada tendrá un recorrido de 60 metros y con una cota inferior de 4268 m.s.n.m hasta una cota final 4275 m.s.n.m. En la figura 40 se muestra la imagen referencial de la bomba sumergible.

Figura 40

Imagen referencial de la Bomba sumergible Modelo HSUL

Materials

- Cast Iron
- 28% Chrome Iron (HC600)
- CD4MCu
- 316 Stainless Steel

Features

- Recessed Impeller
- Concentric Casing
- Flanged Suction and Discharge
- Interchangeability with Horizontal & Vertical Models
- Mounting Flexibility



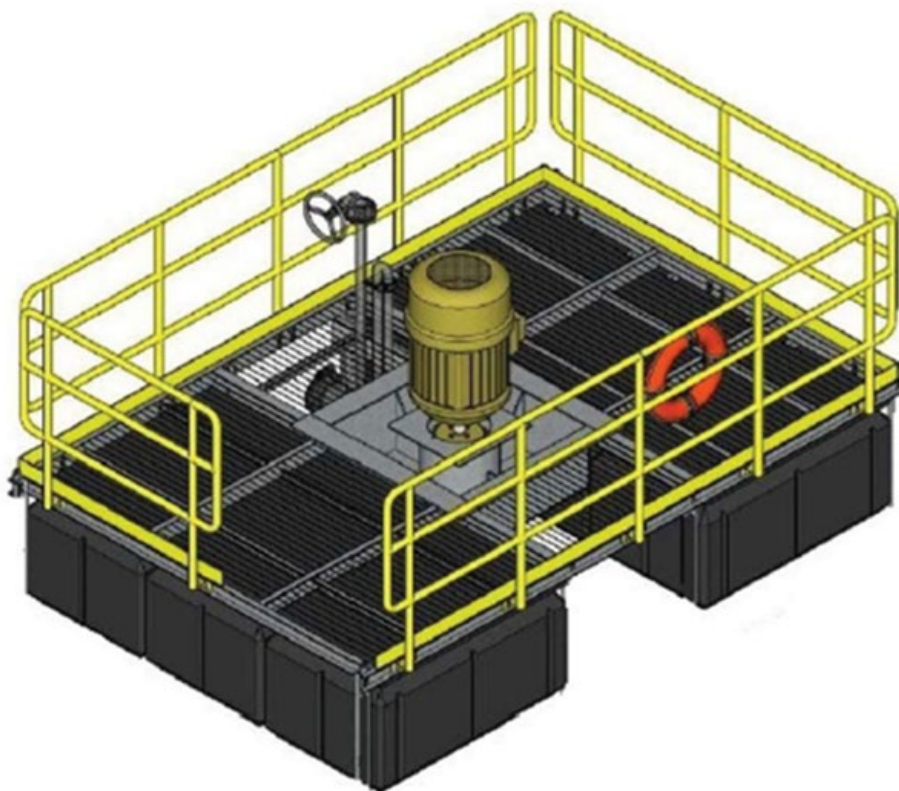
Fuente: Distribuidor de bombas Goulds Pumps.

La bomba está protegida con un recubrimiento de pintura resistente a fluidos ácidos. Este recubrimiento proporciona una protección y prolonga la vida útil del equipo.

La bomba sumergible será instalada sobre una barcaza flotante en la relavera de Quiulacocha, anclado con 2 puntos de fijación para su estabilidad lo que permitirá su operación.

Figura 41

Barcaza Flotante - Referencial



Fuente: Distribuidor de bombas Goulds Pumps.

El modo de operación del sistema de bombeo deberá ser monitoreado durante periodos de acuerdo con la temporada. Por lo que, para garantizar el control del borde libre de la relavera Quiulacocha, se deberá operar las bombas sumergibles en paralelo.

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN

6.1 Discusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se permitirá tener el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha mediante la implementación un sistema de bombeo con configuración en paralelo en temporada de lluvias, asegurando la capacidad del sistema, que permitirá continuar con las operaciones de la planta de neutralización y evitar paradas de planta.

6.2 Interpretación

El análisis del sistema de bombeo toma en cuenta las cargas totales, caudales y temporadas secas o lluviosas, por lo que podrá bombear adecuadamente hacia la planta de tratamiento. De los resultados se obtiene, que en meses de lluvias, el sistema bombea $437.8 \text{ m}^3/\text{h}$ con una carga total de 13.33 m.c.a y en los meses de temporada seca opera a $275 \text{ m}^3/\text{h}$ con una carga total de 8.84 m.c.a, por lo que se confirma el borde libre permisible de la relavera de Quiulacocha.

CONCLUSIONES

- El análisis del sistema del bombeo de aguas acidas permitirá el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha, considerando la condición crítica durante la temporada de lluvias, donde se bombeará a un caudal de 437.8 m³/h, y en temporada seca, se bombeará a un caudal de 275 m³/h. De esta manera, no ocurrirá el evento del desborde de la relavera de Quiulacocha.
- Se ha determinado los parámetros de operación del sistema de bombeo, específicamente en la capacidad de la bomba y los componentes que causan perdidas tanto como la tubería y accesorios, de esta manera logrando el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha.
- El sistema de bombeo actual de 180 m³/h de planta de neutralización funciona correctamente, pero debido a la ampliación de la planta para el control del borde libre de la relavera de Quiulacocha, es necesario implementar el sistema de bombeo proyectado para bombear un caudal de operación 398 m³/h. Por ello, se concluye la necesidad de instalar dos bombas en paralelo, lo cual permitirá controlar los niveles permisibles de la relavera de Quiulacocha y evita el desborde de la misma.
- Del Tabla 18 y 19 se concluye que el sistema de bombeo contará con dos modos de operación, que variaran según la temporada. Por lo tanto, en temporada seca operada 1 bomba sumergible y en temporada de lluvias operará 2 bombas sumergibles en paralelo.

RECOMENDACIONES

- Los arreglos mecánicos de los equipos estarán determinados por las consideraciones del proceso. También es de suma importancia la accesibilidad a los equipos para la operación y mantenimiento.
- La bomba deberá ser suministrada con el sistema de extracción de la bomba sin alterar la tubería de descarga.
- Se recomienda disponer de una bomba de reserva, ya sea instalada en el campo o en almacén, para ser utilizada en caso de emergencia y evitar la paralización de las operaciones de la planta de neutralización.
- Para mejorar la fiabilidad del sistema, se recomienda contar con un programa de mantenimiento de las bombas para garantizar su eficiencia y prologar su vida útil.
- Para la instalación de las tuberías de HDPE se deberá utilizar herramientas y equipos adecuados para su instalación, como máquinas de soldadura por termofusión, herramientas de cortes y equipos de manipulación de tuberías.
- La instalación de un flujómetro en la descarga es recomendable para medir la precisión del caudal, lo que permite monitorear el rendimiento y optimiza la eficiencia operativa del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreto Inca, Celestino (2017) “Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje – unidad minera Antapaccay”
- Corredor Cely, Henry Ezequiel (2016) “Análisis del sistema de bombeo del túnel tecnificado San Joaquín en la mina subterránea de carbones san Fernando S.A.S”
- CRANE (1982). Flow of Fluids through Valves, Fittings, and Pipe (El flujo de fluidos a través de válvulas, accesorios y tuberías).
- Cruz Casilla, Hamilton (2018) “Evaluación del sistema de drenaje de agua en profundización de la Mina Santa Teresa”
- Jaraba Lozano, E. M., Méndez Navarro, A. P., & Salazar Cantor, G. (2009). Golpe de ariete, línea de energía y compresibilidad del aire por medio de almenaras.
- Luszczewski, A. (1999). Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores, diseño y construcción.
- Hydraulic Institute. (2010). Pump definitions and nomenclature. In ANSI/HI Pump Standards.
- Mott, F. (2010). Mecánica de fluidos (7a ed.). Pearson Educación.
- Muñoz Ospino, Antony (2016) “Optimización del sistema de bombeo y manejo de las aguas residuales producto de la explotación mineral en la mina de carbón San Fernando, Amagá-Antioquia”
- Porras Chavez, Angel (2018) “Análisis de un sistema de tuberías para la extracción de aguas subterráneas en la Compañía Minera Chungar”
- Rafael Barzola, Jose Erik (2019) “Implementación de un sistema de bombeo integral para evacuación de aguas subterráneas en Minera Kolpa S.A”
- Sulzer Pumps (2010) Centrifugal Pump Handbook (3rd ed.). Elsevier Ltd.
- Vasco, N. C., Vasco, J. P., & Vasco, D. C. (2020). Hidráulica en tuberías y accesorios.

- Ventura Cabanillas, Manuel Antonio (2021) “Diseño de un sistema de bombeo para la evacuación de aguas subterráneas en reemplazo del sistema existente, en la mina Islay del distrito de Huallay en la región Pasco”
- White Frank M. (2016). Mecánicas de fluidos (8th ed.). McGraw-Hill Education.

ANEXOS

Anexo 1: Datos ambientales	1
Anexo 2: Datos del fluido	2
Anexo 3: Precipitación pluvial	3
Anexo 4: Brochare tuberías Cidelsa - HDPE.....	4
Anexo 5: Tabla de resistencia a la corrosión.....	12
Anexo 6: D.S. N° 037-2021-PCM.....	14
Anexo 7: Isometrico	16

ANEXO 1

Tabla A.1.

Datos ambientales

Ubicación		
Departamento	Cerro de Pasco	
Provincia	Pasco	
Distrito	Simón Bolívar	
Altura	4100-4500	msnm
Mínima / Máximo	-5 / 19.5	°C
Coordenadas		
Norte	8,817,130	UTM (WGS84)
Este	359,515	UTM (WGS84)
Zona	18L	

ANEXO 2

Tabla A.2. 1

Datos del fluido		
Tipo de fluido	Agua ácida	
Densidad	1.15	g/cm ³
Viscosidad dinámica	1.10	Cp
Temperatura del fluido	12	°C
pH del fluido	3.2	
Datos generales		
Distancia de recorrido	60	metros
Diámetro de tubería de descarga existente	6	pulgadas
SDR de tubería existente	26	
Material de tubería existente	HDPE	-
Cota inicial	4268	m.s.n.m
Cota final	4275	m.s.n.m
Tipo de succión	Succión Negativa	
Altura de succión	2	Metros
Caudal	180	m ³ /h
Tensión de corriente	440	Voltios
Frecuencia	60	Hz
Tipo de bomba	Horizontal - Centrifuga	

Tabla A.2. 2

Volumen de agua retirada por año

Año	Volumen (m3)
2016	866,683
2017	872,022
2018	929,868
2019	1,095,142
2020	1,020,582
2021	1,289,408
2022	1,122,011

ANEXO 3

Tabla A.3.1

Precipitación pluvial del 2022

Mes	mm/mes	Comentarios
Enero	122	-
Febrero	131	-
Marzo	108	-
Abril	64	-
Mayo	53	-
Junio	8	-
Julio	11	-
Agosto	14	-
Setiembre	18	-
Octubre	58	-
Noviembre	91	-
Diciembre	147	-

ANEXO 4

w w w . c i d e l s a . c o m



 **cidelsa**
una nueva visión del mundo

T u b e r í a s

Tuberías Lisas HDPE

TUBERÍA LISA HDPE

Están diseñadas para conducir fluidos a presión. Fabricadas desde 32mm hasta 2.000mm de diámetro, en normas ISO 4427:2008. Y ASTM F-714: 2012.

Ofrecen una alternativa de solución a problemas tradicionales, minimizando costos de instalación y mantenimiento.

En innumerables aplicaciones mineras, las tuberías HDPE han reemplazado a las tuberías de acero recubiertas con goma y las tuberías de acero inoxidable.

Su bajo costo y su fácil instalación han hecho que se utilicen cada vez más en las instalaciones modernas.

El polietileno de alta densidad resiste prácticamente todos los elementos corrosivos de la industria minera y las tuberías se aplican en rangos de temperatura que van desde los -40°C a 60°C y presiones de hasta 25 bares.

En definitiva, el largo tiempo de duración, el bajo costo, la fácil instalación y la escasa mantención, hacen que las tuberías HDPE tengan ventajas comparativas superiores respecto a los materiales tradicionales.

Información

La designación del material según la norma ISO 12162, tiene relación directa con el tipo de resina de acuerdo al nivel aplicable de resistencia mínima requerida (MRS). Esta debe ser considerada en el diseño de tuberías de HDPE en servicio a largo plazo mínimo 50 años y a 20°C.

Designación de material	MRS MPa	Tensión de Diseño MPa
PE100	10	8
PE80	8	6.3
PE63	6.3	5

La tensión de diseño σ_s de una tubería, de acuerdo a la norma ISO 12162, se obtiene al aplicar un coeficiente de diseño C sobre el valor MRS del material.

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C}$$

Los valores de coeficiente global de diseño se especifican en la norma ISO 12162, "Table 2-Minimum Values of C", donde C=1,25 para todos los tipos de HDPE.

Tensión de diseño MPa	MRS MPa		
	10	8	6.3
Coeficiente de diseño C			
8	1,25		
6.3	1,6	1,25	
5	2	1,6	1,25

Para el cálculo de la dimensión de una tubería HDPE, se usa la fórmula:

En que:

PN = Presión nominal (MPa)

D = Diámetro exterior del tubo (mm)

e = Espesor mínimo de pared del tubo (mm)

σ_s = Tensión de material (MPa)

Para efectos de cálculo bajo la norma ASTM F-714, se utiliza la siguiente relación:

$$SDR = \frac{D}{e}$$

$$PN = \frac{2 \cdot \sigma_s}{SDR - 1}$$

TUBERÍA LISA HDPE NORMA NTP ISO 4427:2008 PE-80 y PE-100

		Relación estándar de dimensiones (SDR)															
		SDR 33 (S16)		SDR 26 (S12.5)		SDR 21 (S10)		SDR 17 (S8)		SDR 13.6 (S6.3)		SDR 11 (S5)		SDR 9 (S4)		SDR 7.4 (S3.2)	
		Presión Nominal															
PE-80	equiv.	4.0 bar		5.0 bar		6.0 bar		8.0 bar		10.0 bar		12.5 bar		16.0 bar		20.0 bar	
PE-100	equiv.	5.0 bar		6.0 bar		8.0 bar		10.0 bar		12.5 bar		16.0 bar		20.0 bar		25.0 bar	
DN (mm)	DN Equiv. (pulg.)	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml
20	1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.12	2.3	0.13	3.0	0.17
25	3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.148	2.3	0.17	3.0	0.21	3.5	0.23
32	1	-	-	-	-	-	-	2.0	0.2	2.4	0.23	3.0	0.28	3.6	0.33	4.4	0.33
40	1-1/4	-	-	-	-	2.0	0.245	2.4	0.29	3.0	0.38	3.7	0.43	4.5	0.51	5.5	0.61
50	1-1/2	-	-	2.0	0.31	2.4	0.367	3.0	0.50	3.7	0.55	4.6	0.67	5.6	0.79	6.9	0.95
63	2.00	-	-	2.5	0.49	3.0	0.570	3.8	0.72	4.7	0.88	5.8	1.06	8.1	1.27	8.6	1.4
75	2-1/2	-	-	2.9	0.67	3.6	0.819	4.5	1.02	5.6	1.24	6.8	1.48	8.4	1.78	10.3	2.1
90	3	-	-	3.5	0.97	4.3	1.170	5.4	1.47	6.7	1.78	8.2	2.14	10.1	2.57	12.3	3.0
110	4	-	-	4.2	1.41	5.3	1.78	6.6	2.18	8.1	2.64	10.0	3.18	12.3	3.82	15.1	4.5
160	6	-	-	6.2	3.06	7.7	3.74	9.5	4.56	11.8	5.56	14.6	6.74	17.9	8.05	21.9	9.5
200	8	-	-	7.7	4.73	9.6	5.83	11.9	7.12	14.7	8.65	18.2	10.50	22.4	12.60	27.4	14.9
250	10	-	-	9.6	7.37	11.9	9.02	14.8	11.06	18.4	13.54	22.7	16.35	27.9	19.60	34.2	23.3
280	11	-	-	10.7	9.19	13.4	11.38	16.6	13.90	20.6	16.96	25.4	20.50	31.3	24.64	38.3	29.2
315	12	9.7	9.34	12.1	11.70	15.0	14.30	18.7	17.60	23.2	21.50	28.6	25.95	36.2	31.16	43.1	37.0
355	14	10.9	11.81	13.6	14.79	16.9	18.16	21.1	22.40	26.1	27.25	32.2	32.94	39.7	39.58	48.5	46.9
400	16	12.3	15.01	15.3	18.75	19.1	23.16	23.7	28.31	29.4	34.56	36.3	41.82	44.7	50.21	54.7	59.6
450	18	13.8	18.94	17.2	23.71	21.5	29.28	26.7	35.87	33.1	43.78	40.9	52.96	50.3	63.57	61.5	74.5
500	20	15.3	23.68	19.1	29.25	23.9	36.13	29.7	44.32	36.8	54.02	45.4	65.34	55.8	78.44	-	-
560	22	17.2	29.80	21.4	36.67	26.7	45.22	33.2	55.52	41.2	67.77	50.8	81.86	62.5	98.38	-	-
630	24	19.3	37.60	24.1	46.46	30.0	57.12	37.4	70.32	46.3	85.66	57.2	109.97	70.3	124.46	-	-
710	28	21.8	47.83	27.2	59.14	33.8	72.89	42.1	89.32	52.2	108.93	64.5	131.91	79.3	158.21	-	-
800	32	24.5	60.55	30.6	74.94	38.1	92.30	47.4	113.29	58.8	138.24	72.6	167.29	89.3	200.73	-	-
900	36	27.6	76.70	34.4	94.75	42.9	116.88	53.3	143.29	66.2	175.06	81.7	211.75	-	-	-	-
1000	40	30.6	94.46	38.2	116.90	47.7	144.36	59.3	177.09	72.5	213.25	90.2	259.91	-	-	-	-
1200	48	36.7	135.88	45.9	168.45	57.2	207.67	67.9	244.03	88.2	310.90	-	-	-	-	-	-
1400	54	42.9	185.16	53.5	229.03	66.7	282.49	82.4	344.68	102.9	423.24	-	-	-	-	-	-
1600	64	49.0	241.63	61.2	299.43	76.2	368.91	94.1	449.89	117.6	552.83	-	-	-	-	-	-
1800	72	54.5	302.56	69.1	380.25	85.7	466.60	105.9	569.33	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	80	60.6	373.72	76.9	469.88	95.2	576.01	117.6	702.55	-	-	-	-	-	-	-	-

- 1) La presión nominal PN corresponde a la máxima presión de operación admisible en Bar, a 20° C.
- 2) Valores en pulgadas utilizados como referencia con la norma ASTM/ANSI B 36.10.
- 3) La relación SDR corresponde al cociente entre el diámetro externo y espesor de la tubería.



TUBERÍA LISA HDPE NORMA ASTM F-714: 2012

		(1) Relación estándar de dimensión SDR																	
		32.5	26	21	17	15.5	13.5	11	9.3	9	8.3	7.3							
Presión de Trabajo (Psi)	PE-3608	51	64	80	100	110	128	160	193	200	219	254							
	PE-4710	63	80	100	125	138	160	200	241	250	274	317							
DN (Pulg.)	DN Equiv (mm)	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m
2 "	60.3	—	—	2.3	0.42	2.9	0.52	3.6	0.63	3.9	0.69	4.5	0.79	5.5	0.95	6.5	1.11	6.7	1.14
3	88.9	2.7	0.76	3.4	0.94	4.2	1.15	5.2	1.40	5.7	1.52	6.6	1.73	8.1	2.08	9.6	2.41	9.9	2.48
4	114.3	3.5	1.24	4.4	1.54	5.4	1.89	6.7	2.31	7.4	2.52	8.5	2.86	10.4	3.44	12.3	3.98	12.7	4.10
5	136.5	4.2	1.77	5.3	2.21	6.5	2.70	8.0	3.29	8.8	3.59	10.1	4.70	12.4	4.90	14.7	5.68	15.2	5.85
5 ½	141.3	4.3	1.90	5.4	2.36	6.7	2.89	8.3	3.53	9.1	3.84	10.5	4.36	12.8	5.25	15.2	6.09	15.7	6.27
6	168.3	5.2	2.70	6.5	3.35	8.0	4.10	9.9	5.00	10.9	5.45	12.5	6.19	15.3	7.45	18.1	8.64	18.7	8.89
7	181.0	5.6	3.12	7.0	3.87	8.6	4.75	10.7	5.80	11.7	6.31	13.4	7.16	16.5	8.62	19.5	9.99	20.1	10.28
8	219.1	6.7	4.57	8.4	5.68	10.4	6.95	12.9	8.48	14.1	9.24	16.2	10.49	19.9	12.63	23.6	14.64	24.3	14.79
10	273.1	8.4	7.12	10.5	8.80	13.0	10.80	16.1	12.87	17.6	14.36	20.2	15.95	24.8	19.62	29.4	22.75	30.3	22.97
12	323.8	10.0	9.99	12.4	12.39	15.4	14.84	19.1	18.53	20.9	19.85	24.0	22.92	29.4	27.58	34.8	31.98	36.0	32.91
13	339.7	10.5	11.02	13.1	13.63	16.2	16.72	20.0	20.39	21.9	22.22	25.2	25.23	30.9	30.36	36.5	35.2	37.7	36.22
14	355.6	10.9	12.07	13.7	14.93	16.9	17.89	20.9	21.84	22.9	23.91	26.3	27.64	32.3	32.60	38.2	38.57	39.5	39.68
16	406.4	12.5	15.74	15.6	19.51	19.4	23.92	23.9	28.52	26.2	31.8	30.1	35.34	36.9	42.59	43.7	50.38	45.2	51.83
18	457.2	14.1	19.94	17.6	24.70	21.8	29.58	26.9	36.93	29.5	39.53	33.9	44.73	41.6	54.00	49.2	63.78	50.8	65.60
20	508.0	15.6	26.60	19.5	29.77	24.2	36.52	29.9	44.58	32.8	48.80	37.6	55.22	46.2	67.88	54.6	78.71	56.4	79.87
21.5	546.1	16.8	28.46	21.0	35.25	26.0	43.20	32.1	52.69	35.2	57.41	40.5	65.19	—	—	—	—	—	—
22	558.8	17.2	29.78	21.5	36.90	26.6	44.18	32.9	53.94	36.1	59.04	41.4	66.90	50.8	82.14	60.1	95.24	62.1	96.63
24	609.6	18.7	35.42	23.4	42.87	29.0	51.00	35.9	64.19	39.3	70.27	45.2	79.60	55.4	97.75	65.5	113.35	67.7	115.03
26	660.4	20.3	41.59	25.4	51.55	31.4	63.17	38.8	77.05	42.6	83.96	48.9	95.34	60.0	114.72	71.0	133.03	—	—
28	711.2	21.9	48.26	27.4	59.79	33.9	73.26	41.8	89.36	45.9	97.37	52.7	110.57	64.7	133.05	76.5	154.28	—	—
30	762.0	23.4	55.37	29.3	68.64	36.3	84.10	44.8	102.58	49.2	111.78	56.4	126.93	69.3	152.74	81.9	177.11	—	—
32	812.8	25.0	63.03	31.3	78.10	38.7	95.69	47.8	116.72	52.4	127.18	60.2	144.42	73.9	173.78	—	—	—	—
34	863.6	26.6	71.12	33.2	88.17	41.1	108.03	50.8	131.76	55.7	143.58	64.0	163.04	78.5	196.19	—	—	—	—
36	914.4	28.1	79.76	35.2	98.85	43.5	121.11	53.8	147.72	59.00	160.96	67.7	182.78	83.1	219.95	—	—	—	—
42	1068.8	32.8	108.51	41.0	134.48	50.8	164.84	62.8	201.06	68.8	219.09	—	—	—	—	—	—	—	—
48	1219.2	37.5	141.77	46.9	175.68	58.1	215.31	71.7	262.61	78.7	286.16	—	—	—	—	—	—	—	—
54	1371.6	42.2	179.49	52.8	222.55	65.3	272.43	80.7	332.43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Diámetro no contemplado por la norma ASTM F714. Espesor calculado utilizando la ecuación recomendada por la norma.



Aplicaciones

Minería:

- Plantas de flotación.
- Plantas de lixiviación.
- Plantas de biolixiviación.
- Plantas de extracción por solventes.
- Conducción de petróleos y gases.

Agricultura:

- Transporte de agua para bebederos de animales y riego menor en zonas áridas.
- Riego por aspersión: su flexibilidad y facilidad de enrollado permite tener sistemas de riego por aspersión móviles.

Industria química:

- Conducción de soluciones ácidas y alcalinas.
- Conducción de productos químicos.
- Sistema contra incendios.

Área sanitaria:

- Transporte de agua potable.
- Conducción de aguas servidas al fondo del mar (Emisarios Submarinos).
- Conducciones subacuáticas enterradas.

Industria en general:

- Transporte de gas.
- Protección de cables eléctricos y telefónicos.
- Transporte de aire comprimido.

Ventajas

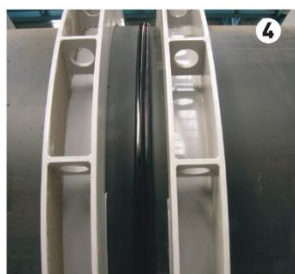
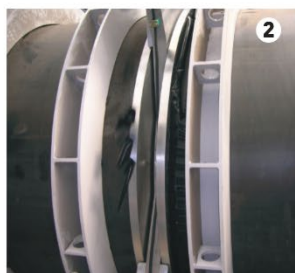
- Resistencia a la abrasión.
- Estabilidad ante cambios de temperatura.
- Estabilidad a la intemperie.
- Alta resistencia a la abrasión.
- Propiedades eléctricas.
- Atoxicidad.
- Servicio a largo plazo.
- Resistencia química.

SERVICIO DE TERMOFUSIÓN

Brindamos servicio de termofusión de tuberías y accesorios en HDPE hasta 2000mm de diámetro.

La soldadura por termofusión es el método más común y seguro para unir tubería en HDPE. El proceso es relativamente rápido, sencillo y económico.

Brindamos servicio de termofusión de tubería y accesorios en HDPE. Trabajamos con técnicos altamente calificados para efectuar estos trabajos.



SERVICIO DE ELECTROFUSIÓN

Brindamos también servicio de electrofusión, para tubería y accesorios en HDPE.

La electrofusión es un sistema práctico, rápido y seguro porque la energía está transmitida de manera directa limitadamente a las superficies de contacto de la junta con el tubo.

La electrofusión es seguramente el sistema más difundido para la unión de las tuberías en polietileno para gas.



www.cidelsa.com

Únete a nosotros en:

f /CidelsaOficial

Perú - Comercial Industrial Delta S. A. ▾
Av. Pedro Miota 910 San Juan de Miraflores, Lima
Telef: +511 617 8787 ✉ ventas@cidelsa.com

Colombia - Cidelsa Colombia S. A. ▾
Av. Carrera 15 N° 122-39 Of. 510 Torre 1, Edificio BBVA - Bogotá
Telef: +571 612 0282 ✉ cidelsacolombia@cidelsa.com

Chile - Comercial Cidelsa Chile Ltda. ▾
Calle Napoleón 3200 Of. 607 Comuna de Las Condes - Santiago
Telef: +562 2334 2816 ✉ cidelsachile@cidelsa.com

ANEXO 5

TABLAS DE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

E	Excelente resistencia (Excellent resistance)
G	Buena resistencia (Good resistance)
M	Resistencia moderada (Moderate resistance)
X	No se recomienda (Not recommended)

Medio	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	PTFE
Acetaldehyde	E	E	-	M	E
Acetamide	G	E	-	M	-
Acetate Solv.	G	E	G	E	E
Acetic Acid, Glacial	G	E	X	E	E
Acetic Acid 20%	-	E	-	-	E
Acetic Acid 80%	-	E	-	-	E
Acetic Acid	G	E	X	M	E
Acetic Anhydride	E	E	G	X	E
Acetone	E	E	E	E	E
Acetyl Chloride	M	E	-	-	E
Acetylene	E	E	E	E	-
Acrylonitrile	E	M	M	-	-
ALCOHOLS					
Ethyl	E	E	M	M	E
Genzyl	E	E	-	-	-
Gutyl	E	E	M	M	E
XIEMetone	E	E	-	E	-
Ethyl	E	E	E	E	-
Hexyl	E	E	-	E	-
IsoGutyl	E	E	-	E	-
Isopropyl	E	E	M	E	-
Methyl	E	E	E	E	E
OMtyl	E	E	-	E	-
Propyl	E	E	-	E	E
Aluminium Chloride 20%	X	M	X	E	-
Aluminium Chloride	X	M	X	G	E
Aluminium Fluoride	X	M	-	E	E
Aluminium Hydroxide	E	E	X	E	E
Alum Potassium Sulphate (ALUM), 10%	E	-	X	E	E
Alum Potassium Sulphate (ALUM) 100%	X	E	-	E	E

Medio	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	PTFE
Aluminium Sulphate	M	M	X	E	E
Amines	E	E	E	G	E
Ammonia 10%	-	E	-	-	E
Ammonia Anhydrous	G	E	X	G	E
Ammonia, Liquids	E	E	E	E	E
Ammonia, Nitrate	E	E	-	E	-
Ammonium Bifluoride	M	E	-	-	-
Ammonium Carbonate	E	E	M	G	E
Ammonium Casenite	-	E	-	-	-
Ammonium Chloride	E	M	X	X	E
Ammonium Hydroxide	E	E	E	M	E
Ammonium Nitrate	E	E	E	X	E
Ammonium Oxalate	E	E	-	E	-
Ammonium Persulfate	E	E	X	E	E
Ammonium Phosphate, Dibasic	E	E	-	X	E
Ammonium Phosphate, Monobasic	E	E	-	E	E
Ammonium Phosphate, Tribasic	E	E	M	X	E
Ammonium Sulphate	E	G	M	M	E
Ammonium Thio-Sulphate	-	E	X	E	-
Amyl-Acetate	E	E	-	M	E
Amyl Alcohol	E	E	-	E	E
Amyl Chloride	M	G	-	E	E
Aniline	E	E	-	M	E
Anti-Freeze	E	E	G	M	E
Antimony Trichloride	X	X	-	-	E
Aqua Regia (80% HCl, 20% HNO ₃)	X	X	-	-	E
Arochlor 1248	-	-	-	E	-
Aromatic Hydrocarbons	-	E	E	E	-
Arsenic Acid	E	E	X	X	E
Asphalt	G	E	M	-	-

	PTFE	Carbon Steel	Cast Iron	316 Stainless Steel	304 Stainless Steel
Medio					
Barium Carbonate	E	G	G	E	E
Barium Chloride	E	N	M	E	E
Barium Cyanide	-	E	-	E	-
Barium Hydroxide	M	E	M	M	E
Barium Nitrate	E	E	E	E	-
Barium Sulphate	E	E	M	M	E
Barium Sulphide	E	E	M	M	E
Beer	E	E	X	X	E
Beet Sugar Liquids	E	E	E	-	E
Benzaldehyde	E	E	G	E	E
Benzene	E	E	G	M	E
Benzoic Acid	E	E	X	-	E
Benzol	E	E	-	-	E
Borax (Sodium Borate)	E	E	E	M	E
Boric Acid	E	E	X	-	E
Brewery Slop	-	E	E	-	-
Bromine (Wet)	X	X	X	X	E
Butadiene	E	E	M	M	E
Butanes	E	E	M	M	E
Butanol	E	E	-	-	E
Butter	G	E	X	-	-
Buttermilk	E	E	X	-	E
Butylene	-	E	E	E	E
Butyl Acetate	-	M	-	E	E
Butyric Acid	G	E	X	-	E
Calcium Bisulphate	X	E	X	-	E
Calcium Bisulphide	-	G	-	-	E
Calcium Bisuphite	X	E	-	-	E
Calcium Carbonate	E	E	X	-	E
Calcium Chlorate	M	E	-	-	E
Calcium Chloride	E	X	M	-	E
Calcium Hydroxide	E	E	-	-	E
Calcium Hypochlorite	E	M	X	-	E
Calcium Sulphate	E	E	-	-	E
Calgon	E	E	X	-	-
Cane Juice	E	E	E	-	-
Carbolic Acid (See Phenol)	-	-	-	-	-
Carbon Bisulphide	E	E	G	-	-

	PTFE	Carbon Steel	Cast Iron	316 Stainless Steel	304 Stainless Steel
Medio					
Carbon Dioxide (Wet)	E	E	M	-	E
Carbon Disulphide	G	E	G	M	E
Carbon Monoxide	E	E	-	-	-
Carbon Tetrachloride	M	G	M	X	E
Carbonated Water	E	E	X	-	-
Carbonic	E	G	X	-	E
Catsup	E	E	X	-	-
Chloroacetic Acid	X	X	X	-	E
Chloric Acid	X	X	-	-	E
Chlorinated Glue	E	E	X	-	-
Chlorine, Anhydrous Liquid	X	X	M	-	E
Chlorine (Dry)	E	E	E	-	E
Chlorine Water	-	X	X	-	E
Chlorobenzene (Mono)	E	E	G	M	E
Chlorosulphonic Acid	X	-	-	X	E
Chlorox (Bleach)	E	E	X	M	E
Chocolate Syrup	E	E	X	-	-
Chromic Acid 5%	E	E	X	-	-
Chromic Acid 10%	G	-	-	-	E
Chromic Acid 30%	G	-	-	-	E
Chromic Acid 50%	G	G	X	-	E
Cider	E	E	X	-	-
Citric Acid	E	E	X	-	E
Citric Oils	E	E	-	-	-
Coffee	E	E	M	-	E
Copper Chloride	X	X	X	-	E
Copper Cyanide	E	E	X	-	E
Copper Florobate	X	X	X	-	E
Copper Nitrate	E	E	-	-	E
Copper Sulphate (5% Solution)	E	E	X	-	E
Copper Sulphate	G	-	-	-	E
Cream	E	E	X	-	-
Cresols	E	E	-	-	-
Cresylic Acid	E	E	-	-	E
Cyclohexane	E	-	-	E	-
Cyanic Acid	E	-	-	-	-
Detergents	E	E	-	E	-
Dichlorethane	E	E	-	-	E

	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Cast Iron	Carbon Steel	PTFE
Medio					
Diesel Fuel	E	E	E	E	-
Diethylamine	E	-	-	-	E
Diethylene Glycol	E	-	-	-	-
Diphenyl Oxide	E	-	-	-	-
Dyes	E	E	-	-	-
Magnesium Sulphate	E	E	-	-	-
Ethane	E	-	-	-	-
Ethanolamine	E	E	-	M	-
Ether	E	E	-	X	-
Ethyl Acetate	E	E	-	M	E
Ethyl Chloride	E	E	M	X	E
Ethyl Sulphate	X	-	-	-	-
Ethylene Chloride	E	E	M	M	E
Ethylene Dichloride	E	E	-	M	E
Ethylene Glycol	E	E	G	M	E
Ethylene Oxide	-	E	-	-	E
Fatty Acids	E	E	X	-	E
Ferric Chloride	X	X	X	-	E
Ferric Nitrate	E	E	-	-	E
Ferric Sulphate	E	M	X	-	E
Ferrous Chloride	X	X	X	-	E
Ferrous Sulphate	E	M	X	X	E
Fluoboric Acid	X	G	X	-	E
Fluorine	X	X	X	X	M
Fluosilicic Acid	-	G	X	-	E
Formaldehyde 40%	-	E	-	-	E
Formaldehyde	E	E	X	E	E
Formic Acid	E	G	X	X	E
Freon 11	-	E	M	G	E
Freon 12 (wet)	-	X	-	-	E
Freon 22	-	E	-	-	-
Freon 113	-	E	-	-	-
Freon T.F.	-	E	-	-	-
Fruit Juice	E	E	X	X	X
Fuel Oils	E	E	M	G	E
Furan Resin	E	E	E	E	E
Furfural	E	E	-	E	E
Gallic Acid	E	E	X	X	E

	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Cast Iron	Carbon Steel	PTFE
Medio					
Gasoline	E	E	E	E	E
Gelatin	E	E	X	X	E
Glucose	-	E	G	G	E
Glue P.V.A.	G	E	-	E	E
Glycerine	E	E	G	G	E
Cycolic Acid	-	-	-	-	-
Gold Monocyanide	-	E	X	-	-
Grape Juice	E	E	X	-	-
Grease	E	E	E	E	E
Heptane	-	E	-	G	E
Hexane	E	E	-	G	E
Honey	E	E	E	-	-
Hydraulic Oils (Petroleum)	E	E	E	E	E
Hydraulic Oils (Synthetic)	E	E	E	-	-
Hydrazine	E	E	M	-	-
Hydrobromic Acid 20%	-	X	-	-	E
Hydrobromic Acid	X	X	X	X	E
Hydrochloric Acid (Dry Gas)	M	E	-	X	E
Hydrochloric Acid (20%)	X	X	X	-	E
Hydrochloric Acid (37%)	X	X	X	-	E
Hydrochloric Acid 100%	X	X	X	-	E
Hydrocyanic Acid	E	E	-	M	E
Hydrocyanic Acid (Gas 10%)	X	X	-	-	E
Hydrofluoric Acid (20%)	X	X	X	-	E
Hydrofluoric Acid (75%)	M	X	X	-	E
Hydrofluoric Acid 100%	X	X	X	X	E
Hydrofluosilicic Acid (20%)	X	X	X	-	E
Hydrofluosilicic Acid	X	X	-	-	E
Hydrogen Gas	E	E	G	G	E
Hydrogen Peroxide 10%	M	M	X	-	E
Hydrogen Peroxide 30%	-	G	-	-	E
Hydrogen Peroxide	E	G	X	X	E
Hydrogen Sulphide, Aqueous Solution	E	E	X	-	E
Hydrogen Sulphide (Dry)	M	E	G	G	E
Hydroxyacetic Acid (70%)	-	-	-	-	-
Ink	E	E	X	X	-
Iodine	X	X	X	-	E
Iodine (In Alcohol)	-	G	-	-	E

	PTFE	Carbon Steel	Cast Iron	316 Stainless Steel	304 Stainless Steel
Medio					
Iodoform	E	G	M	E	X
Isotane	-	-	-	-	-
Isopropyl Acetate	-	-	-	G	-
Isopropyl Ether	E	E	-	E	-
Jet Fuel (JP3,JP4,JP5)	E	E	E	E	E
Kerosene	E	G	E	E	E
Ketones	E	E	E	E	E
Lacquers	-	M	M	E	E
Lacquer Thinners	E	-	-	E	-
Lactic Acid	E	X	X	G	E
Lard	-	M	E	E	E
Latex	-	-	-	E	E
Lead Acetate	E	X	-	E	E
Lead Sulphamate	-	-	-	-	-
Ligroin	-	-	-	E	-
Lime	-	-	E	E	E
Lubricants	E	-	-	E	E
Magnesium Carbonate	-	-	-	E	E
Magnesium Chloride	E	M	X	G	G
Magnesium Hydroxide	E	G	G	E	E
Magnesium Nitrate	E	-	-	E	E
Magnesium Oxide	-	-	-	E	E
Magnesium Sulphate	E	G	M	E	G
Maleic Acid	E	G	-	E	E
Maleic Anhydride	-	-	-	-	-
Malic Acid	E	X	-	E	E
Mash	-	-	-	E	E
Mayonnaise	E	X	X	E	E
Melamine	-	-	-	X	X
Mercuric Chloride (Dilute Solution)	E	X	X	E	X
Mercuric Cyanide	E	X	-	E	E
Mercury	E	E	E	E	E
Methanol (See Alcohol Methyl)	-	-	-	-	-
Methyl Acetate	E	G	-	E	-
Methyl Acrylate	-	-	-	-	-
Methyl Acetone	E	E	E	E	-
Methyl Alcohol 10%	E	G	-	E	-
Methyl Bromide	-	-	-	-	-

	PTFE	Carbon Steel	Cast Iron	316 Stainless Steel	304 Stainless Steel
Medio					
Methyl Butyl Ketone	-	-	-	E	-
Methyl Cellosolve	-	-	-	-	-
Methyl Chloride	E	-	-	E	M
Methyl Dichloride	-	-	-	-	-
Methyl Ethyl Ketone	E	-	-	E	E
Methyl Isobutyl Ketone 2	E	-	-	E	-
Methyl Isopropyl Ketone	-	-	-	E	-
Methyl Methacrylate	-	-	-	-	-
Methylamine	-	G	G	E	-
Methylene Chloride	E	G	-	E	E
Milk	-	X	X	E	E
Molasses	-	E	E	E	E
Mustard	-	G	M	E	E
Naptha	E	G	G	E	E
Napthalene	E	G	G	E	E
Nickel Chloride	E	X	-	G	E
Nickel Sulphate	E	X	X	G	E
Nitric Acid (10% Solution)	E	X	X	E	E
Nitric Acid (20% Solution)	E	X	-	E	E
Nitric Acid (50% Solution)	E	X	-	E	E
Nitric Acid (Concentrated Solution)	E	X	-	G	X
Nitrobenzene 2	E	G	G	E	E
OILS					
OILS Eniline	E	E	E	-	E
Enise	E	-	-	E	-
GEy	E	-	-	E	-
Gone	E	-	-	E	-
MEstor	E	E	-	E	-
MinnEmon	E	-	-	E	E
MitriM	E	X	-	E	-
Mlove	E	-	-	E	-
MoMonut	E	E	-	E	-
MoX Liver	E	-	-	E	-
Morn	E	E	-	E	-
Motton SeeX	E	E	M	E	E
Mresote	E	-	-	E	-
Xiesel Fuel (2X,3X,4X,5X)	E	-	-	E	-
Fuel (1,2,3,5E,5G,6)	E	-	-	E	E

	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	PTFE
Medio					
Ginger	E	E	-	-	-
HyXrEulIM (See HyXrEulIM)				-	
Lemon	E	E	-	-	-
LinseeX	E	E	E	-	-
MinerEl	E	E	E	G	-
Olive	E	E	E	G	E
OrEnge	E	E	-	-	E
PEIm	E	E	-	-	-
PeEnut	E	E	E	-	-
Peppermint	E	E	-	-	-
Pine	E	E	M	G	E
REpe SeeX	E	E	-	-	-
Rosin	E	E	-	-	-
SesEme SeeX	E	E	E	-	-
SillMone	E	E	E	-	-
SoyGeEn	E	E	E	-	-
Sperm	E	E	-	-	-
TEnning	E	E	-	-	-
TurGine	E	E	E	-	-
Oleic Acid	E	E	M	M	E
Oleum 25%	-	-	-	-	E
Oleum	-	E	-	G	E
Oxalic Acid (cold)	E	G	X	X	E
Paraffin	E	E	G	G	E
Pentane	M	M	G	G	E
Perchloroethylenen	E	E	G	G	E
Petrolatum	-	E	M	M	E
Phenol 10%	E	E	G	X	E
Phenol (Carbolic Acid)	E	E	X	X	E
Phosphoric Acid (to 40% Solution)	G	E	X	-	E
Phosphoric Acid (40%-100% Solution)	M	G	X	-	E
Phosphoric Acid (Crude)	X	M	X	X	E
Phosphoric Anhydride (Dry or Moist)	E	E	-	-	E
Phosphoric Anhydride (Molten)	E	E	-	-	E
Photographic (Developer)	M	E	X	-	-
Phthalic Anhydride	E	G	M	M	E
Picric Acid	E	E	X	X	E
Potash	E	-	G	-	-

	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	PTFE
Medio					
Potassium Bicarbonate	E	-	X	-	E
Potassium Bromide	E	-	X	X	E
Potassium Carbonate	E	-	G	G	E
Potassium Chlorate	E	E	G	G	E
Potassium Chloride	E	E	G	G	E
Potassium Chromate	-	G	E	-	-
Potassium Cyanide Solutions	E	G	G	G	E
Potassium Dichromate	E	E	G	M	E
Potassium Ferrocyanide	E	-	-	M	E
Potassium Hydroxide (50%)	G	G	M	E	E
Potassium Nitrate	E	G	-	G	E
Potassium Permanganate	E	G	G	G	E
Potassium Sulphate	E	G	G	G	E
Potassium Sulphide	E	-	G	G	E
Propane (Liquified)	E	-	-	G	E
Propylene Glycol	G	-	G	G	E
Pyridine	M	-	G	E	E
Pyrogalllic Acid	E	E	G	G	E
Rosins	E	E	-	M	E
Rum	E	-	-	-	-
Rust Inhibitors	E	-	E	-	-
Salad Dressing	E	-	X	-	-
Sea Water	E	M	-	X	E
Shellac (Bleached)	E	-	G	E	E
Shellac (Orange)	E	-	M	E	E
Silicone	G	-	-	-	-
Silver Bromide	M	M	-	-	-
Silver Nitrate	E	G	X	X	E
Soap Solutions	E	E	G	E	E
Soda Ash (See Sodium Carbonate)					
Sodium Acetate	E	E	M	M	E
Sodium Aluminate	-	-	-	M	E
Sodium Bicarbonate	E	E	M	M	E
Sodium Bisulphate	E	-	X	X	E
Sodium Bisulphite	E	-	X	-	E
Sodium Borate	E	-	M	M	E
Sodium Carbonate	E	G	G	G	E
Sodium Chlorate	E	-	-	M	E

	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Cast Iron	Carbon Steel	PTFE
Medio					
Sodium Chloride	E	M	G	M	E
Sodium Chromate	E	E	G	G	E
Sodium Cyanide	E	-	G	G	E
Sodium Fluoride	M	-	X	X	E
Sodium Hydrosulphite	-	-	-	-	E
Sodium Hydroxide (20%)	E	E	E	-	E
Sodium Hydroxide (50% Solution)	E	G	G	-	E
Sodium Hydroxide (80% Solution)	E	X	M	-	E
Sodium Hypochlorite 3 (to 20%)	M	M	X	-	E
Sodium Hypochlorite	-	E	X	X	E
Sodium Hyposulphate	E	E	-	-	E
Sodium Metaphosphate	-	E	G	G	E
Sodium Metasilicate	-	E	M	M	E
Sodium Nitrate	E	E	E	G	E
Sodium Perborate	-	M	G	G	E
Sodium Peroxide	E	E	X	M	E
Sodium Polyphosphate (Mono, Di, Tribasic)	E	E	-	-	E
Sodium Silicate	E	G	-	G	E
Sodium Sulphate	E	E	E	G	E
Sodium Sulphide	E	G	E	G	E
Sodium Sulphite	M	M	E	-	E
Sodium Tetraborate	-	E	-	-	-
Sodium Thiosulphate ("Hypo")	E	E	M	G	E
Sorghum	E	E	E	-	-
Soy Sauce	E	E	X	-	-
Stannic Chloride	X	X	X	X	E
Stannic Fluoborate	-	E	X	-	-
Stannous Chloride	X	M	X	X	E
Starch	E	E	M	M	E
Stearic Acid	E	E	M	M	E
Stoddard Solvent	E	E	G	G	E
Styrene	E	E	-	E	E
Sugar (Liquids)	E	E	G	G	E
Sulphate Liquors	M	M	-	-	-
Sulphur Chloride	X	X	-	-	E
Sulphur Dioxide	E	E	-	-	E
Sulphur Dioxide (Dry)	E	E	E	G	E
Sulphur Trioxide (Dry)	E	M	G	G	E

	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Cast Iron	Carbon Steel	PTFE
Medio					
Sulphuric Acid (to 10%)	X	M	X	-	E
Sulphuric Acid (10%-75%)	X	X	X	-	E
Sulphuric Acid 75%-100%	-	X	-	-	E
Sulphurous Acid	M	G	X	X	E
Sulphuryl Chloride	-	-	-	-	E
Syrup	E	E	-	-	-
Tallow	E	E	-	-	-
Tannic Acid	E	E	M	M	E
Tanning Liquors	E	E	-	-	E
Tartaric Acid	E	G	X	X	E
Tetrachlorethane	-	E	-	-	E
Tetrahydrofuran	E	E	X	E	E
Toluene, Toluol	E	E	E	E	E
Tomato Juice	E	E	M	M	E
Trichlorethane	M	E	M	-	E
Trichlorethylene	E	E	M	G	E
Trichloropropane	-	E	-	-	-
Tricresylphosphate	-	E	-	-	E
Triethylamine	-	-	-	-	-
Turpentine	E	E	G	G	E
Urine	E	E	G	-	-
Vegetable Juice	E	E	X	-	-
Vinegar	E	E	M	X	E
Varnish (Use Viton® for Aromatic)	E	E	-	M	E
Water, Acid , Mine	E	E	M	-	-
Water, Distilled , Lab Grade 7	E	E	X	-	E
Water, Fresh	E	E	G	X	E
Water, Salt	E	E	X	-	-
Weed Killers	E	E	-	-	-
Whey	E	E	-	-	-
Whiskey and Wines	E	E	X	X	E
White Liquor (Pulp Mill)	E	E	M	-	E
White Water (Paper Mill)	E	E	-	-	-
Xylene	E	E	E	G	E
Zinc Chloride	E	G	X	X	E
Zinc Hydrosulphite	-	E	X	-	-
Zinc Hydrosulphate	E	E	M	X	E
Zinc Sulphate	E	E	M	X	E

ANEXO 6

DIARIO OFICIAL DEL BICENTENARIO



El Peruano

FUNDADO EL 22 DE OCTUBRE DE 1825 POR EL LIBERTADOR SIMÓN BOLÍVAR

Gerente de Publicaciones Oficiales: **Ricardo Montero Reyes**

AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA

NORMAS LEGALES

Año XXXVIII - N° 15903

SÁBADO 27 DE FEBRERO DE 2021

1

EDICIÓN EXTRAORDINARIA

SUMARIO

PODER EJECUTIVO

PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS

D.S. N° 037-2021-PCM.- Decreto Supremo que declara el Estado de Emergencia en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco, del departamento de Pasco, por peligro inminente ante el desembalse de la relavera Quiulacocha **1**

PRODUCE

R.M. N° 00062-2021-PRODUCE.- Aprueban el Plan Anual de Transferencia Sectorial Año 2021 del Ministerio de la Producción **3**

PODER EJECUTIVO

PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS

Decreto Supremo que declara el Estado de Emergencia en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco, del departamento de Pasco, por peligro inminente ante el desembalse de la relavera Quiulacocha

**DECRETO SUPREMO
N° 037-2021-PCM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con lo dispuesto en el numeral 68.4 del artículo 68 del Reglamento de la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), aprobado por el Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, en concordancia con el numeral 7.1 del artículo 7 y el numeral 9.1 del artículo 9, de la "Norma Complementaria sobre la Declaratoria de Estado de Emergencia por Desastre o Peligro Inminente, en el marco de la Ley N° 29664, del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres-SINAGERD", aprobada mediante el Decreto Supremo N° 074-2014-PCM; los titulares de los Ministerios canalizarán su solicitud de declaratoria de Estado de Emergencia por peligro inminente o por la ocurrencia de un desastre, a través

del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), con la debida sustentación;

Que, mediante el Oficio N° 122-2021-MINEM/DM, de fecha 26 de febrero de 2021, el Ministro de Energía y Minas solicita al Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), la declaratoria del Estado de Emergencia por peligro inminente ante el desembalse de la relavera Quiulacocha, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, de la provincia y departamento de Pasco;

Que, el numeral 68.2 del artículo 68 del Reglamento de la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), aprobado por el Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, establece que el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) emite opinión sobre la procedencia de la solicitud de declaratoria de Estado de Emergencia, para cuyo fin emite el informe técnico respectivo;

Que, mediante el Oficio N° 0678-2021-INDECI/5.0 de fecha 26 de febrero de 2021, el Jefe del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) remite y hace suyo el Informe Técnico N° 00022-2021-INDECI/11.0, de fecha 26 de febrero de 2021, emitido por el Director de Respuesta de dicha entidad, en el que se señala, que es necesario ejecutar medidas y acciones de excepción, inmediatas y necesarias, de reducción del muy alto riesgo existente, así como, de respuesta y rehabilitación, en cuanto corresponda, y opina sobre la procedencia de la solicitud de declaratoria de Estado de Emergencia en el distrito de Simón Bolívar, de la provincia y departamento de Pasco, por peligro inminente ante el desembalse de la relavera Quiulacocha, presentada por el Ministerio de Energía y Minas;

Que, para la elaboración del Informe Técnico N° 00022-2021-INDECI/11.0, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) ha tenido en consideración: (i) el Informe N° 0056-2021-MINEM-DGM-DTM-PAM de fecha 26 de febrero de 2021, de la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas; (ii) el Informe de Estimación

del Riesgo por Peligro Inminente ante el Desembalse de la Relavera Quiulacocha, en los centros poblados de Quiulacocha, Yurajhuanca y Rancas, distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco, de fecha 16 de febrero de 2021; y, (iii) el Reporte de Peligro Inminente N° 055-25/2021/COEN-INDECI/14:50 HORAS (Reporte N° 1), emitido por el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) administrado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI);

Que, asimismo, en el Informe Técnico N° 00022-2021-INDECI/11.0, se señala que la magnitud de la situación identificada, demanda la adopción de medidas urgentes que permitan al Gobierno Regional de Pasco y a los gobiernos locales involucrados, con la coordinación técnica y seguimiento permanente del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y la participación del Ministerio de Salud, del Ministerio de Educación, del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, del Ministerio del Ambiente, del Ministerio de Energía y Minas, del Ministerio del Interior, del Ministerio de Defensa, y demás instituciones públicas y privadas involucradas, en cuanto les corresponda; ejecutar las medidas y acciones de excepción, inmediatas y necesarias, de reducción del Muy Alto Riesgo existente, así como de respuesta y rehabilitación que correspondan. Dichas acciones deberán tener nexo directo de causalidad entre las intervenciones y el evento, y podrán ser modificadas de acuerdo con las necesidades y elementos de seguridad que se vayan presentando durante su ejecución, sustentados en los estudios técnicos de las entidades competentes;

Que, estando a lo expuesto, y en concordancia con lo establecido en el numeral 43.2 del artículo 43 del Reglamento de la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), aprobado mediante el Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, en el presente caso, se configura una emergencia de nivel 4;

Que, adicionalmente, el Informe Técnico N° 00022-2021-INDECI/11.0 señala que la capacidad de respuesta del Gobierno Regional de Pasco ha sido sobrepasada; por lo que resulta necesaria la intervención técnica y operativa de las entidades del Gobierno Nacional, recomendando se declare el Estado de Emergencia en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco, del departamento de Pasco, por peligro inminente ante el desembalse de la relavera Quiulacocha, por el plazo de sesenta (60) días calendario, para la ejecución de medidas y acciones de excepción, inmediatas y necesarias, de reducción del Muy Alto Riesgo existente, así como de respuesta y rehabilitación que correspondan. Para dicho efecto, se cuenta con la opinión favorable del Viceministerio de Gobernanza Territorial de la Presidencia del Consejo de Ministros;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 21 de la "Norma Complementaria sobre la Declaratoria de Estado de Emergencia por Desastre o Peligro Inminente, en el marco de la Ley N° 29664, del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres-SINAGERD", aprobada por Decreto Supremo N° 074-2014-PCM, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) debe efectuar las acciones de coordinación y seguimiento a las recomendaciones y acciones inmediatas y necesarias que se requieran o hayan sido adoptadas por el Gobierno Regional y/o los sectores involucrados, en el marco de la Declaratoria de

Estado de Emergencia aprobada, debiendo remitir a la Presidencia del Consejo de Ministros, el informe de los respectivos resultados, así como de la ejecución de las acciones inmediatas y necesarias, establecidas durante la vigencia del Estado de Emergencia;

De conformidad con el numeral 1) del artículo 137 de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD); el Reglamento de la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), aprobado por el Decreto Supremo N° 048-2011-PCM; y, la "Norma Complementaria sobre la Declaratoria de Estado de Emergencia por Desastre o Peligro Inminente, en el marco de la Ley N° 29664, del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres-SINAGERD", aprobada por el Decreto Supremo N° 074-2014-PCM;

Con el voto aprobatorio del Consejo de Ministros, y con cargo a dar cuenta al Congreso de la República;

DECRETA:

Artículo 1.- Declaratoria del Estado de Emergencia

Declárese el Estado de Emergencia en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco, del departamento de Pasco, por peligro inminente ante el desembalse de la relavera Quiulacocha, por el plazo de sesenta (60) días calendario, para la ejecución de medidas y acciones de excepción, inmediatas y necesarias, de reducción del Muy Alto Riesgo existente, así como de respuesta y rehabilitación que correspondan.

Artículo 2.- Acciones a ejecutar

El Gobierno Regional de Pasco, y los gobiernos locales comprendidos, con la coordinación técnica y seguimiento del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y la participación del Ministerio de Salud, del Ministerio de Educación, del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, del Ministerio del Ambiente, del Ministerio de Energía y Minas, del Ministerio del Interior, del Ministerio de Defensa, y demás instituciones públicas y privadas involucradas, ejecutarán las medidas y acciones de excepción, inmediatas y necesarias, de reducción del Muy Alto Riesgo existente, así como de respuesta y rehabilitación que correspondan. Dichas acciones deberán tener nexo directo de causalidad entre las intervenciones y el evento, y podrán ser modificadas de acuerdo a las necesidades y elementos de seguridad que se vayan presentando durante su ejecución, sustentadas en los estudios técnicos de las entidades competentes.

Artículo 3.- Financiamiento

La implementación de las acciones previstas en el presente decreto supremo se financia con cargo al presupuesto institucional de los pliegos involucrados, de conformidad con la normatividad vigente.

Artículo 4.- Refrendo

El presente decreto supremo es refrendado por la Presidenta del Consejo de Ministros, el Ministro de Salud, el Ministro de Educación, el Ministro de Desarrollo Agrario y Riego, el Ministro del Ambiente, el Ministro de Energía y Minas, el Ministro del Interior y la Ministra de Defensa.

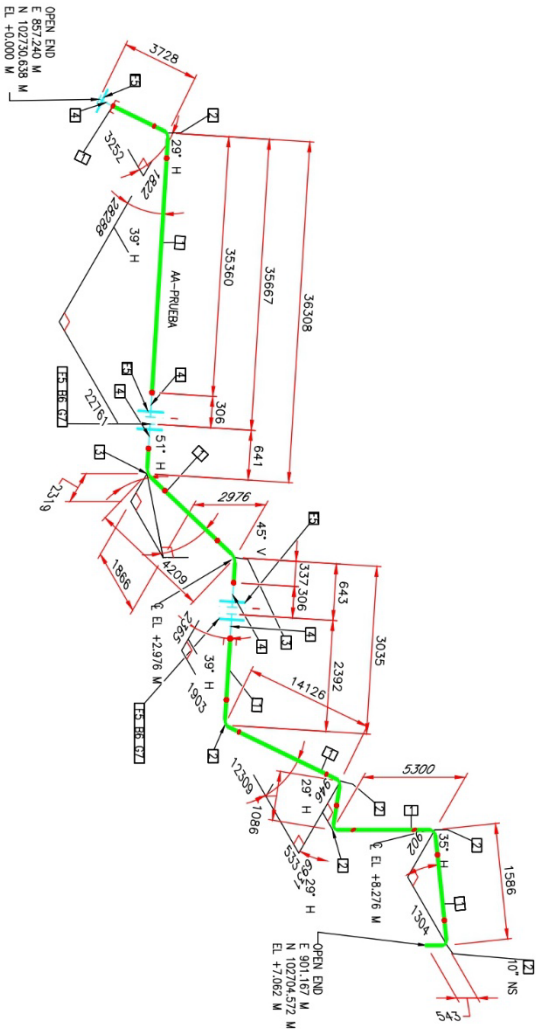
DIARIO OFICIAL DEL Bicentenario
El Peruano

REQUISITOS PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica a las entidades que conforman el Poder Legislativo, Poder Ejecutivo, Poder Judicial, Organismos Constitucionales Autónomos, Organismos Públicos, Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, que para efectos de la publicación de sus disposiciones en general (normas legales, reglamentos jurídicos o administrativos, resoluciones administrativas, actos de administración, actos administrativos, etc) con o sin anexos, deberán ser remitidos al correo electrónico normaslegales@editoraperu.com.pe.

GERENCIA DE PUBLICACIONES OFICIALES

ANEXO 7



1. DIMENSIONES EN VALMETROS, ELEVACIONES EN METROS.
2. LOS PERENOS Y EMPAQUETADOS SON SUMINISTRADOS POR EL PROVEEDOR.
3. EL PROVEEDOR DEBERA VERIFICAR DIAMETROS Y LONGITUD DE LOS PERENOS.
4. TODAS LAS DIMENSIONES DEBERAN SER VERIFICADAS EN TERRENO ANTES Y DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA.