

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

**DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO Y SU IMPACTO EN EL
DRENAJE DE AGUA ÁCIDA DESDE EL NIVEL 4709 m s. n. m.
HASTA EL NIVEL 4757 m s. n. m**

Para obtener el título profesional de: Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por

Victor De Jesus Zerrillo Gonzales

 [0000-0001-8672-1234](https://orcid.org/0000-0001-8672-1234)

Asesor

Dr. Francisco Manuel Ugarte Palacin

 [0009-0007-6106-2562](https://orcid.org/0009-0007-6106-2562)

TOMO I DE I

LIMA – PERÚ

2024

Dedicatoria

A mi querido padre, roca inquebrantable en los momentos difíciles, faro de sabiduría en la oscuridad, y fuente inagotable de amor y apoyo. A través de todos los desafíos, tú has sido mi pilar, mi guía y mi inspiración. Tu fuerza, tu coraje y tu amor incondicional han sido mi mayor fortaleza. Esta obra está dedicada a ti, mi amado padre, con gratitud eterna y un amor que trasciende el tiempo y el espacio.

Citar/How to cite	Zerrillo Gonzales [1]
Referencia/Reference	[1] V. Zerrillo Gonzales, "Diseño de sistema de bombeo y su impacto en el drenaje de agua ácida desde el nivel 4709 m s. n. m. hasta el nivel 4757 m s.n.m." [Tesis]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Zerrillo, 2024)
Referencia/Reference	Zerrillo, V. (2024). <i>Diseño de sistema de bombeo y su impacto en el drenaje de agua ácida desde el nivel 4709 m s. n. m. hasta el nivel 4757 m s.n.m.</i> [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que han contribuido a mi formación y desarrollo profesional durante el transcurso de esta tesis. En primer lugar, agradezco a mis colegas y mentores en mi entorno laboral por su constante apoyo y orientación.

Quisiera hacer una mención especial a mi mentor, el Ingeniero Luis Alberto Huerto Velásquez, cuyos valiosos conocimientos y guía han sido fundamentales en mi crecimiento profesional. Asimismo, agradezco profundamente a mi asesor, el Dr. Francisco Manuel Ugarte Palacin, por sus recomendaciones expertas y sus minuciosas revisiones a lo largo de todo el proceso de elaboración de esta tesis.

Por último, deseo expresar mi reconocimiento al Ingeniero Jorge Luis García Cochachi por su inquebrantable apoyo y por facilitarme la licencia del programa Kypipe, que fue de gran utilidad para el desarrollo de este trabajo.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por su invaluable contribución y apoyo en este importante proyecto.

RESUMEN

La minería, siendo una industria donde el tiempo es esencial para la rentabilidad, se enfrenta a desafíos significativos causados por las paradas operativas ocasionadas por infiltraciones de agua y lluvias durante la construcción de diques de relaves en minas a cielo abierto. Estas infiltraciones generan problemas operativos, lo que hace necesario un sistema de bombeo eficiente para mantener la continuidad de las actividades mineras.

La presente tesis aborda el diseño de un sistema de bombeo destinado a drenar el agua de infiltración y lluvias durante la excavación desde el nivel 4757 m.s.n.m hasta el nivel 4709 m.s.n.m. Como objetivos se buscó determinar los puntos y el modo de operación de la bomba para cada nivel descendido, y diseñar el sistema de tuberías mediante análisis estacionario y transitorio. La metodología aplicada se basa en un enfoque cuantitativo, utilizando un diseño de investigación correlacional para relacionar el sistema de bombeo con el drenaje de agua ácida.

La hipótesis general sostiene que, con un sistema de bombeo adecuado, considerando las variaciones de altura, caudales de infiltración y lluvias, se puede drenar correctamente el agua durante los procesos de excavación. Los resultados obtenidos confirman esta hipótesis, mostrando que el sistema de bombeo puede manejar eficazmente el volumen de agua acumulada mediante el uso de skids de bombeo con motobombas autocebantes y tuberías HDPE 10" para la succión y de HDPE 6" para la descarga, permitiendo la flexibilidad y reubicación del sistema, lo cual hace posible la continuidad de las excavaciones y minimizando los retrasos operativos.

Palabras clave — Análisis estacionario, Análisis transitorio, Skid de bombeo, infiltraciones.

ABSTRACT

The mining industry, where time is essential for profitability, faces significant challenges caused by operational shutdowns due to water infiltrations and rain during the construction of tailings dams in open-pit mines. These infiltrations generate operational problems, making an efficient pumping system necessary to maintain the continuity of mining activities.

The present thesis addresses the design of a pumping system aimed at draining infiltration and rainwater during excavation from level 4757 masl to level 4709 masl. The objectives were to determine the points and mode of operation of the pump for each descended level and to design the pipe system through stationary and transient analysis. The applied methodology is based on a quantitative approach, using a correlational research design to relate the pumping system to acidic water drainage.

The general hypothesis maintains that, with an appropriate pumping system, considering variations in height, infiltration rates, and rainfall, water can be correctly drained during excavation processes. The obtained results confirm this hypothesis, showing that the pumping system can effectively manage the accumulated water volume by using pumping skids with self-priming pumps and HDPE 10" pipes for suction and HDPE 6" for discharge, allowing flexibility and relocation of the system, thus enabling the continuity of excavations and minimizing operational delays.

Keywords — Steady-state analysis, Transient analysis, Pumping skid, Infiltrations.

PRÓLOGO

En el mundo de la minería, el agua puede ser un problema grave si no se puede controlar adecuadamente. Esta tesis se sumerge en la búsqueda de la solución de cómo lidiar con el agua que se acumula durante la excavación de una presa de relaves para una mina a tajo abierto. El objetivo es mantener las operaciones mineras en marcha y sin problemas, a pesar de los desafíos que se presente por caudales de agua debido a infiltraciones y lluvias.

A lo largo de estas páginas, se explorará el diseño de un sistema de bombeo para drenar el agua de lluvia e infiltración.

Este trabajo está pensado no solo para expertos en minería, sino para cualquiera interesado en entender cómo resolver problemas de bombeo en la industria minera.

El presente trabajo de tesis se divide en seis partes, en los que se comienza con una breve introducción, luego se presenta el marco teórico y conceptual del estudio, la metodología utilizada para su realización, los análisis y cálculos, los resultados obtenidos y finalmente se discuten los resultados.

Tabla de Contenido

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
PRÓLOGO	vii
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 Objetivos específicos.....	3
1.4 Hipótesis y operacionalización de variables	4
1.4.1 Hipótesis general.....	4
1.4.2 Hipótesis específica.....	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. MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL	8
2.1 Marco teórico	8
2.1.1 Velocidad del fluido	8
2.1.2 Número de Reynolds.....	8
2.1.3 Régimen de flujo.....	8
2.1.4 Factor de fricción	9
2.1.5 Perdidas de carga en tuberías.....	10

2.1.6	Caudal de diseño:.....	12
2.1.7	Altura dinámica de succión	12
2.1.8	Altura dinámica de descarga	12
2.1.9	Altura dinámica total	13
2.1.10	Potencia Hidráulica.....	13
2.1.11	Potencia al eje	13
2.1.12	Altura neta de succión positiva	13
2.1.13	Celeridad de onda	14
2.1.14	Tiempo de parada de la bomba	14
2.1.15	Golpe de ariete	16
2.1.16	Sumergencia	18
2.1.17	Cavitación.....	19
2.1.18	Bombas instaladas en serie	19
2.1.19	Bombas instaladas en paralelo	21
2.1.20	Válvulas.....	24
2.2	Marco conceptual	26
2.2.1	Bomba Autocebante	26
2.2.2	Estado transitorio.....	26
2.2.3	Estado estacionario	26
2.2.4	Poza de recolección	26
2.2.5	Infiltración	26
2.2.6	Piping Class	26
2.2.7	Skid de bombeo	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:	28
3.4.3	Análisis de los datos	28
3.4.4	Limitaciones	29
3.4.5	Matriz de consistencia	29
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y CÁLCULOS.....		30
4.1	Análisis de caudales máximos y mínimos	30
4.1.1	Caudal por filtraciones	30
4.1.2	Caudales de lluvia	32
4.1.3	Resumen de caudales de agua	33
4.1.4	Resumen de volúmenes de agua	34
4.2	Análisis de tubería proyectada	35
4.2.1	Perfil de la tubería	37
4.3	Criterios de cálculo	38
4.4	Parámetros de bombeo	38
4.5	Selección de material de tubería	39
4.6	Cálculo es estado estacionario	42
4.6.1	Caudal de diseño.....	42
4.6.2	Cálculo de diámetro de la tubería	43
4.6.3	Cálculo de ADT	43
4.6.4	Cálculo de NPSH Disponible	58
4.6.5	Cálculo de sumergencia	59
4.6.6	Resumen de puntos de diseño	59
4.7	Análisis del sistema de bombeo	60
4.8	Cálculo en estado transitorio	66
4.8.1	Calculo analítico	66
4.8.2	Calculo con software	67
CAPÍTULO V. RESULTADOS.....		70
5.1	Descripción del sistema de bombeo	70

5.2	Costo del sistema de bombeo	73
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN.....		75
6.1	Discusiones.....	75
6.2	Interpretación	75
CONCLUSIONES		76
RECOMENDACIONES		78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		79
ANEXOS		81

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	4
Tabla 2 Matriz de consistencia.....	29
Tabla 3 Caudales de filtración - etapa II.....	31
Tabla 4 Caudales de filtración - etapa III.....	31
Tabla 5 Caudales de infiltración seleccionados para el proyecto	32
Tabla 6 Resumen de caudales para temporada seca y lluviosa.....	34
Tabla 7 Resumen de caudales totales de agua	34
Tabla 8 Longitudes de tuberías de succión y descarga.....	37
Tabla 9 Parámetros de bombeo.....	38
Tabla 10 Válvulas y accesorios en la instalación	39
Tabla 11 Características de tuberías HDPE.....	43
Tabla 12 Requerimientos de bombeo - temporada seca.....	59
Tabla 13 Requerimientos de bombeo - temporada de lluvias.....	60
Tabla 14 Puntos de operación - 01 bomba en funcionamiento.....	63
Tabla 15 Puntos de operación - 02 bomba en paralelo	64
Tabla 16 Modo de operación del sistema de bombeo	65
Tabla 17 Horas máximas de bombeo al día.....	65
Tabla 18 Resultado de cálculo transitorio en Kypipe - nivel 4709.....	69

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Ubicación de referencia del proyecto.</i>	3
Figura 2 <i>Coeficientes de pérdidas por fricción en accesorios.</i>	11
Figura 3 <i>Gráfica para hallar valores de coeficiente C.</i>	15
Figura 4 <i>Gráfica para hallar valores de coeficiente k</i>	16
Figura 5 <i>Representación gráfica del golpe de ariete en impulsiones cortas.</i>	17
Figura 6 <i>Representación gráfica del golpe de ariete en impulsiones largas.</i>	18
Figura 7 <i>Bombas instaladas en serie</i>	19
Figura 8 <i>Puntos de operación - Bombas en serie</i>	20
Figura 9 <i>Bombas instaladas en paralelo</i>	21
Figura 10 <i>Punto de operación - Bombas iguales en paralelo</i>	22
Figura 11 <i>Punto de operación – Bombas distintas en paralelo</i>	23
Figura 12 <i>Funcionamiento de bombas en paralelo</i>	23
Figura 13 <i>Tipos de válvulas usadas en sistemas de tuberías</i>	24
Figura 14 <i>Tipos de válvulas usadas en sistemas de tuberías</i>	25
Figura 15 <i>Zona referencia para instalación de sistema de bombeo</i>	27
Figura 16 <i>Evolución de los caudales de filtración</i>	32
Figura 17 <i>Evolución de los caudales de lluvia.</i>	33
Figura 18 <i>Rango de velocidades recomendado.</i>	34
Figura 19 <i>Trazo de tubería proyectada hasta el nivel 4721.</i>	35
Figura 20 <i>Trazo de tubería proyectada hasta el nivel 4709.</i>	36
Figura 21 <i>Perfil de tubería proyectada al nivel 4721</i>	37

Figura 22 Perfil de tubería proyectada al nivel 4709	37
Figura 23 Rango de velocidades recomendado	38
Figura 24 Resistencia química de materiales.....	40
Figura 25 Curva de Motobomba Thompson 6JSCD-DJDST-68T-M.....	61
Figura 26 Zona de operación -Motobomba Thompson 6JSCD-DJDST-68T-M.....	62
Figura 27 Puntos de operación del sistema – 01 bomba	63
Figura 28 Puntos de operación del sistema - 02 bombas en paralelo	64
Figura 29 Configuración de análisis con software – nivel 4709 m.s.n.m.	67
Figura 30 Caída de velocidad de rotación en la bomba– nivel 4709 m.s.n.m.....	68
Figura 31 Variación de presión en la descarga de la Motobomba.....	68
Figura 32 Esquema de Instalación de Motobomba proyectada-vista 1	71
Figura 33 Imagen referencial de la motoboma Thompson	72
Figura 34 Esquema de Instalación de Motobomba proyectada-vista 1	72
Figura 35 Esquema de Instalación de Motobomba proyectada-vista 2	73
Figura 36 Costos referenciales de Skid de bombeo.....	74

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La minería, una actividad crucial para la extracción de minerales y recursos valiosos, ha sido fundamental para el desarrollo económico de muchas regiones en todo el mundo. Sin embargo, junto con sus beneficios, la minería también conlleva importantes desafíos ambientales y de gestión de residuos. Durante el proceso de extracción y procesamiento de minerales, se generan grandes cantidades de desechos, que incluyen roca desechada, productos químicos y otros materiales no deseados. Gestionar estos desechos de manera efectiva es crucial para prevenir la contaminación del medio ambiente y proteger la salud pública.

Una de las infraestructuras clave utilizadas en la gestión de desechos mineros es la presa de relaves. Estas estructuras desempeñan un papel crucial en la contención y gestión de los desechos generados por la minería, proporcionando un medio seguro para almacenar los relaves y minimizar su impacto ambiental.

Considerar el factor hídrico es esencial para la factibilidad de las actividades mineras. Por este motivo se realizan estudios hidrológicos e hidrogeológicos, ya que, durante los trabajos de excavación en la construcción de una presa de relaves, ya sea en temporada seca o temporada de lloviznas, se suele encontrar infiltraciones de agua de lluvia, las cuales aumentan a mayor profundidad alcanzada.

El estudio hidrológico brinda información respecto al elemento hídrico superficial como pueden aguas de escorrentía, cuerpos de agua superficial y lluvias; por otro lado, los estudios hidrogeológicos brindan información del elemento hídrico subterráneo como pueden ser pozos, acuíferos o agua de infiltraciones.

En la actualidad, los sistemas de bombeo desempeñan un papel crucial en la excavación de presas de relaves, especialmente en sitios donde se encuentran elevaciones o niveles freáticos altos. Estos sistemas permiten controlar el nivel del agua dentro del área de excavación, lo que facilita la construcción de la presa y garantiza la

estabilidad de la misma. Además, el bombeo de agua también ayuda a prevenir inundaciones por lluvias durante el proceso de construcción, lo que permite un avance más eficiente y seguro de las obras. Gracias a la tecnología de bombeo moderna, los ingenieros pueden gestionar de manera efectiva el agua en los sitios de excavación de presas de relaves, garantizando la seguridad y el éxito del proyecto.

1.2 Descripción del problema de investigación

En el campo de la minería, el tiempo es un factor clave para generar utilidades, es por ese motivo que se busca reducir o eliminar las paradas de operación causadas por posibles problemas.

El exceso de agua subterránea infiltrada genera un problema para la continuidad de operaciones, esto sumado al agua superficial proveniente de lluvias puede causar constantes paradas operativas. Por esta razón se crea la necesidad de bombear dicha agua para mantener la continua explotación de minerales.

El agua es un recurso primordial en minería. Sin embargo, si no podemos administrarla adecuadamente, esta perjudica la operación programada causando retrasos, lo cual se traduce en pérdidas de dinero. He allí la importancia de buscar la solución para reubicar esta agua mediante un sistema de bombeo.

La empresa minera tomada como unidad de análisis en la presente tesis está por iniciar sus operaciones. Por ese motivo se encuentra realizando estudios de infiltraciones y condiciones operativas, encontrándose que la infiltración de agua aumentará progresivamente según los niveles descendidos. Además, según el estudio, en la zona del proyecto se tomará en cuenta los caudales de lluvia involucrados en un periodo continuo de 12 horas, siendo los valores más elevados en los periodos de llovizna. Bajo estas condiciones se vuelve necesario el bombeo de agua desde el nivel 4757 m s. n. m. hasta el nivel 4709 m s. n. m. con el fin de drenar estas aguas y poder continuar con las operaciones mineras

Figura 1

Ubicación de referencia del proyecto.



Fuente: <https://www.regionjunin.gob.pe/>

1.2.1 Planteamiento del problema

1.2.1.1 Problema general

¿Cómo diseñar un sistema de bombeo capaz de drenar el agua de infiltración y lluvias al excavar desde el nivel 4757 m s. n. m. hasta el nivel 4709 m s. n. m.?

1.2.1.2 Problemas específicos

- ¿Qué características de funcionamiento tendrá la bomba instalada?
- ¿Cómo determinar el sistema de tuberías para el sistema de bombeo?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de bombeo para drenar el agua de infiltración y lluvias al excavar desde el nivel 4757 hasta el nivel 4709.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los puntos y modo de operación de la bomba para cada nivel descendido.
- Diseñar el sistema de tuberías mediante análisis estacionario y transitorio.

1.4 Hipótesis y operacionalización de variables

1.4.1 Hipótesis general

Con un adecuado sistema de bombeo, diseñado tomando en cuenta las variaciones de altura, caudales de infiltración y temporadas secas o lluviosas, se podrá drenar correctamente el agua durante los procesos de excavación desde las pozas de recolección de agua de cada nivel hasta el canal de drenaje, dando continuidad a las operaciones mineras.

1.4.2 Hipótesis específica

- Al determinar los puntos de operación del sistema de bombeo se logrará dar continuidad a las operaciones mineras.
- Al dimensionar correctamente las tuberías, tomando en cuenta los cálculos para el estado estacionario y el estado transitorio, se obtendrá la correcta resistencia del sistema.

1.4.3 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables.

Tipo de Variable	Variable	Dimensiones	Indicadores
Independiente	Sistema de bombeo	Capacidad de bombeo	Caudal variable l/s m ³ /h
		Tipo de configuración	Serie o paralelo
		Tiempo de extracción	hr/día
Dependiente	Drenaje de agua ácida	Volumen bombeado	m ³

Fuente: Elaboración propia.

1.5 Antecedentes investigativos

1.5.1 Antecedentes internacionales

Ortíz (2014), en su proyecto de grado nombrado “Diseño E Implementación Del Sistema De Bombeo Principal Del Sector A - Mina Calenturitas, Propiedad De C.I Prodeco S.A, La Loma, Cesar”, Afirma que el proyecto mejoró el control de las aguas producidas por infiltraciones y lluvias tanto época húmeda como seca, la cual provocaba retrasos operacionales, y obtuvo mejores eficiencias con menos costos al reducir las estaciones de bombeo, tuberías y materiales. Además, se realizó el diseño considerando un sistema de bombeo dinámico, siendo necesario revisar constantemente las condiciones de operación con el fin de realizar ajustes que logren optimizar el proceso, recopilando datos referentes a los cambios topográficos y cruzando información con los planes de minería a corto y largo plazo en procura de alcanzar un plan a mediano plazo que sea funcional, económico y que sea la solución a la problemática planteada.

Muñoz (2016), presentó 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”, afirma que el mal dimensionamiento del sistema de tuberías causa bajas eficiencias en el sistema de bombeo y al analizar correctamente las características de operación pudo lograr aumentar la eficiencia inicial de 17% hasta el 53%. También menciona que una fracción de las aguas infiltradas, encontradas en los procesos de excavación, se deben a acuíferos subterráneos y al agua precipitada proveniente de las lluvias

1.5.2 Antecedentes nacionales

Rafael (2019), en su tesis de titulación llamada “Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en Minera Kolpa S.A.”, concluye que se debe implementar un sistema de bombeo que permita drenar el agua subterránea acumulada durante los trabajos de profundización en mina, permitiendo continuar con las labores de explotación y extracción de minerales. Además, se menciona que antes de la investigación, es imprescindible evaluar las condiciones de funcionamiento

para realizar el estudio que nos otorgue las mejores ventajas técnicas y se evacúe correctamente las filtraciones.

Méndez (2012), en su tesis de titulación nombrada “Sistema de Bombeo de Agua de Mina para un Caudal de 1000 L/S Altura Estática de 150 Mts. en el Nv. 3990 U.E.A. Uchucchacua de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A”, concluye que se debe seleccionar diámetros de tuberías adecuados, ya que esto tiene una gran importancia en las características de operación del sistema de bombeo y teniendo resaltante influencia en la eficiencia de la bomba según su curva de operación. Además, se debe analizar la altura mínima del nivel del agua en el reservorio para conocer la altura neta de succión positiva y seleccionar la bomba con un NPSHR adecuado con el fin de evitar fenómenos de cavitación.

Paredes y Caro (2012), presentaron su tesis de titulación llamada “Diseño De Un Sistema De Bombeo Para Drenar El Agua Subterránea En La Unidad Minera San Blas, Nivel El Quinto, Pique 62-Algamarca, Cajabamba 2021”, donde diseñaron un sistema de bombeo dinámico para poder reubicar el agua de infiltración desde el nivel 2978 msnm hasta el nivel 3028 msnm. Analizando en total 13 estaciones de bombeo y concluyendo que los puntos de operación varían de acuerdo con los progresos de excavación del pique. También hacen énfasis en la importancia de realizar planes de mantenimientos preventivos para no aminorar el tiempo de vida útil del sistema de bombeo y así evitar, en lo posible, problemas técnicos que detengan la operación causando pérdidas económicas.

Enríquez (2015). En su tesis “Análisis de golpe de ariete para reducir la sobrepresión en el sistema de bombeo del tanque TK-007 al cajón LA003B de la presa de relaves de SMCV”, concluye que, para realizar correctamente el análisis por golpe de ariete, primero se debe evaluar el sistema sin dispositivos de protección. Dicho caso permite analizar las sobrepresiones generadas en el análisis de régimen transitorio y determinar qué elemento de protección es el idóneo en la instalación. También menciona que, de acuerdo a la resistencia de la tubería considerada, es posible que no sea necesaria la implementación de un dispositivo contra golpe de ariete.

Rojas (2015). En su tesis “Diseño Del Sistema De Bombeo Para El Abastecimiento Optimo De Agua Potable Del Distrito De Huancán-Huancayo”, concluye que el diseño mediante selección de bombas instaladas en paralelo resulta muy aceptable desde el punto de funcionamiento permanente y con relativamente baja inversión. Además, menciona que cuando funcionaba una bomba, la lectura de flujo fue de 40 l/s. Cuando funcionó la siguiente bomba también registró 40l/s y cuando se instaló las dos bombas en paralelo la lectura fue de 52 litros. Afirmando que aumentaron su capacidad de bombeo solo en el 30%.

CAPÍTULO II. MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco teórico

2.1.1 Velocidad del fluido

Es la rapidez con la que se mueve el fluido dentro la tubería o conducto. Según Daniel Bernoulli se puede calcular de acuerdo con la ecuación 1.

$$Q = v \times A \quad (1)$$

Donde:

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

Q: Caudal (m³/s)

A: Área (m²)

2.1.2 Número de Reynolds

En el año 1883 Osborne Reynolds, como consecuencia de sus investigaciones sobre el desplazamiento de fluidos en conductos, relacionó la velocidad, el diámetro interno y la viscosidad del fluido para concluir en la expresión adimensional que se define según la ecuación 2.

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

Donde:

Re: Número de Reynolds

D_i: Diámetro interior de la tubería (m)

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

n: Viscosidad cinemática (m²/s)

2.1.3 Régimen de flujo

El régimen de flujo se calculará a partir del número de Reynold (Re), que evidencia si el fluido estudiado se encuentra en régimen laminar o turbulento. Dicho de otra forma:

Re < 2000: Flujo laminar.

Re > 4000: Flujo turbulento.

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

Donde:

- Flujo laminar: Como su nombre lo indica, en este régimen el fluido se comporta como laminas paralelas siguiendo trayectorias definidas con desplazamientos suaves y ordenados
- Flujo turbulento: El fluido se comporta de manera caótica, desplazándose de manera irregular y en trayectorias indefinidas generando vórtices.

2.1.4 Factor de fricción

El factor de fricción se trata de un parámetro adimensional que nos permite hallar las pérdidas de carga debido a la fricción en tuberías y/o ductos y se puede hallar mediante el uso de fórmulas.

- a) Si se tratara de un Flujo Laminar, el factor de fricción se determinará mediante la ecuación de Hagen — Poiseuille

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

- b) Si se tratara de un Flujo turbulento, el factor de fricción para estimar las pérdidas se determinará mediante la ecuación iterativa de Colebrook-White

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

- c) El método desarrollado por R.K. Swamee y A.K. Jain permite el cálculo directo del factor de fricción según la ecuación 5.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{d_i} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (5)$$

Donde:

g: aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

d_i: diámetro interior de la tubería (mm)

ε: rugosidad de la tubería (mm)

f: factor de fricción

2.1.5 Pérdidas de carga en tuberías

- Pérdidas por fricción o primarias

El cálculo de pérdidas de carga por fricción (H_f) se realiza utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach, según la ecuación 6.

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

Donde:

H_f : Pérdidas primarias (m)

L : Longitud de la tubería (m)

J : Pérdida de carga por fricción unitaria definida según la ecuación 7.

$$J = \frac{f \times v^2}{2 \times g \times d_i} \quad (7)$$

- Pérdidas por fricción en singularidades o secundarias

Complementariamente a las pérdidas por fricción se considera las pérdidas locales en válvulas y accesorios (H_{va}) según la ecuación 8.

$$H_{va} = \Sigma K * \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Donde:

H_{va} : Pérdidas secundarias (m)

K : coeficiente de pérdida por fricción según la figura 2.

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

g : aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

Figura 2*Coefficientes 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 gradual	0,30
Ampliación brusca	0,20
Reducción gradual	0,25
Reducción Brusca	0,35
Codo corto de 90	0,90
Codo corte de 45	0,40
Codo largo de 90	0,40
Codo largo de 45 ⁰	0,20
Codo largo de 22 – 30 ⁰	0,10
Tee con flujo en línea recta	0,10
Tee con flujo en ángulo	1,50
Tee con salida bilateral	1,80
Válvula de compuerta abierta	5,00
Válvula de ángulo abierta	5,00
Válvula de globo abierta	10,00
Válvula de retención	2,50
Válvula de mariposa abierta	0,24
Boquillas	2,75
Controlador de gasto	2,50
Medidor Venturi	2,50
Bifurcación	0,10
Pequeña derivación	0,03

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

2.1.6 Caudal de diseño:

$$Q_{Diseño} = Fd \times Q \quad (9)$$

Donde:

Fd: Factor de diseño = 1.15

Q_{Diseño}: Caudal de diseño (m3/s)

2.1.7 Altura dinámica de succión

$$H_s = z_1 + \frac{P_s}{\rho \times g} + \frac{v_s^2}{2g} - (H_{fs} + H_{vas}) \quad (10)$$

Donde:

H_s: Altura dinámica de succión (m)

z₁: 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)

2.1.8 Altura dinámica de descarga

$$H_d = z_2 + \frac{P_d}{\rho \times g} + \frac{v_d^2}{2g} + (H_{fd} + H_{vad}) \quad (11)$$

Donde:

H_d: Altura dinámica de descarga (m)

z₂: Altura de descarga (m)

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

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

P_d: Presión en la descarga (N/m²)

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

2.1.9 Altura dinámica total

Es la energía necesaria que debe tener la bomba para poder impulsar el fluido desde la succión hasta la altura de descarga requerida. La ecuación 12 se obtiene de las ecuaciones 10 y 11.

$$ADT = (H_d - H_s) \quad (12)$$

Donde:

ADT: Altura dinámica total (m)

2.1.10 Potencia Hidráulica

$$P_H = \rho \times g \times Q \times ADT \quad (13)$$

Dónde:

P_H : Potencia hidráulica (kW)

2.1.11 Potencia al eje

$$BHP = \frac{P_H}{\eta} \quad (14)$$

Donde:

BHP: Potencia al eje (kW)

η : Rendimiento de la bomba

2.1.12 Altura neta de succión positiva

Se entiende por altura neta de succión positiva a la altura brindada por la instalación. Este parámetro sirve para saber que tan cerca de cavitarse estará la bomba.

Se expresa como la diferencia entre la altura de succión total en metros de columna de agua y la presión de vapor absoluta del líquido a ser bombeado.

$$NPSH_D = p_o + H - p_v - (H_{fs} + H_{vas}) \quad (15)$$

Dónde:

NPSHD: Altura neta de succión positiva (m)

p_o : Presión atmosférica absoluta (m)

p_v : Presión de vapor del líquido (m)

H: Altura estática del líquido (m)

2.1.13 Celeridad de onda

Es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del fluido contenido en la tubería y depende de las características elásticas del material de la tubería, del tipo de fluido, del espesor y diámetro de la tubería.

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} \times \frac{d_i}{t}}} \quad (16)$$

Donde:

a: Celeridad de onda	(m/s)
K: Módulo de elástico del fluido	(Pa)
E: Módulo de elasticidad	(N/m ²)
di: Diámetro interior de la tubería	(m)
t: Espesor de la tubería	(m)

2.1.14 Tiempo de parada de la bomba

Mendiluce propuso la fórmula para obtener el tiempo que tarda una bomba en detenerse totalmente. Este tiempo se puede hallar según la ecuación 5.

$$T_p = C + \frac{k \times L \times v}{g \times ADT} \quad (17)$$

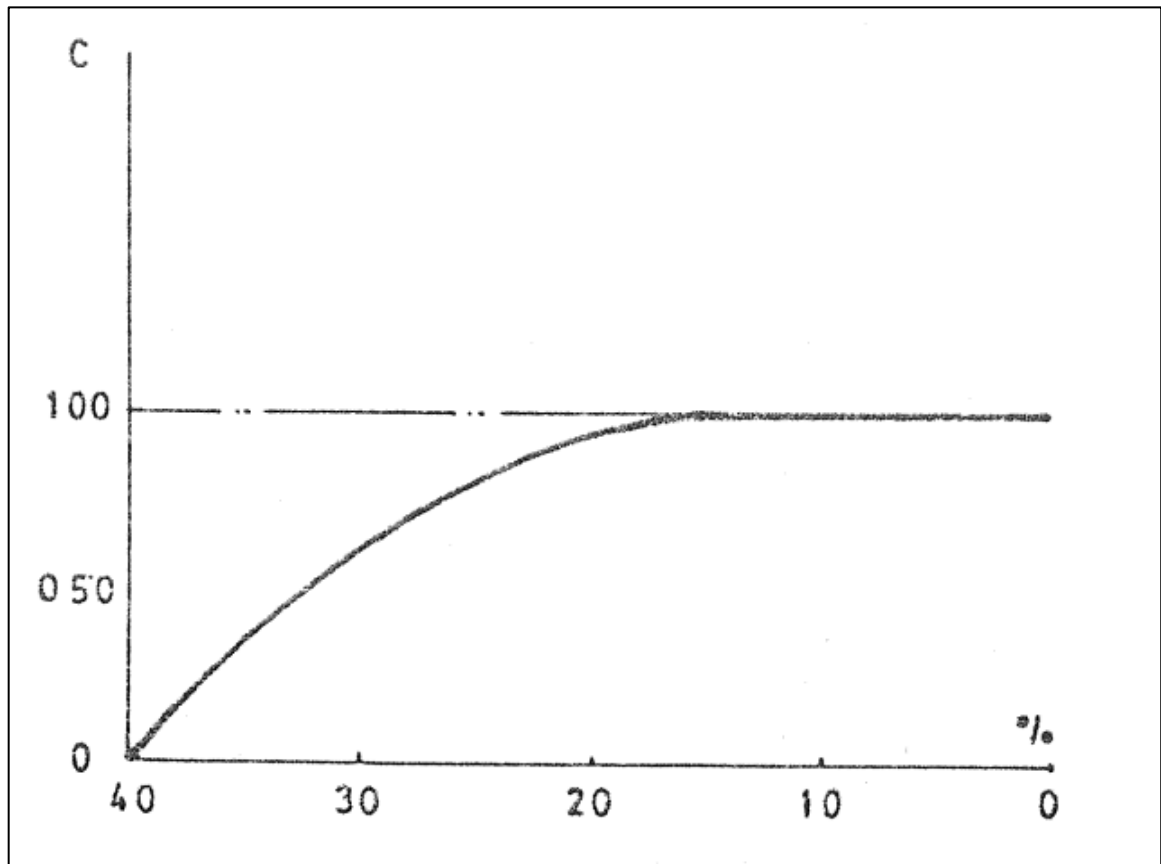
Donde:

T_p : Tiempo de cierre de la válvula (s)

El coeficiente empírico C depende de la pendiente hidráulica ($\frac{ADT}{L}$) en base a pruebas experimentales. Valores del coeficiente C se muestran en la figura 3.

Figura 3

Gráfica para hallar valores de coeficiente C



Fuente: El Golpe de Ariete en Impulsiones- Enrique Mendiluce

De manera práctica, dependiendo el valor de la pendiente hidráulica, se consideran los valores siguientes:

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

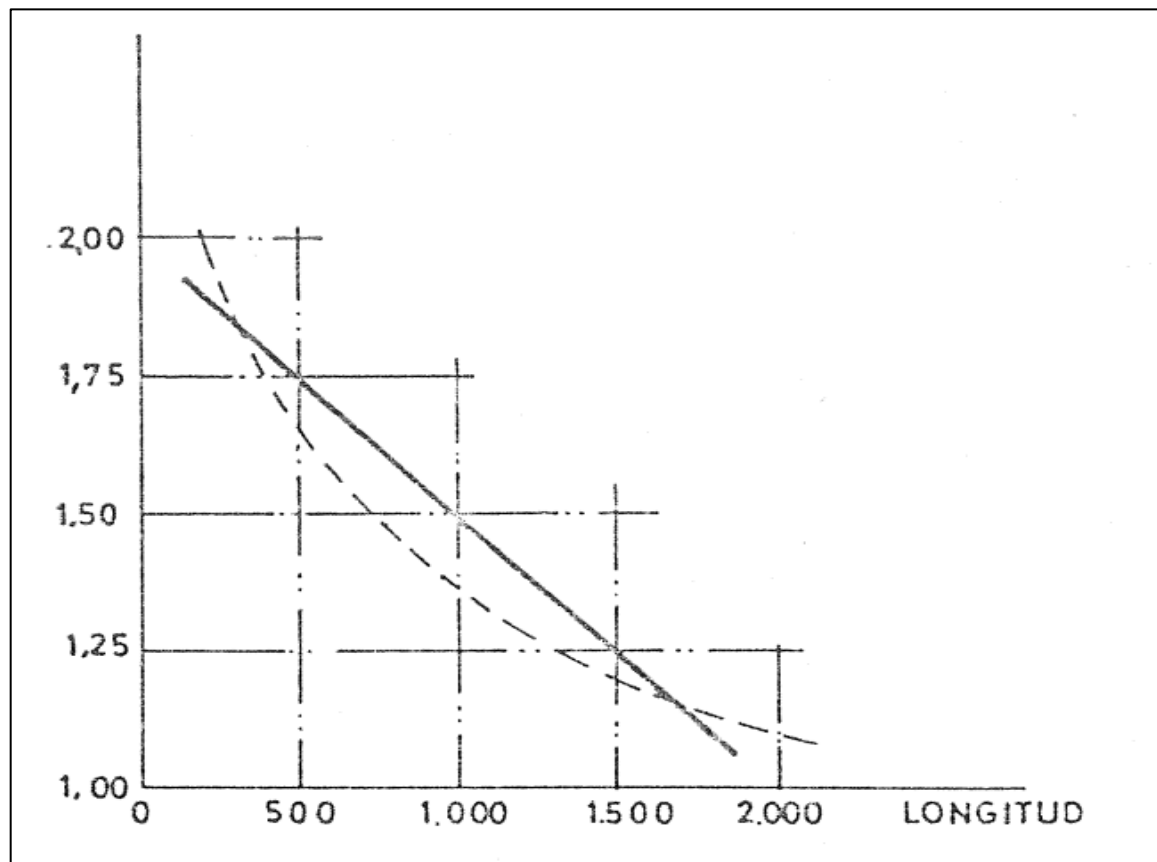
$$\frac{ADT}{L} \geq 0.4 \rightarrow C = 0$$

$$\frac{ADT}{L} \approx 0.2 \rightarrow C = 0.6$$

El coeficiente empírico "k" fue hallado experimentalmente en los estudios de Mendiluce, representando el efecto de la inercia de la motobomba en base a la longitud de la tubería de impulsión. Valores del coeficiente k se muestran en la figura 4.

Figura 4

Gráfica para hallar valores de coeficiente k



Fuente: *El Golpe de Ariete en Impulsiones- Enrique Mendiluce*

Dependiendo la longitud de impulsión, se consideran los valores siguientes:

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

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

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

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

$$L > 1500 \rightarrow k = 1$$

2.1.15 Golpe de ariete

Se evidencian dos casos principales de golpe de ariete.

- **Cierre lento o impulsión larga:** Ocurre cuando el tiempo que tarda la onda de presión en recorrer ida y vuelta la tubería es mayor al tiempo de cierre de la válvula o parada de la bomba. Cumpliéndose la fórmula de Allievi según la ecuación 16.

$$T_p > \frac{2L}{a} \rightarrow \Delta H = \frac{a \times v}{g} \quad (18)$$

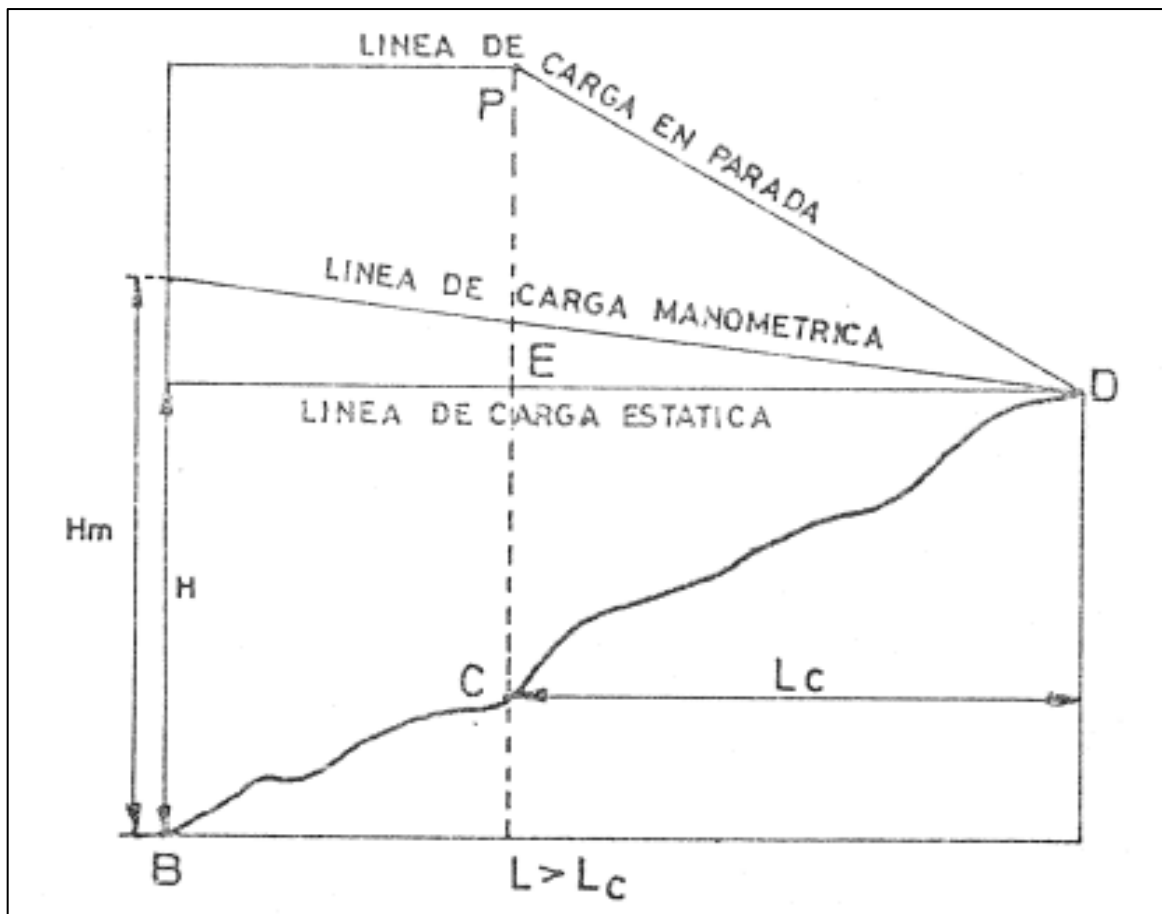
Donde:

ΔH : Sobrepresión (m)

Gráficamente se puede apreciar la variación de presión, para un cierre lento, en la figura 5.

Figura 5

Representación gráfica del golpe de ariete en impulsiones cortas



Fuente: *El Golpe de Ariete en Impulsiones- Enrique Mendiluce.*

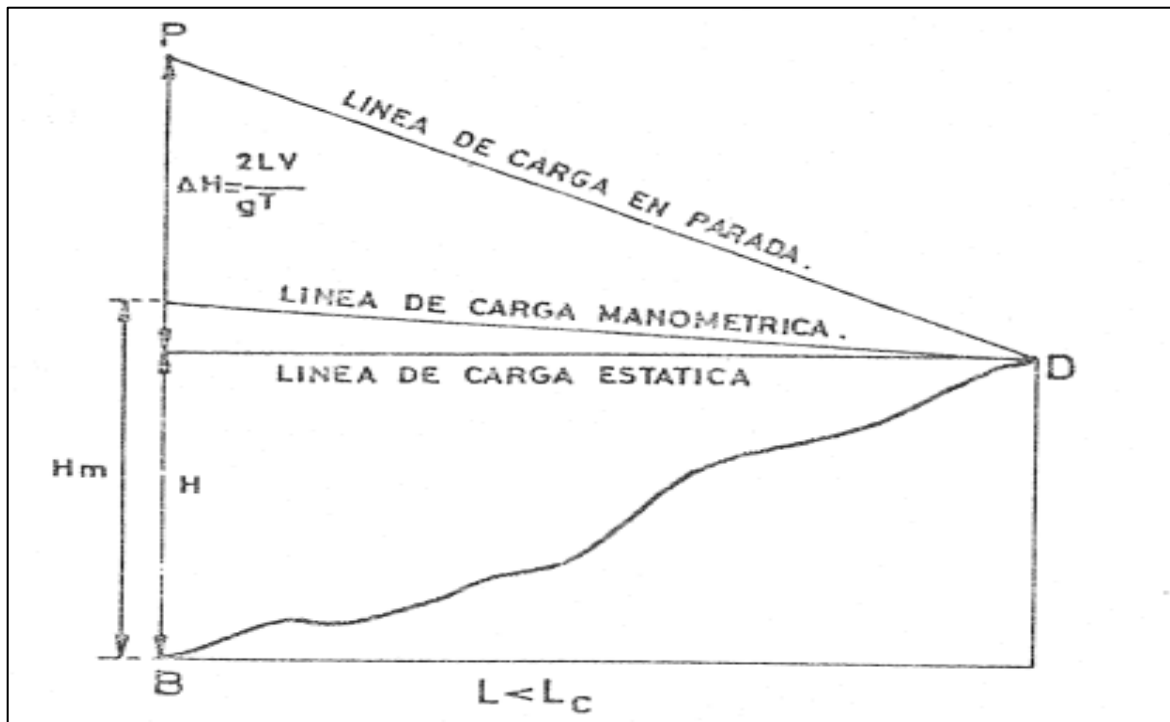
- **Cierre rápido o impulsión corta:** Ocurre cuando el tiempo que tarda el cierre de la válvula o parada de la bomba es muy corto, siendo este menor al tiempo de retorno de la onda. Cumpliéndose la fórmula de Michaud según la ecuación 17.

$$T_p < \frac{2L}{a} \rightarrow \Delta H = \frac{2 \times L \times a}{g \times T_p} \quad (19)$$

Gráficamente se puede apreciar la variación de presión, para un cierre rápido en la figura 6.

Figura 6

Representación gráfica del golpe de ariete en impulsiones largas



Fuente: El Golpe de Ariete en Impulsiones- Enrique Mendiluce.

2.1.16 Sumergencia

La ecuación 18 se realiza según ANSI/HI 9.8-2018 “American National Estándar for Rotodynamic Pumps “

$$S = (1 + F_D)d_i \quad (20)$$

Donde:

S: Sumergencia (m)

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

$$F_D = \frac{v}{\sqrt{g \times d_i}} \quad (21)$$

2.1.17 Cavitación

El fenómeno de la cavitación en bombas fue observado por primera vez por el ingeniero e inventor francés Charles Cagniard de la Tour en el siglo XIX. En 1838, Cagniard de la Tour realizó experimentos con bombas de pistón y notó la formación de burbujas de vapor dentro del líquido bombeado en ciertas condiciones.

La cavitación en bombas es un fenómeno hidrodinámico que ocurre cuando la presión del líquido que fluye en una bomba disminuye por debajo de su presión de vapor, lo que provoca la formación y colapso de burbujas de vapor dentro del líquido. Estas burbujas de vapor pueden formarse en áreas de baja presión, como en el lado de succión de la bomba o cerca de las palas del impulsor. Cuando las burbujas colapsan al entrar en áreas de alta presión, generan ondas de choque y microimpactos que pueden dañar las superficies de las palas, revestimientos y otras partes de la bomba.

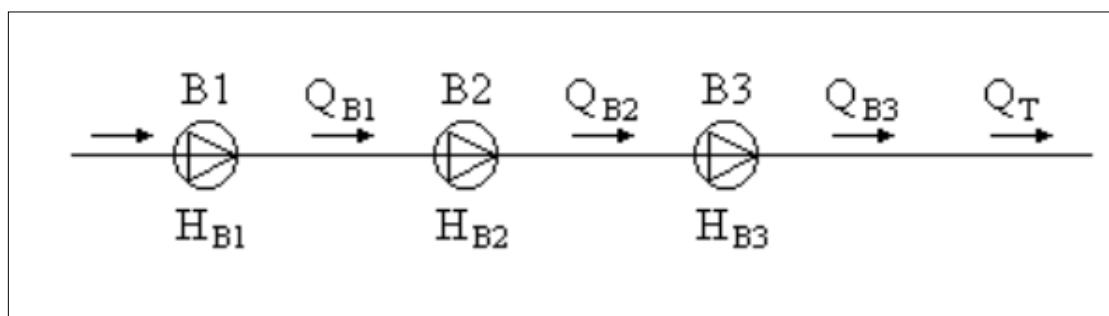
2.1.18 Bombas instaladas en serie

Dos o más bombas están instaladas o configuradas en serie cuando se encuentran impulsando el mismo fluido y están instaladas en la misma línea de tuberías una a continuación de la otra.

Este tipo de instalación se usa cuando la demanda de caudal no es muy variable pero la altura de bombeo es alta. De esta forma se mantiene el caudal impulsado y logrando llegar a la altura dinámica necesaria para impulsar el fluido

Figura 7

Bombas instaladas en serie



Fuente: Marbello Pérez, R. (2007). *Bombas hidráulicas rotodinámicas: Teoría y aplicaciones*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

En general, para bombas acopladas en serie se cumple las ecuaciones 20 Y 21:

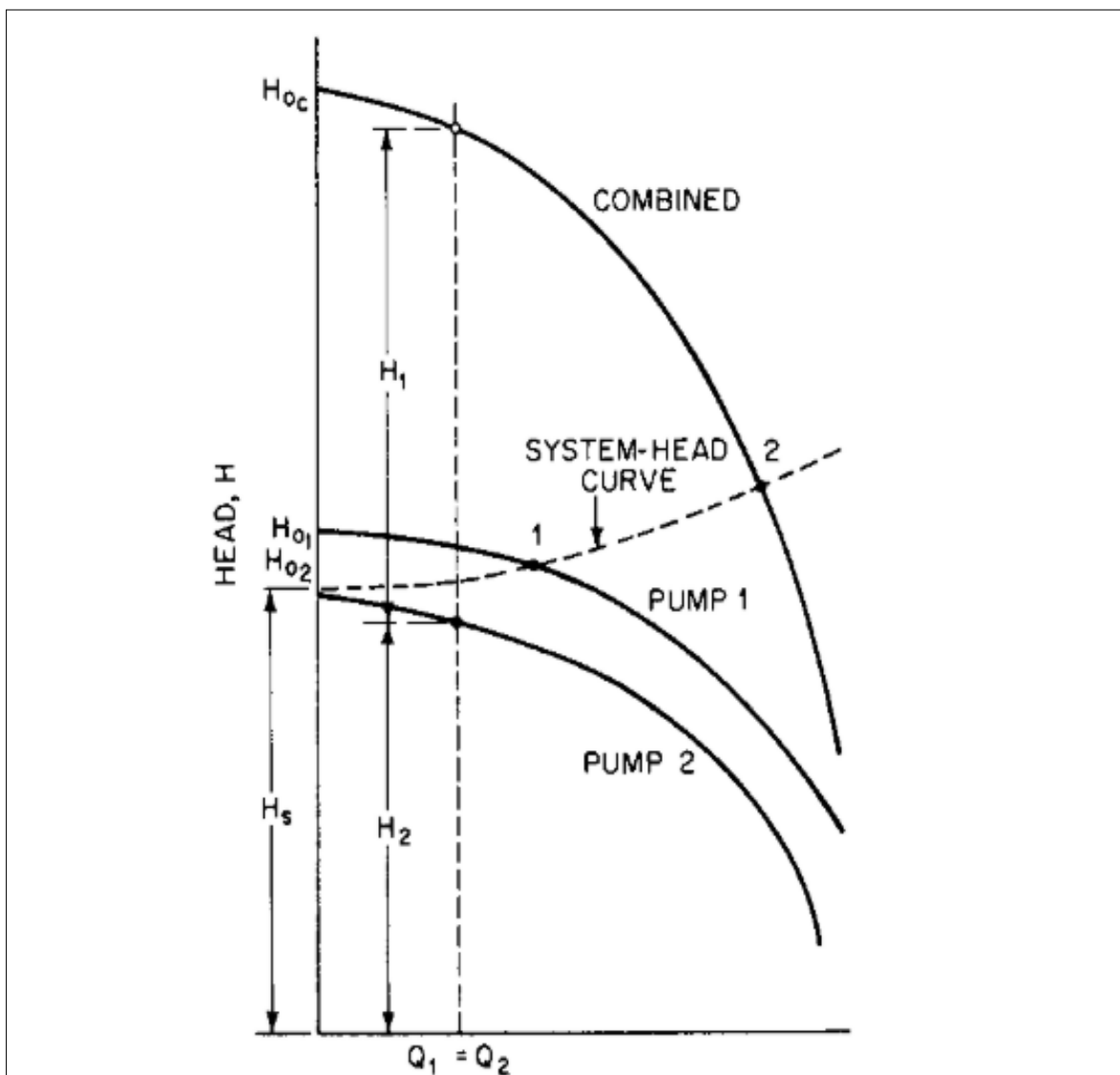
$$Q_T = Q_{B1} = Q_{B2} = Q_{B3} = \dots = Q_n \quad (22)$$

$$H_T = H_{B1} + H_{B2} + H_{B3} + \dots + H_n \quad (23)$$

El punto de operación resultante del sistema de bombas en serie dependerá de las características de las bombas. En la figura 8 se muestra el punto de operación resultante para dos bombas iguales instaladas en serie.

Figura 8

Puntos de operación - Bombas en serie



Fuente: Karassik, I. J., Krutzsch, W. C., Fraser, H. D., Messina, J. P. (1998). *Pump Handbook* (3rd ed.). McGraw-Hill Professional.

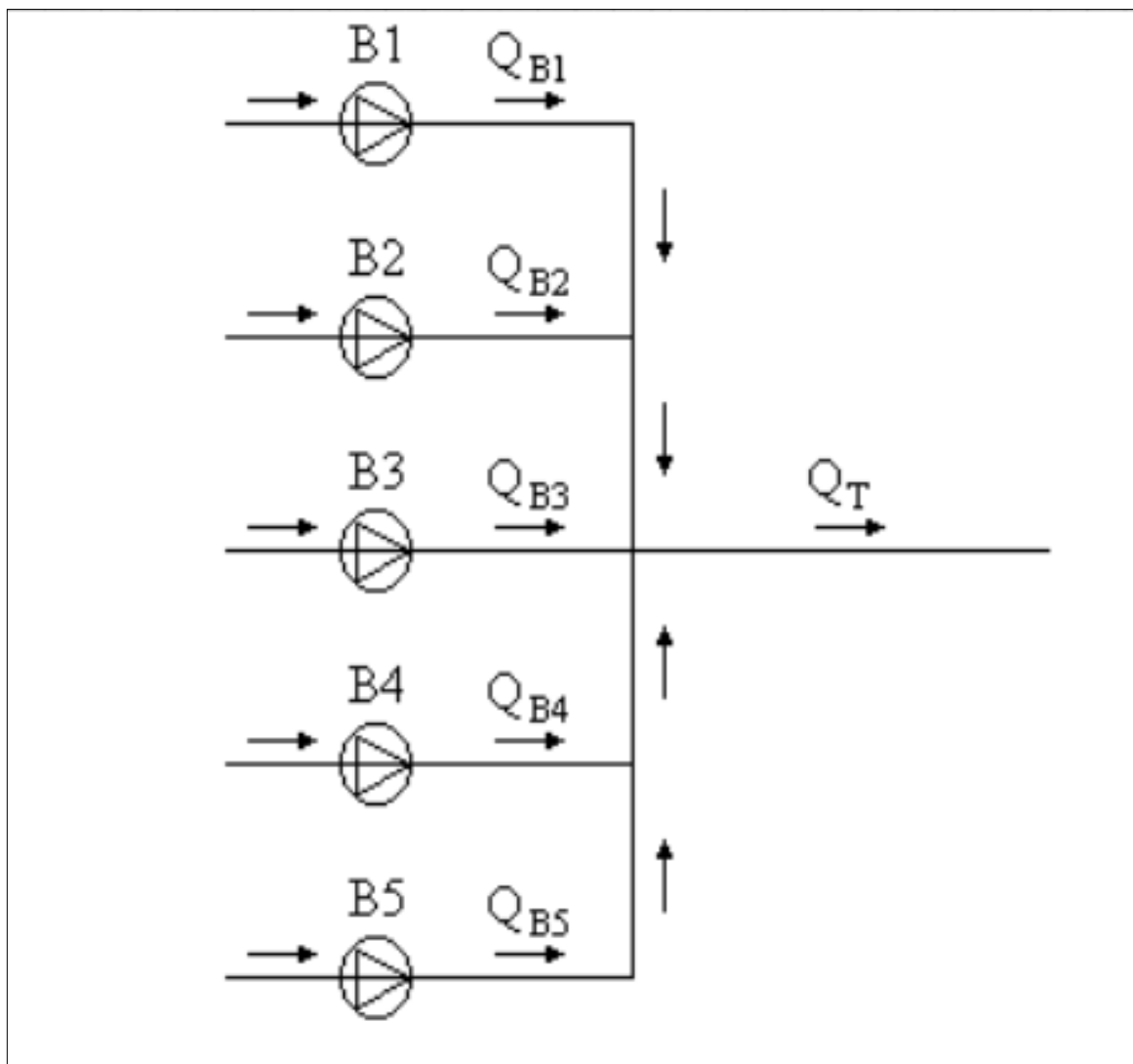
2.1.19 Bombas instaladas en paralelo

Se dice que dos o más bombas están instaladas o configuradas en paralelo cuando estas comparten las mismas condiciones succión y su tubería de descarga se empalma a una misma línea de descarga común.

Las bombas en paralelo se usan cuando existe una demanda variable. De esta forma se mantendría la misma altura dinámica (ADT) pero se podrá aumentar el caudal total de bombeo.

Figura 9

Bombas instaladas en paralelo



Fuente: Marbello Pérez, R. (2007). *Bombas hidráulicas rotodinámicas: Teoría y aplicaciones*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

En general, para bombas acopladas en paralelo se cumple las ecuaciones 20 Y 21:

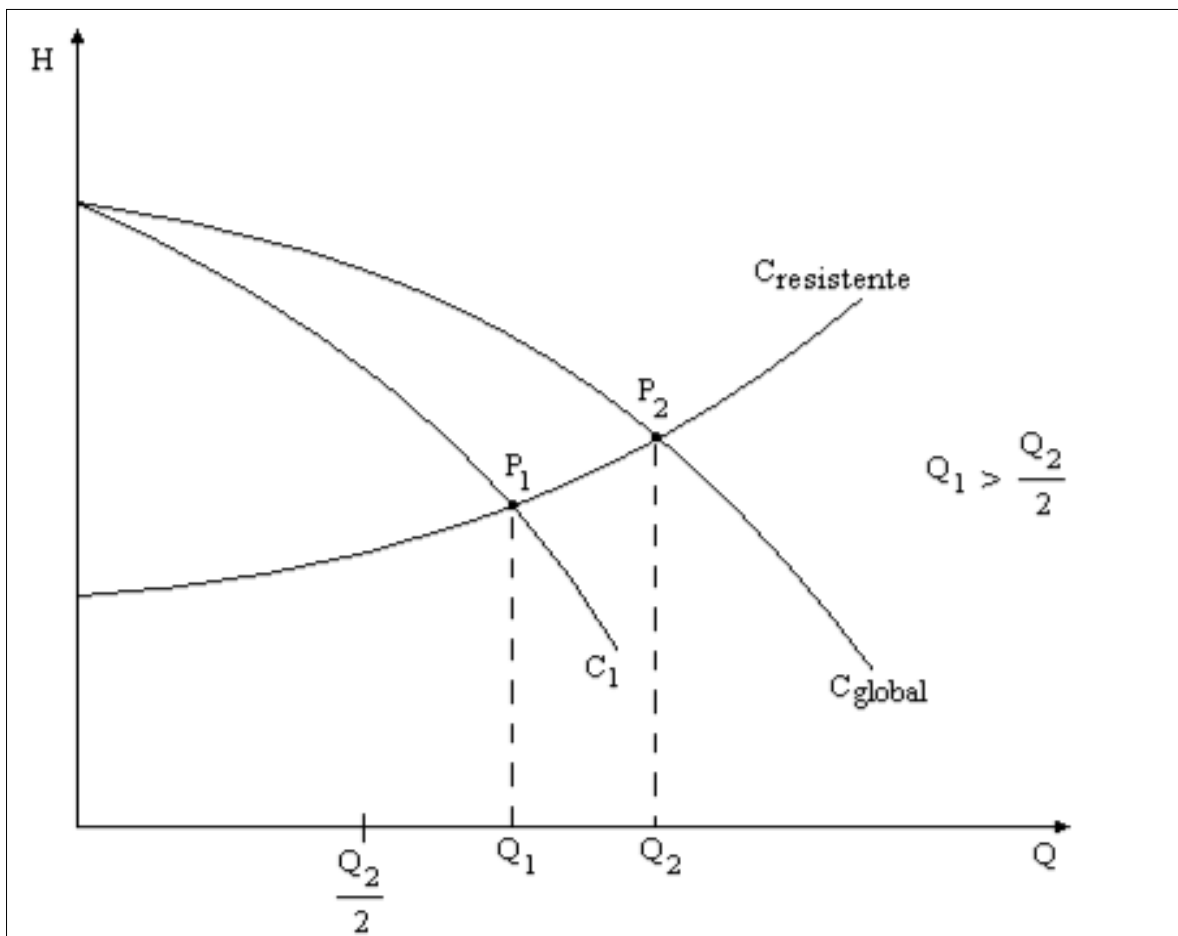
$$Q_T = Q_{B1} + Q_{B2} + Q_{B3} + \dots + Q_n \quad (24)$$

$$H_T = H_{B1} = H_{B2} = H_{B3} = \dots = H_n \quad (25)$$

El punto de operación resultante del sistema de bombas en serie dependerá de las características de las bombas. En la figura 11 se muestra el punto de operación resultante para dos bombas iguales instaladas en paralelo.

Figura 10

Punto de operación - Bombas iguales en paralelo

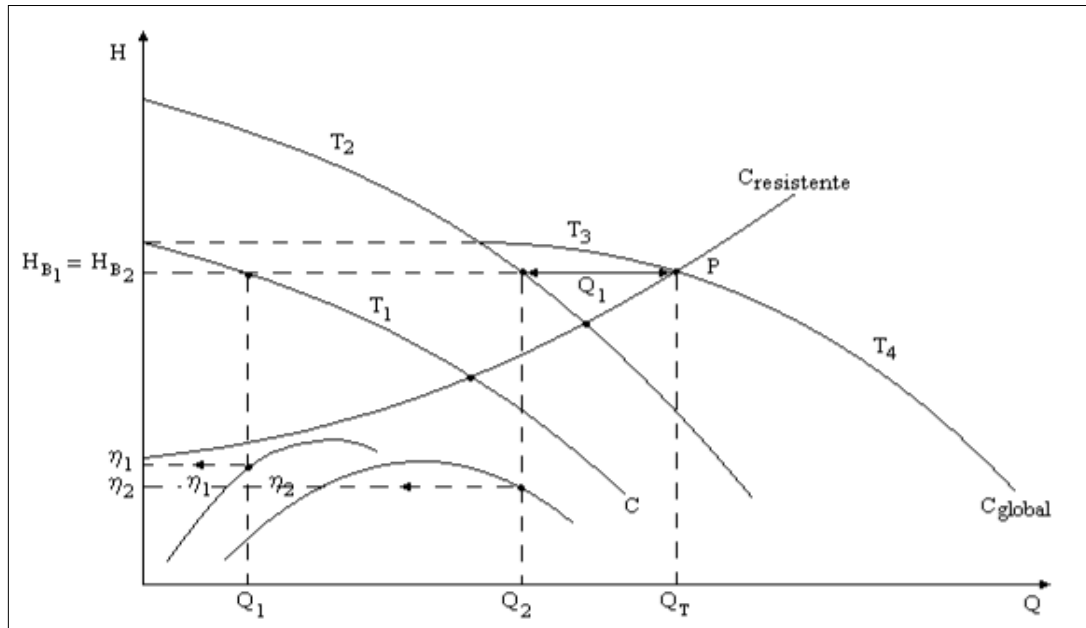


Fuente: Marbello Pérez, R. (2007). *Bombas hidráulicas rotodinámicas: Teoría y aplicaciones*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

En la figura 11 se muestra el punto de operación resultante para dos bombas distintas instaladas en paralelo.

Figura 11

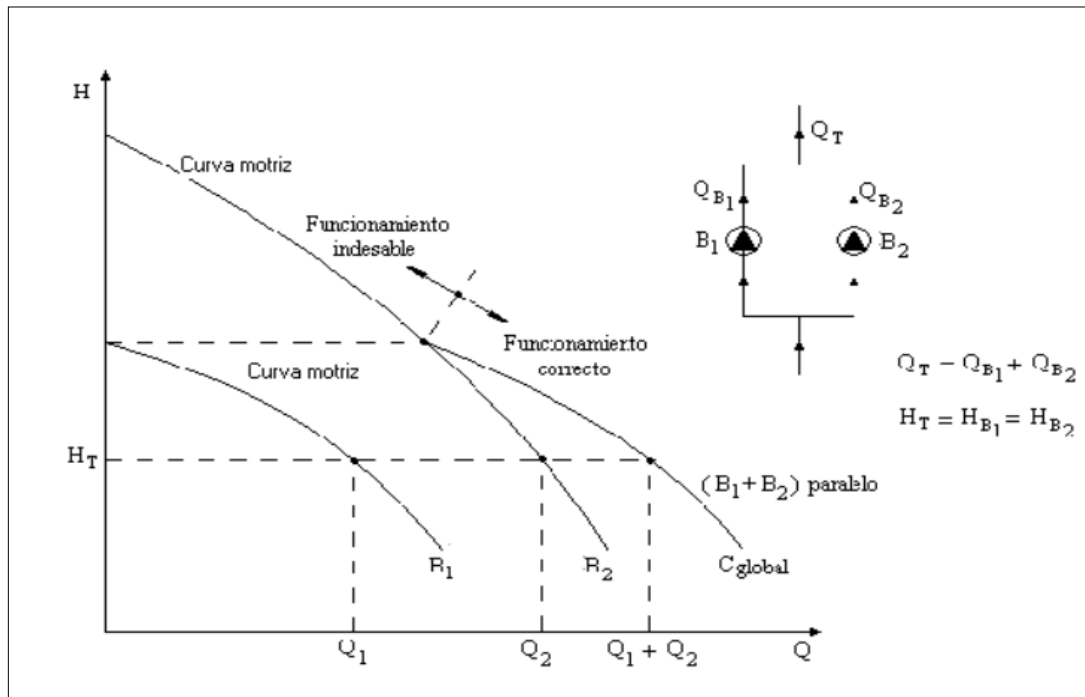
Punto de operación – Bombas distintas en paralelo



Fuente: Marbello Pérez, R. (2007). *Bombas hidráulicas rotodinámicas: Teoría y aplicaciones*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Figura 12

Funcionamiento de bombas en paralelo



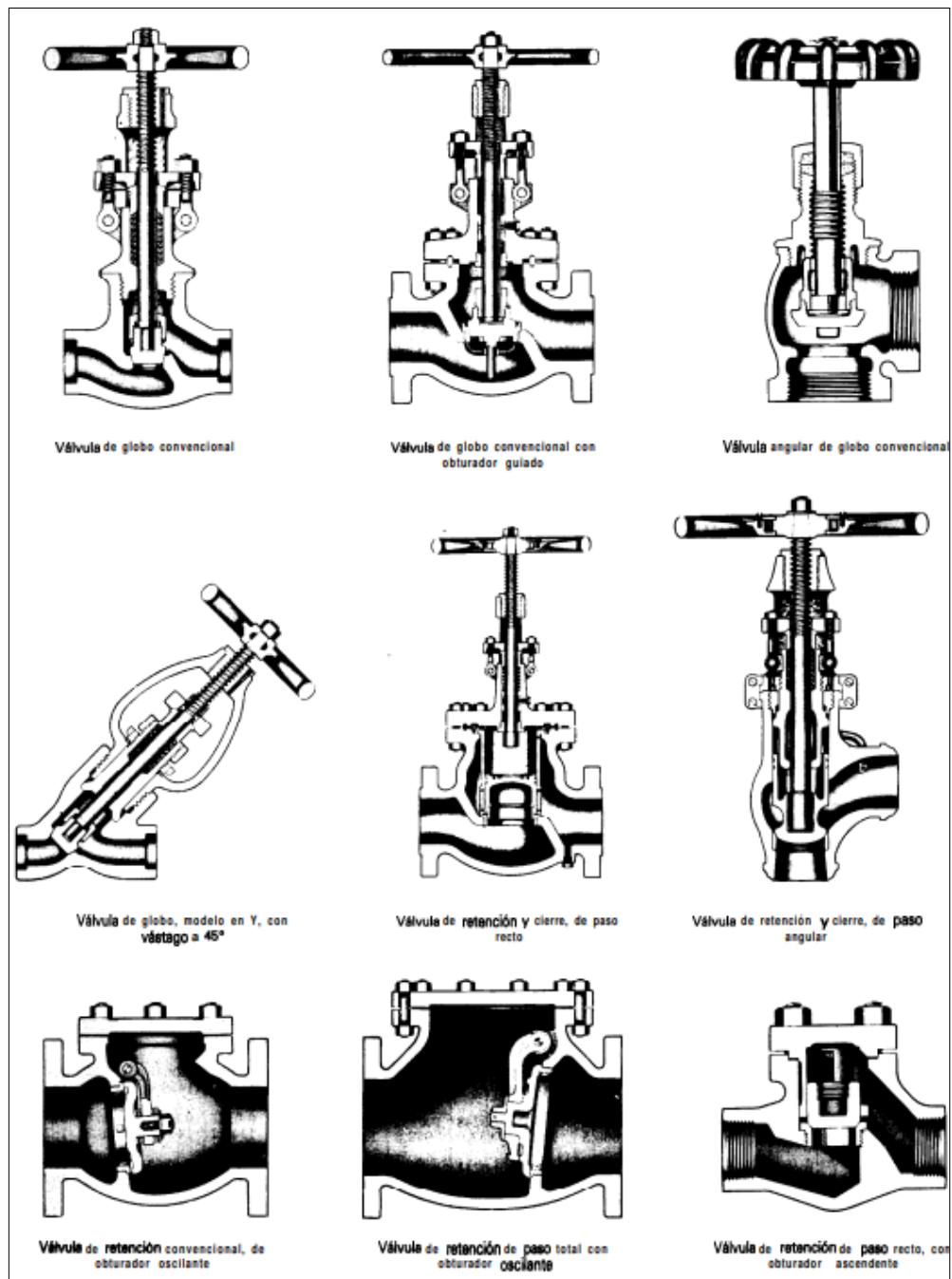
Fuente: Marbello Pérez, R. (2007). *Bombas hidráulicas rotodinámicas: Teoría y aplicaciones*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

2.1.20 Válvulas

Las válvulas en general son instrumentos mecánicos para regular el fluido en circulación dentro de un conducto, pudiendo alterar el caudal de operación y aumentar o disminuir las pérdidas del sistema según su porcentaje de apertura.

Figura 13

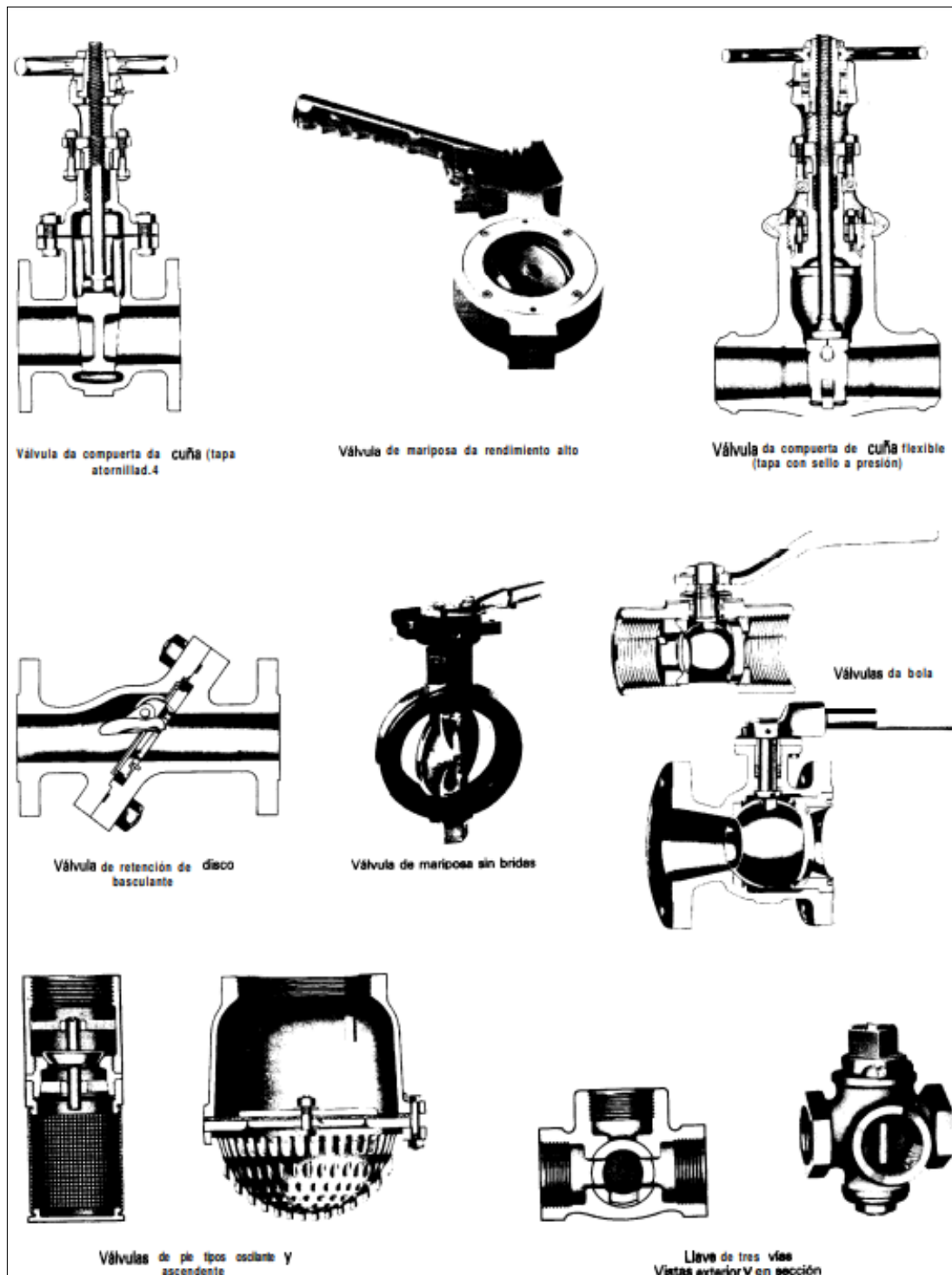
Tipos de válvulas usadas en sistemas de tuberías



Fuente: CRANE Technical Paper No. 410 (TP-410). (1982). *Flow of Fluids through Valves, Fittings, and Pipe*

Figura 14

Tipos de válvulas usadas en sistemas de tuberías



Fuente: CRANE Technical Paper No. 410 (TP-410). (1982). *Flow of Fluids through Valves, Fittings, and Pipe*

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Bomba Autocebante

Este tipo de bomba es usada cuando el fluido no se desplaza de forma natural hacia la succión. Dicho de otra forma, son usadas cuando el nivel del fluido a bombear se encuentra por debajo de la succión.

El sistema autocebante crea un vacío que causa que el líquido fluya hacia la succión. Eliminando así, el uso de una válvula de pie.

2.2.2 Estado transitorio

Se le refiere al estado ocasionado que es producto de una perturbación en el sistema que provoca una variación de velocidad y presión del fluido en el tiempo.

2.2.3 Estado estacionario

El estado estacionario se refiere cuando la velocidad y presión no varían con el tiempo.

2.2.4 Poza de recolección

Se usan para almacenar fluidos provenientes de distintas fuentes. En las operaciones de minado se usan las pozas recolección para recolectar el agua proveniente de infiltraciones y lluvias para posteriormente bombearla hacia un canal de drenaje.

2.2.5 Infiltración

La infiltración se trata del proceso mediante el cual el agua en la superficie del terreno o tierra se introduce dentro del suelo, generando capas de agua.

2.2.6 Piping Class

Se trata de un documento definido por una empresa para seleccionar los tipos de material, especificación técnica, modo de fabricación, codificación y todo requisito para normalizar las características para tuberías y accesorios.

2.2.7 Skid de bombeo

Un Skid de bombeo consiste en una instalación modular que puede incluir una o más bombas, además de válvulas, instrumentos, tuberías y accesorios.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación

Se trata de una investigación del tipo aplicada debido a que se conoce la problemática en cuestión y el fin buscado es ejecutar la solución planteada.

Desde el punto de vista del enfoque se trata de una investigación del tipo cuantitativa.

3.2 Diseño

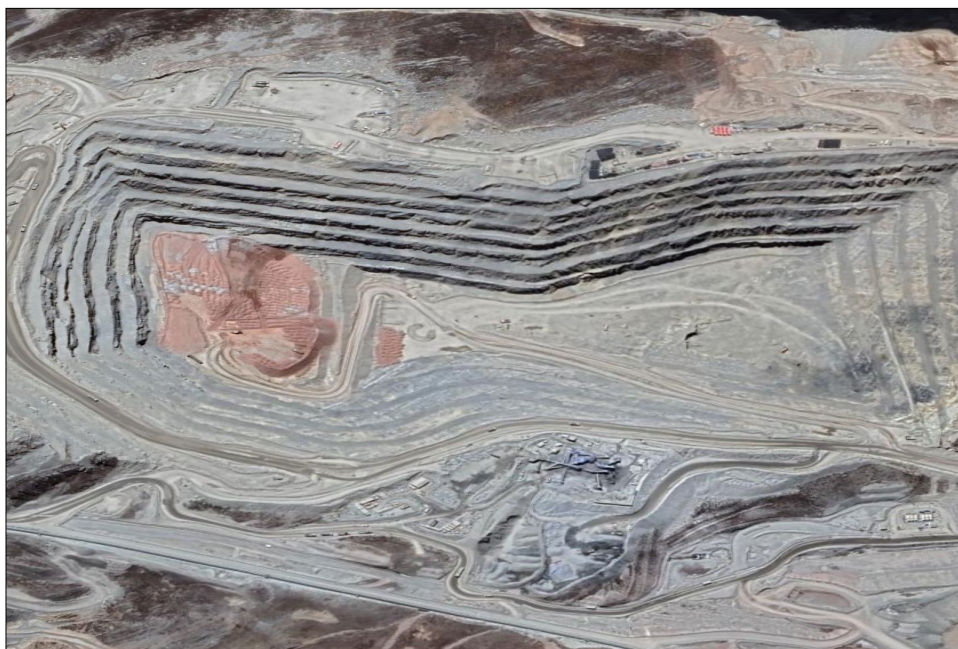
El diseño de investigación es correlacional ya que relaciona como influye el sistema de bombeo en el drenaje de aguas hasta la descarga en el nivel 4757 m. s. n m.

3.3 Unidad de análisis

El presente trabajo de investigación considera como unidad de análisis el área destinada a la creación de una presa de relaves para una mina a tajo abierto ubicado en la provincia de Yauli en el departamento de Junín, a una altura de 4750 m.s.n.m. En la figura 15. se muestra la zona de referencia perteneciente al proyecto.

Figura 15

Zona referencia para instalación de sistema de bombeo



Fuente: Empresa minera MCP.

3.4 Etapas de la Investigación

3.4.1 Recopilación de datos

- **Parámetros ambientales:** Los datos de las condiciones ambientales de la instalación, con los cuales se puede describir la especificación de componentes involucrados, fueron recopilados según el anexo 1, como información brindada por parte de la empresa minera MCP.
- **Características del fluido:** Los datos del fluido a bombear (caudales, viscosidad, pH, temperatura, etc.) fueron recolectados según el anexo 2, en base a la información brindada por parte de la empresa minera MCP.
- **Características del terreno:** Los niveles del terreno, donde se desea instalar el sistema de tuberías se recopiló según el anexo 3, como información brindada por parte de la empresa minera MCP.

3.4.2 Procesamiento de los datos:

- **Parámetros ambientales:** Los datos ambientales fueron procesados durante un periodo determinado de tiempo para hallar las temperaturas promedio y humedad relativa.
- **Características del fluido:** Los datos del fluido a bombear fueron procesados para hallar valores máximos, mínimos y promedio.
- **Características del terreno:** Los datos del terreno fueron procesados para hallar los distintivos niveles donde se ubicará la instalación (tanto succión como descarga).

3.4.3 Análisis de los datos

- **Parámetros ambientales:** Los datos de las condiciones ambientales fueron analizados para evaluar las características de la bomba (Presión, altura, etc.).
- **Características del fluido:** Los datos del fluido a bombear fueron procesados para obtener las características y propiedades necesarias de las tuberías y de la bomba.
- **Características del terreno:** Los datos del terreno se analizaron para obtener la longitud de la tubería y la altura de bombeo.

3.4.4 Limitaciones

El presente trabajo se limita solo al diseño del sistema de bombeo y su impacto en el drenaje de agua ácida desde el nivel 4757 m. s. n. m. hasta el nivel 4709 m. s. n. m.

3.4.5 Matriz de consistencia

Tabla 2

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable Independiente	Variable Dependiente
General ¿Cómo diseñar un sistema de bombeo capaz de reubicar el agua de infiltración y lluvias al excavar desde el nivel 4709 hasta el nivel 4757?	Diseñar un sistema de bombeo para reubicar el agua de infiltración y lluvias al excavar desde el nivel 4757m.s.n.m hasta el nivel 4709m.s.n.m	Con un adecuado sistema de bombeo, diseñado tomando en cuenta las variaciones de altura y caudales de infiltración, se podrá reubicar correctamente el agua durante los procesos de excavación desde las pozas de recolección de agua de cada nivel hasta el canal de drenaje, dando continuidad a las operaciones mineras.	Sistema de bombeo	Drenaje de agua ácida
Específico ¿Qué características de funcionamiento tendrá la bomba instalada?	Determinar los puntos y modo de operación de del sistema de bombeo para cada nivel descendido	Se determinará los puntos y modos de operación adecuados del sistema de bombeo.	Tipo de configuración	Tiempo de bombeo al día
¿Cómo determinar las características del sistema de tuberías para el sistema de bombeo?	Diseñar el sistema de tuberías mediante análisis estacionario y transitorio.	Se dimensionará correctamente las tuberías, tomando en cuenta los cálculos para el estado estacionario y el estado transitorio.	Sistema de tuberías	Resistencia del sistema de tuberías

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y CÁLCULOS

4.1 Análisis de caudales máximos y mínimos

Para determinar los caudales máximos, se analizó tanto los caudales de infiltración como los caudales generados por lluvias.

Debido a la magnitud del proyecto y características del sistema de drenado de agua ácida, se dividió el proyecto en 3 etapas. Siendo en todos los casos, la descarga de aguas en el canal de drenaje a una altura de 4757 m.s.n.m.

- Etapa I (Hasta el nivel 4750 m.s.n.m)

En esta etapa, el sistema de descarga del drenaje de aguas será por gravedad, usando cunetas para transportar el agua. Esta etapa queda excluida dentro del presente trabajo debido a que no existe un sistema de bombeo para el drenaje de aguas.

- Etapa II (Hasta el nivel 4721 m.s.n.m)

En esta etapa, el sistema de descarga del drenaje de aguas será por bombeo, usando tuberías para transportar el agua.

- Etapa III (Hasta el nivel 4709 m.s.n.m)

En esta etapa, el sistema de descarga del drenaje de aguas será por bombeo, usando tuberías para transportar el agua.

4.1.1 Caudal por filtraciones

Los caudales de filtración dependen de la profundidad de excavación y temporada del año. Se muestran los valores de caudales de infiltración para la etapa II y la etapa III en las tablas 3 y 4 respectivamente.

Tabla 3*Caudales de filtración - etapa II*

Nivel (m.s.n.m)	Q Filtración min (l/s)	Q Filtración Promedio (l/s)	Q Filtración Max (l/s)
4750	3.2	6.0	8.9
4746	3.6	7.7	11.8
4744	4.1	9.0	13.8
4740	4.9	11.9	19.0
4735	5.8	14.9	24.0
4733	6.2	14.6	22.9
4730	6.8	13.7	20.6
4727	7.4	12.8	18.3
4724	7.9	11.5	15.0
4722	8.3	10.1	11.8

Nota: Adaptado en base a la información fue brindada por la empresa minera MCP.

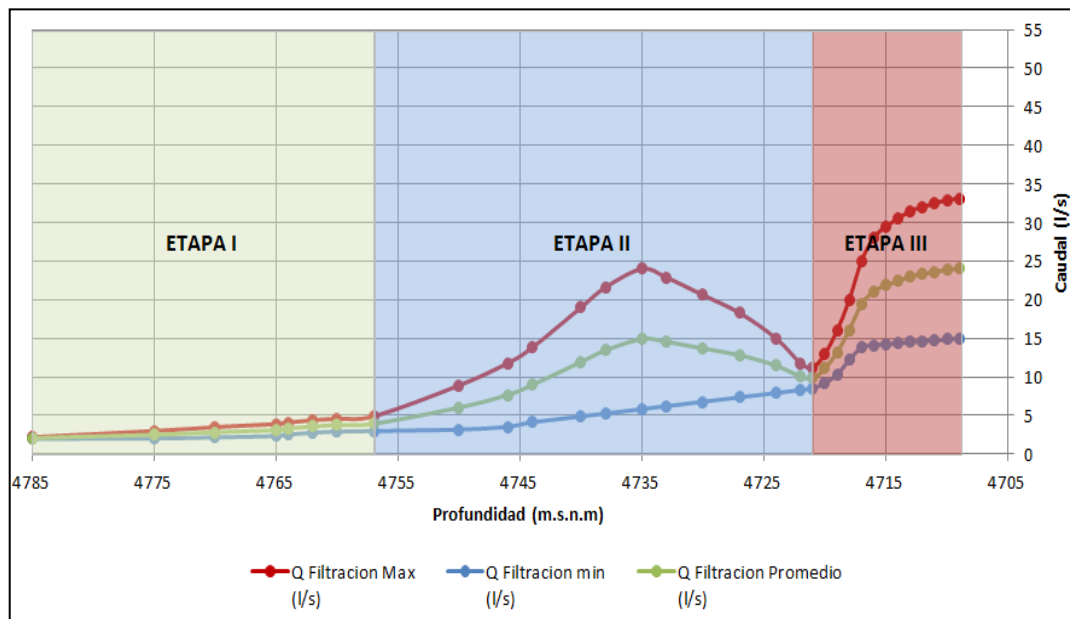
Tabla 4*Caudales de filtración - etapa III*

Nivel (m.s.n.m)	Q Filtración min (l/s)	Q Filtración Promedio (l/s)	Q Filtración Max (l/s)
4721	8.5	9.9	11.2
4720	9.2	11.1	13.0
4718	12.2	16.1	20.0
4717	13.8	19.4	25.0
4715	14.2	21.9	29.5
4713	14.5	23.0	31.5
4711	14.7	23.6	32.5
4709	15.0	24.1	32.9

Nota: Adaptado en a la información fue brindada por la empresa minera MCP.

Figura 16

Evolución de los caudales de filtración



Fuente: Empresa minera MCP.

Los caudales de filtración son dinámicos, por ende, se seleccionó los valores más relevantes para el dimensionamiento del sistema de bombeo perteneciente al presente proyecto.

Tabla 5

Caudales de infiltración seleccionados para el proyecto

Etapa	Nivel (m.s.n.m)	Q Filtración (l/s)
II	4750	8.9
II	4740	19
II	4735	24
III	4721	16.2
III	4714	31.5
III	4709	32.9

Fuente: Elaboración propia.

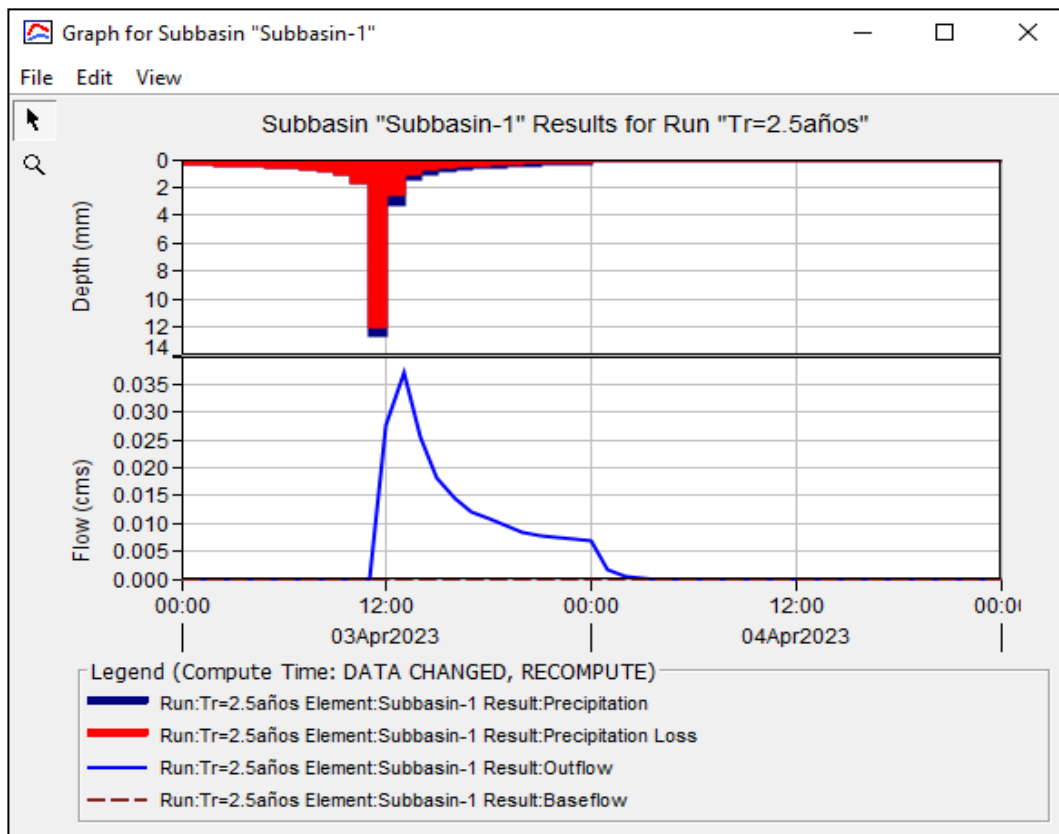
4.1.2 Caudales de lluvia

Los caudales de lluvia dependen de la temporada del año. Los datos concernientes al estudio de lluvias fueron brindados por parte de la empresa minera MCP.

Se proyecta ausencia de lluvias en temporada seca, mientras que en temporada lluviosa se proyecta un caudal variable de lluvias según la figura 16.

Figura 17

Evolución de los caudales de lluvia



Fuente: Empresa minera MCP.

De la gráfica se obtiene que el volumen de agua a recolectar, para un periodo continuo de 12 horas de lluvia durante el día es de 540 m³.

El caudal promedio de lluvia, considerando 540 m³ generados en 12 horas de lluvia, es de 12.5 l/s.

4.1.3 Resumen de caudales de agua

Los valores de caudales de agua necesaria a bombear dependerán del nivel de profundidad y la temporada de precipitaciones.

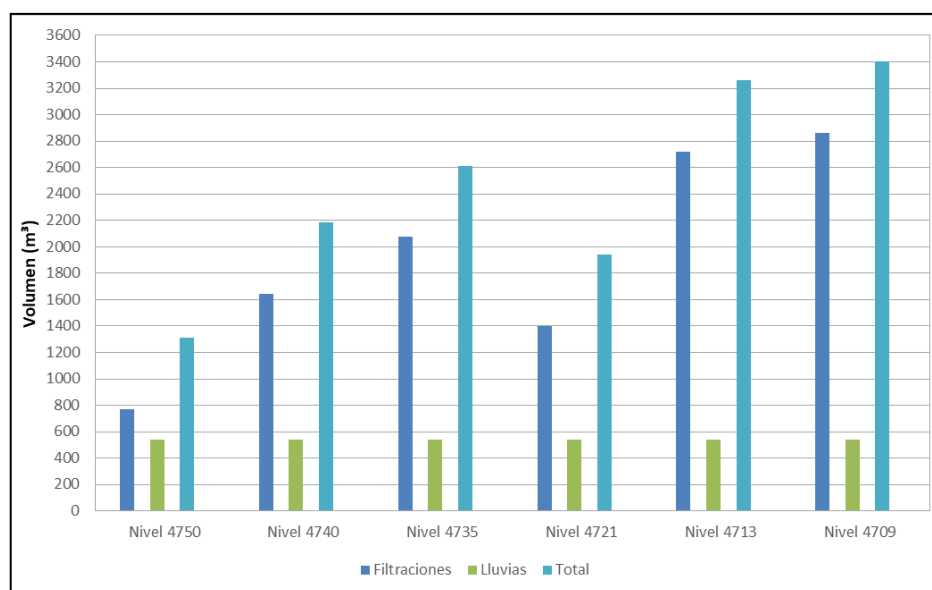
El volumen total de agua recolectada se usó como base para estimar el tiempo de bombeo al día.

Tabla 6*Resumen de caudales para temporada seca y lluviosa*

Etapas	Nivel (m.s.n.m)	Q lluvia (l/s)	Qs (l/s)	QII (l/s)
II	4750	12.5	8.9	21.4
II	4740	12.5	19	31.5
II	4735	12.5	24	36.5
III	4721	12.5	16.2	28.7
III	4714	12.5	31.5	44.0
III	4709	12.5	32.9	45.4

*Fuente: Elaboración propia.***4.1.4 Resumen de volúmenes de agua****Tabla 7***Resumen de caudales totales de agua*

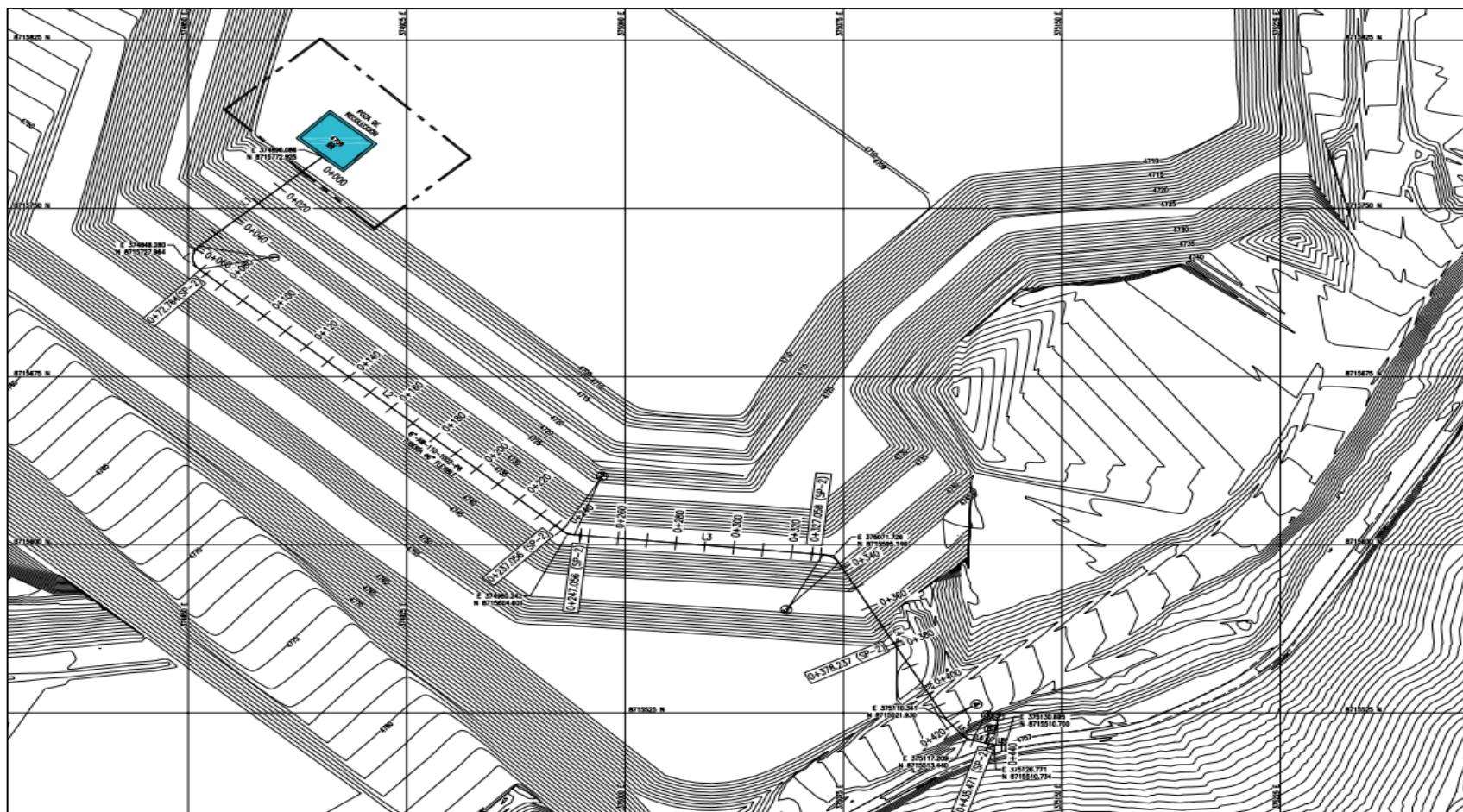
Nivel (m.s.n.m)	Volumen de agua por filtración (m³)	Volumen de agua por lluvias (12 h) (m³)	Volumen de agua recolectada (m³)
4750	769.0	540.0	1309
4740	1642	540.0	2188
4735	2074	540.0	2614
4721	1400	540.0	1940
4714	2722	540.0	3262
4709	2843	540.0	3383

*Nota: Volúmenes de agua considerando 24 horas del día y un periodo continuo de 12 horas de lluvia.***Figura 18***Rango de velocidades recomendado**Fuente: Elaboración propia*

Trazo de tubería proyectada hasta el nivel 4721



Trazo de tubería proyectada hasta el nivel 4709

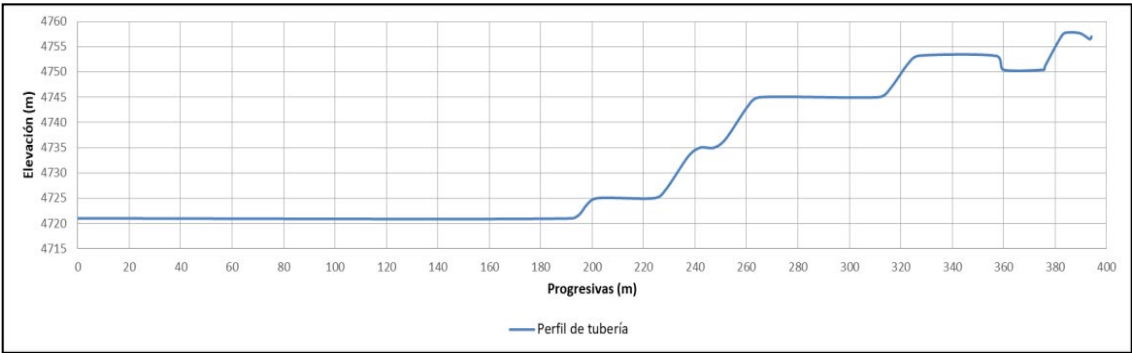


Fuente: Empresa minera MCP

4.2.1 Perfil de la tubería

Figura 21

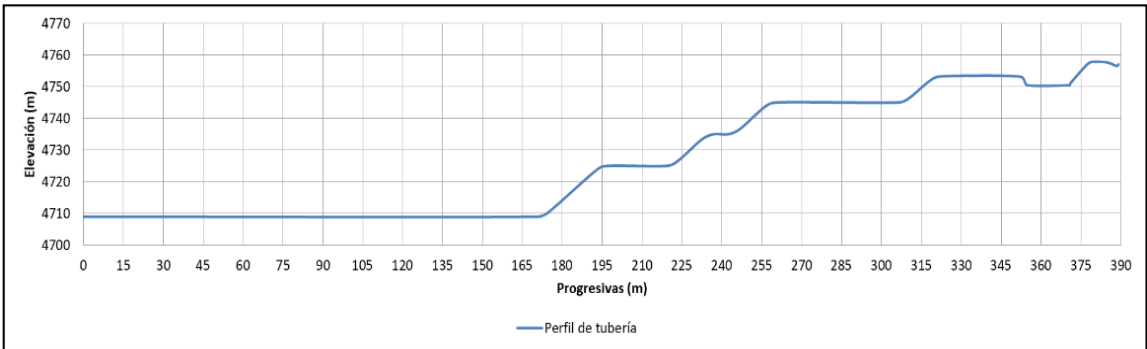
Perfil de tubería proyectada al nivel 4721



Fuente: Empresa minera MCP

Figura 22

Perfil de tubería proyectada al nivel 4709



Fuente: Empresa minera MCP

La succión de aguas será desde el nivel 4750 hasta el nivel 4709 y la descarga de se dará en el nivel 4757. Según las figuras 21 y 22 se evidencia el requerimiento de un sistema flexible tanto para el sistema de tuberías como para el sistema de bombeo.

En la tabla 8 se muestra las longitudes de tuberías requeridas para el sistema.

Tabla 8

Longitudes de tuberías de succión y descarga

Descripción	atmosférica
Longitud de tubería de succión	10 m
Longitud de tubería de descarga	410m

Fuente: Elaboración propia

4.3 Criterios de cálculo

Para la tubería:

- Se consideró, en general, velocidades recomendadas según la figura 22.

Figura 23

Rango de velocidades recomendado

Tipo de servicio	Rango de velocidad recomendado	
	ft/s	m/s
Líneas de succión	2-4	0.6-1.2
Líneas de retorno	4-13	1.5-4.0
Líneas de descarga	7-25	2.1-7.6

Fuente: Applied fluid mechanics, 7a edición, por Robert L. Mott.

Para el caudal de bombeo se consideró:

- El caudal de bombeo debe ser mayor o igual al caudal de diseño.

4.4 Parámetros de bombeo

Para realizar los cálculos del sistema de bombeo se consideró los parámetros de la tabla 9.

Tabla 9

Parámetros de bombeo

Descripción	Valor
Tipo de fluido	Agua ácida
Densidad	1.00 g/cm ³
Temperatura del fluido	10 °C
pH del fluido	2.5
Presión de vapor del líquido a 10 °C	0.11 m
Altura estática de succión	-2.00
Presión atmosférica absoluta	5.69 m
Nivel de instalación	4750 - 4709 m. s. n. m.
Longitud de tubería de succión	10 m
Longitud de tubería de descarga	410 m

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente a los parámetros de bombeo, se consideró las siguientes válvulas y accesorios que deberá tener la instalación.

Tabla 10

Válvulas y accesorios en la instalación

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

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Selección de material de tubería

El material de tubería a usar viene determinado por parte del piping Class de la empresa minera y considera las características siguientes:

- Duración del proyecto.
- Resistencia a la corrosión a causa del agua ácida.
- Flexibilidad debido a la reubicación constante de pozas.
- Resistencia al impacto por posibles golpes durante la excavación.

Se verifica la resistencia química según la figura 23

Resistencia química de materiales

Fuente: Proindecsa

Tabla 11***Materiales de bombas y sus características***

Material de Tubería	Efectos del Agua Ácida	Costos	Resistencia al Impacto	Durabilidad	Aplicaciones
Acero Inoxidable	Corrosión menor, pérdida de brillo	Alto	Alta	Muy alta	Aguas de drenaje con productos químicos, relaves con compuestos corrosivos.
Hierro Fundido	Corrosión rápida, debilitamiento estructural	Medio	Alta	Muy alta	Aplicaciones generales de aguas de drenaje.
Acero al carbono	Corrosión severa, formación de óxidos	Medio	Alta	Alta	Aplicaciones generales de aguas.
Polipropileno	Resistencia alta a la corrosión	Medio	Alta	Baja	Aguas de drenaje y relaves con productos químicos no extremadamente agresivos.
Titanio	Resistencia alta, no afectado significativamente	Muy alto	Alta	Muy alta	Ambientes extremadamente corrosivos, aplicaciones costosas.
Aluminio	Resistente, pero susceptible a corrosión galvánica	Bajo	Media	Media	Aplicaciones específicas con baja corrosión y abrasión
Bronce	Corrosión media, formación de pátina	Medio	Bajo	Baja	Aplicaciones de aguas de drenaje menos agresivas
Hastelloy	Altamente resistente	Alto	Alta	Alta	Aplicaciones con ácidos fuertes y químicos corrosivos
Nylon	Puede deteriorarse con ácidos fuertes	Bajo	Alta	Baja	Aplicaciones con ácidos fuertes y químicos corrosivos

fuente: Elaboración propia.

4.6 Cálculo es estado estacionario

4.6.1 Caudal de diseño

Los cálculos de caudal de diseño corresponden tanto para la temporada seca como para la temporada de lluvias según tablas. Se muestran los cálculos correspondientes a ambos escenarios.

4.6.1.1 Caudal de diseño en temporada seca

$$Q_{diseño\ s1} = fd \times Q_{s1} = 1.15 \times 8.9 \frac{l}{s} = 10.2 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ s2} = fd \times Q_{s2} = 1.15 \times 19 \frac{l}{s} = 21.9 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ s3} = fd \times Q_{s3} = 1.15 \times 24 \frac{l}{s} = 27.6 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ s4} = fd \times Q_{s4} = 1.15 \times 16.2 \frac{l}{s} = 18.6 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ s5} = fd \times Q_{s5} = 1.15 \times 31.5 \frac{l}{s} = 36.2 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ s6} = fd \times Q_{s6} = 1.15 \times 32.9 \frac{l}{s} = 37.8 \frac{l}{s}$$

4.6.1.2 Caudal de diseño en temporada lluviosa

$$Q_{diseño\ ll1} = fd \times Q_{ll1} = 1.15 \times 21.4 \frac{l}{s} = 24.6 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ ll2} = fd \times Q_{ll2} = 1.15 \times 31.5 \frac{l}{s} = 36.2 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ ll3} = fd \times Q_{ll3} = 1.15 \times 36.5 \frac{l}{s} = 42 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ ll4} = fd \times Q_{ll4} = 1.15 \times 28.7 \frac{l}{s} = 33 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ ll5} = fd \times Q_{ll5} = 1.15 \times 44 \frac{l}{s} = 50.6 \frac{l}{s}$$

$$Q_{diseño\ ll6} = fd \times Q_{ll6} = 1.15 \times 45.4 \frac{l}{s} = 52.2 \frac{l}{s}$$

El sistema tendrá que ser capaz de transportar el mayor caudal de diseño obtenido.

$$Q_{dmax} = Q_{diseño\ ll6} = 52.2 \frac{l}{s}$$

4.6.2 Cálculo de diámetro de la tubería

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.

4.6.2.1 Diámetro de tubería de succión

$$di_s = 2 \sqrt{\frac{Q_{dmax}}{\pi \cdot v_{max}}} = 2 \sqrt{\frac{52.2 \frac{10^{-3} \cdot m^3}{s}}{\pi (1.2 \frac{m}{s})}} = 0.235 m$$

4.6.2.2 Diámetro de tubería de descarga

$$di_d = 2 \sqrt{\frac{Q_{dmax}}{\pi \cdot v_{max}}} = 2 \sqrt{\frac{52.2 \frac{10^{-3} \cdot m^3}{s}}{\pi (3 \frac{m}{s})}} = 0.148 m$$

De acuerdo con los cálculos efectuados, se seleccionó tuberías HDPE 10" SDR 17 para la succión y tubería HDPE 6" SDR 11 para la descarga.

Los detalles de las tuberías para succión y descarga se muestran en la tabla 12.

Tabla 12

Características de tuberías HDPE

Descripción	HDPE 10" SDR 17	HDPE 6" SDR 11
Diámetro nominal	273.1 mm	168.3
Diámetro interno	240.9 mm	137.7
Espesor	16.1 mm	15.3
Rugosidad absoluta	0.0015 mm	0.0015 mm
Presión de trabajo	125 psi	200 psi

Nota: Adaptado de https://www.cidelsa.com/media/prod_brochure_2/Tuberia_Lisa_de_HDPE.pdf

4.6.3 Cálculo de ADT

4.6.3.1 Cálculo de ADT en temporada seca

a) Cálculo de altura dinámica de succión

- Cálculo de la velocidad del fluido

$$v_{s.s1} = \frac{4(10.2 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(240.9 \times 10^{-3} m)^2} = 0.22 \frac{m}{s}$$

$$v_{s.s2} = \frac{4(21.9 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(240.9 \times 10^{-3} m)^2} = 0.48 \frac{m}{s}$$

$$v_{s_s3} = \frac{4(27.6 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(240.9 \times 10^{-3}m)^2} = 0.61 \frac{m}{s}$$

$$v_{s_s4} = \frac{4(18.6 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(240.9 \times 10^{-3}m)^2} = 0.41 \frac{m}{s}$$

$$v_{s_s5} = \frac{4(36.2 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(240.9 \times 10^{-3}m)^2} = 0.79 \frac{m}{s}$$

$$v_{s_s6} = \frac{4(37.8 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(240.9 \times 10^{-3}m)^2} = 0.83 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{s_s1} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(240.9 \times 10^{-3}m)(0.22 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 35589 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_s2} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(240.9 \times 10^{-3}m)(0.48 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 75977 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_s3} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(240.9 \times 10^{-3}m)(0.61 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 95971 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_s4} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(240.9 \times 10^{-3}m)(0.41 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 64780 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_s5} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(240.9 \times 10^{-3}m)(0.79 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 125962 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_s6} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(240.9 \times 10^{-3}m)(0.83 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 131560 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{s_s1} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3}m}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(435589)^{0.9}} \right]^2} = 0.022$$

$$f_{s_{s2}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(75977)^{0.9}} \right]^2} = 0.019$$

$$f_{s_{s3}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(95971)^{0.9}} \right]^2} = 0.018$$

$$f_{s_{s4}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(64780)^{0.9}} \right]^2} = 0.020$$

$$f_{s_{s5}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(125962)^{0.9}} \right]^2} = 0.017$$

$$f_{s_{s6}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(131560)^{0.9}} \right]^2} = 0.017$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{f_{s_{s1}}} = (10 \text{ m}) \frac{0.022 \left(0.22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ mm})} = 0.002 \text{ m}$$

$$H_{f_{s_{s2}}} = (10 \text{ m}) \frac{0.019 \left(0.48 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ mm})} = 0.009 \text{ m}$$

$$H_{f_{s_{s3}}} = (10 \text{ m}) \frac{0.018 \left(0.61 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ mm})} = 0.014 \text{ m}$$

$$H_{f_{s_{s4}}} = (10 \text{ m}) \frac{0.020 \left(0.41 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ mm})} = 0.007 \text{ m}$$

$$H_{f_{s_{s5}}} = (10 \text{ m}) \frac{0.017 \left(0.79 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ mm})} = 0.023 \text{ m}$$

$$H_{fs_s6} = (10 \text{ m}) \frac{0.017 \left(0.83 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ mm})} = 0.025 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{vas_s1} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.22 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.01 \text{ m}$$

$$H_{vas_s2} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.48 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.01 \text{ m}$$

$$H_{vas_s3} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.61 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.01 \text{ m}$$

$$H_{vas_s4} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.41 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.01 \text{ m}$$

$$H_{vas_s5} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.01 \text{ m}$$

$$H_{vas_s6} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.83 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.01 \text{ m}$$

- Altura dinámica de succión

$$H_{s_s1} = -2 \text{ m} - 0.002 \text{ m} - 0.01 \text{ m} + \frac{\left(0.22 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.01 \text{ m}$$

$$H_{s_s2} = -2 \text{ m} - 0.009 \text{ m} - 0.04 \text{ m} + \frac{\left(0.48 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.04 \text{ m}$$

$$H_{s_s3} = -2 \text{ m} - 0.014 \text{ m} - 0.07 \text{ m} + \frac{\left(0.61 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.07 \text{ m}$$

$$H_{s_s4} = -2 \text{ m} - 0.007 \text{ m} - 0.03 \text{ m} + \frac{\left(0.41 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.03 \text{ m}$$

$$H_{s_{s5}} = -2 \text{ m} - 0.0023 \text{ m} - 0.12 \text{ m} + \frac{\left(0.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.11 \text{ m}$$

$$H_{s_{s6}} = -2 \text{ m} - 0.0025 \text{ m} - 0.13 \text{ m} + \frac{\left(0.83 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = -2.12 \text{ m}$$

b) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$v_{d_{s1}} = \frac{4(10.2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 0.69 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{d_{s2}} = \frac{4(21.9 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 1.47 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{d_{s3}} = \frac{4(27.6 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 1.85 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{d_{s4}} = \frac{4(18.6 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 1.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{d_{s5}} = \frac{4(36.2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 2.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{d_{s6}} = \frac{4(37.8 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 2.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{d_{s1}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(137.7 \times 10^{-3} \text{m})(0.69 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 62262 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{s2}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(137.7 \times 10^{-3} \text{m})(1.47 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 132918 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{s3}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(137.7 \times 10^{-3} \text{m})(1.85 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 167897 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{s4}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(137.7 \times 10^{-3} \text{m})(1.25 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 113330 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{s5}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(137.7 \times 10^{-3} \text{m})(2.43 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 220364 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{s6}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(137.7 \times 10^{-3} \text{m})(2.54 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 230158 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{d_{s1}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(62262)^{0.9}} \right]^2} = 0.02$$

$$f_{d_{s2}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(132918)^{0.9}} \right]^2} = 0.017$$

$$f_{d_{s3}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(167897)^{0.9}} \right]^2} = 0.016$$

$$f_{d_{s4}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(113330)^{0.9}} \right]^2} = 0.017$$

$$f_{d_{s5}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(220364)^{0.9}} \right]^2} = 0.015$$

$$f_{d_{s6}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(230158)^{0.9}} \right]^2} = 0.015$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fd_{s1}} = (410 \text{ m}) \frac{0.020 \left(0.69 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 1.42 \text{ m}$$

$$H_{fd_{s2}} = (410 \text{ m}) \frac{0.017 \left(1.47 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 5.53 \text{ m}$$

$$H_{fd_{s3}} = (410 \text{ m}) \frac{0.016 \left(1.85 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 8.43 \text{ m}$$

$$H_{fd_{s4}} = (410 \text{ m}) \frac{0.017 \left(1.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 4.15 \text{ m}$$

$$H_{fd_{s5}} = (410 \text{ m}) \frac{0.015 \left(2.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 13.78 \text{ m}$$

$$H_{fd_{s6}} = (410 \text{ m}) \frac{0.015 \left(2.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 14.91 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_{s1}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(0.69 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.24 \text{ m}$$

$$H_{vad_{s2}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(1.47 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 1.08 \text{ m}$$

$$H_{vad_{s3}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(1.85 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 1.72 \text{ m}$$

$$H_{vad_{s4}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(1.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.78 \text{ m}$$

$$H_{vad_{s5}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(2.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 2.97 \text{ m}$$

$$H_{vad_{s6}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(2.54 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 3.24 m$$

- Altura dinámica de descarga

$$H_{d_{s1}} = 7 m + 1.42 m + 0.24 m + \frac{\left(0.69 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 8.68 m$$

$$H_{d_{s2}} = 17 m + 5.53 m + 1.08 m + \frac{\left(1.47 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 23.72 m$$

$$H_{d_{s3}} = 22 m + 8.43 m + 1.72 m + \frac{\left(1.85 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 32.32 m$$

$$H_{d_{s4}} = 36 m + 4.15 m + 0.78 m + \frac{(1.25)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 41.02 m$$

$$H_{d_{s5}} = 44 m + 13.78 m + 2.97 m + \frac{\left(2.43 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 61.05 m$$

$$H_{d_{s6}} = 48 m + 14.91 m + 3.24 m + \frac{\left(2.54 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 66.48 m$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{s1} = 8.68 m - (-2.01 m) = 10.07 mca$$

$$ADT_{s2} = 23.72 m - (-2.04 m) = 25.8 mca$$

$$ADT_{s3} = 32.32 m - (-2.07 m) = 34.4 mca$$

$$ADT_{s4} = 41.02 m - (-2.03 m) = 43 mca$$

$$ADT_{s5} = 61.05 m - (-2.11 m) = 63.2 mca$$

$$ADT_{s6} = 66.48 m - (-2.121 m) = 68.6 mca$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H_{s1}} = \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \left(10.24 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right) (10.07 mca) = 1.1 kW$$

$$P_{H_{s2}} = \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) \left(21.85 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right) (25.8 mca) = 5.5 kW$$

$$P_{H_{s3}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(27.6 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (34.4 \text{ mca}) = 9.3 \text{ kW}$$

$$P_{H_{s4}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(18.63 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (43 \text{ mca}) = 7.9 \text{ kW}$$

$$P_{H_{s5}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(36.23 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (63.2 \text{ mca}) = 22.4 \text{ kW}$$

$$P_{H_{s6}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(37.84 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (68.6 \text{ mca}) = 25.4 \text{ kW}$$

4.6.3.2 Cálculo de ADT en temporada de lluvias

a) Cálculo de Cálculo de altura dinámica de succión

- Cálculo de la velocidad del fluido

$$v_{s_{ll1}} = \frac{4(24.6 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(240.9 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 0.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{s_{ll2}} = \frac{4(36.2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(240.9 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 0.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{s_{ll3}} = \frac{4(42 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(240.9 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 0.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{s_{ll4}} = \frac{4(33 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(240.9 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 0.72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{s_{ll5}} = \frac{4(50.6 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(240.9 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 1.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{s_{ll6}} = \frac{4(52.2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(240.9 \times 10^{-3} \text{m})^2} = 1.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{s_{ll1}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(240.9 \times 10^{-3} \text{m})(0.54 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 85574 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_{ll2}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(240.9 \times 10^{-3} \text{m})(0.79 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^2})} = 125962 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_{ll3}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(240.9 \times 10^{-3}\text{m})(0.92 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa.s}}{\text{m}^2})} = 145955 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_{ll4}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(240.9 \times 10^{-3}\text{m})(0.72 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa.s}}{\text{m}^2})} = 114765 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_{ll5}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(240.9 \times 10^{-3}\text{m})(1.11 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa.s}}{\text{m}^2})} = 175946 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{s_{ll6}} = \frac{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(240.9 \times 10^{-3}\text{m})(1.15 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.0152 \frac{\text{Pa.s}}{\text{m}^2})} = 181545 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{s_{ll1}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3}\text{m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(85574)^{0.9}} \right]^2} = 0.018$$

$$f_{s_{ll2}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3}\text{m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(125962)^{0.9}} \right]^2} = 0.017$$

$$f_{s_{ll3}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3}\text{m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(145955)^{0.9}} \right]^2} = 0.017$$

$$f_{s_{ll4}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3}\text{m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(114765)^{0.9}} \right]^2} = 0.017$$

$$f_{s_{ll5}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3}\text{m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(175946)^{0.9}} \right]^2} = 0.016$$

$$f_{s_{ll6}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{240.9 \times 10^{-3}\text{m}}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(181545)^{0.9}} \right]^2} = 0.016$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fs_ll1} = (10 \text{ m}) \frac{0.018 \left(0.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.011 \text{ m}$$

$$H_{fs_ll2} = (10 \text{ m}) \frac{0.017 \left(0.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.023 \text{ m}$$

$$H_{fs_ll3} = (10 \text{ m}) \frac{0.017 \left(0.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.030 \text{ m}$$

$$H_{fs_ll4} = (10 \text{ m}) \frac{0.017 \left(0.72 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.019 \text{ m}$$

$$H_{fs_ll5} = (10 \text{ m}) \frac{0.016 \left(1.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.042 \text{ m}$$

$$H_{fs_ll6} = (10 \text{ m}) \frac{0.016 \left(1.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (240.9 \times 10^{-3} \text{ m})} = 0.044 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{vas_ll1} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.06 \text{ m}$$

$$H_{vas_ll2} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.12 \text{ m}$$

$$H_{vas_ll3} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.16 \text{ m}$$

$$H_{vas_ll4} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(0.72 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.10 \text{ m}$$

$$H_{vas_ll5} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(1.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.24 \text{ m}$$

$$H_{vas_ll6} = (1(2.5) + 1(0.8) + 2(0.25)) \frac{\left(1.15 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 0.25 \text{ m}$$

- Altura dinámica de succión

$$H_{s_s1} = -2 \text{ m} - 0.011 \text{ m} - 0.06 \text{ m} + \frac{\left(0.54 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = -2.05 \text{ m}$$

$$H_{s_s2} = -2 \text{ m} - 0.023 \text{ m} - 0.12 \text{ m} + \frac{\left(0.79 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = -2.11 \text{ m}$$

$$H_{s_s3} = -2 \text{ m} - 0.030 \text{ m} - 0.16 \text{ m} + \frac{\left(0.92 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = -2.15 \text{ m}$$

$$H_{s_s4} = -2 \text{ m} - 0.019 \text{ m} - 0.10 \text{ m} + \frac{\left(0.72 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = -2.09 \text{ m}$$

$$H_{s_s5} = -2 \text{ m} - 0.042 \text{ m} - 0.24 \text{ m} + \frac{\left(1.11 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = -2.22 \text{ m}$$

$$H_{s_s6} = -2 \text{ m} - 0.044 \text{ m} - 0.25 \text{ m} + \frac{\left(1.15 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = -2.23 \text{ m}$$

b) Cálculo de altura dinámica de descarga

- Cálculo de velocidad

$$v_{d_ll1} = \frac{4(24.6 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} m)^2} = 1.65 \frac{m}{s}$$

$$v_{d_ll2} = \frac{4(36.2 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} m)^2} = 2.43 \frac{m}{s}$$

$$v_{d_ll3} = \frac{4(42 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} m)^2} = 2.82 \frac{m}{s}$$

$$v_{d_ll4} = \frac{4(33 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(137.7 \times 10^{-3} m)^2} = 2.22 \frac{m}{s}$$

$$v_{d_{u5}} = \frac{4(50.6 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(137.7 \times 10^{-3}m)^2} = 3.4 \frac{m}{s}$$

$$v_{d_{u6}} = \frac{4(52.2 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi(137.7 \times 10^{-3}m)^2} = 3.51 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de número de Reynolds

$$Re_{d_{u1}} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(137.7 \times 10^{-3}m)(1.65 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 149708 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{u2}} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(137.7 \times 10^{-3}m)(2.43 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 220364 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{u3}} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(137.7 \times 10^{-3}m)(2.82 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 255343 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{u4}} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(137.7 \times 10^{-3}m)(2.22 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 200776 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{u5}} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(137.7 \times 10^{-3}m)(3.40 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 307810 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

$$Re_{d_{u6}} = \frac{(1000 \frac{kg}{m^3})(137.7 \times 10^{-3}m)(3.51 \frac{m}{s})}{(0.0152 \frac{Pa \cdot s}{m^2})} = 317604 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

- Cálculo de factor de fricción

$$f_{d_{u1}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3}m}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(149708)^{0.9}} \right]^2} = 0.017$$

$$f_{d_{u2}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3}m}{3.7}} \right) + \frac{5.74}{(220364)^{0.9}} \right]^2} = 0.015$$

$$f_{d_{u3}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}}\right) + \frac{5.74}{(255343)^{0.9}} \right]^2} = 0.015$$

$$f_{d_{u4}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}}\right) + \frac{5.74}{(200776)^{0.9}} \right]^2} = 0.016$$

$$f_{d_{u5}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}}\right) + \frac{5.74}{(307810)^{0.9}} \right]^2} = 0.014$$

$$f_{d_{u6}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{\frac{137.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{3.7}}\right) + \frac{5.74}{(317604)^{0.9}} \right]^2} = 0.014$$

- Pérdidas por fricción o primarias

$$H_{fd_{u1}} = (410 \text{ m}) \frac{0.017 \left(1.65 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 6.85 \text{ m}$$

$$H_{fd_{u2}} = (410 \text{ m}) \frac{0.015 \left(2.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 13.78 \text{ m}$$

$$H_{fd_{u3}} = (410 \text{ m}) \frac{0.015 \left(2.82 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 18.01 \text{ m}$$

$$H_{fd_{u4}} = (410 \text{ m}) \frac{0.016 \left(2.22 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 11.64 \text{ m}$$

$$H_{fd_{u5}} = (410 \text{ m}) \frac{0.014 \left(3.40 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 25.29 \text{ m}$$

$$H_{fd_{u6}} = (410 \text{ m}) \frac{0.014 \left(3.51 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (137.7 \times 10^{-3} \text{ m})} = 26.77 \text{ m}$$

- Pérdidas en singularidades o secundarias

$$H_{va_{ll1}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(1.65 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 1.37 m$$

$$H_{vad_{ll2}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(2.43 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 2.97 m$$

$$H_{vad_{ll3}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(2.82 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 3.98 m$$

$$H_{vad_{ll4}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(2.22 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 2.46 m$$

$$H_{vad_{ll5}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(3.40 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 5.79 m$$

$$H_{vad_{ll6}} = (1(2.5) + 1(0.24) + 1(0.3) + 4(0.9) + 8(0.4)) \frac{\left(3.51 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 6.16 m$$

- Altura dinámica de descarga

$$H_{d_{s1}} = (4757 m - 4750 m) + 6.85 m + 1.37 m + \frac{\left(1.65 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 15.36 m$$

$$H_{d_{s2}} = (4757 m - 4740 m) + 13.78 m + 2.97 m + \frac{\left(2.43 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 34.05 m$$

$$H_{d_{s3}} = (4757 m - 4735 m) + 18.01 m + 3.98 m + \frac{\left(2.82 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 44.39 m$$

$$H_{d_{s4}} = (4757 m - 4731 m) + 11.64 m + 2.46 m + \frac{(2.22)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 50.36 m$$

$$H_{d_{s5}} = (4757 m - 4713 m) + 25.29 m + 5.79 m + \frac{\left(3.40 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 75.67 m$$

$$H_{d_{s6}} = (4757 \text{ m} - 4709 \text{ m}) + 26.77 \text{ m} + 6.16 \text{ m} + \frac{\left(3.51 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 81.56 \text{ m}$$

- Cálculo de altura dinámica total

$$ADT_{ll1} = 15.36 \text{ m} - (-2.05 \text{ m}) = 17.4 \text{ mca}$$

$$ADT_{ll2} = 34.05 \text{ m} - (-2.11 \text{ m}) = 36.2 \text{ mca}$$

$$ADT_{ll3} = 44.39 \text{ m} - (-2.15 \text{ m}) = 46.5 \text{ mca}$$

$$ADT_{ll4} = 50.36 \text{ m} - (-2.09 \text{ m}) = 52.5 \text{ mca}$$

$$ADT_{ll5} = 75.67 \text{ m} - (-2.22 \text{ m}) = 77.9 \text{ mca}$$

$$ADT_{ll6} = 81.56 \text{ m} - (-2.23 \text{ m}) = 83.8 \text{ mca}$$

- Cálculo de potencia hidráulica

$$P_{H_{ll1}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(24.6 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (17.4 \text{ mca}) = 6 \text{ kW}$$

$$P_{H_{ll2}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(36.2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (36.2 \text{ mca}) = 17 \text{ kW}$$

$$P_{H_{ll3}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(42 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (46.5 \text{ mca}) = 32 \text{ kW}$$

$$P_{H_{ll4}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(33 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (52.5 \text{ mca}) = 29 \text{ kW}$$

$$P_{H_{ll5}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(50.6 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (77.9 \text{ mca}) = 66 \text{ kW}$$

$$P_{H_{ll6}} = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(52.2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (83.8 \text{ mca}) = 73 \text{ kW}$$

4.6.4 Cálculo de NPSH Disponible

4.6.4.1 Cálculo de NPSH disponible en temporada seca

$$NPSH_{D_{s1}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.01 \text{ m}) = 3.57 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{s2}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.05 \text{ m}) = 3.52 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{s3}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.09 \text{ m}) = 3.49 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{s4}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.04 \text{ m}) = 3.54 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{s5}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.15 \text{ m}) = 3.43 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{s6}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.16 \text{ m}) = 3.42 \text{ m}$$

4.6.4.2 Cálculo de NPSH disponible en temporada de lluvias

$$NPSH_{D_{l1}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.07 \text{ m}) = 3.51 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{l2}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.15 \text{ m}) = 3.43 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{l3}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.19 \text{ m}) = 3.38 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{l4}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.12 \text{ m}) = 3.46 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{l5}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.28 \text{ m}) = 3.30 \text{ m}$$

$$NPSH_{D_{l6}} = (5.69 \text{ m} - 2 \text{ m} - 0.11 \text{ m} - 0.30 \text{ m}) = 3.28 \text{ m}$$

4.6.5 Cálculo de sumergencia

En el cálculo se consideró la velocidad máxima para asegurar la sumergencia mínima durante todo el proyecto.

- Cálculo de número de Froude

$$F_D = \frac{1.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\sqrt{\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \times (240.9 \times 10^{-3} \text{ m})}} = 0.75$$

- Cálculo de sumergencia mínima

$$S = (1 + 0.75)(240.9 \times 10^{-3} \text{ m}) \approx 0.7 \text{ m}$$

4.6.6 Resumen de puntos de diseño

Se muestra el resumen de puntos de diseño en las tablas 13 y 14

Tabla 11

Requerimientos de bombeo - temporada seca

Descripción	Q (l/s)	ADT (mca)	NPSHD (mca)
Punto de diseño N°1	10.2	10.7	3.57
Punto de diseño N°2	21.9	25.8	3.52
Punto de diseño N°3	27.6	34.4	3.49
Punto de diseño N°4	18.6	43.0	3.54
Punto de diseño N°5	36.2	63.2	3.43
Punto de diseño N°6	37.8	68.6	3.42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12*Requerimientos de bombeo - temporada de lluvias*

Descripción	Q (l/s)	ADT (mca)	NPSHD (mca)
Punto de diseño N°1	24.6	17.4	3.51
Punto de diseño N°2	36.2	36.2	3.43
Punto de diseño N°3	42.0	46.5	3.38
Punto de diseño N°4	33.0	52.5	3.46
Punto de diseño N°5	50.6	77.9	3.30
Punto de diseño N°6	52.2	83.8	3.28

Fuente: Elaboración propia.

Además, el nivel mínimo de agua en la poza, que garantice la ausencia de vórtices, deberá ser de 0.7 m.

4.7 Análisis del sistema de bombeo

- **NPSH disponible mínimo del sistema**

Para evitar problemas de cavitación durante la ejecución del proyecto, el NPSH requerido de la bomba debe ser menor al NPSH disponible del sistema. Se muestra el valor de NPSH disponible mínimo según la tabla 13.

$$3.57 > NPSH_D > 3.28 \text{ m} \rightarrow NPSH_{min} = 3.28 \text{ m} = 10.8 \text{ ft}$$

- **Caudal mínimo continuo seguro (MCSF)**

El MCSF nos indica el mínimo valor de caudal a bombear para evitar la cavitación y deterioro prematuro de la bomba. Este valor es dato propio de la bomba seleccionada.

4.7.1.1 Selección de bomba

Para determinar el tipo de bomba a usar, se consideró las características siguientes:

- Instalación móvil.
- Lejanía de punto de red eléctrica.
- Principales marcas usadas por la minera.
- Deberá soportar las variaciones de altura de trabajo.
- Succión de fluido por debajo del eje de la bomba.
- Operar como mínimo según las condiciones de las tablas 13 y 14.

Por la duración de la ejecución del proyecto (2.5 años), para el diseño del sistema de bombeo se consideró emplear componentes y equipos que puedan operar para la Etapa II y Etapa III.

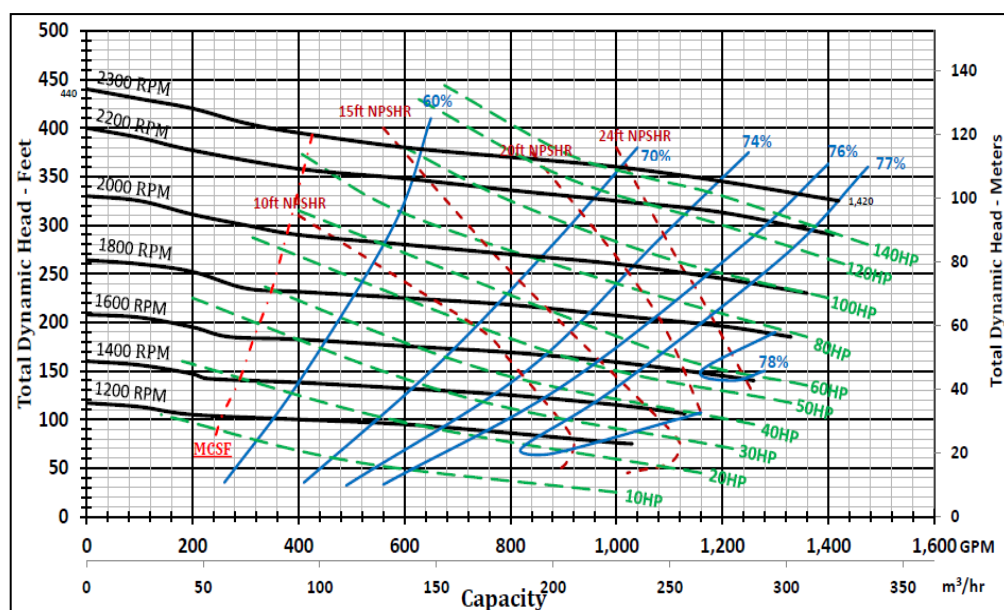
El tipo de bomba seleccionado fue un skid de bombeo que consta de una bomba centrífuga a combustible con amplia zona de trabajo, sistema autocebante, válvula de retención, válvula mariposa y accesorios.

A continuación, se muestran las características de la bomba seleccionada.

- Tipo: Motobomba centrífuga autocebante
- Marca: Thompson
- Modelo: 6JSCD-DJDST-68T-M
- Diámetro succión (in): 6
- Diámetro descarga (in): 4
- RPM: 1200 – 2300 RPM
- Max. Capacidad de flujo: 1400 GPM
- Max. Presión de operación: 925 kPa
- Max. tiempo de operación continuo: 31h @ 2000 RPM

Figura 25

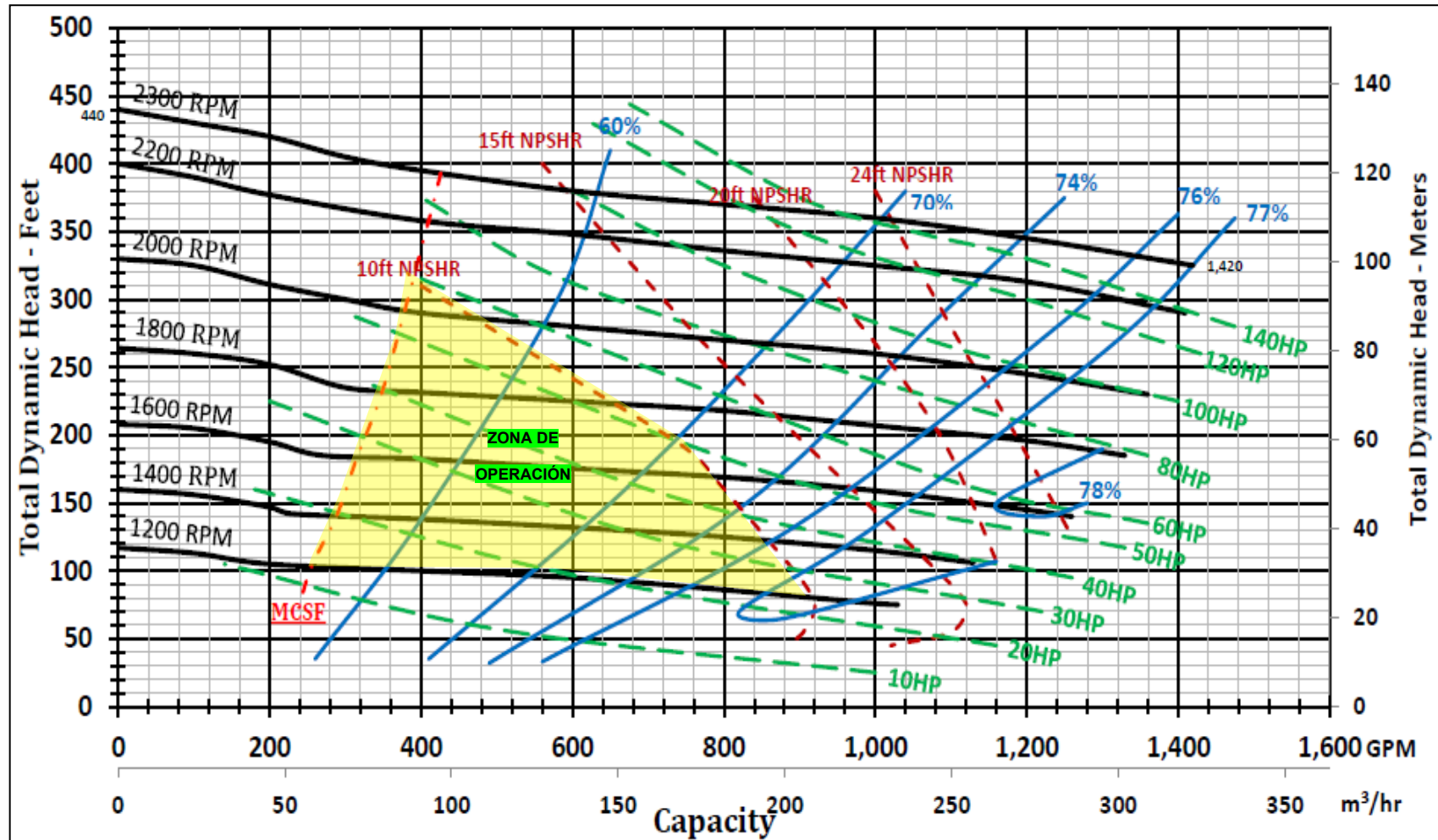
Curva de Motobomba Thompson 6JSCD-DJDST-68T-M



Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Zona de operación -Motobomba Thompson 6JSCD-DJDST-68T-M

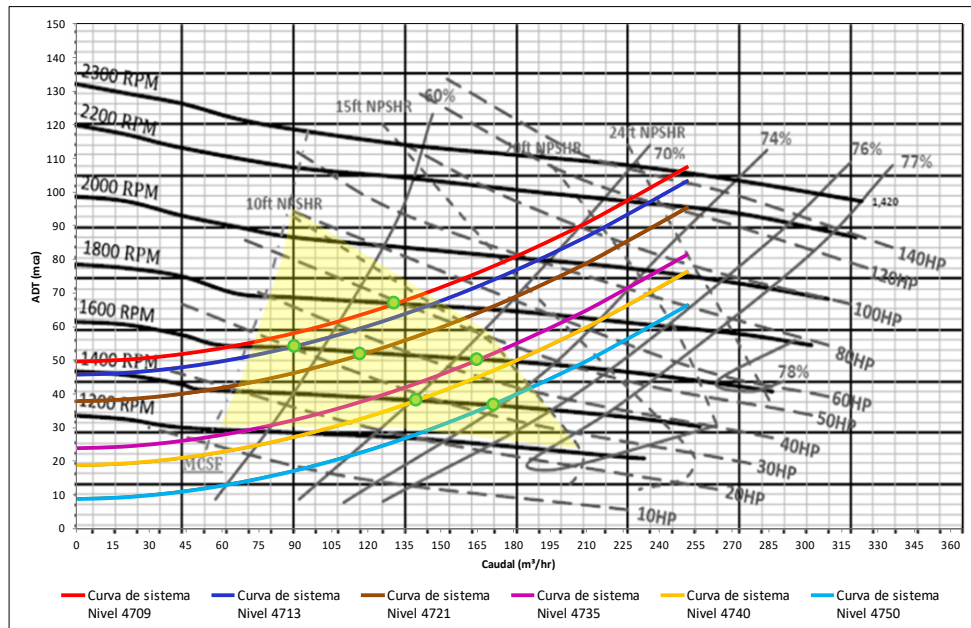


Fuente: Elaboración propia

4.7.1.2 Puntos de operación - 01 bomba en funcionamiento

Figura 27

Puntos de operación del sistema – 01 bomba



Nota: Los puntos verdes representan el punto de operación del sistema de bombeo considerando el funcionamiento de una sola motobomba.

Los puntos de operación del sistema se obtuvieron al interceptar las curvas del sistema (dentro de la zona de operación de la bomba) con las curvas de la motobomba y que brinden el mayor caudal para disminuir las horas de bombeo al día.

Tabla 13

Puntos de operación - 01 bomba en funcionamiento

Descripción	Q (m³/h)	Q (l/s)	ADT (mca)	RPM
Punto de operación N°1	172	47.8	36.0	1400
Punto de operación N°2	140	38.9	38.0	1400
Punto de operación N°3	165	45.8	50.0	1600
Punto de operación N°4	117	32.5	52.0	1600
Punto de operación N°5	90	25.0	54.0	1600
Punto de operación N°6	131	36.0	67.0	1800

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las tablas 12 y 14 se concluye que el punto de operación N°5 y N°6 para la temporada seca no cumplen con el caudal mínimo de bombeo.

Análogamente, al realizar la comparación entre la tabla 13 y la tabla 14, se comprueba que los puntos de operación N°4, N°5 y N°6 para la temporada de lluvias no logran cumplir con los requisitos mínimos de diseño.

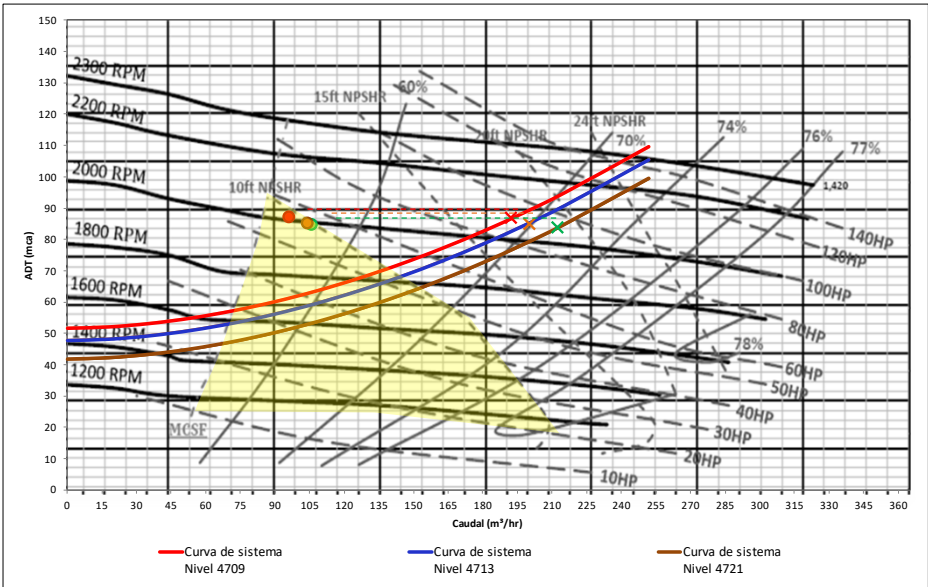
4.7.1.3 Puntos de operación - 02 bomba en paralelo

La solución para los puntos de operación que no cumplen las condiciones de diseño fue usar dos bombas en paralelo para aumentar el caudal de bombeo y mover los puntos de operación hacia dentro de la zona de operación de la bomba.

Los puntos a evaluar para (el funcionamiento de bombas en paralelo) son los puntos de operación N°4, N°5 y N°6. En la figura 27 se puede observar la configuración resultante.

Figura 28

Puntos de operación del sistema - 02 bombas en paralelo



Nota: La figura muestra los puntos de operación dentro de la zona de operación de la bomba.

Tabla 16

Puntos de operación - 02 bomba en paralelo

Descripción	Q (m³/h)	Q (l/s)	ADT (mca)	RPM
Punto de operación N°4	212	58.9	84.0	2000
Punto de operación N°5	200	55.6	85.0	2000
Punto de operación N°6	192	53.3	86.0	2000

Fuente: Elaboración propia.

4.7.1.4 Configuración del sistema de bombeo

En base a los resultados encontrados en el ítem 4.7.1.2 e ítem 4.7.1.3, se definió el modo de operación del sistema de bombeo para la etapa II y etapa III según la tabla 16.

Tabla 14

Modo de operación del sistema de bombeo

Nivel (m.s.n.m)	Punto de operación	Q (m³/h)	ADT (mca)	RPM	Configuración
4750	Nº1	172	36.0	1400	01 bomba
4740	Nº2	140	38.0	1400	01 bomba
4735	Nº3	165	50.0	1600	01 bomba
4721	Nº4	212	84.0	2000	02 bomba en paralelo
4714	Nº5	200	85.0	2000	02 bomba en paralelo
4709	Nº6	192	86.0	2000	02 bomba en paralelo

Nota: Se evidencia que al iniciar la etapa III (Nivel 4721 m.s.n.m.) se tendrá que poner en funcionamiento las dos bombas en paralelo.

4.7.1.5 Tiempo de bombeo al día

La tabla 17 tiene el fin de cuantificar el tiempo máximo de bombeo al día y analizar si la motobomba Thompson podrá tolerar estas horas de trabajo continuo.

Tabla 15

Horas máximas de bombeo al día

Nivel (m.s.n.m)	Punto de operación	Q (m³/h)	Volumen de agua recolectado (m³)	Horas de bombeo al día
4750	Nº1	172	1309	7.6
4740	Nº2	140	2188	15.6
4735	Nº3	165	2614	15.8
4721	Nº4	212	1940	9.2
4714	Nº5	200	3262	16.3
4709	Nº6	192	3383	17.6

Fuente: Elaboración propia.

Según la especificación técnica del fabricante, las horas máximo de bombeo permitidas (31 horas) son mayores a las horas de bombeo calculadas. Por consiguiente, se verifica que las motobombas operaran de forma continua sin dificultad.

4.8 Cálculo en estado transitorio

Este cálculo tiene el fin de analizar si las tuberías instaladas soportarán la presión máxima durante el evento transitorio.

El análisis transitorio se realizó considerando el caso más crítico para el sistema como se menciona a continuación:

- Nivel de profundidad de 4709 m.s.n.m
- Caudal máximo de operación (53.3 l/s)
- Altura dinámica (ADT): (86 m)
- Parada súbita de bomba por falla o ausencia de combustible.

4.8.1 Cálculo analítico

a) Cálculo de celeridad de onda

$$a = \frac{\sqrt{\frac{2 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{1000 \frac{kg}{m^3}}}}{\sqrt{1 + \frac{2 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{1 \times 10^9 \frac{N}{m^2}} \times \frac{137.7 \times 10^{-3} m}{15.3 \times 10^{-3} m}}} = 324 \frac{m}{s}$$

b) Cálculo de coeficientes empíricos

$$\frac{86 m}{410 m} \approx 0.20 \rightarrow C = 1$$

$$410 m < 500 m \rightarrow k = 2$$

c) Cálculo de tiempo de parada de la bomba

$$T_p = 1 + \frac{2(410 m)(3.6 \frac{m}{s})}{(9.81 \frac{m}{s^2})(86 m)} = 4.08 s$$

d) Cálculo de sobrepresión

Primero se evaluó la expresión de sobrepresión a usar según la ecuación 17.

$$\frac{2(410 m)}{324 \frac{m}{s}} = 2.53 s < 4.08 s \rightarrow \text{Cierre lento } \Delta H = \frac{a \times v}{g}$$

$$\Delta H = \frac{\left(324 \frac{m}{s}\right) \left(3.6 \frac{m}{s}\right)}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 73.35 m$$

e) Presión máxima durante el transitorio

$$P_{max} = H + \Delta H = (4757 - 4709) \text{ m.s.n.m} + 73.35 \text{ m}$$

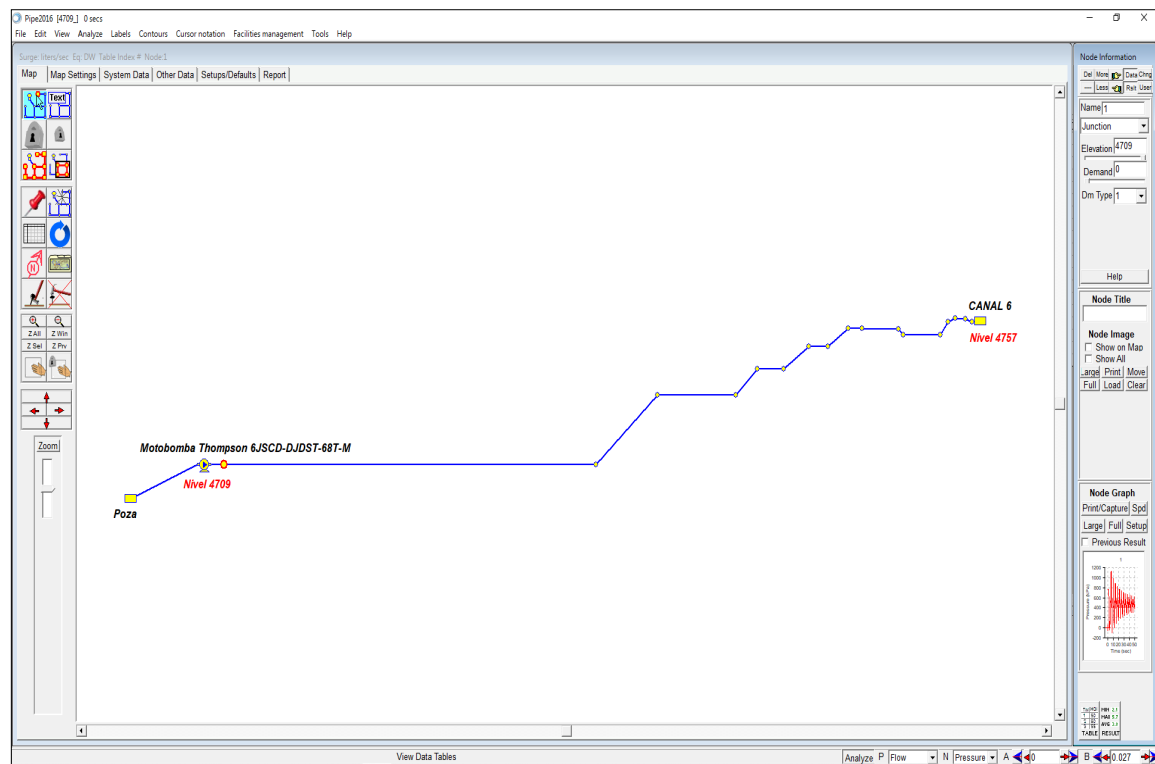
$$P_{max} = 121.3 \text{ mca} = 172.6 \text{ psi}$$

4.8.2 Cálculo con software

La configuración usada en software fue la detención súbita de la bomba para el nivel más profundo de excavación.

Figura 29

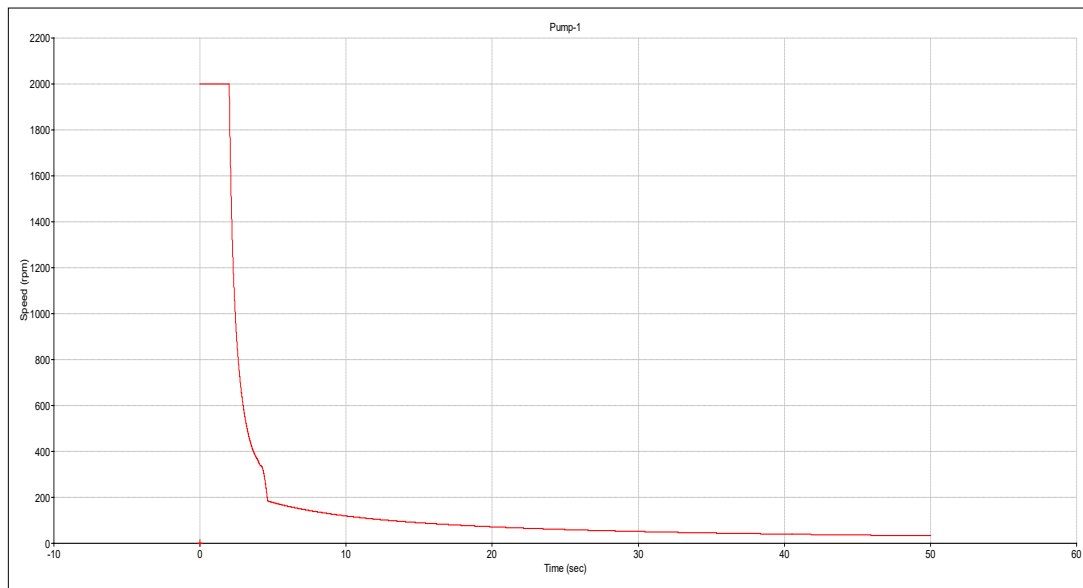
Configuración de análisis con software – nivel 4709 m.s.n.m.



Nota: La simulación se realizó en el software Kypipe 2016. El canal 6 corresponde a la descarga del agua acida.

Figura 30

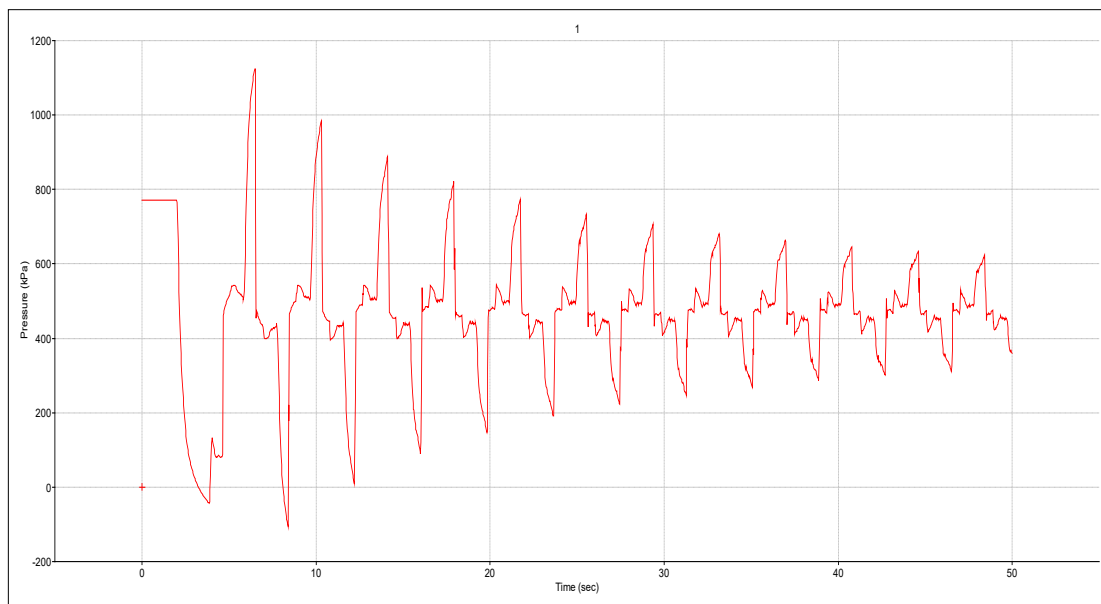
Caída de velocidad de rotación en la bomba– nivel 4709 m.s.n.m.



Nota: La grafica muestra como desciende la velocidad desde los 2000 RPM hasta cero.

Figura 31

Variación de presión en la descarga de la Motobomba



Nota: La grafica muestra como varía la presión a lo largo del tiempo (en la descarga) debido a la onda de presión.

Tabla 16*Resultado de cálculo transitorio en Kypipe - nivel 4709*

Posición	Máxima presión m	Mínima presión m	Máxima presión kpa	Mínima presión kpa
1	115.02	-10.97	1128.004	-107.53
2	84.57	-5.41	829.379	-53.057
3	68.89	-20.5	675.588	-201.001
4	69.65	-19.44	683.007	-190.604
5	60.06	-28.28	589.004	-277.368
6	60.12	-27.02	589.61	-265.02
7	50.1	-35.39	491.278	-347.07
8	50.04	-33.76	490.717	-331.049
9	40.77	-38.83	399.777	-380.768
10	40.69	-36.98	399.021	-362.625
11	40.28	-29.63	395.056	-290.558
12	42.92	-25.26	420.88	-247.669
13	42.08	-25.05	412.618	-245.676
14	35.84	-31.54	351.438	-309.264
15	34.07	-33.44	334.161	-327.974
16	33.85	-33.75	331.955	-331.001
17	30.7	-25.82	301.101	-253.175
Canal 6 / Nivel 4757	0	0	0	0
Poza / Nivel 4709	0	0	0	0
Descarga de la Bomba / Nivel 4709	115.53	-11.51	1132.932	-112.882
Succión de la Bomba / Nivel 4709	36.66	-39.82	359.491	-390.456

Nota: La presión máxima encontrada en software es 115.53 mca, lo que equivale a 164.2 psi.

Se verifica que la presión de operación soportada por las tuberías HDPE es de 200 psi, siendo mayor a la presión que pueda existir durante el transitorio (172.6 psi).

CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1 Descripción del sistema de bombeo

Los puntos de operación, la ubicación del sistema de bombeo y tiempo de bombeo de la motobomba seleccionada serán variables; ya que, el caudal total se ve afectado por la temporada y la profundidad de excavación. Dicho de otra forma, el caudal de lluvias se adiciona al caudal de infiltración y por ende se requiere bombear por más horas de manera continua.

Con el propósito de gestionar de manera efectiva el bombeo del agua ácida restante, correspondiente al agua por debajo del nivel mínimo de 0.7 metros, se procederá a reducir las revoluciones por minuto (RPM) de la motobomba para disminuir el caudal, lo que a su vez reducirá la velocidad de succión. Este enfoque no solo garantizará una operación más controlada, sino que también minimizará la posibilidad de turbulencias no deseadas en el proceso de succión.

Al reducir gradualmente el nivel de agua en la poza, se evitarán los vórtices que podrían formarse en la succión, lo que a su vez optimizará la eficiencia y seguridad del bombeo. Esta estrategia de disminución progresiva del nivel de agua permitirá un manejo delicado y seguro de los residuos ácidos, asegurando que el proceso se lleve a cabo sin contratiempos ni riesgos para el equipo o el medio ambiente circundante.

Para el sistema de bombeo se empleará una motobomba autocebante, tubería HDPE para la línea de succión y para la descarga. La tubería proyectada tendrá un recorrido con una profundidad que va desde nivel 4757 m.s.n.m en la parte más alta, hasta el nivel 4721 m.s.n.m para la Etapa II y hasta el nivel 4709 m.s.n.m para la Etapa III. Se muestra las características del sistema autocebante en la figura 32.

Figura 32

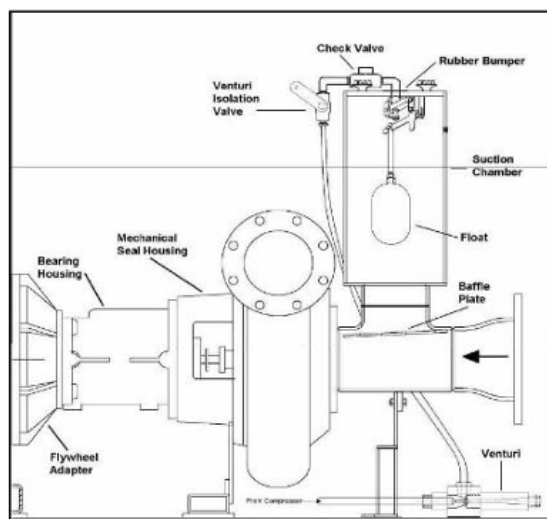
Esquema de Instalación de Motobomba proyectada-vista 1

SISTEMA DE CEBADO “ENVIOPRIME SYSTEM”

El *ENVIOPRIME SYSTEM* es un sistema de cebado en seco exclusivo de Thompson, trabaja en conjunto con un compresor / venturi para evitar que aguas residuales y residuos, se descargue en el suelo. El sistema funciona automáticamente evacuando el aire de la línea de succión durante el arranque, como cualquier bolsa de aire o gases que se introduzcan en la línea de succión durante el proceso de bombeo.

Características y Beneficios

- ✓ Maneja grandes volúmenes de aire, produciendo tiempos de cebado más rápidos.
- ✓ Elimina la necesidad de una manguera de residuos del venturi.
- ✓ Extiende la vida de la bomba separando aire y agua, evitando que el venturi se obstruya y apague el sistema.
- ✓ Este innovador sistema, junto con impulsores de alta eficiencia, reduce los requerimientos de energía, lo que reduce los costos de operación.



Fuente: Elaboración propia.

La tubería de HDPE para la succión será de 10” de diámetro nominal y la tubería HDPE para la descarga será de 6” de diámetro nominal. Se proyecta una tubería de 10 metros para la succión y aproximadamente 410 m para la descarga.

Se proyecta dos (02) motobombas que deberán instaladas en un Skid con sus respectivos instrumentos y accesorios. En la figura 33 se muestra la imagen referencial de la motobomba.

Figura 33

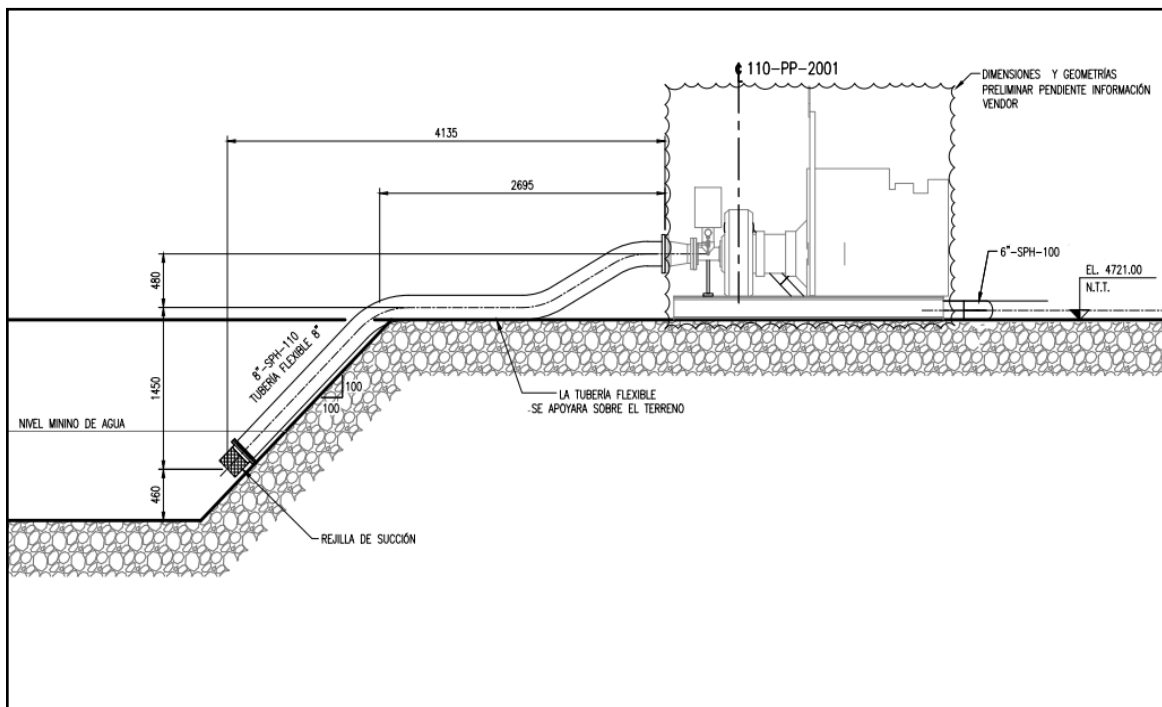
Imagen referencial de la motobomba Thompson



Fuente: Distribuidor de bombas Thompson Perú

Figura 34

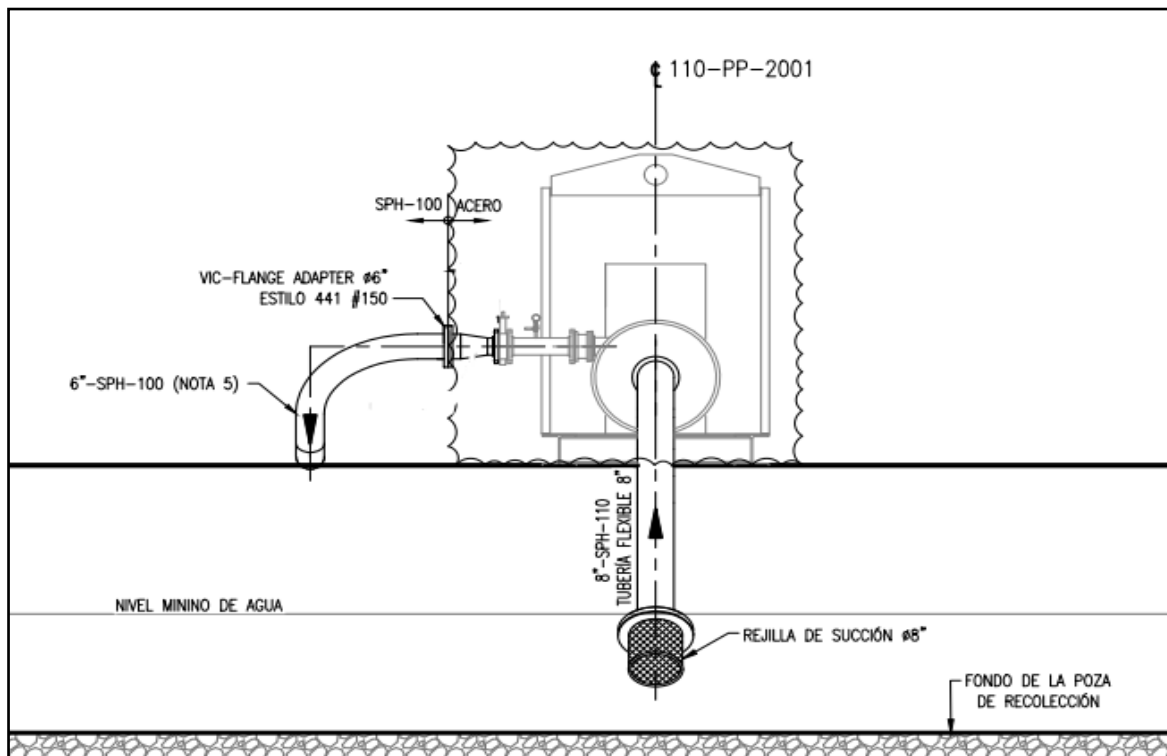
Esquema de Instalación de Motobomba proyectada-vista 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

Esquema de Instalación de Motobomba proyectada-vista 2



Fuente: Elaboración propia.

5.2 Costo del sistema de bombeo

El skid de bombeo consta de una bomba centrífuga a combustible, sistema autocebante, válvula de retención, válvula mariposa y accesorios. Los costos referenciales del skid se muestran en la figura 24.

Figura 36

Costos referenciales de Skid de bombeo

Ítem	Cant.	DESCRIPCIÓN	P. Unit. (US\$)	P. Total (US\$)
01	01 Und.	<p><u>MOTOBOMBA THOMPSON</u></p> <p>Marca : THOMPSON Procedencia : ESTADOS UNIDOS Modelo : 6JSCD-DJDST-68T-M-SS</p> <p>*Incluye accesorios.</p> <p>Tiempo de entrega: 46 semanas</p>	127,500.00	127,500.00
02	02 Glb.	<p><u>TUBERIA Y ACCESORIOS PARA LA SUCCION 6"</u></p> <ul style="list-style-type: none"> (02 UNIDADES) TERMINAL ACERO INOXIDABLE ROSCA-ESCAMA 6" (02 UNIDADES) ABRAZADERA DE 6" DOS PERNOS ACERO INOXIDABLE (abrazadera para manguera de 300 psi) (01 UNIDADES) CAMLOCK ACERO INOXIDABLE TIPO C 6" + A 6" (10 METROS) MANGUERA PARA LINEA DE SUCCION CAUCHO (6" - 300PSI) JEBE Y LONA CON ALAMBRE DE ACERO (1 ROLLO DE 10 MTS) (01 UNIDAD) REJILLA DE SUCCIÓN DE ACERO INOXIDABLE 6 PLG (01) CARRETE DE ACERO INOXIDABLE DE 6 PULG CON VACUOMETRO DE -1 A 0 BARI <p>Tiempo de entrega: 02 semana</p>	4,500.00	9,000.00
03	02 Glb.	<p><u>TUBERIA Y ACCESORIOS PARA LA DESCARGA 6"</u></p> <ul style="list-style-type: none"> VALV MARIPOSA WAFER A/EPDM 4" VALV. MARIPOSA WAFER FE. DISCO C-316 A/EPDM BRIDA SS 316 ROSCADA 4"-150PSI CARRETE DE SS 316 DE 4" PULG CON MANOMETRO EMPAQUETADURAS + PERNOS SS 316 <p>Tiempo de entrega: 02 semanas</p>	3,400.00	6,800.00

Fuente: Distribuidor de bombas Thompson Perú

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN

6.1 Discusiones

En base a los resultados encontrados en el proyecto, se obtiene un manejo adecuado del volumen de agua acumulada mediante la reubicación y configuración de las estaciones de bombeo, asegurando la capacidad del sistema, que permitirá continuar con los procesos de excavación y evitará retrasos en la operación, manteniendo al mínimo el volumen de agua en circulación en las zona de operación y mejorando el manejo de las aguas de lluvias e infiltración que afectan los trabajos tanto en temporadas secas y temporadas de lluvias.

6.2 Interpretación

La hipótesis planteada fue: Con un adecuado sistema de bombeo, diseñado tomando en cuenta las variaciones de altura, caudales de infiltración y temporadas secas o lluviosas, se podrá drenar correctamente el agua durante los procesos de excavación desde las pozas de recolección de agua de cada nivel hasta el canal de drenaje, dando continuidad a las operaciones mineras. Del análisis de los resultados se obtiene que, en el caso crítico, el sistema bombea 53.3 l/s (El cual es superior a los 52.2 l/s provenientes de aguas de infiltración y lluvia) con un ADT de 86 mca, donde las tuberías seleccionadas pueden soportar 200 psi de presión frente a la presión máxima de 172.6 psi en un golpe de ariete. Además, en todos los casos presentados, el caudal de bombeo es mayor o igual al caudal proveniente de aguas de infiltración y lluvias, por lo cual se verifica que la hipótesis planteada es correcta.

CONCLUSIONES

- Se diseñó el sistema de bombeo que hace posible la extracción de aguas acumuladas por infiltraciones y lluvias, con lo cual se pueda dar continuidad a los procesos de excavación en la mina.
- En base al piping Class se seleccionó adecuadamente las características del material a utilizar, evitando corrosión en las tuberías y permitiendo la flexibilidad del sistema debido a la reubicación constante del skid de bombeo.
- Del análisis a régimen estable del sistema de bombeo que va del nivel 4709 m.s.n.m al nivel 4757 m.s.n.m, se determinó que la condición más crítica para este régimen se presenta en el nivel 4709 m.s.n.m cuando el sistema se encuentra operando en temporada de lluvias, para dicho escenario se proyecta un caudal de bombeo de 53.3 l/s, el cual es superior a los 52.2 l/s proveniente de aguas de infiltración y lluvias. Por consiguiente, se evidencia que no ocurrirá desbordes en la poza de recolección.
- Del ítem 4.6.5 se concluye que el nivel mínimo de agua en las pozas de recolección deberá ser de 0.7 m y que este nivel disminuirá al ir reduciendo el caudal de bombeo mediante la regulación de RPM.
- Se podría regular la velocidad a mayores valores de RPM para los puntos de operación que no cumplían inicialmente los requisitos. Sin embargo, esto causaría que el punto de operación caiga fuera de la zona de operación de la bomba, causando problemas de cavitación. Por consiguiente, se valida la necesidad de instalar 2 bombas en paralelo.
- El sistema autocebante genera un vacío que provoca que el fluido entre a la boca de succión y evita que este retorne hacia la poza de recolección. Este sistema reemplazó el uso de una válvula de pie, lo cual hace más sencilla la reubicación constante del sistema de bombeo.

- El NPSHD del sistema es 10.8 ft m frente a los 10 ft de NPSHR de la bomba, lo cual permite que la bomba opere sin presentar cavitación en los puntos de operación calculados.
- Del análisis en estado transitorio en el escenario más crítico del sistema de bombeo (del nivel 4757 m.s.n.m al nivel 4709 m.s.n.m y parada súbita de bombas) se determinó que la presión máxima que deberá soportar la tubería es de 172.6 psi, siendo la presión de operación de 200 psi por datos de fabricante. Por lo cual se demuestra que la tubería de HDPE soportara sin problemas las sobrepresiones causadas en régimen transitorio.
- La instalación de la válvula check en la descarga protege la bomba de contraflujos causados por paradas súbitas y previniendo el deterioro del sistema.
- Se verifica que las horas de bombeo que puede soportar la motobomba seleccionada (31 horas), son mayores a las horas máximas de bombeo continuo del proyecto (17.6 horas). Por ende, se concluye que este factor no afectara el correcto funcionamiento de la bomba.
- Es importante la configuración de RPM de la bomba acompañado con la regulación del porcentaje de apertura de la válvula mariposa para que los puntos de operación caigan siempre dentro de la zona de operación de la bomba (donde se obtiene que el NPSHD del sistema es mayor al NPSHR de la bomba, evitando problemas de cavitación)

RECOMENDACIONES

- En la selección del tipo de bombas, tuberías y accesorios se recomienda tener como consideración las condiciones ambientales de trabajo, las características del fluido a bombear (acidez, temperatura, porcentaje de sólidos) y terreno para mantener un rendimiento adecuado del sistema y evitar deterioros.
- Se recomienda tener al menos una bomba de reserva (Stand by) para poder instalarla ante una emergencia y evitar paralizaciones de las operaciones de excavación.
- Para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema, se recomienda realizar mantenimientos periódicos al skid de bombeo.
- Realizar correctamente las uniones de tuberías de HDPE con personal técnico capacitado que cumpla los protocolos de termofusión o electrofusión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Enriquez Romero, Wilfredo Abel (2015) “Análisis de golpe de ariete para reducir la sobrepresión en el sistema de bombeo del tanque TK-007 al cajón LA003B de la presa de relaves de SMCV”
- Rojas Perez, Danny Erikson (2017) “Diseño Del Sistema De Bombeo Para El Abastecimiento Optimo De Agua Potable Del Distrito De Huancán-Huancayo”
- Ortiz Ramirez, Gerardo Emilio (2014) “Diseño E Implementación Del Sistema De Bombeo Principal Del Sector A - Mina Calenturitas, Propiedad De C.I Prodeco S.A, La Loma, Cesar”
- Herrera José M. (2019) “Cuantificación de caudales que ingresan en los niveles 1 y 4 en la Mina Colombia, Minerven, El Callao estado Bolívar, Venezuela”
- 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”
- Méndez Dávila Cesar Augusto (2012) “Sistema de bombeo de agua de mina para un caudal de 1000 l/s altura estática de 150 Mts. En el nv. 3990 U.E.A. Uchucchacua de la CIA. De minas Buenaventura S.A.A.”
- CRANE Technical Paper No. 410 (TP-410). (1982). Flow of Fluids through Valves, Fittings, and Pipe (El flujo de fluidos a través de válvulas, accesorios y tuberías). Crane Co.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Education.
- Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2001). Pump Handbook (3rd ed.). McGraw-Hill Professional.
- Tullis, J. P. (2014). Hydraulics of Pipelines: Pumps, Valves, Cavitation, Transients. ASCE Press.
- White, F. M. (2016). Fluid Mechanics (8th ed.). McGraw-Hill Education.

- Mott, F. (2010). Mecánica de fluidos (7a ed.). Pearson Educación.
- Karassik, I. J., Krutzsch, W. C., Fraser, H. D., Messina, J. P. (1998). Pump Handbook (3rd ed.). McGraw-Hill Professional.
- Marbello Pérez, R. (2007). Bombas hidráulicas rotodinámicas: Teoría y aplicaciones. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

ANEXOS

Anexo 1: Datos ambientales	1
Anexo 2: Datos del fluido	2
Anexo 3: Datos del terreno	3
Anexo 4: Catálogo de tuberías lisas HDPE Cidelsa	4
Anexo 5: Especificaciones técnicas: Motobomba 6JSCD-DJDST-68T-M.....	9

ANEXO 1

Tabla A.1.

Datos ambientales

Ubicación		
Departamento	Junín	
Provincia	Yauli	
Altura	4540-5000	msnm
Presión barométrica	59.5 - 55.9	kPa
Mínima	-4	°C
Condiciones de temperatura		
Temperatura Máxima (bulbo seco)	20	°C
Temperatura Máxima (bulbo seco)	12	°C
Temperatura Media	4.9 - 7.1	°C
Humedad relativa	68.5	%
Precipitación anual	628.9	mm
Condiciones de viento		
Velocidad del viento	7 - 9	km/h
Velocidad máxima histórica	30	km/h
Dirección	NE	

ANEXO 2

Tabla A.2. 1

Propiedades del fluido

Tipo de fluido	Agua ácida	
Densidad	1.00	g/cm ³
Viscosidad dinámica	1.52	Cp
Temperatura del fluido	10	°C
pH del fluido	2.5	

Tabla A.2. 2

Evolución de filtraciones según profundidad

Nivel (m.s.n.m)	Q Filtración min (l/s)	Q Filtración Promedio (l/s)
4750	3.2	6
4746	3.6	7.7
4744	4.1	9
4740	4.9	11.9
4735	5.8	14.9
4733	6.2	14.6
4730	6.8	13.7
4727	7.4	12.8
4724	7.9	11.5
4722	8.3	10.1
4721	8.5	9.9
4720	9.2	11.1
4718	12.2	16.1
4717	13.8	19.4
4715	14.2	21.9
4713	14.5	23
4711	14.7	23.6
4709	15	24.1

ANEXO 3


Tabla A.3.1

Propiedades del terreno al nivel 4709 m.s.n.m

Nodo (m.s.n.m)	Progresiva	Elevación
	(m)	(m.s.n.m)
1	0	4709
2	170.64	4709
3	175.15	4710.66
4	192.30	4723.34
5	196.81	4725
6	219.05	4725
7	223.64	4726.73
8	232.32	4733.27
9	236.91	4735
10	242.32	4735
11	246.91	4736.73
12	255.59	4743.27
13	260.18	4745
14	306.29	4745
15	310.61	4746.53
16	317.89	4751.69
17	322.22	4753.23
18	352.04	4753.18
19	354.77	4750.45
20	370.55	4750.45
21	370.98	4751.08
22	377.70	4757.29
23	380.45	4757.83
24	383.84	4757.75
25	385.71	4757.42
26	388.45	4756.51
27	389.11	4757

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	0.16
25	3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.148	2.3	0.17	3.0	0.21	3.5	0.24
32	1	-	-	-	-	-	-	2.0	0.2	2.4	0.23	3.0	0.28	3.6	0.33	4.4	0.39
40	1-1/4	-	-	-	-	2.0	0.245	2.4	0.29	3.0	0.36	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	0.94	
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	1.18	
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	2.42	
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	3.03	
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	4.54	
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	5.56	
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	14.94	
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	23.32	
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	29.24	
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	35.2	31.6	41.3	37.01
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	46.93
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	59.60
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	74.55
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	103.97	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	185.15	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	1066.8	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.

ACCESORIOS DE COMPRESIÓN DE POLIPROPILENO (PP)



Junta realizada según las normativas UNI 9561-AS/NZS4129 BRL-K534/03 DIN 8076 ISO 14236.
Idónea al contacto con agua potable.
Cuerpo: Polipropileno Copolímero (PP).
Tuerca: Polipropileno Copolímero (PP).
Cono de fijación: Poliacetal (POM).



Blueseal
Anillo bi-componente patentado por SAB de Italia, fabricado con tecnopolímeros especiales.

Contamos con accesorios en diámetros desde 20mm - 110mm en presiones de 16 bares para tuberías HDPE fabricadas bajo norma ISO.



Plug & Play

Es el nuevo manguito de acoplamiento para tubos de PE dotado de una guarnición de agarre de doble labio y una pinza antidesacoplamiento. Contamos con diámetros hasta 160mm en presiones de 16 bares para tuberías fabricadas bajo norma ISO.

ACOPLES DE HIERRO DÚCTIL



Acoples de hierro dúctil estilo 995, para unir tubería de HDPE. Este diseño permite la unión directa de tuberías de HDPE sin equipo de fusión. Contamos con diámetros desde 2" (63mm) a 12" (315mm) para tuberías HDPE fabricadas bajo norma ISO y ASTM.

CONEXIONES MOLDEADAS Y FABRICADAS EN HDPE



Contamos con accesorios inyectados o moldeados de polietileno de alta densidad, PE-100, para tuberías fabricadas en norma ISO en diámetros de 32mm hasta 315mm.
Certificados según las siguientes normativas: UNI EN 12201-3, UNI EN ISO 15494, UNI EN 1555-3

También contamos con accesorios de polietileno de alta densidad, PE-4710, para tuberías fabricadas en norma ASTM en diámetros de 2" hasta 24" IPS.
Certificaciones: AWWA C906 - NSF / ANSI 61

Contamos también con accesorios fabricados en HDPE, en diámetros de 32mm (1") hasta 2,000mm (80"). Nuestros accesorios son fabricados en base a las dimensiones recomendadas por la norma DIN 16963.



ACCESORIOS EN HDPE PARA ELECTROFUSIÓN

Contamos con accesorios de polietileno de alta densidad para electrofusión, PE-100, para tubería HDPE en SDR11 y SDR17.

Nuestros accesorios cuentan con certificados según las normativas:

- UNI EN 1555-3, juntas en polietileno (PE) para sistemas de tubería para la distribución de gas combustible.
- UNI EN 12201-3, juntas en polietileno (PE) para sistemas de tubería para la distribución del agua potable.
- UNI EN ISO 15494, juntas en polietileno (PE) para sistemas de tubería para aplicación industrial.



BACK UP RING IPP DELTAFLEX

Disponemos de Back up rings, en hierro dúctil, acero inoxidable y hierro dúctil encapsulado en polipropileno.

Normas de fabricación y tamaños disponibles:

- ANSI B16.5 / B16.47 Clase 150.
- AWWA C-207 Clases B, D y E.
- DIN 2501
- Tamaños desde ½" (16mm) hasta 66" (1600mm)



Ventajas

- Más liviano. Menor peso que las bridas de respaldo metálico plano (de plancha) convencionales.
- Facilidad de manipulación e instalación.
- Mejor performance en líneas de HDPE.
- Transmite de manera segura y eficiente las cargas estructurales.
- Reducción de costos de transporte.
- Factor de seguridad de 2.



Los Back up ring de hierro dúctil encapsulado en polipropileno son altamente resistente a la corrosión, y son reforzados con fibra de vidrio.

Ideales para aplicaciones en ambientes corrosivos propios de la industria minera y pesquera.



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

THOMPSON

PUMP & MANUFACTURING CO., INC.

P.O. Box 291370 * Port Orange, Florida 32129-1370 * (800) 767-7310 * Fax (386) 761-0362

6JSCD-DJDST-68T-M

Enviroprime® High Pressure Solids Handling Pump

Size: 6" x 4"



Performance:

- Max. Flow: 1400 GPM
- Max. Shut Off Head: 400 FT Head
- 3.0" Solids Capacity
- 28 FT Suction Lift
- 14 CFM Priming Capacity
-

Physical Data:

- Length: 137"
- Width: 72"
- Height: 90"
- Weight (w/o fuel): 4,600 lbs.
- Weight (w/fuel): 5,150 lbs.

Major Components:

- Solids Handling Pump w/ 14" Dia. Impeller
- 6068T-150 OPU John Deere Diesel Engine
- 140-Gallon Integral Fuel Frame
- 10,400# Capacity DOT Road Trailer

Benefits:

- Automatic priming
- Able to run dry unattended
- Able to operate on "snore" conditions
- Low suction and discharge heights
- Low maintenance
- Easy operation

In the interest of product improvement, Thompson Pump & Manufacturing reserves the right to change specifications

F:\data\brochure\6jsc

Rev. A

9/25/00