

Determinación de requerimientos para el rediseño de la Estación de Bombeo del municipio de  
Contratación- Santander

Cristian Camilo Aguilar López y Brayan Augusto Suárez Gutiérrez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero mecánico

Director

Manuel de Jesús Martínez

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022

### **Dedicatoria**

A mi mamá que con su esfuerzo, amor y dedicación ha hecho más de lo inalcanzable para que este sueño de ser ingeniero se me cumpla, le prometo que se lo recompensaré.

A mi hermana que ha estado siempre en los momentos buenos y no tan buenos, que desde un principio me apoyó y me puso en sus prioridades aun sabiendo que el camino no sería fácil.

A mis tías, mis tíos, mis primos de Contratación, que siempre me han hecho sentir seguro de dónde vengo y donde estoy.

A las personas que durante mi tiempo en la universidad me dieron la oportunidad de trabajar con ellos para ayudar con mi sostenimiento.

A una mujer muy especial que siempre me ha dado su apoyo de la manera más desinteresada y honesta desde que la conocí.

A mi comunidad de Contratación porque es otro profesional que surge de este pueblo.

Cristian Camilo Aguilar López

### **Dedicatoria**

A mi mamá por ser la única persona con la cual contaba y contare toda la vida.

A mi familia que me apoyaron y brindaron de su compañía en este hermoso proceso.

A mi tía Nubia Suarez por apoyarme en un tiempo en el que más apoyo necesitaba.

A todas aquellas personas que me prestaron su ayuda por poca que fuese, todas y cada una de ellas sin duda fueron fundamentales con su apoyo, logrando que yo Brayán Suarez esté a punto de ser un ingeniero mecánico de la Universidad Industrial De Santander.

Brayan Augusto Suarez Gutiérrez

### **Agradecimientos**

A dios y la Virgen por permitirnos llegar hasta este punto siempre con su bendición.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos las oportunidades y el conocimiento adquirido durante nuestro tiempo en la carrera.

A los docentes por los que pasamos y aportaron su grano de arena para formarnos como ingenieros mecánicos.

A la Alcaldía del Municipio de Contratación, por brindarnos su acompañamiento y permitirnos el ingreso a las instalaciones de la estación sin ningún inconveniente.

A nuestro director de tesis, el ingeniero Manuel de Jesús Martínez, por ser quien nos brindó el camino para realizar este proyecto y dio su visto bueno para la continuación luego de la materia staf.

A los calificadores de este proyecto por orientarnos en cuanto a las correcciones del mismo.

A todos, mil y mil gracias.

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	20
1. Descripción del problema .....	21
2. Objetivos .....	25
2.1 Objetivo general .....	25
2.2 Objetivos específicos .....	25
3. Justificación .....	26
4. Marco Teórico.....	28
4.1 Estado del arte.....	28
4.1.1 Internacionales .....	28
4.1.2 Nacionales.....	30
4.1.3 Locales .....	32
4.2 Referentes .....	33
4.2.1 Estación de bombeo (tipos de bombeo, tipos de estaciones, tipos de captaciones).....	33
4.2.2 Modelamiento (CAD) .....	34
4.2.3 Proyección de la población .....	35
4.2.3.1 Extrapolación mediante proporciones aritméticas de aumento de la población (Método Lineal o Aritmético).....	35
4.2.3.2 Extrapolación mediante proporciones geométricas de aumento de la población. (Exponencial).....	36
4.2.3.3 Extrapolación mediante parábolas (Método Parabólico).....	37

4.2.3.4 Extrapolación parabólica de datos transformados. ....	38
4.2.3.5 Método demográfico.....	38
4.2.4 Cálculo de la proyección de la población .....	39
4.2.5 Principios de la mecánica de fluidos aplicados en Estaciones de Bombeo .....	40
4.2.5.1 Flujo laminar.....	40
4.2.5.2 Flujo turbulento.....	40
4.2.5.3 Golpe de ariete.....	40
4.2.5.4 Ecuación de continuidad.....	41
4.2.5.5 Ecuación de Bernoulli.....	42
4.2.5.6 Cavitación.....	43
4.2.5.7 NPSH.....	44
4.2.5.8 Pérdidas en tuberías.....	44
4.2.6 Normatividad .....	45
4.2.7 Rediseño.....	45
4.3 Mantenimiento .....	46
4.3.1 Tipos de mantenimiento.....	46
4.3.1.1 Mantenimiento Correctivo.....	46
4.3.1.2 Mantenimiento Preventivo.....	46
4.3.1.3 Mantenimiento Predictivo.....	47
5. Diseño Metodológico.....	47
5.1 Tipo de investigación.....	47
5.2 Población.....	48
5.2.1 Condiciones caracterizadoras.....	48

5.2.2 Condiciones socioeconómicas .....	48
5.2.3 Condiciones hidrológicas.....	49
5.3 Técnicas .....	49
6. Determinación de requerimientos .....	50
6.1 Ubicación de la Estación.....	50
6.2 Estado actual de la estación .....	51
6.2.1 Tuberías de la estación.....	51
6.2.2 Tubería de aducción.....	52
6.2.3 Tubería de distribución .....	52
6.2.4 Bombas actuales.....	52
6.2.5 Bomba dosificadora de sulfato de aluminio.....	52
6.2.6 Bomba dosificadora de cloro .....	55
6.2.7 Cilindros de almacenamiento de cloro.....	55
6.2.8 Dosificadora de cloro Hidro 600.....	56
6.3 Planos de la estación .....	57
6.3.1 Planos tanque de almacenamiento actual.....	58
6.4 Proyección de la población .....	62
6.4.1 Cálculo de proyección de la población .....	62
6.5 Asignación del nivel de complejidad.....	63
6.6 Determinación de la dotación de agua para la comunidad proyectada.....	65
6.6.1 Determinación del caudal medio .....	70
6.6.2 Consumo Máximo Diario .....	71
6.6.3 Consumo Máximo Horario .....	71

6.6.4 Caudal contra incendios.....	72
6.6.5 Caudal de diseño.....	72
6.7 Diseño de captación.....	73
6.7.1 Captación actual.....	73
6.7.2 Diseño toma de fondo.....	74
6.7.3 Cálculo del ancho del canal colector.....	80
6.7.4 Diseño del canal de aducción.....	83
6.7.5 Diseño cámara de recolección.....	84
6.7.6 Diseño del canal de excesos.....	86
6.7.7 Vista general de la toma de fondo diseñada.....	90
6.7.8 Tubería de conducción.....	90
6.7.9 Velocidad media de flujo.....	93
6.7.10 Pérdidas en la tubería.....	93
6.7.10.1 Pérdida de carga por fricción.....	94
6.7.11 Perdidas menores por accesorios.....	97
6.7.11.1 Pérdidas en válvulas de compuerta.....	97
6.7.11.2 Pérdidas en válvula check.....	99
6.7.11.3 Perdidas en los codos.....	100
6.7.12 Altura dinámica total (HDT).....	101
6.8 Potencia de la bomba.....	101
6.9 Selección de bomba.....	102
6.9.1 Bomba seleccionada.....	102
6.9.2 Presión de la bomba CM 65-160B.....	104

6.9.3 Características principales de la bomba.....	105
6.9.4 Explosionado bombas de tipo CM.....	107
6.9.5 Curva NSPH de la bomba.....	107
6.10 Cavitación.....	108
6.10.1 Cálculo de NPSH disponible.....	109
6.11 Curva de operación del sistema.....	114
6.11.1 Curva de resistencia del sistema.....	115
6.11.2 Carga estática.....	116
6.11.3 Carga dinámica.....	116
6.12 Golpe de ariete.....	118
6.13 Selección de válvulas.....	119
6.13.1 Válvula de compuerta.....	120
6.13.2 Válvula de retención o check.....	121
6.14 Instalación nueva estación.....	123
6.14.1 Capacidad instalada.....	124
6.15 Modelamiento EPANET.....	125
6.15.1 Datos de la bomba.....	129
6.15.2 Curva de rendimiento y patrón de bombeo.....	130
6.15.3 Análisis de resultados.....	132
6.16 Tubería de aducción.....	135
6.17 Tanque de reserva.....	136
6.18 Costos de equipos y operación.....	136
6.18.1 Costos de equipo de bombeo.....	136

6.18.2 Costos anuales de operación .....	139
6.19 Plan de mantenimiento.....	139
6.19.1 Análisis de criticidad en la estación.....	139
6.19.2 Definición de criticidad.....	142
6.19.3 Cálculo de criticidad .....	144
6.19.4 Matriz de criticidad .....	145
6.19.5 Niveles de criticidad de los elementos.....	146
6.19.6 Resultados del análisis de criticidad .....	147
6.20 Selección del tipo de mantenimiento .....	147
6.20.1 Mantenimiento válvulas de compuerta .....	149
6.20.2 Mantenimiento válvulas de check.....	150
6.20.3 Mantenimiento de bombas dosificadoras.....	151
6.20.4 Mantenimiento en bombas centrífugas .....	154
7. Conclusiones.....	159
8. Recomendaciones .....	160
Referencias Bibliográficas .....	161
Apéndices.....	164

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Bomba dosificadora de sulfato .....	53
Figura 2. Curva de funcionamiento dosificadora de sulfato .....	54
Figura 3. Motobomba dosificadora de cloro.....	55
Figura 4. Dosificadora de cloro hidro 600 .....	56
Figura 5. Planos estación actual.....	57
Figura 6. Planos tanque de almacenamiento actual .....	58
Figura 7. Plano 1 red de distribución del municipio.....	60
Figura 8. Plano 2 red de distribución del municipio.....	61
Figura 9. Vista superior y corte de la estructura de captación .....	74
Figura 10. Vista de detalle en corte de la cámara de captación .....	75
Figura 11. Coeficiente $\mu$ para diferentes geometrías de rejilla.....	77
Figura 12. Vista superior de la rejilla.....	78
Figura 13. Caudal sobre la rejilla.....	79
Figura 14. Vista frontal canal colector.....	80
Figura 15. Alcance de chorro.....	82
Figura 16. Canal de aducción.....	83
Figura 17. Cámara de recolección .....	85
Figura 18. Vista Cámara de recolección y Canal de excesos .....	86
Figura 19. Chorro caudal de excesos .....	88
Figura 20. Tubería de excesos .....	89

Figura 21. Vista superior de la estructura de captación ..... 90

Figura 22. Catálogo PAVCO ..... 92

Figura 23. Selección motobomba ..... 103

Figura 24. Planos de la bomba..... 104

Figura 25. Características, bomba seleccionada ..... 105

Figura 26. Curva característica de la bomba..... 106

Figura 27. Explosionado de la bomba seleccionada ..... 107

Figura 28. Curva NPSH requerido..... 108

Figura 29. Longitudes para el NPSH disp. .... 110

Figura 30. Ecuación general de SWAMME-JAIN ..... 112

Figura 31. Rugosidad de los materiales ..... 113

Figura 32. Resultados NPSHdisp..... 114

Figura 33. Curva del sistema ..... 117

Figura 34. Válvula ventosa anti-ariete ..... 119

Figura 35. Válvula de compuerta seleccionada ..... 120

Figura 36. Especificaciones válvula de compuerta..... 121

Figura 37. Válvula de retención seleccionada ..... 122

Figura 38. Especificaciones, válvula de retención..... 123

Figura 39. Instalación, nueva estación..... 125

Figura 40. Red de distribución Epanet..... 126

Figura 41. Propiedades de los nodos..... 127

Figura 42. Patrón de demanda ..... 128

Figura 43. Propiedades de la bomba ..... 129

Figura 44. Curva de la bomba en Epanet.....	130
Figura 45. Patrón de la bomba.....	131
Figura 46. Resultados de 12:00 am a 4:00 am.....	132
Figura 47. Resultados de 5:00 am a 7:00 am.....	133
Figura 48. Resultados en condiciones máximas de operación.....	133
Figura 49. Cotización válvulas.....	137
Figura 50. Costo válvulas.....	138
Figura 51. Cuadro de elementos.....	140
Figura 52. Matriz de criticidad.....	146
Figura 53. Niveles de criticidad.....	146
Figura 54. Resultados de criticidad.....	147

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Métodos de cálculo según el nivel de complejidad del sistema .....	39
Tabla 2. Especificación dosificadora de sulfato .....	54
Tabla 3. Asignación del nivel de complejidad.....	64
Tabla 4. Periodos de diseño de componentes de sistemas de acueducto .....	65
Tabla 5. Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema .....	66
Tabla 6. Consumo mínimo en comercios .....	67
Tabla 7. Consumo para fines públicos.....	67
Tabla 8. Consumo para uso escolar .....	67
Tabla 9. Consumo institucional .....	68
Tabla 10. Consumo hoteles.....	68
Tabla 11. Proyección de la dotación neta según el uso de la RAS .....	69
Tabla 12. Datos de diseño para bocatoma .....	75
Tabla 13. Ángulos de inclinación de la rejilla .....	76
Tabla 14. Variación de la longitud en función de la anchura de la rejilla .....	78
Tabla 15. Tabla de coeficiente de rugosidad de Hazen- Williams .....	95
Tabla 16. Relación Le/D para accesorios .....	97
Tabla 17. Factor de fricción para la tubería .....	98
Tabla 18. Propiedades del agua a T=15 °C de las tablas del Cengel 7ma edición .....	111
Tabla 19. Elementos de bombeo.....	134
Tabla 20. Frecuencia de falla (FF).....	143

Tabla 21. Categoría para consecuencias .....	144
Tabla 22. Resultados de criticidad .....	145
Tabla 23. Tabla de mantenimiento.....	148
Tabla 24. Fallas en válvula de compuerta.....	150
Tabla 25. Fallas válvula de check .....	151
Tabla 26. Fallas bombas dosificadoras .....	152
Tabla 27. Causas de fallas en bombas dosificadoras .....	153
Tabla 28. Fallas en bombas centrífugas .....	155
Tabla 29. Fallas en bombas centrifugas II. ....	156
Tabla 30. Fallas de las bombas centrifugas III .....	157

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Cálculo NPSH disponible en EES .....	164
Apéndice B. Resultados en EPANET de as tuberías a las 11:00 am.....	166
Apéndice C. Entrada de la estación actual.....	167
Apéndice D. Vista general .....	168
Apéndice E. Tanque de almacenamiento.....	169
Apéndice F. Sedimentador.....	170
Apéndice G. Cuarto de cloración.....	171
Apéndice H. Desarenador y floculador.....	172
Apéndice I. Dosificador de cloro hdro 600.....	173
Apéndice J. Elementos actuales de la estación de bombeo. ....	174

## Glosario

**Aducción:** Línea de suministro de agua dirigida desde la captación hasta la estación de bombeo.

**Captación:** Zona de obtención del agua, puede ser un río, quebrada, pozo o tanque.

**Demanda de agua:** Requerimiento de agua en un lugar determinado para satisfacer las necesidades.

**Descarga:** Posición final a donde está dirigido el bombeo.

**Estación de bombeo:** Instalación civil con elementos mecánicos que operan en conjunto para llevar agua hasta las redes de distribución de un municipio o ciudad.

**Impulsión:** Línea de bombeo de agua desde la estación hasta la red de distribución completa.

## Resumen

**Título:** Determinación de requerimientos para el rediseño de la Estación de Bombeo del municipio de Contratación- Santander\*

**Autores:** Cristian Camilo Aguilar López y Brayan Augusto Suárez Gutiérrez\*\*

**Palabras Clave:** Distribución, abastecimiento, población, eficiencia.

### Descripción:

En el presente proyecto se realiza el estudio para el rediseño de la estación de bombeo del municipio de Contratación en Santander, el cual cuenta con una estación de varios años de construida sin la normatividad impuesta por la RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua potable y Saneamiento). La comunidad de este municipio no cuenta con un servicio óptimo debido a la no cobertura total de abastecimiento de agua potable, dejando sin servicio a dos barrios del municipio (Pablo Sexto y Bella Vista) por encontrarse situados a una altura superior de la estación de tratamiento de agua y no estar entre los barrios de abastecimiento por gravedad, como es el tipo de operación que actualmente se usa. Mediante una proyección poblacional a 25 años, se calcula un número de personas aproximadas para realizar los cálculos pertinentes y garantizar un óptimo funcionamiento en este tiempo de operación proyectado. Se determinan los requerimientos necesarios para un posible rediseño, partiendo desde la construcción de una bocatoma adecuada según las condiciones ambientales de la ubicación de la misma, hasta el proceso de selección de las unidades de bombeo que se necesitan para abastecer al 100% de la población calculada. Todos los procesos de cálculo se realizan mediante los conocimientos adquiridos en el paso por la Universidad Industrial de Santander y algunos textos de utilidad que fueron escogidos acorde a las necesidades.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Mecánica Director Manuel de Jesús Martínez Ingeniero Mecánico

### Abstract

**Title:** Determination of requirements for the redesign of the Pumping Station of the municipality of Contratación- Santander.\*

**Authors:** Cristian Camilo Aguilar López y Brayan Augusto Suárez Gutiérrez.\*\*

**Key words:** Distribution, supply, population, efficiency.

#### Description:

In the present project, the study is carried out for the redesign of the pumping station of the municipality of Contratación in Santander, which has a station built several years ago without the regulations imposed by the RAS (Technical Regulation of the Drinking Water Sector and Sanitation). The community of this municipality does not have an optimal service due to the lack of total coverage of drinking water supply, leaving two neighborhoods of the municipality (Pablo Sexto and Bella Vista) without service because they are located at a higher altitude than the treatment station. of water and not be between the neighborhoods of supply by gravity, as is the type of operation that is currently used. By means of a 25-year population projection, an approximate number of people is calculated to carry out the pertinent calculations and guarantee optimal functioning in this projected operating time. The necessary requirements for a possible redesign are determined, starting from the construction of an adequate intake according to the environmental conditions of its location, to the process of selecting the pumping units that are needed to supply 100% of the population. calculated. All the calculation processes are carried out through the knowledge acquired during the time at the Industrial University of Santander and some useful texts that were chosen according to the needs.

---

\* Degree Work

\*\* Facultad de Ciencias Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Mecánica Director Manuel de Jesús Martínez Ingeniero Mecánico

## **Introducción**

La finalidad del desarrollo de este trabajo es determinar los requerimientos necesarios para un rediseño de la estación de bombeo del municipio de Contratación en Santander, partiendo de la necesidad urgente de abastecer el 100 % de la población con las normas adecuadas que debe tener una estación prestadora de servicio de agua potable. Actualmente, estando a cargo de la Alcaldía del municipio el correcto funcionamiento y mantenimiento de esta infraestructura, se solicitaron permisos para acceder a la planta actual de tratamiento con el seguimiento guía del técnico encargado. En las visitas técnicas se resaltaron los principales problemas que tiene la estación como lo son; el desperdicio de una cantidad considerable de agua tratada, la cual se va por la tubería al drenaje, la falta de elementos de bombeo para abastecer toda la población que hace parte del municipio, la no adecuación a la normatividad actual según la RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento). Este es el ente que se encarga en la actualidad de establecer las normas que rigen el diseño y la construcción de una nueva estación.

Actualmente, La estación está diseñada para un periodo de funcionamiento no conocido, debido a que no se tienen los datos, sino que más bien se espera el momento en que el requerimiento en cuanto a funcionamiento sea mayor e implementar acciones necesarias. Por este motivo, el rediseño de la estación estará proyectado junto con la población del municipio a un periodo de 25 años. Periodo en el cual deberá cumplir con los requerimientos necesarios y una alta eficiencia.

## 1. Descripción del problema

El agua ha formado parte de la vida desde sus inicios, es el líquido vital para la supervivencia en el planeta. Desde tiempos remotos todo tipo de vida ha buscado la forma de tener en abundancia este líquido, con ello, en la humanidad, el desarrollo de la ingeniería ha hecho posible ciertas adaptaciones con el fin de obtener el agua cada vez más pura y aceptable para el cuerpo humano. Con el actual problema del calentamiento global, y la escasez de agua consumible a nivel mundial, miles de ideas han surgido para hacer este líquido potable, “El volumen total de agua en el planeta es de aproximadamente 1 390 millones de km<sup>3</sup>. Éstas son las reservas de agua de la Tierra y de ellas sólo el 0.26% es directamente utilizable por la especie humana”. (Hiriati, 2021, p.1.).

En el mundo existen zonas extremadamente abundantes de agua dulce y zonas con abundante agua salada (no apta para el consumo). Aunque el agua dulce puede ser consumida directamente de los ríos, no es aconsejable debido a la cantidad de bacterias y a las posibles enfermedades que se pueden contraer. Un factor importante en el consumo de agua potable es la sobrepoblación mundial, esta exige mucha más agua de la que el planeta quizá pueda ofrecer, debido al consumo y desperdicio humano, por ello afirma Hiriati:

“Las reservas de agua dulce están siendo utilizadas por la especie humana a una tasa extremadamente veloz, mucho más rápido de lo que tardan en recuperarse, por lo que este recurso, considerado como renovable, se empieza a transformar en no renovable” (2021, p.3).

Una estación de bombeo está compuesta por un conjunto de elementos que permiten la introducción de energía al fluido para trasladarlo de un punto a otro. De esto se encargan varias ingenierías con sus respectivas ramas, una de ella es la mecánica de fluidos que se encarga de estudiar el comportamiento de estos. Alrededor del mundo hay miles de estaciones de bombeo distribuidas en cada país y en cada pueblo, sin embargo, no todas se encuentran en las mismas condiciones. Un ejemplo muy claro de esto es que, en países desarrollados se utiliza la inteligencia artificial en sus estaciones de bombeo, (revista aguas residuales, 2017). países como Estados Unidos han cambiado sus bombas sumergibles por bombas inteligentes, las cuales ahorran en costos de operación y mantenimiento.

En Colombia, sin embargo, la situación de las estaciones de bombeo en ciudades grandes no es crítica, pues a pesar de no tener tecnología de punta, las estaciones de bombeo en las grandes ciudades abastecen a la mayoría de la población, tienen un diseño ingenieril bueno, y bombas en un estado aceptable, no obstante, no corren con la misma suerte los municipios pequeños del país, pues como no lo muestra la revista semana “107 municipios de Colombia vienen afrontando problemas con el abastecimiento de agua” ” (Acero, 2021).

Se puede notar entonces que la situación en los pequeños municipios del país es grave, a pesar de la tecnología de las bombas, o el diseño óptimo en ingeniería, el proceso de potabilización del agua sigue el mismo principio en todos los países, el cual consta básicamente de 16 pasos, como no lo muestra la página principal del acueducto metropolitano de Bucaramanga - AMB, los cuales son:

- Captación
- Des arenación
- Conducción
- Aireación
- Presedimentación
- Medición de flujo

- Dosificación de químico coagulante
- Mezcla rápida
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección
- Control de calidad
- Almacenamiento

En Colombia, las estaciones de bombeo de los pequeños municipios se encuentran en un mayor deterioro que en las ciudades, esto se debe a la falta de inversión por parte de la política pública, así mismo, Valdés y Huguet en la revista “ciencias técnicas y agropecuarias: Estaciones de bombeo, evolución y futuro” señalan:

Una mejora en el mantenimiento de los equipos es una garantía de duración y calidad del servicio de las estaciones de bombeo. La diferencia de un buen mantenimiento a un mal mantenimiento puede representar multiplicar por 10 la duración de los equipos. Este aspecto, a menudo, desgraciadamente olvidado en muchos países, incrementa los costos considerablemente cuando no se hace adecuadamente. (2014, p.3)

A pesar de que existen cantidades de estaciones, no todas las personas cuentan con la posibilidad de tener un buen servicio como es el caso del municipio de Contratación, en Santander. El municipio ubicado a 175 km de la capital del departamento cuenta con varios yacimientos de agua debido a que se encuentra rodeado por montañas. Con una densidad poblacional de 3200 habitantes, Contratación es abastecido por una estación de bombeo de hace más de 20 años, construida sin considerar algunos aspectos técnicos. Aunque hace un par de años se implementó un plan maestro de acueducto, la estación continúa con varios problemas que no se corrigieron en dicho proyecto. Sobre esto recae la falta de mantenimiento y acondicionamiento de la estación a la normatividad que se exige en la actualidad. A partir de la primera visita a la planta del municipio, se observa que sólo se cuenta con una bomba encargada de llevar el fluido al cuarto de cloración.

Por datos del técnico de la estación existe un desperdicio diario de unos 30000 lts de agua tratada con cal, cloro y sulfato de aluminio, lo cual representa gran pérdida en cuestión de costos a la estación. Además de eso, la estación bombea el agua a la red de distribución por gravedad, dejando sin servicio a unas cuantas casas en los barrios Pablo sexto y Bella vista a los cuales este método no les es efectivo debido a encontrarse unos metros más arriba de la estación. El único mantenimiento que recibe la estación es a la parte física donde se encuentra (macaneo, aseo general, limpieza) y es de manera mensual pero no existe un plan de mantenimiento en el que se aborde la bomba, los filtros, las válvulas y los tanques de almacenamiento.

Para resolver este problema se propone realizar un estudio y un rediseño de ingeniería a la estación de bombeo del municipio de Contratación partiendo inicialmente de una reestructuración de la aducción de agua a la estación, eligiendo el mejor tipo de bocatoma en las condiciones que se encuentra el yacimiento. Se busca que la nueva planta de abastecimiento de agua esté adecuada y cumpla toda la normatividad que se exige. De igual forma se desea eliminar el desperdicio de agua tratada en el municipio y con ello disminuir gastos. Finalizando con la implementación de un plan de mantenimiento adecuado para la planta de tratamiento y bombeo. Partiendo de lo anterior se puede indagar lo siguiente:

**¿Qué características debe tener el rediseño de la estación de bombeo para lograr la cobertura completa y de calidad en el municipio de Contratación en Santander?**

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Determinar qué características debe tener el rediseño de la estación de bombeo para lograr la cobertura completa y de calidad en el municipio de Contratación en Santander.

### 2.2 Objetivos específicos

Analizar las condiciones socioambientales, hidrológicas y esenciales para determinar el caudal de diseño.

Identificar ventajas y desventajas del diseño ya existente de la estación de bombeo.

Establecer los requerimientos del nuevo diseño.

Modelar el sistema mediante una herramienta de cómputo CAD.

Estandarizar la estación con la normatividad adecuada.

Elaborar un plan de mantenimiento básico en la estación y los equipos.

### 3. Justificación

De acuerdo a que, según datos, la estación de bombeo no viene presentando fallas constantes en la prestación de servicio, cuando un imprevisto aparece afecta de forma general el trabajo de la planta, además de esto por indagar con el técnico encargado, la planta tiene unas horas de prestación de servicio donde el agua tratada se desecha por el alcantarillado sin darle ningún uso. A raíz de esto, resulta de especial interés estudiar un nuevo y mejorado diseño de varias partes de la estructura que compone la estación de bombeo que tiene al municipio de Contratación y a partir de ahí crear controles de mantenimiento con el fin de prolongar su vida útil y evitar fallas en su funcionamiento. Es de suma importancia contar con una estación de bombeo que pueda abastecer de manera permanente y no dejar a la deriva del servicio una población que notablemente lo necesita cada instante.

El siguiente proyecto pretende determinar las características con las que debe contar un nuevo diseño de ingeniería para la estación de bombeo en el municipio de Contratación en Santander, afines de solucionar la problemática del servicio de agua.

Con el rediseño de toda la estructura se busca proporcionar un servicio el cual no presente fallas constantes, con funcionamiento eficaz y eficiente a la población en general junto con escuelas, hospital, centros de empleo y demás sitios que usen el servicio.

Cuando una comunidad tiene un no muy eficiente servicio de abastecimiento hídrico potable normalmente se debe a insuficiencias operativas en su estación de bombeo, ante esta situación se puede tomar dos diferentes acciones una es crear una nueva estación de bombeo y la segunda opción es rediseñar la infraestructura ya existente.

La acción de construir un bien inmueble demanda una alta cantidad de dinero en cambio un rediseño aprovecha los sistemas ya existentes y aumenta su rendimiento con el fin de igualarlos a la demanda, todo rediseño tiene como uno de sus pilares la determinación de requerimientos a los diferentes sistemas y subsistemas que lo componen, ya que el desarrollo del proyecto basa sus objetivos, limitaciones e indicadores de cumplimiento y desempeño en base a los requerimientos iniciales.

Teniendo lo anterior, se decide realizar la determinación de los requerimientos necesarios en la reingeniería de la estación de bombeo situada en el municipio de Contratación, Santander. Los requerimientos además de cumplir con la demanda del municipio tendrán como uno de sus pilares el principio bioético de la no maleficencia, de esta forma, tanto los requerimientos como la obra de reingeniería tendrá un valor agregado que antes no tenía.

Este proyecto además de cumplir con la población hará un gran aporte a la ingeniería mecánica, debido a que podrá tomar los requerimientos de este proyecto como una base de información fácilmente utilizable en proyecto con características similares, además estos datos también se pueden utilizar para comparar el desempeño de diferentes estaciones de bombeo instaladas en municipios con la misma demanda hídrica.

## 4. Marco Teórico

Se expondrán diferentes proyectos realizados por profesionales en el campo de ingeniería de diferentes universidades con relación a el trabajo presente, asimismo, se introducirán palabras claves para la mejor comprensión del proyecto y los pasos a realizar.

### 4.1 Estado del arte

A continuación, se presentan diferentes investigaciones desde los ámbito local, nacional e internacional relacionadas con el problema de investigación el cual se orienta a determinar los requerimientos para un rediseño de la estación de bombeo en el municipio de Contratación en Santander.

#### *4.1.1 Internacionales*

Caracas y cruz (2017) realizaron la Propuesta de rediseño del sistema de agua potable, para la ciudad de San José de Bocay en el cual se investigó a fondo la problemática de un municipio en Nicaragua, donde su población no estaba completamente abastecida de agua, lo que generaba un problema en cuanto a la calidad de vida, de los habitantes de la ciudad de San José del Bocay, que bien es un municipio de 68.000 habitantes, donde los sistemas de bombeo de la planta, no estaban funcionando con la eficiencia, ni los caudales requeridos, por esto, los autores plantearon el cálculo

de cómo debería operar la planta con una eficiencia mayor, y con los caudales requeridos, para abastecer la población, sin un cambio de maquinaria hasta el 2037.

En la investigación, se encontró que el caudal requerido por la población, para el 2037, y con una tasa de crecimiento del 2.5%, sería de un total de 3268 GPM, para esto se tuvo que realizar un cambio en el sistema de bombeo, donde se planteó por medio del programa EPANET una simulación, que dio como resultado un complejo de 83 nodos y 6000 m de tubería de 6 pulgadas, para la realización de este proyecto se debe invertir el total de C\$37.550.220,75 (treinta y siete millones quinientos cincuenta mil doscientos veinte con 75/100 Córdobas) lo que es equivalente a \$1.164.496,82 (un millón ciento sesenta y cuatro mil cuatrocientos noventa y seis con 82/100 dólares) con una tasa de cambio de 32.25 por dólar, el costo total incluye factor de transporte, mano de obra y equipos. Ya que Nicaragua al ser un país centro americano, posee unas características, sociales y económicas parecidas a las nuestras, además la población que se escogió el autor en este proyecto es muy similar a la población con la que cuenta el municipio de Contratación, es por esto que la investigación de Caracas y Cruz aporta un valor estimado y un modelo de diseño, que puede ser guía para la realización de este proyecto.

El autor Danilo Narváez (2019) en su proyecto de grado rehabilitación del sistema de agua potable en Sambache y diseño de la línea de impulsión al tanque de reserva. Muestra en su trabajo como la planta de aguas de Sambache en Ecuador, tiene estructuras bastante precarias, y un problema de bombas que no permite el ingreso del fluido a el tanque de reserva de manera apropiada, también se le suma que la infra estructura es de los años 70 y los tubos en su mayoría son de concreto y asbesto.

El autor plantea el cambio de maquinaria y diseño de la planta de aguas, para esto , se deben remplazar los tubos de asbesto, por tubería de PVC y a su vez mejorar la calidad del agua,

según la norma INEN 1108, que es la respectiva del país, esto con sus cálculos debidamente sustentados, a esto se le suma el rediseño del sistema de bombeo, para llevar el agua al tanque de reserva, para el cual se debe cambiar la bomba y las tuberías que lo conectan, pues las presentes ya se encuentran en estado deplorable y con graves daños. Los caudales que se deben tener en este sistema que se rediseñara, son de 35 L/seg, para tener un óptimo llenado.

De nuevo, este proyecto internacional es de un país no solo sur americano, sino vecino a Colombia, el cual tiene una economía y estructuras sociales parecidas, la investigación que realizo Danilo Narváez nos da una guía de que elementos son los óptimos, para las diferentes tuberías de una estación de bombeo, de más o menos las dimensiones y caudales que la del municipio de Contratación.

#### ***4.1.2 Nacionales***

Sandoval y Parrado (2018) realizaron la investigación Optimización del diseño hidráulico del acueducto veredal del alto del ramo de municipio de Chipaque Cundinamarca. El pésimo servicio prestado por la planta de abastecimiento de agua en el municipio de Chipaque abrió paso a estos dos ingenieros civiles para buscar alternativas que brindaran un abastecimiento más estable mediante la optimización de la estación de bombeo y la aplicación de la normatividad técnica vigente según el Reglamento Técnico del Sector de Agua potable y saneamiento – RAS. Para la red de distribución se hizo uso de la herramienta virtual Epanet con la cual se simularon las tuberías del municipio.

Los resultados obtenidos de la investigación basados en la observación que el municipio no cuenta con un sistema de acueducto óptimo mostraron la eficiencia que tendría una inversión

de \$65.590.665,18 en cambio de tubería y maquinaria con una población futura creciente proyectado. El aporte de esta investigación al proyecto presente será muy directo debido a la similitud de los municipios junto con sus habitantes, se tienen cifras obtenidos en cuanto a costos y a cálculos que se esperan no sean muy diferentes.

Ortiz (2011) en su proyecto Diseño e implementación del sistema de bombeo principal del sector a mina calenturitas, propiedad de C.I Prodeco S.A, ubicada en el corregimiento de La Loma, El paso, Cesar desarrolla el diseño del sistema de bombeo general para una empresa en específico, Ortiz, tiene como objetivo “Diseñar e implementar el sistema de bombeo principal del sector A mina Calenturitas, propiedad de C.I PRODECO. La Loma, cesar”. Los resultados obtenidos fueron los esperados en el proyecto. Se diseñó la estación y como practicante de ingeniería logró lo deseado, con este proyecto se abarca la generalidad de un inicio de construcción de una estación de bombeo, por ello, será de utilidad tenerlo en cuenta para presente proyecto.

Tangarife y moreno (2018) en su proyecto llamado “Diseño de un sistema de bombeo para acueducto de Malambo, Atlántico” realizaron su trabajo debido a la situación del proceso de captación y filtrado en la planta.

Los autores usaron los parámetros y requerimientos del sistema como la base de todo el proyecto y a partir de ahí se plantearon y evaluaron las diferentes alternativas de filtración las cuales están dirigidas a la optimización del abastecimiento durante las 24 horas del día.

Como herramientas se utilizó un proceso normalizado de pasos para el diseño, además, se utilizó el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2.000 como guía técnica.

Los resultados de este proyecto fue un diseño de la estación de bombeo y la estación de filtrado ajustado al RAS 200, estos resultados representan una gran ayuda en nuestro proyecto

debido ya que podemos usarlo como una guía de como ajustar nuestro diseño a una norma técnica específica.

#### ***4.1.3 Locales***

Moreno y chacón (2018) realizaron la investigación Propuesta de diseño y evaluación del acueducto del municipio Suaita – Santander, desde la captación hasta el tanque de almacenamiento.

En el municipio de Suaita- Santander se tiene un saneamiento urbano del 93% la cual los autores consideran una cobertura insuficiente la cual se planteó solucionar mediante el diseño y evaluación del acueducto que se componía de una estación de bombeo y una planta de tratamiento. La evaluación se desarrolló por medio los 4 siguientes pasos metodológicos: coordinación de la visita, realización de la visita al municipio, recopilación de información y análisis de información. Después se desarrollaron las propuestas de diseño junto con su correspondiente análisis y selección.

Con este proyecto de investigación se obtuvo como resultados un diseño que responde satisfactoriamente a la demanda hídrica actual y futura de Suaita. También se obtuvo algunas recomendaciones para tener en cuenta al momento de la implementación.

Este trabajo de grado es un aporte a la investigación debido a que da información valiosa que se puede utilizar en el momento del desarrollo de los requerimientos y el rediseño de la estación.

## 4.2 Referentes

### 4.2.1 Estación de bombeo (*tipos de bombeo, tipos de estaciones, tipos de captaciones*)

“Las estaciones de bombeo constan de una o varias bombas con sus correspondientes pozos de bombeo, tuberías de succión y descarga. La finalidad es la de proporcionar al líquido, la energía suficiente para poder ser transportado mediante un conducto a presión, desde un punto de menor cota a uno de mayor cota”. (EMAPAD, s.f.)

Estos son ubicados por lo general cerca del lugar de captación, y dependiendo de la altura, la profundidad de la fuente hídrica, el tipo de captación puede cambiar, existe captación pluvial, de tirolesa, de lagos, captación de aguas subterráneas, sin embargo el tipo de captación que nos interesa en este caso, es la captación de tirolesa para un río, la cual consiste en captar el agua por medio de una rejilla instalada en un canal perpendicular a la dirección del río, esta rejilla separa el agua de sus sedimentos de mayor tamaño y la lleva a un lugar donde será almacenada, para posteriormente ser bombeada por medio de bombas centrifugas hacia los tubos que suministran el líquido al municipio de Contratación.

Para esta labor sin duda la maquina más importante para una estación de bombeo es la bomba, de estas existen muchos tipos, tales como:

- Bomba de lóbulos
- Bomba de tornillo
- Bomba de engranajes
- Bomba de desplazamiento positivo de embolo
- Bomba centrifuga

Estas son normalmente las más utilizadas en la industria, sin embargo, nos vamos a concentrar en las bombas centrífugas con motor eléctrico, pues según la normativa RAS, siempre que sea posible se debe utilizar un motor eléctrico para las bombas, pues este no emite gases contaminantes y tiene un sistema óptimo de disipación de calor, además de la economía que estos producen. Nos enfocamos enteramente en las bombas centrífugas por su alta eficiencia a la hora de impartir presión a los diferentes fluidos, lo cual nos va a generar mayores caudales a menor gasto energético.

Las bombas deben cumplir con requisitos mínimos de funcionamiento y con parámetros debidamente calculados bajo norma, en el caso de Colombia, se rigen bajo la normal RAS que es el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

#### ***4.2.2 Modelamiento (CAD)***

Cuando se está diseñado un sistema normalmente se crea un prototipo de pruebas el cual puede ser muy costoso , debido a esto se desarrolló el “modelamiento CAD o también conocido como el diseño asistido por computadora por sus siglas en inglés (Computer-Aided-Desing), se refiere al uso de computadoras para ayudar a la creación, análisis, simulaciones o modificaciones de sistemas, en estos softwares se puede “crear, modificar, analizar y documentar representaciones gráficas bidimensionales o tridimensionales (2D o 3D) de objetos físicos como una alternativa a los borradores manuales y a los prototipos de producto.” (siemens , s.f.).

Con el uso de los programas CAD se ha reducido el costo de pruebas mecánicas de los sistemas y herramientas diseñados.

### 4.2.3 Proyección de la población

La proyección de una población se realiza cuando se quiere realizar un proyecto el cuál trabajará a futuro mientras el crecimiento poblacional de la comunidad beneficiada está en aumento. Para proyectar la población se utilizan los siguientes métodos:

**4.2.3.1 Extrapolación mediante proporciones aritméticas de aumento de la población (Método Lineal o Aritmético).** El método más sencillo de extrapolación consiste en calcular la cifra media anual de aumento de la población entre un censo y el siguiente y añadir una cantidad igual por cada año transcurrido después del último censo. La población que aumenta en proporción aritmética obedece a la siguiente fórmula:

$$P_n = P_2 + K_0 * t_p \quad (1)$$

donde:

$P_n$  = Población al final del período, población proyectada.

$P_2$  = Población del último censo realizado.

$t_p$  = Período para el cual se desea hacer la estimación, en años.

$K_0$  = Promedio anual de crecimiento de población.

$$K_0 = \frac{P_2 - p_1}{N_p} \quad (2)$$

donde  $P_1$  y  $P_2$  son las cifras del primero y segundo censo, respectivamente.  $N_p$  es el intervalo transcurrido entre los censos en años.

Hay que señalar que el aumento numérico constante de una población en desarrollo significa en realidad un ritmo decreciente del aumento en relación con la importancia numérica de la población.

**4.2.3.2 Extrapolación mediante proporciones geométricas de aumento de la población. (Exponencial).** La extrapolación geométrica corresponde a la hipótesis de que la población aumenta constantemente en una cifra proporcional a su importancia numérica cambiante. En este caso, el cálculo se realiza de la misma manera que cuando se calcula el interés compuesto. La población que aumenta en proporción geométrica obedece a la siguiente fórmula:

$$P_n = P_2 * (1 + r)^{tp} \quad (3)$$

Donde:

P<sub>2</sub>= Población del último censo realizado

tp= Período para el cual se desea hacer la estimación, en años

r = Ritmo anual de aumento de población

P<sub>n</sub> = Población al final del período o población proyectada

Si el ritmo de aumento se tiene que determinar comparando resultados de censos, es posible encontrarlo aplicando la fórmula:

$$(1 + r) = \sqrt[N_p]{\frac{P_2}{P_1}} \quad (4)$$

donde P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> son las cifras de población según el primero y el segundo censo, respectivamente, y N<sub>p</sub> es el intervalo transcurrido entre los dos censos, en años.

Así, para realizar una extrapolación geométrica del ritmo de aumento indicado por la comparación entre la cifra del último censo y la del censo anterior, a partir de la fecha del último censo en adelante, la fórmula es:

$$P_n = P_2 * \left( \sqrt[n_p]{\frac{P_2}{P_1}} \right)^{t_p} \quad (5)$$

Donde  $t_p$  es el tiempo transcurrido después del censo hasta la fecha actual.

**4.2.3.3 Extrapolación mediante parábolas (Método Parabólico).** El método de extrapolación más usado que emplea los resultados de tres o más censos es la extrapolación por parábolas de segundo y tercer grado. Una parábola de segundo grado puede calcularse de los resultados de tres censos; este tipo de curva no sólo es sensible al ritmo medio de crecimiento, sino también al aumento o disminución de la velocidad observada en ese ritmo. Una parábola de tercer grado, que es posible mediante los resultados de cuatro censos, no sólo toma en cuenta el aumento o disminución de la velocidad en el ritmo de crecimiento, sino también el ímpetu variable del aumento o disminución de la velocidad.

La curva parabólica de segundo grado se define por la fórmula:

$$P_{t_p} = a + b * t_p + c * t_p^2 \quad (6)$$

donde  $t_p$  es el intervalo cronológico en años medido desde cualquier fecha determinada, por ejemplo, una de las fechas de los censos.  $P_{t_p}$  es la población que se cree que habrá  $t_p$  años después de la fecha fijada y a, b y c son constantes que pueden calcularse resolviendo la ecuación citada para cada una de las tres fechas censales.

La curva parabólica de tercer grado se define mediante la fórmula:

$$P_{tp} = a + b * tp + c * tp^2 + d * tp^3 \quad (7)$$

El cálculo de estas constantes requiere cuatro ecuaciones independientes, que deben resolver para las fechas de los cuatro censos.

**4.2.3.4 Extrapolación parabólica de datos transformados.** La tendencia de las parábolas después de varios años de proyección es a acusar un ascenso o descenso cada vez más pronunciada. En muchos casos, este defecto puede modificarse aplicando la extrapolación parabólica a los logaritmos de las cantidades, en lugar de aplicarla a las cifras en sí. La extrapolación de logaritmos implica una proyección de ritmos cambiantes de crecimiento en vez de cantidades absolutas cambiantes.

La curva parabólica de segundo y tercer grado con datos transformados se define mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Log}(P_{tp}) = a + b * tp + c * tp^2 \quad (8)$$

$$\text{Log}(P_{tp}) = a + b * tp + c * tp^2 + d * tp^3 \quad (9)$$

**4.2.3.5 Método demográfico.** El movimiento de la población tiene tres componentes: nacimientos, defunciones y migración. A medida que las personas nacen, mueren o cambian de residencia, puede variar el número total de la misma en una zona. El método fundamental para calcular el cambio numérico de la población a través del tiempo consiste en utilizar la ecuación compensadora.

La ecuación compensadora se define mediante la siguiente fórmula:

$$P_{tp} = P_0 + (N - D) + (I_m - E_m) \quad (10)$$

Donde:

D = Defunciones entre la fecha inicial y final del período de proyección.

Em = Emigración (o emigración interna) entre la fecha inicial y final del período.

Im = Inmigración (o migración interna) entre la fecha inicial y final del período.

N = nacimientos entre la fecha inicial y final del período.

**4.2.4 Cálculo de la proyección de la población**

Para elegir el método de cálculo de la población futura se hace uso de la tabla 1, la cual especifica qué método usar (aritmético, exponencial, logarítmico, etc..) según la población actual de un sitio en particular.

**Tabla 1.**

*Métodos de cálculo según el nivel de complejidad del sistema*

Método	Población (habitantes)			
	Hasta 5000	De 5001 a 20000	De 20001 a 100000	Mayores a 100000
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Exponencial	X (2)	X (2)	X (1)	X
Curva Logística				X

(1) Optativo, recomendable

(2) Sujeto a justificación

*Nota.* Aquí se observan los 4 métodos principales para el cálculo de proyección de la población, según la complejidad del sistema según la RAS. Adaptado de “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento”. 2017.

#### *4.2.5 Principios de la mecánica de fluidos aplicados en Estaciones de Bombeo*

**4.2.5.1 Flujo laminar.** Es uno de los dos tipos principales de flujo en la mecánica de fluidos o hidráulica. Se llama flujo laminar o corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en laminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente. En flujos laminares el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular.

**4.2.5.2 Flujo turbulento.** En mecánica de fluidos, se llama flujo turbulento o corriente turbulenta al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos, (no coordinados) como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente. Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica.

**4.2.5.3 Golpe de ariete.** El golpe de ariete es un fenómeno que puede producirse en tuberías largas, cuando se detiene bruscamente una columna de agua que se desplaza por su interior. Ocurre en la vida diaria con frecuencia. Un ejemplo de ello es el ruido estruendoso que en ocasiones se produce en instalaciones antiguas, cuando al cerrar un grifo retumba la tubería entera. Ese ruido es señal de que el agua que se desplazaba a una cierta velocidad se ha detenido casi instantáneamente, transmitiendo de golpe la energía cinética que poseía.

Cuando ocurre el golpe de ariete, la presión podría cambiar momentáneamente de manera abrupta por más de 100 bar dentro de la tubería.

Este impacto puede dañar seriamente la tubería, equipo o cubierta de la maquinaria, resultando en daños no solo para las juntas en las uniones, pero también en las bridas de válvulas o las válvulas mismas. Tan pronto como algo como esto, como una válvula, se daña, grandes cantidades de condensado caliente o de vapor comienzan a fugarse, lo que podría llevar a un serio accidente. Incluso ha habido reportes de muertes que se producen debido al golpe de ariete. A pesar de esto, existe muy poca información o investigación dedicada a sus causas y prevención, y muchos usuarios de vapor se encuentran en desventaja en cómo hacerle frente a este problema. Si se detecta un golpe de ariete en una instalación existente, es recomendable resolverlo cuanto antes. Una forma es instalando un amortiguador hidráulico lo más cerca que pueda del grifo que provoca el golpe de ariete y todo se habrá resuelto.

**4.2.5.4 Ecuación de continuidad.** Cuando un fluido fluye por un conducto de diámetro variable, su velocidad cambia debido a que la sección transversal varía de una sección del conducto a otra.

En todo fluido incompresible, con flujo estacionario (en régimen laminar), la velocidad de un punto cualquiera de un conducto es inversamente proporcional a la superficie, en ese punto, de la sección transversal de la misma.

La ecuación de continuidad no es más que un caso particular del principio de conservación de la masa. Se basa en que el caudal ( $Q$ ) del fluido ha de permanecer constante a lo largo de toda la conducción.

Dado que el caudal es el producto de la superficie de una sección del conducto por la velocidad con que fluye el fluido, tendremos que en dos puntos de una misma tubería se debe cumplir que:

$$Q_1 = Q_2 \tag{11}$$

$$S_1 * v_1 = S_2 * v_2 \tag{12}$$

Que es la ecuación de continuidad y donde:

✚  $S$  es la superficie de las secciones transversales de los puntos 1 y 2 del conducto.

✚  $v$  es la velocidad del flujo en los puntos 1 y 2 de la tubería.

Se puede concluir que, puesto que el caudal debe mantenerse constante a lo largo de todo el conducto, cuando la sección disminuye, la velocidad del flujo aumenta en la misma proporción y viceversa.

**4.2.5.5 Ecuación de Bernoulli.** El teorema de Bernoulli es una aplicación directa del principio de conservación de energía. Con otras palabras, está diciendo que si el fluido no intercambia energía con el exterior (por medio de motores, rozamiento, térmica...) esta ha de permanecer constante.

El teorema considera los tres únicos tipos de energía que posee el fluido que pueden cambiar de un punto a otro de la conducción. Estos tipos son; energía cinética, energía potencial gravitatoria y la energía debida a la presión de flujo (hidrostática).

$$\text{Energía cinética. Debida a la velocidad de flujo} = \frac{1}{2} * m * v^2 \tag{13}$$

$$\text{Energía potencial. gravitatoria Debida a la altitud del fluido} = m * g * h \tag{14}$$

$$\text{Energía de flujo. Debida a la presión a la que está sometido el fluido} = p * V \tag{15}$$

Por lo tanto, el teorema de Bernoulli de manera general se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + v_1^2 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + v_2^2 \tag{16}$$

✚  $v_1$  y  $v_2$  es la velocidad de flujo del fluido en diferentes puntos

- ✚  $\gamma$  es el peso específico del líquido
- ✚  $z_1$  y  $z_2$  es la altura desde una cota de referencia.
- ✚  $p_1$  y  $p_2$  son las presiones a lo largo de la línea de corriente del fluido.

**4.2.5.6 Cavitación.** La cavitación o aspiraciones en vacío es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli. Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión y explotan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, «aplastándose» bruscamente las burbujas) produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que origina este fenómeno.

La implosión causa ondas de presión que viajan en el líquido. Estas pueden disiparse en la corriente del líquido o pueden chocar con una superficie. Si la zona donde chocan las ondas de presión es la misma, el material tiende a debilitarse metalúrgicamente y se inicia una erosión que, además de dañar la superficie, provoca que ésta se convierta en una zona de mayor pérdida de presión y por ende de mayor foco de formación de burbujas de vapor. Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida cuando implosionan, las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando picaduras sobre la superficie sólida.

El fenómeno generalmente va acompañado de ruido y vibraciones, dando la impresión de que se tratara de grava que golpea en las diferentes partes de la máquina.

**4.2.5.7 NPSH.** NPSH es la sigla de la expresión inglesa “Net-Positive-Suction-Head”, también llamada “altura de aspiración neta positiva” o “altura total de presión de retención”. El NPSH está relacionado con el fenómeno de la cavitación. Al igual que la altura de elevación, el caudal de impulsión y la potencia absorbida, representa una de las características más importantes para una bomba. Se distingue entre el NPSH de la instalación (NPSHA o NPSHdisponible) y el NPSH de la bomba (NPSHP o NPSHrequerido). Mediante una simple comparación de los dos valores NPSHdisp. y NPSHreq., es posible determinar, si la bomba seleccionada es apta para trabajar con seguridad en la planta contemplada o no. Para que una bomba funcione sin cavitación, debe cumplirse la siguiente expresión:

$$NPSH_{disp} > NPSH_{req} \quad (17)$$

Esta condición debe cumplirse en la totalidad del margen de funcionamiento admisible de una instalación de bombeo. Es el caso, si el valor NPSHdisp. [m] es superior en un margen de seguridad – normalmente 0,5 m – al valor NPSHreq. [m].

**4.2.5.8 Pérdidas en tuberías.** El flujo de un líquido en una tubería viene acompañado de una pérdida de energía, que suele expresarse en términos de energía por unidad de peso del fluido circulante (dimensión de longitud) denominadas habitualmente pérdida de carga.

En el caso de tuberías horizontales, la pérdida de carga se manifiesta como una disminución de presión en el sentido del flujo.

La pérdida de carga está relacionada con otras variables fluidodinámicas según sea el tipo de flujo, laminar o turbulento. Además de las pérdidas de carga lineales (a lo largo de los conductos) también se producen pérdidas de carga singulares en puntos concretos como codos, ramificaciones, válvulas, etc.

#### ***4.2.6 Normatividad***

La normatividad consiste un grupo “de normas aquella ley, precepto, **orden**, regla o conjunto de las ellas, que son impuestas o establecidas por algún individuo o ente en particular para que sean cumplidas por otros, en dado tiempo y espacio” (Concepto definición, 2021) , las normas registradas en la normatividad en el mundo del rediseño se usa para estandarizar globalmente todos los instrumentos, herramientas y partes mecánicas, estas normativas pueden variar dependiendo del país o del estado, en el caso de Colombia para estaciones de bombeo, se debe utilizar la norma RAS, con el fin de cumplir todos los requisitos legales, de diseño optimo, saneamiento básico y de ecología que se requieren.

#### ***4.2.7 Rediseño***

Volver a diseñar algo o modificar un diseño previo, normalmente se rediseña algo cuando su función actual no satisface las necesidades mínimas o no cumple con todos los intereses para los que fue diseñado, otra razón para un rediseño es la modernización

“Hay que tener en cuenta que el concepto de rediseño no forma parte del diccionario de la Real Academia Española (RAE). De todos modos, la inclusión del prefijo re- indica que un rediseño es el resultado de volver a diseñar algo, también puede implicar un cambio en cosas intangibles, por ejemplo, desarrollar una estrategia” (Morales Castañeda, 2019)

Para este caso en particular, los motivos son de condiciones precarias que conducen a un malfuncionamiento que debe ser corregido.

### 4.3 Mantenimiento

El mantenimiento, en ingeniería está definido como el procedimiento que se le realiza a un ítem o un activo con el fin de prolongar su vida productiva. Existen diversos tipos y técnicas utilizadas para que una máquina desarrolle su función de forma efectiva. A continuación, se exponen los tipos de mantenimiento más usados en la industria.

#### 4.3.1 Tipos de mantenimiento

**4.3.1.1 Mantenimiento Correctivo.** Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos. En este tipo de mantenimiento puntualmente lo que se busca es esperar a que la falla en una máquina ocurra para luego de eso ser asistida por el equipo encargado.

**4.3.1.2 Mantenimiento Preventivo.** Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema. Como su nombre lo indica, se busca prevenir que una falla ocurra mediante asistencia oportuna de los operarios encargados.

**4.3.1.3 Mantenimiento Predictivo.** Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos. Si se quiere que una máquina funcione con su mayor disponibilidad, este es el tipo de mantenimiento más adecuado, aunque más costoso debido a las técnicas que utiliza y los equipos avanzados que se necesitan.

## 5. Diseño Metodológico

### 5.1 Tipo de investigación

En el caso particular de la estación de bombeo del municipio de Contratación en Santander, se presenta un fallo por parte de los diseños precarios que esta tiene, es por eso que se decide hacer una investigación de tipo descriptiva, donde se puedan analizar cuantitativamente, no solo los errores y fallas que presenta la estación, sino también mostrar por medio de investigaciones y fuentes secundarias, tales como los libros de mecánica de fluidos de Mott, como por las diferentes teorías brindadas por los investigadores del campo de la mecánica de fluidos, qué características

debería tener la planta con el fin de su óptimo funcionamiento, no solo para el presente, sino también, para una proyección a futuro con las debidas normas colombianas.

## **5.2 Población**

La población afectada por el inadecuado diseño de la estación de bombeo en el municipio de Contratación en Santander, un municipio que, según el último censo de 2017, cuenta con 3491 habitantes y está ubicado en la provincia comunera en una zona central del país, que, a pesar de su reducida población, su cercanía a fuentes hídricas como los ríos, Oibita, Araya y Suarez. Además de numerosas quebradas entre las que destacan: La Macaligua, Agua Fría, La Sarna, La Renta, La Cureña, Agua Blanca, La cueva, Margaritas, La Rayada, La Arenera, San Juanera y otras más con pequeños caños o fuentes, lo hace un municipio abundante en fuentes hídricas.

### ***5.2.1 Condiciones caracterizadoras***

Cuando se hablan de factores que caracterizan una comunidad y brindan especificaciones para un nuevo diseño, se debe tener en cuenta las condiciones socioeconómicas, hidrológicas y esenciales para los cálculos.

### ***5.2.2 Condiciones socioeconómicas***

Las condiciones socioeconómicas son “una medida de la situación social que incluye típicamente ingresos, educación y ocupación, está ligada a una amplia gama de repercusiones de

la vida, que abarcan desde capacidad cognitiva y logros académicos hasta salud física y mental” (Hook, Lawson, & Farah, 2013) .

Estas condiciones permiten clasificar la calidad de vida de una sociedad respecto a otras comunidades y como sus condiciones sociales los afectan.

### ***5.2.3 Condiciones hidrológicas***

Cuando hablamos del agua y de sus condiciones ambientales en diferentes terrenos y condiciones térmicas nos estamos refiriendo a las condiciones hidrológicas donde se inicia con la “delimitación de la cuenca, la medición del área y la longitud, altura máxima y mínima, índice de compacidad, factor de forma, curva hipsométrica, pendiente media, caracterización de la red de drenaje y el perfil altimétrico del cauce principal, entre otros” (GOBIERNO DE GUATEMALA, 2015).

Con estos datos se facilita bastante el trabajo de calcular las condiciones de abastecimiento permisibles desde el punto de vista ecológico.

## **5.3 Técnicas**

A pesar de tener en mayor parte todos los datos cualitativos acerca de la población, la situación socioeconómica, la situación geografía, hidrológica y las situaciones que aquejan a la planta, aun estarían faltando algunos datos para la realización óptica con los parámetros necesarios, es por esto que se va a recurrir a un método no estadístico de recopilación de datos, donde se harán encuestas a población debidamente seleccionada, la cual será la de mayor vulnerabilidad del

municipio, para recopilar no solo los datos de como obtienen el agua, sino la calidad de la misma, todo esto con el fin de tener un panorama completo de cuanta población hay damnificada.

Una vez con un panorama bien definido de la situación se procederá a una visita técnica a la estación de bombeo para la debida identificación de problemas críticos para solucionar y también para revisar que está funcional de la estación, para contar con eso como una ventaja y disminución de costosa la hora de la implementación del proyecto.

Con los anteriores datos recopilados y debidamente tabulados, se puede empezar a hacer los cálculos correspondientes para hallar los requerimientos necesarios para la nueva planta, todo esto con la ayuda grafica del programa CAD o hojas de cálculo.

## **6. Determinación de requerimientos**

### **6.1 Ubicación de la Estación**

La actual estación de bombeo del municipio se encuentra ubicada a una altura de 1689 m.s.n.m. según datos obtenidos por la aplicación “barometer”. Las instalaciones se encuentran al occidente en la salida del municipio, dirigiéndose hacia la quebrada “san juan”. Esta ubicación le otorga una gran ventaja al proceso de bombeo, debido a que la mayoría de barrios que están conectados al acueducto se encuentran por debajo de la altura de la estación, facilitando el proceso de riego por gravedad. Únicamente 2 barrios son los que no están conectados a la red de distribución del municipio, debido a que se encuentran a 1704 m.s.n.m. (15 metros más arriba de la estación).

## 6.2 Estado actual de la estación

La estación de bombeo actualmente cumple más de 20 años de elaborada, sin embargo, se le han destinado en varias ocasiones recursos municipales para su mejora y adaptación a las normas. Las instalaciones principales de la estación de bombeo cuentan con:

- Desarenador
- Floculador
- Tanque de filtros
- Sedimentador
- Cuarto de Cloración
- Tanque de almacenamiento
- Oficinas (incluye baños, oficina del técnico, zona de pruebas)

Las estructuras civiles se encuentran en condiciones habitables, pero en deterioro constante debido al moho y la humedad como se puede observar en los apéndices del C al I. Cada instalación cumple con su función, sin embargo, se encuentran en el momento óptimo de realizarles una adecuación para un mejoramiento general en la planta.

### 6.2.1 Tuberías de la estación

La tubería que se encuentra dentro de la estación es tubería de acero al carbono de 4 pulgadas de diámetro para transportar hasta la tubería donde inicia la distribución.

### ***6.2.2 Tubería de aducción***

La estación de bombeo es abastecida mediante una manguera de propileno de 3 pulgadas de diámetro, la aducción se realiza mediante conducción aérea debido a las condiciones montañosas y rocosas por donde pasa.

### ***6.2.3 Tubería de distribución***

Para la tubería de conducción y distribución a los hogares, se cuenta actualmente con tubería de PVC de 4" de diámetro, en algunas zonas se tiene tubería de 2" pero son muy pocas.

### ***6.2.4 Bombas actuales***

En la estación, actualmente se cuentan con dos bombas dosificadoras instaladas y trabajando, una para la dosificación de cloro (Apéndice G) y otra para el sulfato de aluminio.

### ***6.2.5 Bomba dosificadora de sulfato de aluminio***

La bomba dosificadora de sulfato de aluminio es una bomba marca EMEC como la que se muestra en la figura 1. Se encuentra en estado funcional, sin póliza de seguro.

**Figura 1.**

*Bomba dosificadora de sulfato*



*Nota.* En la figura se muestra el tipo de bomba que se encuentra en la estación para la dosificación del sulfato de aluminio, no es la real. Tomada de <https://purewater.com.co/product/emec-bomba-dosificadora-emec-vco-0706/>

La curva de funcionamiento de la bomba dosificadora y sus especificaciones se pueden ver en la figura 2 y tabla 2 a continuación.

**Tabla 2.**

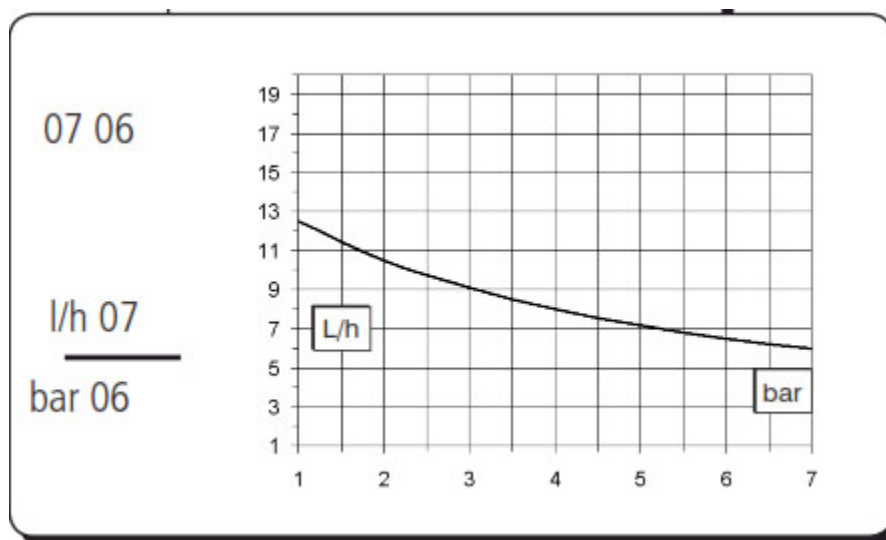
*Especificación dosificadora de sulfato*

Alimentación eléctrica	110 V
Temperatura de trabajo	5°C-45°C
Presión máxima	7 bar (105,5 psi)
Caudal máximo	6 L/H
Válvula	3/8 “
Consumo eléctrico	12 W

*Nota.* En la tabla se denotan las especificaciones de la bomba dosificadora de sulfato. Elaboración propia

**Figura 2.**

*Curva de funcionamiento dosificadora de sulfato*



*Nota.* Esta es la curva de funcionamiento según el fabricante EMEC para la dosificadora de sulfato.

Tomada de <https://purewater.com.co/product/emec-bomba-dosificadora-emec-vco-0706/>

### 6.2.6 Bomba dosificadora de cloro

La motobomba dosificadora de cloro que se encuentra actualmente en la estación es una de tipo LP 200 de 2 HP como la que se muestra en el apéndice G (real) o en la figura 3.

#### Figura 3.

*Motobomba dosificadora de cloro*



*Nota.* La figura muestra el tipo de bomba que se encuentra actualmente para la dosificación de cloro. No es la real, ver apéndice G. Tomada de <https://aquaintegral.co/producto/motobomba-lp200-de-2hp-sin-trampa-lingxiao/>

### 6.2.7 Cilindros de almacenamiento de cloro

En la estación, se tienen 2 cilindros de almacenamiento de cloro de 68 kg c/u. Se encuentran en buen estado y cumplen con su función al 100 %. Ver apéndice I

### 6.2.8 Dosificadora de cloro Hidro 600

La dosificadora de cloro Hidro 600 es una de las mayores inversiones en cuanto a componentes que tiene la estación actual, en la figura 4, se puede observar el tipo de dosificadora con la que se cuenta.

#### Figura 4.

*Dosificadora de cloro hidro 600*



*Nota.* Esta es la dosificadora con la que se cuenta para la inyección del cloro, la imagen es de fabricante, para ver la real dirijase al apéndice I. Tomada de <https://aquaintegral.co/producto/dosificador-de-cloro-a-gas-hydro-instrument-serie-600/>

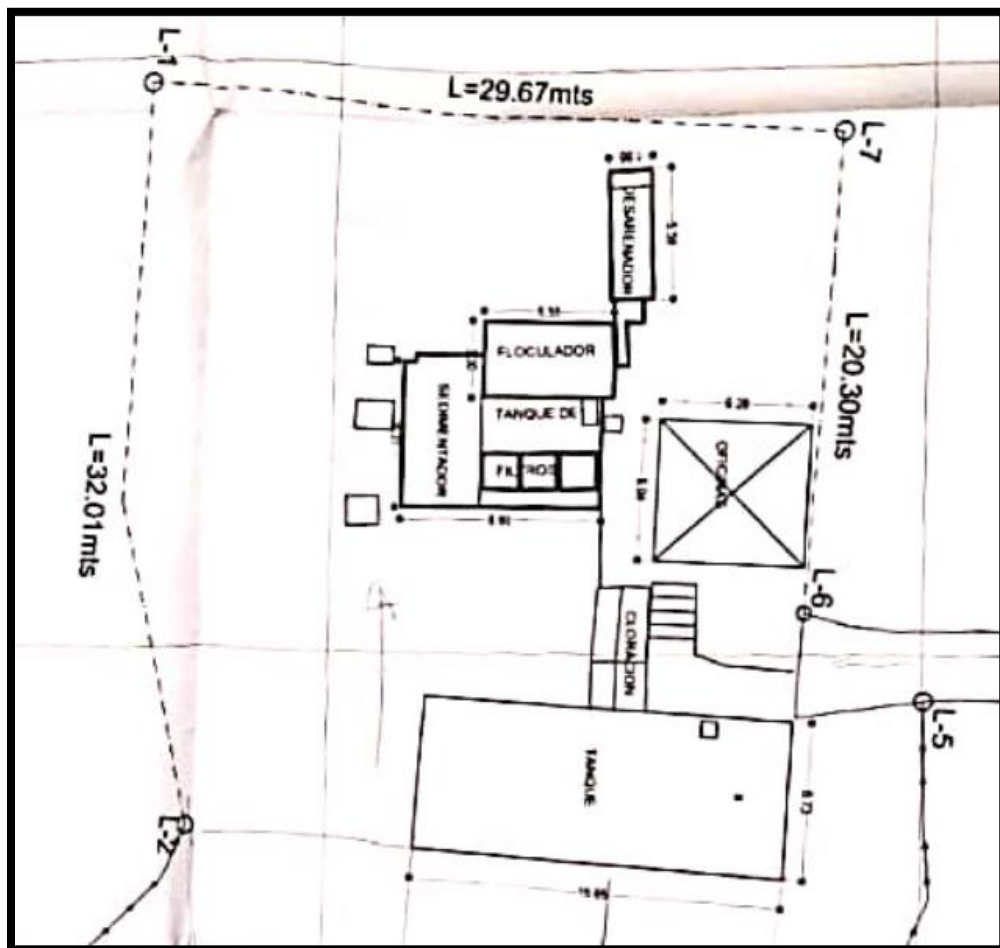
Los demás elementos que tiene la estación que no son de carácter electromecánico están especificados en el apéndice J, por medio de una impresión con tabla de información que facilitó la alcaldía del municipio.

### 6.3 Planos de la estación

Los planos mostrados en la figura son los planos que la alcaldía y el departamento de planeación facilitaron y permitieron el acceso a los mismos. En ellos se observa la distribución de la planta física de la estación.

**Figura 5.**

*Planos estación actual*

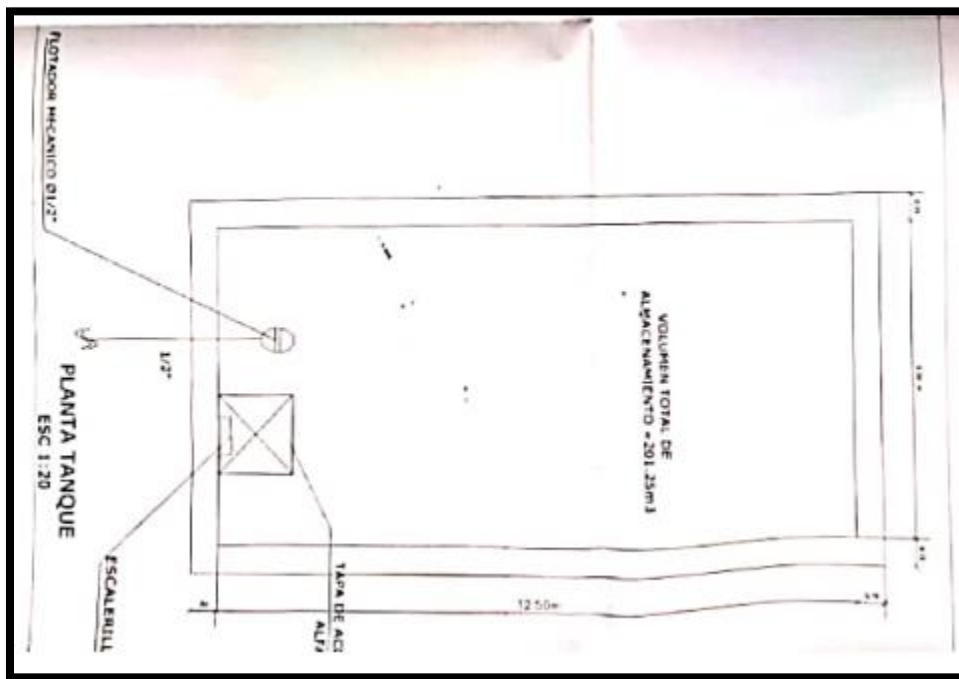


*Nota.* En la figura se especifican los planos actuales de la estación de bombeo en cuanto a planta física. Tomada de planos de la alcaldía del municipio de Contratación. (2021)

### 6.3.1 Planos tanque de almacenamiento actual

Figura 6.

Planos tanque de almacenamiento actual



*Nota.* Como se puede observar, la capacidad de almacenamiento del tanque es de 201,25 m.

Tomada de planos de la alcaldía. (2021)

Zona de influencia.

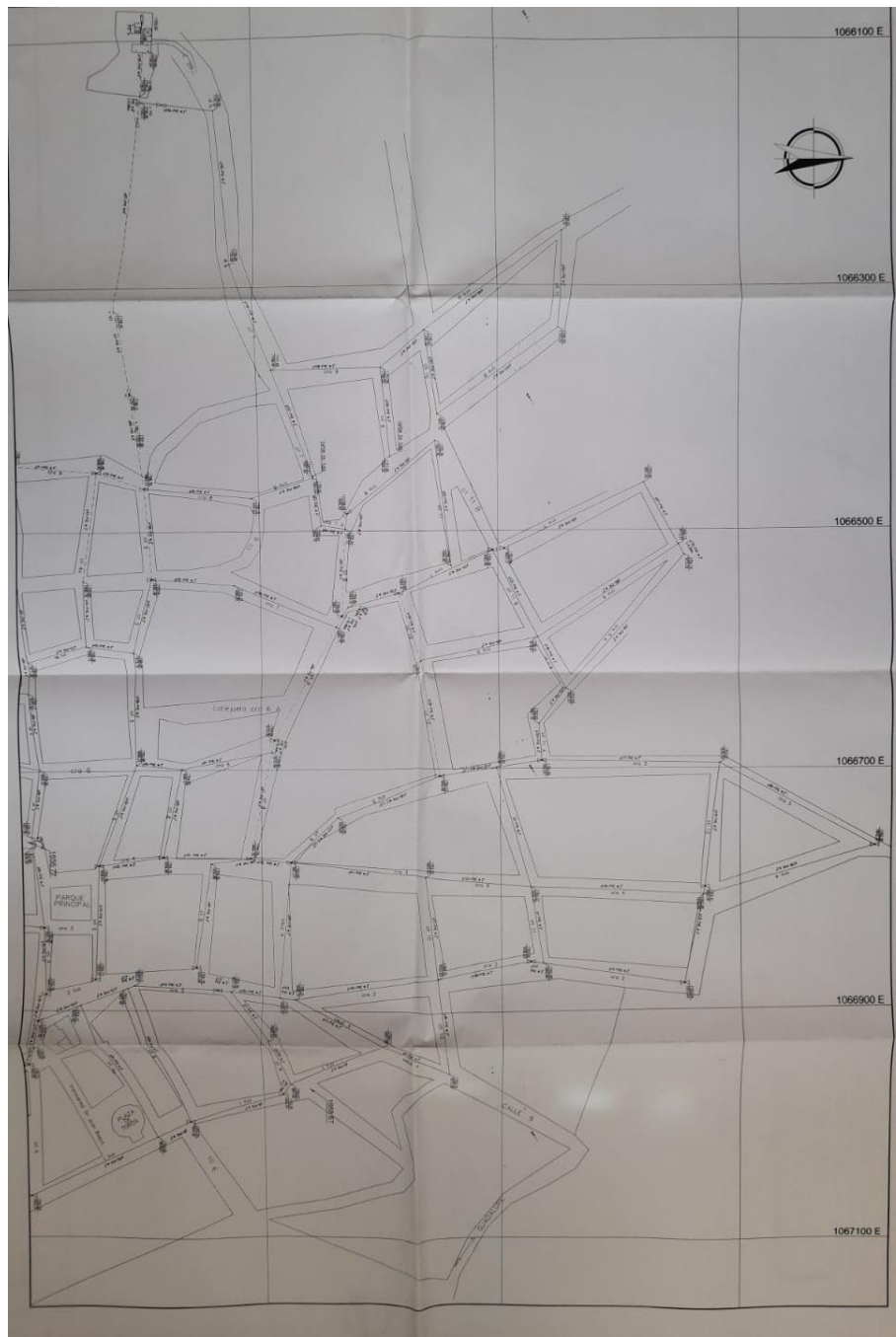
La estación actual como se ha mencionado anteriormente, abastece a algunos sectores únicamente por gravedad dejando excluidos del servicio a dos barrios que se encuentran a un nivel más alto que la posición de la estación, y a algunos que están en los límites el servicio llega con baja presión. Los barrios que cuentan con el servicio son; El consuelo, El árbol, La esperanza, El cementerio, Los suspiros, El cafetal, Villa María, Cuatro esquinas, Centro, Pueblo nuevo, Santa

Martha 1 y Santa Martha 2, Siendo los 3 últimos barrios limitantes a la altura de la estación y que se ven un poco afectados por la baja presión.

Los planos que se muestran a continuación en la figura 7 y 8, detallan la población beneficiada del servicio que brinda la estación. Estos planos abarcan 12 barrios de los 14 del municipio

**Figura 7.**

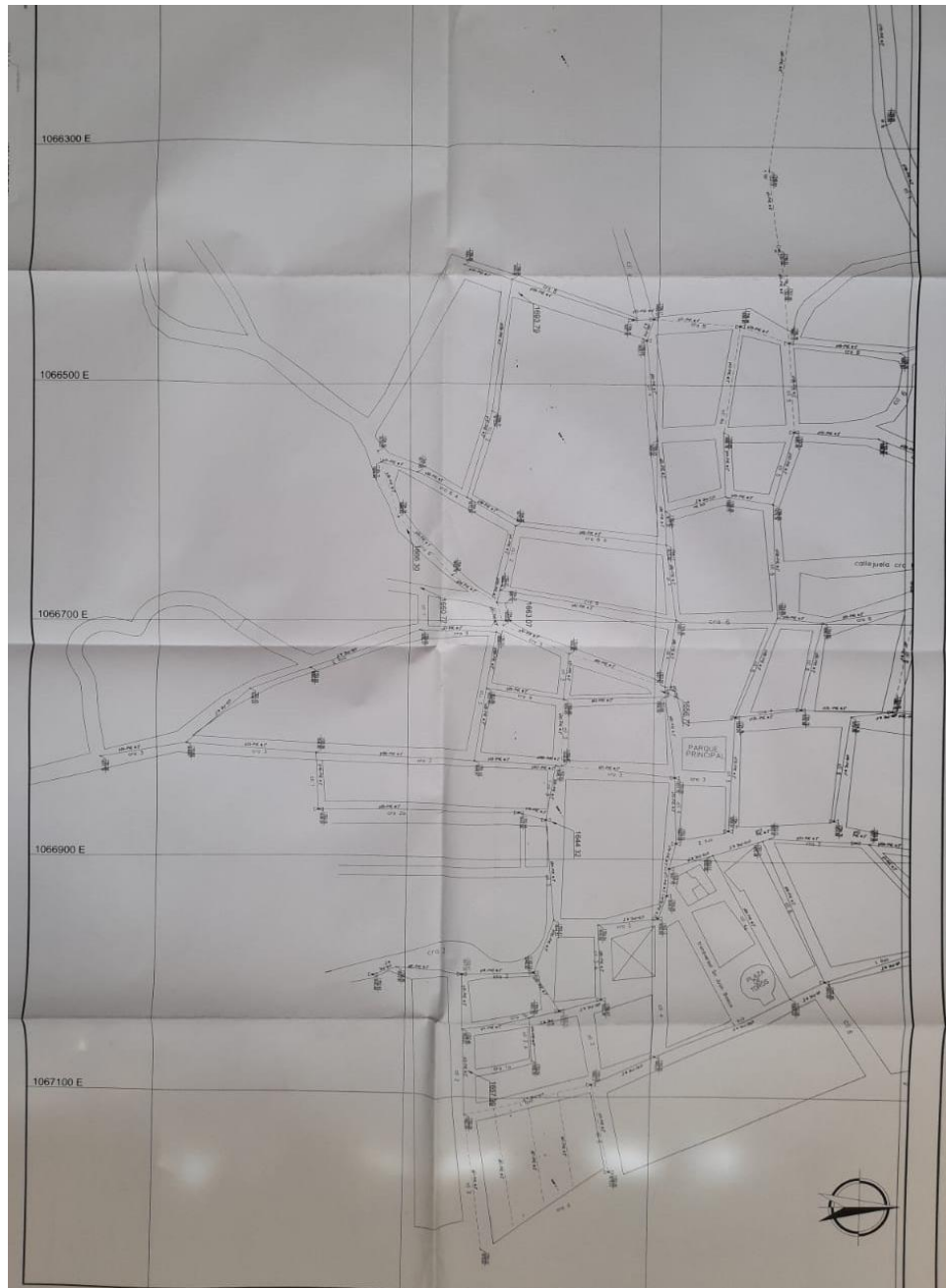
*Plano 1 red de distribución del municipio*



*Nota.* En la imagen se aprecia un gran porcentaje de la población que hace parte de la red de distribución. Tomada de alcaldía del municipio de Contratación. (2021)

**Figura 8.**

*Plano 2 red de distribución del municipio*



*Nota.* Se puede observar el porcentaje restante de la población beneficiaria actualmente. Tomada de alcaldía del municipio de Contratación. (2021)

Como se evidencia, son 2 los barrios que no están vinculados al servicio de la estación de bombeo del municipio, y este factor es uno de los cuales genera la necesidad de un rediseño de ingeniería.

## 6.4 Proyección de la población

En el rediseño de una estación de bombeo se debe considerar un tiempo específico para el cual el proyecto garantice un óptimo funcionamiento y cumplimiento de objetivos. El crecimiento poblacional es un parámetro de mucha importancia que indica el número aproximado de una población futura. En la tabla 1, del numeral 4.2.4, se muestran los métodos de cálculo viables para usar según la cantidad de población actual.

### 6.4.1 Cálculo de proyección de la población

La fórmula 5 del numeral 4.3.4 expresa el crecimiento exponencial de una población, y será la fórmula utilizada para los respectivos cálculos

$$P_n = P_2 * \left( \sqrt[N_p]{\frac{P_2}{P_1}} \right)^{t_p}$$

Donde:

- P<sub>2</sub>= Población del último censo realizado
- P<sub>1</sub> = Población antes del último censo realizado
- N<sub>p</sub> = Intervalo transcurrido entre los dos censos, en años.
- t<sub>p</sub>= Período para el cual se desea hacer la estimación, en años

- $P_n$  = Población al final del período o población proyectada

Según la información de los dos últimos censos realizados en el municipio de contratación se tiene que la población del año 2019 es de 3121 personas (será P1) y en el año 2021 es de 3325 personas (será P2).

Teniendo esto, se pueden resumir los datos de la siguiente manera:

- $P_2 = 3325$  personas
- $P_1 = 3121$  personas
- $N_p = 2$  años
- $t_p = 25$  años

Solucionando la ecuación de crecimiento poblacional exponencial quedaría:

$$P_n = 3325 * \left( \sqrt{\frac{3325}{3121}} \right)^{25}$$

$$P_n = 7337 \text{ personas}$$

El resultado de la proyección poblacional para el año 2046 en el municipio de Contratación, Santander según datos estadísticos es de 7336 personas. Esta será la cantidad de personas que estarán siendo beneficiadas del servicio de agua potable en el municipio, así que con este dato se trabajará de ahora en adelante para que la estación cumpla con los objetivos en el tiempo proyectado.

## 6.5 Asignación del nivel de complejidad

A partir del documento “Guía RAS-001 Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población”, la dotación y demanda de agua:

**Tabla 3.**

*Asignación del nivel de complejidad*

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana <sup>(1)</sup> (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios <sup>(2)</sup>
Bajo	< 2,500	Baja
Medio	2,501 a 12,500	Baja
Medio alto	12,501 a 60,000	Media
Alto	> 60,000	Alta

(1) Proyectado al período de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de la población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP o cualquier otro método justificado.

*Nota.* En esta tabla se observa el nivel de complejidad dependiendo la cantidad de población según la RAS. Adaptado de “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento.2017.

Teniendo en cuenta la población futura calculada para el periodo de diseño de 25 años, se observa que el nivel de complejidad para las 7337 personas es un nivel Medio. Haciendo uso de ese nivel de complejidad se realizarán diversos cálculos para el proyecto. Cabe mencionar que este nivel de complejidad se hace con el fin de tener un estimativo de la capacidad económica de la población usuaria del servicio que presta dicho sistema.

Para verificar el dato de periodo de diseño de los componentes del sistema de acueducto, se observa en la siguiente tabla obtenida:

**Tabla 4.**

*Periodos de diseño de componentes de sistemas de acueducto*

Nivel de complejidad del sistema	COMPONENTES ACUEDUCTO				
	Captaciones superficiales Aducciones y conducciones Sistemas de bombeo	Obras de captación subterráneas Redes secundarias	Redes matrices o primarias	Redes menores o terciarias	Tanques de almacenamiento y compensación
Bajo	15 años	15 años	—	15 años	20 años
Medio	20 años	15 años	20 años	15 años	25 años
Medio alto	25 años	20 años	25 años	15 años	30 años
Alto	30 años	25 años	30 años	20 años	30 años

*Nota.* En la tabla se especifica la correcta proyección en años para diferentes obras según la RAS.

Adaptado de “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento”.2017.

Se observa que, para las captaciones superficiales, aducciones, conducciones y sistemas de bombeo, para un nivel de complejidad de sistema medio, el periodo de diseño corresponde a los 20 años. Sin embargo, los diseños para tanques de almacenamiento y compensación el periodo de diseño corresponde a los 25 años proyectados. Esto nos garantiza que el periodo de proyección es el adecuado.

### 6.6 Determinación de la dotación de agua para la comunidad proyectada

La dotación neta de los habitantes de la población se calculará a partir de las tablas propuesta por la RAS, dependiendo del nivel de complejidad del sistema, y el clima de la región donde se proyectará la construcción de la estación de bombeo.

De esta forma, se hace necesario buscar la cantidad de litros al día que cada habitante demanda para satisfacer sus necesidades. Estos datos se encuentran en la siguiente tabla, extraída de la RAS.

**Tabla 5.**

*Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema*

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab•día ) climas templado y frío	Dotación neta (L/hab•día ) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

*Nota.* En la tabla se observa la dotación neta en L/hab\*día según el clima y el nivel de *complejidad según la RAS* Adaptado de “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento”.2017.

Para el caso de estudio, el clima de la zona es templado debido a la altura a la cual se encuentra (1878 m.s.n.m), y el nivel de complejidad es medio-alto, por el análisis anteriormente realizado.

$$d_{neta} = 115 \left[ \frac{L}{hab \cdot dia} \right] \tag{18}$$

Para la proyección de la población futura dentro del área de influencia de la estación de bombeo se tuvo en cuenta de igual forma la dotación para cada uno de los usos de agua que existen en el área de proyección: residencial, comercial, institucional, fines públicos y educación. De esta forma, se hizo necesario la búsqueda de la dotación para cada uno de los sectores a partir de los datos provistos por la RAS, que se presentan a continuación.

**Tabla 6.**

*Consumo mínimo en comercios*

Tipo de instalación	Consumo de agua
Oficinas (cualquier tipo)	20 L/m2/día
Locales comerciales	6 L/m2/día
Mercados	100 L/local/día
Lavanderías de autoservicio	40 L/kilo de ropa seca
Clubes deportivos y servicios privados	150 L/asistente/día
Cines y teatros	6 L/asistente/día

*Nota.* Se especifica el consumo de agua dependiendo el tipo de instalación según la RAS. Adaptado de “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento”. 2017.

**Tabla 7.**

*Consumo para fines públicos*

Tipo de instalación	Consumo de agua
Entretenimiento (teatros públicos)	6 L/asiento/día
Deportes al aire libre, con baño y vestidores	150 L/asistente/día
Recreación social (deportivos municipales)	25 L/asistente/día

*Nota.* Se especifica el consumo de agua dependiendo el tipo de instalación según la RAS. Adaptado de “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento”. 2017.

**Tabla 8.**

*Consumo para uso escolar*

Tipo de instalación	Consumo de agua
Educación elemental	20 L/alumno/jornada
Educación media y superior	25 L/alumno/jornada

*Nota.* Se especifica el consumo de agua dependiendo el tipo de instalación según la RAS. Adaptado de “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento”.2017.

**Tabla 9.**

*Consumo institucional*

Tipo de instalación		Consumo de agua
Salud	Hospitales, clínicas y centros de salud	800 L/cama/día
	Orfanatos y asilos	300 L/huésped/día
Seguridad	Cuarteles	150 L/persona/día
	Cárceles	150 L/interno/día

*Nota.* Se especifica el consumo de agua dependiendo el tipo de instalación según la RAS. Adaptado de “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento”. 2017.

**Tabla 10.**

*Consumo hoteles*

Clasificación	Consumos en hoteles (L/cuarto/día)			
	Municipios Turísticos		Otros municipios	
	Climas templado y frío	Clima cálido	Climas templado y frío	Clima cálido
Gran turismo	1200	2000	600	1000
4 y 5 estrellas	900	1500	450	750
1 a 3 estrellas	600	1000	300	400

*Nota.* Se especifica el consumo de agua dependiendo el tipo de instalación según la RAS. Adaptado de “Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento”. 2017.

La dotación de las especificaciones de cada sector se encuentra enunciadas en la siguiente tabla, donde se tuvo en cuenta únicamente la distribución cuantitativa de algunos aspectos de las tablas anteriormente mencionados y las proyecciones demográficas halladas por el DANE.

**Tabla 11.**

*Proyección de la dotación neta según el uso de la RAS*

<b>Distribución de la dotación de los sectores</b>			
<b>Consumo en comercios</b>			
Tipo de instalación	Cantidad	Consumo de agua [L Cantidad/día]	Total [L/día]
Oficinas (promedio de 4m <sup>2</sup> )	80	20	1600
Locales comerciales (promedio de 40 m <sup>2</sup> )	50	240	12000
Mercados (local)	30	100	3000
<b>Consumo para fines públicos</b>			
Tipo de instalación	Cantidad	Consumo de agua [L*Cantidad/día]	Total [L/día]
Recreación social (asistentes)	100	25	2500
<b>Consumo escolar</b>			
Tipo de instalación	Cantidad	Consumo de agua [L*Cantidad/día]	Total [L/día]
Educación elemental (alumnos)	313	20	6260
Educación media y superior (alumnos)	422	25	10550
<b>Consumo institucional</b>			
Tipo de instalación	Cantidad	Consumo de agua [L*Cantidad/día]	Total [L/día]
Hospitales y centros de salud (camas)	4	800	40000
Asilos (Huesped)	100	300	30000
<b>Seguridad</b>			
Tipo de instalación	Cantidad	Consumo de agua [L*Cantidad/día]	Total [L/día]
Estación de Policía	12	150	1800
<b>Consumo Hoteles</b>			
Tipo de instalación	Cantidad	Consumo de agua [L*Cuarto/día]	Total [L/día]
Hotel	5	300	1500
<b>DEMANDA BRUTA</b>			<b>109210</b>

*Nota.* En esta tabla se resalta el consumo por instalaciones y la demanda bruta. Elaboración propia.

Para el cálculo de la demanda bruta, que será usado para la determinación de los caudales, se realizó a partir de la ecuación B.2.8 presentadas en la sección 2,7 de la RAS, teniendo en cuenta que las pérdidas máximas (%*p*) en el sistema son del 25% (máximo admisible).

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p} \quad (19)$$

$$d_{bruta} = \frac{115}{1 - 0,25} = 153,3 \left[ \frac{L}{habitante \cdot dia} \right]$$

$$d_{bruta_{sectores}} = \frac{d_{sector}}{1 - \%p} \quad (20)$$

$$d_{bruta_{sectores}} = \frac{109210}{1 - 0.25} = 145614 \left[ \frac{L}{dia} \right]$$

### 6.6.1 Determinación del caudal medio

El caudal medio diario, corresponde al caudal promedio diario en un año calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación neta según el uso del agua. Así, con las demandas brutas calculadas anteriormente, se procede a determinar este caudal por medio de la relación B.2.12 de la sección 2.8.3.1 de la RAS.

$$Q_{md} = \frac{población \cdot d_{bruta}}{86400} + \frac{d_{bruta_{sectores}}}{86400} \quad (21)$$

$$Q_{md} = \frac{7337 \cdot 153,3}{86400} + \frac{109210}{86400} \quad \therefore Q_{md} = 14,28 \left[ \frac{L}{s} \right] = 1233792 \frac{L}{día}$$

### 6.6.2 Consumo Máximo Diario

El caudal máximo Diario, por su parte corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un periodo de un año. Este caudal se determina a partir del caudal medio diario y una constante  $k_1$ , que corresponde a la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, La RAS aconseja usarlo como 1,30.

$$Q_{MD} = Q_{md} \cdot k_1 \quad (22)$$

$$Q_{MD} = 14,28 \cdot 1,3 = 18,564 \left[ \frac{L}{S} \right]$$

### 6.6.3 Consumo Máximo Horario

Por otra parte, se hace necesario calcular el caudal máximo horario, a partir de la relación B 2.11 de la sección 2.8.2.3 de la RAS. Este caudal hace referencia al máximo caudal registrado en una hora determinada del año. El coeficiente  $K_2$  puede tomar valores entre 1,3 y 1,7, en este caso se tomará 1,5.

$$Q_{MH} = Q_{MD} \cdot k_2 \quad (23)$$

$$Q_{MH} = 18,564 \cdot 1,5 = 27,846 \left[ \frac{L}{S} \right]$$

#### 6.6.4 Caudal contra incendios

Como cita la RAS: “Para municipios con una población menor a 20.000 habitantes, cualquier incendio, independiente del uso de la zona en que ocurra debe ser atendido por un hidrante con un caudal mínimo de 5 L/s”

#### 6.6.5 Caudal de diseño

Finalmente, se procede a obtener el caudal de diseño, que se usara para realizar los cálculos de potencia de la bomba y demás decisiones de diseño. El artículo 81 de la Resolución derogada por el artículo 258 de la Resolución 330 de 2017 de la RAS menciona que:

1. Para el nivel bajo de complejidad, el caudal de diseño será el caudal máximo horario (QMH) del año horizonte del proyecto.

2. Para los niveles medio y medio alto de complejidad, el caudal de diseño debe ser el caudal máximo horario (QMH) del año horizonte del proyecto el caudal medio diario (Qmd) más el caudal de incendio, el que resulte mayor de cualquiera de los dos.

3. Para el nivel alto de complejidad, el caudal de diseño debe ser el caudal máximo horario (QMH) del año horizonte del proyecto

Como el caso del municipio de contratación es de nivel medio el caudal de diseño se halla sumando el caudal de incendio con el caudal máximo horario QMH (que es mayor que el caudal medio diario). Por tanto, se tiene.

$$Q_d = Q_{Mh} + Q_{incendio} \quad (24)$$

$$Q_d = 27,846 \frac{L}{s} + 5 \frac{L}{s}$$

$$Q_d = 32,846 \frac{L}{s} = 0,03284 \frac{m^3}{s}$$

## 6.7 Diseño de captación

### 6.7.1 Captación actual

La estación de suministro de agua en el municipio, actualmente cuenta con un diseño de captación rustico tipo aljibe en la parte alta y montañosa de la zona. Todo el proceso de aducción de agua cruda (sin tratar), se realiza por medio de una manguera de paso aéreo de media pulgada de diámetro y por acción de la gravedad. Según la RAS, una estación de bombeo debe contar con un tipo de diseño de captación estandarizado y ajustado a la normatividad.

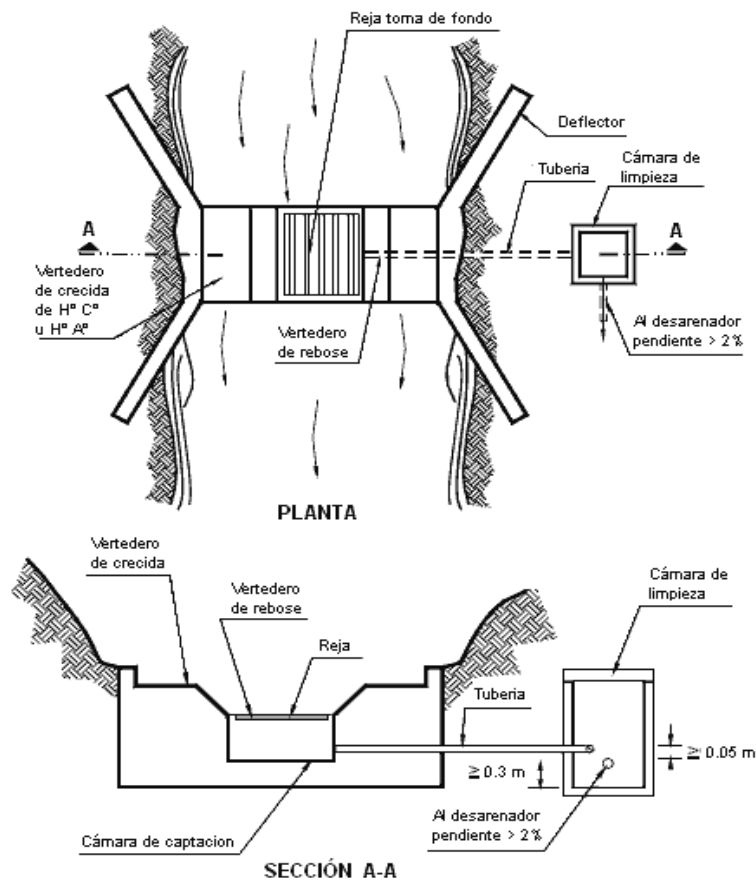
La captación del agua dependerá de la zona donde se encuentre la fuente hídrica, que para este caso será la quebrada “San Juan” que se encuentra ubicado entre un terreno montañoso, y en la parte alta de la estación de bombeo, para lo cual se utilizará una **toma de fondo**, que presenta una mayor viabilidad económica y práctica; de igual forma, este tipo de obra ofrece la menor magnitud de las obras civiles y menor obstáculo al escurrimiento.

Este tipo de toma se caracteriza por tener una estructura localizada perpendicularmente a la dirección de la corriente y además debe estar provista por una rejilla para retener sedimentos que son transportados por el agua. El material que logre ingresar a la cámara será extraído a través de una purga.

6.7.2 Diseño toma de fondo

Figura 9.

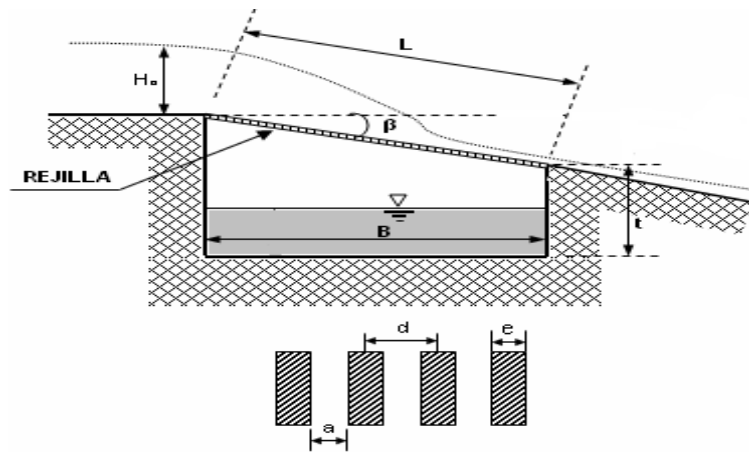
Vista superior y corte de la estructura de captación



Nota. Adaptado de Ingeniería civil (Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

**Figura 10.**

*Vista de detalle en corte de la cámara de captación*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

A continuación, se presentan las dimensiones y datos principales de la estructura de la captación para la realización de los cálculos requeridos del diseño de la toma de fondo.

**Tabla 12.**

*Datos de diseño para bocatoma*

TIRANTE DE ESTIAJE	$H_0$ [m]	0,050
ANCHO DE QUEBRADA	[m]	8
CAUDAL DE DISEÑO	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	0,03284
SEPARACIÓN ENTRE BARRAS	$a$ [cm]	5,0
DIST. ENTRE EJES DE LAS BARRAS	$d$ [cm]	10,0
COEFICIENTE DE MANNING	$n$	0,018
ESPESOR DE LAS BARRAS	$e$ [cm]	5,0

*Nota.* En la tabla se tabulan los datos conocidos para el inicio de l diseño. Elaboración propia. 2021

En primer lugar, se procede a calcular las dimensiones de la cámara de captación.

$$Q = \frac{2}{3} * C * \mu * b * L * \sqrt{2 * g * h} \tag{25}$$

Donde:

- $C$ = Coeficiente que depende de la relación de espaciamento entre barras y el ángulo  $\beta$  de la rejilla.

- $\mu$ = Coeficiente de derrame de la rejilla
- $b$ = ancho del vertedero [m]
- $L$ = Longitud de la rejilla [m]
- $H$ = Altura inicial de agua sobre la rejilla [m]

$$C = 0,6 * \frac{a}{d} * \cos^{\frac{1}{2}}(\beta) \tag{26}$$

$$h = K * h_{lim} = \frac{2}{3} * K * H_0 \tag{27}$$

El factor de reducción  $K$  es dependiente de la pendiente de las condiciones geométricas de la rejilla que para una distribución hidrostática de la presión se tiene la ecuación:

$$2 * \cos(\beta) * K^3 - 3 * K^2 + 1 = 0 \tag{28}$$

A continuación, se muestra en la tabla los ángulos de inclinación ( $\beta$ ) recomendados

**Tabla 13.**

*Ángulos de inclinación de la rejilla*

$\beta$ (grados)	K	$\beta$ (grados)	K
5	0,952	20	0,837
6	0,944	22	0,825
8	0,927	24	0,812
10	0,910	26	0,800
12	0,894	28	0,789
14	0,879	30	0,778
16	0,865	32	0,767

$\beta$ (grados)	K	$\beta$ (grados)	K
18	0,851	35	0,752

Nota. Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

Para el diseño, tomamos un ángulo de inclinación de  $\beta = 16^\circ$ , por tanto, tendremos un valor de  $K=0,865$ .

Reemplazando los valores de  $\beta$  y K, en las ecuaciones 26 y 27 tenemos:

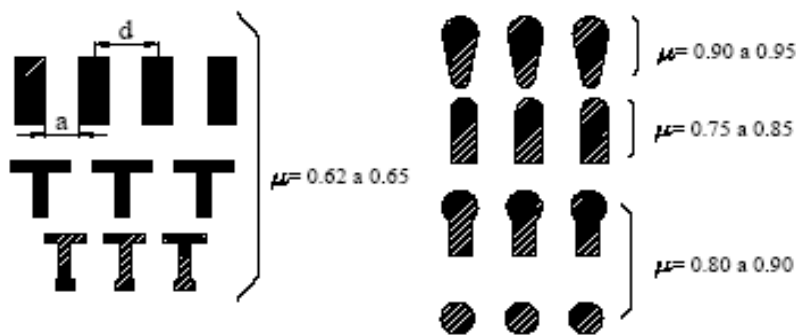
$$C = 0,294$$

$$h(m) = 0,029$$

Para el cálculo del coeficiente  $\mu$  utilizamos las siguientes referencias:

**Figura 11.**

*Coeficiente  $\mu$  para diferentes geometrías de rejilla*



Nota. Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

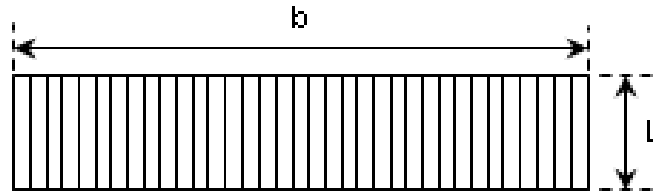
Como las rejillas que se van a utilizar son de perfil rectangular, se tiene un valor de  $\mu = 0,65$ .

Ahora reemplazando los valores de  $Q, C, \mu, h$  en la ecuación (25) se tiene:

$$bxL = 0,341 \tag{29}$$

**Figura 12.**

*Vista superior de la rejilla*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

**Tabla 14.**

*Variación de la longitud en función de la anchura de la rejilla*

	<b>b (m)</b>	<b>L (m)</b>
<b>1</b>	2	0,171
<b>2</b>	5	0,068
<b>3</b>	8	0,042
<b>4</b>	9	0,037
<b>5</b>	10	0,034

*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

La tabla 14 muestra unos valore ideales para las dimensiones de ancho y largo de la rejilla.

Al quedar a criterio del diseñador, se asume un ancho de rejilla **b=2 m** y un largo **L=0,171 m**

El número de barras en la toma de agua es igual a:

$$n = \frac{b}{d} \tag{30}$$

Donde:

$n$ = número de espacios entre los barroses

$d$ =espaciamiento entre ellos

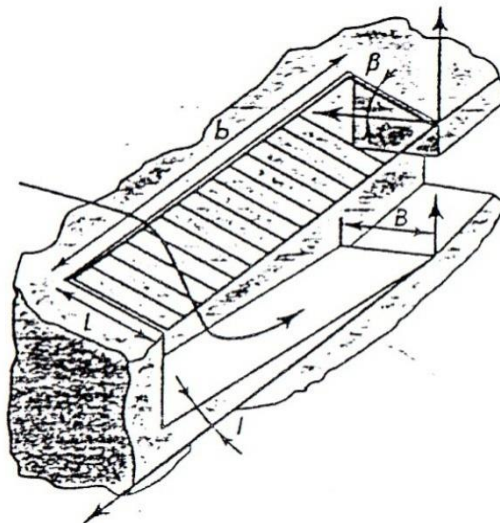
$b$ =ancho de la rejilla

$$n = \frac{2 \text{ m}}{0,10 \text{ m}}$$

Con los valores calculados, como resultado se obtiene un número de espaciamentos de  $n=20$ . Como factor de seguridad se agrega una barra más al diseño. Por tanto, se tienen 21 barras que conforman la rejilla. **N=21 barras.**

**Figura 13.**

*Caudal sobre la rejilla*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

Las dimensiones principales de la rejilla serían:

$b=2$  metros

$L=0,171$  metros

# de barras= 21 barras

Teniendo en cuenta las posibles obstrucciones por piedras, hojas o basura en las rejillas, se tiene en cuenta una longitud corregida la cual se expresa de la siguiente manera:

$$L_c = 1,2L \quad (31)$$

$$L_c = 1,2 (0,171m)$$

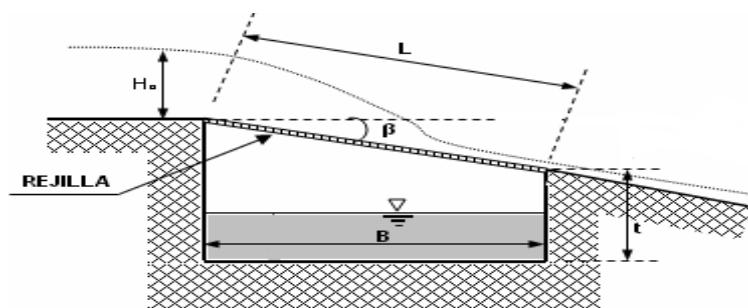
$$L_c = 0,21 m$$

### 6.7.3 Cálculo del ancho del canal colector

El canal colector tendrá las siguientes medidas:

#### Figura 14.

*Vista frontal canal colector*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

$$B = Lc * \cos(\beta) \quad (32)$$

$$B = (0,21) * \cos(16)$$

$$B = 0,2 \text{ m}$$

B será el ancho del canal colector, calculado por la geometría de la rejilla como se puede ver en la figura 14.

La sección del canal colector se aproxima a una forma cuadrada, por lo que la profundidad es igual a:

$$t = B \quad (33)$$

$$t = 0,2 \text{ m}$$

Como sobre el canal colector recae el chorro del caudal que entra por la rejilla, se debe determinar el alcance del chorro para el caudal de diseño. Por tanto, se tienen las siguientes fórmulas para determinar si el ancho del canal colector es el adecuado:

$$Vr = \frac{Q}{Lc * Ho} \quad (34)$$

Donde:

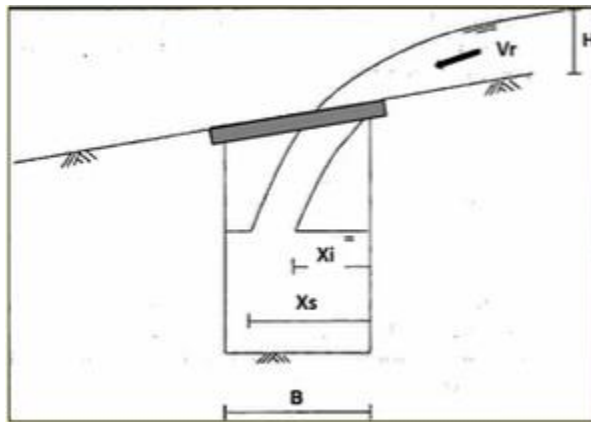
- Vr = Velocidad del agua en la rejilla
- Lc = Longitud corregida de la rejilla
- Ho = Tirante de estiaje

Solucionando:

$$Vr = \frac{0,03284 \text{ m}^3/\text{s}}{0,21 \text{ m} * 0,05 \text{ m}}$$

$$Vr = 3,12 \text{ m/s}$$

Teniendo la velocidad a la entrada por la rejilla, se procede a calcular el alcance de chorro con las siguientes ecuaciones y sus definiciones representadas en la figura 15.

**Figura 15.***Alcance de chorro*

*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

$$X_s = 0,36Vr^{2/3} + 0,6Ho^{4/7} \quad (35)$$

$$X_i = 0,18Vr^{4/7} + 0,74Ho^{3/4} \quad (36)$$

Solucionando las ecuaciones 35 y 36 se tiene como resultado:

$$X_s = 0,88 \text{ m}$$

$$X_i = 0,423 \text{ m}$$

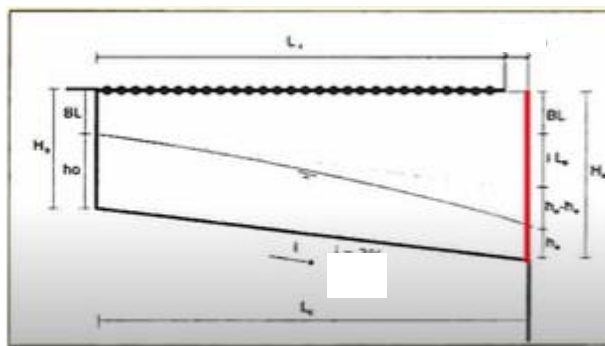
Al tener un ancho de caudal colector de 2 metros se asegura que el chorro con el caudal de diseño llegará correctamente al canal y también en condiciones extremas cuando el caudal aumente el ancho del canal será el adecuado por su factor de seguridad de más del doble.

6.7.4 Diseño del canal de aducción

Como se puede observar, el canal colector tiene una pendiente que se encarga de eliminar los sólidos en suspensión que pasan a través de la rejilla, dicha pendiente es recomendable usarla del 30 %.

**Figura 16.**

*Canal de aducción*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

$$h_o = \left[ 2hc^2 + \left( hc - \frac{i * La}{3} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{2}{3} * i * La \tag{37}$$

Donde:

ho = Profundidad aguas arriba (m)

hc =Profundidad aguas abajo

i = Pendiente del canal =30 %

g = Gravedad

BL = Borde libre = 0,15 m

La = Longitud canal de aducción= B+ 0,5= 2,5 m

$$h_c = \left(\frac{Q^2}{g * B^2}\right)^{1/3} \quad (38)$$

Donde:

Q=Caudal de avenida

B=Ancho del canal colector

g=Aceleración de la gravedad

Solucionando, se tiene:

$$h_c = 0,03 \text{ m}$$

$$h_o = 0,724 \text{ m}$$

Por tanto, la profundidad del canal a la entrada será de la suma de  $h_0 + BL$ . Se tiene una altura  $H_i = 0,874\text{m}$ . Aguas abajo en la aducción como se ve en la figura 16 la altura sería

$$H_s = BL + iL + h_c + h_o \quad (39)$$

Solucionando se tiene como resultado:

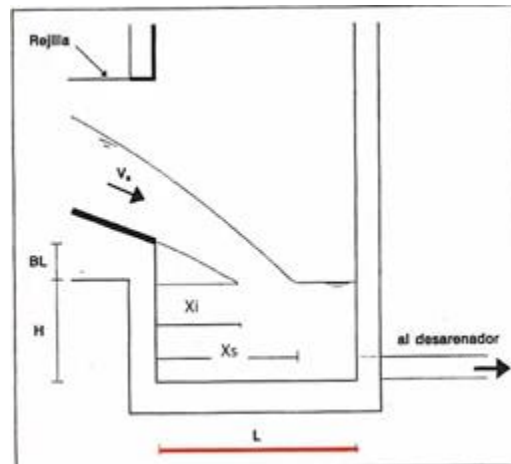
$$H_s = 1,65 \text{ m}$$

### 6.7.5 Diseño cámara de recolección

Como se puede ver en la figura 17, para el diseño de la cámara de recolección se deben utilizar nuevamente las fórmulas 35 y 36 de alcance de chorro

**Figura 17.**

*Cámara de recolección*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

En este caso, para la velocidad de la corriente  $V_c$  se usa la fórmula 40 expresada en términos de la atura crítica ya calculada.

$$V_c = \sqrt{g * hc} \tag{40}$$

$$V_c = \sqrt{9,8 \frac{m}{s^2} * 0,03m}$$

$$V_c = 0,54 \frac{m}{s}$$

Reestructurando las ecuaciones 35 y 36 quedan las siguientes ecuaciones:

$$X_s = 0,36V_c^{2/3} + 0,6hc^{4/7} \tag{41}$$

$$X_i = 0,18V_c^{4/7} + 0,74hc^{3/4} \tag{42}$$

Al solucionar las ecuaciones 41 y 42 queda como resultado

$$Xs = 0,32 \text{ m}$$

$$Xi = 0,18 \text{ m}$$

Finalmente, para calcular el ancho L del cámara de recolección se usa:

$$L = Xs + 0,3 \tag{43}$$

$$L = 0,62 \text{ m}$$

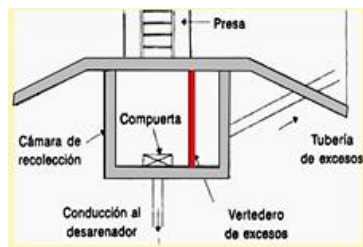
Como el ancho de la cámara es n poco estrecho, los operarios tendrían inconvenientes para entrar y realizar el respectivo mantenimiento. Para solucionar esto, se le da un ancho de alcantarillado para la cámara de recolección. Es decir:

$$Lcr = 1,5 \text{ m} \text{ (Ancho cámara de recolección)}$$

### 6.7.6 Diseño del canal de excesos

**Figura 18.**

*Vista Cámara de recolección y Canal de excesos*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

El caudal de excesos es la diferencia entre el caudal captado por la rejilla y el caudal de diseño. Es el encargado de llevar el agua de exceso cuando hay una creciente en la quebrada nuevamente hacia la misma.

En estas condiciones, la capacidad máxima de captación de una rejilla se puede dar por la siguiente ecuación

$$Q_{cap} = C_d * A_{neta} * \sqrt{2gH} \tag{44}$$

Donde:

$Q_{cap}$ = Caudal a través de la rejilla (m<sup>3</sup>/s)

$C_d$ = Coeficiente de descarga (0,3)

$A_{neta}$  =Área neta de la rejilla (m<sup>2</sup>) = b\*Lc

H= Altura de la lámina de agua sobre la rejilla (m) (Superior a la de diseño)

Para calcular H (Altura de la lámina de agua con un caudal mayor al de diseño) se usa:

$$H = \left(\frac{Q}{1,84b}\right)^{2/3} \tag{45}$$

Se toma Q = 0,6 m<sup>3</sup>/s como un caudal en situaciones extremas. Solucionando queda:

$$H = \left(\frac{0,6}{1,84 * 2}\right)^{2/3}$$

$$H = 0,3 \text{ m}$$

Teniendo H, se puede reemplazar en la ecuación 44 y queda:

$$Q_{cap} = 0,3(0,21 * 2) * \sqrt{2(9,8)(0,3)}$$

$$Q_{cap} = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este sería el caudal captado por la rejilla en condiciones extremas. Para determinar el caudal de excesos solo basta con calcular la diferencia de estos dos de la siguiente manera:

$$Q_{excesos} = Q_{cap} - Q_{diseño} \tag{46}$$

$$Q_{excesos} = 0,31 \text{ m}^3/\text{s} - 0,03284 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{excesos} = 0,277 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora, para determinar la lámina H en la cámara de recolección se usa de nuevo la ecuación 45 pero con el caudal de excesos y l longitud de la cámara.

$$H = \left(\frac{Q}{1,84L}\right)^{2/3} \quad (47)$$

$$H = \left(\frac{0,277}{1,84(1,5)}\right)^{2/3}$$

$$H = 0,21 \text{ m}$$

Este procedimiento se realiza con el fin de determinar la velocidad de exceso que está dada por:

$$V_{exce} = \frac{Q_{exce}}{H * B_{cámara}} \quad (48)$$

$$V_{exce} = \frac{0,277}{0,21 * (0,2)}$$

$$V_{exce} = 6,6 \text{ m/s}$$

### Figura 19.

*Chorro caudal de excesos*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

Como se puede ver en la figura 19, la distancia entre el vertedero y la pared se determina nuevamente con la ecuación de alcance de chorro suponiendo una descarga libre del vertedero. Usando las ecuaciones 35 y 36 reemplazando la velocidad de excesos y la altura anteriormente calculada en los excesos. Los resultados son lo siguientes:

$$Xs = 0,36Vexc^{2/3} + 0,6H^{4/7}$$

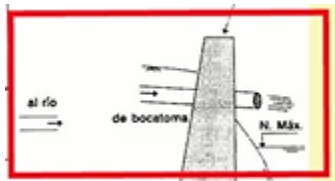
$$Xi = 0,18Vexc^{4/7} + 0,74H^{3/4}$$

$$Xs = 1,5 \text{ m}$$

$$Xi = 0,75 \text{ m}$$

**Figura 20.**

*Tubería de excesos*



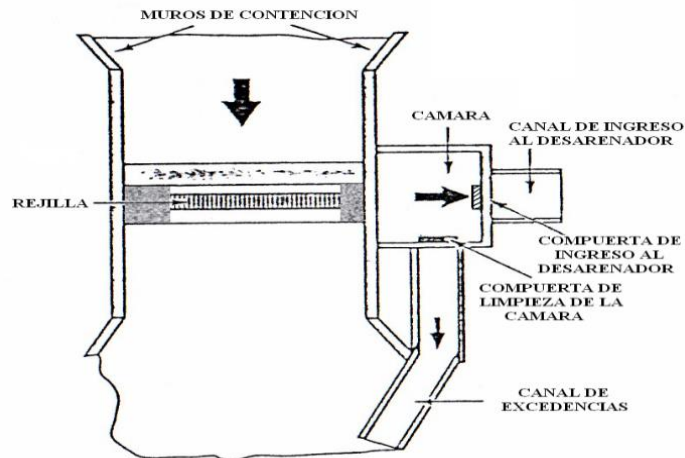
*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

La tubería de excesos se diseña como conducto libre, es decir, a gravedad. Tendrá un diámetro de 1 pulgada para liberar los excesos de agua la quebrada nuevamente.

### 6.7.7 Vista general de la toma de fondo diseñada

**Figura 21.**

*Vista superior de la estructura de captación*



*Nota.* Adaptado de Ingeniería civil(Imagen), por eddyhrbs apuntes de ingeniería civil, 2010, <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-de-fondo-o-tirolesa.html>.

### 6.7.8 Tubería de conducción.

Para el diseño del diámetro de la conducción o impulsión se utiliza la fórmula propuesta por Bresse en donde expone un diámetro óptimo con el cual se puede cumplir con la labor de conducción.

$$D = 0,5873 * N^{0,25} \sqrt{Q_d} \quad (49)$$

La cual está basada en los siguientes parámetros:

D: Diámetro interior aproximado (m).

N: Número de horas de bombeo al día.

$Q_d$ : Caudal de bombeo obtenido de la demanda horaria por persona, del análisis poblacional y del número de horas de bombeo por día en (m<sup>3</sup>/s). Caudal de diseño

La bomba o bombas no prestarán el servicio durante las 24 horas del día. Datos otorgados por el personal de la estación, afirman que en horarios de 12 a.m. a 4 a.m. el consumo de agua potable es casi nulo y los edificios que lo utilizan en ese horario (Hospital, policía, centros de adultos mayores y uno que otro barrio) el servicio les continúa llegando por medio de gravedad. Cabe resaltar que el servicio de bombeo va más enfocado en los barrios que no cuentan con él debido a la posición en la que se encuentran.

$$D = 0,5873 * N^{0,25} \sqrt{Q_d}$$

$$Q_d = 0,03284 \frac{m^3}{s}$$

$$D = 0,5873 * 20^{0,25} \sqrt{0,03284}$$

$$D = 0.2250 m$$

Al momento de verificar tuberías en manuales técnicos como en el caso de Pavco, no hay una tubería con el diámetro exacto al calculado por tanto se aproxima al próximo valor más cercano por la parte inferior, siendo la mejor opción RDE 13.5 PVC Tipo 1, Grado 1 cuya referencia es 2900053, como se observa en la figura 22.

Figura 22.

Catálogo PAVCO

# Tuberías Unión Platino PAVCO

Tubos de 6 m

RDE 13.5 PVC Tipo 1, Grado 1

Presión de trabajo a 23°C: 315 psi - 2.17 MPa - 22.14 Kg/cm<sup>2</sup>

Diámetro Nominal pulg	Referencia	Peso Aprox. Kg/m	Diámetro Exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Prom. mm
			mm	pulg.	mm	pulg.	
2	2902475	1.10	60.00	2.36	4.47	0.18	51.06
3	2900357	2.30	88.90	3.50	6.58	0.26	75.74
4	2900032	4.36	114.30	4.50	8.46	0.33	97.38
6	2900358	9.90	168.28	6.62	12.47	0.49	143.34
8	2900053	16.03	219.08	8.62	16.23	0.64	186.62
*10	2905044	24,41	273,05	10.750	20,23	0.796	232,59
*12	2902484	35,04	323,04	12.750	23,99	0.944	275,06
*14	2902483	38,55	355,60	14.00	26,44	1.040	302,70

\* EXTREMO LISO - ESTOS DIÁMETROS SE FABRICAN BAJO PEDIDO

Nota. La figura representa los diámetros nominales de la tubería de PAVCO en pvc. Tomado del manual unión platino de PAVCO (p.8) disponible en: [www.pavcowavin.com](http://www.pavcowavin.com)

### 6.7.9 Velocidad media de flujo

Establecido el diámetro, para la determinación de la velocidad media del flujo en la tubería se utiliza directamente la ecuación de continuidad, que relaciona el área de la tubería y el caudal de diseño.

$$V = \frac{4 * Q_d}{\pi * D_c^2} \quad (50)$$

Donde:

V: Velocidad media del agua a través de la tubería (m/s).

D<sub>c</sub>: Diámetro interior de la sección transversal de la tubería (m).

Q<sub>b</sub>: Caudal de bombeo igual al caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$$V = \frac{4 * Q_b}{\pi * D_c^2}$$

$$Q_d = 0,03284 \frac{m^3}{s}$$

$$D_c = 0,18662m$$

$$V = \frac{4 * 0,03284}{\pi * 0,18662^2}$$

$$V = 1,200 \frac{m}{s}$$

### 6.7.10 Pérdidas en la tubería

La pérdida de carga es la disminución de la presión en el interior de las tuberías causada por el movimiento del fluido. Para conocer su valor se necesita saber, sobre todo:

- ✓ Las dimensiones de las tuberías por las que circula el fluido

- ✓ Las características de la bomba que sirve para mantener en movimiento el fluido.

Las pérdidas de carga pueden ser continuas o localizadas:

- ✓ Las continuas se producen a lo largo de toda la línea de la conducción.

✓ Las localizadas se producen en puntos singulares, generalmente correspondientes a piezas especiales que hacen variar la dirección o la sección de paso del fluido (reducciones, derivaciones, codos, válvulas, filtros, etc.)

- ✓ Las dimensiones de las tuberías por las que circula el fluido

- ✓ Las características de la bomba que sirve para mantener en movimiento el fluido.

- ✓ Las pérdidas de carga pueden ser continuas o localizadas:

- ✓ Las continuas se producen a lo largo de toda la línea de la conducción.

✓ Las localizadas se producen en puntos singulares, generalmente correspondientes a piezas especiales que hacen variar la dirección o la sección de paso del fluido (reducciones, derivaciones, codos, válvulas, filtros, etc.)

**6.7.10.1 Pérdida de carga por fricción.** Una vez obtenido el caudal, se calcula la caída de presión en la corriente mediante la ecuación de Hazen-Williams expresada como:

$$Q_b = 0,2785 * C * D_c^{2,63} * S^{0,54} \tag{51}$$

$$S = \left[ \frac{Q_b}{0,2785 * C * D_c^{2,63}} \right]^{1,85} \tag{52}$$

$$H_f = S * L \tag{53}$$

Donde:

Qb: Caudal de bombeo (m3/s).

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams.

DC: Diámetro interior comercial de la tubería seleccionada (m).

S: Pendiente de la línea de energía o gradiente Hidráulico (m/m).

Hf: Pérdida de carga por fricción (m)

L: Longitud de tubería con diámetro cte. (m).

**Tabla 15.**

*Tabla de coeficiente de rugosidad de Hazen- Williams*

Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

*Nota.* En la tabla se muestran los coeficientes de rugosidad en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. Tomada de <https://link.gale.com/apps/doc/A612580282/IFME?u=googlescholar&sid=bookmark-IFME&xid=16f53486>

- **Tubería de succión**

La tubería de succión tiene una longitud de 5 m como se muestra más adelante en la figura 29, es una tubería de acero al carbono (acero) de diámetro de 3 pulgadas de diámetro nominal. De la tabla 15 se toma el valor de C el cual es 130 para acero.

Teniendo en cuenta las formulas 52 y 53 se procede a calcular las perdidas en la succión como sigue:

$$S = \left[ \frac{Q_b}{0,2785 * C * D_c^{2,63}} \right]^{1,85}$$

$$S = \left[ \frac{0.03284}{0,2785 * 130 * 0.0762^{2,63}} \right]^{1,85}$$

$$S = 0,6478 \frac{m}{m}$$

Ahora se calcula Hf descrita en la ecuación 53.

$$H_{fs} = S * L$$

$$H_{fs} = 0.6478 * 0,05$$

$$H_{fs} = 0,0324 m$$

- **Tubería de descarga**

La tubería de descarga es la tubería que conduce el fluido desde la estación hasta el depósito, esta línea tiene una longitud de 750 metros aproximadamente y es de PVC de diámetro de 0,18662 m. De la tabla 15 se toma el valor de C el cual varía desde 140 a 150 para PE y PVC. Se opta por tomar el valor intermedio el cual es 145.

$$S = \left[ \frac{0.03284}{0,2785 * 145 * 0,18662^{2,63}} \right]^{1,85}$$

$$S = 0,006777 \frac{m}{m}$$

Ahora se calcula Hf descrita en la ecuación 53.

$$H_{fd} = S * L$$

$$H_{fd} = 0,006777 * 750$$

$$H_{fd} = 5,082 m$$

La longitud L es de 750 metros siendo este la longitud de la tubería de descarga que lleva el caudal calculado anteriormente.

### 6.7.11 Pérdidas menores por accesorios

Entre los accesorios que componen la estación se encuentran dos válvulas de compuerta, una válvula de check y dos codos principales para cambio de dirección del flujo.

**6.7.11.1 Pérdidas en válvulas de compuerta.** Según el libro de Moot, séptima edición, para las pérdidas en accesorios se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_{Lc} = K \left( \frac{v^2}{2g} \right) \quad (54)$$

Donde K se debe calcular de la siguiente manera:

$$K = (L_e/D) * ft \quad (55)$$

Donde  $L_e/D$  según la tabla 16, es de 8 para una válvula completamente abierta y según la tabla 17 para una tubería de acero al carbono DN40 el  $ft$  es de 0,02. Por tanto:

$$K = (8 * 0,02)$$

$$K = 0,016$$

Y las pérdidas estarían dadas por:

$$h_{Lc} = 0,016 \left( \frac{(1,2m/s)^2}{2 \left( \frac{9,8m}{s^2} \right)} \right)$$

$$h_{Lc} = 0,001176 \text{ m}$$

Como son dos válvulas de compuerta, las pérdidas por estos dos accesorios serían

$$h_{LC} = 0,002351 \text{ m}$$

### Tabla 16.

*Relación  $L_e/D$  para accesorios*

**TABLA 10.4 Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente en diámetros de tubería,  $L_e/D$**

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería $L_e/D$
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doblez de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

Nota. En la tabla se observan los valores de la relación  $L_e/D$  para diferentes tipos de accesorios.

Tomado de Mott, L., & Untener, A. (2015). *Mecánica de fluidos* (Séptima ed.). pag 242. Pearson Education.

**Tabla 17.**

Factor de fricción para la tubería

TABLA 10.5 Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial, cédula 40, nueva y limpia

Tamaño nominal de la tubería		Factor de fricción, $f_f$	Tamaño nominal de la tubería		Factor de fricción, $f_f$
Estados Unidos (in)	Métrico (mm)		Estados Unidos (in)	Métrico (mm)	
½	DN 15	0.026	3, 3½	DN 80, DN 90	0.017
¾	DN 20	0.024	4	DN 100	0.016
1	DN 25	0.022	5, 6	DN 125, DN 150	0.015
1¼	DN 32	0.021	8	DN 200	0.014
1½	DN 40	0.020	10-14	DN 250 a DN 350	0.013
2	DN 50	0.019	16-22	DN 400 a DN 550	0.012
2½	DN 65	0.018	24-36	DN 600 a DN 900	0.011

Nota. Tomada de Mott, L., & Untener, A. (2015). Mecánica de fluidos (Séptima ed.). pag 242. Pearson Education.

**6.7.11.2 Pérdidas en válvula check.** La instalación cuenta con una válvula check luego de la bomba para evitar el retorno del fluido a la misma, según el libro de Moot, las pérdidas en este tipo de accesorio se calculan de igual manera que las de compuerta, variando los valores de tablas 16 y 17, por tanto, se tiene:

$$h_{LR} = K \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$K = (L_e/D) * f_t$$

Donde  $L_e/D$  para una válvula de retención tipo bola es de 150 y el factor de fricción se mantiene en 0,02

$$K = 3$$

Se tiene una pérdida de:

$$h_{LR} = 3 \left( \frac{(1,2m/s)^2}{2 \left( \frac{9,8m}{s^2} \right)} \right)$$

$$h_{LR} = 0,2204 m$$

**6.7.11.3 Pérdidas en los codos.** En las instalaciones de la estación para la conexión de la bomba se usan 2 codos de 45 ° para cambiar la dirección del flujo. Atendiendo las indicaciones del libro de Moot. Las pérdidas se calculan de igual manera, cambiando los valores de las tablas 16 y 17. El resultado que se tiene es:

$$Le/D = 16 \text{ y } ft = 0,02$$

$$K = 16 * 0,02$$

$$K = 0,32$$

$$h_{COD} = 0,32 \left( \frac{(1,2 \text{ m/s})^2}{2 \left( \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} \right)} \right)$$

$$h_{COD} = 0,02351 \text{ m}$$

$$h_{COD} = 0,04702 \text{ m}$$

Las pérdidas totales de accesorios están dadas por:

$$h_L = h_{lc} + h_{lr} + h_{cod}$$

$$h_L = 0,2697 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que el barrio más alto se encuentra a 15 m por encima de la estación, se decide instalar un depósito a una altura de 21 metros sobre la estación que se encargue de la distribución a zonas aledañas.

$$H_{ftotal} = H_{fd} + H_{fs} + H_{faltura} + H_L$$

$$H_{ftotal} = 5,082 \text{ m} + 0,0324 + 21 \text{ m} + 0,2697 \text{ m}$$

$$H_{ftotal} = 26,3838 \text{ m}$$

Una vez determinadas las pérdidas, se calcula la potencia necesaria para impulsar la columna de agua desde la zona de captación hasta el desarenador. Para ello, es necesario conocer ciertos parámetros, como:

**6.7.12 Altura dinámica total (HDT)**

Representado por la diferencia del nivel máximo de las aguas en el sitio de llegada (nivel máximo de descarga al reservorio) y el nivel dinámico del pozo incluido las pérdidas de carga totales (fricción y locales) desarrolladas durante la succión y descarga. También se obtiene por la sumatoria de la altura de impulsión más altura de succión.

**6.8 Potencia de la bomba**

La Energía que requiere la bomba para su normal funcionamiento es conocida como Potencia de Consumo (Pc) y es calculada por la expresión:

$$P_b(H_p) = \frac{\gamma * Q_b * HDT}{\eta_b} \tag{56}$$

$$P_b = \frac{9802 \frac{kg}{(m * s)^2} * 0,03284 \frac{m^3}{s} * 21 m}{0.85}$$

$$P_b = 7952,76 \frac{kg * m^2}{s^3}$$

Ahora se convierte a CABALLOS DE POTENCIA (HP).

$$\frac{kg * m^2}{s^2 * s} = \frac{N * m}{s}$$

$$\frac{N * m}{s} * \frac{lbf}{4,448 N} * \frac{3,28 ft}{m} * \frac{Hp}{550 \frac{ft * lbs}{s}}$$

$$P_b(H_p) = 10,66 Hp$$

Por tanto, la potencia a tomar en el proyecto será la siguiente:

$$P_b(H_p) = 11 Hp$$

## 6.9 Selección de bomba

### 6.9.1 Bomba seleccionada

Debido a que el motor seleccionado tiene como potencia 15 Hp, la bomba deberá tener la misma potencia, en donde la siguiente bomba fue la seleccionada. Del fabricante (PYD electrobombas) se escoge la bomba con referencia CM 65- 160B con potencia de 15 Hp.

Figura 23.

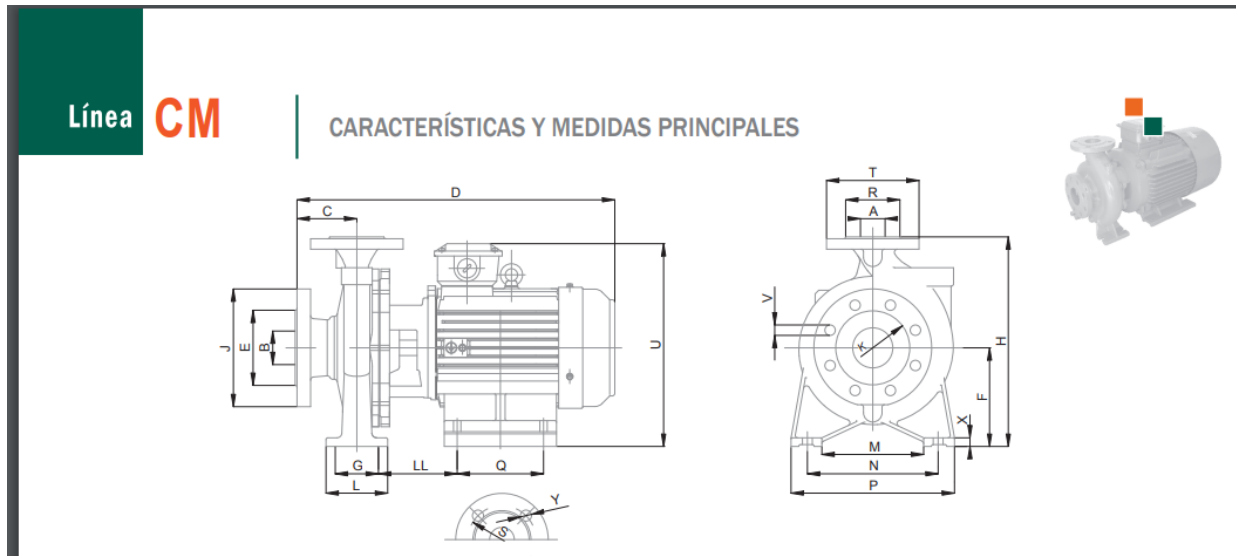
Selección motobomba

MODELO	POTENCIA	BRIDAS		MEDIDAS (mm)																	Peso kg						
	(HP)	ASP	IMP	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	LL	M	N	P	Q	R		S	T	U	V	X	Y
CM 32-200B	7.5	2"	1 1/2"	32	50	80	580	102	165	70	340	165	125	100	155	140	190	240	140	78	100	140	370	19	15	19	87
CM 32-250A	20	2"	1 1/2"	32	50	100	670	102	180	95	405	165	125	125	123	190	250	320	75	78	100	140	440	19	15	19	149
CM 32-250B	15	2"	1 1/2"	32	50	100	670	102	180	95	405	165	125	125	120	190	250	320	75	78	100	140	475	19	15	19	139
CM 32-250C	10	2"	1 1/2"	32	50	100	590	102	180	95	405	165	125	125	140	190	250	320	85	78	100	140	405	19	15	19	97
CM 40-200A	10	2 1/2"	1 1/2"	40	65	100	580	122	160	70	340	185	145	100	148	165	212	265	85	88	100	150	357	19	15	19	103
CM 40-200B	7.5	2 1/2"	1 1/2"	40	65	100	590	122	160	70	340	185	145	100	148	165	212	265	85	88	100	150	375	19	15	19	91
CM 40-250A	20	2 1/2"	1 1/2"	40	65	100	670	122	180	95	405	185	145	125	126	190	250	320	85	88	100	150	430	19	15	19	154
CM 50-160A	10	2 1/2"	2"	50	65	100	590	122	160	70	340	185	145	100	150	165	212	265	75	102	125	165	370	19	15	19	101
CM 50-160B	7.5	2 1/2"	2"	50	65	100	590	122	160	70	340	185	145	100	146	165	212	265	75	102	125	165	370	19	15	19	93
CM 50-200A	20	2 1/2"	2"	50	65	100	670	122	162	70	365	185	145	100	137	165	212	265	75	102	125	165	413	19	15	19	150
CM 50-200B	15	2 1/2"	2"	50	65	100	665	122	162	70	365	185	145	100	135	165	212	265	85	102	125	165	470	19	15	19	141
CM 50-200C	10	2 1/2"	2"	50	65	100	590	122	162	70	365	185	145	100	153	165	212	265	85	102	125	165	383	19	15	19	97
CM 50-250B	25	2 1/2"	2"	50	65	100	695	122	180	95	405	185	145	100	122	190	250	320	85	102	125	165	435	19	15	19	174
CM 50-250C	20	2 1/2"	2"	50	65	100	680	122	180	95	405	185	145	125	122	190	250	320	85	102	125	165	435	19	15	19	152
CM 50-250D	15	2 1/2"	2"	50	65	100	670	122	180	95	405	185	145	125	122	190	250	320	75	102	125	165	430	19	15	19	144
CM 65-125A	10	3"	2 1/2"	65	80	100	590	138	160	95	340	200	80	125	143	150	212	280	75	122	145	185	375	19	15	19	103
CM 65-125B	7.5	3"	2 1/2"	65	80	100	610	138	160	95	340	200	160	125	143	150	212	280	75	122	145	185	375	19	15	19	87
CM 65-160A	20	3"	2 1/2"	65	80	100	680	138	160	95	360	200	160	125	130	150	212	280	85	122	145	185	395	19	15	19	152
CM 65-160B	15	3"	2 1/2"	65	80	100	670	138	160	95	360	200	160	125	133	150	212	280	85	122	145	185	410	19	15	19	145
CM 65-160C	10	3"	2 1/2"	65	80	100	590	138	160	95	360	200	160	125	155	150	212	280	85	122	145	185	367	19	15	19	103
CM 65-200A	30	3"	2 1/2"	65	80	100	765	138	180	95	405	200	160	125	167	160	250	320	85	122	145	185	448	19	15	19	169
CM 65-200B	25	3"	2 1/2"	65	80	100	705	138	180	95	405	200	160	125	125	160	250	320	85	122	145	185	435	19	15	19	169
CM 65-200C	20	3"	2 1/2"	65	80	100	690	138	180	95	405	200	160	125	138	160	250	320	85	122	145	185	435	19	15	19	152

Nota. La figura muestra las especificaciones de la bomba seleccionada. Tomado del catalogo de bombas centrifugas de PYD electrobombas de México 2019. Disponible en <http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2019/09/CM.pdf>

**Figura 24.**

*Planos de la bomba*



Nota: La figura representa la acotación y medidas de la bomba CM65-160B anteriormente seleccionada. Obtenida del catalogo de bombas centrifugas de PYD electrobombas de México 2019. Disponible en <http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2019/09/CM.pdf>

**6.9.2 Presión de la bomba CM 65-160B**

Teniendo en cuenta la plataforma venezolana de venta de bombas CER (E-COMERCE CER AMERICA LATINA S.A.) la presión máxima que alcanza la bomba CM 65-160B es de 90 m.c.a. según su descripción de venta.

**Figura 25.**

*Características, bomba seleccionada*



Electrobomba Centrífuga de Alto Caudal Czerweny Modelo CM65-160B 11 KW/ 15 HP 380V IP54

Código: [CM65-160-B]

Marca: **Czerweny**  
Modelo: **CM65-160B**

- Tensión: 380 V.
- Amperaje de consumo: --A.
- Potencia: 11KW/ 15 HP.
- Altura máxima de elevación: 36 metros (3,6 Bar).
- Caudal máximo entregado: 1700 L/min (102000 L/h - 102 m3/h).
- Succión máxima: 8 metros.
- Conexión Aspiración: 3".
- Conexión Impulsión: 2 1/2".
- Protección: IP54.
- Peso del producto: 145 kg.

**Garantía: 3 años.**

*Nota.* En la figura se representan las características de la bomba CM65-160B. Obtenida de la tienda virtual CER (E-COMERCE CER AMERICA LATINA S.A.). disponible en <https://cer.com.ar/inicio>.

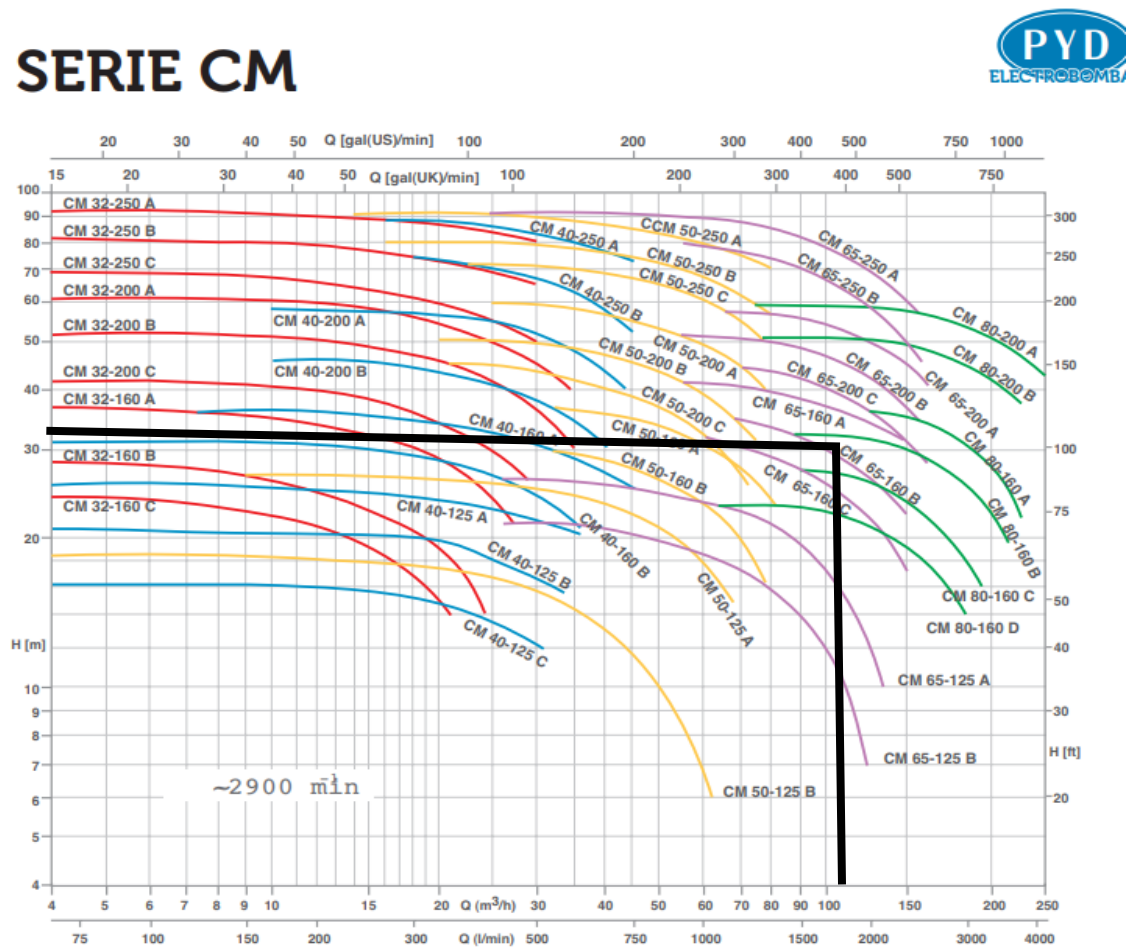
### 6.9.3 Características principales de la bomba

- Bomba centrífuga de una etapa para grandes caudales.
- Caudales hasta 2000 Lts/min (0,33 m3/min).
- Aptas para equipos contra incendios y presiones hasta 90 m.c.a.
- Sello mecánico de grafito y cerámica.
- Temperatura del líquido entre -10°C y 90°C.
- Bridas bajo normas ISO 2084 DIN 2566.

- Impulsor cerrado de fundición gris o bronce.
- Cuerpo de fundición.
- Motor trifásico IP54, clase F.

Figura 26.

Curva característica de la bomba

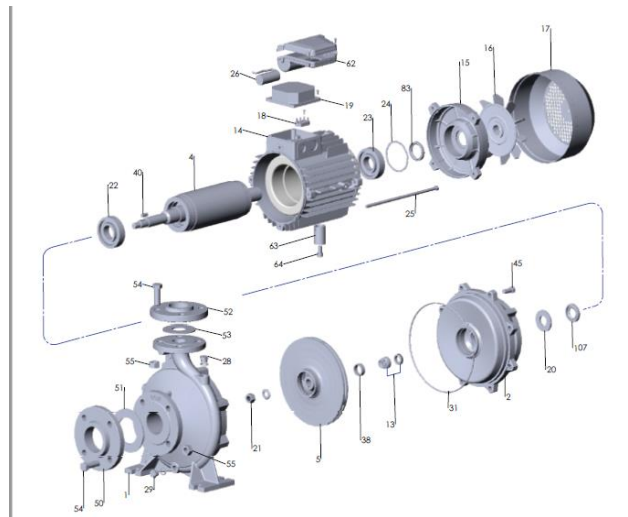


Nota. en la figura se observa la curva característica de la bomba seleccionada. Tomada de Catálogo Proindecsa, por PYD Electrobombas, 2019, disponible en <http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2019/09/CM.pdf>

#### 6.9.4 Explosionado bombas de tipo CM

**Figura 27.**

*Explosionado de la bomba seleccionada*



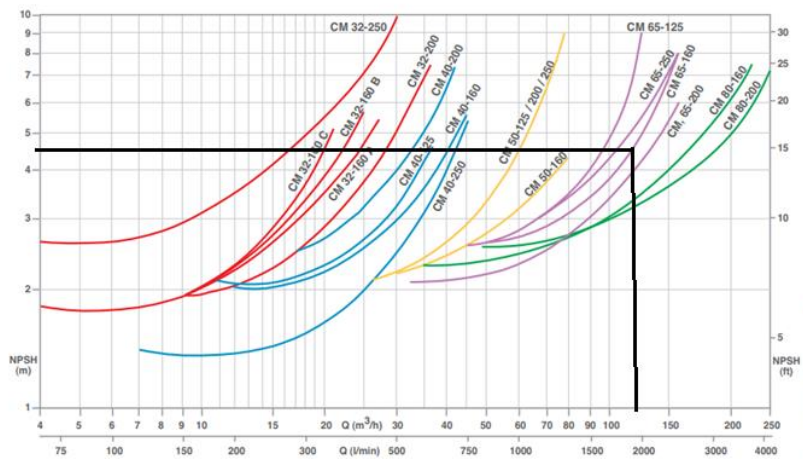
*Nota.* en la figura se observa el despiece de la bomba centrífuga y el motor seleccionados. Tomada de Catálogo Proindecsa, por PYD Electrobombas, 2019, disponible en <http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2019/09/CM.pdf>

#### 6.9.5 Curva NSPH de la bomba

La curva NPSH muestra la presión de entrada mínima (expresada en m) necesaria para que la bomba trabaje según la curva característica y el líquido bombeado no se evapore, de tal modo que no se produzcan fenómenos de cavitación en el interior de a las bombas, debido a que con estas curvas se verifica si en realidad la bomba funciona para los cálculos y el diseño que se ha realizado.

**Figura 28.**

*Curva NPSH requerido*



*Nota.* en la figura se observa la curva del NPSH de la bomba seleccionada. Tomada de Catálogo Proindecsa, por PYD Electrobombas, 2019, disponible en <http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2019/09/CM.pdf>

Teniendo en cuenta que el  $Q_d=118,224 \text{ m}^3/\text{hr}$  y la curva característica de la bomba CM 65-160B se puede determinar el  $NPSH_{req}= 4.6 \text{ m}$ , según el fabricante, como se observa en la figura 28.

**6.10 Cavitación**

El fenómeno de cavitación es el menos deseado a la hora de usar bombas para transportar fluidos. La cavitación se presenta en tuberías y bombas al momento de que el fluido alcanza la presión o temperatura de saturación y se comienza a evaporar. Las burbujas de vapor golpean fuertemente álabes, aspas, tuberías, etc... generando daños a tiempo medio muy costosos. Para

evitar el fenómeno de la cavitación, es necesario calcular el NPSH disponible de una bomba en el lugar que se tenga pensado adecuar y así compararlo con el NPSH requerido por el fabricante.

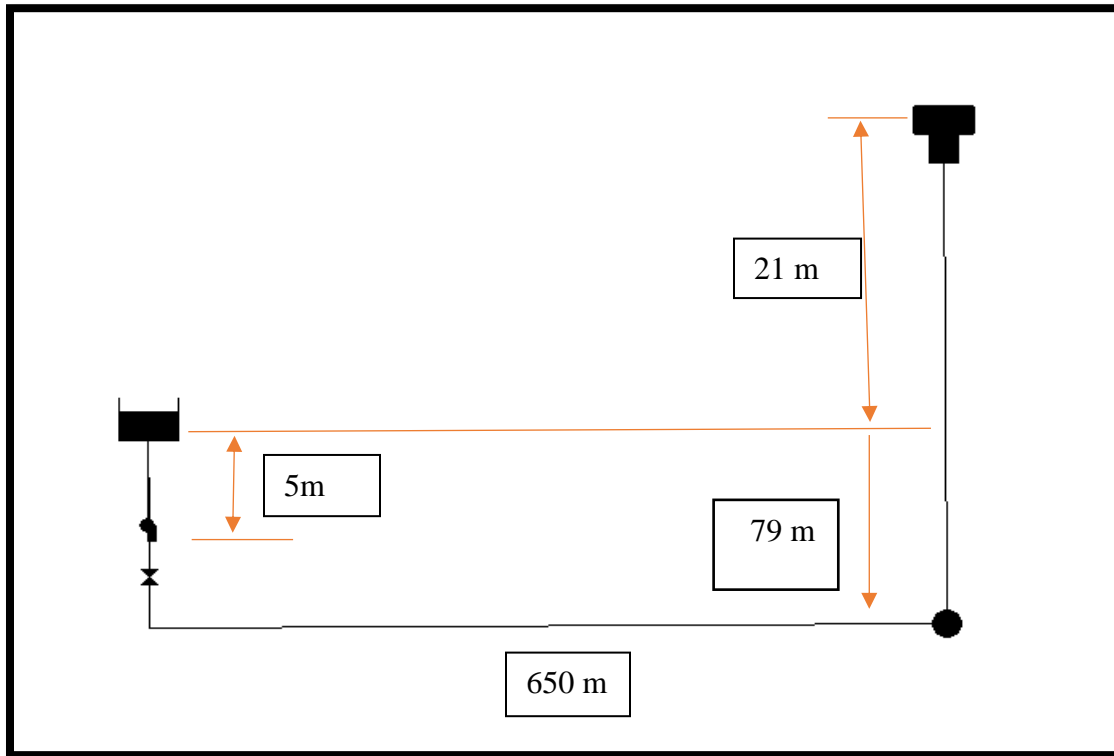
### ***6.10.1 Cálculo de NPSH disponible***

Luego de tener seleccionada la bomba, y el lugar de instalación establecido en la estación de bombeo, el siguiente paso es calcular el NPSH disponible de la bomba según el lugar donde se encuentra y el punto de descarga máximo (máxima altura). Existen 2 tipos de NPSH (altura neta positiva de succión), uno es el NPSH requerido (NPSHreq) que es el establecido por el fabricante de la bomba, y otro es el NPSH disponible, que es el que como ingeniero se debe calcular para luego comparar estos dos NPSH y conocer si la bomba trabajará en óptimas condiciones, evitando el problema de la cavitación.

Lo ideal en la instalación de un equipo de bombeo es que  $NPSH_{disp} \geq NPSH_{req} + 0,5 \text{ m}$ . El 0,5 funciona como factor de seguridad para evitar el fenómeno de cavitación en la bomba y con esto la falla de la misma. Cuando esta regla se cumple, el equipo de bombeo se puede instalar a la altura de succión establecida, garantizando que la probabilidad de que cavite sea mínima. A continuación, se realizan los cálculos para determinar el NPSHdisp según la siguiente instalación diseñada en el programa EPANET, donde se puede observar la diferencia de altura entre el tanque de almacenamiento y la bomba escogida.

**Figura 29.**

*Longitudes para el NPSH disp.*



*Nota.* Es una representación gráfica sin detalle para mostrar la diferencia de alturas entre la estación y el puto más alto de demanda. Elaboración propia.

La altura de las instalaciones de la estación de bombeo, se encuentran a 1689 m.s.n.m. El caudal que envía a bomba es de 32,846 l/s. El agua va por las tuberías a una temperatura de 15°C según datos obtenidos por el personal de la estación. La tubería de la impulsión es de 8 pulgadas de PVC. El depósito de descarga se encuentra 21 metros sobre la estación de bombeo. La trayectoria que debe atravesar el fluido por la tubería hasta este barrio es de aproximadamente 750 metros. La bomba se encuentra por debajo del tanque de almacenamiento, el cual está al aire libre a presión atmosférica.

Para los cálculos respectivos del NPSH<sub>disp</sub>, se hace uso del programa EES, el cual es un solucionador de ecuaciones muy completo en el área de Ingeniería Mecánica. Las propiedades del agua a la temperatura de 15° se muestran en la tabla 18, y el programa las trae implícitamente ingresando algunos datos. Para las pérdidas en las tuberías de la estación, se usa el método de Darcy Weisbach, y para las pérdidas por fricción el método de Swamme-Jain, el cual se puede usar cuando el número de Reynolds y el factor de rugosidad se encuentra entre ciertos valores, como se muestra en la figura 31.

**Tabla 18.**

*Propiedades del agua a T=15 °C de las tablas del Cengel 7ma edición*

**TABLA A-4**  
 Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P <sub>sat</sub> kPa	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Líqu. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Líqu. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Líqu. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.3	2537.4	0.2963	8.3698	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540

*Nota.* Tomada de Termodinámica Séptima edición (pag 914), por Cengel, Y. & Boles, M. (2011). McGrawHillEducation.

**Figura 30.**

*Ecuación general de SWAME-JAIN*

$$f = 0.25 \left[ \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2}$$

Válida para rangos:  $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-6} < \varepsilon_r < 10^{-2}, \text{ Donde } \varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \\ 5 \times 10^3 < Re < 10^8 \end{array} \right.$


*Nota.* en la imagen se observa la ecuación general de Swame- Jain de forma simplificada. Tomado de Hidráulica de tuberías, por Saldarriaga Juan, 2007. AlfaOmegaBogotá.

Para la rugosidad de la tubería de PVC, que es la tubería que se encuentra en la red de distribución. Se extraen los valores de tablas, mostrados en la figura 31. El valor de rugosidad utilizado es de 0,02 mm

**Figura 31.**

*Rugosidad de los materiales*

Material de construcción	Rugosidad (k: mm)
Tuberías de plástico	
Poliétileno (P.E.)	0,002
<b>Cloruro de polivinilo (PVC)</b>	<b>0,02</b>
Tuberías metálicas	
Tuberías estiradas, sin soldaduras de latón, cobre, plomo.....	0,0015 - 0,01
Aluminio.....	0,015 - 0,06
<b>Acero estirado sin soldaduras:</b>	
Nuevas.....	0,02 - 0,10
Después de muchos años en servicio.....	1,2 - 1,5
<b>Acero galvanizado:</b>	
Nuevas, buena galvanización.....	0,07 - 0,10
Galvanización ordinaria.....	0,10 - 0,15
<b>Fundición:</b>	
Nuevas.....	0,25 - 1,00
Nuevas con revestimiento bituminoso.....	0,10 - 0,15
Asfaltadas.....	0,12 - 0,30
Después de varios años en servicio.....	1,00 - 4,00
<b>Hormigón y fibrocemento:</b>	
- <b>Hormigón:</b>	
Superficie muy lisa.....	0,3 - 0,8
Condiciones medias.....	2,5
Superficie rugosa.....	3 - 9
Hormigón armado.....	2,5
- <b>Fibrocemento (F.C.):</b>	
Nuevas.....	0,05 - 0,10
Después de varios años en uso.....	0,60



*Nota.* La rugosidad del PVC es de 0,02 mm. Tomado de Hidráulica de tuberías, por Saldarriaga Juan, 2007. AlfaOmegaBogotá.

Los cálculos de  $N_{psh}$  disp., se pueden ver en el apéndice 1.

Los resultados obtenidos por el programa EES, se muestran a continuación:

**Figura 32.**

*Resultados NPSHdisp*

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

altura = 1689 [metros]	D = 0,2032 [m]	E = 0,00002 [m]	Er = 0,00009843
f = 0,01621	g = 9,81 [m/s <sup>2</sup> ]	hf = 4,39 [m]	hs = 5 [m]
hsp = 8,455 [m]	hvp = 0,000174 [kPa-s/kg]	L = 750 [m]	μ = 0,001138 [kg/m-s]
NPSHdisp = 9,065 [m]	NPSHrequ = 4,6 [m]	Patm = 0,8288 [bar]	Pkpa = 120,7 [kpa]
Pmca = 8,453 [mca]	Re = 214072 [m <sup>2</sup> ]	ρ = 999,1 [kg/m <sup>3</sup> ]	T = 15 [°C]
V = 1,2 [m/s]	x = 9802 [kg/s]		

*Nota.* Resultados en el programa EES. Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 32, el resultado del NPSH disponible es de 9,065 metros, mientras que el NPSH requerido por la bomba seleccionada es de 4,6 metros. Se debe resaltar que, en la norma, el NPSH disponible debe comportarse de la siguiente manera:

$$NPSH\ disp \geq NPSH\ req + 0,5\ m \tag{57}$$

Según los resultados obtenidos, tenemos:

$$NPSH\ disp - NPSH\ req = 9,065m - 4,6\ m$$

$$NPSH\ disp - NPSH\ req = 4,465\ m$$

Lo cual indica que la bomba funcionará en óptimas condiciones y la probabilidad de que aparezca cavitación, es muy baja.

### 6.11 Curva de operación del sistema.

El punto de trabajo indica el caudal y la altura que se puede elevar en un sistema dado con una bomba dada. Para determinar la curva de resistencia del sistema, además de conocer la altura geométrica total, también se debe calcular el valor de pérdidas del sistema.

El punto de funcionamiento debe ser el máximo rendimiento. En este punto, la tensión radial sobre los rodamientos es mínima. Estas tensiones radiales aumentan a medida que uno se aleja del punto de operación con la máxima eficiencia.

Cuando el flujo de la bomba excede la eficiencia máxima, la presión absoluta requerida para evitar la cavitación aumenta, por el contrario, si el flujo de la bomba disminuye hacia el punto de cierre de la válvula (caudal cero), los problemas de innovación provocan el sobrecalentamiento de la presión del fluido, la cavitación de las ruedas y la vibración.

### ***6.11.1 Curva de resistencia del sistema***

El punto de trabajo de una bomba se define como el flujo que la bomba transmitirá cuando se instale en un sistema particular y se opere a una carga total especificada.

Por lo general el sistema de tuberías incluye varios elementos en las líneas de succión y descarga como son válvulas, codos, elementos del proceso y tramos rectos de tubería conectados. Por tanto, la bomba debe realizar tareas como:

- 1.** Elevar el fluido desde un depósito u otra fuente inferior hasta un punto de destino o tanque superior.
- 2.** Aumentar la presión del fluido desde el punto de origen hasta el punto de destino.
- 3.** Superar la resistencia causada por la fricción en la tubería, las válvulas y los accesorios.
- 4.** Superar la resistencia causada por los elementos del proceso.
- 5.** Suministrar la energía relacionada con la operación de las válvulas de control del flujo que causan cambios inherentes a la carga del sistema para lograr los caudales deseados.

### 6.11.2 Carga estática.

La Carga Estática representa la resistencia en un sistema de bombeo antes de que el líquido entre en movimiento y se calcula de la siguiente manera.

$$h_0 = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (z_2 - z_1) \text{ (carga estática obtenidas de mott)}$$

$$p_1 = 0 \text{ psi}$$

$$p_2 = 8 \text{ psi (presión requerida para la descarga)}$$

$$p_2 = 50000 \text{ pascales}$$

$$\gamma = 9802 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}^2}$$

$$z_1 = 0$$

$$z_2 = 21 \text{ m}$$

$$h_0 = \frac{50000 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2}}{9802 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}^2}} + (21 \text{ m})$$

$$h_0 = 26 \text{ m}$$

### 6.11.3 Carga dinámica

La cabeza dinámica representa la resistencia del sistema de bombeo cuando el fluido que se bombea está en movimiento. Por lo tanto, las pérdidas de carga dinámicas son aquellas que surgen cuando el fluido comienza a fluir por el sistema, y estas pérdidas se deben a la fricción; Conocido como pérdida por fricción. La pérdida de carga dinámica es una función del flujo.

$$h_a = \frac{p_2}{\gamma} + (z_2 - z_1) + h_l$$

$$p_2 = \frac{50000 \frac{kg}{m \cdot s^2}}{9802 \frac{kg}{m^2 s^2}} = 5,1 m$$

$$z_1 = 0$$

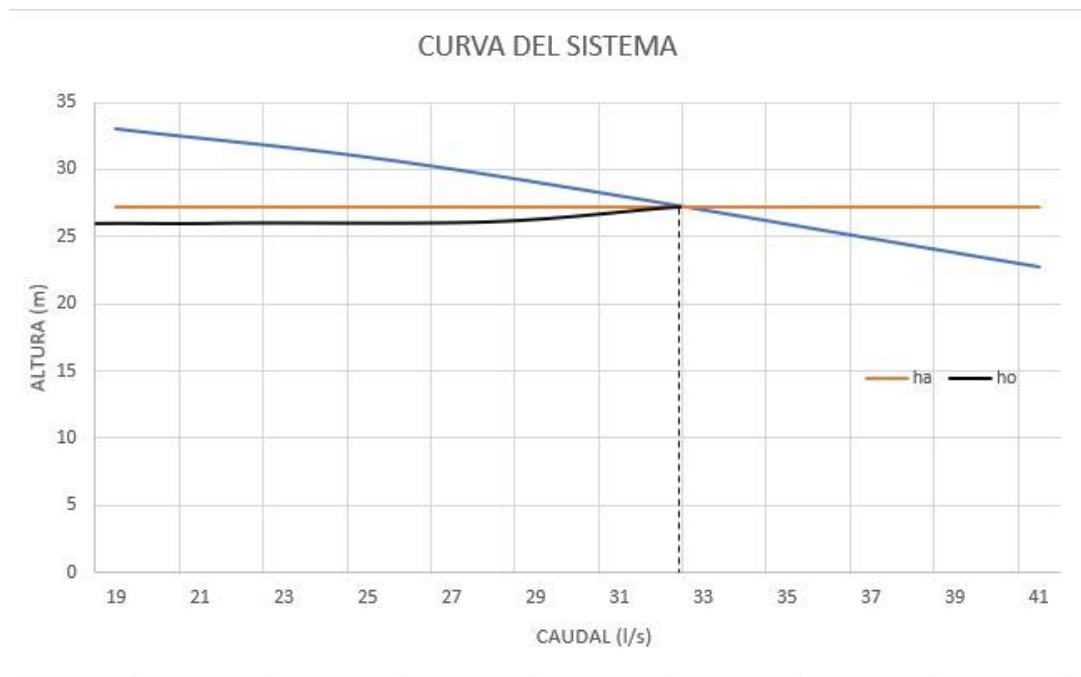
$$z_2 = 21 m$$

$$h_a = 5,1 + 21 + 1,16$$

$$h_a = 27.26 m$$

**Figura 33.**

*Curva del sistema*



*Nota.* En la figura se evidencia la curva característica del sistema de bombeo, la curva naranja representa la carga dinámica, la curva negra representa la carga estática y la azul representa la curva de la bomba. Elaboración propia

## 6.12 Golpe de ariete

Un golpe de ariete es un aumento repentino de la presión causado por un cambio rápido en la velocidad de caudal de la tubería. Este fenómeno se denomina "golpe de ariete" porque los aumentos repentinos de la presión suelen ir acompañados de un ruido semejante al que haría la tubería si se golpease con un martillo.

El Golpe de Ariete se entenderá como un incremento momentáneo en la presión, que ocurre en un sistema de agua cuando hay un cambio repentino de dirección o velocidad de este fluido; cuando una válvula se cierra o abre repentinamente, lo cual detiene el paso del agua y la energía de presión se transfiere a la válvula y a la pared de la tubería.

Este impacto puede dañar seriamente la tubería, equipo o cubierta de la maquinaria, resultando en daños no solo para las juntas en las uniones, pero también en las bridas de válvulas o las válvulas mismas.

En el diseño de estaciones de bombeo lo que se busca es que el golpe de ariete no aparezca o que se minimicen sus efectos lo máximo posible. Actualmente existen accesorios en la industria que evitan que estos problemas causen daños en las instalaciones. El fabricante CSA AS, tiene en el mercado una válvula ventosa trifuncional anti-ariete LYNX 3F- AS, La ventosa asegura la operación fiable de los sistemas de tubería permitiendo la evacuación de bolsas de aire durante las condiciones de trabajo, la entrada de grandes volúmenes de aire en caso de operaciones de vaciado o rotura de tuberías, así como la descarga de aire a una velocidad controlada. El riesgo de golpe de ariete desaparece, dado que el agua vuelve a la ventosa de forma progresiva, asegurando su cierre lento, como se observa en la figura 34.

**Figura 34.**

*Válvula ventosa anti-ariete*



*Nota.* En la imagen se ve el funcionamiento de la válvula anti ariete. Tomada de Catálogo CSA, disponible en [https://www.csasrl.it/es/prodotti/prodotto/sfiato-automatico-a-tre-funzioni-anti-colpo-dariete\\_50](https://www.csasrl.it/es/prodotti/prodotto/sfiato-automatico-a-tre-funzioni-anti-colpo-dariete_50).

### 6.13 Selección de válvulas

En las instalaciones principales de la estación de bombeo, se utilizan unas válvulas de paso y regulación de flujo que se encargan de trabajar a la par con los elementos de rotación en la impulsión y succión del flujo. Las válvulas usadas son 4 válvulas de compuerta manuales que se encargan de poner la bomba en su punto de funcionamiento. 2 válvulas de retención o check que se encargan de cerrar por completo el paso del flujo en un sentido.

Para la selección de estas válvulas, se hace uso del catálogo de fabricante WALWORTH, en su sección, válvula Bonete bridado fundido.

6.13.1 Válvula de compuerta

En la selección de la válvula de compuerta, el principal parámetro para entrar al catálogo es el diámetro nominal, el cual debe ser de 8 pulgadas para evitar el uso de más accesorios en la tubería. La válvula seleccionada es una válvula de compuerta Benet bridado fundido clase 300 de operación con volante como la que se muestra a continuación en la figura 35.

Figura 35.

Válvula de compuerta seleccionada



Partes y Materiales

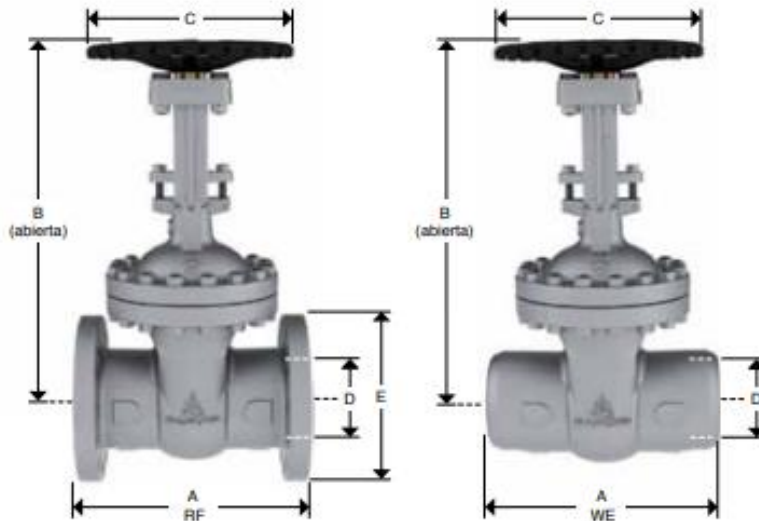
No.	DESCRIPCIÓN	STANDARD MATERIAL
1	Cuerpo	ASTM A 216 GR WCB
2	Yugo/Bonete	ASTM A 216 GR WCB
3	Compuerta	ASTM A 216 GR WCB + 13% Cr.
4	Asiento	ASTM A 515 GR 70
5	Vástago	ASTM A 276 Type 410
6	Tuerca Retén	ASTM A 108 GR 1020
7	Retén	Acero Aleado
8	Grasera	Acero Comercial
9	Tuerca Vástago	UNS C95600 or Ni-Resist
10	Tornillo de Ojo	Acero Aleado
11	Tuerca Tornillo de Ojo	ASTM A 307
12	Brida Prensa Empaques	ASTM A 515 GR 70
13	Buje Prensa Empaque	ASTM A 108 GR 1020
14	Perno Tornillo de Ojo	Acero Aleado
15	Empaque de Vástago	Grafito
16	Casquillo	ASTM A 276 Type 410
17	Junta	Spiral Inoxidable 304/Grafito
18	Espárrago	ASTM A 193 GR B7
19	Tuerca Espárrago	ASTM A 194 GR 2H
20	Volante	ASTM A 197
21	Tuerca Volante	ASTM A 108 GR 1020
22	Opresor Tuerca Retén	Acero Aleado
23	Placa de Identificación	Acero Inoxidable

\*No mostrado

Nota. Tomado de Catálogo Walworth de válvulas (p.24, por Walworth,2017, disponible en <https://walworth.com/multimedia/catalogos/valvulas-de-acero-fundido.pdf>.

Figura 36.

Especificaciones válvula de compuerta



D Diámetro Nominal	mm	51	64	76	102	127	152	203	254	305	356	406	457	508	610
	in	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
A	mm	216	241	283	305	381	403	419	457	502	762	838	914	991	1143
(RF y WE)	in	8 1/2	9 1/2	11 1/8	12	15	15 7/8	16 1/2	18	19 3/4	30	33	36	39	45
B	mm	473	579	528	637	695	935	1083	1314	1594	1730	1924	2105	2334	2810
	in	18 5/8	22 13/16	20 25/32	25 1/16	27 3/8	36 13/16	42 5/8	51 3/4	62 3/4	68 1/8	75 3/4	82 7/8	91 7/8	110 5/8
C	mm	203	203	254	254	300	356	406	508	508	660	711	864	864	864
	in	8	8	10	10	11 13/16	14	16	20	20	26	28	34	34	34
E	mm	165	191	210	254	279	318	381	445	521	584	648	711	775	914
	in	6 1/2	7 1/2	8 1/4	10	11	12 1/2	15	17 1/2	20 1/2	23	25 1/2	28	30 1/2	36
Peso	Kg	25	39	43	70	92	137	222	322	470	760	1202	1633	2064	2268
5206RF	lb	55	86	95	154	202	301	488	708	1034	1672	2644	3593	4541	4990
Peso	Kg	20	38	33	51	78	129	194.6	299.9	407.3	669	1043	1383	1864	1950
5206WE	lb	44	83.6	72.6	112.2	172.04	283.8	428.12	659.78	896.06	1471.36	2294.6	3042.6	4100.8	4290

Nota. Tomado de Catálogo Walworth de válvulas (p.25, por Walworth, 2017, disponible en <https://walworth.com/multimedia/catalogos/valvulas-de-acero-fundido.pdf>.

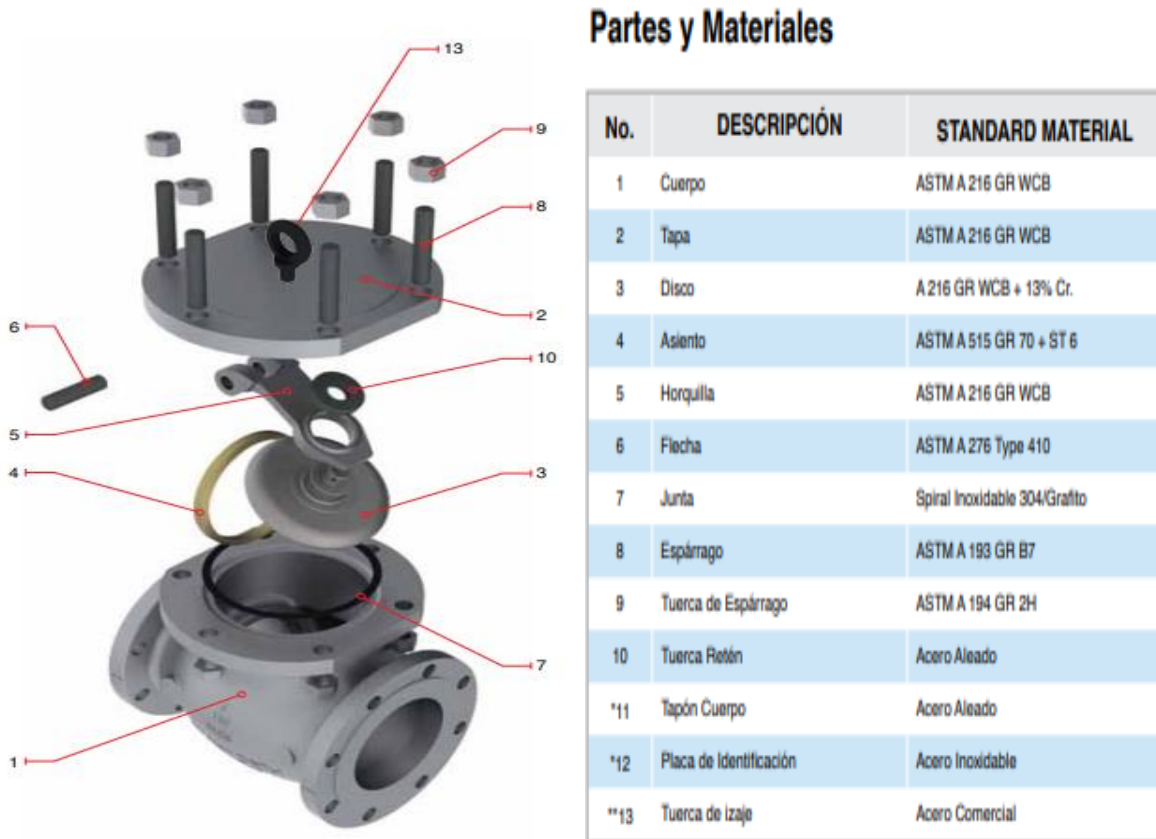
### 6.13.2 Válvula de retención o check

La válvula de retención o check cumple la función de cerrar el paso del flujo en una dirección en el momento en que se desee o necesite esta acción. Para su selección se hace uso de

nuevo del catálogo WALWORTH, siendo la más conveniente la válvula de retención bonete bridado fundido clase 150 como la que se muestra en la figura 37.

**Figura 37.**

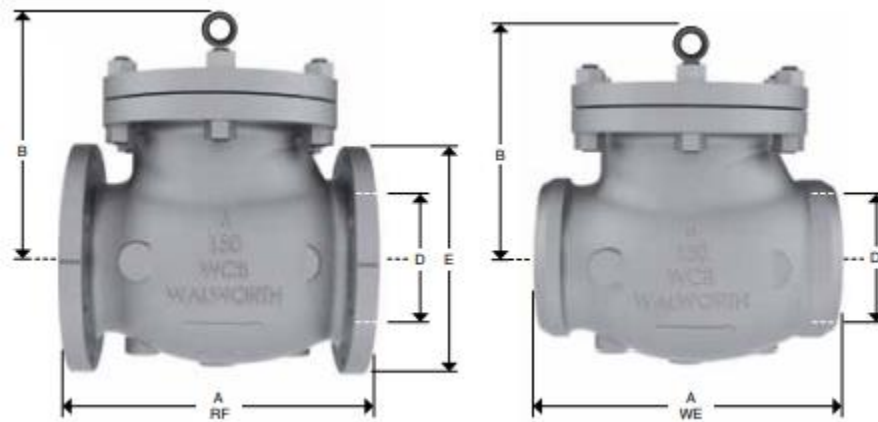
*Válvula de retención seleccionada*



*Nota.* Tomado de Catálogo Walworth de válvulas (p.70, por Walworth,2017, disponible en <https://walworth.com/multimedia/catalogos/valvulas-de-acero-fundido.pdf>.

**Figura 38.**

*Especificaciones, válvula de retención*



D		51	64	76	102	152	203	254	305	356	406	457	508	610	762	914	1067	1219
Diámetro Nominal	mm. / pulg.	2	2 1/2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	30	36	42	48
A	mm.	203	216	241	292	356	495	622	699	787	864	978	978	1295	1524	1956	POA	POA
(RF y WE)	pulg.	8	8 1/2	9 1/2	11 1/2	14	19 1/2	24 1/2	27 1/2	31	34	38 1/2	38 1/2	51	60	77	POA	POA
B	mm.	134	156	162	205	238	291	349	381	457	502	573	606	702	1003	1118	POA	POA
	pulg.	5 9/32	6 1/8	6 3/8	8 1/16	9 3/8	11 7/16	13 3/4	15	18	19 3/4	22 9/16	23 7/8	27 5/8	39.5	44	-	-
E	mm.	152	178	191	229	279	343	406	483	533	597	635	699	813	984	1168	1346	1511
	pulg.	6	7	7 1/2	9	11	13 1/2	16	19	21	23 1/2	25	27 1/2	32	38.75	46	53	59.5
Peso	Kg.	15	21	27	40	69	172	266	399	388	510	600	918	1160	1816	3632	POA	POA
5341RF	lb.	33	46.2	59.4	88	151.8	378.4	585.2	877.8	853.6	1122	1320	2019.6	2552	4000	8000	POA	POA
Peso	Kg.	13	19	17	36	64	132	210	305	318	418	492	753	951	1489	2978	POA	POA
5341WE	lb.	28.6	41.8	37.4	79.2	140.8	290.4	462	671	700	920	1082	1656	2093	3276	6552	POA	POA

*Nota.* Tomado de Catálogo Walworth de válvulas (p.71, por Walworth,2017, disponible en <https://walworth.com/multimedia/catalogos/valvulas-de-acero-fundido.pdf>.

### 6.14 Instalación nueva estación

Luego de seleccionada la bomba que se va a utilizar en la estación de bombeo del municipio de Contratación, el siguiente paso es adecuar la instalación correspondiente. Para este paso, es importante resaltar los siguientes puntos:

- Un solo grupo de bombeo garantiza el servicio en un 100 %, pero no toma en cuenta posibles fallas por mantenimiento, causas ambientales, casos de emergencia, etc.
- En una estación de bombeo se debe contar con por lo menos dos grupos de bombas, las cuales estén al nivel de cumplir los requerimientos de diseño.
- La capacidad instalada en una estación de servicio debe ser superior al 100 % por seguridad y disponibilidad.

Por los motivos expuestos anteriormente, la necesidad de instalar dos unidades de bombeo una principal y la otra de emergencia, con iguales especificaciones brinda una mayor disponibilidad de la estación.

Como solo se necesita una unidad de bombeo funcionando para cumplir los requerimientos, la instalación de los dos grupos será en paralelo para que cada uno funcione independientemente como se muestra en la figura 39.

#### ***6.14.1 Capacidad instalada***

*Capacidad instalada*

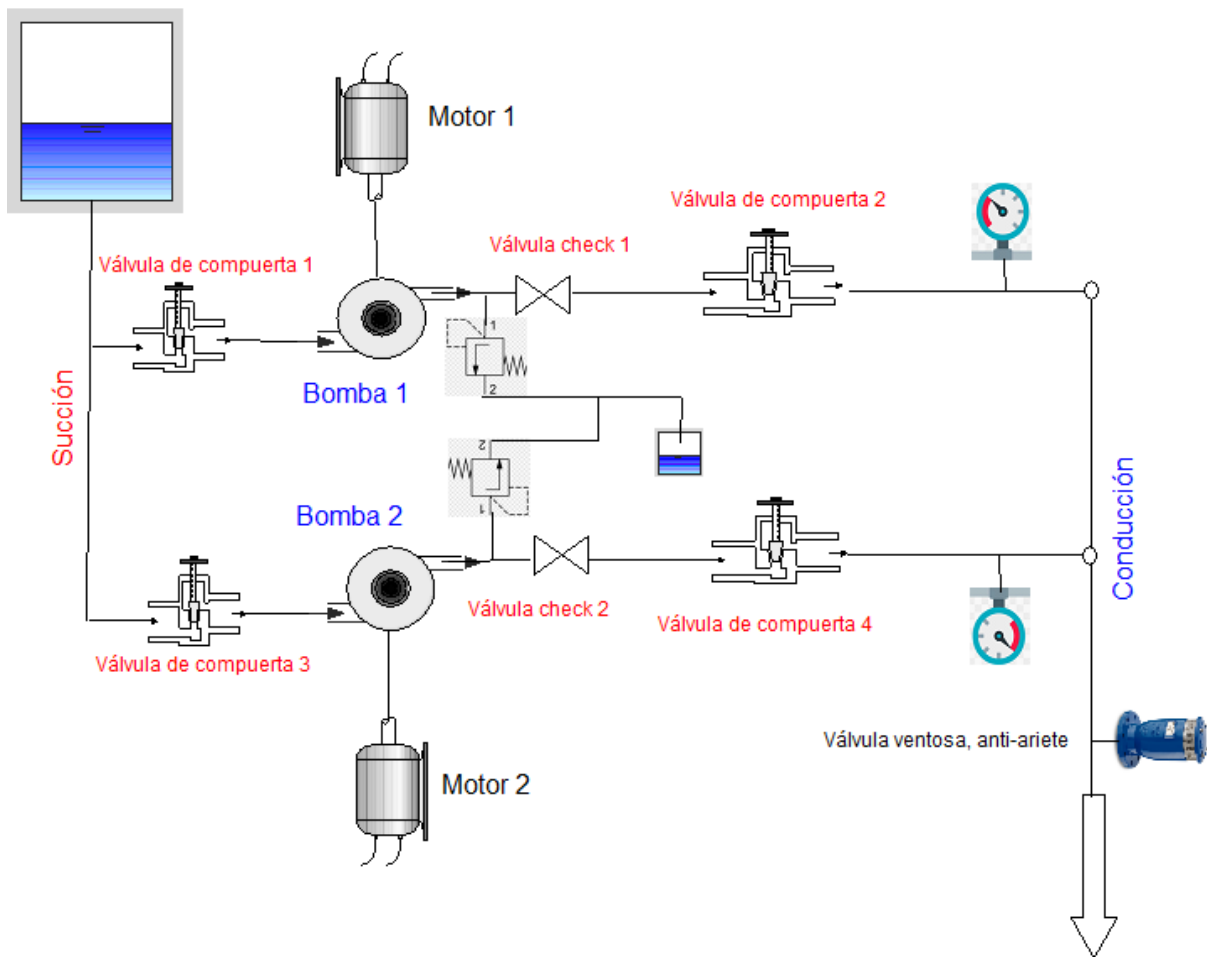
$$= 1 \text{ bomba}(\text{caudal de diseño}) + 1 \text{ bomba} (\text{emergencia}) \quad (58)$$

$$\text{Capacidad instalada} = 100\% + 100\%$$

$$\text{Capacidad instalada} = 200\%$$

**Figura 39.**

*Instalación, nueva estación*



*Nota.* En la figura se muestra la instalación del grupo de bombas en paralelo elaborada en el diagrama de Windows de EES. Elaboración propia.

### 6.15 Modelamiento EPANET

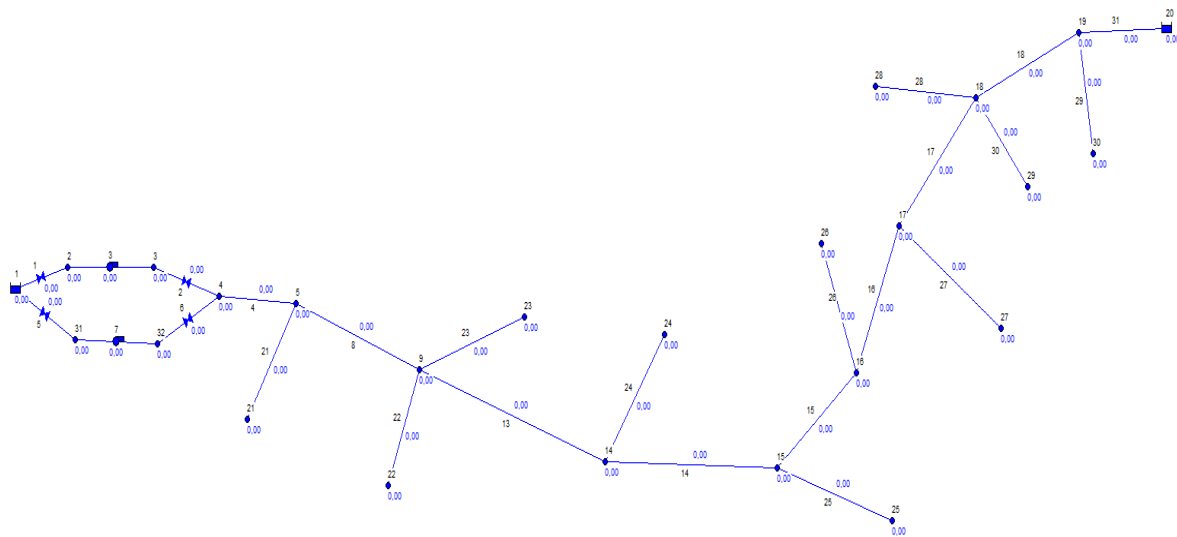
Epanet, es un software creado en Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, con propósitos de análisis de sistemas de distribución de agua potable. En el

proyecto, el programa calcula el funcionamiento o los rangos de operación de la bomba centrífuga seleccionada, mediante la introducción de la curva característica de la misma.

En la simulación se ubican nodos a lo largo de la red, estos simulan la demanda de agua por sectores como clasificada en la tabla 11 realizada con los lineamientos de la RAS. Adicional, se ubican en los demás nodos la demanda de agua bruta por habitante en unidades de lps. La representación de la distribución, se puede ver en la figura 40.

**Figura 40.**

*Red de distribución Epanet*



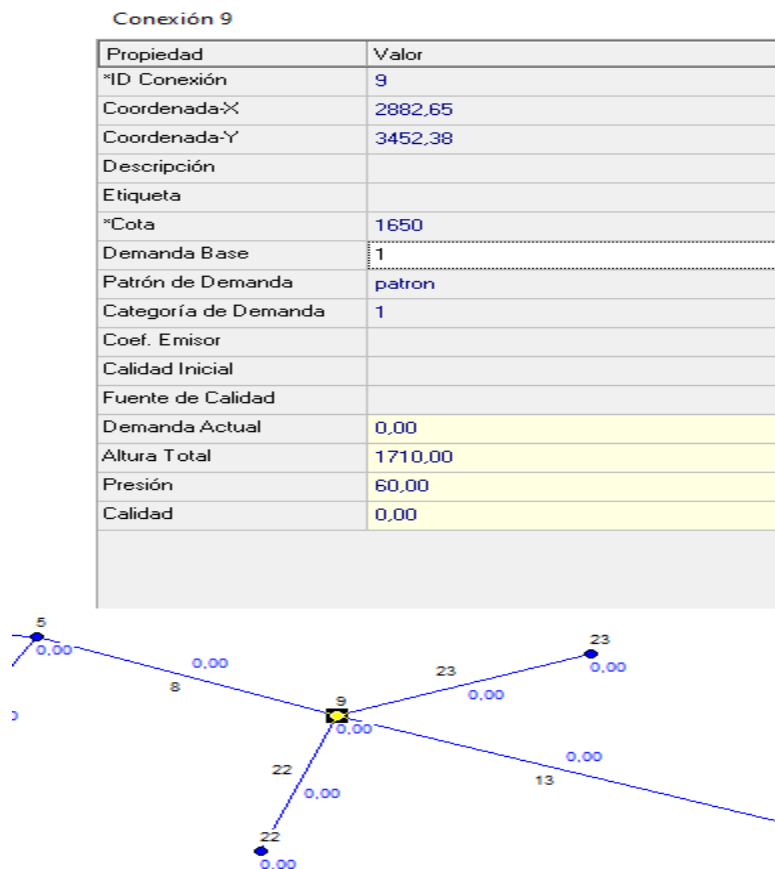
*Nota.* Red de distribución por sectores. Elaboración propia

El tanque 1, representa el tanque de almacenamiento ubicado en la estación a 1689 m.s.n.m. Seguido se ubican las respectivas válvulas y el sistema de grupo de bombas en paralelo que no

prestará funcionamiento, a menos que se tenga una parada en el grupo de bombeo principal. Los nodos del 4 al 30, representan locales comerciales, hospital, estación de policía y demás instalaciones en el municipio que requieren una demanda de agua representada en la tabla 10. Cada nodo tiene una altura manométrica aproximada a la realidad y sigue un patrón definido que se explica más adelante. A continuación, se ejemplifica con el nodo 9 los datos en la instalación.

**Figura 41.**

*Propiedades de los nodos*

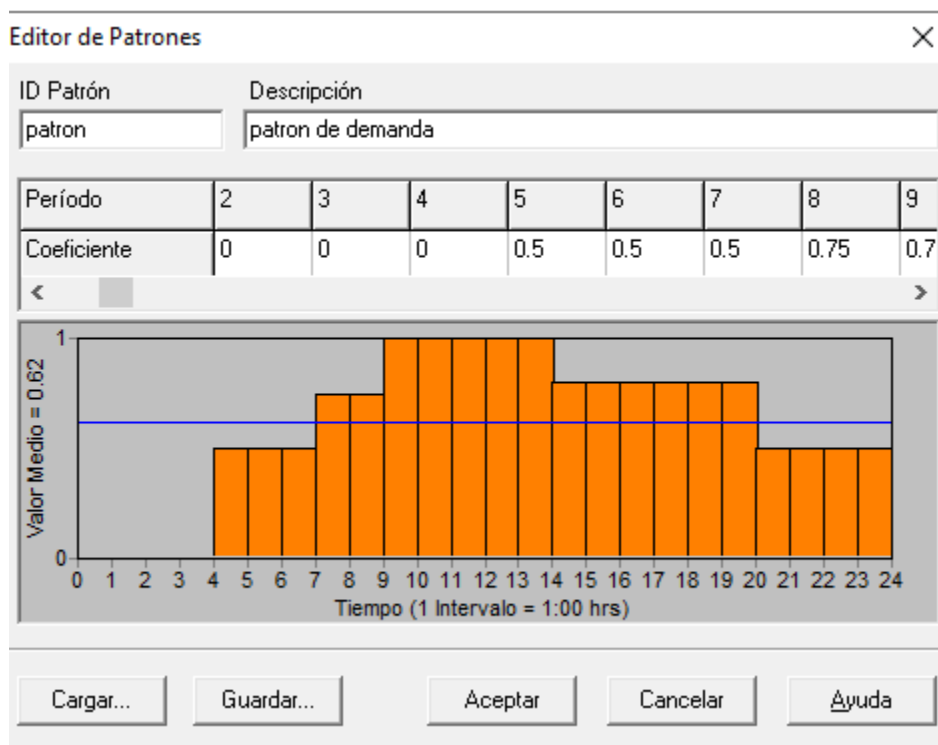


*Nota.* Se observan los valores de ingreso de un nodo. Elaboración propia.

Se puede ver la demanda base dependiendo del requerimiento de la instalación, la cota de altura del nodo y el patrón horario de porcentaje de demanda horario. Este patrón no es más que la relación entre la hora del día y el coeficiente representado en porcentaje de demanda como se puede ver en la figura 42.

**Figura 42.**

*Patrón de demanda*



*Nota.* En la figura se observa el patrón de demanda que siguen los nodos. Elaboración propia

Este patrón es el mismo para todos los nodos de la red de distribución.

**6.15.1 Datos de la bomba**

La bomba es el componente de más importancia en el programa, debido a que de ahí se desprenden la mayoría de cálculos. En la figura 43 se pueden ver los valores de ingreso a la bomba como son: curva característica, potencia en kW, patrón de rendimiento, y costo de la energía.

**Figura 43.**

*Propiedades de la bomba*

Bomba 3	
Propiedad	Valor
*ID Bomba	3
*Nudo Inicial	2
*Nudo Final	3
Descripción	
Etiqueta	
Curva Característica	CM65-160B
Potencia	11
Velocidad Relativa	
Patrón	patronbomba
Estado Inicial	Abierto
Curva de Rend.	rendimiento
Precio Energía	629
Patrón de Precios	
Caudal	0,00
Altura Manométrica	0,00
Calidad	0,00
Estado	Cerrado

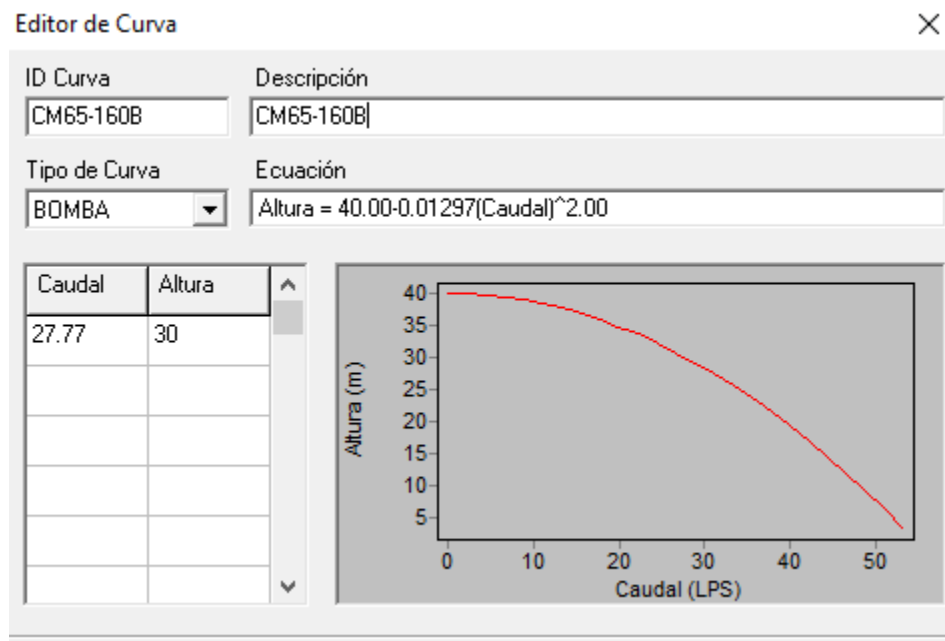
*Nota.* Se observan los valores de entrada para la bomba. Elaboración propia.

6.15.2 Curva de rendimiento y patrón de bombeo

La curva de rendimiento es la curva de fabricante de la bomba y se introduce al programa mediante la toma de puntos de la figura 26. Luego de ingresados los puntos, la curva se muestra automáticamente. El nombre de la curva es el que se ingresa en los datos de la bomba mostrada a continuación.

**Figura 44.**

*Curva de la bomba en Epanet*

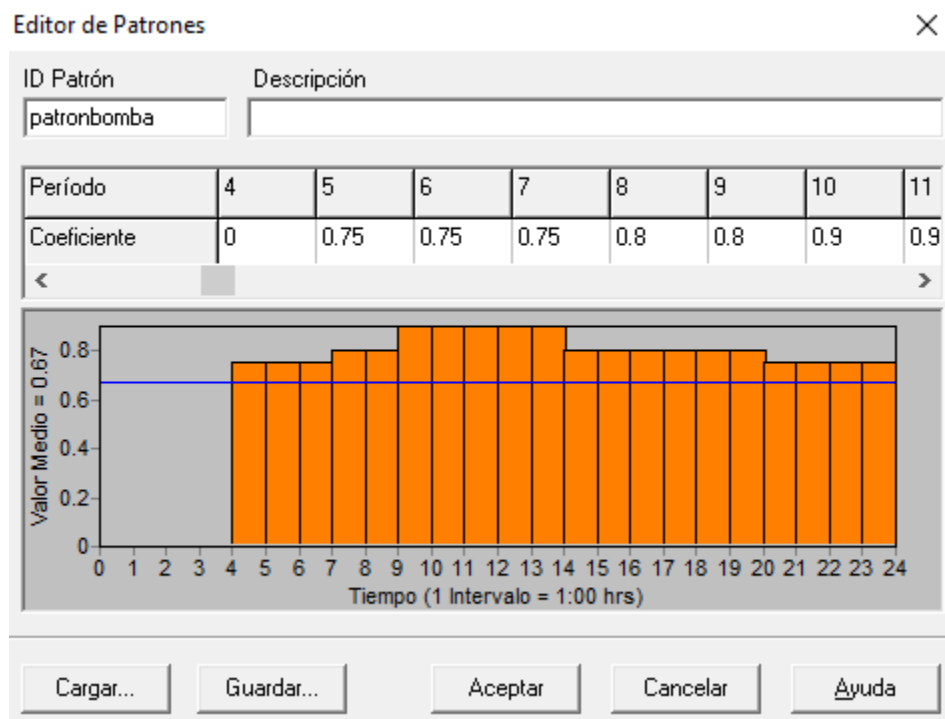


*Nota.* Se introduce la curva característica de la bomba elaborada por e fabricante. Elaboración propia.

El patrón de la bomba es similar al de los nodos, lo que varía son los valores de ingreso por los tiempos y porcentaje de funcionamiento de la bomba. En la figura 45 se pueden ver algunos datos de entrada para el patrón de la bomba.

**Figura 45.**

*Patrón de la bomba*



*Nota.* Se establece el patrón que debe seguir la bomba durante el día. Elaboración propia.

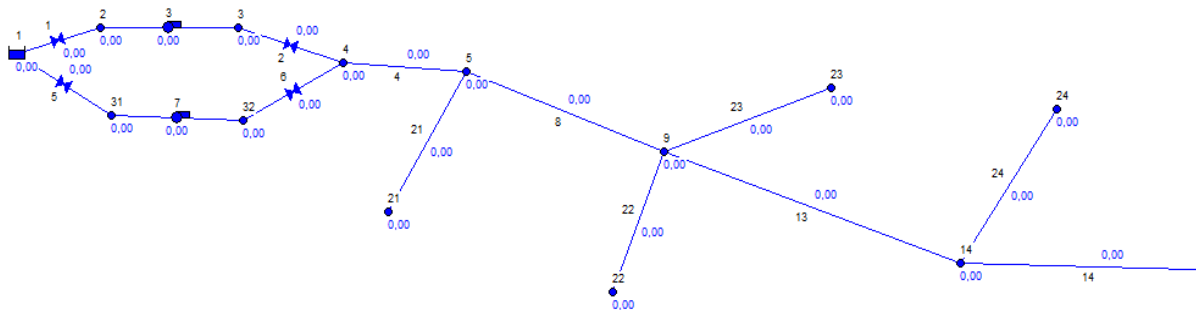
Luego de ingresar los datos de las bombas, los nodos, tuberías (rugosidades y longitudes), los tanques (altura sobre el nivel del mar). Se procede a correr el programa y analizar los resultados.

6.15.3 Análisis de resultados

El programa se trabaja en un tiempo de 24 horas con un lapso de funcionamiento de 20 horas como se ha venido haciendo en el proyecto. Para las horas de 12:00 am a 4:00 am, los resultados de la demanda son nulos, por tanto, los nodos marcan 0 lps y en las tuberías el caudal que fluye es de 0 lps como se observa en la figura 46. Cabe resaltar que los números en los nodos representan la demanda de agua, y los números en las tuberías representan el caudal que circula a determinada hora.

**Figura 46.**

*Resultados de 12:00 am a 4:00 am*



*Nota.* Tiempo de no funcionamiento de la estación. Elaboración propia

Sin embargo, en otro horario donde la demanda en los nodos es de 50% y por tanto la bomba trabaja en un 75 % como es el horario de 5:00 am a 7: am, la demanda en los nodos varía y la bomba trabaja con 17,54 lps, como se muestra en la figura 47.



En el caso del caudal por todas las líneas de la tubería en horario de demanda máxima, se resalta que la bomba bombeará 27,63 lps para satisfacer los requerimientos. Si se quiere ver más a detalle el caudal en cada tubería a las 11:00 am (que es el mismo a las 10:00 am, 12:00 am, 1:00 pm y 2:00 pm), se puede notar en el apéndice B

El análisis en EPANET verifica el caudal de diseño que fue calculado anteriormente mediante la demanda por localidades y demanda bruta de personas exigida por la RAS en la proyección a 25 años del rediseño. Siguiendo los lineamientos de la RAS, el caudal de diseño es la suma del caudal máximo horario (27,846 lps) y el caudal de incendios (5lps). En EPANET, el caudal máximo de la bomba es de 27,63 lps, cabe resaltar que el programa no tiene en cuenta el caudal contra incendios, por tanto:

$$Q_{dis} - Q_{epa} = 27,846 \text{ lps} - 27,63 \text{ lps} = 0,216 \text{ lps}$$

$$\%error = 0.775\%$$

Para finalizar con el proceso de rediseño, luego de confirmar que los cálculos fueron los adecuados y los elementos nuevos en la estación de bombeo del municipio de Contratación se espera un eficiente funcionamiento, se detallan los elementos que conformarán la nueva estación y se especifican sus funciones.

**Tabla 19.**

*Elementos de bombeo*

<b>Elemento</b>	<b>Función</b>
Tanque de almacenamiento	Con capacidad de 250 m <sup>3</sup> , almacena el agua lista para bombear.
Bombas	Modelo CM 65-160B, encargadas de bombear el caudal de diseño.

Elemento	Función
Válvulas de compuerta	Encargadas de ajustarse para colocar la bomba en el punto de operación indicado. Al inicio del bombeo deben estar totalmente cerradas para abrirse gradualmente
Válvulas de Check o retención	Se utiliza con cierre suave para minimizar el golpe de ariete
Válvula ventosa anti-ariete	Elimina el fenómeno de golpe de ariete
Tubería de succión	Línea por donde pasa el agua para ingresar a la bomba
Tubería de descarga	Línea presurizada directo a la red de distribución
Motores	Convierte la energía eléctrica en movimiento rotatorio, que, en conjunto con la bomba, cumplen la función principal

*Nota.* En la tabla se muestran los elementos de bombeo y sus funciones. Elaboración propia.

### 6.16 Tubería de aducción

Para el caso de la aducción, en el municipio se cuenta con un tipo de conducción aérea desde la bocatoma hasta la estación. El transporte del líquido se hace por medio de manguera de propileno de 3 pulgadas de diámetro y transitando zona boscosa. Este tipo de conducción aérea es necesario y obligatorio debido a las condiciones montañosas del paso del agua. Sin embargo, la manguera de propileno es una manguera común de riego en jardines y no está diseñada para soportar condiciones externas y daños ambientales durante mucho tiempo, es por esto que, para una mayor confiabilidad, se continua el paso aéreo, pero se cambia el material de la manguera a un caucho de nitrilo, que entre sus propiedades tiene soportar altas temperaturas y condiciones ambientales variables.

### **6.17 Tanque de reserva**

Debido a un desperdicio de aproximadamente 30000 litros diaria de agua tratada en la estación actual, surge la necesidad de diseñar un tanque de almacenamiento de reserva, el cual durante los tiempos de no consumo de agua potable, se encarga de acumular este desperdicio actual de agua y tenerlo a disposición mediante gravedad a los barrios que cuentan con esta facilidad de conducción. El tanque de reserva será de una capacidad de 50 m<sup>3</sup> (50000 litros), con el fin de cubrir la totalidad de este desperdicio de agua tratada

### **6.18 Costos de equipos y operación**

El análisis de costos es un proceso para identificar los recursos que se necesitarán para llevar a cabo un proyecto o desarrollar una función dentro de la empresa. Por lo general, el análisis de costos contempla métricas como el dinero, la mano de obra, el equipo o maquinaria para poner en operación un proyecto

#### ***6.18.1 Costos de equipo de bombeo***

- **Motobomba**

El costo de una motobomba CM65-160B como la seleccionada, se encuentra en España en 1043,64) son alrededor de 4'770.833,278 pesos colombianos. Como criterio de diseño y de eficiencia al momento de una posible falla, mantenimiento o imprevisto, es necesario contar con

dos motobombas instaladas. Cabe resaltar que las bombas CM65-160B viene conjunto motor-bomba.

$$C_{bomba} = 2 * \#bombas \tag{57}$$

$$C_{bomba} = 2 * 4'770.833,278$$

$$C_{bomba} = 9'541.666,555 \text{ COP}$$

- **Válvulas de compuerta y de check.**

Una válvula de compuerta es una herramienta cuya función es elevar o abrir una compuerta o cuchilla para permitir el paso de fluidos. Estas compuertas o cuchillas pueden ser redondas o rectangulares. Cuentan con un sello que se logra mediante la colocación de un disco en dos áreas distribuidas. Las caras de éste pueden ser paralelas o tener forma de cuña.

La empresa DEPOT MX potencia fluida de México, en su tienda ofrece variedad de válvulas y demás elementos alusivos al manejo de aguas. Dentro de su catálogo de ventas se encuentran las válvulas de compuerta y las válvulas de check que se establecieron a utilizar en el estudio realizado anteriormente. El costo se puede evidenciar en la figura 49.

**Figura 49.**

*Cotización válvulas*

	Producto	Precio	Cantidad	Subtotal
	<b>VALV CPTA AC. FUNDIDO A 216 WCB 150# 200 MM de 8"</b>	\$47,545.34	- 4 +	\$190,181.38
	<b>VALV CHECK AC FUNDIDO A216 WCB 150# 200 MM de 8"</b>	\$48,916.22	- 2 +	\$97,832.45

*Nota.* La figura muestra el precio de venta de las válvulas necesarias según el diseño. Tomado de DEPOT MX potencia fluida de México. Disponible en <https://depotmx.com/informacion/>.

**Figura 50.**

*Costo válvulas*

Total del carrito	
<b>Subtotal</b>	<b>\$288,013.83</b>
<b>Envío</b>	Precio fijo: <b>\$300.00</b> Las opciones de envío se actualizarán durante el pago.  <a href="#">Calcular envío</a>
<b>Total</b>	<b>\$288,313.83</b>

Finalizar compra

*Nota.* La figura muestra el precio de venta total de las válvulas necesarias según el diseño. Obtenido de DEPOT MX potencia fluida de México. Disponible en <https://depotmx.com/informacion/>.

El total de compra en pesos mexicanos es de 288313,83, teniendo en cuenta que el peso mexicano ronda en promedio los 197,21 pesos colombianos, entonces el valor aproximado de compra en Colombia sería:

$$C_{valvulas} = MXN * COP \tag{58}$$

$$C_{valvulas} = 288313,83 * 197,21$$

$$C_{valvulas} = 56'858.370,41 COP$$

$$C_{total} = C_{valvulas} + C_{bomba}$$

$$C_{total} = 56858370,41 COP + 9'541.666,555 COP$$

$$C_{total} = 66'406.036,97 COP$$

### 6.18.2 Costos anuales de operación

Para los costos de operación, se deben tener en cuenta datos como la potencia instalada y el costo de energía en el departamento. En Santander, tiene un valor de 628,9624 COP/Kw\*h.

*costo anual de operacion (COP)*

$$= \frac{\text{horas de bombeo}}{\text{año}} * P_{bomba}(Kw) * \text{Energia} \left( \frac{COP}{Kw * hora} \right) \quad (59)$$

$$\text{costo anual de operacion (COP)} = \frac{7300 \text{ horas}}{\text{año}} * 11,1855(Kw) * \left( \frac{628,9624 COP}{Kw * hora} \right)$$

$$\text{costo anual de operacion (COP)} = 51'357.390.15 COP/año$$

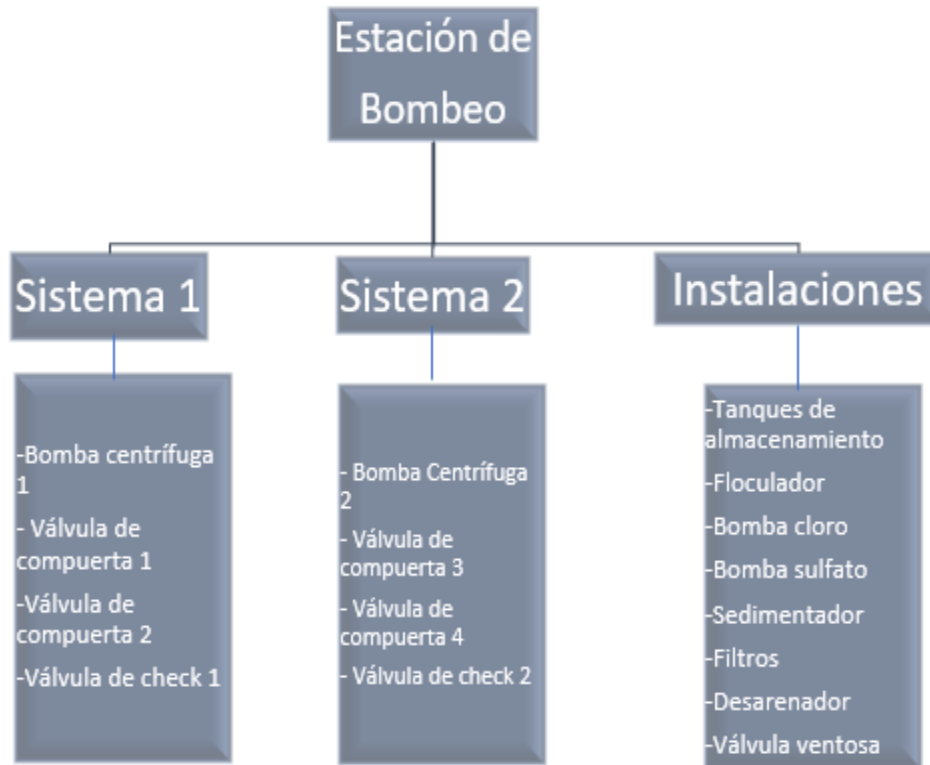
## 6.19 Plan de mantenimiento

### 6.19.1 Análisis de criticidad en la estación

Para un análisis de criticidad de la estación de bombeo en el municipio de Contratación, con el fin de generar un plan factible de mantenimiento, se deben identificar los equipos a los cuales se les realizará el respectivo análisis. A continuación, se detallan uno por uno los componentes principales de la estación.

**Figura 51.**

*Cuadro de elementos*



*Nota.* En la figura se ve por subsistemas de operación la estación. Elaboración propia.

- **Bombas centrífugas Cm 65-160B**

En ambos grupos de bombas, se tiene el mismo tipo de bomba centrífuga de impulsión y es la encargada de brindarle la energía al agua para que la estación cumpla con los requerimientos y llegue a todas las zonas del municipio con una cobertura del 100%.

- **Válvulas de Compuerta Walworth clase 300**

Las 4 válvulas de compuerta, ubicadas antes y después de cada bomba en cada grupo de bombeo, son las encargadas de establecer el punto de trabajo de la bomba en la succión y en la descarga.

- **Válvulas de check Walworth clase 150**

En las instalaciones de bombeo se cuentan con 2 válvulas de retención, ubicadas justo después de la bomba en cada grupo de bombeo, con el fin de cerrar o abrir el paso de flujo en una dirección.

- **Válvula Ventosa**

Esta válvula seleccionada para eliminar el fenómeno indeseado de golpe de ariete, se ubica justo después del grupo de bombeo en paralelo dirigiéndose a la línea de descarga.

- **Tanques de almacenamiento**

En el rediseño de la estación se decide diseñar un tanque de almacenamiento para eliminar el desperdicio de agua tratado, por esto, existirán dos tanques de almacenamiento de diferentes capacidades, pero estructuras similares.

- **Desarenador**

El desarenador es una estructura netamente civil, diseñada con el fin de retener la arena que trae el agua desde su punto de captación, en este caso, una toma de fondo. El desarenador permite que el tratamiento del agua no presente problemas y la aducción sea más fácil.

- **Floculador**

El tanque de floculación, es el sitio donde se adicionan químicos mediante una bomba de sulfato de aluminio para aglutinar sustancias presentes en el agua con el fin de facilitar el proceso de sedimentación y filtración.

- **Sedimentador**

En el tanque de sedimentación, todas las sustancias o partículas aglutinadas se quedan adheridas a unas láminas dejando el agua lista para el proceso de filtrado.

Filtros

El filtrado es el paso final antes de llegar el agua a los tanques de almacenamiento, allí se eliminan contaminantes, malos olores y sabores del agua por medio de una bomba de cloración.

*Nota:* El sedimentador, floculador, tanque de almacenamiento, desarenador y bombas difusoras de la estación se pueden ver en el apéndice C.

### 6.19.2 Definición de criticidad

La criticidad total se define con un modelo matemático simple que consta del producto de la frecuencia de falla (FF) y la consecuencia de que ocurra la falla (C), como se muestra en la ecuación 62, también tenemos que la consecuencia está dada por la suma de otros factores como el impacto en seguridad (IS), la flexibilidad operacional (FO), el impacto ambiental (IA) y la pérdida de producción (PP) como se muestra en la ecuación 63

$$CTR = FF * C \tag{59}$$

$$C = IS + FO + IA + PP \tag{56}$$

Factores ponderados basados en el riesgo

- **Frecuencia de fallas (FF):** Representa la frecuencia con la que ocurre una falla de un elemento, por lo cual deja de cumplir su función. Tabla 20

- **Impacto en seguridad (IS):** Establece qué tanto daño directo recibe el personal en cuestión de salud. Tabla 21

- **Impacto ambiental (IA):** Determina qué tan afectado se ve el medio ambiente debido a una posible falla de la máquina y si se violan normas ambientales. Tabla 21
- **Perdida de producción (PP):** Esta categoría estima qué tanta producción se está perdiendo, en el caso del proyecto qué tanta agua se está dejando de bombear. Tabla 21

**Tabla 20.**

*Frecuencia de falla (FF)*

FRECUENCIA DE FALLA (FF)			
Categoría	Tiempo promedio entre fallas	Número de fallas por año	Interpretación
5	$TPEF < 1$	$i > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	$1 \leq TPEF < 2$	$1 < i \leq 2$	Es probable que ocurran varias fallas en 2 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
3	$2 \leq TPEF < 3$	$2 < i \leq 3$	Es probable que ocurran varias fallas en 3 años, pero es poco probable que ocurran en 2 años.
2	$3 \leq TPEF < 4$	$3 < i \leq 4$	Es probable que ocurran varias fallas en 4 años, pero poco probable que ocurran en 3 años.
1	$TPEF \geq 4$	$4 < i$	Es poco probable que ocurran fallas en 4 años

*Nota.* Aquí se establecen los parámetros para frecuencia de falla. Elaboración propia

**Tabla 21.**

*Categoría para consecuencias*

CATEGORÍA PARA CONSECUENCIAS				
Categoría	Daños al persona, Impacto en seguridad (IS)	Flexibilidad operacional (FO)	Impacto ambiental (IA)	Perdida de producción diaria (litros) (PP)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños graves o enfermedades en uno o más funcionarios de la empresa	No existe repuesto	Daños irreversibles al ambiente y que violen leyes ambientales	Mayor a 100.000
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o mas funcionarios de la empresa.	Existe repuesto pero debe ser importado	Daños irreversibles al ambiente sin violación de ninguna ley ambiental	De 50.000 a 100.000
3	Daños o enfermedades severas a varios funcionarios de la empresa	El repuesto se encuentra en otra ciudad del país	Daños ambientales regulables sin violación a las leyes ambientales	De 20.000 a 50.000
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios	El repuesto está en la misma ciudad de la planta	Mínimos daños ambientales sin ninguna violación de leyes ambientales.	De 5.000 a 20.000
1	Sin impacto en el personal.	El repuesto se encuentra en la planta	No hay daños ambientales ni violación de leyes.	Hasta 5.000

*Nota.* Aquí se establecen los parámetros para las consecuencias. Elaboración propia

**6.19.3 Cálculo de criticidad**

Se procede a calcular la frecuencia de falla para cada elemento, dependiendo de los parámetros establecidos en la tabla 20. Así mismo, se establecen los valores de cada categoría de impacto para los equipos o instalaciones y se hace la respectiva suma. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla 22.

**Tabla 22.**

*Resultados de criticidad*

<b>Criticidad (CRT)</b>				
<b>N°</b>	<b>Elemento</b>	<b>FF</b>	<b>C</b>	<b>CRT</b>
1	Bomba Centrífuga	3	13	<b>39</b>
2	Valvula de compuerta 1	3	9	<b>27</b>
3	Válvula de compuerta 2	3	10	<b>30</b>
4	Válvula de check	2	7	<b>14</b>
5	Bomba cloro	3	13	<b>39</b>
6	Bomba sulfato	3	14	<b>42</b>
7	Valvula ventosa	3	12	<b>36</b>
8	Desarenador	4	6	<b>24</b>
9	Floculador	4	7	<b>28</b>
10	Sedimentador	4	7	<b>28</b>
11	Filtros	4	5	<b>20</b>
12	Tanques de almacenamiento	2	9	<b>18</b>

*Nota.* Nótese que el número dado no está relacionado en orden de mayor a menor criticidad.

Elaboración propia

#### **6.19.4 Matriz de criticidad**

Luego de realizar las respectivas operaciones, cada valor tabulado, se debe situar en cada casilla correspondiente de la matriz de criticidad de la figura 52. El resultado es el siguiente.

**Figura 52.**

*Matriz de criticidad*

MATRÍZ DE CRITICIDAD																
		Consecuencias														
Frecuencia Falla		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	5															
	4					11	8	9 y 10								
	3									2	3		7	1 y 5	6	
	2							4		12						
	1															

*Nota.* Este es el resultado del análisis de criticidad. Elaboración propia

**6.19.5 Niveles de criticidad de los elementos**

Como se observa, cada elemento, según su número indicador, toma una casilla de diferente color. Esto indica el grado de criticidad en el que se encuentra. Los niveles de criticidad son los siguientes:

**Figura 53.**

*Niveles de criticidad*

CRÍTICO	
NADA CRÍTICO	NC
POCO CRÍTICO	PC
CRÍTICO	C
MUY CRÍTICO	MC

*Nota.* Aquí se relaciona el color según la criticidad del ítem. Elaboración propia.

### 6.19.6 Resultados del análisis de criticidad

Luego de realizar el proceso del análisis de criticidad, se resaltan los resultados obtenidos. En la figura 54, se muestran los elementos en orden de mayor criticidad (rojo) a menor criticidad(verde)

#### Figura 54.

*Resultados de criticidad*

TABLA DE RESULTADOS		
N°	Elemento	Nivel CRT
6	Bomba sulfato	MC
1	Bomba centrífuga	MC
5	Bomba cloro	MC
7	Válvula ventosa	MC
3	Válvula compuerta 2	C
9	Floculador	C
10	Sedimentador	C
2	Válvula compuerta 1	C
8	Desarenador	PC
11	Filtros	PC
4	Válvula check	PC
12	Tanques de almacenamiento	PC

*Nota.* En la figura se establecen los elementos en orden de mayor a menor criticidad. Elaboración propia.

### 6.20 Selección del tipo de mantenimiento

Luego de obtener los resultados del análisis de criticidad y tener ordenados de mayor a menor criticidad los elementos principales de la estación de bombeo que harán cumplir los

requerimientos de servicio eficientemente, se proceden a escoger el tipo de mantenimiento más adecuado para cada uno. Esto depende del nivel de criticidad y qué tan conveniente o necesario sea un tipo de mantenimiento diferente en cada ítem.

**Tabla 23.**

*Tabla de mantenimiento*

Nombre del elemento	Cant	CRT	Tipo de mantenimiento	Acción recomendada
Tanque de almacenamiento	2	PC	Preventivo Programado	Cada tanque deberá ser limpiado con frecuencia de una vez por semana, eliminando suciedad y posibles partículas que provoquen estancamiento o atascos.
Filtro	1	PC	Preventivo Rutinario	El filtro debe ser revisado todos los días para evitar que se tape o retenga partículas indeseadas, esto garantizará su correcto funcionamiento.
Sedimentador	1	C	Preventivo Rutinario	El sedimentador debe ser limpiado cada que las láminas de retención de partículas estén llenas.
Floculador	1	C	Preventivo Rutinario	El floculador debe garantizar que se esté dando un correcto aglutinamiento de partículas, para esto, de manera visual se revisa periódicamente el lugar de floculación y se toman acciones, en caso de necesitarse.
Desarenador	1	PC	Preventivo Rutinario	El desarenador de la planta se debe revisar rutinariamente en el día, verificando el correcto funcionamiento y tomar acciones de limpieza, de ser necesarias. Se debe mantener un mantenimiento

Nombre del elemento	Cant	CRT	Tipo de mantenimiento	Acción recomendada
				de limpieza de 2 veces por semana en horario de reposo de la estación.
Válvula ventosa	1	MC	Predictivo	Se deben aplicar técnicas de vibraciones para evitar la aparición de golpe de ariete, y análisis de lubricantes para el correcto funcionamiento de la válvula ventosa, y seguir manual de fabricante.
Válvula de compuerta 1	2	C	Correctivo	Leer descripción
Válvula de compuerta 2	2	C	Correctivo	Leer descripción
Bomba cloro	1	MC	Preventivo	Leer descripción
Bomba sulfato	1	MC	Preventivo	Leer descripción
Bomba centrífuga	1	MC	Preventivo	Leer descripción
Válvula check	1	PC	Correctivo	Leer descripción

*Nota.* En la tabla se observa el tipo de mantenimiento y la acción recomendada para cada elemento según su nivel de criticidad. Elaboración propia

### 6.20.1 Mantenimiento válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta, generalmente están o abiertas o cerradas, por tal razón, no se necesita accionarlas con gran frecuencia. Esto hace que no requieran de muchos servicios de mantenimiento y tengan periodos extensos de duración.

Normalmente estas válvulas presentan fallas por mala operación o por desgaste, pero no son muy frecuentes. Por esta razón, las válvulas de compuerta se dejarán sujetas a mantenimiento

correctivo, el cual estará basado en cambios de empaques, juntas, tuercas o demás accesorios. Las reparaciones serán inmediatas y no afectarán por mucho tiempo el bombeo de agua.

A continuación, se muestran unas posibles fallas, causas y soluciones en las válvulas de compuerta.

**Tabla 24.**

*Fallas en válvula de compuerta*

VALVULA DE COMPUERTA		
Fallas	Causas	Soluciones
Fugas en el vastago	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Juntas desgastadas</li> <li>2. Daños mecánicos en el vastago</li> <li>3. Sellos dañados</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambiar las juntas</li> <li>2. Cambiar el vastago</li> <li>3. Cambiar los sellos</li> </ol>
Fugas en el asiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Velocidad alta del flujo de agua, provocando daños en el asiento</li> <li>2. Anillos desgastados</li> <li>3. La compuerta se ha cerrado demasiado rápido</li> <li>4. Suciedad en el asiento</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selecccionar otra válvula</li> <li>2. Cambiar anillos</li> <li>3. Reparar compuerta y cambiar sistema de operación</li> <li>4. Limpiar el asiento</li> </ol>

*Nota.* Fallas más comunes en las válvulas de compuerta y posibles soluciones. Elaboración propia.

**6.20.2 Mantenimiento válvulas de check**

El mantenimiento en las válvulas de retención o check, es bastante simple debido a que la válvula está compuesta por partes que fácilmente son reemplazables, a excepción del asiento que puede ser rectificado.

**Tabla 25.**

*Fallas válvula de check*

VALVULA DE CHECK		
Fallas	Causas	Soluciones
Fugas en la cubierta	1. Juntas dañadas 2. Pernos mal apretados	1. Cambiar juntas 2. Apretar correctamente los
Fugas en el asiento	1. Alta velocidad del flujo 2. Desgaste en el asiento	1. Cambiar válvula 2. Alinear bisagras contra el asiento

*Nota.* Fallas más comunes en las válvulas de check y posibles soluciones. Elaboración propia.

**6.20.3 Mantenimiento de bombas dosificadoras**

Las bombas dosificadoras están diseñadas para inyectar un químico líquido en la abertura de un fluido. Estos químicos necesitan ser inyectados en pequeñas cantidades por lo cual se requiere de un control preciso y que sean capaces de administrar de manera constante el mismo volumen. Se utilizan para el manejo de cloro, soda, coagulantes, polímeros, floculantes entre otros.

Normalmente las bombas dosificadoras son de diafragma, reciprocante, que desplaza un volumen predeterminado de líquido en un tiempo especificado. Esta bomba es de desplazamiento positivo, a veces se la llama de volumen controlado o para inyección de productos químicos. Aunque haya diferentes químicos a dosificar el mecanismo es el mismo solo varia la cantidad de dicho compuesto y el tiempo de intervalo de aplicación.

**Tabla 26.**

*Fallas bombas dosificadoras*

FALLAS TÍPICAS DE BOMBAS DOSIFICADORAS	
1	MALA SELECCIÓN
2	OBSTRUCCION O FUGAS
3	CONTRA PRESION
4	EFFECTO VENTURI
5	TANQUE VACIO

*Nota.* Fallas más comunes en las bombas dosificadoras. Elaboración propia.

- **Mala sección:** Se debe seleccionar los materiales de la bomba en base al producto químico y a las condiciones de operación (Gasto y Presión). Si no se consideran estas variables es probable que la bomba presente inconvenientes de operación.

- **Obstrucción o fugas:** Muchos de los productos químicos están expuestos a la intemperie si un objeto extraño es succionado, puede bloquear la manguera de succión o de descarga, inclusive romper el diafragma. Ahora si la bomba no tiene un apriete en sus conexiones o si su manguera esta fisurada puede ingresar aire y puede expulsar químicos peligrosos.

- **Contra presión:** teniendo en cuenta que la inyección de químicos se realiza en una tubería o tanque y éstos tienen presión; siempre se tendrá una contrapresión que afectará en menor o mayor grado a la bomba, de allí la necesidad del uso de accesorios como válvula de contra presión, válvulas anti retorno (check) o válvulas de desfogue.

- **Efecto Venturi:** También conocido como efecto sifón y no es más que el efecto que genera la velocidad de un fluido dentro de una tubería y que para una bomba creará un "efecto de vacío" (caída de presión) que literalmente succionará el producto químico aun cuando la bomba

dosificadora no esté operando. Esto se soluciona utilizando los accesorios como válvulas antisifón o las de desfogue.

- **Tanque vacío:** Normalmente no se tiene en cuenta, pero es de suma importancia, debido a que la mayoría de las aplicaciones no están en los procesos esenciales y por ende, no están a la vista del usuario. Esto no solo afecta al proceso o equipo que requiere dosificación, sino que puede inclusive dañar la bomba, el trabajo en "seco" daña el diafragma. Si se le integra un flotador, un interruptor de nivel al control de la bomba esta podrá detenerse cuando no haya químico que dosificar.

A continuación, se presentan algunas fallas comunes en las bombas, causas y posibles soluciones.

**Tabla 27.**

*Causas de fallas en bombas dosificadoras*

	FALLAS TÍPICAS DE BOMBAS DOSIFICADORAS	PROBLEMAS	SOLUCIÓN
1	MALA SELECCIÓN	Materiales defectuosos	Análisis de materiales.
2	OBSTRUCCIÓN O FUGAS	Bloqueo manguera de succión, ruptura del diafragma, ingreso de aire ocasionando expulsión de químicos.	Adecuación de filtro, establecer un apriete óptimo entre las mangueras.
3	CONTRA PRESIÓN	Contrapresión en la bomba.	Adecuación de válvulas de contra presión, válvulas antirretorno y válvulas de
4	EFFECTO VENTURI	Caida de presión dentro de la bomba.	Adecuación de válvulas anti-sifón o desfogue.
5	TANQUE VACIO	La bomba funciona en seco ocasionando daño en el diafragma.	Integrar un flotador o un interruptor de nivel.

*Nota.* Causas de fallas en bombas dosificadoras y posibles soluciones. Elaboración propia.

#### *6.20.4 Mantenimiento en bombas centrífugas*

Las fallas de las bombas a menudo son causadas por fallas de los ingenieros y operadores de la planta que no reconocen las limitaciones de capacidad inherentes de las bombas centrífugas. La carcasa de la bomba y el impulsor pueden experimentar anomalías hidráulicas cuando está funcionando en un punto diferente al Punto de Mejor Eficiencia (BEP). Estas anomalías ocurren en todas las bombas centrífugas y causan rugosidad hidráulica, pulsos de vibración, flexión del eje, reducción de la vida útil de los cojinetes y sellos mecánicos y mayor desgaste.

En las tablas 28,29 y 30 se muestran las fallas más comunes, causas y posibles soluciones en las bombas centrífugas.

**Tabla 28.**

*Fallas en bombas centrífugas*

FALLAS TÍPICAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS		PROBLEMAS	SOLUCIÓN
1	BOMBA NO ENTREGA LIQUIDO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Instrumentos de medicion mal calibrados o mal calibrados.</li> <li>2.El aire entra a la bomba durante el funcionamiento.</li> <li>3.El sistema de bombeo no esta desaerado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calibrar elementos de medicion con frecuencia.</li> <li>2.purgado de bomba.</li> </ol>
2	LA BOMBA ENTREGA MENOS LIQUIDO DE LO ESPERADO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Velocidad insuficiente.</li> <li>2.Bolas de gas.</li> <li>3. Rodete obtruido.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control de tension electrica.</li> <li>2. Purgar tuberias.</li> <li>3.Liberar rodetes.</li> </ol>
3	FUGAS EN EL AGUJERO DE DRENAJE	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sello mecanico quemado.</li> <li>2. Contaminante externo atrapado en el Sello Mecánico, o superficie del sello áspera y rugosa.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambiar sello.</li> <li>2. Hacer limpieza a la bomba.</li> </ol>
4	FUGA EN LA SUPERFICIE DEL MONTAJE	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Error de instalacion.</li> <li>2. Empaque roto o deformado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplicar sellador nuevamente, ajustar tornillo, limpiar la superficie de</li> </ol>
5	RUIDOS EN LA BOMBA	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rodamientos en mal estado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lubricar rodamiento o dado el caso cambiarlo.</li> </ol>
6	FRACTURA DE CASRCASA	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Altas presiones.</li> <li>2. problemas de cavitacion.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control de presiones.</li> <li>2. Analisis de cavitacion</li> </ol>
7	RECALENTAMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Carga total del sistema mayor a la soportada por la bomba.</li> <li>2.El liquido bombeado tiene mayor densidad relativa que la prevista.</li> <li>3.Lubricacion incorrecta de los cojinetes.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalar equipo con capacidad suficiente.</li> <li>2.Realizar estudio de el agua de bombeo y ajustar especificaciones de la bomba de acuerdo a este.</li> <li>3.Lubricar rodamientos y dado el caso reemplazarlos.</li> </ol>
8	VIBRACIONES	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Elementos rotatorios estan desequilibrados.</li> <li>2. Desalineacion de la piezas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Balancear y alinear las piezas con los aparatos de medicion calibrados.</li> </ol>

*Nota.* Fallas más comunes en bombas centrífugas y posibles soluciones. Elaboración propia

**Tabla 29.**

*Fallas en bombas centrífugas II.*

FALLA	PROBLEMA	SOLUCION
La bomba hace ruido o vibra.	La bomba y el accionador están alineados de manera incorrecta.	Volver a alinear la bomba y el impulsor.
	El accionador está parcialmente obstruido.	Enjuagar la bomba para limpiar el impulsor.
	El accionador o el eje está roto o curvado.	Reemplazar el accionador o el eje según sea necesario.
	La base no es rígida.	Ajustarlos pernos de sujeción de la bomba y del motor. Asegúrandose de que la plancha de base esté bien asentada, sin bolsas de aire ni espacios vacíos.
	Los cojinetes están desgastados.	Reemplazar los cojinetes.
	La tubería de aspiración o de descarga no está anclada o correctamente sujeta.	Conectar la tubería de aspiración o de descarga según sea necesario, de acuerdo con las recomendaciones del Manual de normas del Instituto de Hidráulica ("Hydraulic Institute Standards").
	Se produce cavitación en la bomba.	Localizar el problema del sistema y corregirlo.
Hay una pérdida excesiva de la caja de empaque.	La corona de la empaquetadura no está ajustada correctamente	Ajustarlas tuercas de prensaestopas.
	La caja de empaque está empaquetada de manera inadecuada.	Controlar el empaque y vuelva a empaquetar la caja.
	Las piezas del sello mecánico están desgastadas.	Reemplazar las piezas desgastadas.
	El sello mecánico se recalienta.	Controlar las líneas de refrigeración y lubricación.
	El eje están estriados	Poner en marcha o reemplazar la camisa del eje según sea necesario.
El motor requiere una potencia excesiva.	La potencia de descarga ha caído por debajo del punto nominal y bombea demasiado líquido.	Instalar una válvula de admisión. Si esto no ayuda, recortar el diámetro del impulsor.
	El líquido es más pesado de lo esperado.	Controlar la gravedad y la viscosidad específicas.
	El empaque de la caja de empaque es demasiado ajustado.	Volver a ajustar el empaque. Si el empaque está desgastado, reemplazarlo.
	Las piezas rotativas rozan unas con otras.	Controlar que las piezas que se están desgastando no afecten las separaciones correctas.
	La separación del accionador es demasiado estrecha.	Ajustar la separación del accionador.

*Nota.* Fallas más comunes en bombas centrífugas y posibles soluciones. Elaboración propia

**Tabla 30.**

*Fallas de las bombas centrífugas III*

FALLA	PROBLEMA	SOLUCION
La bomba no distribuye líquido.	La bomba no está cebada.	Volver a cebar la bomba y comprobar que la bomba y la tubería de aspiración estén llenas de líquido.
	La línea de aspiración está obstruida.	Quitar las obstrucciones.
	El accionador está atascado.	Enjuagar la bomba para limpiar el impulsor.
	El eje rota en la dirección incorrecta.	Cambiar la rotación. La rotación debe coincidir con la flecha del alojamiento del rodamiento o de la carcasa de la bomba.
	La abertura de la tubería de aspiración o la válvula de pie no está lo suficientemente sumergida.	Consultar en la ficha técnica para obtener información sobre la profundidad de inmersión adecuada.
	La elevación estática de aspiración es demasiado alta.	Acortar la tubería de aspiración.
La bomba no produce la carga o el flujo nominales.	El casquillo o la junta tórica tiene una fuga de aire.	Reemplazar el casquillo o la junta tórica.
	La caja de empaque tiene una pérdida de aire.	Reemplazar o vuelva a ajustar el sello mecánico.
	El accionador está parcialmente obstruido.	Enjuagar la bomba para limpiar el impulsor.
	La separación entre el accionador y la carcasa de la bomba es excesiva.	Ajustar la separación del accionador.
	La carga de aspiración es insuficiente.	Asegúrese de que la válvula de cierre de la línea de aspiración esté totalmente abierta y que la línea no esté obstruida.
	El accionador está desgastado o roto.	Inspeccionar y reemplazar el accionador, de ser necesario.
La bomba arranca y luego se detiene y deja de bombear.	La bomba no está cebada.	Volver a cebar la bomba y comprobar que la bomba y la tubería de aspiración estén llenas de líquido.
	La línea de aspiración tiene bolsas de vapor o de aire.	Volver a ordenar la tubería para eliminar las bolsas de aire.
	La línea de aspiración tiene una fuga de aire.	Reparar la fuga.
Los cojinetes se están calentando.	La bomba y el accionador están alineados de manera incorrecta.	Volver a alinear la bomba y el impulsor.
	No hay lubricación suficiente.	Controlar que el grado del lubricante sea el adecuado.
	La lubricación no se enfrió correctamente.	Controlar el sistema de refrigeración.

*Nota.* Fallas más comunes en bombas centrífugas y posibles soluciones. Elaboración propia

Teniendo en cuenta las anteriores tablas, el tipo de mantenimiento más adecuado para las bombas centrífugas es el mantenimiento preventivo con aplicación de técnicas de predictivo. Un correcto mantenimiento a las bombas, evitarán la aparición de fallas y paradas de planta.

A continuación, se detalla el mantenimiento preventivo para las bombas centrífugas.

**1.** Como es equipamiento nuevo, la bomba se deja funcionar 200 horas para realizar el primer cambio de aceite. Luego del primer cambio, se realiza de manera trimestral la misma operación (aproximadamente 2000 horas de trabajo).

**2.** Se realiza análisis de vibraciones una de 2 a 3 veces por semana, con el fin de verificar ruidos internos no deseados.

**4.** Se debe empezar a elaborar un historial de fallas de la bomba en las condiciones de servicio para lograr tener una estimación de la duración de los distintos componentes como sellos, rodamientos, estoperas etc. Luego de aplicado el mantenimiento.

**5.** Después de tener el historial de fallas, se realizan rutinas de mantenimiento más adecuadas donde se programen las acciones preventivas y de ser necesario en desarme completo de la bomba.

**6.** Según la norma API-610, la vida útil de las bombas centrífugas es de 20 años con tiempos de operación interrumpidos de 3 años.

**7.** Según la norma API- 610, la vida de los rodamientos de una bomba centrífuga es de 25.000 horas de operación. Por esta razón, se realizará cambios de rodamientos cada 1000 días, si no es necesario antes.

**8.** Según la norma API- 610, la vida útil del sello de una bomba centrífuga es de 25.000 horas de operación. Por esta razón, se realizará cambios de sello cada 1000 días, si no es necesario antes.

Nota: Es prioridad seguir las recomendaciones del fabricante para la puesta en marcha y operación de la bomba. Esto garantizará prolongar la vida útil de la misma.

## **7. Conclusiones**

El caudal de diseño utilizado funciona como caudal máximo para condiciones extremas, donde los requerimientos sean los más altos, esto asegurará que la nueva instalación cumpla con la demanda de agua en las horas que se necesite.

Se rescata de la actual estación la forma de aducción de agua mediante manguera aérea y descenso por gravedad, debido a las condiciones montañosas y rocosas. Esto disminuye costos de inversión al encontrarse la estación en un punto más bajo y con pendiente negativa. De igual forma los elementos que están funcionales continúan en operación con la planta.

El rediseño de la estación de bombeo en el municipio de Contratación en Santander, beneficia a la comunidad completa actual del sector urbano y a un máximo de la comunidad proyectada al año 2047, garantizando un eficiente funcionamiento en las zonas de demanda de agua eliminando fenómenos indeseados como el golpe de ariete y la cavitación.

Es requerimiento que la estación de bombeo cuente con un grupo de bombas en paralelo que cumpla la misma función que el grupo principal para casos de emergencia, falla o mantenimiento.

El punto de operación de una bomba centrífuga es la intersección de la curva del sistema y la curva de la bomba. La determinación del punto de trabajo es para mejorar su eficiencia operativa, ahorrar energía y prolongar la vida útil de la bomba.

Los resultados de pérdida por fricción usando Hazen Williams y Darcy Weisbach son bastantes similares debido al diámetro de 203,2 mm de la tubería.

El proyecto cumple con las normas requeridas por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento (RAS) en cuanto a diseño mecánico.

El software EPANET verifica la eficacia de las bombas en la nueva instalación por medio de la simulación de la red de distribución dándole un voto más de confianza al rediseño.

## **8. Recomendaciones**

La malla que rodea la planta de tratamiento no se encuentra en el mejor estado y puede dejar pasar animales que pueden contaminar el agua. Por tanto, se recomienda reparar tales zonas.

La ruta de acceso a la planta no está en las mejores condiciones, según lo anterior se recomienda hacer mantenimiento a la vía.

Se recomienda mantener la zona de captación en perfecto estado para que la comunidad no se vea afectada.

Es recomendable que la planeación del municipio capacite a los operarios de la planta de tratamiento de agua para que ellos puedan hacer limpiezas tecnificadas en cada una de las etapas del proceso.

El uso de campañas con el fin de ahorrar el agua potable es necesario para que la comunidad tome conciencia de esta y no desperdicie tan preciado líquido.

Es prioritario que los operarios sigan los manuales de fabricantes para cada máquina o elemento.

### Referencias Bibliográficas

- Abel, G. (2020). *Estaciones de Bombeo, EMAPAD*. Recuperado de: <http://www.emapad.gob.ec/home/9-ultimas-noticias/126-que-son-estaciones-de-bombeo>.
- Castañeda, A. M. (s.f.). *Conceptos de Mejora, Rediseño y Reingeniería*. Recuperado de: <https://www.gestiopolis.com/conceptos-de-mejora-redisen-y-reingenieria/>
- Cengel, Y. & Boles, M. (2011). *Termodinámica*. Séptima edición. Mc Graw Hill.
- Concepto de definición. (s.f.). Concepto de Norma Recuperado de: <https://conceptodefinicion.de/norma/>
- Cubillos, L. (2018). *Diseño hidráulico de obras civiles para la captación y tratamiento de agua cruda del sistema de acueducto de centro poblado la magdalena de quebrada negra, Cundinamarca*. Practica social. Universidad católica de Colombia.
- Ecuacion de continuidad. (n.d.). *Ecuación de continuidad* Recuperado de: [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22\\_ecuacin\\_de\\_continuidad.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22_ecuacin_de_continuidad.html)
- Granados, D. (2018). *Propuesta de un acueducto en la vereda Moniquirá (Sogamoso Boyacá)*. Tesis de ingeniería. Universidad la gran Colombia.

Hermetic-Pumpen (2010, agosto). *El NPSH de bombas e instalaciones*. Recuperado de:

[https://www.hermetic-pumpen.com/Resources/Persistent/f9cf9ac6ccdad2c8b7cd8469d58d9f3712504b1b/NPSH\\_Pumpen\\_Anlagen\\_ES\\_08\\_2010.pdf](https://www.hermetic-pumpen.com/Resources/Persistent/f9cf9ac6ccdad2c8b7cd8469d58d9f3712504b1b/NPSH_Pumpen_Anlagen_ES_08_2010.pdf)

Mott, L., & Untener, A. (2015). *Mecánica de fluidos* (Séptima ed.). Pearson Education.

Hook, C. J.; Lawson, G. M.; Farah, M. J. (s.f.). *La condición socioeconómica y el desarrollo de las funciones ejecutivas*. Recuperado de: <http://www.encyclopedia-infantes.com/funciones-ejecutivas/segun-los-expertos/la-condicion-socioeconomica-y-el-desarrollo-de-las-funciones#:~:text=La%20condici%C3%B3n%20socioecon%C3%B3mica%2C%20una%20medida,hasta%20salud%20f%C3%ADsica%20y%20mental>.

Martínez, A. F. J. (n.d.). Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/30046069.pdf>

Naughton, Kenneth (1992). *Bombas, Selección Uso y Mantenimiento*. McGrawHill Interamericana de Mexico, SA

PAVCO (2018), *Manual técnico Unión Platino* (Mexico,2018). Gerencia de producto PAVCO, México.

PYD Electrobombas (2015), *Motores serie CM (España, 2015)*. Proindecsa, Región Murcia. Recuperado de: <http://www.proindecsa.com/wp-content/uploads/2019/09/CM.pdf>

Ramírez, G. (2016) *Diseño e implementación del sistema de bombeo principal del sector-mina calenturitas, propiedad de C.I prodeco S.A, la loma, cesar* (tesis de pregrado). Sogamoso. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Sandoval, M., Parrado, G.. (2018) *Optimización del diseño hidráulico del acueducto veredal del alto del ramo de municipio de Chipaque Cundinamarca.* (tesis de pregrado). Bogotá.

Universidad Católica de Colombia.

## Apéndices

## Apéndice A. Cálculo NPSH disponible en EES

Formatted Equations

CÁLCULO NPSH<sub>disp</sub>

altura = 1689 metros

g = 9,81 m/s<sup>2</sup>

T = 15 °C

D = 0,2032 metros

V = 1,2 m/s

L = 750

E = 0,00002

$\rho = \rho(\text{water}; T = T; P = P_{\text{kpa}})$

$\mu = \text{Visc}(\text{water}; T = T; P = P_{\text{kpa}})$

$P_{\text{mca}} = 10,33 - \frac{\text{altura}}{900} \text{ mca}$

$P_{\text{atm}} = \frac{P_{\text{mca}}}{10,2} \text{ bar}$

$P_{\text{kpa}} = \frac{100}{P_{\text{atm}}}$

$E_r = \frac{E}{D}$

$Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \text{ Turbulento}$

$$x = \rho \cdot g \quad \text{peso específico}$$

$$f = 0,25 \cdot \log^{-2} \left[ \frac{E}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right] \quad \text{Swamme - Jain}$$

EL REYNOLDS Y EL  $E_r$  SE ENCUENTRAN ENTRE LOS LÍMITES PARA USAR SWAMME- JAIN

$$h_{sp} = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} \cdot 10^5 \quad \text{carga de presión estática sobre el líquido en la succión}$$

$$h_s = 5 \quad \text{carga de elevación}$$

$$h_f = \frac{f \cdot L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad \text{pérdidas por fricción en la succión} \quad \text{darcy weichbach}$$

$$h_{vp} = \frac{P_{sat} (\text{water ; } T = T)}{\rho \cdot g} \quad \text{presión de vapor del agua a } 15^\circ\text{C}$$

$$\text{NPSH} = h_{sp} + h_s - h_f - h_{vp}$$

Apéndice B. Resultados en EPANET de as tuberías a las 11:00 am

Tabla de Red - Líneas en 11:00 Hrs			
ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Estado
Tubería 4	27.63	0.85	Abierto
Tubería 8	26.61	0.82	Abierto
Tubería 13	25.44	0.78	Abierto
Tubería 14	20.41	0.63	Abierto
Tubería 15	16.33	0.50	Abierto
Tubería 16	15.21	0.47	Abierto
Tubería 17	10.75	0.33	Abierto
Tubería 18	9.38	0.29	Abierto
Tubería 21	0.02	0.00	Abierto
Tubería 22	0.14	0.00	Abierto
Tubería 23	0.03	0.00	Abierto
Tubería 24	0.03	0.00	Abierto
Tubería 25	0.07	0.00	Abierto
Tubería 26	0.12	0.00	Abierto
Tubería 27	0.46	0.01	Abierto
Tubería 28	0.35	0.01	Abierto
Tubería 29	0.02	0.00	Abierto
Tubería 30	0.02	0.00	Abierto
Tubería 31	8.36	0.26	Abierto
Bomba 3	27.63	0.00	Abierto
Bomba 7	0.00	0.00	Cerrado
Válvula 1	27.63	0.85	Abierto
Válvula 2	27.63	0.85	Abierto
Válvula 5	0.00	0.00	Cerrado
Válvula 6	0.00	0.00	Cerrado

Apéndice C. Entrada de la estación actual



Apéndice D. Vista general



Apéndice E. Tanque de almacenamiento



Apéndice F. Sedimentador



Apéndice G. Cuarto de cloración



Apéndice H. Desarenador y floculador



Apéndice I. Dosificador de cloro hdro 600



Apéndice J. Elementos actuales de la estación de bombeo.

BENEFICIOS FÍSICOS E INVENTARIOS						
UNIDAD DE BIENES MUEBLES						
Código	Descripción	Ubicación	Estado	Mantenimiento	Póliza de seguro	Mecanismo de control de inventarios de bienes consumibles y suministros
50.000	1 EQUIPO DE JARRAS	PTAP	NO FUNCIONAL	DAR DE BAJA	N/A	MANUAL
0.000	1 TURBIDIMETRO MARCA HACH 2100P	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
5.000	1 FOTOMETRO MARCA MACHÉREY NAGEL REF PF11	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
2.000	1 PH METRO REFERENCIA PH 3151	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
2.000	1 EXTINTOR MULTIPROPOSITO 9072 KG	PTAP	FUNCIONAL	RECARGAR	N/A	MANUAL
0.000	1 CAJA PARA BOTIQUIN DE PRIMEROS AUXILIOS	PTAP	FUNCIONAL	DOTAR	N/A	MANUAL
1.000	1 MESA METALICA 90*80 CM	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 SILLA PLASTICA RIMAX CON BRAZOS	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 GRAMERA MARCA DETECTO	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
1.000	3 PROBETAS DE 1000 CM3 EN PLASTICO	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 PROBETA DE 500 CM3 EN PLASTICO	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 PROBETA DE 100 CM3 EN PLASTICO	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	2 PIPETAS DE 1 CM3 EN VIDRIO	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	2 PIPETAS DE 5 CM3 EN VIDRIO	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
1.000	2 TANQUES DE 1000 L PLASTICOS	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
1.000	2 TANQUES DE 500 L PLASTICOS	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 BOMBA DOSIFICADORA DE CAL EMEC	PTAP	NO FUNCIONAL	PREVENTIVO	N/A	MANUAL
0.000	1 BOMBA DOSIFICADORA DE SULFATO EMEC	PTAP	FUNCIONAL	PREVENTIVO	N/A	MANUAL
0.000	1 BOMBA DOSIFICADORA CMS	PTAP	NO FUNCIONAL	DAR DE BAJA	N/A	MANUAL
0.000	2 BOMBAS DOSIFICADORA DE MEMBRANA	PTAP	FUNCIONAL	DAR DE BAJA	N/A	MANUAL
0.000	1 DIFUSOR DE CLORO	PTAP	NO FUNCIONAL	DAR DE BAJA	N/A	MANUAL
0.000	1 DOSIFICADORA DE CLORO MARCA REGAL	PTAP	NO FUNCIONAL	DAR DE BAJA	N/A	MANUAL
0.000	2 CILINDROS DE ALMACENAMIENTO DE CLORO 68K	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 DOSIFICADOR DE CLORO HYDRO 600	PTAP	FUNCIONAL	RECIENTE REPARADO	N/A	MANUAL
0.000	2 MOTOBOMBA LP 200 PARA DOSIFICACION CLORO	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 LLAVE VALVULA DE CLORO	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 MASCARA INDUSTRIAL ANTIGASES	PTAP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
1.000	1 MOTOBOMBA 110 VOLTIOS	PATP	NO FUNCIONAL	REPARAR	N/A	MANUAL
	2 ESCALERAS DE ALUMINIO 4.3 Y 4.5 M	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 EQUIPO DE JARRAS 4 PUESTOS	PATP	NO FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 PH METRO LAMOTTE	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 COLORIMETRO SMART 3 LAMOTTE	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 PROBETA 1000 ML PLASTICA	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 PROBETA 250 ML PLASTICA	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 PROBETA 100 ML PLASTICA	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 PROBETA 50 ML PLASTICA	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 PROBETA 500 ML VIDRIO	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 PROBETA 250 ML VIDRIO	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 GEOFONO DETECTOR DE FUGAS	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	38 BULTOS SULTATO DE ALUMINIO	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	5 BULTOS 10 K DE CAL	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 RECARGA DE CLORO GASEOSO 68 K	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 KIT DETECCION DE CLORO DPD LAMOTTE	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
1.000	1 HIDROLAVADORA INDUSTRIAL 1500 A 2000 PSI	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
200	1 MANGUERA DE 12 M PARA PRESION	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	4 MACHOS DE 6"	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	2 MACHOS DE 2"	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 VALVULA DE CIERRE DE 4"	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	4 VALVULAS DE CIERRE DE 6"	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 VALVULA DE CIERRE DE 3"	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 KIT DPD DETECCION CLORO	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
0.000	1 RECARGA DE CLORO GASEOSO	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 DETECTOR DE NIVELES TANQUES	PATP	NO FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	8 JARRAS DE VIDRIO 1000 ML BOGGO	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 CAJA DE GUANTES ESTILOCOS	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 CAJA DE BOLSAS PARA MUESTRAS	PATP	FUNCIONAL		N/A </td <td>MANUAL</td>	MANUAL
	1 PICA	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	2 UNIONES METALICAS DE 4" Y 6"	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 PIPETA DE VIDRIO 250 ML	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	1 PIPETA DE VIDRIO DE 500ML	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	PROTOCOLO DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	PROCEDIMIENTO DE TECNICAS DE LABORATORIO	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	PROCEDIMIENTO DE TOMA Y PRESERVACION DE MUESTRAS	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	SISTEMA DE GESTION DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL
	PLANILLAS DE ACTIVIDADES	PATP	FUNCIONAL		N/A	MANUAL

Boh...  
LE... MARTHA VERA AMAYA

Responsable