

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS PROFESIONAL

**EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE
SUBTERRÁNEO DE LA MINA DE CARBÓN “DON MANUEL” -
BAMBAMARCA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

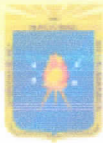
Bach. Regalado Bustamante Carlos Adolfo

Asesor:

M.Cs.Ing. Longa Álvarez José Hilario

CAJAMARCA – PERÚ

2023



CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE SUBTERRÁNEO DE LA MINA DE CARBÓN "DON MANUEL" - BAMBAMARCA**, realizada por el Bachiller en Ingeniería de Minas **Carlos Adolfo Regalado Bustamante** de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor MCs. José Hilario Longa Álvarez con el software antiplagio Urkund que indica **1% (uno por ciento)** de índice de similitud, asignándole el código D173777333.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 13 de setiembre del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN


Dra. Yvonne Katherine Fernós
DIRECTORA

Cc.
Archivo
c11223cr

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje y experiencia

A mis queridos padres y hermanos quienes con tanto esfuerzo me apoyaron a terminar mis estudios universitarios

A mis Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas y Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca por sus enseñanzas y consejos.

Agradezco también al Ing. José Hilario Longa Álvarez por la asesoría y tiempo brindado.

DEDICATORIA

La presente tesis lo dedico
con mucho amor y cariño a mi amada esposa y a mi
querido hijo Aarón Zaid,
quienes con tanto amor me animan y me motivan para
seguir triunfando en mi camino y poder terminar esta
presente tesis.

INDICE GENERAL**pág.**

ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE FOTOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ABREVIATURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIII
ABSTRAC.....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES PARA EL DRENAJE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	6
2.2.1.1. Drenaje de minas subterráneas.....	6
2.2.1.1.1. Factores que influyen en el sistema de drenaje subterráneo:.....	7
2.2.1.1.2. Labores que intervienen en el sistema de drenaje subterráneo:.....	7
CAMARAS DE SEDIMENTACION.....	8
2.2.2. GEOMORFOLOGIA DEL YACIMIENTO	9
2.2.2.1. Proceso de infiltración de agua en un manto de roca arenisca sedimentaria	10
2.2.2.1.1. Leyes usadas para calcular el flujo de agua en medios porosos como las areniscas	12
1. Ley de Darcy	13
2. Gradiente hidráulico.....	13
3. Caudal específico:	13

5.	Fórmula de la porosidad:	14
6.	Fórmula de permeabilidad:	14
7.	Fórmula de almacenamiento específico.....	14
2.2.3.	CAUDAL (Q) SUBTERRANEO	15
2.2.3.1.	FORMULAS Y TEOREMAS PARA CALCULAR EL CAUDAL SUBTERRANEO.....	17
1.	Formula de la continuidad.....	17
2.	Velocidad media del flujo (Vm).....	17
3.	Perdidas de carga en las tuberías del sistema de drenaje.....	18
3.1.	Pérdidas de carga por fricción:	18
3.2.	Pérdidas de carga localizadas	19
3.3.	Fórmulas para calcular las pérdidas de carga en tuberías de drenaje subterráneo.	19
2.2.4.	BOMBAS PARA DRENAJE DE MINERIA SUBTERRANEA.....	23
2.2.4.2.	CLASES DE BOMBAS	23
2.2.4.3.	Potencia requerida para las bombas	25
2.2.4.4.	La altura dinámica total, también conocida como Altura Manométrica Total (HMT).....	26
2.2.4.5.	Net Positive Suction Head (NPSH) (Altura Neta Positiva de Aspiración)	27
2.2.4.6.	SELECCIÓN DE UNA BOMBA.....	29
2.2.4.7.	Curva característica de una bomba	30
2.2.4.8.	PARTES DE UNA BOMBA SUMERGIBLE	31
2.2.5.	TUBERÍAS USADAS PARA DRENAJE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA.....	33
2.2.5.1.	Formulas aplicadas para tuberías en drenaje subterráneo	34
2.2.5.2.	GOLPE DE ARIETE EN TUBERÍAS PARA DRENAJE SUBTERRÁNEO	37
2.2.5.2.1.	Cálculo del golpe de ariete en tuberías en drenaje subterráneo	38
2.2.5.2.2.	Formula de la presión máxima del golpe de ariete	38
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	41
CAPÍTULO III.....		43
MATERIALES Y MÉTODOS		43

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	43
3.1.1. GEOGRÁFICA	43
3.1.2. UBICACIÓN POLÍTICA	44
3.1.3. ACCESIBILIDAD	44
3.1.4. CLIMA Y VEGETACIÓN	45
3.2. GEOLOGÍA	46
3.2.1. GEOLOGÍA LOCAL.....	46
3.2.2. GEOLOGÍA REGIONAL.....	46
3.2.2.1. FORMACIÓN GOYLLARISQUIZGA (Ki – g).....	46
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
3.3.1. Tipo de investigación.....	49
3.3.2. Nivel de investigación.....	49
3.3.3. Diseño de investigación	49
3.3.4. Método de Investigación	49
3.3.5. Población de estudio	49
3.3.6. Muestra	50
3.3.7. Unidad de análisis	50
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	50
3.4.1. Técnicas.....	50
3.4.2. Instrumentos, materiales y equipos	50
3.5. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	51
3.6. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	52
3.6.1. Descripción de las técnicas de recolección de datos.....	52
3.6.2. Descripción de los instrumentos de recolección de datos.	52
3.7. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	54
3.7.1. CALCULO DEL CAUDAL DE AGUA	54
3.7.2. TABLAS DE AFORAMIENTOS EN LOS MESES DE AGOSTO HASTA ABRIL DEL AÑO 2021 Y 2022 EN LA LABOR 1.	54
3.7.3. TABLAS DE AFORAMIENTOS EN LOS MESES DE AGOSTO HASTA ABRIL DEL AÑO 2021 Y 2022 EN LA LABOR 2.	57
3.7.4. TABLAS DE AFORAMIENTOS EN LOS MESES DE AGOSTO HASTA ABRIL DEL AÑO 2021 Y 2022 EN LA LABOR 3.	60

3.7.5. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA BOMBA SUMERGIBLE APTA PARA LA LABOR GENERAL	63
4.1.2. CALCULO DE EI NPSH DE LA BOMBA	68
4.1.2. Cálculo del golpe de ariete y la influencia para la altura dinámica total .	69
4.1.4. Válvula de alivio de presión.....	71
 CAPITULO IV.....	 75
4.1. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	75
4.1.1 Descripción del sistema de bombeo actual de la mina “DON MANUEL” - Bambamarca:	75
4.1.1.1 Gestión del caudal de agua generado en interior mina “Don Manuel”. 75	
4.1.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA MINA	76
 CAPITULO V.....	 78
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 78
5.1. CONCLUSIONES	78
5.2. RECOMENDACIONES	78
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 80
 ANEXOS.....	 83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de curvas de pérdida de carga en filtros, proporcionado por el fabricante	23
Figura 2: Clasificación de bombas	25
Figura 3: Curva de NPSHreq. El valor del NPSH requerido se mide en metros (escala de la izquierda) y depende del caudal bombeado.....	29
Figura 4: Ejemplos de instalación de bombeo en carga y en aspiración	29
Figura 5: Curva característica de una bomba Fuente: Guillermo (2012).....	31
Figura 6: Partes generales de una bomba sumergible	32
Figura 7: Partes principales de una bomba sumergible	33
Figura 8: Modelo de diseño de bombeo	36
Figura 9: Diseño cómo funciona el golpe de ariete.....	38
Figura 10: Ubicación geográfica de la mina de carbón “DON MANUEL” Bambamarca.....	43
Figura 11: Ubicación local de la mina.....	44
Figura 12: Accesibilidad a Minera “Don Manuel”. Fuente: Google Earth, 2022.	45
Figura 13: Zona regional del rango de carbón en los andes central y del norte del Perú	48
Figura 14: Caudal vs Cabezal	69
Figura 15: Curvas de eficiencia de bombas de 10Hp VS 15Hp.....	73
Figura 16: Plano de Explotación de carbón propuesta por el tesista.....	74
Figura 17: Esquema de componentes del sistema de Drenaje.....	76

INDICE DE FOTOS

Foto 1: Vegetación de la zona de estudio.....	46
Foto 2: Estratificación en la mina.....	47
Foto 3: Reconocimiento de las labores.....	83
Foto 4: Vista de cunetas para transportar el agua a una cámara de sedimentación.....	84
Foto 5: Reconocimiento de la bomba instalada	84
Foto 6: Reconocimiento de la cantidad de agua infiltrada	85
Foto 7: Reconocimiento de la poza de sedimentación	86
Foto 8: Medición de la altura de la labor.....	86
Foto 9: Medición del ancho de la labor.....	87
Foto 10: Aforando el agua de las labores	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de k para los diferentes accesorios utilizados en el sistema de drenaje subterráneo	22
Tabla 2: <i>Valores de la tensión de vapor y de la densidad del agua según la temperatura</i>	30
Tabla 3: coeficiente de Darcy Weisbach para diferentes clases de tubería	35
Tabla 4: valores de corrección K para cada tipo de válvula utilizada	39
Tabla 5: Accesibilidad y distancia a la mina de operaciones “DON MANUEL”	44
Tabla 6: Tipo, nivel, diseño y método de investigación.....	49
Tabla 8: Técnicas y recolección de datos.....	52
Tabla 9: Esquema del sistema de bombeo	53
Tabla 10: Reporte general de datos de las bombas	54
Tabla 11: Reporte de aforamientos de caudal de agua	56
Tabla 12: Reporte de aforamientos de caudal de agua	58
Tabla 13: Reporte de aforamientos de caudal de agua en la labor 3.....	61
Tabla 14: <i>Datos con promedio de horas vs caudal</i>	63
Tabla 15: Factor de Darcy-Weisbach	64
Tabla 16: Valores de la pérdida de fricción para diferentes accesorios usados.	65
Tabla 17: Factor de Darcy-Weisbach	66
Tabla 18: Valores para el coeficiente de Hazen y Williams para tuberías HDPE	67
Tabla 19: valores de corrección K para cada tipo de válvula utilizada	70
Tabla 20: Cálculos de bomba para nuestra labor	72

ABREVIATURAS

D: Diámetro

e: Espesor

f: Coeficiente de fricción

F: Fuerza

g: Gravedad

H: Altura (energía)

HB: Altura de una bomba

hp: Pérdidas de carga

hpl: Pérdidas lineales

hps: Pérdidas singulares

Hp: Altura piezométrica

L: Longitud

NPSHd: Net Positive Suction Head (Altura neta positiva de aspiración)

msnm: Metros sobre el nivel del mar

mm: Milímetros

m: Metros

m²: Metro cuadrado.

m³: Metro cúbico.

min: Minutos

Pág: Página.

Pa: Pascal

SW: Sur - Oeste

W: Oeste.

k: Resistencia de un circuito o tubería

N: Velocidad de giro (rpm)

Pat: Presión atmosférica

Pot: Potencia

PotH: Potencia hidráulica

PotB: Potencia de la bomba

Ps: Presión estática

Pt: Presión total

Q: Caudal

R: Radio

S: Sección, área

U: Velocidad de arrastre

ϵ : Rugosidad

η : Rendimiento

μ : Viscosidad absoluta

ν : Viscosidad cinemática

ξ : Coeficiente de pérdidas

ρ : Densidad

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo Evaluar y proponer una mejora del sistema de drenaje subterráneo de la mina de carbón “Don Manuel” – Bambamarca, la cual es no metálica con un manto de 60 m de ancho, 150 m de largo y 2 m alto con un buzamiento de 30° SW Por cuanto existe mucha preocupación de parte de la administración de dicha unidad minera, en cuanto a la rentabilidad de su producción, teniendo entre otros el tema del drenaje de sus aguas subterráneas. Es así que se identificó los componente inherentes del sistema de drenaje, entre las cuales se identificó a la recolección de las aguas: cunetas estancadas de desmonte que impiden el transcurso normal del agua y no tiene una poza de sedimentación construida técnicamente como para aumentar la eficiencia en el drenaje, el sistema de bombeo: la bomba instalada para drenar el agua no tiene la potencia requerida para expulsar esa cantidad de infiltración en épocas de invierno y a las labores manuales de los trabajadores: no están direccionadas técnicamente por un especialista como para facilitar la recogida del agua y la explotación del mineral carbón no metálico. Es así que propongo la mejora a nivel de sugerencia para las personas encargadas de la administración de la unidad minera, consistente en: la apertura de una sola galería general y desde allí comunicar mediante un crucero todas las lobares existentes para evitar usar una bomba sumergible por cada labor así como también la construcción de cunetas y una poza de sedimentación tecnificada de 1.00 m x 2.00 m para facilitar y aprovechar al máximo la eficiencia de los equipos instalados así como también se sugiere la instalación de una sola bomba de 15 Hp potencia y modelo 6SR70G/150 en la galería general antes mencionada para facilitar espacio y costos en la operación.

PALABRAS CLAVE: Drenaje, filtración, caudal, potencia de bombas y sistema de bombeo

ABSTRAC

The objective of this research work is to evaluate and propose an improvement of the underground drainage system of the "Don Manuel" - Bambamarca coal mine, which is non-metallic with a mantle 60 m wide, 150 m long and 2 m high with a dip of 30° SW. Since there is a lot of concern on the part of the administration of said mining unit, regarding the profitability of its production, having among others the subject of the drainage of its groundwater. Thus, the inherent components of the drainage system were identified, among which water collection was identified: stagnant clearing ditches that prevent the normal flow of water and do not have a sedimentation pond technically built to increase efficiency. In drainage, the pumping system: the pump installed to drain the water does not have the power required to expel that amount of infiltration in winter times and the manual labor of the workers: they are not technically directed by a specialist to facilitate the water collection and the exploitation of non-metallic coal mineral. Thus, I propose an improvement at the suggestion level for the people in charge of the administration of the mining unit, consisting of: the opening of a single general gallery and from there communicating through a cruise all the existing lobars to avoid using a submersible pump for each work as well as the construction of gutters and a technical sedimentation pool of 1.00 m x 2.00 m to facilitate and make the most of the efficiency of the installed equipment, as well as the installation of a single 15 Hp power and model pump. 6SR70G/150 in the aforementioned general gallery to facilitate space and costs in the operation.

KEYWORDS: Drainage, filtration, flow, pump power and pumping system

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la explotación minera subterránea, uno de los aspectos críticos para garantizar la seguridad operativa y el rendimiento productivo es el sistema de drenaje. Un sistema de drenaje eficiente y efectivo es esencial para controlar el flujo de agua subterránea y evitar inundaciones, lo que podría tener un impacto significativo en la operación minera.

La concentración de aguas subterráneas en las labores de la mina subterránea de carbón, hoy en día viene siendo un gran problema para el desarrollo de la extracción de este mineral las causas de este hecho es por las deficientes infraestructuras instaladas, de las empresas mineras artesanales que operan en la Región Cajamarca, en las que se generan la disminución de la productividad diaria y también afectan a la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores. Un sistema de drenaje tiene como objetivo proporcionar una recogida, transporte de aguas que escurren en las minas subterráneas. Pero, además, un sistema de drenaje debe ser capaz de funcionar satisfactoriamente todo el año y ciclo de vida de la mina.

En cuanto a la problemática que enfrenta la mina Don Manuel a nivel de su sistema de drenaje es las inundaciones y la acumulación de agua hecho que esta mina no ha sabido manejar adecuadamente por las constantes infiltraciones de agua, disminución de la eficiencia operativa de sus trabajadores por tener que enfrentar este problema de bombardear el agua hacia la parte exterior de las galerías, riesgo a colapsos por la acumulación de agua puede debilitar la estabilidad de las galerías y túneles y puede ocasionar un colapso y generar accidentes y pérdidas económicas.

La presente investigación se justifica, que en la actualidad con la aparición de las minas subterráneas el manejo del sistema de drenaje es muy importante al solucionar diferentes dificultades en el acopio y la eliminación de agua de las labores para el buen desarrollo de la explotación de carbón.

Con el desarrollo de la siguiente investigación se busca evaluar y proponer mejoras en el sistema de drenaje subterráneo de la mina de carbón “Don Manuel” - Bambamarca.

Esta tesis tiene como objetivo general evaluar el sistema de drenaje existente en la mina subterránea de carbón “Don Manuel” - Bambamarca y proponer mejoras para optimizar su rendimiento y sostenibilidad.

Y como objetivos específicos; evaluar el caudal del agua subterránea existente en la mina de carbón “Don Manuel” - Bambamarca, calcular y seleccionar los equipos necesarios para el sistema de drenaje y proponer mejoras en la recogida y transporte de las aguas subterráneas.

En el capítulo II haremos la descripción de los antecedentes teóricos y de las bases teóricas que sirven para la realización de la presente investigación.

En el capítulo III se pone en uso cada uno de los métodos y técnicas con los que determinaremos el procedimiento más relevante que nos ayude a optimizar y evacuar las aguas subterráneas para mejorar la explotación.

Ya en el capítulo IV se analizará los resultados obtenidos en el campo, así como en gabinete y se tiene que comparar con nuestras bases teóricas por último en el capítulo V se mencionará las conclusiones que hemos llegado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

(Cruz, 2018). En su tesis titulada “Evaluación del Sistema de drenaje de Agua en la Profundización de la Mina Santa Teresa” concluyo que el sistema de drenaje en general se optimizo implementado bombas nuevas y pozas de sedimentación de 100m³ y 60m³ y que la tubería debe ser de 4 y 3 pulgadas y que para un caudal de 3.5 l/s y una altura de 50 m se encontró una eficiencia de 55% de eficiencia teniendo en cuenta las perdidas secundarias, como es caso del cálculo de pérdidas en reducciones concéntricas y reducciones excéntricas, así como coeficientes de pérdidas en válvulas.

(MUÑOZ, 2016). En su tesis titulada “Optimización del sistema de drenaje y manejo de las aguas residuales producto de la explotación minera en la mina de carbón San Fernando, operada por carbones san Fernando Sas, vereda paso nivel, Amaga-Antioquia” sostuvo que los problemas de diseño dado que el diámetro de la tubería seleccionada no es el óptimo; la falta de planeación y la ausencia del mantenimiento preventivo. Además del mal uso por parte del operario quien no cuenta con la instrucción clara y precisa del funcionamiento y uso adecuado de estos equipos. A pesar de ello teóricamente se logró la optimización del sistema de bombeo elevando su eficiencia promedio de 17 % a un 53 %, lo que se traduce en el ahorro anual de \$ 112.499.392,80 en costos de operación, esto, contemplando una mínima inversión de \$ 122.144.257,62. Conservando además dentro del sistema la mitad de los equipos de bombeo empleados actualmente.

Ordóñez, Andrés, Jardón, Alvarez, Pendás y Loredó, (2008). En el libro titulado “Aprovechamiento de Aguas Subterráneas como Recurso Hídrico y Energético”, concluyeron que esta zona de estas minas tiene la particularidad de concentrar un gran número de labores mineras cerradas o en proceso de cierre. Estas labores configuran un extraordinario “embalse subterráneo” susceptible de ser aprovechado como recurso hídrico de muy diversas maneras ya que se registran 1080 l/m² anuales de media, y nubosidad persistente.

(GOMEZ, 2022). En su tesis titulada “Diseño de sistema de drenaje para drenaje de aguas subterráneas en remplazo del sistema existente, en mina subterránea”, concluye que los sistemas de bombeo actual tienen una baja eficiencia las cuales generadas por diferentes factores entre ellos (característica del equipo, velocidad media de la tubería superior a 3m/s, etc.), para ello es necesario replantear el trazo existente, así como remplazar los equipos actuales y que la red de tuberías del sistema de bombeo de agua de mina considerando el uso de las rampas, labores, cruceros existentes con la finalidad de optimizar los tiempos de instalación, esta nueva red de tuberías es 943 m más corta que el sistema actual lo cual nos ayuda a reducir las pérdidas de carga a lo largo del sistema.

La tesis “Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en la minera Kolpa S. A.” (Rafael Barzola, 2019) menciona que la mina tiene dos rampas de acceso, cada rampa tiene bombas instaladas en serie, el problema que tuvo la minera Kolpa S. A. es que una bomba falló en la rampa 2 del nivel 4 330, provocando la inundación de la rampa. La metodología que utilizó es evaluar el sistema anterior para proponer un nuevo sistema, como resultado del estudio se tiene la instalación de dos bombas de turbinas de 10 etapas en serie, una en operación constante y otra en stand by con una potencia de 500 HP cada una.

También en la tesis “Optimización del funcionamiento del sistema de bombeo para reducir el consumo de energía en la mina subterránea Consorcio Minero Horizonte - unidad de Parcoy - La Libertad” (MICHUE, 2021) que tiene como objetivos reducir el tiempo de funcionamiento mediante la sustitución con bombas eléctricas de mayor potencia, utilizar todos los criterios necesarios para la selección óptima de bomba eléctrica de agua teniendo en cuenta los parámetros y las condiciones de funcionamiento y concluyo que con la ayuda del manual de HIDROSTAL se seleccionó las bombas para cada nivel y se calculó el consumo energético de 1266.148MW-h en el año en comparación del consumo con bombas sumergibles en el año 2019 de 1300.99MW-h

Por otro lado, la tesis a la Universidad Continental, denominada “Optimización en el sistema de bombeo y drenaje de la veta Ánimas Minera Bateas” (Medrano, 2019), su objetivo es incorporar nuevos sistemas de bombeo y drenaje para mejorar la productividad. El tipo de investigación es aplicada-no experimental y el problema es el ingreso de agua hacia las labores inferiores de la mina de 15 m verticalmente con un caudal de 0.12 m³ /s. Se estima profundizar las labores incrementando un caudal de 0.2 m³ /s, empleando 02 estaciones de bombeo, la primera conformada por 03 bombas horizontales centrífugas de 0.125 m³ /s -102 m, 01 bomba sumergible vertical, de 0.011 m³ /s-25 m; la otra de: 03 bombas de alta presión, con capacidad de 0.125 m³ /s-186 m y 01 bomba sumergible vertical, de 0.011 m³ /s-25 m.

A continuación, se aborda el sustento teórico relacionado a las variables de la presente investigación: “Evaluación y propuesta de mejora del sistema de drenaje subterráneo de la mina de carbón “Don Manuel” – Bambamarca”. Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, desde interior mina hasta la superficie, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. (MICHEL, 2014, pág. 22)

El empleo de la tubería de succión, se realizará cuando se utilicen bombas centrífugas y axiales con motores externos no sumergibles. Se considera que el diámetro de la tubería de succión debe ser mayor que el de impulsión. La altura de succión debe evitar el riesgo de cavitación en las bombas por presión de succión. Por otro lado, La tubería de impulsión no debe ser diseñada con cambios bruscos de dirección de flujo, se diseña para distancias largas y cortas con un rango de 1,50 m/s a 2,0 m/s. (Magne, 2008, pág. 121)

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES PARA EL DRENAJE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

2.2.1.1. Drenaje de minas subterráneas

El sistema de drenaje en una mina subterránea es una infraestructura esencial para controlar y gestionar el flujo de agua dentro de la mina y sus alrededores. El drenaje adecuado es crucial para garantizar la seguridad de los trabajadores, prevenir inundaciones, reducir el riesgo de daños a la infraestructura y mantener operaciones mineras eficientes.

“El contorno entre la zona saturada y la zona no saturada, donde la presión de poros es cero ($p = 0$), relativa a la presión atmosférica, es denominada de superficie freática, también conocida como nivel de superficie de aguas subterráneas” (Atkinson, 2001).

Un sistema de drenaje tiene por objetivo proporcionar una recogida, transporte y vertido final de aguas de escorrentía superficial de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservadas, garantizando el control de la erosión, la minimización de la colmatación y la conservación de la calidad física y química de los cuerpos de agua receptores. Pero, además, un sistema de drenaje debe ser capaz de funcionar satisfactoriamente todo el año y, particularmente, durante los periodos de lluvias intensas. (Sánchez, 1995)

Es importante remarcar el hecho de que, para poder diseñar un sistema de drenaje adecuado y eficaz, debe disponerse de una investigación previa climatológica, hidrológica, geológica e hidrogeológica, que aporte la información necesaria sobre las características del terreno a drenar, así como sobre los volúmenes de agua que se prevé extraer y su distribución espacial y temporal. (Herrera, 2007)

A continuación, se describen los componentes y aspectos clave de un sistema de drenaje en una mina subterránea:

2.2.1.1.1. Factores que influyen en el sistema de drenaje subterráneo:

- 1. Clima y precipitación:** La cantidad y la distribución de la precipitación influyen en la cantidad de agua que se infiltra en el suelo y, por lo tanto, en la necesidad de un sistema de drenaje subterráneo para manejar el exceso de agua.
- 2. Tipo de suelo:** La permeabilidad del suelo determina cómo se comportará el agua en el subsuelo. Los suelos con alta permeabilidad pueden necesitar menos drenaje que los suelos con baja permeabilidad.
- 3. Topografía:** La pendiente del terreno afecta la dirección del flujo del agua subterránea y determina la ubicación óptima de los drenajes.
- 4. Nivel freático:** La profundidad del nivel freático o capa de agua subterránea influye directamente en la eficacia del sistema de drenaje. En áreas con niveles freáticos altos, se requiere un drenaje más efectivo.
- 5. Uso del suelo:** La urbanización, agricultura o actividades industriales pueden modificar la capacidad de infiltración del suelo, lo que afecta la necesidad de drenaje.
- 6. Volumen de aguas residuales:** En áreas urbanas, el sistema de alcantarillado puede conectarse con el sistema de drenaje subterráneo para manejar las aguas residuales.

2.2.1.1.2. Labores que intervienen en el sistema de drenaje subterráneo:

a) Cunetas de desagüe y diques: Las cunetas y canales deben tener por lo menos una pendiente mínima.

Su sección depende de la cantidad de agua que se va a desaguar mientras más agua exista mayores dimensiones requerirá, y el nivel del agua en la cuneta ha de estar por lo menos 10 centímetros por debajo del piso.

b) Desvío de las Aguas e Impermeabilización del terreno

Cuando a medida que se va avanzando la perforación de labores subterráneas y vemos que vamos en una dirección de chocar con un acuífero subterráneo, en ocasiones se debe a desviar la dirección de perforación para evitar que se inunde nuestra labor el área.

Otro método consiste en cortar el paso a las aguas inyectando una lechada de cemento a través de sondajes perforados desde la galería, con ángulos variables, para cortar las vías de agua.

Cuando se conoce la existencia de zonas acuíferas en las inmediaciones de las labores, se preparan diques y compuertas resistentes a la presión, para dominar estos flujos.

Por delante de los frentes se perforan taladros para determinar la posición de los cursos de agua.

c) Desagüe con Bombas

Las aguas que se encuentran a nivel inferior a los drenajes por gravedad, se hace una recolección de las aguas en depósitos recolectores para luego ser evacuados por medio de bombas. Los puntos de drenaje se distribuyen en lugares convenientes y las cámaras de bombas se sitúan próximas a los pozos. Bombas auxiliares desaguan en canales que conducen las aguas a los depósitos colectores. Se utilizan canales y tuberías.

En minas profundas las aguas se bombean por etapas que van de 150 a 600 metros y aún superiores a 900 metros. Grandes alturas de impulsión representan grandes presiones, que obligan a emplear bombas, así como accesorios especiales. Reducir la altura de impulsión exige el uso de bombeo en serie.

d). CAMARAS DE SEDIMENTACION

La existencia de diversas partículas sólidas en el agua constituye la parte más importante porque origina dificultades de imagen, legales, sociales al incrementarse los valores en metales totales como consecuencia de los sólidos en suspensión. Desde un punto de vista operativo, los problemas que se presentan son la obstrucción de conducciones, abrasión de bombas, desgaste de materiales, etc. (CONCHA, 2017, pág. 28)

También debemos precisar que tiene mucho que ver el tamaño de las partículas, hay partículas que se pueden observar a simple vista o que también se pueden ver la suspensión en reposo y se pueden separar por filtración, decantación simple o por flotación, mientras que hay otras que pueden llegar a medir entre 0.001 a 1 micrones que llegan a ser un factor contaminante en el agua (agua turbia).

2.2.2. GEOMORFOLOGIA DEL YACIMIENTO

La geomorfología de un yacimiento se refiere al estudio de la configuración del terreno y las formas de relieve presentes en la zona donde se encuentra el yacimiento mineral. Esta disciplina es esencial para entender la distribución y la génesis del depósito mineral, así como para determinar la mejor manera de extraer los minerales de manera eficiente y sostenible. Los factores que intervienen en la geomorfología de un yacimiento son diversos y pueden variar dependiendo del tipo de yacimiento y las características geológicas de la región. Algunos de los factores más importantes son los siguientes:

1. **Tipo de roca y mineral:** La naturaleza de la roca en la que se encuentra el yacimiento y el tipo de mineral que se está explotando influyendo en la geomorfología. Por ejemplo, la presencia de minerales diseminados en una roca ígnea puede dar lugar a paisajes de laderas empinadas, mientras que yacimientos sedimentarios pueden presentar formas de alivio más suaves.
2. **Procesos geológicos:** Los procesos geológicos que formaron el yacimiento, como la tectónica, la actividad volcánica o la sedimentación, determina la morfología del área de circulación.
3. **Estructura geológica:** La disposición de las capas geológicas, fallas, pliegues y otras estructuras que influyen en la geomorfología del yacimiento. Por ejemplo, una zona de falla puede dar lugar a un relieve abrupto y escarpado.

4. **Erosión y sedimentación:** La erosión por agua y viento, así como la deposición de sedimentos, pueden modificar la forma del yacimiento y su entorno.
5. **Clima:** Las condiciones climáticas, como la cantidad y distribución de la precipitación, la temperatura y la humedad, los procesos de erosión y deterioro químico, que a su vez influyen en la geomorfología.
6. **Tiempo geológico:** El tiempo de exposición del yacimiento a procesos geológicos y ambientales afecta su morfología. Yacimientos más antiguos pueden haber sido más afectados por la erosión y otros procesos geomorfológicos.
7. **Vegetación:** La cobertura vegetal puede influir en la geomorfología al afectar la erosión y estabilizar o desestabilizar el suelo.

Estos factores interactúan entre sí para dar lugar a la geomorfología específica de un yacimiento mineral. El conocimiento detallado de estos factores es esencial para el diseño de planes de explotación y restauración, minimizando el impacto ambiental y asegurando la sostenibilidad de la actividad minera. La geomorfología también puede ser utilizada para la identificación de nuevos yacimientos y la evaluación de su potencial económico y ambiental.

2.2.2.1. Proceso de infiltración de agua en un manto de roca arenisca sedimentaria

El proceso de infiltración de agua en una mina subterránea en un manto de carbón rodeado de roca arenisca sedimentaria puede ser complejo debido a las características geológicas y estructurales involucradas.

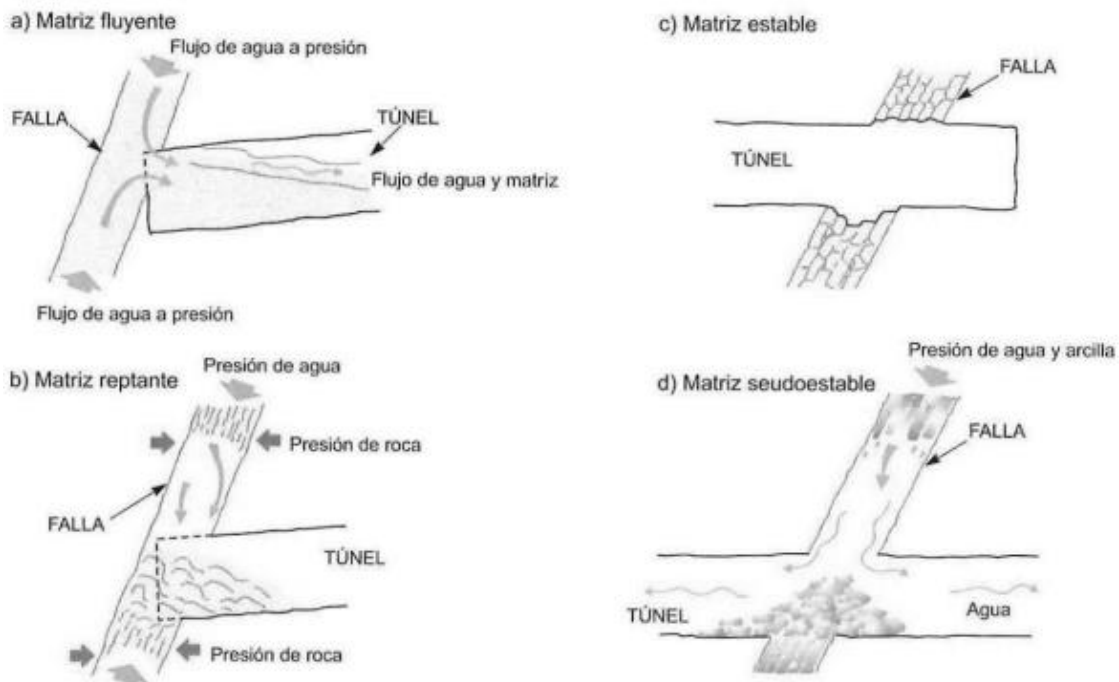


Figura n° 1: Estabilidad de rocas en un túnel e influencia del agua en las diferentes discontinuidades

Fuente: Guía sobre control geotécnico en minería subterránea. (Madariaga, 2015)

A continuación, se describe el proceso general de infiltración de agua en esta situación:

1. **Características del manto de carbón:** El carbón es un material poroso y permeable, lo que significa que tiene la capacidad de almacenar y transmitir agua en sus poros y fracturas. Sin embargo, la permeabilidad del carbón puede variar según su grado de compactación y contenido de fracturas naturales.
2. **Características de la roca arenisca:** La roca arenisca también puede tener una permeabilidad significativa debido a su naturaleza porosa. Sin embargo, su permeabilidad generalmente es más alta que la del carbón, lo que puede influir en el flujo de agua hacia la mina.
3. **Presencia de fracturas y fallas:** La presencia de fracturas y fallas en el manto de carbón y la roca arenisca puede aumentar significativamente la permeabilidad y facilitar el flujo de agua hacia el interior de la mina.

- 4. Efecto de la minería:** La explotación de carbón puede alterar la estructura geológica y la permeabilidad del manto de carbón y las rocas circundantes, lo que puede afectar la infiltración de agua en la mina. La creación de galerías y pozos puede abrir nuevas vías de infiltración.
- 5. Influencia del nivel freático:** El nivel freático o el nivel de agua subterránea en la zona intermitente también juega un papel importante. Si el nivel freático es alto, es más probable que el agua fluya hacia la mina de carbón, lo que puede necesitar un sistema de drenaje subterráneo para controlar la acumulación de agua.

El proceso de infiltración de agua en la mina subterránea surgió de la interacción de estos factores y puede variar en cada yacimiento. Si la permeabilidad del manto de carbón es alta y hay fracturas naturales o artificiales, el agua puede filtrarse fácilmente en la mina. En tales casos, es esencial diseñar sistemas de drenaje adecuados para manejar el flujo de agua y garantizar la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras.

Por otro lado, si el manto de carbón es más impermeable o tiene una estructura geológica que evita la infiltración directa de agua, puede ser necesario tomar medidas para prevenir la acumulación de agua en la mina, como el sellado de pozos y galerías para evitar la entrada de agua desde la superficie.

En general, es crucial realizar un estudio hidrogeológico detallado del yacimiento de carbón y las rocas circundantes para comprender el comportamiento del agua subterránea y diseñar un sistema de drenaje adecuado que se adapte a las condiciones específicas del sitio. Esto ayudará a mantener la seguridad de la mina y minimizar los riesgos de inundaciones y otros problemas relacionados con el agua.

2.2.2.1.1. Leyes usadas para calcular el flujo de agua en medios porosos como las areniscas

En hidrogeología del manto de mineral con areniscas, se utilizan diversas fórmulas para caracterizar el flujo de agua subterránea y entender cómo se comporta el agua en las formaciones de areniscas. Algunas de las fórmulas más relevantes son las siguientes:

1. Ley de Darcy: La Ley de Darcy es fundamental en hidrogeología y describe el flujo de agua a través de un medio poroso como las areniscas. La fórmula de la Ley de Darcy es:

$$Q = -K * A * \nabla h \dots\dots\dots (i)$$

Donde:

Q: es el caudal de agua (volumen de agua que fluye a través del medio poroso por unidad de tiempo).

K: es la permeabilidad hidráulica del medio (característica que indica la facilidad con la que el agua fluye a través de las areniscas).

A: es el área transversal del medio poroso a través del cual fluye el agua.

∇h : es el gradiente hidráulico (la diferencia de altura del nivel freático entre dos puntos dividido por la distancia horizontal entre ellos).

2. Gradiente hidráulico: El gradiente hidráulico se puede calcular mediante la fórmula:

$$\nabla h = (h_2 - h_1) / L \dots\dots\dots (ii)$$

Donde:

h₂: es la altura del nivel freático en el punto 2.

h₁: es la altura del nivel freático en el punto 1.

L: es la distancia horizontal entre los puntos 1 y 2.

3. Caudal específico: El caudal específico es el caudal de agua por unidad de área y se puede calcular como:

$$q = Q / A \dots\dots\dots (iii)$$

Donde:

q: es el caudal específico.

Q: es el caudal de agua.

A: es el área transversal del medio poroso a través del cual fluye el agua

4. Velocidad de flujo: La velocidad de flujo del agua subterránea se puede

estimar utilizando la siguiente fórmula:

$$v = K * \nabla h / n \dots\dots\dots (iv)$$

Donde:

V: es la velocidad de flujo del agua.

K: es la permeabilidad hidráulica del medio.

∇h: es el gradiente hidráulico.

n: es el coeficiente de porosidad, que representa la fracción del volumen de roca que está ocupada por agua.

5. Fórmula de la porosidad: La porosidad es una medida de la cantidad de espacio vacío (poros) en una formación geológica y es importante para entender que el agua puede almacenar un manto de mineral. La fórmula es:

$$\text{Porosidad (\%)} = (\text{Volumen de espacios porosos} / \text{Volumen total del material}) * 100.. (v)$$

6. Fórmula de permeabilidad: La permeabilidad es una medida de la capacidad de un material para permitir que el agua fluya a través de él. En areniscas, la permeabilidad puede variar según la orientación y tamaño de los granos. No existe una fórmula general para la permeabilidad, pero se puede determinar experimentalmente utilizando pruebas de permeabilidad en el laboratorio o mediante pruebas de bombeo en el campo.

7. Fórmula de almacenamiento específico: El almacenamiento específico es una medida de cuánto agua se puede almacenar en un acuífero por unidad de volumen. La fórmula es:

$$S_s = (\Delta V / \Delta h) / V \dots\dots\dots (vi)$$

Dónde:

Ss: es el almacenamiento específico (volumen de agua que se almacena o libera por unidad de volumen del acuífero por cada metro de cambio de carga hidráulica).

ΔV : es el cambio de volumen de agua almacenada en el acuífero.

Δh : es el cambio de carga hidráulica (cambio de nivel freático).

V : es el volumen total del acuífero.

Estas son solo algunas de las fórmulas que se utilizan en hidrogeología para estudiar el flujo de agua subterránea en un manto de mineral con areniscas. Es importante tener en cuenta que las propiedades hidráulicas del medio poroso, como la permeabilidad y la porosidad, pueden variar significativamente entre diferentes yacimientos y formaciones geológicas, por lo que se requiere un análisis detallado para obtener resultados precisos.

Ejemplo: Si la elevación en el punto inicial es 1000 metros y en el punto final es 800 metros, y la distancia horizontal entre los puntos es de 500 metros, entonces el gradiente de pendiente es: $G = (800 - 1000) / 500 = -0.4$

2.2.3. CAUDAL (Q) SUBTERRANEO

Definición: La cantidad de agua que se infiltra en las excavaciones subterráneas puede variar según las características geológicas del yacimiento, las condiciones hidrogeológicas y el diseño de la mina. A continuación, se presenta un marco teórico que aborda los conceptos clave relacionados con el caudal de agua por infiltración en minería subterránea:

1. Hidrogeología de la mina subterránea:

La hidrogeología se refiere al estudio del agua subterránea y su comportamiento en el subsuelo. En el contexto de la minería subterránea, es esencial comprender la hidrogeología de la zona para predecir el flujo de agua y tomar medidas adecuadas de control y gestión.

2. Acuíferos y acuitardos:

En minería subterránea, los acuíferos son formaciones geológicas permeables que contienen agua subterránea y pueden contribuir a la infiltración de agua en las excavaciones mineras. Por otro lado, los acuitardos son formaciones menos permeables que pueden actuar como barreras al flujo de agua.

3. Conductividad hidráulica:

La conductividad hidráulica es una propiedad hidrogeológica que describe la capacidad del subsuelo para permitir el flujo de agua. Es un factor importante en la determinación del caudal de agua por infiltración en la mina subterránea.

4. Gradiente hidráulico:

El gradiente hidráulico se refiere a la pendiente o inclinación del nivel freático, que afecta el flujo de agua subterránea hacia las excavaciones mineras. Un gradiente hidráulico pronunciado puede resultar en un mayor caudal de agua infiltrada.

5. Diseño de sistemas de drenaje subterráneo:

Para controlar el caudal de agua por infiltración, es necesario diseñar sistemas de drenaje subterráneo adecuados. Esto implica la instalación de canalizaciones y bombas para recoger y evacuar el agua infiltrada hacia puntos de salida.

6. Monitoreo y control:

El monitoreo continuo del caudal de agua infiltrada es esencial para la seguridad de la mina. Los sistemas de alerta temprana pueden ayudar a detectar aumentos repentinos en el caudal y tomar medidas preventivas.

7. Sistemas de sellado:

En algunas situaciones, puede ser necesario sellar ciertas áreas de la mina para evitar la infiltración excesiva de agua, especialmente en zonas de acuíferos sensibles o con alta conductividad hidráulica.

El caudal de las infiltraciones es medido mediante pruebas de bombeo, las cuales se hicieron en los frentes de las labores afectadas. Este método consiste

en evacuar, con el uso de una bomba, un volumen de agua conocido y tomar el tiempo de recarga o recuperación de ese mismo volumen. (MUÑOZ, 2016)

2.2.3.1. FORMULAS Y TEOREMAS PARA CALCULAR EL CAUDAL SUBTERRANEO

1. **Formula de la continuidad:** La fórmula de continuidad es otra forma de calcular el caudal de agua en una mina subterránea y se basa en el principio de conservación de masa. La fórmula es la siguiente:

$$Q = A * V \dots\dots\dots.vii$$

Dónde:

- **Q:** es el caudal de agua en el acuífero (volumen de agua que fluye por unidad de tiempo, generalmente en metros cúbicos por segundo).
- **A:** es el área transversal del acuífero a través del cual fluye el agua (en metros cuadrados).
- **V:** es la velocidad del flujo de agua en el acuífero (en metros por segundo).

2. Velocidad media del flujo (Vm)

La velocidad media del flujo se refiere a la velocidad media de las partículas de un fluido que se desplazan a través de una sección transversal de un conducto o canal. Es un concepto importante en hidráulica y se utiliza para caracterizar el flujo de líquidos en tuberías, ríos, canales y otros sistemas hidráulicos. La velocidad media del flujo se denota generalmente como Vm y se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$Vm = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$$Vm = \frac{4 * Q_b}{\pi * D_i^2} \dots\dots\dots(viii)$$

3. Pérdidas de carga en las tuberías del sistema de drenaje

En un sistema de drenaje subterráneo, las pérdidas de carga en las tuberías son un factor importante a considerar para garantizar un flujo eficiente del agua hacia los puntos de salida. Las pérdidas de carga se producen debido a la resistencia que encuentra el agua al moverse a través de las tuberías y accesorios. Estas pérdidas se deben a varios factores y se pueden clasificar en dos tipos principales:

3.1. Pérdidas de carga por fricción:

Estas pérdidas son causadas por la fricción entre el agua y las paredes internas de las tuberías. Cuanto mayor sea la longitud de la tubería y mayor su diámetro, mayores serán las pérdidas de carga por fricción. La rugosidad interna de las tuberías también influye en estas pérdidas, siendo las tuberías más lisas más eficientes.

3.1.1. Accesorios y codos: La presencia de accesorios, como codos, reducciones, uniones, válvulas, etc., en las tuberías genera turbulencias y cambios de dirección del flujo que generan pérdidas adicionales.

3.1.2. Cambios en la dirección del flujo: Las curvas y cambios bruscos en la dirección del flujo del agua causan pérdidas de carga debido a la energía requerida para cambiar la dirección del flujo.

3.1.3. Altura de elevación: Cuando el agua debe ser elevada a una mayor altura, por ejemplo, al bombear el agua hacia la superficie desde una mina subterránea, se producen pérdidas de carga adicionales debido a la fuerza de elevación requerida.

3.1.4. Rugosidad de la tubería: La rugosidad de la superficie interna de las tuberías también influye en las pérdidas de carga. Tuberías más lisas presentan menos resistencia al flujo y, por lo tanto, generan pérdidas de carga menores.

3.1.5. Caudal de agua: El caudal de agua que fluye a través de las influencias también influye en las pérdidas de carga. A mayores caudales, las pérdidas de carga tienden a ser mayores.

3.2. Pérdidas de carga localizadas

Estas pérdidas ocurren debido a cambios en la dirección del flujo, la presencia de accesorios como codos y válvulas, y las transiciones de diámetros entre tramos de tubería. Estos cambios generan turbulencia en el flujo y causan pérdidas adicionales.

Para calcular las pérdidas de carga en un sistema de drenaje subterráneo, se pueden utilizar diferentes métodos, como la ecuación de Darcy-Weisbach o la fórmula de Hazen-Williams. Estos métodos consideran factores como la longitud de la tubería, el diámetro, la rugosidad, la velocidad del flujo y el caudal de agua. Es importante tener en cuenta que las características de la tubería, como el material utilizado (PVC, HDPE, acero, etc.), también influyen en las pérdidas de carga.

Para minimizar las pérdidas de carga en el sistema de drenaje subterráneo, se pueden tomar las siguientes medidas:

Usando el diámetro adecuado para el caudal de agua requerido, reduciendo la amplitud excesivamente pequeños que generen altas velocidades y pérdidas de carga.

Seleccione heridas con superficies internas lisas y baja rugosidad para reducir las pérdidas de fricción.

Evite la instalación excesiva de accesorios y válvulas, y utilice codos de radio largos para reducir las pérdidas locales.

Mantenga el sistema de drenaje limpio y libre de obstrucciones para asegurar un flujo eficiente.

3.3. Fórmulas para calcular las pérdidas de carga en tuberías de drenaje subterráneo.

3.8.1. Perdida de carga por fricción

3.8.1.1. Ecuación de Darcy-Weisbach:

La ecuación de Darcy-Weisbach es muy utilizada para calcular las pérdidas de carga debida a la fricción en las tuberías de drenaje subterráneo. La fórmula es la siguiente:

$$h_f = \frac{F.L.V^2}{2.g.D} \dots\dots\dots (ix)$$

Dónde:

h_f : es la pérdida de carga en metros (m).

F: es el factor de fricción de Darcy-Weisbach (adimensional). Este factor depende de la rugosidad interna de la tubería y del número de Reynolds del flujo.

L: es la longitud de la tubería en metros (m).

V: es la velocidad del flujo en metros por segundo (m/s).

g: es la aceleración debido a la gravedad en metros por segundo cuadrado (9,81 m/s²).

D: es el diámetro interno de la tubería en metros (m).

3.8.1.2. Ecuación de Hazen-Williams:

La ecuación de Hazen-Williams es otra alternativa para calcular las pérdidas de carga en tuberías de drenaje subterráneo. La fórmula es la siguiente:

$$h_f = \frac{4.727.Q^{1.85}.L^{1.85}}{C^{1.85}.D^{2.63}} \dots\dots\dots$$

(x)

Dónde:

h_f : es la pérdida de carga en metros (m).

Q: es el caudal en metros cúbicos por segundo (m³/s).

L: es la longitud de la tubería en metros (m).

D: es el diámetro interno de la tubería en metros (m).

C: es el coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams (adimensional). Este coeficiente varía según el tipo de material de la tubería y su estado de conservación.

3.8.2. Pérdida de carga local en tuberías en drenaje de minas subterránea

La pérdida de carga local en tuberías de drenaje subterráneo se refiere a las pérdidas de energía que ocurren debido a cambios bruscos en la geometría de la tubería, como codos, válvulas, cambios de diámetro, entre otros elementos que generan turbulencias y cambios en el flujo. Uno de los métodos más comunes para estimar la pérdida de carga local es utilizar los coeficientes de pérdida local (K) para cada elemento.

La fórmula general para calcular la pérdida de carga local en una tubería de drenaje

$$h_l = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots(x_i)$$

Dónde:

- h_l : es la pérdida de carga local en metros (m).
- K : es el coeficiente de pérdida local específico para el elemento o componente de la tubería (adimensional).
- V : es la velocidad del flujo en metros por segundo (m/s).
- g : es la aceleración debida a la gravedad, aproximadamente 9.81g/cm²

Valor del coeficiente k depende del tipo de elemento y puede encontrarse en tablas de coeficientes de pérdida local, que son proporcionadas por diversas fuentes de referencia y normas de ingeniería.

A continuación, algunos ejemplos de coeficientes de pérdida local k para elementos comunes en tuberías de drenaje subterráneo:

Pieza, conexión o dispositivo	K_f
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	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	10.0
Válvula alfallera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

Tabla 1: Valores de k para los diferentes accesorios utilizados en el sistema de drenaje subterráneo

Fuente: (CONAGUA, 2002)

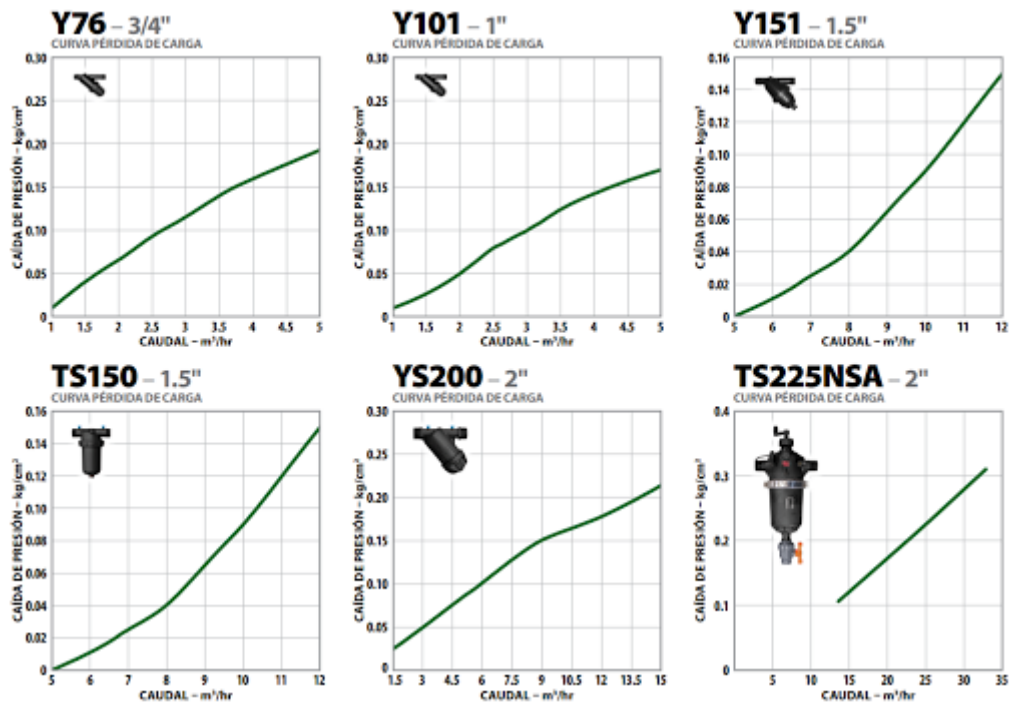


Figura 1: Ejemplo de curvas de pérdida de carga en filtros, proporcionado por el fabricante

Fuente: (WadeRain, 2017)

Es importante notar que estos valores de coeficiente k son aproximados y pueden variar dependiendo del diseño y las condiciones específicas de cada sistema de drenaje subterráneo.

2.2.4. BOMBAS PARA DRENAJE DE MINERÍA SUBTERRANEA

2.2.4.1. Definición: Las bombas para minería subterránea son equipos fundamentales para el manejo y control del agua en las operaciones mineras. Estas bombas se utilizan para extraer el agua acumulada en las galerías y pozos subterráneos, garantizando un ambiente de trabajo seguro y eficiente.

2.2.4.2. CLASES DE BOMBAS

Bombas Centrífugas

- Bombas de una sola etapa
- Bombas multietapa
- Bombas verticales
- Bombas horizontales

- Bombas sumergibles

Bombas de Émbolo

- Bombas de pistón
- Bombas de diafragma
- Bombas de émbolo alternativo

Bombas de Tornillo

- Bombas helicoidales
- Bombas de husillo

Otras Categorías

- Bombas de desplazamiento positivo
- Bombas de turbina
- Bombas de paletas
- Bombas de lóbulos
- Bombas hidráulicas

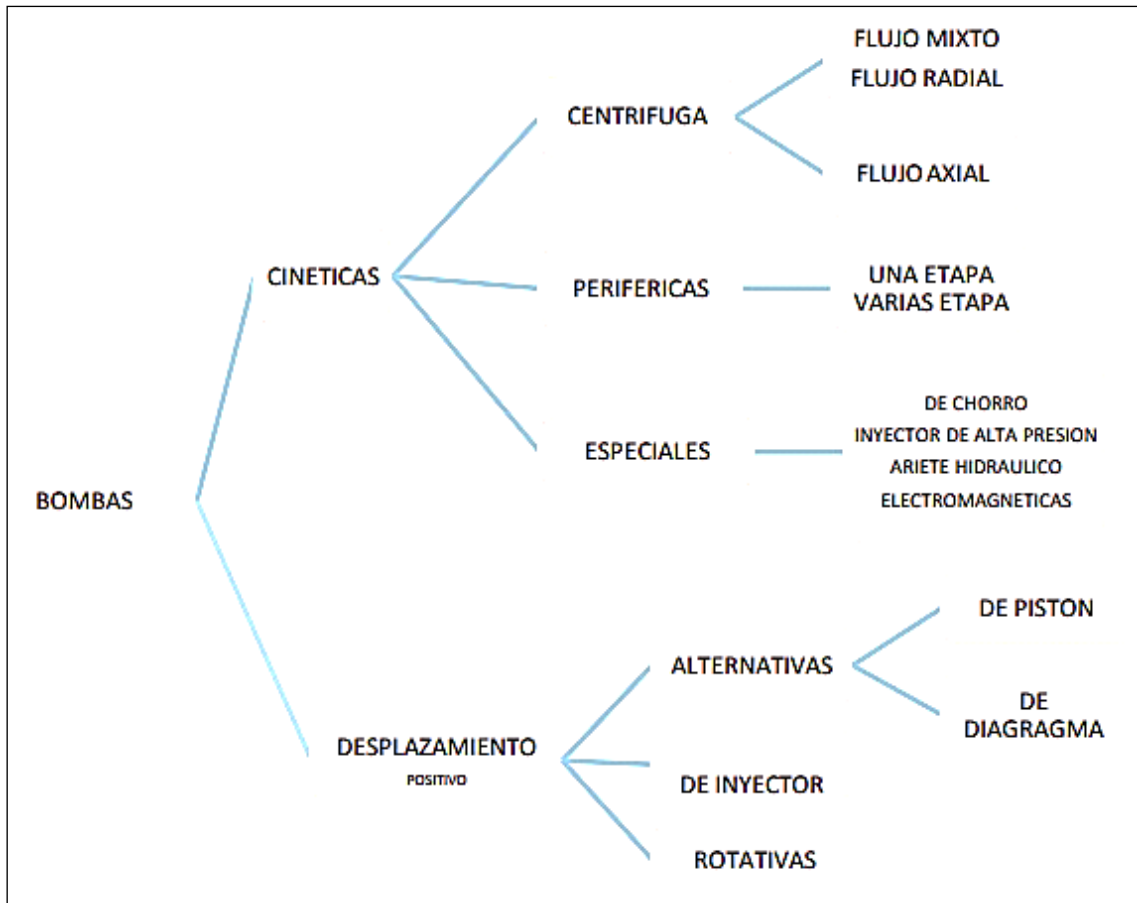


Figura 2: Clasificación de bombas

Fuente: Guerrero, Francisco. Bombas Centrifugas.

2.2.4.3. Potencia requerida para las bombas

La potencia requerida por una bomba para minería subterránea está relacionada con el caudal (volumen de agua por unidad de tiempo) y la altura manométrica total (HMT), que incluye la altura de elevación y las pérdidas de carga en la tubería. La fórmula general para calcular la potencia requerida (P) es:

$$P_{Bomba} = \frac{D_{agua} * Q_b * ADT}{75 * E / 100} \dots\dots\dots .xii$$

Dónde:

P: es la potencia requerida por la bomba (en vatios o kilovatios).

Q_b: es el caudal de agua que debe bombearse (en m³/s).

ADT: es la altura total (en metros) + PERDIDAS DE CARGA

E: es la eficiencia de la bomba (como un decimal, normalmente entre 0 y 1).

2.2.4.4. La altura dinámica total, también conocida como Altura Manométrica Total (HMT)

Representa la energía total en un sistema de flujo de líquido y está compuesta por la energía cinética, la energía de presión y la energía de posición.

La altura dinámica total se define como la diferencia de energía entre dos puntos a lo largo de una línea de flujo de un líquido. Se componen de tres componentes principales:

2.2.4.4.1. Energía cinética (EC): Es la energía asociada con la velocidad del flujo del líquido. A medida que el líquido se mueve más rápido, su energía cinética aumenta. La fórmula para la energía cinética es:

$$CE = (v^2) / (2g) \dots\dots\dots(ivx)$$

Dónde:

V: es la velocidad del flujo del líquido (en m/s).

g: es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente 9,81 m/s²).

2.2.4.4.2. Energía de presión (EP): Es la energía asociada con la presión del líquido. La fórmula para la energía de presión es:

$$PE = (P) / (\rho * g) \dots\dots\dots(xv)$$

Dónde:

P: es la presión del líquido (en Pa o N/m²).

ρ : es la densidad del líquido (en kg/m³).

g: es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente 9,81 m/s²).

Para corregir el efecto de la altura que ejerce sobre la presión atmosférica puede utilizarse la siguiente expresión:

$$p_{ATM}(mca) = 10,33 - \frac{altitud (m)}{900} \dots\dots\dotsxvi$$

2.2.4.4.3. Energía de posición (Elevación) (EPos): Es la energía asociada con la posición del líquido con respecto a un nivel de referencia, generalmente el nivel de la superficie del líquido en una cisterna o tanque. La fórmula para la energía de posición es simplemente la elevación del punto respecto al nivel de referencia:

$$E_{Pos} = z \dots\dots\dots(xvii)$$

Dónde:

z: es la elevación del punto (en metros).

La altura dinámica total (HMT) es la suma de estos tres componentes:

$$HMT = EC + EP + E_{Pos} \dots\dots\dots(xviii)$$

2.2.4.4.4. Aplicación de la altura dinámica total

La altura dinámica total es fundamental para el diseño y selección de bombas, ya que representa la carga total que debe superar una bomba para impulsar el flujo de líquido desde un punto de entrada hasta un punto de salida, considerando la altura de elevación y las pérdidas de carga en la tubería y los accesorios.

Es esencial considerar todas las pérdidas de energía en el sistema, incluidas las pérdidas por fricción en las tuberías, cambios de dirección y cualquier otro elemento que afecte el flujo de líquido.

2.2.4.5. Net Positive Suction Head (NPSH) (Altura Neta Positiva de Aspiración)

El NPSH es una medida crítica para garantizar el funcionamiento adecuado de la bomba y evitar la cavitación, un fenómeno que ocurre cuando la presión del líquido cae por debajo de la presión de vaporización, formando burbujas de vapor que pueden dañar la bomba. El NPSH se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$NPSH = HMT + (P_v / \rho * g) \dots\dots\dots(xix)$$

Dónde:

NPSH: es el cabezal de succión positivo neto (en metros).

HMT: es la altura manométrica total (en metros).

Pv: es la presión de vaporización del agua a la temperatura de bombeo (en metros de columna de agua).

ρ: es la densidad del agua (en kg/m³).

g: es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente 9,81 m/s²).

La altura manométrica se calcula sumando la altura geométrica (es decir, los metros resultantes de la altura de aspiración y la altura de impulsión, $HG=H_a+H_i$) y las pérdidas de carga por el rozamiento con la tubería, la rugosidad, la longitud, etc ($HM=HG+\text{pérdida de carga}$).

- El cálculo de NPSH_{disp} se puede realizar mediante las siguientes fórmulas.
- Si la instalación es en carga:

$$NPSH_{disp} = 10^5 * \frac{(p_l - p_v)}{\rho * g} + H_a - h_a \dots\dots\dots (xx)$$

- **Para una instalación en aspiración:**

$$NPSH_{disp} = 10^5 * \frac{(p_l - p_v)}{\rho * g} - H_a - h_a \dots\dots\dots (xxi)$$

- Donde,
- p_l es la presión sobre el líquido en el depósito de aspiración. Si el agua que se bombea se almacena al aire libre, p_l será la presión atmosférica. Este valor depende de la altura como se verá más adelante.
- p_v es la presión de vapor del líquido. La tensión de vapor o presión de vapor a una temperatura determinada equivale a la presión bajo la cual el agua comienza a desprender burbujas. En la tabla siguiente se dan los valores.

Sabiendo además que:

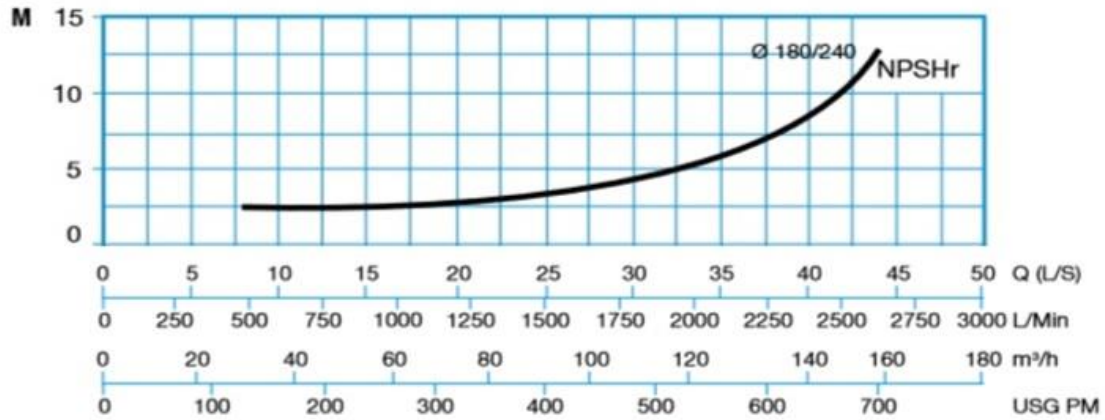


Figura 3: Curva de NPSHreq. El valor del NPSH requerido se mide en metros (escala de la izquierda) y depende del caudal bombeado

Fuente: (catálogo bombas IDEAL)

Además:

$$(\text{NPSH disponible}) \geq (\text{NSPH requerido}) + 0,5 \dots \dots \dots (\text{xxii})$$

2.2.4.6. SELECCIÓN DE UNA BOMBA

Para seleccionar una bomba debemos conocer los siguientes datos

1. Caudal
2. Altura manométrica a vencer por la bomba o pérdida de presión del circuito
3. Valor de NPSHd (Altura neta positiva de aspiración es la diferencia entre la presión de entrada y el nivel de presión más bajo dentro de la bomba)

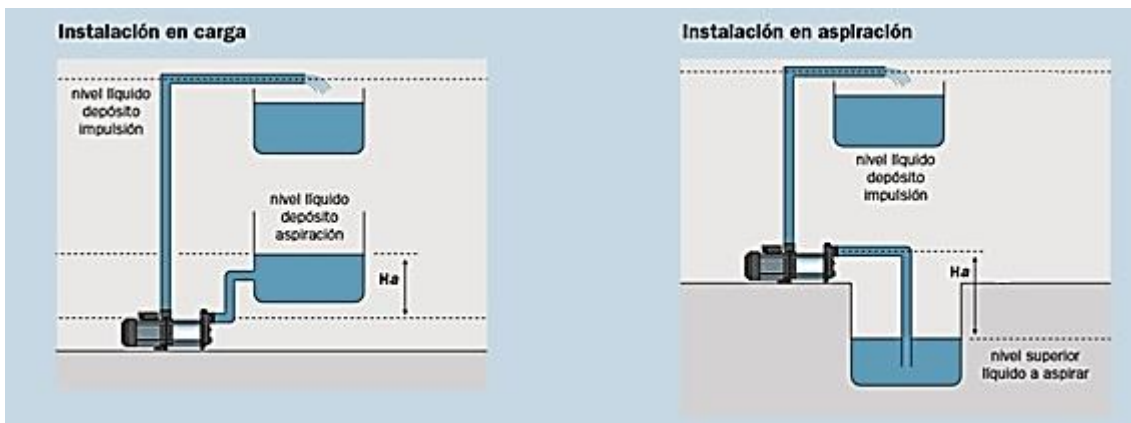


Figura 4: Ejemplos de instalación de bombeo en carga y en aspiración

Fuente: catálogo bombas ESPA

Aunque se dan los valores de densidad para el rango de temperaturas, en los cálculos se toma el valor único de 1.000 kg/m³ con independencia de la temperatura del agua.

ρ: la densidad del líquido, Para el agua es de 1.000 kg/m³

g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

h_a es la pérdida de carga que se produce en el tramo de la aspiración.

Se observa que la única diferencia entre las dos fórmulas de cálculo anteriores radica en el valor de la altura de aspiración (H_a). En los casos de instalación en carga este valor es positivo y para los casos de instalación en aspiración es negativo, ya que, para estos últimos, se trata de un factor evidentemente desfavorable, pues la máquina debe de vencer esta resistencia.

P_v: es la presión de vapor del líquido. La tensión de vapor o presión de vapor a una temperatura determinada equivale a la presión bajo la cual el agua comienza a desprender burbujas. En la tabla siguiente se dan los valores.

Temperatura (°C)	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
Tensión de Vapor (mca)	0.06	0.08	0.12	0.24	0.43	0.75	1.26	2.03	4.83	10.33
Densidad (Kg/ cm ³)	999.9	1.000	999.7	998.2	995.7	992.2	988.1	983.2	971.8	958.4

Tabla 2: Valores de la tensión de vapor y de la densidad del agua según la temperatura.

1 bar =10.2 mca.

2.2.4.7. Curva característica de una bomba

La curva característica de una bomba describe la relación entre la altura manométrica (caída de presión) y el caudal, datos que permiten escoger la bomba más adecuada para cada instalación. La altura manométrica de una bomba es una magnitud, expresable también como presión, que permite valorar la energía suministrada al fluido, es decir, se trata de la caída de presión que debe de vencer la bomba para que el fluido circule según condiciones de diseño. (CRUZ, 2018)

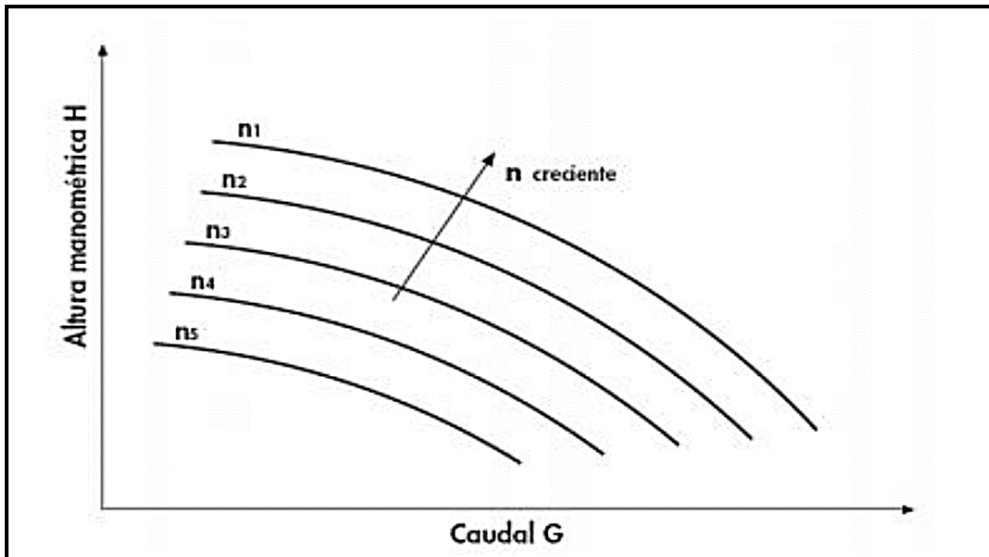


Figura 5: Curva característica de una bomba

Fuente: Guillermo (2012)

Como puede observarse en la figura anterior, para cada velocidad de rotación n , hay una curva característica. Nótese también que, si la velocidad se reduce, también disminuye la altura manométrica máxima y el caudal máximo.

2.2.4.8. PARTES DE UNA BOMBA SUMERGIBLE

Una bomba sumergible es un tipo de bomba que se coloca directamente en el agua u otro líquido que se va a bombear. Está diseñado para trabajar sumergida en el fluido, lo que la hace ideal para aplicaciones de drenaje subterráneo, pozos, estanques, entre otros. A continuación, describiré y graficaré las partes principales de una bomba sumergible típica:

1. **Carcasa o cuerpo principal:** Es la estructura externa de la bomba que protege los componentes internos. Por lo general, está fabricado con materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o hierro fundido.
2. **Impulsor:** Es un rotor giratorio dentro de la bomba que tiene paletas o aspas para aumentar la velocidad del fluido y generar la fuerza de bombeo. El impulsor está conectado al eje del motor y es responsable de la acción de bombeo.

3. **Motor eléctrico:** Es el componente que proporciona la potencia para hacer girar el impulsor. El motor eléctrico se encuentra sellado herméticamente para evitar que el agua entre en contacto con las partes eléctricas y permitir que la bomba funcione sumergida.
4. **Sello mecánico:** Es una parte esencial para garantizar la estanqueidad del motor y evitar que el agua ingrese al interior de la bomba. Consiste en un conjunto de anillos y sellos que evitan fugas de líquido.
5. **Tubo de descarga:** Es el conducto a través del cual el agua es bombeada hacia la superficie o hacia el destino deseado. Generalmente, se conecta a la parte superior de la bomba.
6. **Cable de alimentación:** Es el cable eléctrico que suministra la energía al motor de la bomba. El cable debe ser lo suficientemente largo para permitir que la bomba llegue al punto de inmersión y se conecte a una fuente de energía.
7. **Caja de control (opcional):** En algunas bombas sumergibles, especialmente las más grandes o las que se utilizan para aplicaciones más complejas, puede haber una caja de control que se utiliza para gestionar la operación y protección del motor y la bomba.

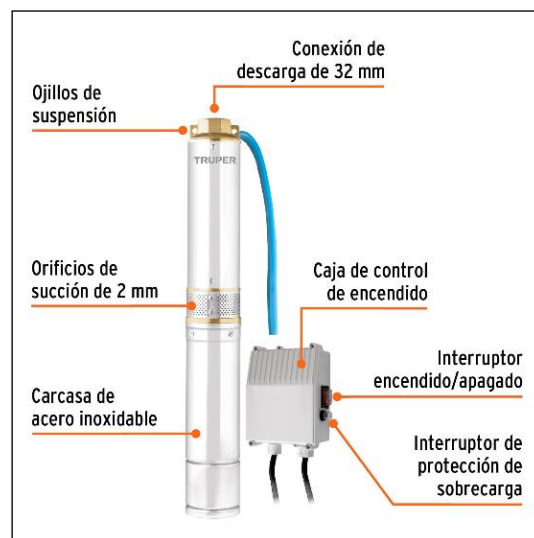


Figura 6: Partes generales de una bomba sumergible

Fuente: (TRUPER, 2023)



Figura 7: Partes principales de una bomba sumergible

Fuente: (Galan, 2019)

2.2.5. TUBERÍAS USADAS PARA DRENAJE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA.

c.1. Tipos de utilización en el drenaje de minas subterráneas:

1. **Tuberías de PVC (policloruro de vinilo):** Las tuberías de PVC son una opción común para el drenaje de minas subterráneas debido a su resistencia a la corrosión y su ligereza. Son fáciles de instalar y manejar, lo que los convierte en una opción popular para aplicaciones de drenaje de agua limpia o con bajo contenido de sólidos.
2. **Tuberías de acero galvanizado:** Las tuberías de acero galvanizado también son utilizadas en el drenaje de minas subterráneas. Son resistentes y duraderas, lo que las hace adecuadas para condiciones más adversas o en presencia de agua con alto contenido de sólidos y componentes abrasivos.
3. **Tuberías de HDPE (polietileno de alta densidad):** Las tuberías de HDPE son conocidas por su resistencia química y durabilidad. Son una

opción adecuada para el drenaje de minas subterráneas en entornos donde se pueden encontrar productos químicos corrosivos o aguas residuales.

4. Tuberías de acero inoxidable: Las tuberías de acero inoxidable son altamente resistentes a la corrosión y se utilizan en aplicaciones donde el agua puede contener sustancias altamente corrosivas.

5. Tuberías de poliuretano: Las tuberías de poliuretano son flexibles y resistentes a la abrasión, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de drenaje en minas subterráneas donde se necesita una tubería que pueda adaptarse a terrenos irregulares.

2.2.5.1. Formulas aplicadas para tuberías en drenaje subterráneo

1. Fórmula de pérdidas de carga en tuberías: Las pérdidas de carga en una tubería son causadas por la fricción entre el agua y las paredes de la tubería, así como por accesorios y curvas. La fórmula general para calcular las pérdidas de carga (h) es la siguiente:

$$h = f * (L / D) * (V^2 / 2g) \dots\dots\dots(xxiii)$$

Dónde:

h: es la pérdida de carga (en metros).

f: es el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach (adimensional, depende del tipo de tubería y las condiciones de flujo).

L: es la longitud de la tubería (en metros).

D: es el diámetro interno de la tubería (en metros).

V: es la velocidad del flujo (en m/s).

g: es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente 9,81 m/s²).

3.3. Coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach

Es importante tener en cuenta que los valores del coeficiente de Darcy pueden variar según la rugosidad de la superficie interna de la tubería, el diámetro de la tubería y la velocidad del flujo de agua.

TIPO DE TUBERIA	f
Tuberías de acero liso (comúnmente usadas en redes de distribución de agua potable)	0.02 - 0.015

Tuberías de hierro fundido (usadas en sistemas de agua a presión y alcantarillado)	0.012 - 0.015
Tuberías de PVC (policloruro de vinilo)	0.009 - 0.011
Tuberías de HDPE (polietileno de alta densidad)	0.009 - 0.011
Tuberías de concreto (usadas en alcantarillado y grandes conductos de agua)	0.012 - 0.015
Tuberías de fibra de vidrio reforzado (usadas en aplicaciones industriales y corrosivas)	0.009 - 0.011

Tabla 3: coeficiente de Darcy Weisbach para diferentes clases de tubería

Fuente: Catalogo de accesorios hidráulicos

2. Formula de presión en una tubería: La presión en una tubería se puede calcular mediante la siguiente formula:

$$PAGS = \rho * g * h + PAGS_0 \dots\dots\dots(XXIV)$$

Dónde:

P: es la presión en la tubería (en Pa o N/m²).

ρ : es la densidad del agua (en kg/m³).

g: es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente 9,81 m/s²).

h: es la pérdida de carga (en metros).

P₀: es la presión estática en la tubería (en Pa o N/m²), que puede ser la presión atmosférica o alguna otra referencia.

3. Formula del diámetro de la tubería

Diámetro de tubería de impulsión

En realidad, la fórmula de Bresse es una aproximación, digamos básica, a la obtención de un diámetro económico para líneas de impulsión de agua.

Y vale destacar que no es la única que intenta establecer, mediante una fórmula simple, esta aproximación, pudiéndose encontrar otras como la propuesta por Mendiluce. (TERCERO, 2014)

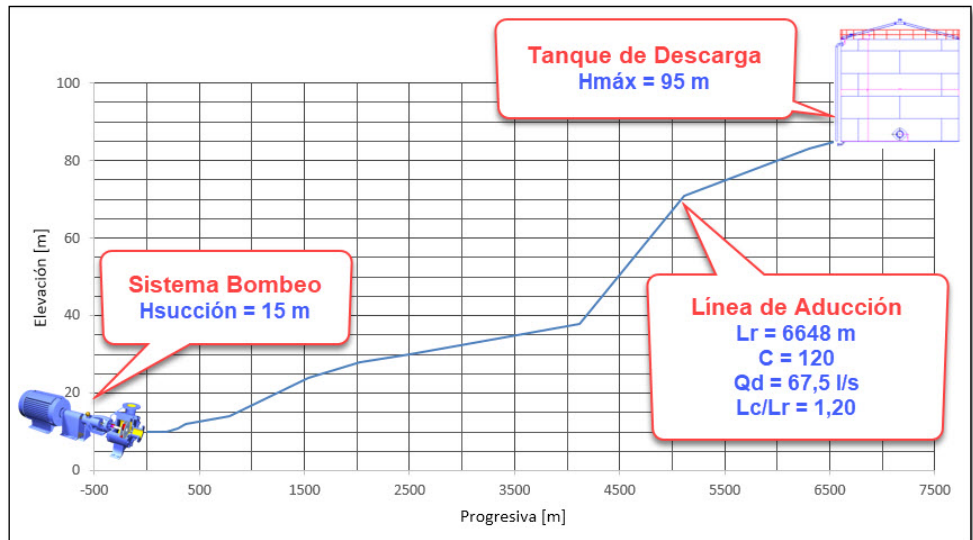


Figura 8: Modelo de diseño de bombeo

$D = 1.5Q^{0.5}$ Formula general de Bresse(xxv)

$D = K \sqrt{Q}$ “que es la conocida fórmula de Bresse, aplicable a las instalaciones de funcionamiento continuo.”

$D = k^* (N/24)^{0.25} \cdot \sqrt{Q}$ Formula de Bresse para funcionamiento discontinuo.....(xxvi)

Condición:

el valor de la velocidad “v” se asume entre 0.3m/s <V< 3m/s

El valor de **k**: 1.1 <k< 1.5

El valor de Q en m3/ s

Diámetro en la tubería de succión

Cuando es un abomba estacionaria y usando la ley de la continuidad

$D_S = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*V}}$xxvii

2.2.5.2. GOLPE DE ARIETE EN TUBERÍAS PARA DRENAJE SUBTERRÁNEO

El golpe de ariete, también conocido como golpe de agua o martillo de agua, es un fenómeno hidráulico que se produce en las tuberías cuando hay cambios bruscos en el flujo de agua, como cierres rápidos de válvulas, arranques o paradas repentinas de bombas, o cambios de dirección en la tubería.

Este fenómeno se debe a la inercia del agua y puede generar presiones y fuerzas muy altas que pueden dañar la tubería y los equipos asociados, además de generar ruidos molestos y vibraciones.

Cuando se cierra una válvula o una bomba, el flujo de agua se detiene repentinamente. Sin embargo, debido a la inercia del agua, esta sigue moviéndose por un breve período de tiempo antes de detenerse por completo. Esto provoca un aumento en la presión del agua en la tubería, provocando un incremento temporal en la presión conocida como "golpe de ariete". Este aumento repentino de la presión puede causar problemas graves, como rotura de tuberías, daño a válvulas y equipos, y hasta la ruptura de conexiones.

Para evitar los efectos perjudiciales del golpe de ariete, se pueden tomar diversas medidas preventivas, tales como:

1. Válvulas de cierre lento
2. Válvulas de alivio o antirretorno.
3. Amortiguadores de presión
4. Sistemas de control de velocidad de bombas
5. Diseño adecuado de tuberías
6. Mantenimiento periódico

Fenómeno transitorio en el que se considera que:

- la tubería no es rígida
- el líquido es compresible

Se produce ante la detención brusca del flujo del fluido (típico el cierre de una válvula) La energía cinética se transforma en energía de presión La sobrepresión pueden llegar a romper la tubería (CARLOS J, 2010)

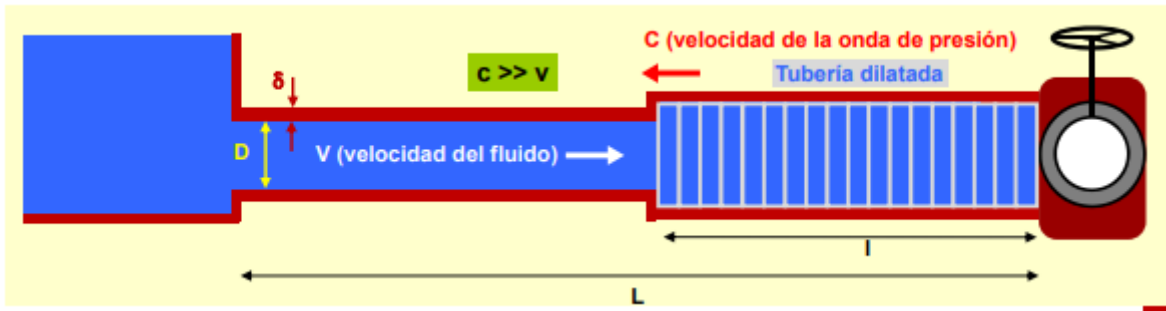


Figura 9: Diseño cómo funciona el golpe de ariete

Fuente: personales.unican.es/rene/doc/Trasparencias

2.2.5.2.1. Cálculo del golpe de ariete en tuberías en drenaje subterráneo

El cálculo del golpe de ariete en tuberías puede ser bastante complejo y requiere considerar varios factores, como:

- la velocidad del flujo
- las características de la tubería
- el tiempo de cierre de las válvulas y otros parámetros específicos del sistema.

A continuación, se presentan algunas fórmulas simplificadas que se utilizan para estimar el golpe de ariete en ciertas situaciones:

$$V_{golpe} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{AG}}{\rho}} \dots\dots\dots (xxviii)$$

Dónde:

- V_{golpe} : es la velocidad del golpe de ariete en metros por segundo (m/s).
- ΔP_{AG} : es el cambio de presión en la tubería en pascuales (Pa).
- ρ : es la densidad del fluido en kilogramos por metro cúbico (kg/m³).

Esta fórmula calcula la velocidad de propagación de la onda de presión producida por el golpe de ariete. Es importante recordar que esta velocidad puede ser mayor que la velocidad real del fluido en la tubería.

2.2.5.2.2. Formula de la presión máxima del golpe de ariete

$$P_{max} = k \cdot \left(\frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h \right) \dots \dots \dots (xxix)$$

Dónde:

- P_{max} : es la presión máxima del golpe de ariete en pascales (Pa).
- K : es un factor de corrección que depende de la velocidad del flujo y el tiempo de cierre de la válvula.
- ρ : es la densidad del fluido en kilogramos por metro cúbico (kg/m³).
- V : es la velocidad media del flujo en metros por segundo (m/s).
- h : es la columna de agua equivalente a la velocidad en metros (m).

tipo de válvula	Diámetro de tubería (mm)	Velocidad de cierre (m/s)	factor de corrección k
Compuerta	100	1	1.2
Compuerta	150	1.5	1.5
Compuerta	200	2	1.8
bolas	100	1	1.3
bolas	150	1.5	1.6
bolas	200	2	1.9
mariposa	100	1	1.1
mariposa	150	1.5	1.4
mariposa	200	2	1.7

Tabla 4: valores de corrección K para cada tipo de válvula utilizada

Fuente: catálogos hidráulicos

2.2.5.2.3. Altura dinámica afectada por el golpe de ariete

$$H = \frac{v^2}{2 \cdot g_{ramo}} + \Delta h \dots \dots \dots (xxx)$$

- H es la altura dinámica total (metros).
- v la velocidad del flujo de agua antes del cierre (m/s).
- g_{ramo} es la aceleración debida a la gravedad (aproximadamente 9,81 m/s²).
- Δh es el cambio en la elevación entre el punto de cierre y el punto más alto de la tubería (metros).

2.2.6. REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERIA.

2.2.6.1. DRENAJE.

Artículo 241º.- El diseño del sistema de drenaje debe estar sustentado en un estudio detallado hidrogeológico e hidrológico y para su manejo se deberá cumplir con lo siguiente:

- a. Las aguas de filtración, perforación, riego y relleno hidráulico utilizadas en labores subterráneas deben tener canales de drenaje o cunetas, de manera que tanto el piso de las galerías de tránsito como el de los frentes de trabajo se conserven razonablemente secos.
- b. Las cunetas de desagüe se construirán con preferencia cerca de uno de los límites laterales de las galerías y deberán mantenerse constantemente limpias.
- c. Cuando se tenga indicios de la cercanía de una masa de agua subterránea se deberá realizar un taladro piloto de por lo menos diez (10) metros de profundidad antes de avanzar con las labores de trabajo.

En los piques cuyo fondo esté cubierto por agua, es obligatorio considerar:

- En la parte baja de la dirección de la jaula, un espacio libre de acuerdo al diseño.
- En la parte baja de la dirección del camino, un espacio libre de acuerdo al diseño, conformado por tres (03) pisos, de los cuales el último piso deberá recibir el drenaje del agua y desechos del compartimiento de la jaula a fin de bombear y realizar la limpieza sin interrumpir el servicio.

Artículo 242º.- En las minas donde no exista drenaje por gravedad y que, además, la exagerada avenida de agua en determinados sectores haga presumir el peligro de inundaciones graves, se tomará las siguientes precauciones:

- a. Se diseñará un sistema seguro de bombeo.
- b. La estación de bombeo se diseñará e instalará con capacidad excedente a la requerida para el normal flujo de agua y en equipos dobles o triples, en forma tal que el funcionamiento de cualquiera de dichos equipos baste para evacuar la totalidad de las aguas.
- c. Se construirá compuertas de presión en las inmediaciones de la estación de bombeo, en todas las vías de acceso peligroso y cerca de los lugares de donde emane el agua.

- d. Cada bomba debe ser provista de motor independiente, los cuales se conectarán con fuentes de energía de circuitos independientes, que puedan funcionar alternativamente; debiéndose, en lo posible, tener un equipo auxiliar de generación eléctrica.
- e. En las zonas en que puedan sobrevenir golpes de agua se colocará en lugares estratégicos diques o compuertas de presión capaces de evitar que el agua se extienda a otras zonas.
- f. Las explotaciones mineras dispondrán de las instalaciones necesarias para captar la avenida de agua de, por lo menos, cuarenta y ocho (48) horas de flujo continuo.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Agua Dulce: Agua continental, por oposición a la del mar, y con más propiedad, agua potable, sea cual fuere su origen.

Capa freática: Es una acumulación de agua subterránea que se encuentra a una profundidad relativamente pequeña bajo el nivel del suelo. Concretamente es un acuífero, con la diferencia de que los acuíferos pueden estar también a mayores profundidades.

Aforar: Es calcular la capacidad de un recipiente o depósito. Es medir el caudal de una corriente de agua o la cantidad de líquido o de gas que pasa por una tubería.

Caudal: Gasto, cantidad de fluido líquido o gaseoso suministrado por un aparato durante la unidad de tiempo.

Densidad: Relación entre la masa de un cuerpo sólido o líquido y la masa de agua, a la temperatura de 4 °C, que ocupa el mismo volumen. Sin Unidad. El agua = 1.

Desaguar, avenar: Extraer el agua de un sitio. Vaciar el agua acumulada en un sitio.

Freático: Dícese de las aguas subterráneas cuando ningún estrato impermeable se interpone entre ellas y la superficie.

Grifo, Llave, Válvula: Dispositivo que se monta en las tuberías para abrir o cerrar el paso a un líquido o gas o para regular su gasto.

Permeabilidad: Propiedad de los terrenos que absorben o dejan pasar los líquidos y los gases.

Golpes de agua: En términos mineros se puede definir, a la fuerza con que brota un chorro de agua subterránea acumulada en bolsonadas

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. GEOGRÁFICA

La mina se encuentra ubicada en la provincia de Hualgayoc – Bambamarca, departamento de Cajamarca, localizada en los andes de la cordillera occidental de Perú; está a una altitud de 2246 msnm tiene un clima templado con lluvias entre los meses de octubre y abril.

Su localización GMT se encuentra a 6° Latitud Sur y 78°27' Longitud Oeste.

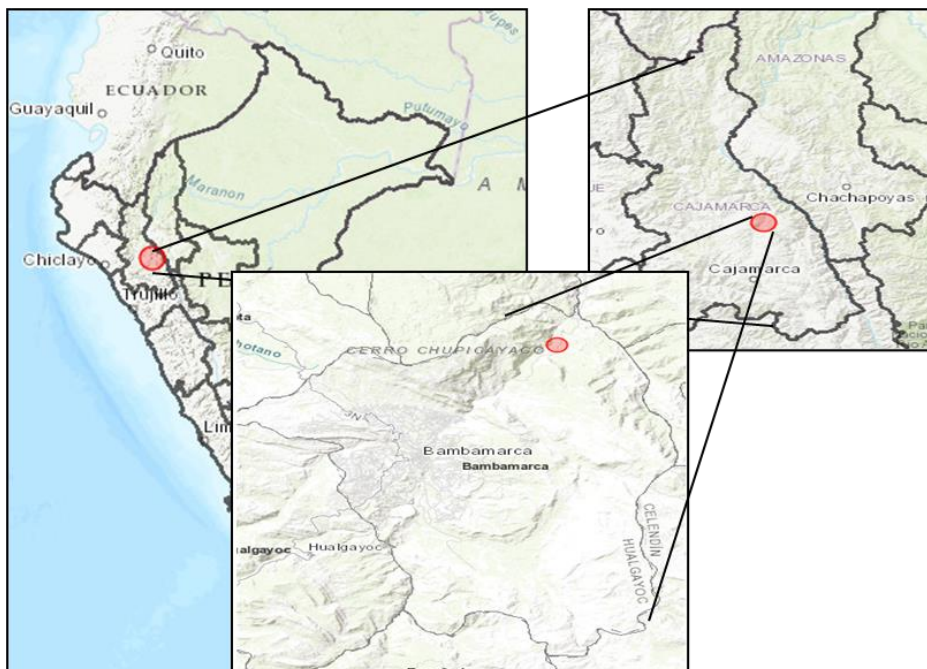


Figura 10: Ubicación geográfica de la mina de carbón “DON MANUEL”
Bambamarca

Fuente: Google Earth, 2021

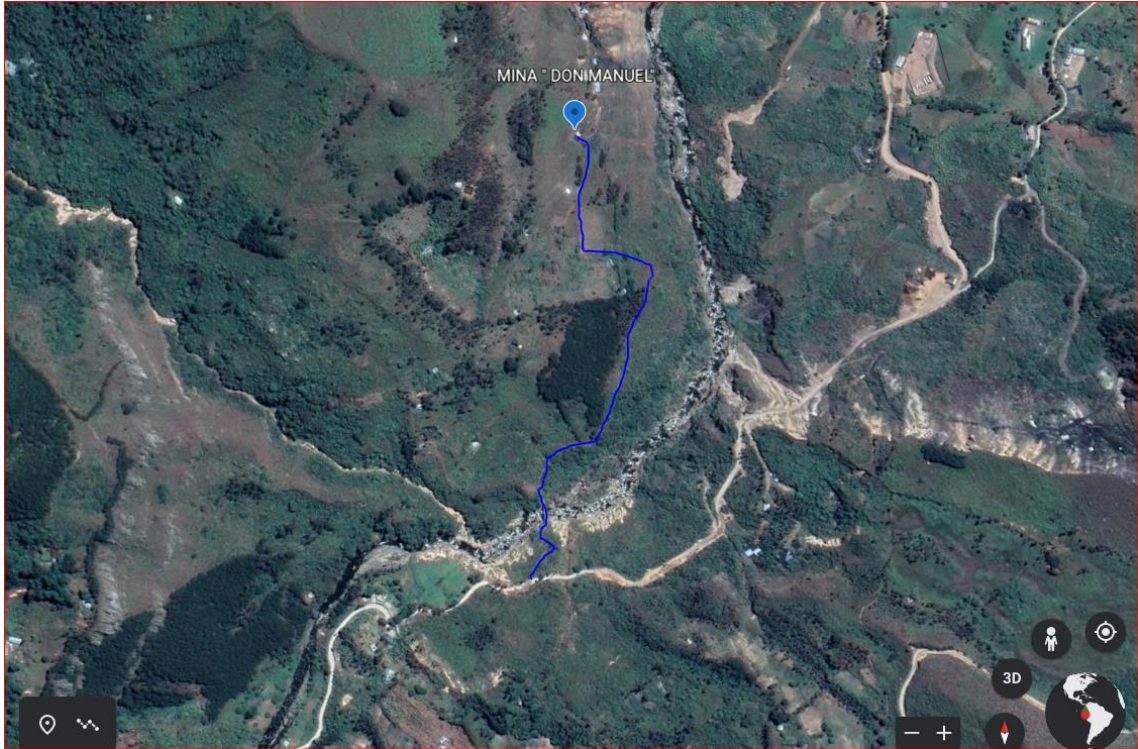


Figura 11: *Ubicación local de la mina*
Fuente: Google Earth, 2022

3.1.2. UBICACIÓN POLÍTICA

Políticamente la Mina “Don Manuel” se ubica en el departamento de Cajamarca provincia de Hualgayoc distrito Bambamarca.

3.1.3. ACCESIBILIDAD

El acceso a la Mina se realiza mediante vehículos que se dirigen hacia el distrito de la Paccha, a 40 min del distrito de Bambamarca. Se tiene que desembarcar en el lugar denominado el bombón luego caminar unos 20 min o también cruzando mediante oroya el río Llaucano.

TRAMO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VÍA
CAJAMARCA-BAMBAMARCA	112 km	2 h y 30 min	Carretera asfaltada
BAMBAMARCA-PIÑIPATA	56 km	45 min	Carretera (trocha)
PIÑIPATA-MINA	3 km	20 min	Camino de herradura

Tabla 5: Accesibilidad y distancia a la mina de operaciones “DON MANUEL”

FUENTE: Elaboración propia

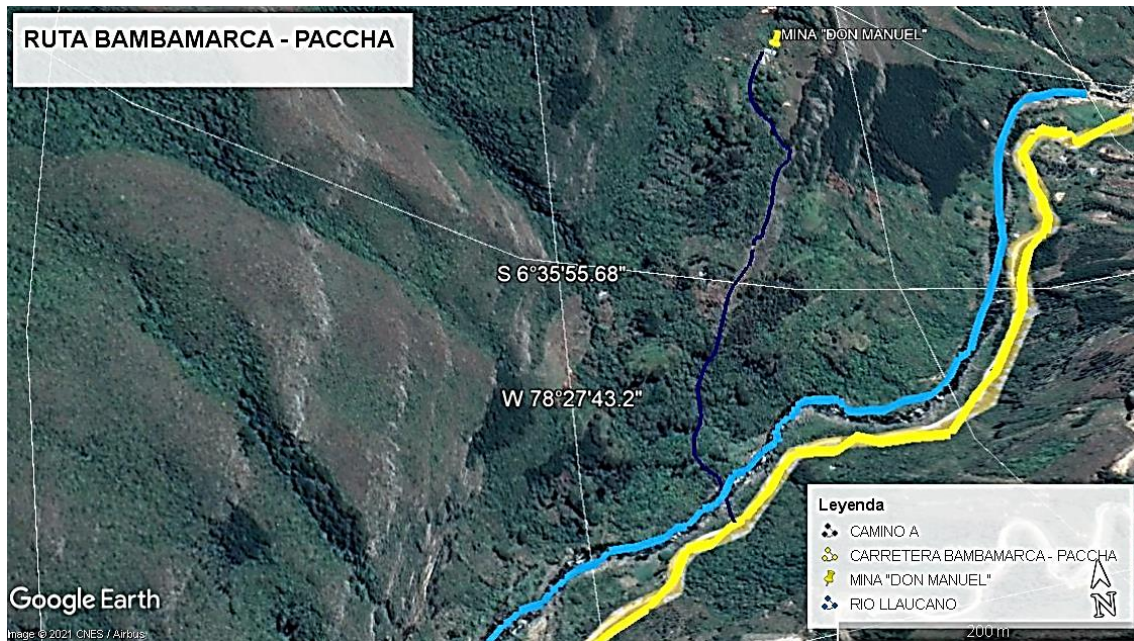


Figura 12: Accesibilidad a Minera “Don Manuel”.
Fuente: Google Earth, 2022.

3.1.4. CLIMA Y VEGETACIÓN

Los veranos son cómodos y nublados y los inviernos son cortos, frescos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 21 °C y rara vez baja a menos de 4 °C o sube a más de 24 °C. (spark-weather, 2021)

En la vegetación encontramos árboles como es el eucalipto, aliso, pinos, molle sauce, etc, en arbustos encontramos carrizo, ortiga, maguey, en frutales encontramos níspero, plátano, piña, etc y en cultivos tenemos: maíz, yuca, camote.



Foto 1: Vegetación de la zona de estudio

3.2. GEOLOGÍA

3.2.1. GEOLOGÍA LOCAL

La labor donde voy a realizar el estudio según el mapa geológico regional se ubica en la **formación chimú** y pertenece al grupo **goyllarisquizga** por ende, que la formación chimú consiste de una alteración de areniscas con cuarzo y lutitas en sus niveles inferiores el Chimú presenta bancos de carbón antracítico. Se le correlaciona con el grupo Yura del sur, así como el Hualhuani que son mayormente cuarcitas blancas la parte inferior, presenta mantos de carbón de 0.8 y 2.5 m de potencia.

3.2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

3.2.2.1. FORMACIÓN GOYLLARISQUIZGA (Ki – g)

Extensión: 306,507.64 Has.

Porcentaje: 9.30 %.

Según (Cruzado, 2009). La formación Goyllarisquizga se encuentra en el cuadrángulo NW de Jaén constituida por estratos de 20 a 80 cm y con una secuencia de 650m. contiene areniscas cuarzosas que presentan una coloración gris a blanca que con el pasar del tiempo y con el efecto de la meteorización toman un color amarillento, rojizos por acción del material ferruginoso que contiene

Edad y correlación. se ha encontrado restos de plantas del cretáceo inferior, en la parte sur oriental del cuadrángulo de Jaén. Se puede correlacionar con el grupo Oriente presente en las cuencas del Huallaga y Marañón.



Foto 2: Estratificación en la mina

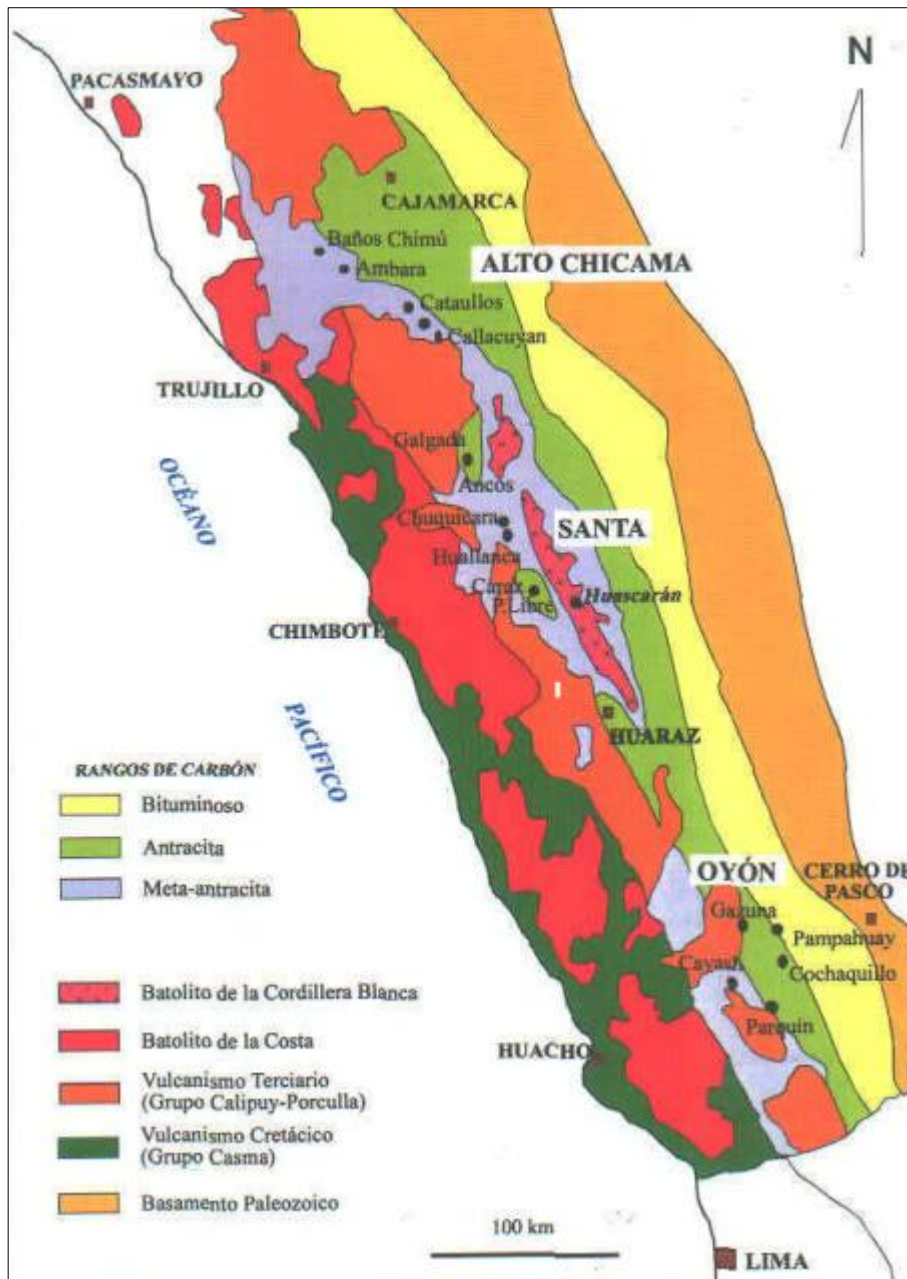


Figura 13: Zona regional del rango de carbón en los andes central y del norte del Perú

Fuente: (INGEMET, 2000)

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo, nivel, diseño, y método de investigación

3.3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que se basa en encontrar mecanismos o estrategias que permitan lograr el desarrollo eficiente del drenaje de la mina “DON MANUEL”.

3.3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo dado que describe, registra y evalúa las funciones e identifica los parámetros hidráulicos para evaluar el sistema de drenaje en la mina “DON MANUEL”.

3.3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación es NO EXPERIMENTAL-TRANSVERSAL ya que se basa en la observación de los hechos en un tiempo determinado para luego ser analizados.

3.3.4. Método de Investigación

El método usado en la investigación es el MÉTODO CIENTÍFICO DESCRIPTIVO porque se describe las condiciones, hechos, se formulan hipótesis, se procesan los datos en las que se realiza la investigación y se llega final a conclusiones.

CLASIFICACIÓN	CATEGORÍA
Tipo	Aplicada
Nivel	Descriptivo
Diseño	No experimental – Transversal
Método de Investigación	Método Científico – Descriptivo

Tabla 6: Tipo, nivel, diseño y método de investigación

3.3.5. Población de estudio

La población de estudios para este trabajo de investigación está dada por todo el sistema de bombeo de la mina “DON MANUEL” el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc y departamento de Cajamarca.

3.3.6. Muestra

Para el presente estudio de investigación se consideró como muestra Sistema de drenaje de la mina DON MANUEL para ello se ha tenido que medir los aforos de la profundización de las galerías.

3.3.7. Unidad de análisis

El Sistema de drenaje de la mina “Don Manuel”- Bambamarca

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas

Las técnicas a empleadas en la investigación van por dos fases que son el análisis documental que viene hacer la recopilación de información de diferentes libros, tesis y algunos otros estudios realizados anteriormente relacionados al sistema de drenaje de minas subterráneas y la observación directa el cual consiste en visitar y verificar el agua en interior mina y el sistema de drenaje de las labores de mina “ DON MANUEL” para luego evaluar, consecuentemente y proponer la solución correspondiente a dicho problema.

3.4.2. Instrumentos, materiales y equipos

Para la elaboración de la presente investigación elaborado trabajos de gabinete y de campo, así como el empleo de materiales y equipos, los que se describen a continuación:

EN GABINETE

- Laptop: para el procesamiento de datos y redacción del informe mediante los diferentes softwares.
- Fuentes de Información como: Documentos de bombas estacionarias, catálogo de bombas estacionarias utilizadas (Hidrostal, Grindex), registró diario de caudales, textos de hidráulica, textos de mecánica de fluidos e hidráulica de diferentes autores, manuales de bombas, para saber características y selección de bomba adecuada, manual de válvulas.

EN CAMPO

- EPP: equipo de protección personal de uso obligatorio (botas o zapatos punta de acero, casco, chaleco, lámpara, overol, etc)
- Wincha de 50 m: Para medir las diferentes labores de la mina subterránea.
- GPS: Para determinar las coordenadas UTM para la ubicación de la mina en los diferentes planos.
- Brújula tipo Brunton: Para determinar el rumbo y buzamiento de las diferentes estructuras.
- Picota del geólogo
- Libreta de campo: para registrar los datos tomados en campo.
- Cámara fotográfica digital 12 MP: Para la toma de fotografías.
- Cuadro de control de aforos, control y registro diario de caudal de aforo.

3.5. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1. Etapa preliminar de gabinete

Recopilación de información de diferentes fuentes exclusivamente referidos al tema buscado en internet, también para la información geológica y cartográfica se obtuvo información de la página de INGEMET, GEOCATMIN y de GOOGLE HEART.

Gestión de permiso al gerente de la empresa minera para realizar la investigación.

Elaborar tablas de los reportes de lectura en el tablero de señales hidráulicas durante todo el proceso de investigación.

2. Etapa de campo

Se realizó observaciones y recopilación de datos del caudal de agua y de las bombas instaladas en las diferentes labores de la mina DON MANUEL.

3. Etapa de gabinete

Una vez recopilada la información de campo se procedió a plasmar la información en los diferentes softwares que nos encaminarán a los resultados que nos servirán para sustento de este trabajo.

3.6. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. Descripción de las técnicas de recolección de datos.

Las técnicas para la recolección de datos son:

La observación directa.

Nos permite observar y percibir desde el campo las labores, cada una de las bombas instaladas en cada labor y la funcionalidad que cumplen y actividades que se realizan además de una simple observación de cómo funciona sus equipos.

Las entrevistas no estructuradas.

Es una técnica que nos ayuda a recopilar información mediante una conversación directa entre entrevistador y entrevistado en la cual se basa en los antecedentes y la actualidad de la mina.

Análisis Documental

Es una técnica que nos ayuda a recolectar datos de consulta secundaria tales como: Libros, revistas, folletos, tesis, periódicos.

N°	Técnicas de Recolección de Datos	Instrumentos de Recolección de Datos
1	Observación Directa	Guía de observación o de campo.
2	Entrevista no Estructuradas	Formato de entrevistas o estructuradas
3	Análisis documental	Ficha de Registro de Datos

Tabla 7: Técnicas y recolección de datos.

Fuente: (**Tamayo Ly Carla, Silva Siesquén Irene**)

3.6.2. Descripción de los instrumentos de recolección de datos.

Recolección de datos

El formato que aplicaremos será un formato elaborado por el tesista y llenado de acuerdo a los aforos de caudal de agua que se realizó en campo en las tres labores de la mina teniendo en cuenta todos los estándares y parámetros de datos que necesitemos para llegar a los resultados planteados en el año 2021 - 2022.

LABOR	BOMBAS	Potencia Real (HP)	Longitud de la Tubería (m)	Q (l/s)	Q (l/min)	Q (gal/min)	Tiempo de Trabajo por día (horas)
1	Bomba 1	2	50	0.45	27.00	7.1	12
2	Bomba 2	2	75	0.60	36.00	9.5	12
3	Bomba 3	2	100	1.29	77.40	20.4	12
TOTAL	1		220	2.34	140.4	37	12

Tabla 8: Esquema del sistema de bombeo

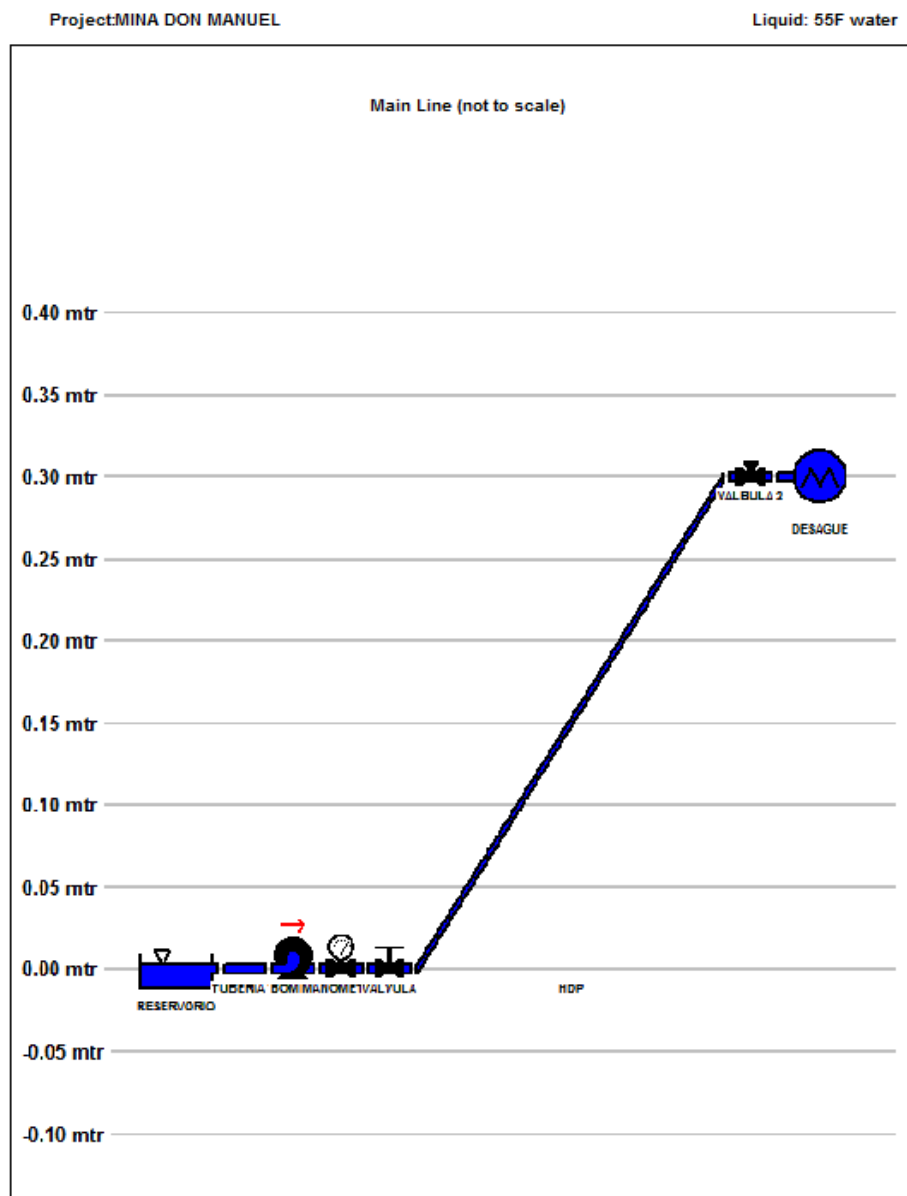


Figura 10: Diseño de cómo se va instalar el sistema de bombeo

Fuente: elaboración propia

3.7. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.7.1. CALCULO DEL CAUDAL DE AGUA

1°. Se procedió a medir los caudales mediante la técnica de aforamiento de cada una de las labores teniendo como datos la potencia instalada el tiempo de circulación del agua y la distancia de la labor en la que va ser evacuada el agua todos los detalles se muestran en la tabla 7

LABOR	BOMBAS	Potencia Real (HP)	Longitud de la Tubería (m)	Q (l/s)
1	Bomba 1	2	50	0,45
2	Bomba 2	2	75	0,60
3	Bomba 3	2	100	1,29

Tabla 9: Reporte general de datos de las bombas

3.7.2. TABLAS DE AFORAMIENTOS EN LOS MESES DE AGOSTO HASTA ABRIL DEL AÑO 2021 Y 2022 EN LA LABOR 1.

1°. Realice el aforamiento en el mes de agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre del 2021 y enero, febrero, marzo, abril del 2022 lo realice en 5 oportunidades con 5 aforos diferentes y 5 caudales diferentes obteniendo el mayor caudal en abril que es de 0.45 l/s que este caudal será tomado en cuenta para nuestros cálculos.

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
Agosto	1	80	18	0.23	0.28
	2	75	18	0.24	
	3	64	18	0.28	
	4	68	18	0.26	
	5	72	18	0.25	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
Setiembre	1	70	18	0.26	0.29
	2	65	18	0.28	
	3	71	18	0.25	
	4	68	18	0.26	
	5	63	18	0.29	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
Octubre	1	85	18	0.21	0.29
	2	90	18	0.20	
	3	65	18	0.28	
	4	63	18	0.29	
	5	71	18	0.25	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
Noviembre	1	65	18	0.28	0.30
	2	75	18	0.24	
	3	60	18	0.30	
	4	68	18	0.26	
	5	63	18	0.29	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
Diciembre	1	70	18	0.26	0.32
	2	65	18	0.28	
	3	71	18	0.25	
	4	68	18	0.26	
	5	56	18	0.32	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
Enero	1	52	18	0.35	0.35
	2	55	18	0.33	
	3	60	18	0.30	
	4	62	18	0.29	
	5	63	18	0.29	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
Febrero	1	50	18	0.36	0.38
	2	48	18	0.38	
	3	49	18	0.37	
	4	52	18	0.35	
	5	53	18	0.34	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
Marzo	1	47	18	0.38	0.40
	2	46	18	0.39	
	3	45	18	0.40	
	4	51	18	0.35	
	5	50	18	0.36	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
-----	-------------	------------	-------------	--------------	-------------

	1	43	18	0.42	0.45
	2	44	18	0.41	
Abril	3	40	18	0.45	
	4	48	18	0.38	
	5	42	18	0.43	

Tabla 10: Reporte de aforamientos de caudal de agua

Fuente: elaboración propia

Descripción: Aforamientos hechos por el tesista en la labor 1 en la mina “Don Manuel”, en el cual evaluamos que la cantidad mayor de agua que aforamos es en el mes de abril del 2022 con un volumen de **0.45 m³/s**

2°. Bomba instalada en esta labor 1

La bomba sumergible instalada en esta labor es de 2 hp, marca **LEO**

3° tubería instalada en esta labor 1

La tubería que está instalada en esta labor es de 1 pulgada accesorio que no abastece para el buen funcionamiento del sistema de drenaje

4° Accesorios instalados en esta labor 1

En esta labor solo encontramos una reducción de 2” a 1” instalado, por tal motivo no se puede controlar el sistema de drenaje solo apagando el motor de la bomba sumergible.

5°. Calculamos el caudal máximo. aplicando la ley de Darcy para corroborar el caudal aforado aplicando la formula i

Q = -K * A * ∇hley de Darcy para flujos subterráneos

K= 0.001 permeabilidad promedio en suelos con tipo de rocas areniscas

A= 75 m² área de la labor que influye la infiltración de agua desde el punto de entrada hasta el punto final de la labor

∇h= 0-6=-6

Aplicando cálculos:

Q = -0.001 * 75 * -6 = **0.45 l/s** caudal máximo en el mes de abril del 2022 en la labor 1

3.7.3. TABLAS DE AFORAMIENTOS EN LOS MESES DE AGOSTO HASTA ABRIL DEL AÑO 2021 Y 2022 EN LA LABOR 2.

1°. Realice el aforamiento en el mes de agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre del 2021 y enero, febrero, marzo, abril del 2022 lo realice en 5 oportunidades con 5 aforos diferentes y 5 caudales diferentes obteniendo el mayor caudal en abril que es de 0.60 l/s que este caudal será tomado en cuenta para nuestros cálculos.

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
AGOSTO	1	48	18	0.38	0.45
	2	42	18	0.43	
	3	40	18	0.45	
	4	47	18	0.38	
	5	47	18	0.38	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
SETIEMBRE	1	43	18	0.42	0.45
	2	41	18	0.44	
	3	40	18	0.45	
	4	44	18	0.41	
	5	47	18	0.38	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
OCTUBRE	1	48	18	0.38	0.46
	2	44	18	0.41	
	3	43	18	0.42	
	4	39	18	0.46	
	5	45	18	0.40	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
NOVIEMBRE	1	40	18	0.45	0.47
	2	39	18	0.46	
	3	38	18	0.47	
	4	41	18	0.44	
	5	43	18	0.42	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
DICIEMBRE	1	70	18	0.26	0.49
	2	65	18	0.28	
	3	71	18	0.25	
	4	68	18	0.26	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
	5	37	18	0.49	
Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
ENERO	1	37	18	0.49	0.49
	2	38	18	0.47	
	3	39	18	0.46	
	4	37	18	0.49	
	5	42	18	0.43	
Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
FEBRERO	1	36	18	0.50	0.53
	2	34	18	0.53	
	3	34	18	0.53	
	4	37	18	0.49	
	5	36	18	0.50	
Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
MARZO	1	37	18	0.49	0.56
	2	34	18	0.53	
	3	32	18	0.56	
	4	33	18	0.55	
	5	36	18	0.50	
Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
ABRIL	1	34	18	0.53	0.60
	2	35	18	0.51	
	3	30	18	0.60	
	4	33	18	0.55	
	5	31	18	0.58	

Tabla 11: Reporte de aforamientos de caudal de agua

Fuente: Elaboración propia

Descripción: Pruebas hechos por el tesista en la labor 2 de la mina “Don Manuel”, en el cual evaluamos que la cantidad mayor de agua que aforamos es en el mes de abril del 2022 con un volumen de **0.60 m³/s**

2°. Bomba instalada en esta labor 2

La bomba sumergible instalada en esta labor es de 2 hp, marca **LEO**

3° tubería instalada en esta labor 2

La tubería que está instalada en esta labor es de 1.5 pulgadas accesorio que no abastece para el buen funcionamiento del sistema de drenaje

4° Accesorios instalados en esta labor 2

En esta labor solo encontramos una reducción de 2" a 1.5" instalado, por tal motivo no se puede controlar el sistema de drenaje solo apagando el motor de la bomba sumergible.

5°. Calculamos el caudal máximo. aplicando la ley de Darcy para corroborar el caudal aforado aplicando la formula i

Q = -K * A * ∇hley de Darcy para flujos subterráneos

K= 0.001 permeabilidad promedio en suelos con tipo de rocas areniscas

A= 112 m² este es el área de influencia que influye la infiltración desde el punto entrada hasta el punto final de la labor 2

∇h= 0-5.4=-5.4

Aplicando cálculos:

$$Q = -0.001 * 112 * -5.4 = 0.60 \text{ l/s}$$

3.7.4. TABLAS DE AFORAMIENTOS EN LOS MESES DE AGOSTO HASTA ABRIL DEL AÑO 2021 Y 2022 EN LA LABOR 3.

1°. Realice el aforamiento en el mes de agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre del 2021 y enero, febrero, marzo, abril del 2022 lo realice en 5 oportunidades con 5 aforos diferentes y 5 caudales diferentes obteniendo el mayor caudal en abril que es de 1.29 l/s que este caudal será tomado en cuenta para nuestros cálculos.

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
AGOSTO	1	20	18	0.90	1.06
	2	19	18	0.95	
	3	17	18	1.06	
	4	21	18	0.86	
	5	19	18	0.95	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
SETIEMBRE	1	24	18	0.75	1.13
	2	22	18	0.82	
	3	21	18	0.86	
	4	17	18	1.06	
	5	16	18	1.13	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
OCTUBRE	1	25	18	0.72	1.13
	2	20	18	0.90	
	3	18	18	1.00	
	4	16	18	1.13	
	5	17	18	1.06	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
NOVIEMBRE	1	20	18	0.90	1.13
	2	18	18	1.00	
	3	16	18	1.13	
	4	21	18	0.86	
	5	18	18	1.00	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
DICIEMBRE	1	22	18	0.82	1.20
	2	21	18	0.86	
	3	17	18	1.06	

	4	16	18	1.13	
	5	15	18	1.20	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
ENERO	1	15	18	1.20	1.20
	2	17	18	1.06	
	3	20	18	0.90	
	4	22	18	0.82	
	5	23	18	0.78	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
FEBRERO	1	25	18	0.72	1.21
	2	29	18	0.62	
	3	14.9	18	1.21	
	4	18	18	1.00	
	5	53	18	0.34	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
MARZO	1	17	18	1.06	1.24
	2	15	18	1.20	
	3	14.5	18	1.24	
	4	20	18	0.90	
	5	21	18	0.86	

Mes	N° de veces	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (l/s)	Q max (l/s)
ABRIL	1	17	18	1.06	1.29
	2	15	18	1.20	
	3	14	18	1.29	
	4	18	18	1.00	
	5	20	18	0.90	

Tabla 12: Reporte de aforamientos de caudal de agua en la labor 3

Fuente: elaboración propia

Descripción: Pruebas hechos por el tesista en la labor 3 en la mina “Don Manuel”, en el cual evaluamos que la cantidad mayor de agua que aforamos es en el mes de abril del 2022 con un volumen de **1.29 m³/s**

2°. Bomba instalada en esta labor 3

La bomba sumergible instalada en esta labor es de 2 hp, marca **SHIMGE**

3° tubería instalada en esta labor 3

La tubería que está instalada en esta labor es de 2 pulgadas accesorio que no abastece para el buen funcionamiento del sistema de drenaje

4° Accesorios instalados en esta labor 3

En esta labor no encontramos ningún accesorio instalado, por tal motivo no se puede controlar el sistema de drenaje solo apagando el motor de la bomba sumergible.

5°. Calculamos el caudal máximo. aplicando la ley de Darcy para corroborar el caudal aforado aplicando la formula i

Q = -K * A * ∇hley de Darcy para flujos subterráneos

K= 0.001 permeabilidad promedio en suelos con tipo de rocas areniscas

A= 112 m² este el al área de influencia que influye la infiltración desde el punto entrada hasta el punto final de la labor 3

∇h= 0-8.6= -8.6 m

Aplicando cálculos:

$$Q = -0.001 * 150 * -8.6 = 1.29 \text{ l/s}$$

3.7.5. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA BOMBA SUMERGIBLE APTA PARA LA LABOR GENERAL

3.7.5.1. Ingresamos nuestros datos a evaluar

Caudal de bombeo en l/s (Qb)	Número de horas de bombeo por día (N)
2.34 = 37.14GPM	12

Tabla 13: Datos con promedio de horas vs caudal

Fuente: Elaboración propia

3.7.5.2. Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión (D)

$$D = k * (N/24)^{0.25} * \sqrt{Qb} \dots\dots\dots\text{aplicando formula vxi}$$

El valor de k: 1.1 <k< 1.5

El valor de Q en m³/ s

el valor de la velocidad “v” se asume entre 0.3m/s <V< 3m/s

Reemplazamos

Asumimos k= 1.3

$$D = 1.3 * (12/24)^{0.25} * \sqrt{0.00234}$$

D= 0.0529m ≈ 5.29cm

D = 0.053 m; esto es un diámetro aceptable porque el diámetro mínimo para que la velocidad sea menor a 1.2 m/s tiene que ser mínimo 5.36 cm

Ahora hallamos el diámetro D en pulgadas

$$D = 5.29 / 2.54 = 2.08 \text{ pulg}$$

OBS. El diámetro comercial es 2.5 pulg

Dc= 2.5 pulg

3.7.5.3. Cálculo de la velocidad media

$$V_m = \frac{4 * Q_b}{\pi * D_i^2} \dots\dots\dots \text{Aplicando formula (viii)}$$

Q_b : caudal a bombear ≈ 0.00234 m³/s

D_i : diametro interno de la tubería en m ≈ 0.053 m

$$V_m = \frac{4 * 0.00234}{\pi * 0.053^2} = 1.06 \text{ m/s}$$

3.7.5.4. Perdida de carga por fricción

La ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_f = \frac{f.L.V^2}{2.g.D} \dots\dots\dots \text{aplicando formula (ix)}$$

Dónde:

h_f : es la pérdida de carga en metros (m).

f : es el factor de fricción de Darcy-Weisbach (adimensional). Este factor depende de la rugosidad interna de la tubería y del número de Reynolds del flujo. ≈ 0.009

TIPO DE TUBERIA	f
Tuberías de acero liso (comúnmente usadas en redes de distribución de agua potable)	0.02 - 0.015
Tuberías de hierro fundido (usadas en sistemas de agua a presión y alcantarillado)	0.012 - 0.015
Tuberías de PVC (policloruro de vinilo)	0.009 - 0.011
Tuberías de HDPE (polietileno de alta densidad)	0.009 - 0.011
Tuberías de concreto (usadas en alcantarillado y grandes conductos de agua)	0.012 - 0.015
Tuberías de fibra de vidrio reforzado (usadas en aplicaciones industriales y corrosivas)	0.009 - 0.011

Tabla 14: Factor de Darcy-Weisbach

L : es la longitud de la tubería en metros (m). ≈ 220

V : es la velocidad del flujo en metros por segundo (m/s). ≈ 1.06 m/s

g: es la aceleración debido a la gravedad en metros por segundo cuadrado (9,81 m/s²).

D: es el diámetro interno de la tubería en metros (m). ≈ 0.053

Reemplazando:

$$h_f = \frac{0.009 * 220m * 1.06^2}{2 * 9.81 * 0.053} = 2.14 \text{ m}$$

3.7.5.5. Perdida de carga local en tuberías en drenaje de minas subterránea

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots\text{aplicando formula (xi)}$$

Dónde:

- h_l : es la pérdida de carga local en metros (m).
- K : es el coeficiente de pérdida local específico para el elemento o componente de la tubería (adimensional).

Para hallar los valores se procedió a ver los accesorios ocupados con su respectiva perdida de carga local.

Accesorio	Cantidad	Valores de K
Válvula de control o retención	1	2.5
Válvula de compuerta o de salida	1	5
Ampliación Gradual	1	0.30

Tabla 15: Valores de la perdida de fricción para diferentes accesorios usados.

Fuente: Fesmex (Fluid Equipment Supply)

En total la sumatoria de los valores de K es 7.80

- V : es la velocidad del flujo en metros por segundo (m/s) ≈ 1.06 m/s
- g : es la aceleración debida a la gravedad, aproximadamente 9.81g/cm²

Reemplazando:

$$h_l = 7.8 \cdot \frac{1.06^2}{2 * 9.81} = 0.45 \text{ m}$$

3.7.5.6. Perdida de carga por longitud en tubería (h)

$$h = f * (L / D) * (V^2 / 2g) \dots\dots\dots\text{aplicando formula (xviii)}$$

Dónde:

h: es la pérdida de carga (en metros).

f: es el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach (adimensional, depende del tipo de tubería y las condiciones de flujo). ≈ 0.009

TIPO DE TUBERIA	f
Tuberías de acero liso (comúnmente usadas en redes de distribución de agua potable)	0.02 - 0.015
Tuberías de hierro fundido (usadas en sistemas de agua a presión y alcantarillado)	0.012 - 0.015
Tuberías de PVC (policloruro de vinilo)	0.009 - 0.011
Tuberías de HDPE (polietileno de alta densidad)	0.009 - 0.011
Tuberías de concreto (usadas en alcantarillado y grandes conductos de agua)	0.012 - 0.015
Tuberías de fibra de vidrio reforzado (usadas en aplicaciones industriales y corrosivas)	0.009 - 0.011

Tabla 16: Factor de Darcy-Weisbach

L: es la longitud de la tubería (en metros). ≈ 220 m

D: es el diámetro interno de la tubería (en metros). ≈ 0.053

V: es la velocidad del flujo (en m/s). ≈ 1.06 m/s

g: es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente $9,81$ m/s²).

$$h = f * (L / D) * (V^2 / 2g)$$

$$h = 0.009 * \left(\frac{220}{0.053}\right) * \frac{1.06^2}{2 * 9.81} = 2.14\text{m}$$

3.7.5.7. Perdida de carga por longitud en tubería de succión

No se tiene perdida de carga en la succión porque no se usa tubería de succión por ser una bomba sumergible

3.7.5.8. Cálculo de la altura dinámica total

Para hallar el ALTURA DINAMICA TOTAL se sumará todos los valores de las perdidas calculados incluido la altura geométrica.

CR: Cota de altura máxima

CT: Cota de terreno

NE: Nivel estático

Hg: Altura geométrica desde el nivel estático hasta el punto más alto de la línea de impulsión.

$$H_g = CR - CT + NE$$

$$CR = 2200$$

$$CT = 1980$$

$$NE = 0$$

$$H_g = 220 \text{ m}$$

3.7.5.8.1. Abatimiento (A)

$$A = 2 \text{ m}$$

3.7.5.8.2. Presión de Salida (Ps)

$$P_s = 2 \text{ m}$$

3.7.5.8.3. Longitud (L)

$$L = 2 * H_g$$

$$= 2 * 220 = 440$$

3.7.5.8.4. Constante por el tipo de Material HDPE (C)

$$C = 150 \approx \sqrt[2]{p/s}$$

Propiedad	PE100	Unidad
Presión de servicio	de 4 a 25	Bares
Coefficiente de Hazen y Williams	C = 150	
Factor de Seguridad	1.25	
Longitud	1	metro
Densidad	0.945-0.956	gr/cm ³
Índice de Fluidez (MFR) 190°C/ 5 Kg	0.3	gr/10 min
Contenido negro de humo	2.0-2.5	%
Resistencia a la Tracción	20-23	MPa.
Resistencia a la Flexión	18	MPa.
Modulo Tensil	1000	MPa.
Tensión de Diseño (σ)	6.3	MPa.
Mínimo Esfuerzo Requerido (MRS)	>8	MPa.
Alargamiento de Rotura	>600	%
Coefficiente de dilatación lineal	0.17-0.20	mm/m°C.
Temperatura de fragilidad	<-70	°C
Dureza Shore D a 20°C escala	61	Escala D

Tabla 17: Valores para el coeficiente de Hazen y Williams para tuberías HDPE
 FUENTE: NORMAS NTP-ISO 4427-2:2008 sistemas de tuberías plásticas.
 Tubos de polietileno (PE) y conexiones para abastecimiento de agua

ADT= altura geométrica (Hg) + pérdida de carga por fricción (hf) + pérdida de carga local (hl) +pérdida de carga por longitud (h) +Hfa +A +Ps ...formula (xviii)

$$ADT= 220 \text{ m} + 2.14 + 0.45 + 2.14 + 2 + 2$$

$$ADT= 228.73 \text{ m}$$

4.1.2. CALCULO DE EI NPSH DE LA BOMBA

$$NPSH = HMT + (Pv / \rho * g) \dots\dots\dots(xix)$$

Dónde:

NPSH: es el cabezal de succión positivo neto (en metros).

HMT: es la altura manométrica total (en metros).

Pv: es la presión de vaporización del agua a la temperatura de bombeo (en metros de columna de agua).(ver tabla n° 1)

ρ : es la densidad del agua (en kg/m³) =1000

g: es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente 9,81 m/s²).

hallando la altura manométrica HMT:

$$HMT= HG + PERDIDAS DE CARGA$$

$$HMT= \text{Altura de succión} + \text{altura de aspiración} + \text{perdidas de carga}$$

$$HMT = 220 + 0 + 4.73$$

$$HMT = 224.73$$

$$NPSH \text{ disponible} = 224.73\text{m} + (0.08 \text{ m} / 1000\text{kg}/\text{m}^3 * 9.81 \text{ m}/\text{s}^2)$$

$$NPSH \text{ requerido} = 224.73$$

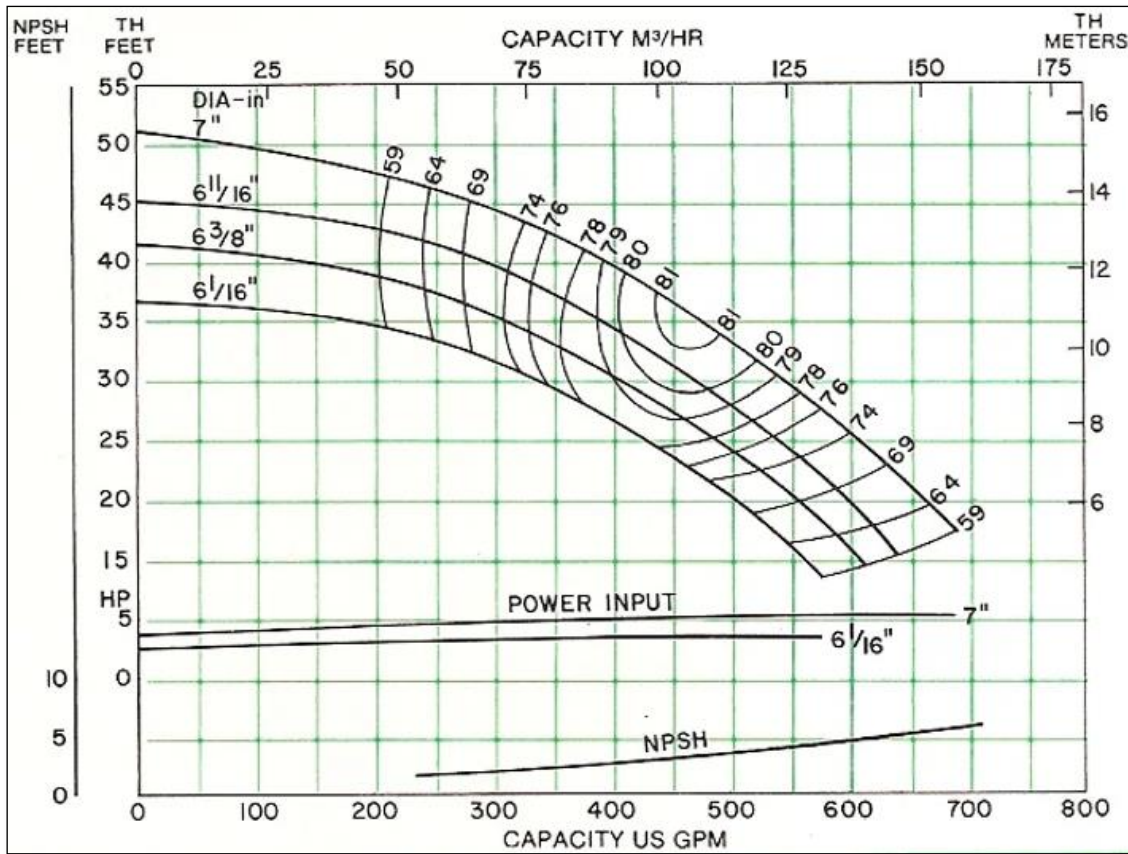


Figura 14: CAUDAL VS CABEZAL

4.1.2. Cálculo del golpe de ariete y la influencia para la altura dinámica total

$$P_{max} = k \cdot \left(\frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h \right) \dots \dots \dots (xxix)$$

Dónde:

- P_{max} : es la presión máxima del golpe de ariete en pascales (Pa).
- K : es un factor de corrección que depende de la velocidad del flujo y el tiempo de cierre de la válvula.
- ρ : es la densidad del fluido en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).
- V : es la velocidad media del flujo en metros por segundo (m/s).
- h : es la columna de agua equivalente a la velocidad en metros (m).

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{1.06^2}{2 \cdot 9.81} = 0.057m$$

Usaremos una válvula de bolas y tenemos una tubería promedio de 100mm con una velocidad de cierre de 1 m/s.

tipo de válvula	Diámetro de tubería (mm)	Velocidad de cierre (m/s)	factor de corrección k
Compuerta	100	1	1.2
Compuerta	150	1.5	1.5
Compuerta	200	2	1.8
bolas	100	1	1.3
bolas	150	1.5	1.6
bolas	200	2	1.9
mariposa	100	1	1.1
mariposa	150	1.5	1.4
mariposa	200	2	1.7

Tabla 18: valores de corrección K para cada tipo de válvula utilizada

Fuente: catálogos hidráulicos

$$P_{max} = k \cdot \left(\frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h \right)$$

$$P_{max} = 1.3 \cdot \left(\frac{1000 \cdot 1.06^2}{2} + 1000 \cdot 9.81 \cdot 0.057 \right)$$

Pmax = 145645 Pa

4.1.3.1. Altura dinámica afectada por el golpe de ariete

$$H = \frac{v^2}{2 \cdot g_{\text{gramo}}} + \Delta h \dots\dots\dots \text{aplicando formula (xxx)}$$

- H es la altura dinámica total (metros).
- v la velocidad del flujo de agua antes del cierre (m/s).
- *gramo* es la aceleración debida a la gravedad (aproximadamente 9,81 m/s²).
- Δh es el cambio en la elevación entre el punto de cierre y el punto más alto de la tubería (metros).

$$H = \frac{1.06^2}{2 \cdot 9.81} + 220$$

H = 220.057 m

4.1.1.4. Cálculo de la potencia de la bomba (PBomba)

a.1. Eficiencia (E)

E = 70%

b.2. Densidad del agua (Dagua)

Dagua= 1 gr/cm³

Dagua= 1 kg/ m³

Dagua= 1kg/lt

➤ **Con estos datos calcularemos la potencia de la bomba**

$$PBomba = \frac{Dagua * Qb * ADT}{75 * E / 100}$$

$$PBomba = \frac{1 * 2.71 * 228.73}{75 * 70 / 100}$$

PBomba = 11.83 HP

PBomba comercial = 11.83 HP ≈ 15HP (comercial)

4.1.4. Válvula de alivio de presión

a.1. Velocidad máxima en la válvula (vmax)

vmax= 6m/s

a.2. Diámetro de la válvula de alivio (Dva)

$$Dva = \sqrt[2]{\frac{4 * Qb}{3.1416 * Vmax} * \frac{100}{2.54}}$$

$$Dva = \sqrt[2]{\frac{4 * 0.00271 * 100}{3.1416 * 6 * 2.54}}$$

Dva = 0.94 pulg

a.3. Diámetro Comercial de la válvula de alivio (Dcva)

Dcva = 2 pulg

Tabularemos y graficaremos el modelo, marca, potencia, altura de la bomba a utilizar en este proyecto.

MODELO	POTENCIA (P2)		Caudal	m³/h	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Trifásica	kW	HP	Caudal	l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400
			Caudal	l/seg	0	0.83	1.67	2.5	3.33	4.16	5	5.83	6.67
6SR70G/150	11	15	H (metros)	280	270	260	240	220	198	162	122	78	
6SR70G/100	7.5	10	H (metros)	182	174	168	155	140	125	104	80	50	

Tabla 19: Cálculos de bomba para nuestra labor

En la tabla nos muestra los cálculos de dos modelos de bombas sumergibles y sus respectivas potencias reales, hemos analizado altura vs caudal que nos rendirá el modelo 6SR70G/100 de 15 hp de potencia para el caudal que muestra en campo real la mina “DON MANUEL” que es de 2.34 l/seg solo lo expulsara a una altura entre 240 máximo y 220 metros mínimo , hecho que no es el requerimiento para dicha mina; al contrario la bomba de modelo 6SR70G/150 de 15 hp de potencia lo expulsara a mínimo 220 metros y máximo 240 metros lo cual esta bomba si es la requerida en dicha labor.

Graficando altura (h) vs caudal (Q)

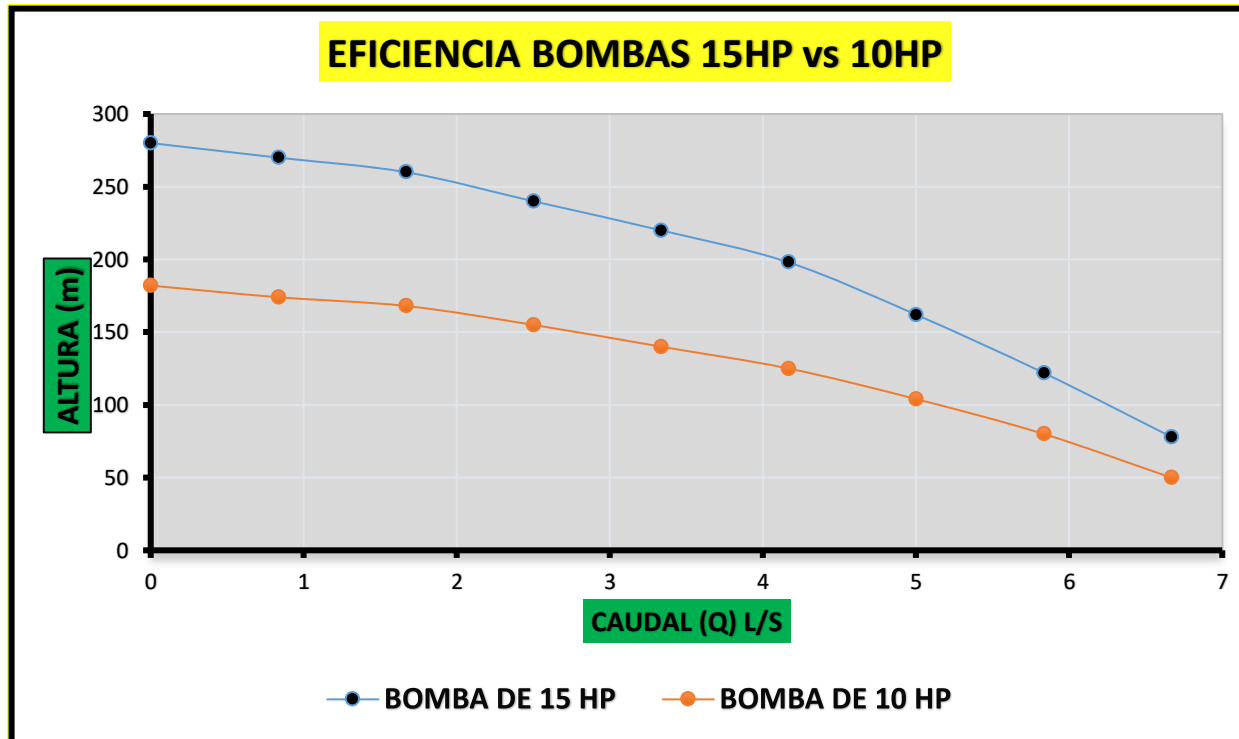


Figura 15: Curvas de eficiencia de bombas de 10Hp VS 15Hp

En la gráfica de caudal vs altura nos da una explicación de la eficiencia de cada modelo de bomba trifásica, en este caso la bomba de 10 HP de color naranja es la que menos potencia tendrá por lo tanto el mismo caudal de agua lo expulsará a una altura mucho menor con respecto a la bomba de mayor potencia en este caso de 15 hp que esta bomba se estima la óptima para nuestra operación de la mina “DON MANUEL”

PLANO PROPUESTA DEL SISTEMA DE DRENAJE MINA “DON MANUEL”

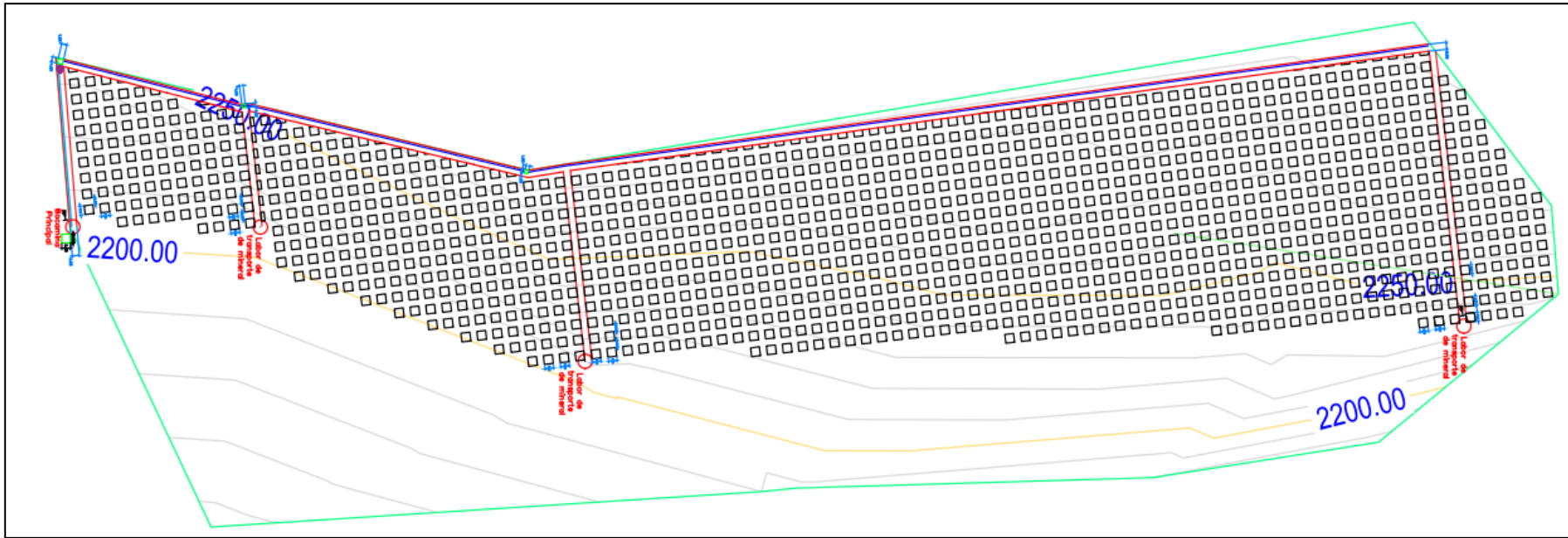


FIGURA Nº 16: Plano de Explotación de carbón propuesta por el tesista

Fuente: Elaboración propia

Las labores que se propone construir son: construcción de un crucero para comunicar todas las labores unitarias y de esa manera recoger el agua por gravedad a una sola cámara de sedimentación para así de esa manera utilizar una sola bomba para drenar el agua de un solo punto.




CAPITULO IV

4.1. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1.1 Descripción del sistema de bombeo actual de la mina “DON MANUEL” - Bambamarca:

4.1.1.1 Gestión del caudal de agua generado en interior mina “Don Manuel”.

En la mina subterránea de carbón para poder realizar la extracción del mineral carbonífero tiene bastante filtración de agua por lo que vamos hacer un resumen para poder realizar un cuadro comparativo con los antecedentes descritos paginas atrás:

Labor	IMAGEN	Actividad	Descripción	Caudal (Q)
Labor 1,2 y 3		Cunetas	En mal estado y relleno de desmonte	0.45 l/s
Labor 1,2 y 3		Bomba instalada	Marca LEO de 2hp	0.45 l/s
Labor 1,2 y 3		Mangueras y tuberías	Mal colocadas y en mal estado	0.45 l/s


Labor 1,2 y 3		Cámara de recepción	No tienen construida la la cámara de recepción	
---------------------	---	------------------------	---	--

Figura nº 17: Esquema de los componentes del sistema de drenaje

Fuente: Elaboración propia

El sistema de drenaje está compuesto por bombas sumergibles, específicamente de la marca LEO, lo cual ofrece unas ventajas desventajas para sus operaciones y condiciones requeridas como también desventajas que ocasionan problemas en la producción minera.

Con respecto a la evaluación de nuestro sistema de drenaje evaluado encontramos muchas deficiencias en todo sus componentes, haciendo una comparación con la mejora que propuso Cruz Casilla en su tesis que el sistema de drenaje en general se optimizo implementado bombas nuevas y pozas de sedimentación de 100m³ y 60m³ y que la tubería debe ser de 4 y 3 pulgadas y que para un caudal de 3.5 l/s y una altura de 50 m se encontró una eficiencia de 55% de eficiencia teniendo en cuenta las perdidas secundarias, por lo tanto yo propongo pozas de sedimentación de 2m³ y una bomba de 15 hp instalada, tuberías HDPE de 2 pulgadas, poza recolectora de 10m³.

4.1.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA MINA

Profundidad del manto: La profundidad del manto está a 20 m de profundidad, de allí se ha proyectado para llegar a los 200 m, en dicho trabajo se hace la evaluación hasta los 100 m de profundidad para así determinar el caudal máximo de infiltración de agua.

Buzamiento de los mantos: con el uso de la brújula tipo Brunton se determinó que el buzamiento promedio es de 30°SW.



Foto nº 21: Medida del Buzamiento con brújula tipo Brunton



Foto nº 22: Dirección del buzamiento de los mantos.

El factor estructural influye mucho en nuestras labores por la pendiente que muestra los matos de carbón y el macizo rocoso hecho k permitirá construir un crucero con la pendiente de 32° para que facilite que el agua fluya por gravedad hacia un punto de poza de sedimentación y de allí ser bombeado hacia la parte exterior así como lo propuso (Medrano, 2019) en su tesis de drenaje de la veta “Ánimas Minera Bateas”, su objetivo fue incorporar nuevos sistemas de bombeo y drenaje para mejorar la productividad y teniendo como problema es el ingreso de agua hacia las labores inferiores de la mina de 15 m verticalmente con un caudal de $0.12 \text{ m}^3 / \text{s}$.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1° CONCLUSION: Antes de iniciar la investigación hice un aforamiento del agua que se infiltraba en las diferentes labores de la mina de carbón “Don Manuel” encontrando un caudal máximo en la labor n° 1 de 0.45 l/s, labor n° 2 de 0.60 l/s, labor n° 3 de 1.29 l/s.

2° CONCLUSION: Evaluando las condiciones y la calidad de los equipos que hacían el funcionamiento del sistema de drenaje instalado encontramos bombas con potencia de 2Hp en cada labor, calculando los diferentes datos recolectados de campo hice una evaluación global con el total de caudal máximo para una sola labor la cual el caudal total es de 2.34 l/s entonces se calculó una bomba tipo **6SR70G/150 de 15 Hp** de potencia y la electricidad clase **trifásica** y con tubería tipo HDPE de dimensión **2.5 pulgadas**.

3° CONCLUSION: Esta evaluación del sistema de drenaje beneficiara de manera eficiente a los trabajadores en el mayor rendimiento en sus labores y extrayendo mayor cantidad de mineral carbonífero hecho que ha traído mayor rentabilidad al empresario de dichas labores.

5.2. RECOMENDACIONES

- La recogida del agua se hará mediante un crucero comunicador de labores para la caída del agua por gravedad teniendo en cuenta que el buzamiento de los estratos es de 30° y mediante cunetas en las diferentes labores y pozas de sedimentación, allí se instalara la bomba sumergible para su respectivo funcionamiento.

- Se recomienda construir un crucero comunicador inclinado con la mínima pendiente para unir a todas las labores para la recogida y transporte del agua hacia la primera labor para ser bombeada por una sola bomba instalada de 15 hp.

- Se recomienda construir una poza de concreto con sus canastillas de tamiz n° 200 y tamiz n° 100 para la filtración del agua para así aumentar la eficiencia del bombeo del agua.
- Se recomienda hacer uniformes sus cámaras de 2x2 m para facilitar la instalación de las mangueras y también para optimizar el rendimiento de los obreros y aumentar el volumen de extracción del mineral.
- se recomienda hacer una represa de gran volumen en la parte superficial para el almacenamiento del agua drenada del interior mina para volver a reutilizar tanto en sus labores de extracción como en para riego de sus cultivos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Tamayo Ly Carla, Silva Siesquén Irene . (s.f.). *TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS*. Chimbote.

Blanco, M. E. (1994). *SISTEMAS DE BOMBEO*. Gijon , España.

CARLOS J, R. (2010). *Golpe de Ariete y Cavitación*. España.

CONAGUA, C. N. (2002). *Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario*. Mexico.

CONCHA, M. L. (2017). *ESTUDIO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE BOCAMINAS DE LA MEDIANA MINERIA*. Arequipa.

CRUZ, C. H. (2018). *EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA EN LA PROFUNDIZACIÓN DE LA MINA SANTA PUNO*.

Cruz, C. H. (2018). *EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA EN LA PROFUNDIZACIÓN DE LA MINA SANTA tereza*. Puno.

Cruzado, V. G. (2009). *ESTUDIO DE GEOLOGÍA DE CAJAMARCA*. Cajamarca.

Galan, L. C. (2019). *Partes de una Bomba Sumergible* . Obtenido de Bomba sumergible: <https://amzn.to/3uQ6HrO> - <https://amzn.to/2SVzltP> - <https://amzn.to/3w0JYtc> - <https://amzn.to/2WLQUJx>, -Manguera: <https://amzn.to/2W5yLsY>

GOMEZ, C. L. (2022). *Diseño de sistema de drenaje para drenaje de aguas subterráneas en remplazo del sistema existente, en mina subterránea*. LIMA.

- Haestad Methods Engineering; Meadows, Michael E.; Walski, Thomas M.; Barnard, Thomas E.; Durrans, S. Rocky. (2002). *Computer Applications in Hydraulic Engineering*. OS ANGELES, CA, U.S.A.
- Herrera, H. J. (2007). *INTRODUCCION AL DRENAJE EN EXPLOTACIONES MINERAS*. MADRID.
- INGEMET. (2000). *CARBON EN EL PERU*. LIMA.
- L. Mott, R. (2006). *Mecanica de Fluidos*. Mexico: PEARSON.
- Madariaga, L. O. (2015). *GUÍA SOBRE CONTROL GEOTÉCNICO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA*. Madrid.
- Magne, A. F. (2008). *Abastecimiento, Diseño y Construcción de Sistemas de Agua Potable Modernizando el Aprendizaje y Enseñanza en la Asignatura de Ingeniería Sanitaria I*. Cochabamba - Bolivia.
- Medrano, V. D. (2019). *Optimizacion del sistema de bombeo y drenaje de la Veta Animas Minera Bateas*. Huancayo.
- MICHEL, R. A. (2014). *Mejoramiento del sistema de bombeo para la evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcán Compañía Minera S.A.A – UNIDAD SAN CRISTOBAL*. Huancayo.
- MICHUE, F. N. (2021). *Optimizacion del funcionamiento del sistema de bombeo para reducir el consumo de energia en la mina subterranea Consorcio Minero HOrizonte -Unidad de Parcoy- La Libertad*. Huancayo.
- Monge, R. M. (2018). *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión*. España.
- MUÑOZ, O. A. (2016). *OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE Y MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN MINERA EN LA MINA DE CARBON SAN FERNANDO, OPERADA POR CARBONES SAN FERNANDO SAS, VEREDA PASO NIVEL, AMAGA-ANTIOQUIA*. Sogamoso.

Nlinanya, D. L. (2015). *ANÁLISIS NUMÉRICO DE FLUJO SUBTERRANEO: CASO MINA SUBTERRANEA BAZANTE DE BRASIL*. Lima.

Rafael Barzola, J. E. (2019). *Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en Minera Kolpa S.A.* Huancayo.

Sánchez, L. E. (1995). *Aspectos Geológicos de Protección Ambiental*. Sao Pablo.

Sanchez, S. R. (2012). *Hidraulica Subterranea : Principios Basicos*. Salamanca.

spark-weather. (2021). <https://es.weatherspark.com/>. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/19982/Clima-promedio-en-Bambamarca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

TERCERO, T. (2014). *La verdadera formula de Bresse*. Managua.

TRUPER. (2023). *Partes de una bomba sumergible*. Obtenido de Catalogo Nacional: <https://www.truper.com/bomba-sumergible-tipo-bala-para-agua-limpia-1-2-hp.html>

WadeRain. (2017). *Sistema de Riego*. Mexico.

ANEXOS

N° 1: Álbum Fotográfico

N° 2: Plano Topográfico de la mina “DON MANUEL” - BAMBAMARCA

N° 2: Plano geológico de la zona de influencia de la mina “DON MANUEL” - BAMBAMARCA.

N° 7: Plano de vista en planta de la ubicación de las tres labores B1, B2, B3 de la mina “DON MANUEL” - BAMBAMARCA.

N° 8: Plano de vista en planta del mejoramiento del sistema de drenaje de la mina “DON MANUEL” - BAMBAMARCA.

Anexo 1: Álbum Fotográfico

Anexo N° 1.1. Reconocimiento de las diferentes labores de la mina “DON MANUEL”



Foto 3: Reconocimiento de las labores

En la foto donde se muestra reconocimiento de la ubicación y estado de las mangueras HDPE instaladas en la labor 3 de la mina “DON MANUEL”, también la forma de la extracción del mineral carbón antártico.

Anexo N° 1.2. Reconocimiento de las diferentes labores de la mina “DON MANUEL”



Foto 4: Vista de cunetas para transportar el agua a una cámara de sedimentación



Foto 5: Reconocimiento de la bomba instalada

Reconociendo la bomba instalada en la mina la cual tiene las siguientes características:

Potencia: 2HP

Qmax: 16.2 m³/h

Diámetro: 98mm

Salida de tubería: 2"



Foto 6: Reconocimiento de la cantidad de agua infiltrada

Inspeccionando la cantidad de infiltración de agua en una labor no instalada dándonos con la sorpresa que no cuenta con las medidas óptimas para una buena instalación de bombas y mangueras HDPE y ni siquiera para el buen tránsito de los trabajadores en interior mina.



Foto 7: Reconocimiento de la poza de sedimentación

En la foto mostramos la poza de sedimentación de agua para luego ser bombeada al exterior de la mina.

Anexo N° 1.2. Análisis de las labores y la cantidad de agua que se infiltra en ellas para hacer su aforamiento y hacer sus respectivos cálculos.



Foto 8: Medición de la altura de la labor

En la foto n° observamos que la altura de la labor solo tiene 1.20 m por lo cual proponemos que sea una labor de 2 m para poder optimizar la instalación y el tránsito de los trabajadores



Foto 9: *Medición del ancho de la labor*

En la foto n° 9 observamos que el ancho de la labor solo tiene 1 m por lo cual proponemos que sea una labor de 2 m para poder optimizar la instalación y el tránsito de los trabajadores.



Foto 10: *Aforando el agua de las labores*

La foto nos muestra el aforamiento del agua en distintas estaciones del año para calcular el caudal promedio y así hacer su análisis de caudales



Foto 11: Marca de bomba instalada