	<b>GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS</b>	<b>CÓDIGO</b>	FO-GS-15
		<b>VERSIÓN</b>	02
	<b>ESQUEMA HOJA DE RESUMEN</b>	<b>FECHA</b>	25/11/2023
		<b>PÁGINA</b>	1 de 1
<b>ELABORÓ</b>	<b>REVISÓ</b>	<b>APROBÓ</b>	
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S) William Herney APELLIDOS: Galviz Moreno

FACULTAD: Ingenierías

PLAN DE ESTUDIOS: Ingeniería Mecánica

DIRECTOR:

NOMBRE(S): Orlando APELLIDOS: Gutiérrez López

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS):

**EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN LOMA DE BOLÍVAR, DE LA EMPRESA AGUAS CAPITAL CÚCUTA S.A E.S. P.**

El presente proyecto tiene el fin de realizar un estudio técnico-económico de la estación de bombeo loma de Bolívar con el fin de analizar el funcionamiento de los equipos actuales y así obtener su mejor eficiencia, esto se realiza a través de la toma directa de datos para poder conocer las condiciones de trabajo actual, en ellas podemos observar corriente, voltaje, potencias, eficiencias entre otros datos.

En el informe se realizan simulaciones en el programa EPANET bajo diferentes parámetros de trabajo con el fin de obtener un análisis detallado de cada uno de los equipos que se encuentran en la estación, ahí podemos evaluar su eficiencia y con ello su energía. Podemos analizar cada nodo en donde se pueden medir sus presiones, y cada tramo de tubería en la cual nos marca el caudal y la velocidad a la que circula el fluido en dicho tramo. Debido a la baja eficiencia que se registra en uno de los sectores a los cuales se bombea se desea sustituir un equipo, por el cual se realizan los cálculos necesarios con el fin de seleccionar el equipo que mejor satisfaga la necesidad, realizando un análisis entre el coste de la energía con los equipos actuales y el que se ha seleccionado. Con la comparativa entre los dos equipos bajo las mismas condiciones de trabajo se toma como referencia el coste operacional de cada uno y con ello se puede analizar cuál es el porcentaje de ahorro de energía que se ve representado en dinero.

PALABRAS CLAVES: (ESCRIBIR MÁXIMO 5) Energía. -Eficiencia. –Ahorro Energético. –

Sobredimensionamiento.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 109 ILUSTRACIONES: 18 Xx, PLANOS: NO CD ROOM: NO

EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO DE LA  
ESTACIÓN LOMA DE BOLÍVAR, DE LA EMPRESA AGUAS CAPITAL CÚCUTA S.A E.S.P

WILLIAM HERNEY GALVIZ MORENO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECÁNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA 2023

EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO DE LA  
ESTACIÓN LOMA DE BOLÍVAR, DE LA EMPRESA AGUAS CAPITAL CÚCUTA S.A E.S.P

WILLIAM HERNEY GALVIZ MORENO

Proyecto presentado como requisito para optar por el título de

Ingeniero Mecánico

Director

ING. ORLANDO GUTIÉRREZ

LÓPEZ

INGENIERO MECÁNICO – UNAL

MASTER OF ENGINEERING-MECHANICAL, USA

Codirector

Ing. Luis Augusto Cordero

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSE DE CUCUTA 2023

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

**FECHA:** CÚCUTA, 17 DE NOVIEMBRE 2023

**HORA:** 03:30 P.m.

**LUGAR:** SALÓN FU-306

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA MECÁNICA


**TÍTULO:** EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN LOMA DE BOLIVAR, DE LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A E.S.P.


**Jurados:** ING. PEDRO ANTONIO PEREZ ANAYA  
ING. MIGUEL ARMANDO BRICEÑO GUERRERO

**Director:** ORLANDO GUTIERREZ LOPEZ

Nombre de los estudiantes	Código	Calificación Letra	Número
WILLIAM HERNEY GALVIZ MORENO	1121712	CUATRO-DOS	4.2

**APROBADA**

  
ING. PEDRO ANTONIO PEREZ ANAYA

  
ING. MIGUEL ARMANDO BRICEÑO GUERRERO

  
Vo.Bo MEIMER PEÑARANDA CARRILLO  
Coordinador Comité Curricular

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mis padres, quienes con su esfuerzo inculcaron en mí valores de honradez y superación hasta lograr convertirme en lo que soy hoy día, también para cada uno de esos seres que formaron parte de este arduo proceso, para mis compañeros que siempre estuvieron ahí, a pesar del largo y duro camino hoy puedo decir que tanto esfuerzo ha valido la pena y la recompensa no se puede describir. Y va dedicado a cada una de esas personas que siempre creyeron en mí y en este largo camino con el fin de convertirme en ingeniero mecánico.

## **Agradecimientos**

Quiero dar gracias a mis padres Jorge Galvis y Nubia Moreno ya que ellos fueron pilares fundamentales durante este proceso, sin importar lo difícil que fue el camino ellos siempre dieron lo mejor de sí para apoyarme en todo momento. También quiero dar gracias a cada uno de los ingenieros que hicieron parte de este proceso, los cuales con su conocimiento y experiencia transmitieron en mi mucha enseñanza, tanto para la vida profesional como personal. También quiero dar gracias a la UFPS nuestro templo de conocimiento la cual fue testigo de todo mi aprendizaje y crecimiento personal y profesional.

Solo puedo dar gracias a cada uno de esos seres que estuvieron a lo largo de estos años de proceso y decir “Esto también es de todos ustedes”

## Tabla de contenido

Introducción	14
1 Titulo	15
1.1 Planteamiento Del Problema	15
1.2 Formulación Del Problema	16
1.3 Justificación	16
1.3.1 Razón De Ser Del Proyecto	16
1.3.2 Perspectiva	17
1.4 Sistematización Del Problema	18
1.5 Objetivos	18
1.5.1 Objetivo General	18
1.5.2 Objetivos Específicos	18
1.6 Delimitación Del Problema	19
1.6.1 Espaciales	19
1.6.2 Temporales	19
2 Marco Referencial	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Marco Teórico	25
2.2.1 Sistemas de bombeo	25
2.2.2 Clasificación De Las Bombas	26
2.2.3 Eficiencia De La Bomba	32
2.2.4 Curva Característica De Una Bomba Centrífuga	33
2.2.5 Motores Eléctricos	34
2.2.6 Cómo Determinar Los Caballos De Potencia Reales Del Motor	38

2.2.7	Accesorios Para Tuberías	40
2.2.8	Ecuación General De La Energía	49
2.2.9	Ecuacion De Bernoulli	51
2.2.10	Pérdidas Por Fricción Primaria	52
2.2.11	Pérdidas Por Fricción Secundaria	53
2.3	Marco Conceptual	56
2.4	Marco Legal	57
2.5	Marco Administrativo	58
2.5.1	Recursos Humanos	58
2.5.2	Recursos institucionales	58
2.5.3	Recursos financieros	58
2.5.4	Presupuesto	58
3	Diseño Metodológico	59
3.1	Enfoque Y Tipo De Investigación	59
3.2	Fuentes De Información	60
3.2.1	Fuentes Primarias	60
3.2.2	Fuentes Secundarias	60
3.3	Técnicas Y Procedimientos Para La Recolección De Información	60
3.4	Análisis De Información	60
3.5	Metodología	61
3.5.1	Diseño De Sistemas De Acueductos	61
4	Análisis y Resultados de la Información	68
4.1	Datos Obtenidos Para El Sector Numero 1	68
4.2	Datos Obtenidos Para El Sector Numero 2	70



4.2.1	Red Hidráulica Estación Loma De Bolívar Y Sector Los Alpes	75
4.2.2	Calculo De La Nueva Bomba.	89
4.2.3	Red Hidráulica Estación Loma De Bolívar Y Sector Los Alpes Con El Nuevo Equipo	94
5	Conclusiones y Recomendaciones	103
6	Referencias Bibliográficas	104

## Lista De Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Bomba dinámica	27
Figura 2. Bomba de desplazamiento positivo	27
Figura 3. Bomba centrífuga de flujo axial	29
Figura 4. Bombas de flujo mixto	31
Figura 5. Bomba centrífuga de flujo axial	31
Figura 6. Curva característica de la bomba	34
Figura 7. Motor eléctrico	38
Figura 8. Tipos de codos	41
Figura 9. Reductor concéntrico y excéntrico	44
Figura 10. Tipos de válvulas	45
Figura 11. Unidad de Bombeo Actual de la Estación	72
Figura 12. Curva de la Bomba Actual de la Estación	73
Figura 13. Red hidráulica estación loma de Bolívar	75
Figura 14. Red de distribución sector los Alpes	75
Figura 15. Bomba centrífuga Ebara	92
Figura 16. Curva característica de la bomba	93
Figura 17. Red hidráulica estación loma de bolívar	94
Figura 18. Red de distribución sector los Alpes	94

## Lista de Tablas

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Valores del coeficiente K en pérdidas singulares	54
Tabla 2. Presupuesto	58
Tabla 3. Caudales de Diseño	61
Tabla 4. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar	62
Tabla 5. Curva de modulación de demanda	67
Tabla 6. Eficiencias tomadas en el sector 1 (LOS ALPES)	68
Tabla 7. Eficiencias tomadas en el sector 2 (BELÉN, 28 DE FEBRERO, ARNULFO BRICEÑO, RUDESINDO SOTO, CENTRALES)	70
Tabla 8. Información en las conexiones	76
Tabla 9. Información en las conexiones	78
Tabla 10. Informe de Energía diario	80
Tabla 11. Informe de energía mensual	80
Tabla 12. Informe de Energía diario	83
Tabla 13. Informe de energía mensual	84
Tabla 14. Informe de Energía diario	86
Tabla 15. Informe de energía mensual	86
Tabla 16. Informe de Energía diario	95
Tabla 17. Informe de energía mensual	95
Tabla 18. Información en las conexiones	95
Tabla 19. Información en las tuberías	98
Tabla 20. Tabla comparativa de coste de energía	102

## Lista De Ecuaciones

	<b>pág.</b>
Ecuación 1. Potencia de la bomba	32
Ecuación 2. Eficiencia en motores de inducción trifásica	36
Ecuación 3. Caballos de potencia del motor	38
Ecuación 4. Ecuación general de la energía	50
Ecuación 5. Ecuación de Bernoulli	51
Ecuación 6. Ecuación de Darcy-Weisbach	53
Ecuación 7. Perdidas por accesorios	53
Ecuación 8. Coeficiente de fricción	54
Ecuación 9. Ecuación De Dotación Neta Bruta	62
Ecuación 10. Ecuación Caudal Medio Diario	63
Ecuación 11. Ecuación de Caudal Máximo Diario	64
Ecuación 12. Ecuación Para Hallar Caudal Máximo Horario	65
Ecuación 13. Ecuación para hallar el crecimiento poblacional	66

## Lista de Graficas

Grafica 1 Grafica de presión vs tiempo en los nodos de la red seleccionados	81
Grafica 2 Grafica de caudal vs tiempo en líneas de la red seleccionados	82
Grafica 3 Grafica de velocidad vs tiempo en líneas de la red seleccionados	82
Grafica 4 Grafica de presión vs tiempo en los nodos de la red seleccionados	84
Grafica 5 Grafica de presión vs tiempo en las líneas de la red seleccionados	85
Grafica 6 Grafica de velocidad vs tiempo en líneas de la red seleccionados	85
Grafica 7 Grafica de presión vs tiempo en los nodos de la red seleccionados	87
Grafica 8 Grafica de presión vs tiempo en las líneas de la red seleccionados	88
Grafica 9 Grafica de velocidad vs tiempo en líneas de la red seleccionados	88
Grafica 10 Grafica de presión vs tiempo en los nodos de la red seleccionados	98
Grafica 11 Grafica de caudal vs tiempo en las líneas de la red seleccionados	100
Grafica 12 Grafica de velocidad vs tiempo en líneas de la red seleccionados	101

## **Introducción**

El presente proyecto tiene el fin de realizar un estudio técnico-económico de la estación de bombeo loma de Bolívar con el fin de analizar el funcionamiento de los equipos actuales y así obtener su mejor eficiencia, esto se realiza a través de la toma directa de datos para poder conocer las condiciones de trabajo actual, en ellas podemos observar corriente, voltaje, potencias, eficiencias entre otros datos.

En el informe se realizan simulaciones en el programa EPANET bajo diferentes parámetros de trabajo con el fin de obtener un análisis detallado de cada uno de los equipos que se encuentran en la estación, ahí podemos evaluar su eficiencia y con ello su energía. Podemos analizar cada nodo en donde se pueden medir sus presiones, y cada tramo de tubería en la cual nos marca el caudal y la velocidad a la que circula el fluido en dicho tramo

Debido a la baja eficiencia que se registra en uno de los sectores a los cuales se bombea se desea sustituir un equipo, por el cual se realizan los cálculos necesarios con el fin de seleccionar el equipo que mejor satisfaga la necesidad, realizando un análisis entre el coste de la energía con los equipos actuales y el que se ha seleccionado.

Con la comparativa entre los dos equipos bajo las mismas condiciones de trabajo se toma como referencia el coste operacional de cada uno y con ello se puede analizar cuál es el porcentaje de ahorro de energía que se ve representado en dinero.

## **1 Título**

EVALUACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS ACTUALES DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO EN LA ESTACIÓN LOMA DE BOLÍVAR Y RECOMENDACIONES PARA LA REDUCCIÓN DEL COSTO DE LA ENERGÍA EN LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A E.S.P.

### **1.1 Planteamiento Del Problema**

En el sector industrial, la energía consumida por los sistemas de bombeo representa la mayor parte de los gastos relacionados con la electricidad debido a los altos costos que estos conllevan, así que lograr un punto máximo de operación a es de vital importancia para evitar el gasto innecesario de la energía.

Los sistemas de bombeo representan el 20% de la demanda mundial de energía eléctrica y entre el 25% al 50% del uso de la energía eléctrica en ciertas aplicaciones. Los equipos de bombeo son el mayor usuario de electricidad en toda la Unión Europea, consumiendo más de 300 TWhpa de electricidad, lo que a su vez representa más de 65 millones de toneladas en emisiones de CO<sub>2</sub> (Mundo compresor portal industrial, s. f.).

Otro factor que influye en la pérdida energética es el sobredimensionamiento en los equipos de bombeo, el mal cálculo en los diseños conlleva a que haya recursos que no se utilicen de la mejor manera, produciendo un sobre costo por energía mal aprovechada; realizar un estudio para conocer a detalle las necesidades que se desean satisfacer es una manera de evitar que los equipos instalados no se empleen de la mejor manera y así logrando obtener su punto de mayor eficiencia.

Los equipos de bombeo rotodinámicos representan el 80% de la base instalada y están sobredimensionados entre un 20-30%. Por lo tanto, se podría lograr un gran ahorro de energía si estos equipos de bombeo rotodinámicos tuvieran el tamaño y el funcionamiento adecuados (Mundo compresor portal industrial, s. f.).

Las pérdidas de energía en el sistema es una de las principales causas del incremento de energía; las perdidas hidráulicas, volumétricas, mecánicas y por fricción son las protagonistas de no obtener un aprovechamiento total.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado la empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A E.S.P busca realizar un estudio de rendimiento para los equipos actuales de bombeo en la estación Loma de Bolívar.

El estudio en mención busca obtener los datos reales de eficiencia y pérdidas en la estación con el objetivo de disminuir las perdidas en el sistema de abastecimiento y así lograr un incremento en su rendimiento.

## **1.2 Formulación Del Problema**

¿Qué recomendaciones se pueden generar por la reducción del costo de la energía en la empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A E.S.P a partir de la evaluación de los rendimientos actuales de los equipos de bombas?

## **1.3 Justificación**

### ***1.3.1 Razón De Ser Del Proyecto***

El proyecto corresponde al estudio y evaluación del rendimiento de los equipos actuales de bombeo en la estación loma de Bolívar en la empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A E.S.P,



esta empresa presta un servicio de vital importancia como lo es el suministro de agua potable en la ciudad de Cúcuta.

La calidad de vida de la población depende del acceso a los bienes necesarios para su supervivencia. El agua potable, así como las aguas residuales, son de importancia fundamental para impedir y reducir la propagación de enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento y la salud (ESSAP S.A, s. f.).

Es muy importante contar con los registros necesarios para controlar el funcionamiento adecuado de la estación de bombeo. Los principales parámetros que se registran en la estación de bombeo Loma de Bolívar son: eficiencias, potencias, pérdidas de energía, presiones, caudales, velocidades, corrientes, amperajes.

Con este estudio se busca detectar las principales causas de pérdida de energía en las estaciones de bombeo y realizar recomendaciones que logren mejorar dicho problema para que operen en óptimas condiciones así logrando reducir el costo de la energía en la empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A E.S.P.

### ***1.3.2 Perspectiva***

En este estudio se pretende obtener los datos reales de operación de la estación de bombeo con el fin de realizar un análisis que nos lleve a optimizar y mejorar el rendimiento, y así lograr disminuir el costo de la energía; también se pretende plantear una solución debido al sobredimensionamiento de los equipos actuales con el objetivo de obtener mejores registros de eficiencia los cuales se vean reflejados en el consumo de energía.

En el actual estudio también se desea conocer las pérdidas de energía que se generan en el sistema, para así dar solución a cada una de estas fallas y obtener un punto de rendimiento óptimo y lograr disminuir los sobrecostos que se generan por energía mal aprovechada.

#### **1.4 Sistematización Del Problema**

- ¿Cómo localizar las principales pérdidas de energía en la red de abastecimiento para dar posibles soluciones contribuyendo al ahorro de la energía en la empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A E.S.P?
- ¿Cómo recolectar datos para el cálculo de pérdidas y eficiencias en la red de abastecimiento?
- ¿Cómo evaluar la viabilidad del proyecto realizado?

#### **1.5 Objetivos**

##### ***1.5.1 Objetivo General***

Realizar evaluación Técnica - Económica de los equipos de bombeo de la estación loma de Bolívar, de la empresa Aguas kpital Cúcuta S.A E.S.P.

##### ***1.5.2 Objetivos Específicos***

- Detectar fallas que generan pérdidas de energía en el sistema.
- Hallar potencias y eficiencias en las bombas de la estación a través de la lectura directa de datos.
- Dar recomendaciones para reducir el costo de la energía.
- Evaluar la viabilidad del proyecto.

## **1.6 Delimitación Del Problema**

### ***1.6.1 Espaciales***

Este proyecto se realizará en la estación de bombeo loma de bolívar de la empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A E.S.P ubicada en la calle 6a #19-196 barrio 28 de Febrero.

### ***1.6.2 Temporales***

El estudio tendrá una duración de cinco meses a partir del 01 de diciembre del 2022 hasta el 30 de abril de 2023.

## **2 Marco Referencial**

### **2.1 Antecedentes**

(Córdoba & Velásquez, 2022) *Estudio energético de una estación de bombeo de agua potable basado en la evaluación de distintas técnicas que reduzcan el consumo de energía.*

Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Facultad de ingeniería, Mecatrónica y Electromecánica. Medellín, Colombia.

Este trabajo se basa en la evaluación de distintas técnicas que permiten reducir el consumo de energía en una estación de bombeo para distribución de agua potable en la ciudad de Medellín, con el fin de mejorar su eficiencia y obtener ahorros importantes en el consumo de energía que apalanquen nuevas inversiones sobre el sistema mediante los incentivos logrados por los ahorros, todo esto sin afectar los requerimientos de operación y demanda que exige la estación. Además, se realizó una evaluación económica con la técnica de ahorro que más se ajustó a los requerimientos técnicos actuales del sistema. La modelación matemática y los cálculos se realizaron a partir de la toma de mediciones hidráulicas y eléctricas validadas con equipos especializados y metodologías ampliamente utilizadas en el diagnóstico de sistemas de bombeo. Las técnicas presentadas en el estado del arte por diferentes autores ofrecen alternativas

dentro del alcance de los recursos humanos y tecnológicos con los que se puede lograr los objetivos planteados en este trabajo. Las principales limitantes de cada técnica fueron evaluadas acorde al contexto operativo del sistema de bombeo y la viabilidad económica de las mismas. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran un potencial de ahorro de energía cercano a los 20 MWh/Año y una reducción de 4,1 TCO<sub>2</sub>eq/año lo cual representa una suma importante en términos de energía y aporte al medio ambiente.

En este trabajo podemos identificar las variables a considerar para reducir considerablemente el costo de energía en una estación de bombeo en la ciudad de Medellín, allí analizan las mayores causas de pérdidas en el sistema lo cual conlleva a un mayor gasto energético, utilizan diferentes tipos de técnicas para reducir el costo de energía sin perjudicar el correcto funcionamiento de la estación, por el contrario, aumentando los índices de eficiencia y contribuyendo con el medio ambiente.

(Conrado, Arrieta, & Forero, 2020) *Optimización energética de bombas centrífugas a través de un análisis paramétrico en CFD y modelos de pérdida de energía*. Universidad del Atlántico, Barranquilla. Barranquilla, Colombia.

La optimización energética de bombas centrífugas comprende diversas formas de estudio, entre ellas, la aplicación de análisis paramétricos sobre una bomba centrífuga comercial, generando cambios dimensionales que puedan ser estudiados a través de CFD y que permitan obtener una configuración paramétrica con mejores niveles de eficiencia. Adicionalmente, la incorporación de modelos de pérdida de energía sobre los análisis paramétricos, permite comprender de forma más detallada las causas de reducción de eficiencia bajo distintas condiciones de operación.

La optimización de energía se ha convertido en un tema de gran importancia en la investigación, dando de forma detallada y precisa las distintas pérdidas que se generan en el sistema y así encontrando soluciones que conlleven a una gran reducción de costos energéticos y lograr que sistemas aumenten su nivel de rendimiento.

(Victoria, 2006) *Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica*. Universidad de san Carlos de Guatemala, facultad de ingeniería, escuela de ingeniería civil, Guatemala.

En el capítulo uno se hace la descripción de los conceptos fundamentales del flujo de fluidos. Dichos conceptos sirven para conocer el comportamiento de la dinámica de los fluidos, conociendo sus propiedades fundamentales, en este caso, el fluido a estudiar es el agua. Dentro de estos conceptos se pueden mencionar el flujo, tipos de flujos, la conservación de la energía, utilizando la ecuación de Bernoulli y el número de Reynolds, entre otros. En el capítulo dos se desarrollan los temas referentes a las pérdidas de carga. En estos temas se hace mención a las pérdidas de las cargas que ocurren en los artefactos de tuberías, tales como codos, válvulas, entre otros. Además, se hace referencia a las fórmulas teóricas utilizadas para el cálculo de dichas pérdidas. En el capítulo tres se desarrollan los temas que hacen referencia a los instrumentos utilizados para la medición de caudal. Entre estos instrumentos se pueden mencionar el venturímetro, el rotámetro, los orificios y otros. Además, se hace mención de las especificaciones que se deben de tomar en cuenta en las tuberías. En el desarrollo del capítulo cuatro, se describen los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio, tales como ensayos de pérdidas de energía por fricción, perdidas de energía en distintos tipos de válvulas y codos y la calibración de un venturímetro.

En la investigación anterior podemos observar y analizar las pérdidas por fricción en tuberías y en accesorios, se realizan diferentes ensayos de laboratorio bajo diferentes condiciones para así lograr un análisis más a detalle del comportamiento de los fluidos en tuberías y accesorios.

(Naranjo, Bayona, & Rey, 2019) *Cálculo de las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas en una planta de tratamiento de agua industrial en Barrancabermeja, Santander*. Unidades tecnológicas de Santander facultad de ciencias naturales e ingenierías tecnología en operación y mantenimiento electromecánico Barrancabermeja. Barrancabermeja, Colombia.

Las pérdidas de carga ( $\Delta H$ ) es la altura que se pierde por los rozamientos que ofrecen al paso del líquido las tuberías, válvulas, filtros, curvas y otros accesorios. Teniendo en cuenta las clases de tuberías y modo de transporte se puede tener pérdidas de carga por el material transportado y el mantenimiento de tuberías, presión de carga y diámetro de la misma debido a la presencia de fenómenos locales originados por cambios en la alineación de la tubería, por cambios en la sección de la tubería, por la presencia de emboques y desemboques y por la presencia de elementos que puedan obstaculizar o alterar las condiciones del flujo, como es el caso de válvulas o derivaciones (Pérdidas localizadas). (Gutiérrez L., 2007 - 2008) Las pérdidas debidas a la instalación y desgaste de las tuberías son conocidas con el nombre de pérdidas reales o técnicas, y son las pérdidas físicas de agua, pues las otras son debidas a problemas en la medición o gestión del sistema. Cuando una tubería es sometida a altas presiones en la red (Montoya & Montoya, 2012) En este proyecto determinaremos las pérdidas de carga que tiene

un sistema de redes hidráulicas de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un software que se desarrollara.

En la investigación anterior se hallan pérdidas de carga en un sistema de redes hidráulicas en la planta de tratamiento de aguas residuales, se puede observar detenidamente como varían las pérdidas conforme se va cambiando los datos a analizar, podemos identificar la variación en cada accesorio y en cada tipo de tubería ya sea por su tipo de material o su diámetro.

(García, 2022) *Optimización energética en sistemas de bombeo con bombas centrífugas, desarrollo de un caso práctico*. Universidad EAFIT, escuela de ingenierías. Medellín, Colombia.

La optimización energética de un sistema de bombeo se refiere al análisis y estudio de un sistema de bombeo que utiliza bombas centrífugas, con el objeto de mejorar sustancialmente la eficiencia operativa del sistema, esto es, minimizar el consumo de energía, con el objeto de obtener una reducción significativa en los costos de operación (por consumo de energía), a la vez que se mejora el desempeño del equipo y se reducen los costos de mantenimiento. En sistemas de bombeo existentes, es preciso llevar a cabo una adecuada caracterización hidráulica del sistema, con el objeto de lograr su optimización energética en la condición actual. La caracterización hidráulica del sistema se refiere al levantamiento de las curvas de desempeño hidráulico de los equipos y sistemas de tuberías, tendiente a establecer las diferencias entre la condición original del sistema de bombeo y la condición actual después de determinados años de trabajo, lo cual aportará argumentos para efectuar las recomendaciones del caso que facilitarán la respectiva toma de decisiones por parte del dueño del proyecto, fundamentado en sus propios

critérios, como puede ser el análisis costo - beneficio. El mejoramiento de la eficiencia energética de los sistemas de bombeo, además de reducir los costos por consumo de energía, trae como consecuencia otros beneficios de alto impacto para el sistema de bombeo, puesto que mientras más cerca del punto de máxima eficiencia de la bomba opere la unidad de bombeo, mayor durabilidad, es decir, mayor vida útil tendrán las piezas y componentes internos del equipo, con lo cual se disminuyen los respectivos costos de mantenimiento, se reduce la frecuencia de intervenciones para realizar mantenimientos correctivos, y se mejora sustancialmente el desempeño del sistema de bombeo. Para realizar la optimización energética de un sistema de bombeo, será preciso incurrir en algunos costos, tanto para realizar los análisis, estudios, caracterizaciones y pruebas, como para realizar las reformas a los sistemas, en caso de que fuera necesario, de acuerdo con los resultados del análisis costo-beneficio que realice el propietario del proyecto, y de acuerdo con las diferentes alternativas de solución disponibles.

El estudio de optimización energética es importante ya que se puede reducir considerablemente los gastos económicos en energía, también se pueden plantear soluciones que harán que el funcionamiento de la estación aumente su eficiencia, se tendrán datos precisos de cómo opera la planta bajo diferentes condiciones y con dichos datos analizar y dar soluciones a las problemáticas encontradas durante el estudio.

(Valle & Valdes, 2011) *Selección hidráulica de bombas rotodinámicas de diseño eficiente*. Ingeniería hidráulica y ambiental, (VOL. XXXII, No. 2), P 58-68.

Se presenta una metodología para la selección hidráulica de bombas rotodinámicas de diseño eficiente para instalaciones de bombeo para abastecimiento de agua urbano. Se introducen



nuevos conceptos, criterios y enfoques que se complementan durante el desarrollo del procedimiento analítico de selección, como son: la velocidad específica máxima ( $N_{qm}$ ), la ecuación que representa la dependencia funcional entre la velocidad específica de succión,  $S$  y la velocidad específica,  $N_q$ , el número máximo de rotación de las bombas ( $n_m$ ), las velocidades específicas principales ( $N_{qp}$ ), el número de etapas óptimas, ( $n_{eo}$ ), el intervalo eficiente del diámetro específico y la estimación de la eficiencia de referencia para las bombas rotodinámicas. El uso de esta metodología permitirá realizar la selección hidráulica de las bombas rotodinámicas con diseño eficiente para una aplicación determinada en la etapa de solicitud de oferta en la fase de anteproyecto.

## **2.2 Marco Teórico**

### **2.2.1 *Sistemas de bombeo***

Según (Blanco, Veladre, & Fernández, 2018), “Un sistema de bombeo es un grupo de elementos que permiten el transporte de un fluido desde un punto a otro, el cual también garantiza el almacenamiento temporal del fluido de trabajo. En un sistema típico los elementos se enlazan por medio de tuberías desde el punto de origen (tanque de succión) hasta el punto de destino (tanque de impulsión o descarga) con sus respectivas válvulas tanto en la succión como en la impulsión, donde los elementos que proporcionan la energía necesaria para transportar el fluido son la bomba y el motor.”

Según (Lima, 2005) existen dos tipos de sistemas de bombeo:

- De cabeza estática: cuando el sistema incluye un tanque de almacenamiento en una cota

superior a la del sistema.

- **Bombeo a la red:** cuando un sistema de bombeo no incluye reservorio y se abastece directamente a una red de tuberías.

Los sistemas de bombeo también se pueden clasificar según su demanda como:

- **De caudal constante:** son sistemas que requieren un caudal específico y este se mantiene en el tiempo que opere la bomba manteniéndose constante a lo largo de su funcionamiento.
- **De caudal variable:** son sistemas que trabajan a demanda de los procesos donde la producción es variable.

### ***2.2.2 Clasificación De Las Bombas***

Las bombas pueden ser clasificadas teniendo en cuenta sus aplicaciones, materiales de los que están fabricadas, el líquido bombeado e incluso su orientación en el espacio.

Todas estas clasificaciones tienen un alcance limitado y tienden a superponerse. Todas las bombas se pueden dividir en dos categorías principales (Karassik, Messina, Cooper, & Heald, 2006):

**Bombas Dinámicas.** En las que se agrega energía continuamente para aumentar las velocidades del fluido al interior de la máquina a valores mayores a los que se presentan en la descarga, de modo que la reducción de la velocidad que ocurre dentro o más allá de la bomba, produce un aumento de la presión (Figura 1).

**Figura 1**  
*Bomba dinámica*



**Nota:** Bomba dinámica. Tomado de *Seguas*. (10 de septiembre de 2019). *Bombas centrífugas y su uso en instalaciones*

**Bombas De Desplazamiento.** en las que la energía es adicionada de forma periódica mediante la aplicación de fuerza en uno o más límites móviles de cualquier número deseado de volúmenes cerrados que contienen fluido, lo que resulta en un aumento directo en la presión hasta alcanzar el valor requerido para mover el fluido a través de válvulas o puertos localizados en la línea de descarga. En este caso, el aumento en la presión del fluido se logra mediante la aplicación de principios de la hidrostática. Este tipo de bombas también se conocen con el nombre de bombas de desplazamiento positivo (Figura 2).

**Figura 2**  
*Bomba de desplazamiento positivo*



*Nota:* Bomba de desplazamiento positivo. Tomado de *Desplazamiento positivo de engranaje*. (2016, 27 de octubre). IACOL INGENIEROS SAS; IACOL INGENIEROS SAS  
<https://www.iacolingenieros.com/producto/bombas-desplazamiento-positivo-de-engranaje/>

Las bombas dinámicas pueden subdividirse en varias categorías, como son las bombas centrífugas y las bombas de efectos especiales. Las bombas de desplazamiento se dividen principalmente en tipos alternativos y rotativos, dependiendo de la naturaleza del movimiento de los elementos que generan la presión.

**Bomba Hidráulica.** Según (Karassik, Messina, Cooper, & Heald, 2006), una bomba hidráulica es una máquina de fluido en la que el fluido es el receptor de la energía impartida por el motor de accionamiento. Es, por lo tanto, una máquina generadora; en éstas el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente de densidad en su paso a través de la máquina, por lo cual, en el diseño y estudio de la misma, se hace la hipótesis de que la densidad del fluido es constante, es decir, el fluido es incompresible.

**Bomba Centrífuga O Rotodinámica.** Las bombas rotodinámicas o centrífugas son máquinas cinéticas en las que la energía es continuamente transmitida al fluido bombeado a través de un elemento rotativo llamado impulsor o rodete. Las bombas rotodinámicas o centrífugas hacen parte de las llamadas

turbomáquinas. Estas bombas transmiten energía mecánica al fluido principalmente aumentando la energía cinética del fluido. Posteriormente la energía cinética se convierte en energía potencial (presión) en la descarga de la bomba. (Hydraulic Institute ANSI/HI 14.1-14.2, 2019)

**Bombas Centrifugas De Flujo Axial.** Una bomba de flujo axial tiene un impulsor de una sola entrada, el flujo entra y descarga axialmente, es decir, la dirección del flujo a su paso por el rodete o impulsor es paralela al eje de rotación. Los impulsores de este tipo son llamados hélices (o propellers, que corresponde al término en inglés) y no tienen cubiertas (shrouds). Los impulsores de flujo axial se usan típicamente para aplicaciones con bombas de una sola etapa y con necesidad de bombear fluido a una baja altura. Las bombas de este tipo usualmente tienen una velocidad específica aproximada superior a 200 (10.000 en sistema métrico). (Hydraulic Institute ANSI/HI 14.1-14.2, 2019). En este tipo de bombas, la velocidad absoluta del fluido, en ningún punto de la superficie de los álabes tiene componente radial (Figura 3). Es decir, el flujo entre la entrada y la salida del álabe solo tiene componentes axiales y tangencial (Quirós Morales).

**Figura 3**

*Bomba centrifuga de flujo axial*



*Nota:* Bomba centrífuga de flujo axial. Tomado de *Bombas de flujo axial* . (Dakota del Norte).

*Sulzer.com. Recuperado el 5 de febrero de 2023, de <https://www.sulzer.com/es-es/spain/products/pumps/axial-flow-pumps>*

**Bombas Centrífugas De Flujo Mixto.** Las bombas de flujo mixto tienen un impulsor de una sola entrada, el flujo entra de forma axialmente y descarga con un ángulo de  $45^\circ$  aproximadamente, formado con el eje de rotación del impulsor. Las bombas de este tipo suelen tener una velocidad específica entre aproximadamente 90 (4500 en sistema métrico) y 200 (10.000 en sistema métrico) y pueden manejar líquidos con sólidos en suspensión. Los impulsores de este tipo son semiabiertos o cerrados. (Hydraulic Institute ANSI/HI 14.1-14.2, 2019). La velocidad absoluta en las bombas de flujo mixto tiene, a su paso a través de los álabes, las tres componentes: radial, axial y tangencial. (Quirós Morales). Estas bombas se utilizan para alturas y caudales intermedios, el impulsor es más ancho que los de flujo radial y los

alabes adquieren una doble curvatura, torciéndose en el extremo de la succión (Figura 4).

**Figura 4**

*Bombas de flujo mixto*



*Nota:* Bomba de flujo mixto. Tomado de *Aguamarket. (nd-a). Bombas IHM Flujo Mixto.*

*Aguamarket.com. Recuperado el 5 de febrero de 2023, de*

*<https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=19792>*

**Bombas Centrifugas De Flujo Radial.** El movimiento del fluido se inicia en un plano paralelo al eje de giro del impulsor de la bomba y termina en un plano perpendicular a éste (Figura 5). Estas bombas pueden ser horizontales o verticales. Tomado de (Vázquez Bedolla, González Lozano, Gómez Badillo, Ciprés Esquivel, & Romero Gutiérrez).

**Figura 5**

*Bomba centrifuga de flujo axial*



*Nota:* Bomba centrífuga de flujo axial. Tomado de *Bombas de flujo axial . (Dakota del Norte).*

*Sulzer.com. Recuperado el 5 de febrero de 2023, de <https://www.sulzer.com/es-es/spain/products/pumps/axial-flow-pumps>*

### **2.2.3 Eficiencia De La Bomba**

La eficiencia de la bomba es la relación entre la potencia de agua entregada por una bomba centrífuga y la potencia de frenado entregada al eje de la bomba. Al seleccionar una bomba, una preocupación clave es optimizar la eficiencia del bombeo. El uso de energía en una instalación de bombeo está determinado por el flujo requerido, la altura elevada y las características de longitud y fricción de la tubería. La potencia requerida para conducir una bomba se define simplemente usando unidades SI mediante la siguiente ecuación (Ecuación 1).

#### **Ecuación 1**

*Potencia de la bomba*

$$P = \frac{\rho g Q}{H}$$



*Nota: Ecuación de eficiencias en bombas. Tomado de Predictiva. (2021, 25 de agosto). 3.3.- Potencia y Eficiencia en las Bombas Centrífugas. Predictiva21 . <https://predictiva21.com/3-3-potencia-eficiencia-bombas-centrifugas/>*

dónde:

- P es la potencia de entrada requerida (W)
- $\rho$  es la densidad del fluido ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )
- g es la aceleración estándar de la gravedad ( $9.81 \text{ m} / \text{s}^2$ )
- H Altura total de bombeo incluyendo la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores existentes en las tuberías de impulsión (m).
- Q es el caudal ( $\text{m}^3 / \text{s}$ )
- $\eta$  es la eficiencia de la bomba

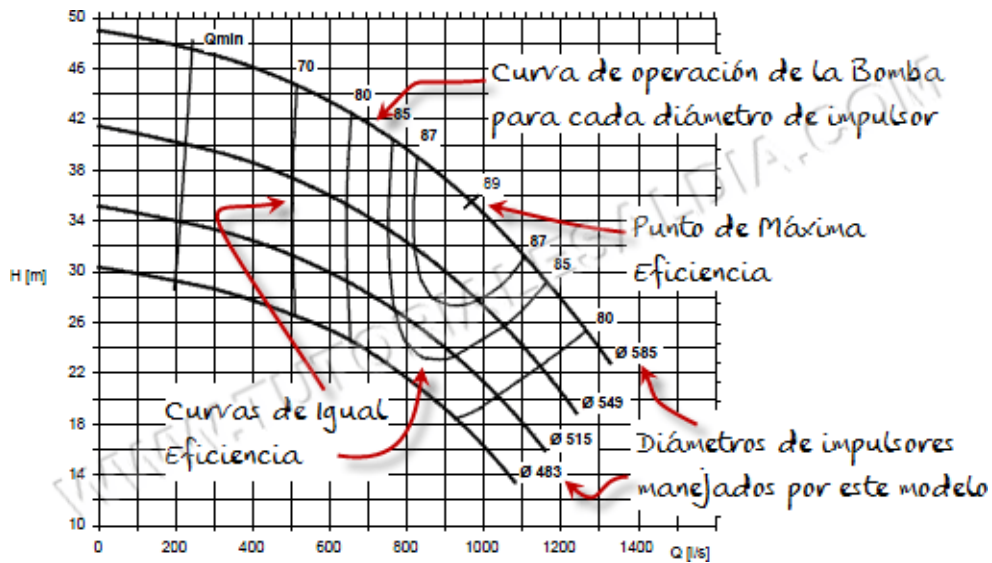
#### **2.2.4 Curva Característica De Una Bomba Centrífuga**

Es un gráfico que representa la relación única de Carga – Caudal que garantiza la Bomba a determinada velocidad de rotación de su impulsor.

De esta forma, los fabricantes de las Bombas para Agua y otros productos, suelen generar para cada uno de sus modelos, Catálogos desde los cuales el diseñador de las Estaciones de Bombeo, pueda seleccionar la Curva Característica de una Bomba Centrífuga en función del punto de operación de la instalación en la que ésta se dispondrá (Figura 6).

**Figura 6**

Curva característica de la bomba



**Nota:** Curva característica de la bomba. Tomado de *¿Sabes Qué es la Curva Característica de Una Bomba Centrífuga?* (2012, March 5). Tutoriales al Día - Ingeniería Civil | Tutoriales y Artículos para Ingenieros Civiles, Tips, y aplicaciones prácticas de la Ingeniería Civil; Tutoriales al Día - Ingeniería Civil. <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/sabes-que-es-la-curva-caracteristica-de-una-bomba-centrifuga/>

### 2.2.5 Motores Eléctricos

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos magnéticos variables, los motores eléctricos se componen en dos partes una fija llamada estator y una móvil llamada rotor (Figura 7).

Los motores eléctricos se clasifican principalmente en dos tipos o categorías, dependiendo del tipo de energía eléctrica aplicada: motores de corriente continua (DC) y motores de corriente alterna (AC).

**Motor De Inducción.** La máquina que no funciona a velocidad síncrona se llama motor de inducción o asíncrono. Este motor utiliza el fenómeno de inducción electromagnética para transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

De acuerdo con la construcción del rotor, hay dos tipos de motor de inducción:

**Rotor De Jaula De Ardilla.** El rotor jaula de ardilla disminuye el zumbido y el bloqueo magnético del rotor.

**Rotor De Herida.** Este rotor también se conoce como el rotor de anillo colector, y el motor que utiliza este tipo de rotor se conoce como el rotor de fase herida.

Por las fases, el motor de inducción se clasifica en dos tipos:

**Motor De Inducción Monofásico.** La máquina que cambia la energía eléctrica de CA de una fase en energía mecánica mediante un fenómeno de inducción electromagnética se conoce como motor de inducción monofásico.

**Motor Asíncrono O De Inducción Trifásico.** El motor que convierte la energía eléctrica CA trifásica en energía mecánica, se conoce como motor de inducción trifásico.

**Eficiencia En Motores De Inducción Trifásico.** la eficiencia de motor eléctrico es la relación entre la potencia de salida (mecánica) y la potencia de entrada (eléctrica).

La salida de potencia mecánica se calcula en base al par y la velocidad requerida (es decir, la potencia requerida para mover el objeto conectado al motor) y la entrada de energía eléctrica se calcula en base al voltaje y la corriente suministrada al motor.

### **Ecuación 2**

*Eficiencia en motores de inducción trifásica*

$$EF = \frac{(CV)(746)}{(1.73)(v)(i)(\cos\phi)}$$

**Nota:** Formula para hallar la eficiencia en motores de inducción trifásica. Tomado de Andrés.

(2022). Eficiencia de un motor eléctrico y los valores más

comunes. *Electricaplicada*. [https://www.electricaplicada.com/eficiencia-de-un-motor-electrico-](https://www.electricaplicada.com/eficiencia-de-un-motor-electrico-y-los-valores-mas-comunes/)

[y-los-valores-mas-comunes/](https://www.electricaplicada.com/eficiencia-de-un-motor-electrico-y-los-valores-mas-comunes/)

Donde:

- **EF:** Eficiencia del motor de inducción trifásica.
- **CV:** Potencia del motor eléctrico.
- **746:** es la constante para la conversión de vatios a caballos de potencia  
(746 vatios = 1 CV)
- **El valor 1,73:** es una constante utilizada cuando se calcula la potencia trifásica
- **La Tensión (V):** es el promedio de las tres tensiones medidas:  $(A-B + A-C + B-C) / 3$
- **El Amperaje (I):** es la corriente promedio de las tres fases medidas:  $(A+B+C) / 3$

- **El Factor De Potencia (  $\cos \varphi$  ):** es la relación de la potencia (kW) con la potencia aparente (kVA). En ausencia de instrumentos de medición del factor de potencia, una regla de oro es calcular el factor de potencia a 0,85.

**Motor Lineal.** Los motores lineales funcionan con una fuente de alimentación de CA y un servo controlador, que suelen ser los mismos que se utilizan para los servomotores rotativos. La parte principal del motor lineal se conecta a la fuente de alimentación para producir un campo magnético. Al cambiar la fase de la corriente en las bobinas, se cambia la polaridad de cada bobina.

**Motor Síncrono.** La máquina que cambia la corriente alterna en energía mecánica a la frecuencia deseada se conoce como el motor síncrono. En este tipo, la velocidad del motor se sincroniza con la frecuencia de la corriente de suministro.

**Motor De Corriente Continua.** Una máquina que convierte la energía eléctrica de DC en energía mecánica se conoce como motor de corriente continua. Su trabajo depende del principio básico de que cuando se coloca un conductor de corriente en un campo magnético, se ejerce una fuerza sobre él y se desarrolla un par.

El motor de corriente continua se clasifica en dos tipos, es decir, el motor de excitación independiente y motor autoexcitación.

**Motor De Excitación Independiente.** En este tipo de motor eléctrico, el bobinado de CC es excitado por una fuente de CC independiente. Con la ayuda de la fuente separada, el bobinado de la armadura del motor es excitado y produce corriente.

**Motor Autoexcitación.** Por la conexión del bobinado de campo, el motor de corriente continua autoexcitación se clasifica además en tres tipos: en serie, de autoexcitación o derivación y el motor de autoexcitación o compuesta.

**Figura 7**  
*Motor eléctrico*



**Nota:** Motor eléctrico. Tomado de *Los tipos comunes de motores eléctricos. (Dakota del Norte).* Hvhindustrial.com. Recuperado el 5 de febrero de 2023, de <https://hvhindustrial.com/es/blog/Tipos-de-Motores-El%C3%A9ctricos>

### 2.2.6 Cómo Determinar Los Caballos De Potencia Reales Del Motor

El motor que está en marcha con valores de corriente y tensión debe medirse y registrarse de manera sistemática como parte de un programa preventivo de mantenimiento. Use esta fórmula para estimar los caballos de potencia del motor: Caballos de vapor (CV) = tensión x amperaje x % de EF (eficiencia de motor) x factor de potencia x 1,73/746. (Consulte el diagrama a continuación para obtener más detalles).

Use esta fórmula para estimar los caballos de potencia del motor

**Ecuación 3**  
*Caballos de potencia del motor*

$$CV = \frac{(v)(i)(EF)(\cos\phi)(1.73)}{746}$$

**Nota:** Ecuación para hallar caballos de potencia del motor eléctrico. Tomado de *Fluke*.

(s. f.). *Determinación de los caballos de fuerza de carga y las dimensiones del cableado y el*

*disyuntor para instalaciones seguras y eficientes. Fluke. [https://www.fluke.com/es-](https://www.fluke.com/es-co/informacion/blog/calidad-electrica/determinacion-de-los-caballos-de-fuerza-de-carga-y-las-dimensiones-del-cableado-y-el-disyuntor-para-instalaciones-seguras-y-eficientes#:~:text=Use%20esta%20f%C3%B3rmula%20para%20estimar,continuaci%C3%B3n%20para%20obtener%20m%C3%A1s%20detalles)*

*co/informacion/blog/calidad-electrica/determinacion-de-los-caballos-de-fuerza-de-carga-y-las-*

*dimensiones-del-cableado-y-el-disyuntor-para-instalaciones-seguras-y-*

*eficientes#:~:text=Use%20esta%20f%C3%B3rmula%20para%20estimar,continuaci%C3%B3n*

*%20para%20obtener%20m%C3%A1s%20detalles).*

Dónde:

- **La Tensión (V):** es el promedio de las tres tensiones medidas:  $(A-B + A-C + B-C)/3$
- **El Amperaje (I):** es la corriente promedio de las tres fases medidas:  $(A+B+C)/3$
- **La % EF:** es la eficiencia del motor (EF) según la placa de datos del motor.
- **El Factor De Potencia (  $\cos \phi$  ):** es la relación de la potencia (kW) con la potencia aparente (kVA). En ausencia de instrumentos de medición del factor de potencia, una regla de oro es calcular el factor de potencia a 0,85.
- **El valor 1,73:** es una constante utilizada cuando se calcula la potencia trifásica
- **746:** es la constante para la conversión de vatios a caballos de potencia (746 vatios = 1 CV)

### **2.2.7 Accesorios Para Tuberías**

Los accesorios de tubería se definen como los componentes de tubería que ayudan en el enrutamiento de tuberías para cambios de dirección, cambios de tamaño y conexiones de ramales. Los codos de tubería, los reductores de tubería, las conexiones en T, las conexiones Olet, las tapas, las cruces, etc. son accesorios de tubería y se usan mucho en la industria de tuberías como de plomería. Diferentes accesorios de tubería cumplen diferentes funciones según el diseño o los requisitos del proceso. Los accesorios de tubería se fabrican como artículos separados y se adquieren por separado. Los accesorios de tubería se conectan a la tubería mediante varias conexiones finales. Los accesorios para conductos juegan un papel importante en el buen funcionamiento de tuberías y tubos en diversas aplicaciones.

La industria de tuberías, tubos y plomería utiliza varios tipos de accesorios para conexiones de ramales u otros componentes de plomería en línea. Los accesorios de tubería comunes comúnmente utilizados en la industria se enumeran a continuación.

**Codos.** Un codo de tubería, por otro lado, es una curva de ingeniería específica, estándar, prefabricada como una pieza de carrete (basada en ASME B16.9) y diseñada para ser atornillada, bridada o soldada a la tubería con la que está asociada. Un codo puede ser de 45 grados o de 90 grados. También puede haber codos diseñados a medida, aunque la mayoría se clasifican como de “radio corto” o de radio largo” (Figura 8).

**Tipos De Codos De Tubería.** Diferentes de varios parámetros pueden fallar, los codos se clasifican de la siguiente manera:

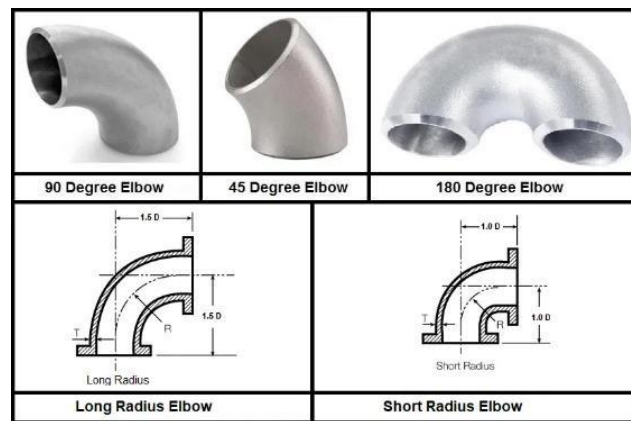
Tipos de codos de tubería según el ángulo de dirección



- codo de 45 grados
- codo de 90 grados
- codo de 180 grados

### Figura 8

*Tipos de codos*



*Nota:* Tipos de codos. Tomado de *Dey, Alaska (11 de diciembre de 2019). Codos de tubería frente a codos para sistemas de tuberías y plomería (PDF). ¿Qué es la tubería ?*

[https://whatispiping-com.translate.google.com/tuberias-codos-y-codos/?\\_x\\_tr\\_sl=es&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=wapp](https://whatispiping-com.translate.google.com/tuberias-codos-y-codos/?_x_tr_sl=es&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=wapp)

Tipos de codos de tubería según el radio de curvatura:

- codo de radio largo
- Codo de radio corto

Tipos de codos de tuberías teniendo en cuenta las conexiones de los extremos de las tuberías

- Codo de tubería soldado a tope
- Codo de tubería soldado por encastre
- Codo de tubería roscada

**Conexiones En T En Tuberías.** Las conexiones en T para tuberías se utilizan para dividir el flujo de fluido principal en dos corrientes o para combinar el flujo de dos corrientes. El término Tee para este tipo de accesorios de tubería probablemente proviene del parecido con la letra inglesa Tee.

La tubería de ejecución principal a menudo se denomina cabecera y la otra como rama. El tamaño de la rama puede ser menor o igual al tamaño de la tubería de ejecución, pero no puede ser mayor. Las tes que tienen un tamaño de rama igual al tamaño de la carrera se denominan tees iguales y otras tees desiguales o tes reductoras.

***Tipos De Conexiones En T De Tubería.*** Las conexiones en T de tuberías se clasifican según el tamaño de la rama y la conexión final.

Según el tamaño de la rama, existen dos tipos de conexiones en T para tuberías:

- T igual
- Camiseta reductora

***T De Conexión Igual.*** Cuando el tamaño de la rama es igual al de la tubería de ejecución, se denomina conexión de tubería en T igual.

**T De Tubería Reductora.** En el caso de una T reducida, el tamaño de la rama es más pequeño que el tamaño de la tubería principal. hay una limitación en el tamaño de la rama. No puede ser lo suficientemente más pequeño. Por ejemplo, la T reductora de una tubería de 16" está disponible hasta un tamaño de ramal de 6". La T de tubería de 16" X 4" no se fabrica. Por lo general, las conexiones en T de reducción de tuberías se fabrican hasta un tamaño de tubería de derivación de un tamaño inferior a la mitad del tamaño de la tubería principal. Esta regla es válida hasta 28".

**Reductores De Tubería: Reductores Concéntricos, Reductores Excéntricos.** Un reductor de tubería es un tipo de accesorio de tubería que reduce el diámetro interior nominal de un diámetro interior más grande a un diámetro interior más pequeño. Los sistemas de tuberías y oleoductos no son de tamaño uniforme y existe el requisito de reducir o ampliar las líneas según los requisitos del proceso, los criterios hidráulicos o la disponibilidad de material. Aquí viene la importancia de un accesorio de tubería especial llamado Pipe Reducers o Pipe Expanders.

Los reductores de tubería se fabrican siguiendo los estándares ASME B16.9, DIN2615, JIS B2312 y ASME B16.11 y son componentes compactos y de alta confiabilidad. Los reductores de tubería generalmente se fabrican mediante un método de forjado conocido como "método de diámetro exterior".

**Tipos De Reductores De Tubería.** Los reductores de tubería son uno de los accesorios ampliamente más utilizados en la industria de tuberías para reducir o expandir el tamaño de la parte recta de la tubería. básicamente, hay dos tipos de reductores de tubería (Figura 9):

- Reductores concéntricos.
- Reductores excéntricos.

**Reductores Concéntricos.** En los reductores concéntricos, la reducción del área es concéntrica y la línea central de la tubería en el extremo más grande y en el más pequeño sigue siendo la misma. Estos estilos se utilizan normalmente para líneas verticales. Entonces, en los reductores concéntricos, el eje de la tubería sigue siendo el mismo. Los reductores son reversibles y se pueden utilizar en cualquier dirección.

**Reductores Excéntricos.** En el reductor excéntrico hay un desplazamiento entre las líneas centrales del extremo más grande y la línea central del extremo más pequeño. Este desplazamiento o excentricidad mantendrá un lado plano en la parte superior o inferior.

En un reductor excéntrico, la reducción del tamaño de la tubería se logra a un ritmo constante, pero mantiene un lado del accesorio en posición horizontal. El uso de reductores excéntricos también es reversible y se puede utilizar como expansores excéntricos. Los reductores excéntricos no son simétricos en sus líneas centrales.

### Figura 9

*Reductor concéntrico y excéntrico*



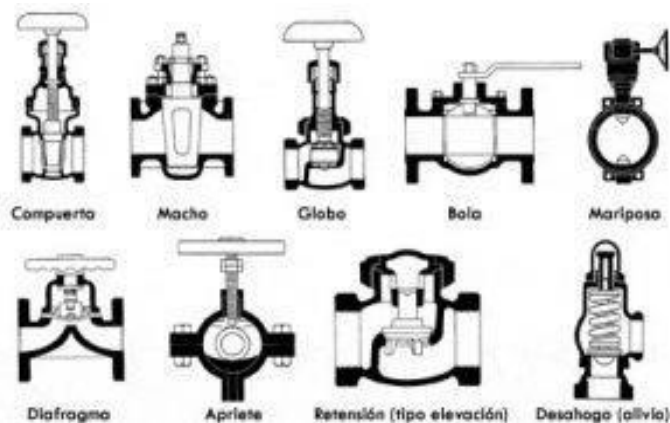
*Nota:* Reductor concéntrico y excéntrico. Tomado de *Reductor de tubería. (n.d.)*.

*Etwininternational.com. Retrieved February 5, 2023, from <https://mx.etwininternational.com/4-1-3-reducers-30939.html>*

**Válvulas En Tuberías.** Una válvula es un elemento mecánico utilizado en los sistemas de tuberías para iniciar, detener, mezclar, controlar o regular el flujo o la presión del fluido modificando el paso a través de la tubería. Las válvulas son una parte esencial de cualquier sistema de tuberías que transportan líquidos, vapores, lodos, gases, mezclas de líquidos y fases gaseosas de varios medios de flujo.

Los tipos comunes de válvulas pueden ser de accionamiento automático o manual o tener actuadores. Los actuadores de válvulas pueden ser eléctricos, neumáticos o hidráulicos, o una combinación para operar la válvula. Las válvulas están hechas de metales y no metales dependiendo de la aplicación (Figura 10).

**Figura 10**  
*Tipos de válvulas*



**Nota:** Tipos de válvulas. Tomado de *Los tipos de válvulas y sus características principales* – STHexpert. (n.d.). Standardhidraulica.com. Retrieved February 5, 2023, from <https://sthexpert.standardhidraulica.com/los-tipos-de-valvulas-y-sus-caracteristicas-principales/>

**Tipos De Válvulas.** Los tipos comunes de válvulas utilizadas en los sistemas de tuberías se pueden clasificar en función de varios parámetros, como:

- Tipos de válvulas basadas en funciones
- Tipos de válvulas basadas en la operación del actuador
- Tipos de válvulas basadas en el movimiento mecánico del miembro de cierre

**Tipos De Válvulas Basadas En Funciones.** La función principal de una válvula es: para iniciar o detener un flujo, para aumentar o reducir un caudal, para controlar el flujo, para evitar el reflujos, para aliviar un sistema de tuberías a una cierta presión para salvar el sistema, para estrangulador.

**Tipos De Válvulas Basadas En La Operación Del Actuador.** El operador es un dispositivo que ayuda a abrir o cerrar una válvula. Varios operadores disponibles en válvulas industriales son

***Palanca Manual.*** Se utiliza para accionar los vástagos de válvulas pequeñas de mariposa, de bola y de macho. La operación con llave se utiliza para válvulas de tapón pequeño.

***Volante.*** Para la mayoría de las válvulas más pequeñas populares, el volante es el medio más común para girar el vástago. Los volantes normales se pueden sustituir por volantes de golpe de martillo o de impacto cuando se necesita una operación más fácil.

***Cadena.*** Se usa donde un volante estaría fuera de alcance. El vástago está equipado con una rueda de cadena o una llave (para válvulas accionadas por palanca) y el bucle de la cadena se lleva a un metro del nivel del suelo de trabajo.

**Válvulas Operadas Por Engranajes.** Los operadores de engranajes se utilizan para reducir el par de operación. Consiste en un tren de engranajes accionado por volante manual que acciona el vástago de la válvula en el caso de un operador manual. Una regla general para la consideración del operador de engranajes es

- válvulas de 350 mm NB y mayores hasta 300 mm
- válvulas de 200 mm NB, y mayores hasta 600 mm
- válvulas de 150 mm NB, y mayores hasta 1500 mm
- válvulas de 100 mm NB y más grandes para clasificaciones más altas.

**Neumático E Hidráulico.** En situaciones donde la posibilidad de vapor inflamable es probable, se utiliza un operador neumático o hidráulico. Son de las siguientes formas:

- Cilindro con un pistón de doble efecto accionado por aire, agua, aceite u otro líquido, que por lo general acciona directamente el vástago.
- Motor neumático, que acciona el vástago a través de engranajes. Estos motores son normalmente del tipo radial de pistón y cilindro.
- Una paleta de doble efecto con movimiento giratorio limitado en una carcasa de sector, que acciona directamente el vástago.

**Motorreductor Eléctrico.** para válvulas grandes en climatización remota, se utiliza un motorreductor eléctrico para mover el vástago de la válvula.

**Solenoides.** se pueden usar para válvulas de retención de acción rápida y con válvulas de encendido/apagado en aplicaciones de instrumentación de servicio ligero.

### **Tipos De Válvulas Basadas En El Movimiento Mecánico Del Elemento De Cierre.**

Los elementos de cierre de la válvula presentan varios tipos de movimiento mecánico durante el funcionamiento. En consecuencia, las válvulas se agrupan de la siguiente manera:

***Válvulas De Movimiento Lineal.*** Las válvulas en las que el elemento de cierre se mueve en línea recta para permitir, controlar, regular, detener o estrangular el flujo se conocen como válvulas de movimiento lineal. Las válvulas de retención de compuerta, de globo, de diafragma, de pellizco y de elevación son válvulas de movimiento lineal. Las válvulas lineales son de dos tipos: de vástago ascendente (multivueltas) y axiales. En ambos tipos de válvulas, el obturador de flujo se mueve linealmente, pero existen grandes diferencias en la construcción y operación.

***Válvulas De Movimiento Rotatorio.*** En las válvulas de retención de mariposa, de bola, de tapón, excéntricas y de columpio, el elemento de cierre de la válvula se desplaza a lo largo de una trayectoria angular o circular. Estos tipos de válvulas se conocen como válvulas de movimiento giratorio, ya que estas válvulas dependen del movimiento giratorio del obturador de flujo. La rotación generalmente se limita a un cuarto de vuelta o 90 grados.

***Válvulas De Cuarto De Vuelta.*** Algunas válvulas de movimiento giratorio, por otro lado, requieren aproximadamente un cuarto de vuelta, es decir, 0° a 90° de movimiento del vástago para pasar de una posición completamente abierta a una posición completamente cerrada o viceversa. Tales válvulas se llaman válvulas de cuarto de vuelta.

**Unión De Tuberías.** La unión de tubo es un tipo especial de conexión de tubería que une dos tuberías y se puede separar fácilmente sin deformar las tuberías. Proporcione un sello positivo y fácil montaje y desmontaje. En aplicaciones de montaje de tuberías, se utilizan principalmente para las industrias de tuberías y plomería de pequeño diámetro. Las uniones de



tubería están hechas de acero al carbono, acero inoxidable, hierro fundido, cobre, níquel, aluminio, plástico, materiales de humo según la temperatura y los requisitos de servicio.

Una unión de tubería tiene tres partes; Un extremo macho, una tuerca y un extremo hembra. El extremo hembra tiene roscas en el interior mientras que las roscas están en el exterior en la parte del extremo macho. La tuerca proporciona la presión necesaria y sella la junta.

**Adaptadores De Tubería.** Los adaptadores como accesorios de tubería se utilizan para conectar tuberías diferentes. Los adaptadores de tubería están disponibles en varios tipos para diferentes aplicaciones. Por lo tanto, se debe tener cuidado al ordenar para obtener el tipo correcto. Se clasifican en: Adaptador de tubería de bloqueo, Adaptador de tubería compensada, Adaptador de tubería macho, Adaptador de tubería hembra, Adaptadores de rosca recta, etc. Encuentran su mayoría de aplicaciones en tuberías sanitarias para aplicaciones de plomería. Normalmente están hechos de acero, hierro fundido, polímeros, latón, aluminio, bronce y materiales de cobre.

**Cruz De Tubería.** Una tubería cruzada también es popular como un accesorio de tubería de cuatro vías, ya que consta de una entrada y tres conexiones de salida o viceversa. No son tan populares en las industrias del petróleo y el gas y rara vez se usan. Se utiliza en sistemas de rociadores contra incendios. En los cruces de tuberías, cuatro conexiones de tuberías se encuentran en un punto común.

### ***2.2.8 Ecuación General De La Energía***

Igual que en la ecuación de Bernoulli, cada término de la ecuación (Ecuación 4) representa una cantidad de energía por unidad de peso de fluido que circula por el sistema. Las

unidades comunes del SI son N\*m/N, o metros. Las del Sistema Tradicional de Estados Unidos son lb-pie/lb, o pies.

#### Ecuación 4

*Ecuación general de la energía*

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

**Nota:** Ecuación general de la energía. Tomado de “Mott Robert (2006). *Mecánica de fluidos*.

*Universidad de Dayton*”. Pearson Educación. P.223.

Donde:

- **P<sub>1</sub>**: Presión de fluido en el punto 1
- **P<sub>2</sub>**: Presión del fluido en el punto 2
- **v<sub>1</sub>**: Velocidad del fluido en el punto 1
- **v<sub>2</sub>**: Velocidad del fluido en el punto 2
- **h<sub>1</sub>**: Altura del fluido en el punto 1
- **h<sub>2</sub>**: Altura del fluido en el punto 2
- **ρ**: Densidad del fluido
- **g**: Aceleración de gravedad
- **h<sub>A</sub>**= Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba; es frecuente que se le denomine carga total sobre la bomba.
- **h<sub>R</sub>**= Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido.

- **h<sub>L</sub>**= Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios.

### 2.2.9 Ecuación De Bernoulli

La ecuación de Bernoulli (Ecuación 5) fue expuesta en el año de 1738 en la obra hidrodinámica por Daniel Bernoulli. Esta ecuación nos da a entender que un flujo ideal (sin viscosidad ni roce) relaciona la presión, la velocidad y la altura de dos puntos cualquiera de un fluido que se encuentra en régimen laminar con una densidad constante. La ecuación de Bernoulli suele escribirse de la siguiente manera:

#### **Ecuación 5** *Ecuación de Bernoulli*

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

**Nota:** Ecuación de Bernoulli. Tomado de “Mott Robert (2006). *Mecánica de fluidos. Universidad de Dayton*”. Pearson Educación. P.198.

Donde:

- **P<sub>1</sub>**: Presión de fluido en el punto 1
- **P<sub>2</sub>**: Presión del fluido en el punto 2
- **v<sub>1</sub>**: Velocidad del fluido en el punto 1

- $v_2$ : Velocidad del fluido en el punto 2
- $h_1$ : Altura del fluido en el punto 1
- $h_2$ : Altura del fluido en el punto 2
- $\rho$ : Densidad del fluido
- $g$ : Aceleración de gravedad

### ***2.2.10 Pérdidas Por Fricción Primaria***

Antes que nada, las pérdidas por fricción primaria se presentan porque al estar el fluido en movimiento habrá una resistencia que se opone a dicho movimiento, convirtiéndose parte de la energía del sistema en energía térmica, que se disipa a través de las paredes de la tubería por la que circula el fluido. Las válvulas y accesorios se encargan de controlar la dirección o el flujo volumétrico del fluido generando turbulencia local en el fluido, esto ocasiona una pérdida de energía que se transforma en calor. Estas últimas, las pérdidas son consideradas pérdidas menores ya que en un sistema grande las pérdidas por fricción en las tuberías son mayores en comparación a la de las válvulas y accesorios.

Las pérdidas y ganancias de energía en un sistema, por lo que, se contabilizan en términos de energía por unidad de peso del fluido que circula por él. Esto también, se conoce como carga (h):

$h_L$  = Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías o pérdidas menores por válvula u otros accesorios.

La fórmula de Darcy-Weisbach (Ecuación 6) , es la fórmula básica para el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías y conductos:

### **Ecuación 6**

*Ecuación de Darcy-Weisbach*

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

**Nota:** Ecuación de Darcy-Weisbach. Tomado de “*Mott Robert (2006). Mecánica de fluidos. Universidad de Dayton*”. Pearson Educación. P.233.

La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como para flujo turbulento de cualquier líquido en una tubería. Siendo f el factor de fricción el cual varía dependiendo que tipo de régimen se obtenga en dicha tubería.

#### **2.2.11 Pérdidas Por Fricción Secundaria**

Las pérdidas de carga localizadas o pérdidas secundarias (Ecuación 7) son pérdidas de carga debidas a elementos singulares de la tubería tales como codos, estrechamientos, válvulas, etc.

Las pérdidas localizadas se expresan como una fracción o un múltiplo de la llamada “altura de velocidad” de la forma:

### **Ecuación 7**

*Perdidas por accesorios*

$$h_L = K \left( \frac{c^2}{2g} \right)$$

**Nota:** Ecuación de pérdidas por accesorios. Tomado de *Perdidas por Fricción en Tuberías – Fesmex. (s. f.-b). <https://www.fesmex.com.mx/article/perdidas-por-friccion-en-tuberias/>*

Donde:

$h_L$  = Pérdida de carga localizada.

$c$  = Velocidad media del agua, antes o después del punto singular, conforme el caso.

$K$  = Coeficiente determinado en forma empírica para cada tipo de punto singular.

En ocasiones la constante de pérdida de la singularidad,  $K$ , se determina a partir del producto del coeficiente de fricción:  $f_T$ , en flujo completamente turbulento por la relación de longitud equivalente:  $L_e/D$ ; dos factores adimensionales. Primero,  $f_T$ , se determina por alguna de las ecuaciones del factor de fricción (Colebrook, Swamee y Jain, etc.), simplificadas para flujo muy turbulento, es decir cuando el Reynolds del flujo es muy alto. El segundo,  $L_e/D$ , corresponde a una relación adimensional propia del elemento o singularidad. Este valor se puede encontrar en diferentes tablas (

*Tabla 1*). La ecuación para la  $K$  (Ecuación 8).

### **Ecuación 8**

*Coeficiente de fricción*

$$K = f_T \left( \frac{L_e}{D} \right)$$

*Nota:* Coeficiente  $K$  de fricción. Tomado de *Pérdidas por Fricción en Tuberías – Fesmex*. (s. f.-b). <https://www.fesmex.com.mx/article/perdidas-por-friccion-en-tuberias/>

### **Tabla 1**

*Valores del coeficiente  $K$  en pérdidas singulares*

Accesorio	$k_m$
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1.00-1.15
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24.0
Codo de radio corto ( $r/d \pm 5 \ 6 \ 1$ )	0.9
Codo de radio mediano	0.75-0.80
Codo de gran radio ( $r/d \pm 5 \ 6 \ 1.5$ )	0.6
Codo de 45°	0.4-0.42
Retorno (curva en U)	2.2
Tee en sentido recto	0.3
Tee a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo reentrante	0.9
Salida	1.0

*Nota:* Valores del coeficiente K en pérdidas singulares. Tomado del libro de Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de Aguas, Redes, Riesgos. (Saldarriaga Juan 2007)

### 2.3 Marco Conceptual

**Caudal:** En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,) por unidad de tiempo.

Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

**Consumo Energético:** el consumo energético es el gasto total de la energía, y normalmente incluye más de una fuente energética. Lo asociamos al gasto de luz y de energía eléctrica, pero aquí entrarían también el gas, el gasoil o la biomasa. Además, el consumo de energía está conectado a la eficiencia energética. De esta forma, a mayor consumo energético, menor es la eficiencia, y, por lo tanto, menor es también el ahorro en las facturas.

**Eficiencia Energética:** Definimos eficiencia energética como el uso eficiente de la energía. Un aparato, proceso o instalación es energéticamente eficiente cuando consume una cantidad inferior a la media de energía para realizar una actividad.

**Hidráulica:** La Hidráulica es la tecnología que emplea un líquido o fluido, bien agua o aceite (normalmente aceites especiales), como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.

**Optimización:** Optimización hace referencia a la acción y efecto de optimizar. En términos generales, se refiere a la capacidad de hacer o resolver alguna cosa de la manera más eficiente posible y, en el mejor de los casos, utilizando la menor cantidad de recursos.



## 2.4 Marco Legal

Con el fin de organizar la viabilidad normativa, la formulación y posterior ejecución del proyecto propuesto, este estudio debe cumplir con los requisitos de la legislación vigente frente a la cual se analizaron las disposiciones en consideración.

Ley 142 de 1994 (Ley de servicios públicos) En primera instancia señala la responsabilidad de los Departamentos para organizar sistemas de coordinación entre entidades prestadoras de servicios públicos o esquemas asociativos de Municipios para la prestación conjunta de los servicios públicos. Segundo, facilita la creación de áreas de servicio exclusivo, que pueden involucrar dos o más municipios, para mejorar la prestación de los servicios públicos a la población de menores ingresos, y tercero, declara de utilidad pública e interés social, la ejecución de obras para la prestación de los servicios públicos y la adquisición de espacios suficientes para garantizar la protección de las instalaciones respectivas, las cuales pueden traspasar los límites de un Municipio.

Decreto 1429 de 1995 (Regula el Control social de los servicios públicos) Permite la creación de asociaciones departamentales de comités de control social de los servicios públicos, facilitando el encuentro de los vocales de control de diferentes municipios para abordar el tema del agua.

Decreto 3200 de 2008 (Dicta normas sobre Planes Departamentales para el manejo empresarial de los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico) Promueve la estructuración de esquemas regionales para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento básico, con el fin de garantizar la planeación y formulación de proyectos integrales.

LEY 697 de 2001 (octubre 3) Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

Artículo 1°. Declárase el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

Resolución 0330 – 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.

## **2.5 Marco Administrativo**

### ***2.5.1 Recursos Humanos***

Autor del proyecto: William Herney Galviz Moreno

Director del proyecto: Ing. Orlando Gutiérrez

Codirector: Ing. Luis Augusto Cordero

### ***2.5.2 Recursos institucionales***

Empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A E.S.P como facilitador y Universidad Francisco de Paula Santander como investigador.

### ***2.5.3 Recursos financieros***

### ***2.5.4 Presupuesto***

A continuación, se desglosa el presupuesto utilizado en el proyecto

## **Tabla 2**

### ***Presupuesto***

PRESUPUESTO	
DESCRIPCION	VALOR
INTERNET	\$500,000,00
PAPELERIA	\$30,000,00
TRANSPORTE	\$600,000,00
OTROS	\$300,000,00
TOTAL	\$1,430,000,00

*Nota:* Tabla de presupuesto. *Elaboración propia.*

### 3 Diseño Metodológico

#### 3.1 Enfoque Y Tipo De Investigación

Este proyecto tiene un enfoque descriptivo y experimental, el diseño de investigación descriptivo puede usar diferentes métodos de investigación para investigar una o más variables. Es posible que la investigación descriptiva no cumpla completamente con la definición de un método de investigación cuantitativo o cualitativo, aunque puede contener ambos componentes, generalmente dentro de un solo estudio “El objetivo de la investigación descriptiva es describir de forma precisa y metódica una población, situación o fenómeno. Puede responder a preguntas sobre el qué, el dónde, el cuándo y el cómo, pero no el por qué” (Científico, I. A. J. L, 2022).

Hay dos grupos de estudios en los estudios experimentales. En un caso, los elementos se mantuvieron constantes y, en el otro, los investigadores manipularon las variables “la investigación experimental es aquella que obtiene datos a través de la experimentación y los compara con variables constantes, a fin de determinar las causas y/o los efectos de los fenómenos en estudio” (Investigación experimental, 2021)

## **3.2 Fuentes De Información**

### ***3.2.1 Fuentes Primarias***

Libros, trabajos de grado, leyes.

### ***3.2.2 Fuentes Secundarias***

Bases de datos, sitios web.

## **3.3 Técnicas Y Procedimientos Para La Recolección De Información**

La recopilación de datos es un método mediante el cual las empresas recopilan y miden información de una variedad de fuentes para obtener una imagen completa, responder preguntas importantes, medir resultados y predecir tendencias futuras.

Este proceso está diseñado para recopilar y sopesar información de una variedad de fuentes para obtener una visión general completa y precisa de un tema, área o situación de interés. En otras palabras: medir resultados para tomar mejores decisiones.

Específicamente para este proyecto la información fue recolectada mediante la investigación en libros, trabajos de grado, sitios web y las leyes pertinentes para la aprobación de proyectos de estas características.

## **3.4 Análisis De Información**

La información suministrada en este proyecto fue previamente analizada con el fin de obtener los registros y antecedentes necesarios para la adquisición del conocimiento que permita llevar a cabo la realización del trabajo; la teoría que se encuentra en el documento cumple la función de proveer los datos necesarios para el análisis e interpretación de los resultados.

### 3.5 Metodología

#### 3.5.1 Diseño De Sistemas De Acueductos

##### Parámetros De Diseño.

**Periodo De Diseño.** Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como período de diseño 25 años. (VIVIENDA, 2017)

**Caudal De Diseño.** Cada uno de los componentes del sistema de acueductos, se diseñan con un caudal en específico, según la resolución 0330; Los caudales de diseño de cada uno de los componentes del sistema de acueducto, según las variaciones diarias y horarias que pueden presentar. (VIVIENDA, 2017).

**Tabla 3**

*Caudales de Diseño*

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Captacion fuente superficial	Hasta dos veces QMD
Captacion fuente subterranea	QMD
Desarenador	QMD
Aduccion	QMD
Conduccion	QMD
Tanque	QMD
Red de ditribucion	QMH

**Nota:** Tabla caudales de diseño. Tomado de Resolución 0330 - 2017 | MinVivienda.

(s. f.). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

**Dotación Neta Máxima.** La dotación neta debe determinarse haciendo uso de información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores, disponible por parte

de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en su defecto, recopilada en el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), siempre y cuando los datos sean consistentes. (VIVIENDA, 2017).

**Tabla 4**

*Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar*

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACION NETA MAXIMA (L/HAB* DIA)
>2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
<1000 m.s.n.m	140

*Nota:* Tabla de dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar.

*Tomado de Resolución 0330 - 2017 | MinVivienda.*

*(s. f.). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>*

**Dotación Neta Bruta.** La dotación bruta para el diseño de cada uno de los componentes que conforman un sistema de acueducto se debe calcular conforme a la siguiente ecuación:

**Ecuación 9**

*Ecuación De Dotación Neta Bruta*

$$D_b = \frac{d_{NETA}}{(1 - \%P)}$$

**Nota:** Ecuación para hallar la dotación neta bruta en un sistema de acueducto. Tomado de *Resolución 0330 - 2017 | MinVivienda*. (s. f.). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

El porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación anterior engloba el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema (como conducciones, aducciones y redes), así como las necesidades de la planta de tratamiento de agua potable, y no deberá superar el 25%. (VIVIENDA, 2017)

**Población De Diseño.** Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño. se deberá proyectar al año según el periodo de diseño. Para efectos de realiza la equivalencia entre suscriptor y la dotación neta de la tabla anterior, se tendrá en cuenta el promedio de habitantes por vivienda determinado en el censo DANE inmediatamente anterior para la población objetivo urbana o rural. (VIVIENDA, 2017)

**Caudal Medio Diario.** el caudal medio diario, Qmd, corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño, el cual debe calcularse utilizando la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 10**

*Ecuación Caudal Medio Diario*

$$Qmd = \frac{P_{DISEÑO} * D_{BRUTA}}{86400}$$

**Nota:** Ecuación para hallar el caudal medio diario para el diseño de un acueducto. Tomado de *Resolución 0330 - 2017 | MinVivienda*. (s. f.). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

Donde:

- Qmd: Caudal medio diario
- D. BRUTA: Dotación bruta
- P. DISEÑO: Población proyectada al periodo de diseño (incluye población flotante).

**Caudal Máximo Diario.** El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario,  $k_1$ , como se indica en la siguiente ecuación:

### **Ecuación 11**

*Ecuación de Caudal Máximo Diario*

$$QMD = qmd * K_1$$

**Nota:** Ecuación para hallar el caudal máximo diario en el diseño de un acueducto. Tomado de *Resolución 0330 - 2017 | MinVivienda*. (s. f.). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

Donde:

- QMD: Caudal máximo diario
- Qmd: Caudal medio diario
- Coeficiente de consumo máximo diario



**Caudal Máximo Horario.** El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k, según la siguiente ecuación:

### **Ecuación 12**

*Ecuación Para Hallar Caudal Máximo Horario*

$$QMH = QMD * K_2$$

**Nota:** Ecuación para hallar el caudal máximo horario para el diseño de acueductos. Tomado de *Resolución 0330 - 2017 | MinVivienda.* (s. f.). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

Donde:

- QMH: Caudal máximo horario
- QMD: Caudal medio diario
- $K_2$ : Coeficiente de consumo máximo horario

Los factores de mayoración  $K_1$  y  $K_2$  deben calcularse para cada caso con base en los registros históricos de macromedición. En condiciones excepcionales en las que dicha información no esté disponible, debe justificarse la selección de los valores empleados. Para poblaciones menores o iguales de 12.500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor  $K_1$  será superior a 1.3 ni el factor  $K_2$  superior a 1.6. Para poblaciones mayores de 12.500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor  $K_1$  será superior a 1.2 ni el factor  $K_2$  superior a 1.5. Caudal de diseño: el caudal de diseño para las redes de distribución será el caudal

doméstico máximo horario, más las dotaciones por uso del agua, tanto institucionales, industriales, y comerciales, según sea el caso de cada municipio, para lo cual se adopta lo descrito en el título B del Ras.

Tamaños de los conductos: El diámetro mínimo en las redes de distribución no deberá ser inferior a 75 mm para sectores urbanos, mientras que para sectores rurales no deberán ser inferiores a 50 mm. Se deben realizar los cálculos necesarios que permitan garantizar que, con el diámetro interno real de la tubería seleccionada, se cumplan las condiciones mínimas establecidas. (Vivienda, 2016) Presiones mínimas de servicio: La presión dinámica mínima en la red de distribución debe ser de 10 m.c.a. en sistemas con poblaciones de diseño de hasta 12.500 habitantes. Para poblaciones de diseño de más de 12.500 habitantes la presión dinámica mínima debe ser de 15 m.c.a. (Vivienda, 2017).

### **Cálculo De La Población Proyectada Al Periodo De Diseño.**

Sumiendo un inicio de operación del sistema en el año 2023, tenemos que el año final de diseño será el año 2048, debido al periodo de diseño de 25 años.

Para el cálculo de población proyectada de forma exponencial tenemos la siguiente formula:

#### **Ecuación 13**

*Ecuación para hallar el crecimiento poblacional*

$$Pob_F = Pob_0 * e^{i-t}$$

**Nota:** Ecuación para hallar el crecimiento poblacional exponencial. *Tomado de neci. (2021, 21 noviembre). Proyección de la*

*POBLACION* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=TLEYJCQL7fo>

Donde:

- $Pob_F$ : Población final
- $Pob_0$ : Población inicial
- $e$ : Numero Euler
- $i$ : Índice de crecimiento poblacional (1.12%)
- $t$ : Años proyectados

### Patrones De Demanda De Caudal

Los patrones de demanda definen el consumo máximo horario en las diferentes horas del día en términos de caudal y de esta manera se realiza una curva de modulación

**Tabla 5**

*Curva de modulación de demanda*



**Nota:** curva de modulación de demanda. *Tomado de S/f). Recuperado el 23 de octubre de 2023,*  
de

<http://file:///C:/Users/usuario/Downloads/DISE%20C3%91O%20RED%20DE%20ACUEDUCTO>

*%20RAMIFICADA%20Y%20MALLADA%20DEL%20MUNICIPIO%20DE  
%20FIRAVITBA%20BOYAC%C3%81\_INFORME\_FINAL.pdf*

#### **4 Análisis y Resultados de la Información**

Se realizó la respectiva toma de datos en la estación LOMA DE BOLIVAR de la empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A E. S. P para llevar a cabo el análisis correspondiente.

En la estación LOMA DE BOLIVAR se dividen las labores de bombeo en dos sectores: el sector numero 1 correspondiente al barrio lo Alpes; y un segundo sector correspondiente a los barrios: Belén, 28 de febrero, Arnulfo Briceño, Rudesindo Soto, centrales. Se realizaron la toma de datos correspondientes en la estación de bombeo con el fin de obtener sus datos de eficiencia.

##### **4.1 Datos Obtenidos Para El Sector Numero 1**

###### **Tabla 6**

*Eficiencias tomadas en el sector 1 (LOS ALPES)*

SECTOR 1: LOS ALPES									
FECHA	NIVEL DE TANQUE	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	PRESION DESCARGA	PRESION LINEA	CAUDAL	UNIDAD	EFICIENCIA
28/12/2022	3	450	75	68,7031468	81	76	40,36	1	44%
28/12/2022	2,65	450	75	68,7031468	82	75	40,36	1	44%
28/12/2022	1,82	450	75	68,7031468	79	74	39,14	1	41%
28/12/2022	1,69	450	75	68,7031468	79	76	28,4	1	30%
28/12/2022	1,57	450	75	68,7031468	78	76	31,22	1	33%
11/01/2023	3,15	450	75	68,7031468	83	74	35,2	2	39%
11/01/2023	3	450	75	68,7031468	82	74	35,2	2	38%
11/01/2023	2,85	450	75	68,7031468	82	74	35,2	2	38%
11/01/2023	2,55	450	75	68,7031468	83	74	35,2	2	39%
11/01/2023	2,41	450	75	68,7031468	82	73	32,85	2	36%
15/02/2023	4	450	75	68,7031468	82	73	37,35	1	41%
15/02/2023	3,84	450	75	68,7031468	82	73	37,35	1	41%
15/02/2023	3,68	450	75	68,7031468	82	73	37,35	1	41%
15/02/2023	3,52	450	75	68,7031468	82	73	37,34	1	41%
15/02/2023	3,37	450	75	68,7031468	82	73	35	1	38%
1/03/2023	4,5	450	75	68,7031468	83	80	35,2	2	39%
1/03/2023	4,4	450	75	68,7031468	82	80	35,2	2	39%
1/03/2023	4,25	450	75	68,7031468	82	80	35,2	2	39%
1/03/2023	4,1	450	75	68,7031468	82	80	35,2	2	39%
1/03/2023	3,95	450	75	68,7031468	82	80	35,2	2	39%
15/03/2023	3,5	450	75	68,7031468	83	75	37,35	1	42%
15/03/2023	3,34	450	75	68,7031468	83	75	37,35	1	42%
15/03/2023	3,04	450	75	68,7031468	83	75	35	1	39%
15/03/2023	2,74	450	75	68,7031468	82	75	35	1	38%
15/03/2023	2,14	450	75	68,7031468	81	75	35	1	38%
29/03/2023	3,55	450	75	68,7031468	81	64	35,2	2	38%
29/03/2023	3,1	450	75	68,7031468	81	62	35,2	2	38%
29/03/2023	2,8	450	75	68,7031468	81	62	35,2	2	38%
29/03/2023	2,66	450	75	68,7031468	82	62	32,85	2	36%
29/03/2023	2,38	450	75	68,7031468	82	62	32,85	2	36%

**Nota:** Tabla de eficiencias tomadas en el sector 1 (LOS ALPES). *Elaboración propia.*

Donde tenemos:

- Nivel del tanque (metros)
- Voltaje en (voltios)
- Corriente en (Amperios)
- Potencia en (Hp)
- Presión en (Psi)
- Caudal (l/s)

- Eficiencia (%)

La información recolectada en la estación de bombeo de manera directa fue medida con el fin de obtener valores de eficiencia en dicho sector.

Con los valores recolectados en los medidores y a través de la fórmula de eficiencia para motores trifásicos (**Ecuación 2**), obtuvimos los datos anteriores en los cuales se puede analizar una eficiencia baja de acuerdo a las normas de La Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento, ya que esta establece una eficiencia mínima del 60% en estaciones de bombeo. (resolución 287 del 2004).

#### **4.2 Datos Obtenidos Para El Sector Numero 2**

##### **Tabla 7**

*Eficiencias tomadas en el sector 2 (BELÉN, 28 DE FEBRERO, ARNULFO BRICEÑO, RUDESINDO SOTO, CENTRALES)*

SECTOR 2: ARNULFO BRICEÑO, 28 DE FEBRERO, RUDESINDO SOTO, BELEN, CENTRALES									
FECHA	NIVEL DE TANQUE	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	PRESION DESCARGA	PRESION LINEA	CAUDAL	UNIDAD	EFICIENCIA
27/12/2022	3	450	110	100,764615	72	64	97,64	2	64%
27/12/2022	2,16	450	107	98,0164894	71	66	97,63	2	65%
27/12/2022	1,31	450	107	98,0164894	69	54	101,16	2	66%
29/12/2022	3	450	100	91,6041957	75	74	98,58	1	74%
29/12/2022	2,72	450	100	91,6041957	75	74	98,58	1	74%
29/12/2022	2,33	450	100	91,6041957	74	75	91,1	1	68%
29/12/2022	1,96	450	95	87,0239859	74	74	85,67	1	67%
29/12/2022	1,62	450	95	87,0239859	74	72	79,8	1	62%
10/01/2023	2,11	450	100	91,6041957	70	68	105,96	1	75%
10/01/2023	1,58	450	100	91,6041957	70	68	91,52	1	64%
18/01/2023	3,3	450	110	100,764615	70	56	117,34	2	75%
18/01/2023	2,48	450	110	100,764615	70	56	96,32	2	65%
18/01/2023	1,57	450	110	100,764615	70	58	106,78	2	68%
18/01/2023	1,15	450	110	91,6041957	70	58	98,56	2	69%
20/01/2023	2,18	450	93	85,191902	74	52	79,8	2	64%
20/01/2023	1,85	450	90	82,4437761	74	54	77,44	2	64%
20/01/2023	1,55	450	93	85,191902	75	56	70,42	2	57%
26/01/2023	2,55	440	100	89,5685469	74	60	70,41	2	54%
27/01/2023	1,85	450	100	91,6041957	72	72	98,57	1	72%
27/01/2023	2,55	450	100	91,6041957	74	74	82,14	1	61%
27/01/2023	3,15	450	100	91,6041957	75	74	93,88	1	71%
27/01/2023	2,7	450	100	91,6041957	74	74	93,88	1	70%
27/01/2023	1,8	450	100	91,6041957	72	72	105,61	1	76%
27/01/2023	1,2	450	100	91,6041957	74	72	99,75	1	74%
6/02/2023	1,5	450	100	91,6041957	71	56	93,88	1	67%
6/02/2023	1,25	450	100	91,6041957	71	56	88,01	1	63%
6/02/2023	1,95	450	105	96,1844055	66	28	105,61	2	67%
6/02/2023	2,55	450	100	91,604196	70	40	105,61	2	74%
7/02/2023	2	450	110	100,764615	59	36	140,8	1	76%
8/02/2023	1,4	450	95	87,0239859	74	72	93,88	1	74%
8/02/2023	1,05	450	95	87,0239859	72	70	82,14	1	63%

**Nota:** Tabla de eficiencias tomadas en el sector 2 (BELÉN, 28 DE FEBRERO, ARNULFO BRICEÑO, RUDESINDO SOTO, CENTRALES). *Elaboración propia*

Donde tenemos:

- Nivel del tanque (metros)
- Voltaje en (voltios)
- Corriente en (Amperios)
- Potencia en (Hp)
- Presión en (Psi)
- Caudal (l/s)

- Eficiencia (%)

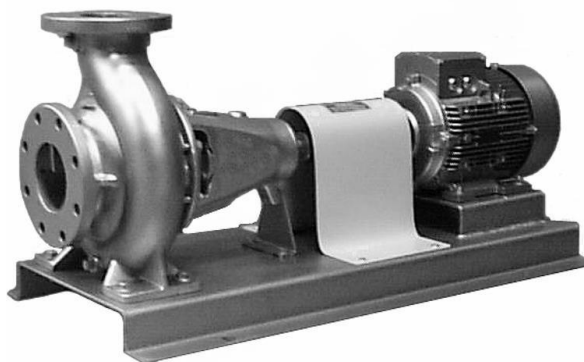
La información recolectada en la estación de bombeo de manera directa fue medida con el fin de obtener valores de eficiencia en dicho sector.

Con los valores recolectados en los medidores y a través de la fórmula de eficiencia para motores trifásicos (**Ecuación 2**), obtuvimos los datos anteriores en los cuales se puede analizar una eficiencia que cumple la media de acuerdo a las normas de La Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento, ya que esta establece una eficiencia mínima del 60% en estaciones de bombeo. (resolución 287 del 2004).

Los datos anteriormente recolectados en las tablas se tomaron bajo las condiciones y equipos de bombeo en la estación con el fin de obtener un registro acertado de funcionamiento en eficiencia y energía.

### **Figura 11**

*Unidad de Bombeo Actual de la Estación*



**Nota:** Bomba con cuerpo de voluta según EN 733/ DIN 24255, modelo NOWA - South América 150320. Tomado de *Carcasa Espiral, BC (s/f). ALABARDA NOWA . Com.py. Recuperado el 11*



*de octubre de 2023, de <http://www.bompar.com.py/catalogos/sihi/7.%20NOWA%20-%20Catalogo.pdf>*

La curva característica de una bomba centrífuga es una representación gráfica de la capacidad de la bomba para mover fluido en relación con el nivel de presión durante el funcionamiento y cada bomba cuenta con su propia curva, para la unidad actual contamos con la siguiente:

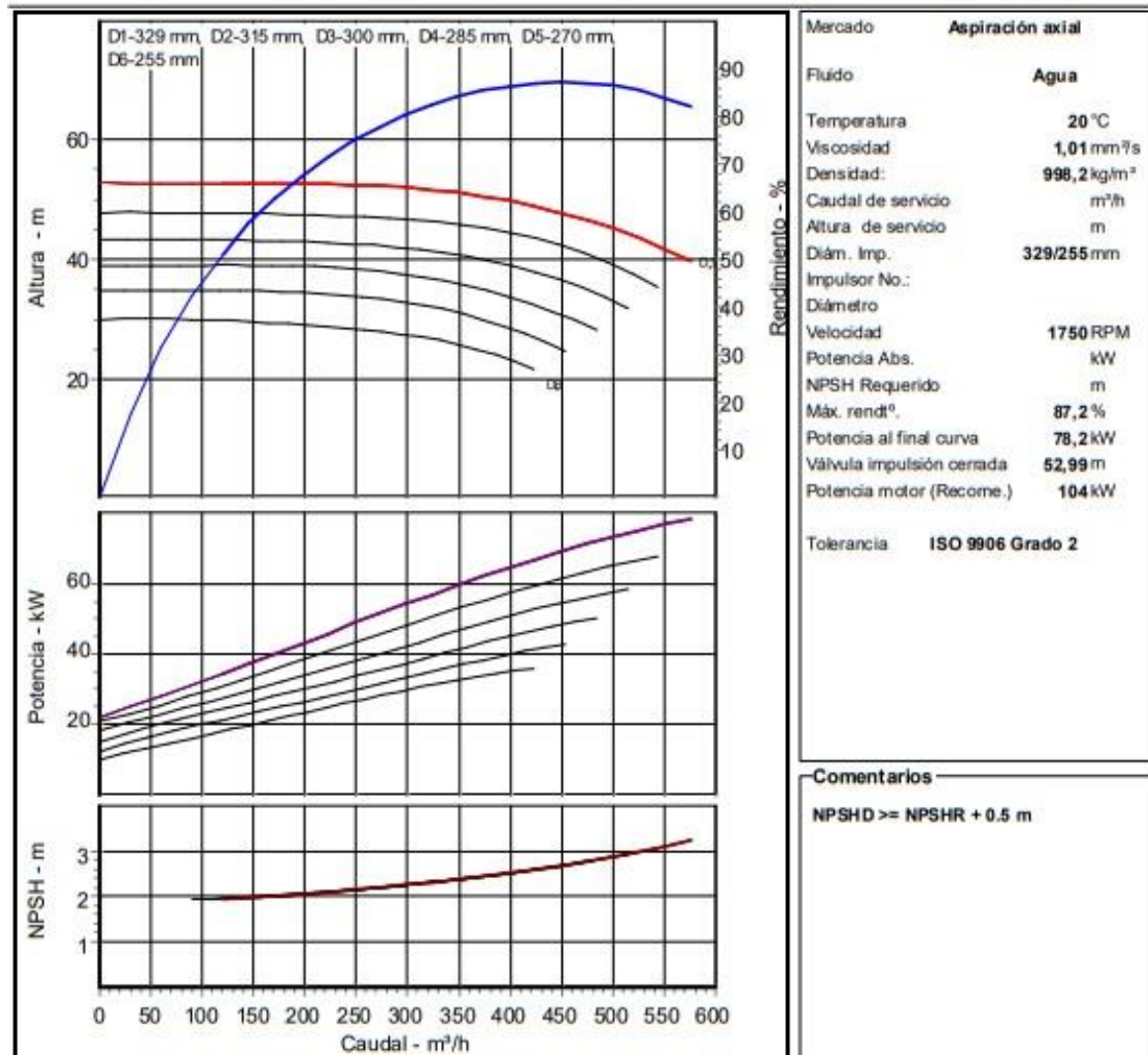
**Figura 12**  
*Curva de la Bomba Actual de la Estación*

Pos. Nº.: 1

Nuestra Ref.: CRM-99999-2

Bomba tipo: **NOWA - Bomba con cuerpo de voluta según EN 733 / DIN 24255**Modelo bomba **NOWA - South America - NOWA 150320**

Su Ref. :



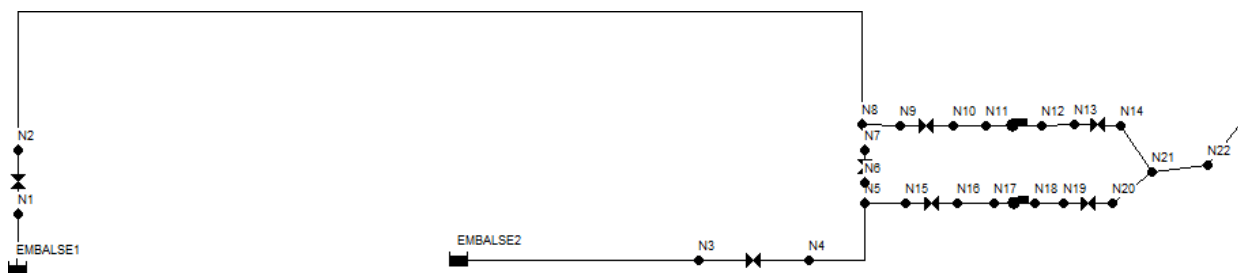
**Nota:** Curva característica de la Bomba con cuerpo de voluta según EN 733/ DIN 24255, modelo NOWA- South América 150320. Abraham-Tike-Lara. (2022b). Curvas SIHI HALBERT NOWApdf. dokumen.tips. <https://dokumen.tips/documents/curvas-sihi-halbert-nowapdf.html?page=36>

Los datos obtenidos en el sector 1 muestran una baja eficiencia la cual se busca solucionar mediante un análisis en el programa EPANET realizando una simulación de la red hidráulica con los equipos actuales y así detectar las fallas que se puedan observar en el análisis.

#### 4.2.1 Red Hidráulica Estación Loma De Bolívar Y Sector Los Alpes

**Figura 13**

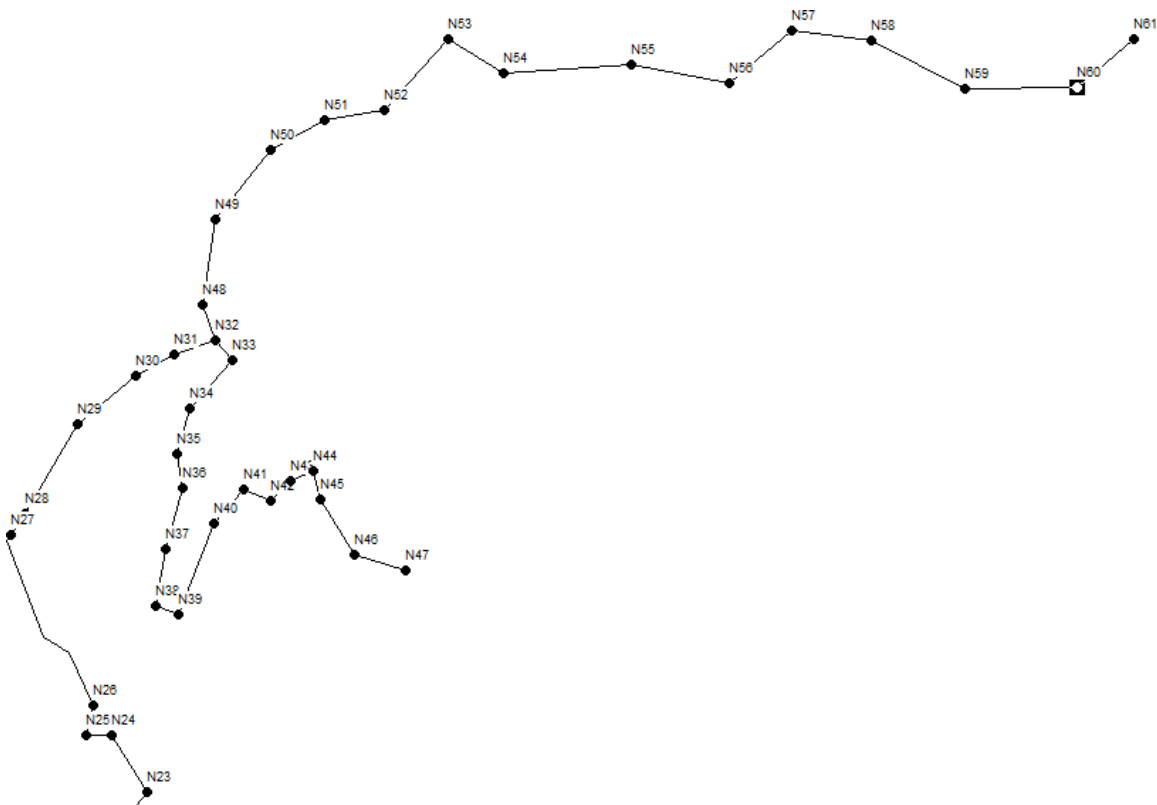
*Red hidráulica estación loma de Bolívar*



*Nota:* Red hidráulica estación loma de Bolívar modelada en epanet. *Elaboración propia.*

**Figura 14**

*Red de distribución sector los Alpes*



*Nota:* Red de distribución sector los Alpes modelada en epanet. Elaboración propia.

Se realiza la simulación para los meses de diciembre, enero y febrero con características similares por lo cual se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 8**

*Información en las conexiones*

	Cota	Demanda	Altura	Presión
ID Nudo	m	LPS	m	m
Embalse TANQUE1	390	-1.60	390.00	0.00
Embalse TANQUE2	390	-1.60	390.00	0.00
Conexión N1	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N2	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N3	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N4	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N5	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N6	390	0.00	390.00	0.00

Conexión N7	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N8	390	0.02	390.00	0.00
Conexión N9	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N10	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N11	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N12	390	0.00	467.28	77.28
Conexión N13	390	0.00	467.28	77.28
Conexión N14	390	0.00	467.28	77.28
Conexión N15	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N16	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N17	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N18	390	0.00	467.36	77.36
Conexión N19	390	0.00	467.36	77.36
Conexión N20	390	0.00	467.28	77.28
Conexión N21	390	0.00	467.28	77.28
Conexión N22	390	0.00	467.28	77.28
Conexión N23	390	0.04	467.28	77.28
Conexión N24	390	0.10	467.27	77.27
Conexión N25	390	0.03	467.27	77.27
Conexión N26	390	0.02	467.27	77.27
Conexión N27	390	0.31	467.27	77.27
Conexión N28	430	0.03	467.27	37.27
Conexión N29	420	0.15	467.20	47.20
Conexión N30	420	0.17	467.12	47.12
Conexión N31	420	0.05	467.10	47.10
Conexión N32	430	0.02	467.08	37.08
Conexión N33	430	0.02	467.07	37.07
Conexión N34	420	0.09	467.05	47.05
Conexión N35	420	0.09	467.03	47.03
Conexión N36	415	0.05	467.02	52.02
Conexión N37	410	0.09	467.01	57.01
Conexión N38	400	0.08	467.00	67.00
Conexión N39	400	0.01	467.00	67.00
Conexión N40	400	0.15	466.98	66.98
Conexión N41	400	0.07	466.98	66.98
Conexión N42	390	0.03	466.98	76.98
Conexión N43	390	0.06	466.98	76.98
Conexión N44	390	0.02	466.98	76.97
Conexión N45	390	0.03	466.97	76.97
Conexión N46	380	0.06	466.97	86.97
Conexión N47	380	0.02	466.97	86.97

Conexión N48	420	0.03	467.07	47.07
Conexión N49	410	0.09	467.01	57.01
Conexión N50	410	0.11	466.96	56.96
Conexión N51	410	0.14	466.90	56.90
Conexión N52	400	0.04	466.88	66.88
Conexión N53	390	0.17	466.83	76.83
Conexión N54	390	0.07	466.82	76.82
Conexión N55	390	0.09	466.80	76.80
Conexión N56	390	0.10	466.78	76.78
Conexión N57	380	0.02	466.78	86.78
Conexión N58	380	0.04	466.77	86.77
Conexión N59	370	0.10	466.77	96.77
Conexión N60	370	0.23	466.75	96.75
Conexión N61	370	0.06	466.75	96.75

**Nota:** Información de los nodos obtenida a través de la simulación en epanet. Elaboración propia.

**Tabla 9**

*Información en las conexiones*

	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
ID Línea	mm	LPS	m/s	m/km
Bomba BOMBA1	No Disponible	3.13	0.00	-77.28
Bomba BOMBA2	No Disponible	0.00	0.00	-77.36
Válvula VALVULAT120"	508	1.59	0.01	0.00
Válvula VALVULAT220"	508	1.59	0.01	0.00
Válvula VALVULASUCCION1(12")	508	3.13	0.02	0.00
Válvula VALVULASUCCION2(20")	508	0.01	0.00	0.00
Válvula VALVULADESCARGA1(12")	304.8	3.12	0.04	0.00
Válvula VALVULADESCARGA2(12")	304.8	0.00	0.00	0.00
Válvula BYPASS	508	1.57	0.01	0.00
Tubería 1	304.8	3.11	0.04	0.01
Tubería 2	76.2	0.67	0.15	0.48
Tubería 3	304.8	0.00	0.00	0.00
Tubería 4	304.8	0.00	0.00	0.00
Tubería 5	76.1	0.57	0.13	0.40
Tubería 6	508	1.60	0.01	0.00
Tubería 7	508	1.60	0.01	0.00

Tubería 8	300	1.59	0.02	0.00
Tubería 9	300	1.59	0.02	0.00
Tubería 10	304.8	3.07	0.04	0.01
Tubería 11	304.8	2.97	0.04	0.01
Tubería 12	304.8	2.94	0.04	0.01
Tubería 13	101.6	2.58	0.32	1.29
Tubería 14	101.6	2.43	0.30	1.13
Tubería 15	101.6	2.27	0.28	1.20
Tubería 16	101.6	2.22	0.27	1.41
Tubería 17	76.2	0.88	0.19	1.23
Tubería 18	76.2	0.85	0.19	0.72
Tubería 19	76.2	0.76	0.17	0.59
Tubería 20	76.2	0.62	0.14	0.40
Tubería 21	76.2	0.53	0.12	0.31
Tubería 22	76.2	0.29	0.06	0.14
Tubería 23	76.2	0.23	0.05	0.08
Tubería 24	76.2	0.20	0.04	0.05
Tubería 25	76.2	0.14	0.03	0.03
Tubería 26	76.2	0.12	0.03	0.02
Tubería 27	76.2	0.08	0.02	0.01
Tubería 28	76.2	0.02	0.00	0.01
Tubería 29	508	0.01	0.00	0.00
Tubería 30	304.8	3.12	0.04	0.00
Tubería 31	304.8	3.11	0.04	0.00
Tubería 32	304.8	2.92	0.04	0.01
Tubería 33	304.8	2.61	0.04	0.01
Tubería 34	76.2	0.46	0.10	0.46
Tubería 35	76.2	0.45	0.10	0.24
Tubería 36	304	3.13	0.04	0.00
Tubería 37	304.8	3.13	0.04	0.00
Tubería 38	508	3.14	0.02	0.00
Tubería 39	304.8	0.01	0.00	0.00
Tubería 40	508	-1.56	0.01	0.00
Tubería 41	508	1.57	0.01	0.00
Tubería 42	76.2	1.32	0.29	1.42
Tubería 43	76.1	1.29	0.28	1.54
Tubería 44	76.1	1.20	0.26	1.22
Tubería 45	76.1	1.09	0.24	1.02
Tubería 46	76.1	0.95	0.21	0.89
Tubería 47	76.1	0.90	0.20	0.74
Tubería 48	76.1	0.73	0.16	0.59

Tubería 49	76.1	0.66	0.15	0.50
Tubería 50	76.1	0.47	0.10	0.30
Tubería 51	76.1	0.44	0.10	0.28
Tubería 52	76.1	0.40	0.09	0.19
Tubería 53	76.1	0.30	0.07	0.12
Tubería 54	75.1	0.06	0.01	0.01

**Nota:** Información de las tuberías obtenida a través de la simulación en epanet. Elaboración propia.

Se realiza una simulación para el mes de diciembre de 2022 con las características y los datos tomados y suministrados por la empresa AGUAS KPITAL

### Simulación Para El Mes De Diciembre En EPANET

**Tabla 10**

*Informe de Energía diario*

BOMBA	Porcentaje de utilizacion	Rendimiento medio	kW.h/m3	Potencia Media (kW)	Potencia Max (kW)	Coste/dia
BOMBA1	100	45	0,47	24,58	52,04	417997,6
BOMBA2	100	45	0,47	0,04	0,08	0
Coste total (\$)						417997,6

**Nota:** Tabla de análisis de energía diario para el mes de diciembre realizado en epanet.

*Elaboración propia.*

**Tabla 11**

*Informe de energía mensual*

BOMBA	Porcentaje de utilizacion	Rendimiento medio	kW.h/m3	Potencia Media (kW)	Potencia Max (kW)	Coste/Mes
BOMBA1	100	45	0,47	24,58	52,04	12957925,6
BOMBA2	100	45	0,47	0,04	0,08	0
Coste total (\$)						12957925,6



**Nota:** Tabla de análisis de energía mensual para el mes de diciembre realizado en epanet.

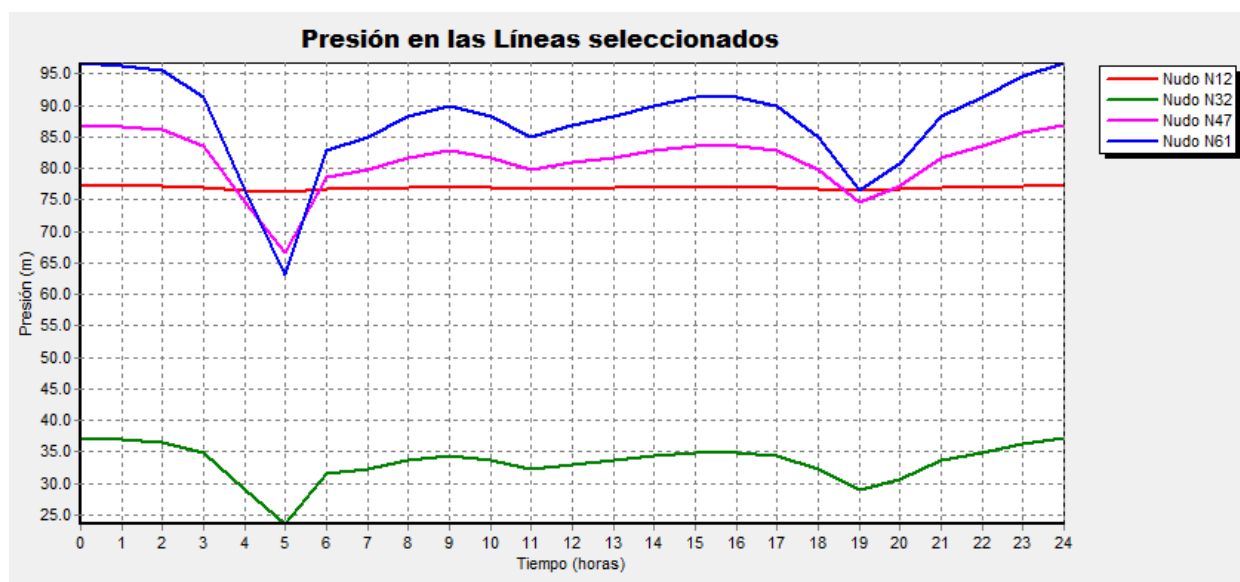
*Elaboración propia.*

En el mes de diciembre se realizó el bombeo de 116.356 metros cúbicos con un coste de \$708,64

Kw.h (Información suministrada por Aguas Kpital)

### Grafica 1

*Grafica de presión vs tiempo en los nodos de la red seleccionados*

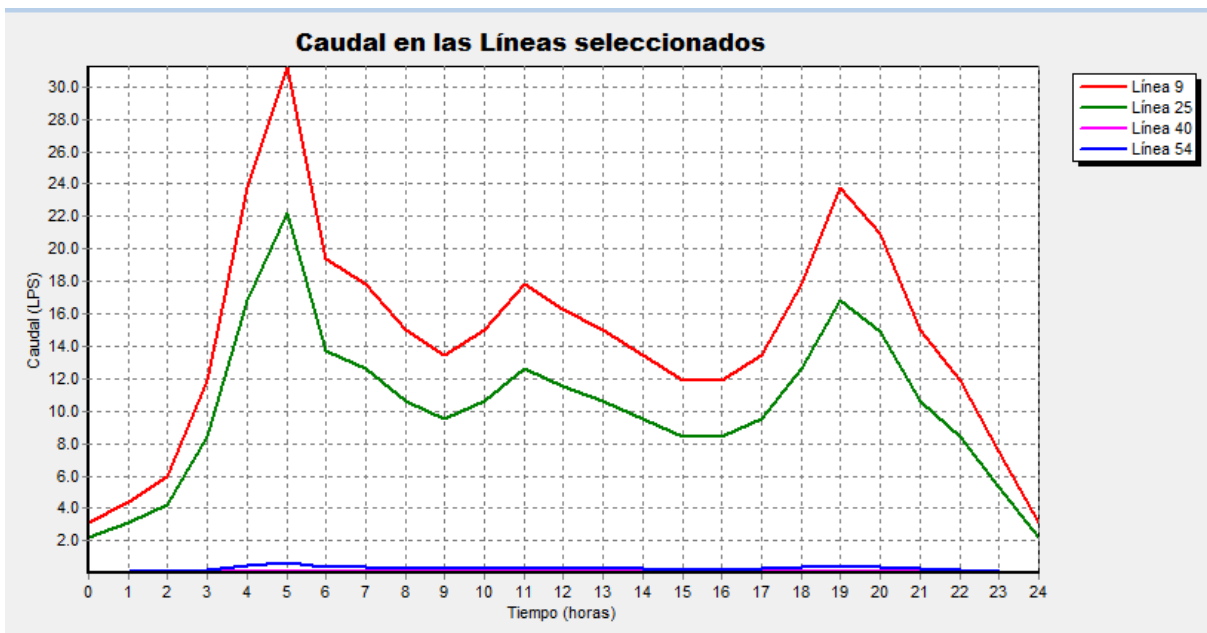


**Nota:** Grafica de presión vs tiempo tomada en 24 horas en el mes de diciembre. *Elaboración*

*propia con Epanet.*

### Grafica 2

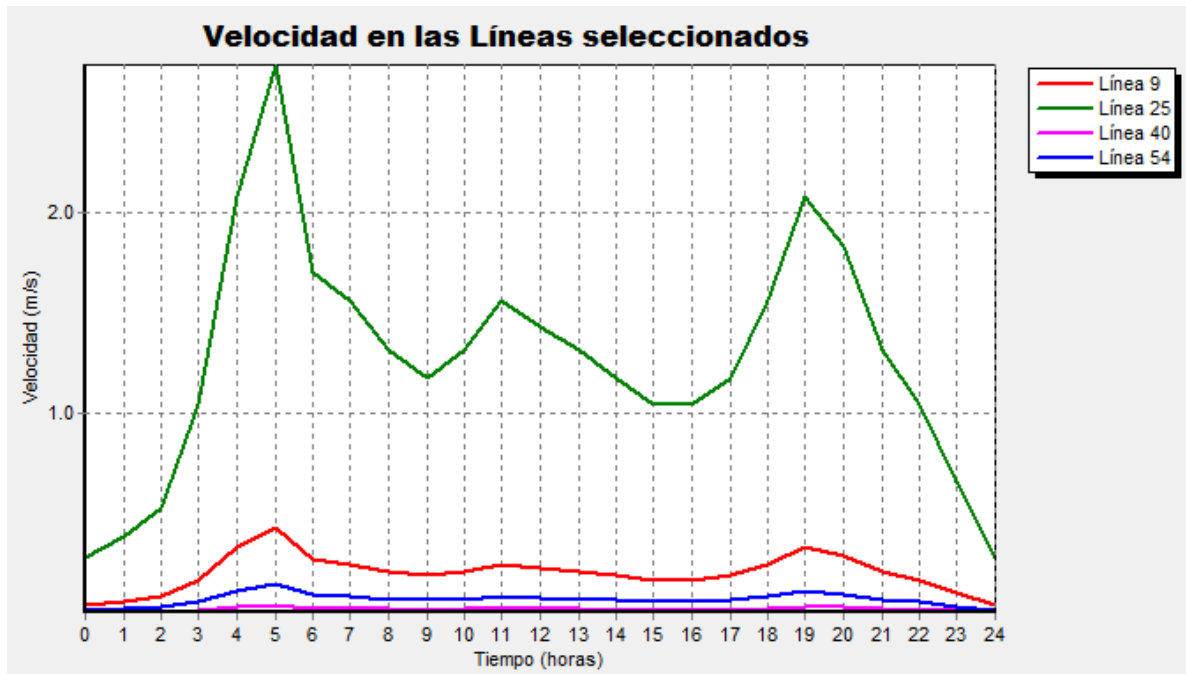
Grafica de caudal vs tiempo en líneas de la red seleccionados



*Nota:* Grafica de caudal vs tiempo tomada en 24 horas en el mes de diciembre. *Elaboración propia con Epanet.*

### Grafica 3

Grafica de velocidad vs tiempo en líneas de la red seleccionados



*Nota:* Grafica velocidad vs tiempo tomado en 24 horas en el mes de diciembre. *Elaboración propia en Epanet.*

### Simulación Para El Mes De Enero En EPANET

**Tabla 12**

*Informe de Energía diario*

BOMBA	Porcentaje de utilizacion	Rendimiento medio	kW.h/m <sup>3</sup>	Potencia Media (kW)	Potencia Max (kW)	Coste/día
BOMBA1	100	45	0,47	0,04	0,008	0
BOMBA2	100	45	0,47	24,97	52,04	427868,06
<b>Coste total (\$)</b>						427868,06

*Nota:* Tabla de análisis de energía diario para el mes de enero realizado en epanet. *Elaboración propia.*

**Tabla 13***Informe de energía mensual*

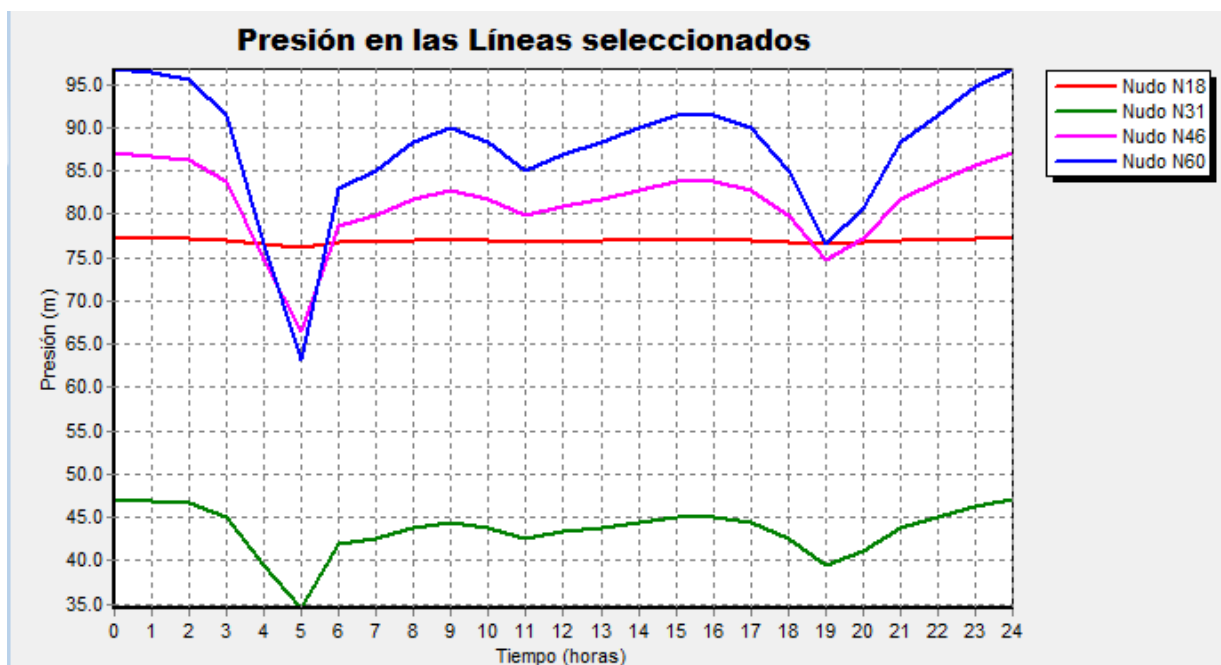
BOMBA	Porcentaje de utilizacion	Rendimiento medio	kW.h/m <sup>3</sup>	Potencia Media (kW)	Potencia Max (kW)	Coste/Mes
BOMBA1	100	45	0,47	0,04	0,008	0
BOMBA2	100	45	0,47	24,97	52,04	13263910
<b>Coste total (\$)</b>						13263910

*Nota:* Tabla de análisis de energía mensual para el mes de enero realizado en epanet.

*Elaboración propia.*

En el mes de enero se realizó el bombeo de 115.258 metros cúbicos con un coste de \$714,10

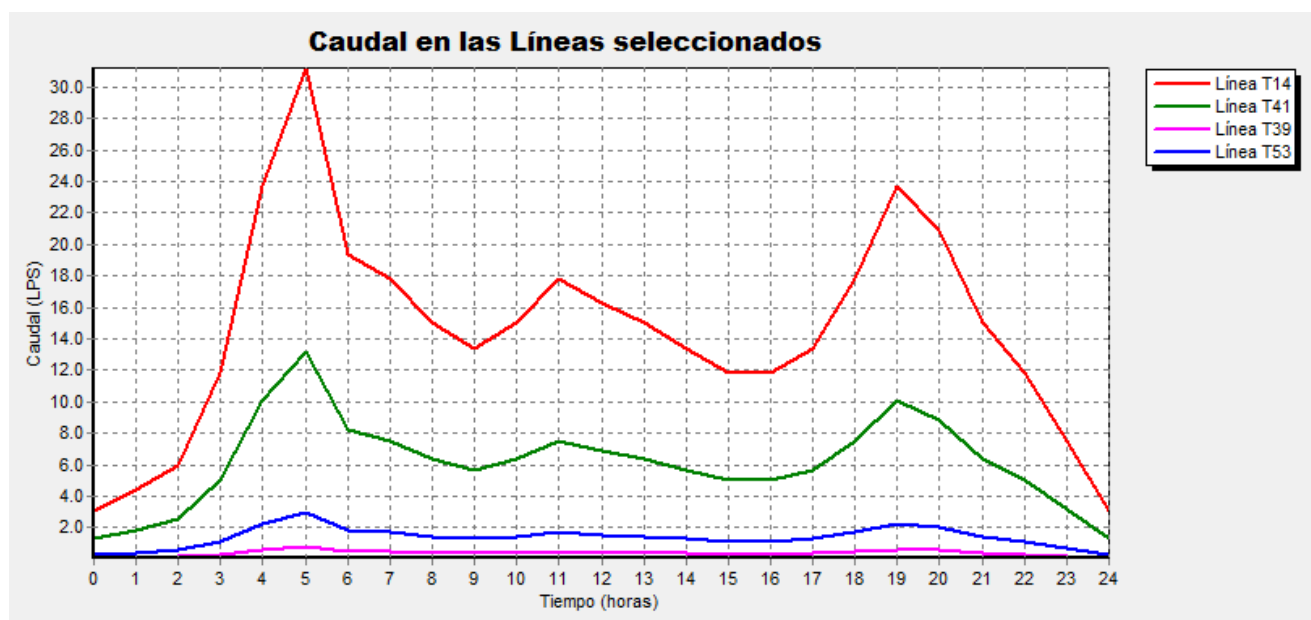
Kw.h (Información suministrada por Aguas Kpital)

**Grafica 4***Grafica de presión vs tiempo en los nodos de la red seleccionados*

*Nota:* Grafica de presión vs tiempo tomada en 24 horas en el mes de diciembre. *Elaboración propia con Epanet.*

### Grafica 5

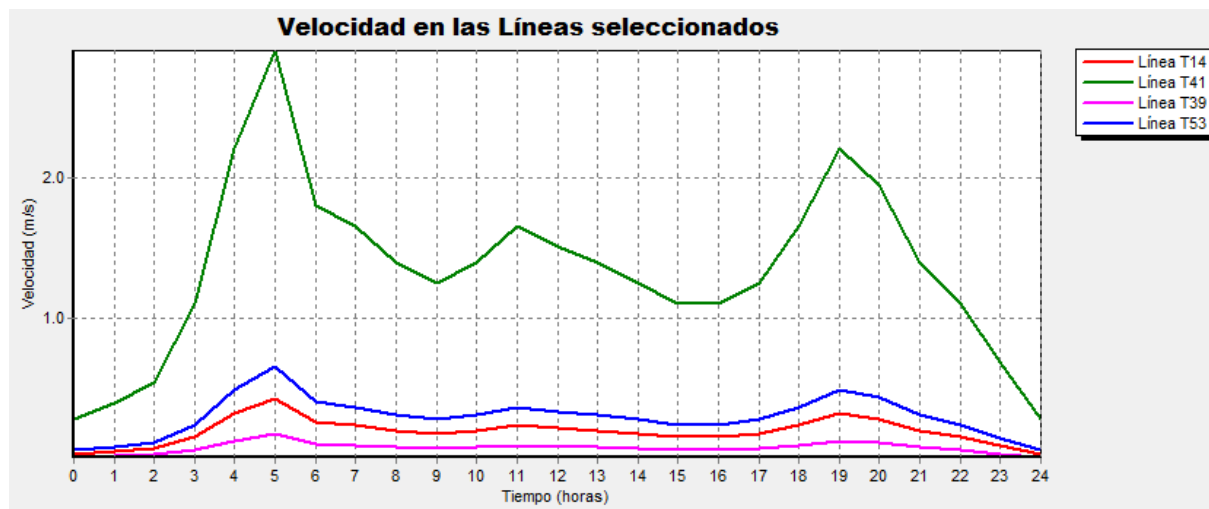
*Grafica de presión vs tiempo en las líneas de la red seleccionados*



*Nota:* Grafica de caudal vs tiempo tomada en 24 horas en el mes de enero. *Elaboración propia con Epanet.*

### Grafica 6

*Grafica de velocidad vs tiempo en líneas de la red seleccionados*



*Nota:* Grafica velocidad vs tiempo tomado en 24 horas en el mes de enero. *Elaboración propia en Epanet*

### Simulación Para El Mes De Febrero En EPANET

**Tabla 14**

*Informe de Energía diario*

BOMBA	Porcentaje de utilizacion	Rendimien to medio	kW.h/m3	Potencia Media (kW)	Potencia Max (kW)	Coste/dia
BOMBA1	100	45	0,47	24,97	52,04	433266,6
BOMBA2	100	45	0,47	0,04	0,08	
<b>Coste total (\$)</b>						433266,6

*Nota:* Tabla de análisis de energía diario para el mes de febrero realizado en epanet. *Elaboración propia.*

**Tabla 15**

*Informe de energía mensual*

BOMBA	Porcentaje de utilizacion	Rendimiento medio	kW.h/m3	Potencia Media (kW)	Potencia Max (kW)	Coste/Mes
BOMBA1	100	45	0,47	24,97	52,04	12131464,8
BOMBA2	100	45	0,47	0,04	0,08	0
Coste total (\$)						12131464,8

*Nota:* Tabla de análisis de energía mensual para el mes de febrero realizado en epanet.

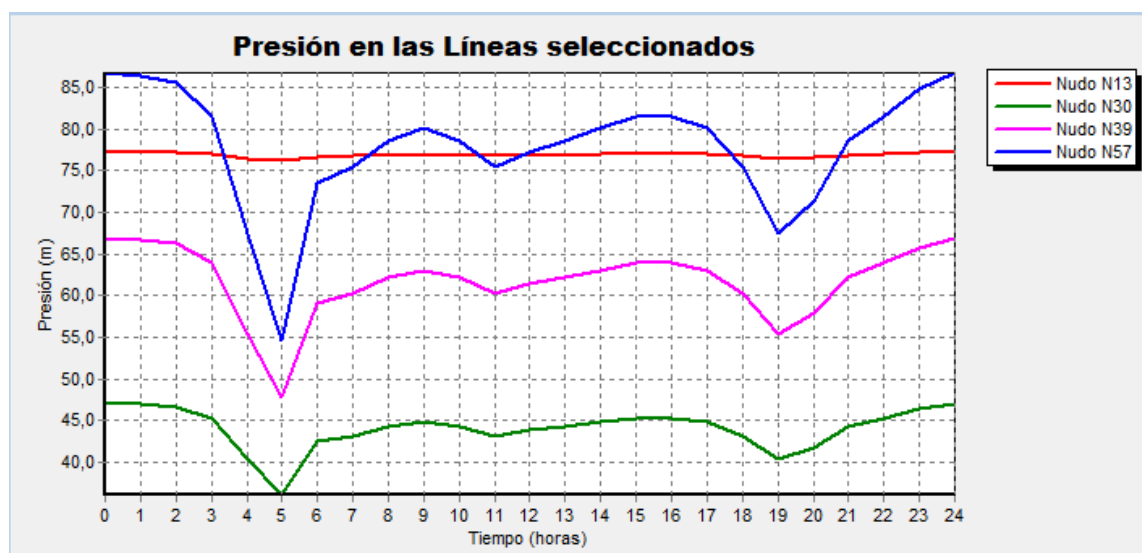
*Elaboración propia.*

En el mes de febrero se realizó el bombeo de 128.434 metros cúbicos con un coste de \$723,11

Kw.h (Información suministrada por Aguas Kpital)

### Grafica 7

*Grafica de presión vs tiempo en los nodos de la red seleccionados*

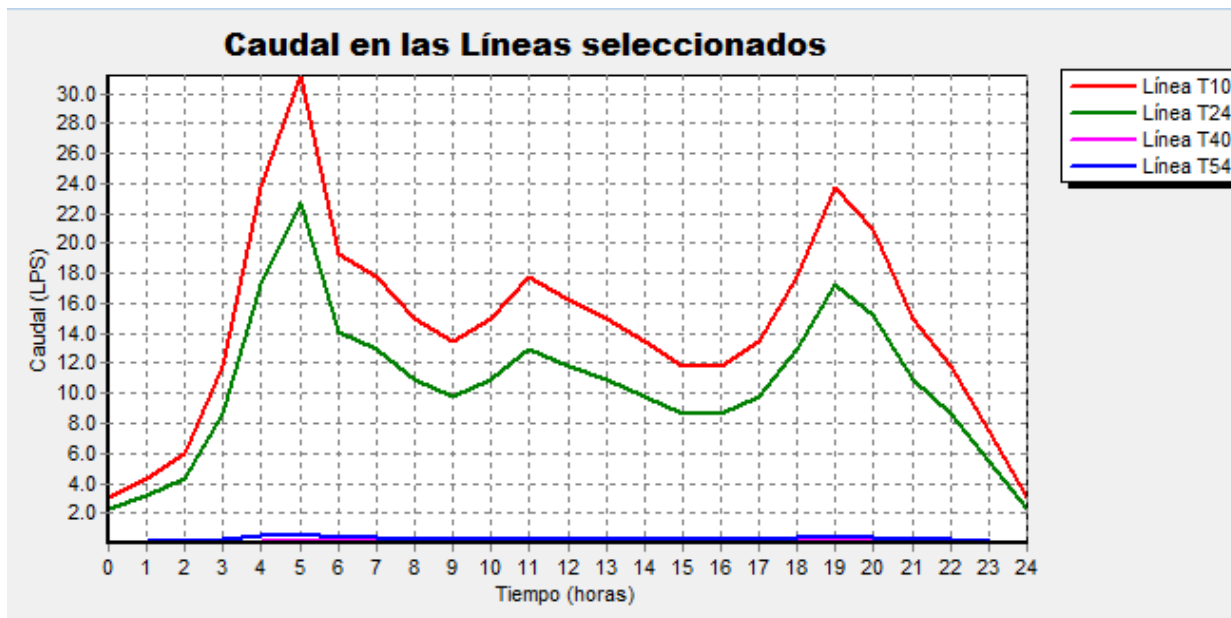


*Nota:* Grafica de presión vs tiempo tomada en 24 horas en el mes de febrero. *Elaboración propia*

*con Epanet.*

### Grafica 8

Grafica de presión vs tiempo en las líneas de la red seleccionados

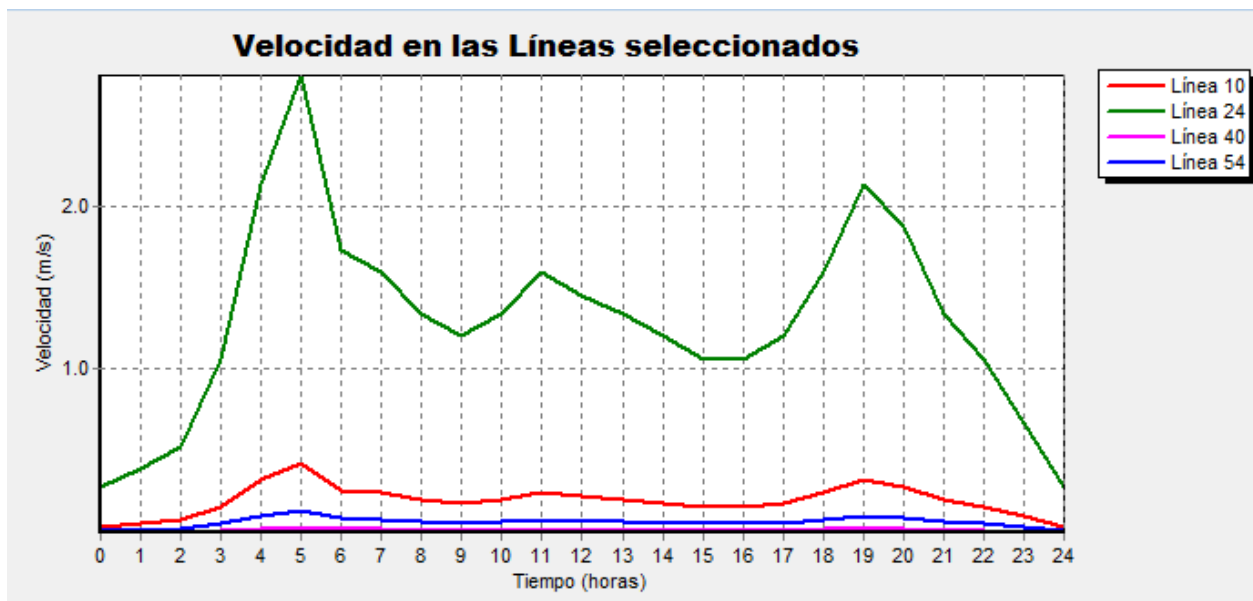


*Nota:* Grafica de caudal vs tiempo tomada en 24 horas en el mes de enero. *Elaboración propia*

*con Epanet.*

### Grafica 9

Grafica de velocidad vs tiempo en líneas de la red seleccionados





**Nota:** Grafica velocidad vs tiempo tomado en 24 horas en el mes de febrero. *Elaboración propia en Epanet.*

#### 4.2.2 *Calculo De La Nueva Bomba.*

Para el cálculo del nuevo equipo se determina un periodo de diseño de 25 años según la resolución (VIVIENDA, 2017).

Para la dotación neta máxima se utiliza la **Tabla 4** teniendo en cuenta que el proyecto se desea realizar en la ciudad de Cúcuta que se encuentra a una elevación de 320 msnm por lo cual se determina una dotación neta máxima:

$$D_{Neta} = 140 \frac{l}{hab} * dia$$

Teniendo en cuenta el porcentaje máximo de pérdidas totales permitidas, se calcula dotación bruta, asumiendo un total de pérdidas del 25%. ( **Ecuación 9** )

$$D_b = \frac{d_{NETA}}{(1 - \%P)}$$

$$D_b = \frac{140}{(1 - 25\%)}$$

$$D_b = 186,66 \frac{l}{hab} * dia$$

Calculo de población estimada de diseño, teniendo en cuenta que la población es de 5000 habitantes según (Rmedina, s.f.) se asumió un método de crecimiento según el sector utilizaremos la ( **Ecuación 13** ).

Asumiendo un inicio de operación del sistema en el año 2023, tenemos que el año final de diseño será el año 2048, debido al periodo de diseño de 25 años.

$$Pob_F = Pob_0 * e^{i-t}$$

$$Pob_F = 5000 * e^{0.0112-25}$$

$$Pob_F = 6616 \text{ habitantes}$$

Se tiene en cuenta un porcentaje de 3% equivalente a la población flotante, para lo cual la población de diseño:

$$Pob_D = Pob_f * 1,03$$

$$Pob_D = 6616 * 1,03$$

$$Pob_D = 6814 \text{ habitantes}$$

Para hallar el caudal medio diario utilizamos (**Ecuación 10**)

$$Qmd = \frac{P_{DISEÑO} * D_{BRUTA}}{86400}$$

$$Qmd = \frac{6814 * 140}{86400}$$

$$Qmd = 11,04 \frac{l}{s}$$

Hallamos el caudal máximo de diario utilizando (**Ecuación 11**).

$$QMD = qmd * K_1$$

$$QMD = 11,04 * 1,3$$

$$QMD = 14,35 \text{ l/s}$$

Hallamos el caudal máximo horario utilizando (**Ecuación 12**)

$$QMH = QMD * K_2$$

$$QMH = 14,35 * K_2 * K_1$$

$$QMH = 14,35 * 1.6 * 1.3$$

$$QMH = 29.84 \text{ l/s}$$

Calculo de caudal de diseño, como el proyecto contempla el diseño de la red de distribución, para lo cual se escoge el caudal de diseño según lo dispuesto en la normativa (**Tabla 3**) como se va a emplear para red de distribución entonces se escoge el caudal máximo horario (QMH).

Con el caudal de diseño hallado podemos encontrar la potencia de la bomba con la formula (**Ecuación 1**) tomando en cuenta las perdidas permitidas de un 25%.

$$P = \frac{p g QH}{n}$$

$$P = \frac{(1000)(9.81)(0.0297)(40 + 10)}{0.7}$$

$$P = 20811.21 \text{ W}$$

$$P = 27.9 \text{ Hp}$$

La potencia necesaria para la impulsión del fluido es de 27.9 Hp, por lo cual se accede a revisar los catálogos de las bombas comerciales distribuidas en el país.

Se busca una bomba con características de operación con caudal de 29.84 l/s y 27.9 Hp.

Se solicita una bomba con dichas características en la empresa ACFERBO BOMBAS Y MOTORES en la ciudad de Bogotá de la cual obtenemos por respuesta la siguiente:

En atención a su amable solicitud nos permitimos presentarle nuestra mejor oferta para el suministro de:

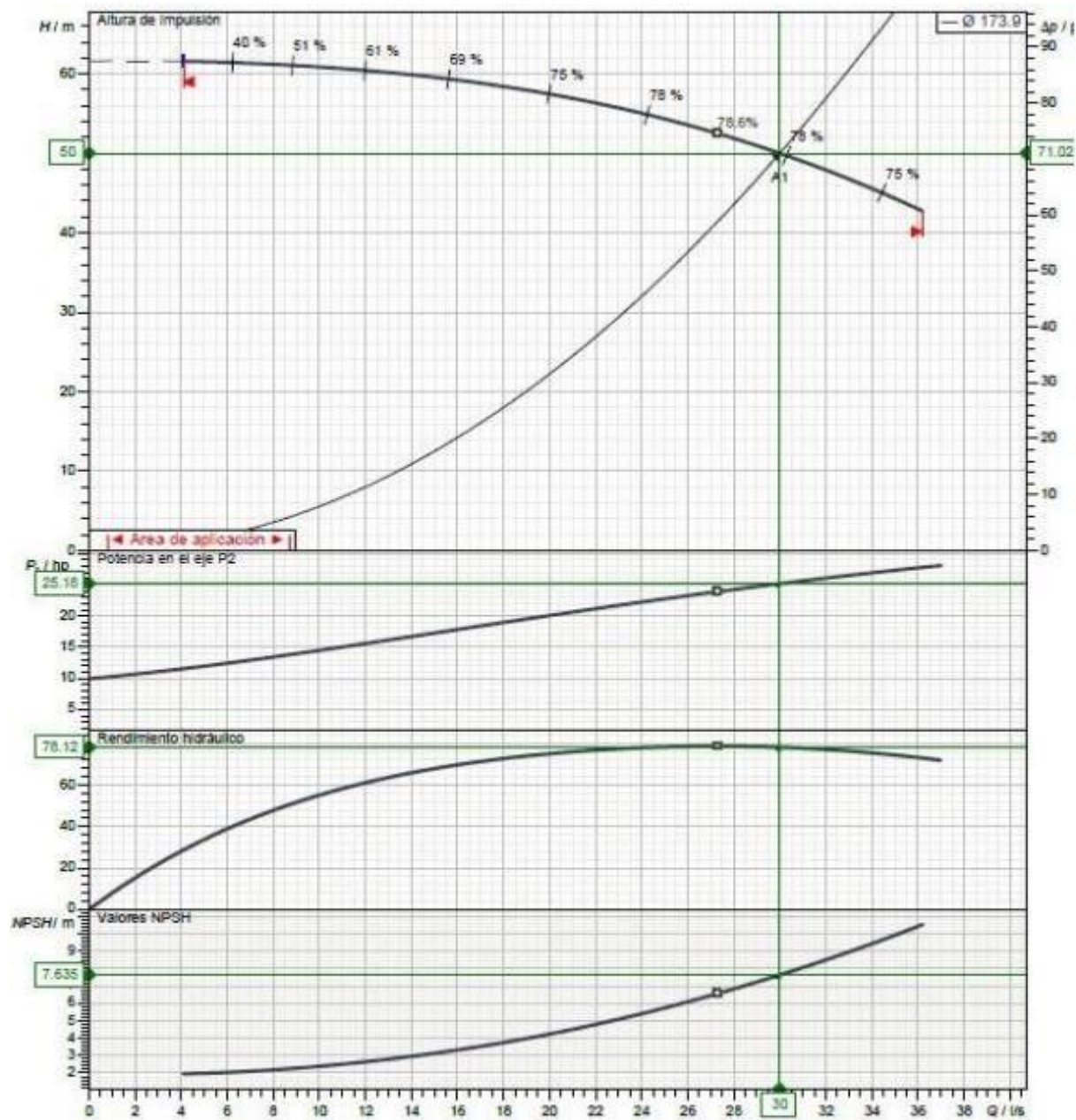
Suministro una (1) Bomba centrífuga marca Ebara elaborada en hierro succión 6 ½" y descarga 5", acoplada con motor de 30 HP a 3600 rpm montada sobre Base y acople con un precio de \$21.800.000.

**Figura 15**  
*Bomba centrífuga Ebara*



**Nota:** Bomba centrífuga suministrada por la empresa ACFERBO. Tomado de ACFERBO BOMBAS Y MOTORES.

**Figura 16**  
*Curva característica de la bomba*



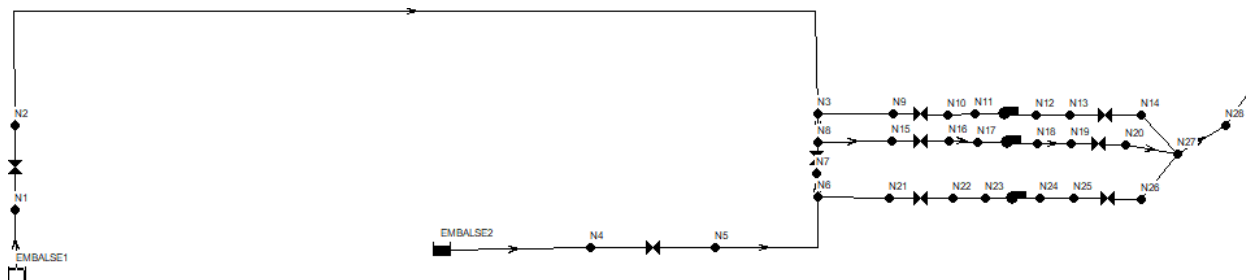
*Nota:* Curva de la bomba suministrada por la empresa ACFERBO. Tomado de ACFERBO BOMBAS Y MOTORES.

### 4.2.3 Red Hidráulica Estación Loma De Bolívar Y Sector Los Alpes Con El Nuevo

#### Equipo

**Figura 17**

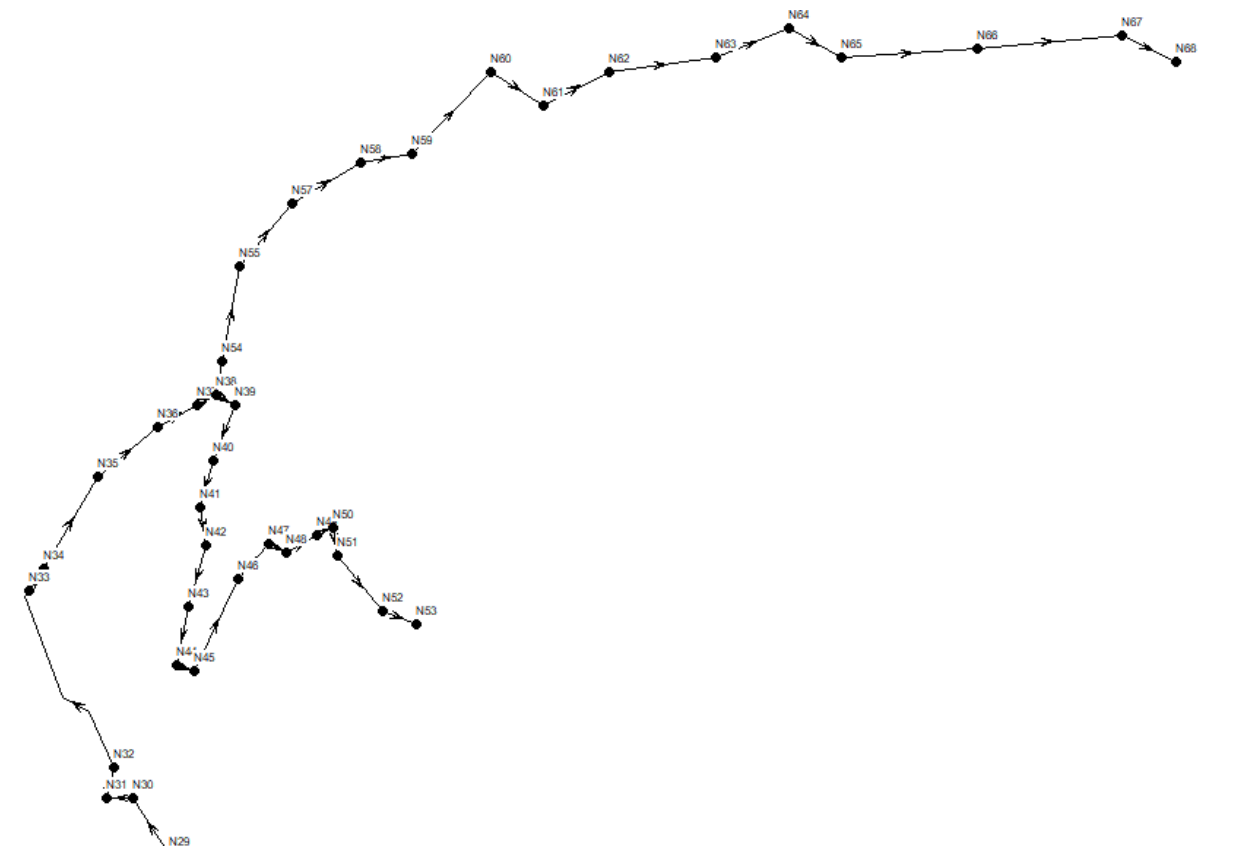
Red hidráulica estación loma de bolívar



*Nota:* Red hidráulica estación loma de Bolívar modelada en epanet. *Elaboración propia.*

**Figura 18**

Red de distribución sector los Alpes



*Nota:* Red de distribución sector los Alpes modelada en epanet. *Elaboración propia.*

### Simulación Bajo Las Nuevas Características Y El Equipo Seleccionado

**Tabla 16**

*Informe de Energía diario*

<b>BOMBA</b>	<b>Porcentaje de utilizacion</b>	<b>Rendimiento medio</b>	<b>kW.h/m3</b>	<b>Potencia Media (kW)</b>	<b>Potencia Max (kW)</b>	<b>Coste/dia</b>
<b>BOMBA1</b>	100	45	0,47	24,97	52,04	0
<b>BOMBA2</b>	100	45	0,47	0,04	0,08	0
<b>BOMBA NUEVA</b>	100	72	0,23	4,01	8,34	70896,95
<b>Coste total (\$)</b>						70896,95

*Nota:* Tabla de análisis de energía diario con la nueva bomba con el coste de energía

presupuestado para el mes de marzo \$735.96, realizado en epanet. *Elaboración propia.*

**Tabla 17**

*Informe de energía mensual*

<b>BOMBA</b>	<b>Porcentaje de utilizacion</b>	<b>Rendimiento medio</b>	<b>kW.h/m3</b>	<b>Potencia Media (kW)</b>	<b>Potencia Max (kW)</b>	<b>Coste/Mes</b>
<b>BOMBA1</b>	100	45	0,47	24,97	52,04	0
<b>BOMBA2</b>	100	45	0,47	0,04	0,08	0
<b>BOMBA NUEVA</b>	100	72	0,23	4,01	8,34	2126908,8
<b>Coste total (\$)</b>						2126908,8

*Nota:* Tabla de análisis de energía mensual con la nueva bomba con el coste de energía

presupuestado para el mes de marzo de \$735.96, realizado en epanet. *Elaboración propia.*

**Tabla 18**

*Información en las conexiones*

	Cota	Demanda	Altura	Presión
ID Nudo	m	LPS	m	m
Conexión N1	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N2	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N3	390	0.01	390.00	0.00
Conexión N4	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N5	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N6	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N7	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N8	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N9	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N10	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N11	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N12	390	0.00	467.36	77.36
Conexión N13	390	0.00	467.36	77.36
Conexión N14	390	0.00	451.89	61.89
Conexión N15	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N16	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N17	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N18	390	0.00	451.89	61.89
Conexión N19	390	0.00	451.89	61.89
Conexión N20	390	0.00	451.89	61.89
Conexión N21	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N22	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N23	390	0.00	390.00	0.00
Conexión N24	390	0.00	467.36	77.36
Conexión N25	390	0.00	467.36	77.36
Conexión N26	390	0.00	451.89	61.89
Conexión N27	390	0.00	451.89	61.89
Conexión N28	390	0.00	451.89	61.89
Conexión N29	390	0.01	451.89	61.89
Conexión N30	390	0.03	451.89	61.89
Conexión N31	390	0.01	451.89	61.89
Conexión N32	390	0.01	451.89	61.89
Conexión N33	390	0.10	451.89	61.89
Conexión N34	430	0.01	451.89	21.89
Conexión N35	420	0.05	451.88	31.88
Conexión N36	420	0.05	451.87	31.87
Conexión N37	420	0.02	451.86	31.86
Conexión N38	430	0.01	451.86	21.86
Conexión N39	430	0.01	451.86	21.86

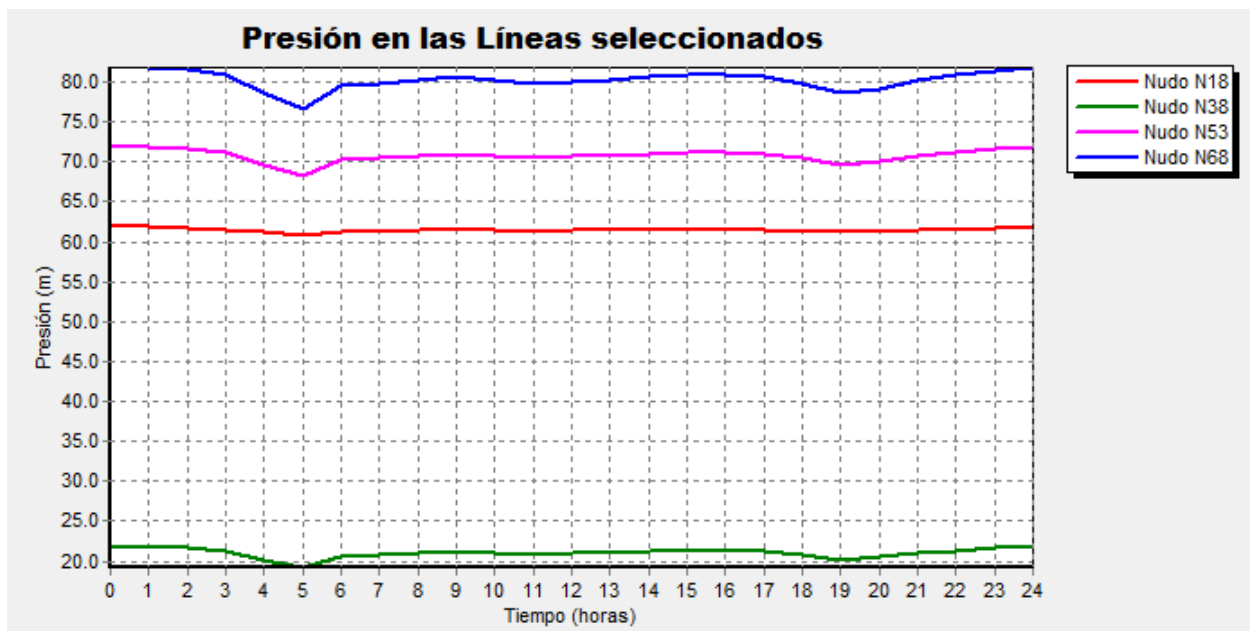


Conexión N40	420	0.03	451.86	31.86
Conexión N41	420	0.02	451.86	31.86
Conexión N42	415	0.02	451.85	36.85
Conexión N43	410	0.03	451.85	41.85
Conexión N44	400	0.02	451.85	51.85
Conexión N45	400	0.00	451.85	51.85
Conexión N46	400	0.05	451.85	51.85
Conexión N47	400	0.02	451.85	51.85
Conexión N48	390	0.01	451.85	61.85
Conexión N49	390	0.02	451.85	61.85
Conexión N50	390	0.01	451.85	61.85
Conexión N51	390	0.01	451.85	61.85
Conexión N52	380	0.02	451.85	71.85
Conexión N53	380	0.01	451.85	71.85
Conexión N54	420	0.01	451.86	31.86
Conexión N55	410	0.03	451.85	41.85
Conexión N57	410	0.04	451.84	41.84
Conexión N58	410	0.05	451.84	41.84
Conexión N59	400	0.01	451.83	51.83
Conexión N60	390	0.06	451.83	61.83
Conexión N61	390	0.02	451.82	61.82
Conexión N62	390	0.03	451.82	61.82
Conexión N63	390	0.03	451.82	61.82
Conexión N64	380	0.01	451.82	71.82
Conexión N65	380	0.01	451.82	71.82
Conexión N66	370	0.04	451.82	81.82
Conexión N67	370	0.08	451.82	81.82
Conexión N68	370	0.02	451.82	81.82
Embalse EMBALSE1	390	-0.52	390.00	0.00
Embalse EMBALSE2	390	-0.52	390.00	0.00

**Nota:** Información de los nodos obtenida a través de la simulación en epanet. Elaboración propia.

**Grafica 10**

*Grafica de presión vs tiempo en los nodos de la red seleccionados*



*Nota:* Grafica de presión vs tiempo tomada en 24 horas bajo las nuevas características de operación. *Elaboración propia con Epanet.*

**Tabla 19**

*Información en las tuberías*

	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
ID Línea	mm	LPS	m/s	m/km
Bomba BOMBA1	No Disponible	0.00	0.00	-77.36
Bomba BOMBA2	No Disponible	0.00	0.00	-77.36
Bomba BOMBANUEVA	No Disponible	1.01	0.00	-61.89
Tubería T1	508	0.52	0.00	0.00
Tubería T2	508	0.52	0.00	0.00
Tubería T3	508	0.52	0.00	0.00
Tubería T4	508	0.52	0.00	0.00
Tubería T5	508	0.51	0.00	0.00
Tubería T6	508	0.51	0.00	0.00
Tubería T7	508	0.00	0.00	0.00

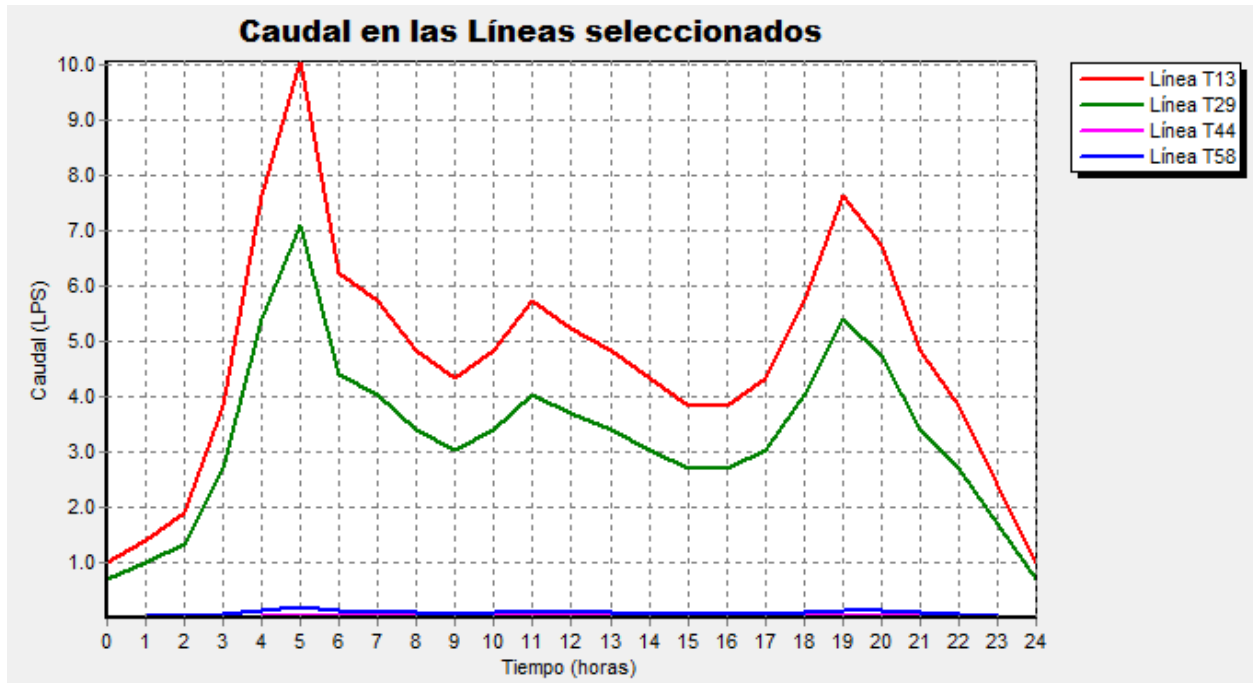
Tubería T8	304	0.00	0.00	0.00
Tubería T9	304.8	0.00	0.00	0.00
Tubería T10	304.8	0.00	0.00	0.00
Tubería T11	508	1.01	0.00	0.00
Tubería T12	203.2	1.01	0.03	0.04
Tubería T13	152.4	1.01	0.06	0.04
Tubería T14	304.2	1.00	0.01	0.00
Tubería T15	508	0.00	0.00	0.00
Tubería T16	304.8	0.00	0.00	0.00
Tubería T17	304.8	0.00	0.00	0.00
Tubería T18	304.8	0.00	0.00	0.00
Tubería T19	304.8	1.00	0.01	0.00
Tubería T20	304.8	1.00	0.01	0.00
Tubería T21	304.8	0.98	0.01	0.00
Tubería T22	304.8	0.95	0.01	0.00
Tubería T23	304.8	0.94	0.01	0.00
Tubería T24	304.8	0.93	0.01	0.00
Tubería T25	304.8	0.83	0.01	0.00
Tubería T26	101.6	0.83	0.10	0.17
Tubería T27	101.6	0.78	0.10	0.15
Tubería T28	101.6	0.72	0.09	0.15
Tubería T29	101.6	0.71	0.09	0.18
Tubería T30	76.2	0.27	0.06	0.15
Tubería T31	76.2	0.27	0.06	0.10
Tubería T32	76.2	0.24	0.05	0.08
Tubería T33	76.2	0.22	0.05	0.06
Tubería T34	76.2	0.20	0.04	0.05
Tubería T35	76.2	0.17	0.04	0.03
Tubería T36	76.2	0.15	0.03	0.05
Tubería T37	76.2	0.14	0.03	0.02
Tubería T38	76.2	0.09	0.02	0.02
Tubería T39	76.2	0.07	0.02	0.01
Tubería T40	76.2	0.06	0.01	0.01
Tubería T41	76.2	0.04	0.01	0.01
Tubería T42	76.2	0.04	0.01	0.01
Tubería T43	76.2	0.03	0.01	0.00
Tubería T44	76.2	0.01	0.00	0.01
Tubería T45	76.2	0.43	0.09	0.20
Tubería T46	76.1	0.42	0.09	0.21
Tubería T47	76.1	0.39	0.09	0.17
Tubería T48	76.1	0.35	0.08	0.15

Tubería T49	76.1	0.31	0.07	0.13
Tubería T50	76.1	0.29	0.06	0.11
Tubería T51	76.1	0.24	0.05	0.08
Tubería T52	76.1	0.22	0.05	0.07
Tubería T53	76.1	0.19	0.04	0.05
Tubería T54	76.1	0.15	0.03	0.03
Tubería T55	76.1	0.15	0.03	0.03
Tubería T56	76.1	0.13	0.03	0.02
Tubería T57	76.1	0.10	0.02	0.01
Tubería T58	75.1	0.02	0.00	0.00
Válvula 42	508	1.01	0.00	0.00
Válvula 47	152.4	1.00	0.06	0.00
Válvula BYPASS	508	0.51	0.00	0.00
Válvula VALVULADESCARGA1(12")	304.8	0.00	0.00	0.00
Válvula VALVULADESCARGA2(12")	304.8	0.00	0.00	0.00
Válvula VALVULASUCCION1(12")	508	0.00	0.00	0.00
Válvula VALVULASUCCION2(20")	508	0.00	0.00	0.00
Válvula VALVULAT120"	508	0.52	0.00	0.00
Válvula VALVULAT220"	508	0.52	0.00	0.00

**Nota:** Información de las tuberías obtenida a través de la simulación en epanet. Elaboración propia.

### **Grafica 11**

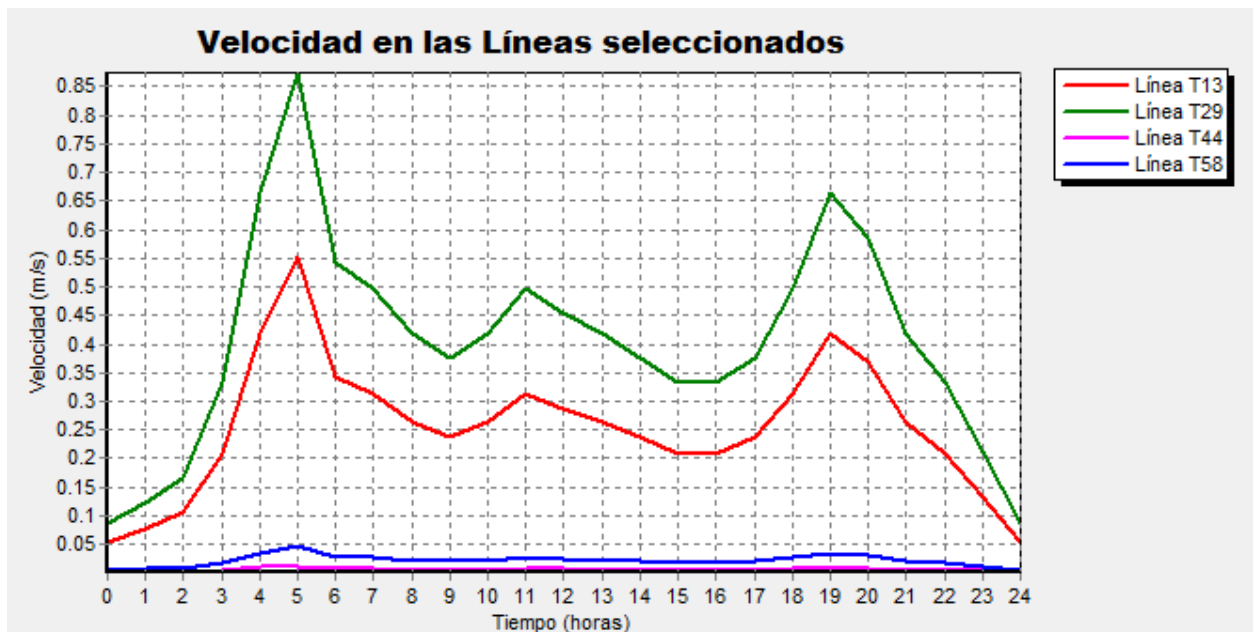
*Grafica de caudal vs tiempo en las líneas de la red seleccionados*



*Nota:* Grafica de caudal vs tiempo tomada en 24 horas bajo las nuevas características de operación. *Elaboración propia con Epanet.*

### Grafica 12

*Grafica de velocidad vs tiempo en líneas de la red seleccionados*



**Nota:** Grafica velocidad vs tiempo tomado en 24 horas bajo las nuevas características de operación. *Elaboración propia en Epanet.*

Con el coste operacional realizado para cada mes se procede a hacer una comparación con el coste operacional que implicaría el nuevo equipo.

**Tabla 20**

*Tabla comparativa de coste de energía*

	COSTE/DIA (\$)	COSTE MES (\$)
DICIEMBRE	417997,6	12957925,6
ENERO	427868,06	13263910
FEBRERO	433266,6	12131464,8
EQUIPO NUEVO	70896,95	2126908,8

**Nota:** Tabla comparativa del coste de energía para los meses de toma de datos en la estación loma de Bolívar. *Elaboración propia.*

### **Análisis Económico**

El mes de febrero se realizó el bombeo de 128434 metros cúbicos de agua con un coste de \$12131464.8 es decir bombear cada metro cubico de agua cuesta \$94.45, mientras que realizando el mismo metraje de agua con el equipo calculado se obtuvo un valor de \$2126908,8, dando como resultado \$16,56 por cada metro cubico de agua bombeado.

Si realizamos un análisis entre el mes de febrero y el análisis que se realizó con el coste de energía presupuestado para el mes de marzo realizando la simulación para la misma cantidad de metros cúbicos bombeados en la estación, se puede observar un ahorro significativo el cual implica el 82,46% por cada metro cubico bombeado con el nuevo equipo.

Comparando los costes podemos notar que se ahorran \$10004558 realizando el bombeo con la misma cantidad de metros cúbicos, pero con diferente equipo.

## 5 Conclusiones y Recomendaciones

A través de la toma directa de datos se obtuvo los valores reales de operación en la estación loma de bolívar con la cual se pudo observar una baja eficiencia en uno de los dos sectores a los cuales se realiza el bombeo.

Al realizar la simulación en el programa epanet se pudo observar que a la bomba actual cumplía con las alturas manométricas requeridas para realizar el bombeo hacia ese sector, pero la bomba tenía una potencia muy elevada y por ende el consumo de energía era mayor.

Se realizó el cálculo para hallar el nuevo equipo y con este se realizó una nueva simulación en la cual se pudo observar un ahorro significativo en el consumo de la energía reflejado en dinero.

El análisis económico nos da un balance de un ahorro del 82,46% en cada metro cubico bombeado con la nueva bomba lo cual indica un saldo positivo y se considera una buena inversión a mediano y largo plazo.

Teniendo en cuenta que los equipos que se tienen actualmente en la estación fueron seleccionados para cumplir con otro tipo de diseño y a esto se debe el sobredimensionamiento y el consumo extra en energía se opta por realizar las siguientes recomendaciones:

- Se podría instalar un variador de frecuencia con el fin de bajar la potencia de la bomba y aumentar la eficiencia energética.
- El diseño de un tanque de almacenamiento con el fin de realizar bombeo directo por gravedad podría ser una solución con el fin de reducir costos de energía,

teniendo en cuenta que con la instalación de un tanque los tiempos de trabajo de la bomba disminuyen y con ello aumenta la vida útil del equipo.

## 6 Referencias Bibliográficas

Arias Gonzáles, J. L., Holgado Tisoc, J., Tafur Pittman, T., & Vasquez-Pauca, M. J. (2022). Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis. Editorial Inudi.

aula. (2020, 12 de octubre). Cómo funciona un motor eléctrico . aula21 | Formación para la Industria; aula21. <https://www.cursosaula21.com/como-funciona-un-motor-electrico/>

Aguamarket. (n.d.-a). Bombas IHM Flujo Mixto. Aguamarket.com. Retrieved February 5, 2023, from <https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=19792>

Aguamarket. (n.d.-b). Caudal. Aguamarket.com. Retrieved February 2, 2023, from <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=427>

aula. (2020, October 12). Cómo funciona un motor eléctrico. aula21 | Formación para la Industria; aula21. <https://www.cursosaula21.com/como-funciona-un-motor-electrico/>



Bombas de flujo axial. (n.d.). Sulzer.com. Retrieved February 5, 2023, from <https://www.sulzer.com/es-es/spain/products/pumps/axial-flow-pumps>

Connor, N. (2019, September 27). ¿Qué es la eficiencia de la bomba? Definición. Thermal Engineering. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-eficiencia-de-la-bomba-definicion/>

Conrado, C. F., Arrieta, R. P., & Forero, J. D. (2020). Optimización energética de bombas centrífugas a través de un . *INGE CUC*, vol. 16 no. 1, 1-21.

Córdoba, B. A., & Velásquez, A. H. (2022). *Estudio energético de una estación de bombeo de agua*. Medellín, Colombia .

Desplazamiento positivo de engranaje. (2016, October 27). IACOL INGENIEROS S.A.S; IACOL INGENIEROS S.A.S. <https://www.iacolingenieros.com/producto/bombas-desplazamiento-positivo-de-engranaje/>

Dey, A. K. (2019, December 11). Piping Elbows vs Bends for piping and plumbing systems (PDF). What Is Piping. [https://whatispiping-com.translate.google/piping-elbows-and-bends/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=en&\\_x\\_tr\\_pto=wapp](https://whatispiping-com.translate.google/piping-elbows-and-bends/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=en&_x_tr_pto=wapp)

EditorIngCivil. (2021, 23 agosto). *¿Sabes Qué es la Curva Característica de Una Bomba Centrífuga? | Tutoriales al Día - Ingeniería Civil*. Tutoriales al Día - Ingeniería Civil | Tutoriales y Artículos para Ingenieros Civiles, Tips, y aplicaciones prácticas de la Ingeniería Civil. <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/sabes-que-es-la-curva-caracteristica-de-una-bomba-centrifuga/>

ESSAP S.A. (s. f.). <https://www.essap.com.py/32217a53b4c76b11a4d967a6ff0dfc14/>

Google Translate. (s. f.-a). [https://whatispiping-com.translate.google/piping-elbows-and-bends/?\\_x\\_tr\\_sl=en](https://whatispiping-com.translate.google/piping-elbows-and-bends/?_x_tr_sl=en)

García, L. M. (2022). *Optimización energética en sistemas de bombeo con bombas centrífugas, desarrollo de un caso práctico*. Medellín.

Google Translate. (s. f.-b). [https://whatispiping-com.translate.google/tee-connection/?\\_x\\_tr\\_sl=en](https://whatispiping-com.translate.google/tee-connection/?_x_tr_sl=en)

Google Translate. (s. f.-c). [https://whatispiping-com.translate.google/pipe-reducers/?\\_x\\_tr\\_sl=en](https://whatispiping-com.translate.google/pipe-reducers/?_x_tr_sl=en)

Google Translate. (s. f.-d). [https://whatispiping-com.translate.google/valves-in-piping-valve-types/?\\_x\\_tr\\_sl=en](https://whatispiping-com.translate.google/valves-in-piping-valve-types/?_x_tr_sl=en)

Hidráulica *¿Que es Hidráulica? Fuerza Hidraulica y Mecanismos Hidraulicos*. (s. f.). <https://www.areatecnologia.com/que-es-hidraulica.htm>

Los tipos comunes de motores eléctricos. (n.d.). Hvhindustrial.com. Retrieved February 5, 2023, from <https://hvhindustrial.com/es/blog/Tipos-de-Motores-El%C3%A9ctricos>

Los tipos de válvulas y sus características principales – STHexpert. (n.d.).

Standardhidraulica.com. Retrieved February 5, 2023, from

<https://sthexpert.standardhidraulica.com/los-tipos-de-valvulas-y-sus-caracteristicas-principales/>

Naranjo, A. L., Bayona, J. A., & Rey, J. L. (2019). *Cálculo de las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas en una planta*. Barrancabermeja .

Noguera, I. B. (2021, 27 noviembre). *¿Qué es la ecuación de Bernoulli?* IngenierÃ•a QuÃ•mica Reviews. <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/10/ecuacion-de-bernoulli.html>

*Optimización de los sistemas de bombeo para ahorrar energía eléctrica*. (s. f.).

<https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/optimizacion-sistemas-bombeo-para-ahorrar-energia-electrica>

Optimización de los sistemas de bombeo para ahorrar energía eléctrica. (n.d.). Retrieved February 3, 2023, from <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/optimizacion-sistemas-bombeo-para-ahorrar-energia-electrica>

*Perdidas por Fricción en Tuberías – Fesmex*. (s. f.).

<https://www.fesmex.com.mx/article/perdidas-por-friccion-en-tuberias/>

*¿Qué es la eficiencia energética? | Factorenergia*. (2023, 24 enero). factorenergia.

<https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>

*Qué es un motor eléctrico y cómo funciona - Soporte - TRANSELEC - Materiales, Eléctricos, Electricidad, Tableros, Rosario*. (s. f.).

<https://www.transelec.com.ar/soporte/18450/que-es-un-motor-electrico-y-como-funciona/>

Reductor de tubería. (n.d.). Etwinternational.com. Retrieved February 5, 2023, from <https://mx.etwinternational.com/4-1-3-reducers-30939.html>

*Resolución 0330 - 2017 | MinVivienda.*

(s. f.). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

Rmedina. (s. f.). Los Alpes anhela cambiar el estigma con la construcción de un mirador turístico. *Noticias de Norte de Santander, Colombia y el mundo*. <https://www.laopinion.com.co/comunidad/los-alpes-anhela-cambiar-el-estigma-con-la-construccion-de-un-mirador-turistico>

¿Sabes Qué es la Curva Característica de Una Bomba Centrífuga? (2012, March 5). Tutoriales al Día - Ingeniería Civil | Tutoriales y Artículos para Ingenieros Civiles, Tips, y aplicaciones prácticas de la Ingeniería Civil; Tutoriales al Día - Ingeniería Civil. <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/sabes-que-es-la-curva-caracteristica-de-una-bomba-centrifuga/>

Seguas. (2019, September 10). Bombas centrífugas y su uso en instalaciones hidráulicas. Seguas. <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/>

SerchJiménez, D. (2017, July 7). Pérdidas de carga localizadas o en accesorios.

*Tipos de accesorios de tubería para la industria de tuberías y plomería.* (s. f.). What is Piping. <https://whatispiping.com/tipos-de-accesorios-de-tuberia-para-la-industria-de-tuberias-y-plomeria/>

TotalEnergies. (2021, 14 abril). *¿Qué es y cómo se mide el consumo energético?*

<https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/consumo-energetico>

Universidad Politécnica de Valencia. (marzo 2010), Epanet versión 2.0.10 vE

Victoria, F. P. (2006). *MANUAL PARA ENSAYO DE PERDIDAS DE ENERGIA EN ACCESORIOS DE TUBERIA DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA . GUATEMALA.*