

**EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE BOMBEO DE  
EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P UBICADA EN LA VEREDA LA BALSA.**

**AUTORES**

**DUWIN ARLEY GARCIA CARRERO**

**JHON BRANDO PINILLA JIMENEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**BUCARAMANGA**

**2018**

**EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE BOMBEO DE  
EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P UBICADA EN LA VEREDA LA BALSA.**

**AUTORES**

**DUWIN ARLEY GARCIA CARRERO  
JHON BRANDO PINILLA JIMENEZ**

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de Ingeniero Mecánico**

**DIRECTOR**

**PROF. MANUEL MARTINEZ  
Ingeniero Mecánico, PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGNIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2018**

## **DEDICATORIA**

*Primeramente, dedico este proyecto a Dios por darme la vida, por darme la Sabiduría y lo más importante por darme la oportunidad de amar esta carrera.*

*A mi madre Tilsa Jiménez que ha sido la persona que me ha apoyado en cada uno de mis caprichos, dedico esto a ella porque es la mujer que jamás me ha dicho que no en cada decisión que he tomado en la vida.*

*A mi padre Marcelino Pinilla por su apoyo incondicional, por enseñarme que la vida no es fácil y que siempre debo luchar por mis sueños.*

*A mi novia Laura Arévalo por su paciencia conmigo, por estar hay en los momentos que más necesitaba y por alentarme en las facetas de la carrera en las que no veía salida.*

*A mi sobrino Emmanuel porque llegó a mi vida en un momento crucial en donde empezaba la culminación de mi carrera, y pude ver en él una motivación más para poder lograr este sueño.*

*A mi compañero de tesis que a pesar de los inconvenientes supimos controlar las dificultades a lo largo del desarrollo del proyecto.*

**JHON BRANDO PINILLA JIMENEZ**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto en primer lugar a Dios por su iluminación para elegir esta hermosa carrera y por acompañarme en cada instante de mi vida.*

*A mi mamá Teresa Carrero por la dedicación que ha tenido conmigo desde niño, enseñándome siempre el buen camino, por creer en mí aun cuando ni siquiera yo lo hacía, por su ayuda incondicional sin importar las dificultades que se han presentado, este y cada logro en mi vida serán especialmente por tu esfuerzo y amor, muchas gracias mamá.*

*A mi papá Asdrúbal García por su apoyo y voz de ánimo.*

*A mi tía Analibia Carrero por ser una segunda mamá para mí, así como también a mis tíos, que fueron una gran compañía durante los momentos que estuve lejos de casa.*

*A mi amigo de proyecto, porque sin importar los obstáculos siempre pensamos en soluciones conjuntas para superarlos de la mejor manera, además de su buen humor, disposición y dedicación para la realización del mismo.*

**ARLEY GARCIA CARRERO.**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A nuestros padres por apoyarnos no solo económicamente, sino que también por habernos ayudado emocionalmente en cada paso que dábamos durante nuestro proceso de formación.*

*A nuestro director Manuel Martínez por brindarnos todo su apoyo, confianza y tiempo durante el desarrollo del proyecto.*

*Al personal encargado de la estación de bombeo y la planta de tratamiento de la ciudad de Chiquinquirá, especialmente al señor Ramiro Poveda, a los Ingenieros Hernán Rojas y Esteban Villamíl.*

*A la escuela de ingeniería mecánica, en especial al personal docente que gracias a su conocimiento y experiencia, nos contribuyeron en nuestro proceso de formación.*

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	18
1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO .....	21
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.3.1 Objetivo general.....	24
1.3.2 Objetivos específicos .....	24
1.4 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO EN EL CUAL SE DESARROLLA EL PROYECTO.....	26
2. MARCO DE REFERENCIA.....	28
2.1 FACTORES HIDRAULICOS DEL SISTEMA .....	28
2.1.1 Altura total de bombeo: H .....	28
2.1.2 Altura estática de bombeo: $H_e$ .....	29
2.1.3 NPSH (Requerido).....	29
2.1.4 Eficiencia general de un sistema de bombeo.....	30
2.1.5 NPSH (Disponible).....	30
2.1.6 Relación entre la curva característica de una bomba y el sistema de bombeo.....	32
2.2 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS.....	34
2.2.1 Ecuación de Darcy - Weisbach .....	34
2.2.2 Ecuación de Colebrook-White.....	35
2.2.3 Número de Reynolds .....	36
2.2.4 Diagrama de Moody.....	36
2.2.5 Ecuación de Hazen -Williams .....	37
3. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO .....	39
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	39
3.1.1 Zona A: captación del fluido.....	41
3.1.2 Zona B: línea de impulsión 16 pulgadas .....	43

3.1.3	Zona C: rebombeo línea de 14 pulgadas .....	46
3.1.4	Zona D: desarenadores .....	48
3.1.5	Zona E: línea de impulsión de 14 pulgadas .....	49
3.1.6	Zona F: línea de 16 pulgadas .....	53
3.2	NORMAS DE SEGURIDAD DENTRO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	49
3.3	DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO TEREBINTO.....	55
3.3.1	Torre de aireación .....	58
3.3.2	Dosificación de químicos .....	60
3.3.3	Vertederos .....	61
3.3.4	Floculación.....	62
3.3.5	Sedimentación .....	62
3.3.6	Filtración .....	63
3.3.7	Cloración.....	64
3.4	TIPOS DE CONEXIONES EXISTENTES .....	64
3.4.1	Línea de 14 pulgadas.....	64
3.4.2	Línea de 16 pulgadas.....	65
3.5	RECOPIACIÓN DE DATOS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	67
3.5.1	Medición del caudal .....	67
3.5.2	Medición de presiones .....	69
3.5.3	Ubicación geográfica de la estación de bombeo y la planta Terebinto ....	69
4.	DESARROLLO DEL PROYECTO .....	71
4.1	CAUDALES DE DISEÑO SEGÚN REGLAMENTO RAS 2000.....	65
4.1.1	Dotación neta por habitante .....	71
4.1.2	Porcentaje de pérdidas .....	72
4.1.3	Dotación bruta.....	72
4.1.4	Caudal medio diario (Qmd) .....	72
4.1.5	Caudal máximo diario (QMD).....	73
4.2	PROYECCIÓN POBLACIONAL .....	73

4.2.1	Método aritmético .....	74
4.2.2	Método Geométrico .....	75
4.2.3	Método exponencial.....	76
4.3	CAUDALES DE DISEÑO CORRESPONDIENTES A LA POBLACIÓN PROYECTADA.....	77
4.4	VERIFICACIÓN DEL NPSHd Y NPSHr.....	78
4.5	FALLAS EN LA LÍNEA DE 14 PULGADAS .....	82
4.6	CÁLCULOS DE LA LÍNEA DE 16 PULGADAS .....	83
4.6.1	Cálculos teóricos.....	83
4.6.2	Cálculo real de la línea de 16 pulgadas, con la bomba dos en funcionamiento.....	86
4.6.2.1	Pérdidas reales por fricción a través de la tubería de 16 pulgadas.....	90
4.6.2.2	Comparación entre la curva real y teórica del sistema.....	91
4.6.3	Cálculo real de la línea de 16 pulgadas, con la bomba tres en funcionamiento.....	92
4.6.3.1	Pérdidas reales por fricción a través de la tubería de 16 pulgadas.....	94
4.6.3.2	Comparación entre la curva real y teórica del sistema.....	95
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	97
5.1	DEMANDA DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	97
5.2	FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO .....	98
5.2.1	Cavitación .....	98
5.2.2	Perdidas en el sistema.....	98
5.2.3	Instrumentos de medida.....	99
6.	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN .....	101
6.1	ALTERNATIVAS PARA EL PROBLEMA DE ABASTECIMIENTO ACTUAL.....	101
6.1.1	Bombas en paralelo para el sistema actual .....	101
6.1.2	Modificación de los tramos de succión e impulsión .....	102
6.2	ALTERNATIVAS PARA GARANTIZAR EL ABASTECIMIENTO PARA LA DEMANDA PROYECTADA.....	103

6.2.1	Modificación de diámetros del sistema de nuevas bombas .....	103
6.2.2	Búsqueda de nuevas fuentes hídricas .....	105
7.	CONCLUSIONES.....	106
8.	RECOMENDACIONES .....	108
	BIBLIOGRAFÍA.....	111

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Bombas para la línea de 14" de EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P .....	22
Figura 2. Acción Hidráulica de una bomba en una tubería .....	28
Figura 3. Presión mínima requerida en la succión .....	30
Figura 4. Bomba y curvas del sistema. ....	33
Figura 5. Diagrama de Moody para flujo laminar y turbulento .....	37
Figura 6. Esquema de la estación de bombeo.....	40
Figura 7. Sistema de captación.....	42
Figura 8. Succión en la bomba de la línea de 16".....	43
Figura 9. Zona de rebombeo.....	47
Figura 10. Desarenadores .....	49
Figura 11. Manómetro, válvula de ventosa y sensor.....	53
Figura 12. Válvula de alivio .....	54
Figura 13. Estado de señalización dentro de la estación de bombeo .....	55
Figura 14. Esquema de la planta de tratamiento .....	58
Figura 15. Anillos pall ring.....	59
Figura 16. Torre de aireación.....	60
Figura 17. Vertedero planta antigua y planta nueva .....	61
Figura 18. Floculación planta antigua y planta nueva .....	62
Figura 19. Sedimentación planta antigua y planta nueva .....	63
Figura 20. Lecho del filtro .....	63
Figura 21. Cuarto de bombeo para la línea de 14 pulgadas. ....	65
Figura 22. Cuarto de bombeo para la línea de 16 pulgadas. ....	65
Figura 23. Sensor MS 3770 1A1U .....	68
Figura 24. Lectura del macromedidor estación de bombeo .....	68
Figura 25. Manómetro ubicado al inicio de la tubería de 16 pulgadas.....	69
Figura 26. Ubicación geográfica de la estación de bombeo .....	70

Figura 27. Perfil de elevación.....	70
Figura 28. Estado actual de las bombas de 14 pulgadas .....	82
Figura 29. Punto de operación teórico de las bombas 2 y 3 .....	86
Figura 30. Punto de operación real de la bomba 2 .....	91
Figura 31. Comparación del compartimento real y teórico de la bomba 2 .....	92
Figura 32. Punto de operación real de la bomba 3 .....	95
Figura 33. Comparación del compartimento real y teórico de la bomba 3 .....	96
Figura 34. Funcionamiento en paralelo.....	102
Figura 35. Modificación del sistema.....	103
Figura 36. Sistema modificado y bombas en paralelo .....	104

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de la motobomba N°1 .....	44
Tabla 2. Características de la motobomba N°2 .....	45
Tabla 3. Características de la motobomba N°3 .....	46
Tabla 4. Características de la motobomba N°1 .....	50
Tabla 5. Características de la motobomba N°2 .....	51
Tabla 6. Características de la motobomba N°3 .....	52
Tabla 7. Tabla de datos .....	67
Tabla 8. Información poblacional en distintos años .....	74
Tabla 9. Proyección futura (método aritmético) .....	75
Tabla 10. Proyección futura (método geométrico) .....	76
Tabla 11. Proyección futura (método Exponencial) .....	77
Tabla 12. Coeficientes de pérdidas en accesorios.....	85
Tabla 13. Rugosidad equivalente de tuberías comerciales.....	88
Tabla 14. Comparación de caudales. ....	97
Tabla 15. Comparación entre el NPSHd y NPHSr para las dos bombas.....	98
Tabla 16. Comparación de las pérdidas en la válvula check .....	99
Tabla 17. Comparación de las pérdidas en los accesorios.....	99
Tabla 18. Comparación de los datos actuales con las alternativas planteadas ...	105

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Planta de tratamiento terebinto .....	114
Anexo B. Estación de bombeo.....	115
Anexo C. Ficha técnica de la zona A .....	116
Anexo D. Plano de la zona A .....	117
Anexo E. Ficha técnica de la zona B .....	118
Anexo F. Plano zona B .....	119
Anexo G. Ficha técnica de la zona C.....	120
Anexo H. Plano de la zona C .....	121
Anexo I. Ficha técnica de la zona D.....	122
Anexo J. Plano de la zona D.....	123
Anexo K. Ficha técnica de la zona E .....	124
Anexo L. Plano de la zona E.....	125
Anexo M. Ficha técnica de la zona F .....	126
Anexo N. Plano de la zona F .....	127
Anexo O. Curvas características de las bombas 2 y 3.....	128
Anexo P. Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro .....	129

## RESUMEN

**TÍTULO:** EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE BOMBEO DE EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P UBICADA EN LA VEREDA LA BALSA. \*

**AUTORES:** DUWIN ARLEY GARCIA CARRERO\*\*  
JHON BRANDO PINILLA JIMENEZ\*\*

**PALABRAS CLAVE:** ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO, ESTACIÓN DE BOMBEO, RAS, VÁLVULA, PÉRDIDAS, CAUDAL, PRESIÓN, PUNTO DE OPERACIÓN.

### DESCRIPCIÓN:

El siguiente proyecto de grado se realizó con el fin de evaluar y diagnosticar las condiciones del estado actual de la estación de bombeo de empochiquirá. La necesidad de la elaboración de este trabajo surge debido a los problemas de abastecimiento de agua potable que se presentan en la ciudad de Chiquinquirá.

Para el desarrollo del proyecto inicialmente se partió de una descripción e inspección detallada del estado físico actual de los elementos de la estación de bombeo, con la información obtenida se realizó la elaboración de los planos técnicos para cada una de las zonas, seguidamente de la creación de fichas técnicas para cada una de ellas, en donde se muestra las condiciones físicas de cada elemento. Además, se realizó una descripción de los procesos utilizados para la potabilización de agua en la planta de tratamiento.

El levantamiento de información acerca del funcionamiento hidráulico de la estación de bombeo, se llevó a cabo durante el lapso de una semana, en donde se midieron los valores de caudales y presiones en las bombas en funcionamiento, con ello se analizaron estos valores y se compararon con los recomendados por la normativa RAS, una vez finalizada la fase de análisis, se procedió a realizar el dictamen de la estación de bombeo, comparando su comportamiento teórico con el real.

Finalmente se plantearon una serie de recomendaciones y alternativas, para mejorar y solucionar los problemas actuales y futuros, de acuerdo a las necesidades de demanda de la ciudad.

---

\*Proyecto de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Manuel Martínez.

## ABSTRACT

**TITLE:** ASSESSMENT AND DIAGNOSIS OF THE PUMPING OF EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P PLANT LOCATED IN THE “VEREDA LA Balsa” \*

**AUTHORS:** DUWIN ARLEY GARCIA CARRERO\*\*  
JHON BRANDO PINILLA JIMENEZ\*\*

**KEY WORDS:** ANALYSIS, DIAGNOSIS, PUMPING STATION, RAS, VALVE, LOSS, FLOW RATE, PRESSURE, POINT OF OPERATION.

**DESCRIPTION:** The following graduation project held to evaluate and diagnose the current state of the empochiquinquirá pumping station conditions. The need for the preparation of this work arises due to problems of supply of drinking water in the city of Chiquinquirá.

The development of the project initially he left a description and detailed inspection of the physical state of the elements of the pumping station, with the information obtained was the elaboration of the technical plans for each of the areas, then in the creation of data sheets for each of them, showing the physical conditions of each element. Also included a description of the processes used for the drinking water treatment plant.

Gathering information about the hydraulic operation of the pumping station, took place during the span of a week, where the values of flows and pressures at the pumps in operation were measured, these values were analyzed with this and is compared with those recommended by the RAS rules, once completed the analysis phase, proceeded to make the opinion of the pumping station, comparing their theoretical behavior with the real.

Finally raised a series of recommendations and alternatives, to improve and solve current and future problems according to the needs of the city demand.

---

\*Grade Project

\*\* Faculty of physical-mechanical engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Manuel Martínez.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del sistema de acueducto de EMPOCHIQUINQUIRA es satisfacer las necesidades de la comunidad en cuanto al suministro de agua potable, por tanto, es indispensable un óptimo funcionamiento en sus diferentes procesos, comenzando desde la fuente de suministro, captación, transporte, tratamiento y distribución. “Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución.”<sup>1</sup>

Durante los últimos años la ciudadanía se ha sentido algo insatisfecha debido a las constantes pausas en cuanto al suministro del preciado líquido, es por eso que nació la idea de realizar una investigación acerca de cuáles eran las condiciones en las que se encontraba la estación de bombeo, nosotros como profesionales debemos analizar que está sucediendo, para así poder dar las mejores soluciones hacia la comunidad. Por eso es importante conocer algunos requisitos previos para finalmente dar una opinión clara de los acontecimientos dentro de la estación:” requisitos como conocimiento de la fuente de abastecimiento de agua, es decir si esta es superficial o subterránea, Lugar a donde se impulsará el agua: reservorio de almacenamiento o la red de distribución, Consumo de agua potable de la población y sus variaciones, población beneficiada por el proyecto: actual y futura.”<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> UNATSABAR, CEPIS. "Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable." Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. OPS, 2005. P.3

<sup>2</sup> Ibit. P.3

Otro de los inconvenientes por los que han tenido que pasar los chiquinquireños es el problema de contaminación de las aguas del Río Suárez que provienen del sistema lagunar de Fúquene, Cucunubá y Palacio.<sup>3</sup> Esa contaminación también ha hecho de la potabilización del líquido una tarea bastante ardua para EMPOCHIQUINQUIRA.

En el presente proyecto inicialmente se dará una descripción del estado actual de la estación de bombeo y de la planta de tratamiento, con el fin de conocer cada uno de los componentes existentes, para luego realizar un análisis detallado de la estación de bombeo con el objetivo de identificar las causas técnicas del mal servicio que se ha estado prestando a la comunidad en los últimos años.

---

<sup>3</sup> CARACOL TUNJA. Por falta de agua potable declaran calamidad pública en Chiquinquirá, Boyacá. En: Caracol Radio. Tunja, Abril, 2017.

## **1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los sistemas de bombeo son los componentes encargados de elevar un fluido de un nivel a otro, de ahí la importancia de analizar las deficiencias que puedan ocurrir durante su funcionamiento.

La entidad EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P es una empresa Industrial y Comercial del Estado, prestadora de servicios públicos domiciliarios, La empresa se encarga de la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado. La planta de bombeo de EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P tiene como función captar el agua del Rio Suárez por medio de una bocatoma lateral, donde es impulsada hasta la planta de tratamiento donde se realiza el proceso de potabilización de agua. Las eventualidades singulares que se han venido dando en cada uno de los lugares contemplados por el sistema de la planta de bombeo tales como la integración parcelaria, la densidad poblacional, el ritmo de ocupación del espacio urbano, y además de eso la construcción precaria de las redes de distribución de agua potable por parte de los usuarios, restringen de manera severa el funcionamiento del sistema y cada una de esas causas conlleva a que cada zona servida por la planta de bombeo detecten diferentes niveles de satisfacción en la prestación del servicio. Es esa problemática precisamente por la que están pasando diversos sectores de la ciudad de Chiquinquirá.

A esta situación se le une el deterioro de algunos componentes de la planta de bombeo, los cuales ya cumplieron su ciclo de vida útil, actualmente la planta de bombeo cuenta con cuatro sistemas de bombeo, sistema de captación del río Suárez, sistema del desarenador y dos líneas de impulsión de 14” y 16” que van dirigidas hacia la planta de tratamiento Terebinto, cada línea de impulsión cuenta

con tres unidades de bombeo conectadas en paralelo. La línea de 16" cuenta con dos motobombas marca NOWA 150500 y la línea de 14" cuenta con 3 motobombas, dos marcas Sterling modelo IMBIL-EEW 12573 y una marca Hidromac, modelo HL 125/3, y el sistema del desarenador cuenta con dos motobombas marca KSB Hidromac, modelo ETA 250/29. La falta de mantenimiento y el uso perpetuo de las motobombas de la EB, produjeron la disminución de los parámetros de operación del sistema de bombeo.

Durante el año 2016 dos de las bombas de la línea de 14" han estado averiadas, actualmente para esa línea solo ha estado en funcionamiento una bomba, lo cual complica aún más el abastecimiento de agua potable, generando así inconformidades en el territorio chiquinquireño.

Figura 1. Bombas para la línea de 14" de EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P



## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El agua es y seguirá siendo el elemento más importante para la vida, por eso es deber del ser humano analizar su comportamiento, este proyecto va enfocado hacia el transporte del preciado líquido desde el Rio Suarez hasta la zona urbana del municipio de CHIQUINQUIRÁ. La ciudad mariana de Colombia está ubicada en la provincia de occidente del departamento de Boyacá, actualmente los chiquinquireños cuentan con el líquido proveniente de la vereda la Balsa, lugar en donde se encuentra ubicada la planta de bombeo de la empresa EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P, la cual requiere de una evaluación debido a los problemas de suministro, que se han venido presentando en varias zonas del municipio.

La gran mayoría de procesos reales requieren de una descripción físico matemática del proceso, solo así se determinarán las condiciones en las que se encuentran actualmente cada una de las componentes, todo esto se realizará mediante el conocimiento en el área de la mecánica de fluidos aplicada a sistemas de bombeo (ecuación de continuidad, ecuación de Bernoulli, Número de Reynolds, Régimen laminar, Régimen turbulento, pérdidas de carga en sistemas de tuberías, etc.).

Para corregir los problemas en materia de la prestación del servicio, el trabajo de grado se centralizará en el diagnóstico y caracterización de los sistemas de bombeo de EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P con el fin de plantear alternativas para mejorar las condiciones de vida de la comunidad Chiquinquireña.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diagnosticar y realizar recomendaciones técnicas para los sistemas de bombeo de Empochiquiquira ubicados en la vereda la Balsa, con el fin de mejorar la prestación del servicio de agua potable, y así pues cumplir con la misión de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER en cuanto al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Realizar la inspección integral de la estación de bombeo de Chiquinquirá mediante la recopilación de información concerniente al:
  - Tipo de operación de los sistemas de bombeo (captación del río Suárez, canal de aducción 1 y 2, pozos de succión de baja y alta presión, bombeo de baja presión hacia el desarenador y líneas de impulsión de 14" y 16" que transportan el fluido hasta la planta de tratamiento de Terebinto.
  - Estado físico e inventario de los componentes existentes en los diferentes sistemas de bombeo.
  - Aspectos de seguridad tales como capacitación de los empleados, zonas de riesgo y uso adecuado de los instrumentos de medición.
  - Tipos de conexiones existentes entre los diferentes sistemas.

2. Analizar la información recopilada de las condiciones operacionales de los sistemas de bombeo y verificar si la estación cuenta con los requisitos mínimos y las condiciones básicas que debe cumplir toda estación de bombeo establecidas en el Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico (RAS-2000).
  
3. Realizar el diagnóstico de las condiciones actuales de los sistemas de bombeo.
  - Bombeo de baja presión hacia el desarenador.
  - Impulsión de la línea de 14" (bombas de alta presión).
  - Impulsión de la línea de 16" (bombas de alta presión).
  
4. Recomendar posibles alternativas de solución para los problemas encontrados según el estudio realizado.

#### **1.4 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO EN EL CUAL SE DESARROLLA EL PROYECTO**

El proyecto de grado se desarrolla en el municipio de Chiquinquirá, al cual se le presta el servicio de agua potable por medio de la Empresa Industrial y comercial del Estado “EMPOCHIQUINQUIRA E.S.P”, actualmente la empresa cuenta con los servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, la cual suple las necesidades de alrededor de 53525 habitantes.

El municipio de Chiquinquirá está localizado a 70 kilómetros de Tunja la capital del Departamento de Boyacá, pertenece a la provincia de Occidente, su clima promedio es de 15 grados y su altura de 2580 metros sobre el nivel del mar.<sup>4</sup>

El acueducto de la ciudad mariana de Colombia tiene su fuente principal en el Río Suárez, Que cuenta con una Planta de bombeo ubicada en la vereda la Balsa del municipio de Chiquinquirá, y es la encargada de succionar el agua proveniente del Canal del Río Suárez, vale la pena aclarar que esta es la única fuente hídrica superficial con la que cuenta el municipio, el objetivo que cumple la EB es bombear el preciado líquido hasta la planta de tratamiento Terebinto por medio de dos líneas de impulsión de 14 y 16 pulgadas respectivamente, la línea de 14” tiene aproximadamente 41 años de funcionamiento mientras que la línea de 16” tiene aproximadamente 31 años de funcionamiento. La Planta de tratamiento Terebinto se encuentra ubicada en la vereda Córdoba, dividida en una planta nueva y una planta antigua, en esta planta se realizan los procesos de ozonización, aireación,

---

<sup>4</sup> ALCALDIA DE CHIQUINQUIRÁ. Plan de desarrollo 2012-2015. Chiquinquirá, 2012. P.23

dosificación de químicos, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento y distribución.<sup>5</sup>

---

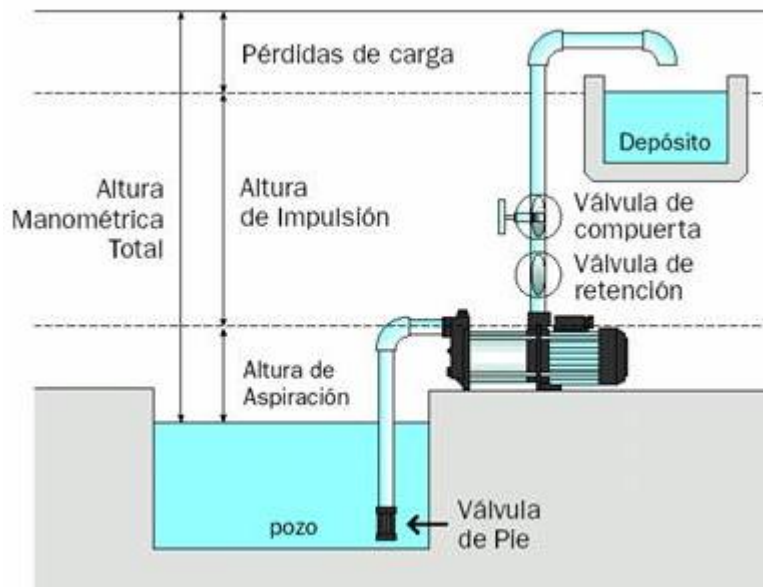
<sup>5</sup> EMPRESA INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE SERVICIOS PUBLICOS DE CHIQUINQUIRÁ ESP.  
Manual de operaciones de mantenimiento del sistema de acueducto del municipio de Chiquinquirá.  
Chiquinquirá, 2011. P.18

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 FACTORES HIDRAULICOS DEL SISTEMA

#### 2.1.1 Altura total de bombeo: $H$

Figura 2. Acción Hidráulica de una bomba en una tubería



Fuente: ATMOSFERIS.COM. Sistemas de bombeo: altura de elevación. [en línea].  
[Consultado: 27 de noviembre 2017]. Disponible en: <http://www.atmosferis.com>

La altura total corresponde a la energía por unidad de peso o altura total transferida al fluido por la bomba y a que es equivalente a la altura de descarga  $H_D$  menos la

altura total de succión  $H_S$ , es decir  $H = H_D - H_S$ . Usualmente se expresa en metros de columna de líquido bombeado.<sup>6</sup>

### **2.1.2 Altura estática de bombeo: He**

Altura estática consiste en la suma de la elevación, es decir, la diferencia entre el suelo y el punto en el que se descarga el agua y el nivel del agua estancada, es decir, la diferencia entre la superficie del agua subterránea y el nivel del agua en el pozo. Se expresan en metros de columnas de líquido.<sup>7</sup>

### **2.1.3 NPSH (Requerido)**

NPSH representa la presión efectiva en la línea central de la succión de una bomba menos la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. Es una medida de cuánto la presión del líquido en la succión de la bomba está por encima de su presión de vapor. Cuanto menor sea este número, mayor será el peligro de que el líquido se vaporice y causando daño a la bomba interna.

El NPSH mínimo requerido para una bomba en particular lo especifica el fabricante de la bomba. También se lo conoce como NPSH obligatorio ( $NPSH_R$ ) y aumenta con el incremento de la capacidad de la bomba, como se muestra en la Figura 3 este representa la presión mínima requerida en la succión de la bomba para una capacidad de bomba particular.<sup>8</sup>

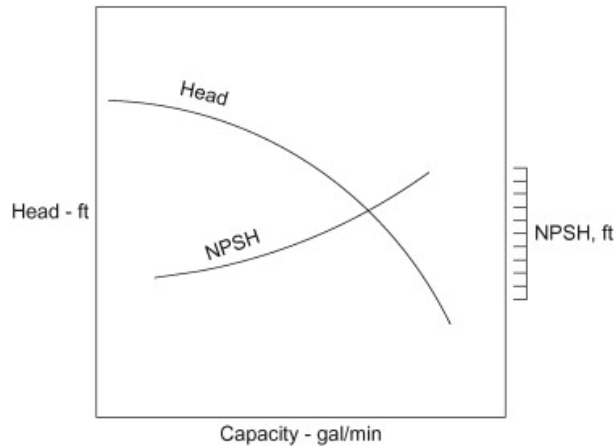
---

<sup>6</sup> MÉNDEZ, Manuel. Tuberías a presión. Caracas: Publicaciones U.C.A.B, 2011.pp 38-40. ISBN:980-244-106-6.

<sup>7</sup> BORA, Birinchi, et al. Optimum sizing and performance modeling of Solar Photovoltaic (SPV) water pumps for different climatic conditions. Solar Energy, 2017, vol. 155, p. 1326-1338.

<sup>8</sup> MENON, E. Shashi. Working Guide to Pump and Pumping Stations: Calculations and Simulations. Gulf Professional Publishing, 2009.

Figura 3. Presión mínima requerida en la succión



Fuente: MENON, E. Shashi. Working Guide to Pump and Pumping Stations: Calculations and Simulations. Gulf Professional Publishing, 2009.

#### 2.1.4 Eficiencia general de un sistema de bombeo

La eficiencia general de un sistema de bombeo tiene en cuenta las eficiencias operativas individuales del motor, la bomba y el sistema de accionamiento. En aplicaciones de velocidad constante y carga constante, la eficiencia general permanece constante a medida que las eficiencias operativas individuales del motor, el sistema de accionamiento y la bomba permanecen constantes.<sup>9</sup>

#### 2.1.5 NPSH (Disponible)

En el tanque de succión, tenemos una cierta presión, menos la presión de vapor del líquido a la temperatura de trabajo para evitar la cavitación, esta presión representa la energía utilizable al nivel del tanque de almacenamiento.

---

<sup>9</sup> JAYAMAHA, Lal. Energy-efficient Industrial Systems: Evaluation and Implementation. McGraw Hill Professional, 2016.

La geometría de la instalación define la elevación diferencial entre el nivel de líquido en el tanque de succión y la bomba misma. Cuando es positivo, la bomba está en la configuración de succión inundada y puede beneficiarse de energía extra utilizable. Cuando es negativo, la bomba está en la configuración de elevación de succión y se beneficia de menos energía utilizable.

A lo largo de la tubería de succión, tenemos pérdidas por fricción que pueden determinarse fácilmente a partir de tablas o por cálculo, en función de la longitud equivalente de succión. Los fabricantes de componentes dan la longitud equivalente de cada uno de sus productos (codo, válvula, boquilla de reducción, etc.) para facilitar este enfoque. Las pérdidas por fricción reducen la energía utilizable.

La combinación de estos parámetros del sistema determina la NPSH disponible (NPSHd) en la entrada de la bomba, cuya determinación es responsabilidad exclusiva del comprador.<sup>10</sup>

$$NPSHd = h_{sp} - h_s - h_{vp} - hf$$

Donde:

$h_{sp}$  = Presión atmosférica en pies

$h_s$  = Altura de succión en pies (Nota:  $h_s$  se resta si el nivel del agua está por abajo del ojo del impulsor; se suma si el nivel del agua está por arriba del impulsor)

---

<sup>10</sup> DENIAU, Patrick. Applying NPSH to metering pumps. World Pumps, 2009, vol. 2009, no 8, p. 34-37.

$h_{vp}$  = Presión de vapor en pies (depende de la temperatura del líquido; ver en tablas)

$h_f$  = Pérdidas de fricción en la tubería de succión (pies)

El conocimiento del NPSHd por el instalador es fundamental para la elección adecuada de la bomba y evitar así posibles fracasos.

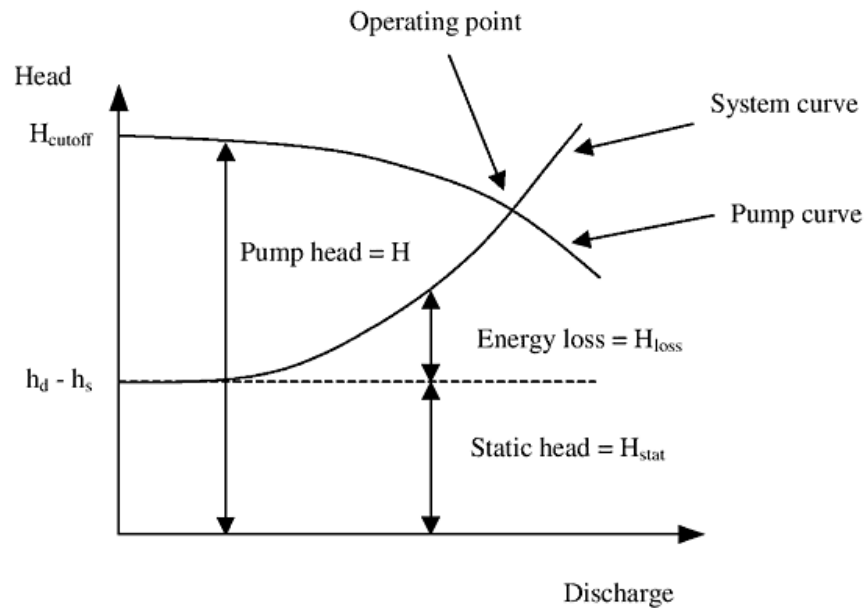
Por lo tanto, para evitar cavitación en la bomba y asegurar el correcto funcionamiento de una instalación, el NPSH disponible debe ser siempre mayor al NPSH requerido por la bomba.

$$NPSHd > NPSHr$$

### **2.1.6 Relación entre la curva característica de una bomba y el sistema de bombeo**

La energía suministrada a una bomba es igual a la suma de la diferencia de carga estática (elevación) y las pérdidas de energía.

Figura 4. Bomba y curvas del sistema.



Fuente: LARRY W. Mays. Manual de diseño de sistemas de recolección de aguas pluviales. McGraw-Hill Professional, 2001.

La  $H_{pérdidas}$  y  $H_{Bomba}$  están relacionadas con las tasas de flujo en el sistema. A tasas de flujo más altas, la capacidad de la bomba para suministrar energía disminuye mientras que la pérdida de energía en el sistema de tuberías aumenta. Gráficamente, esta relación está representada por la curva característica de la bomba y la curva del sistema (Ver Figura 4).

Para mantener la conservación de la energía, la bomba funcionara en el punto de intersección entre el sistema y las curvas de la bomba. Cambiar la bomba o su motor cambiará la curva de la bomba y el punto de operación. De manera similar, la modificación del diámetro de la tubería, las configuraciones de la válvula o la elevación de la salida cambiarán la curva del sistema.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> LARRY W. Mays. Manual de diseño de sistemas de recolección de aguas pluviales. McGraw-Hill Professional, 2001.

## 2.2 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS

### 2.2.1 Ecuación de Darcy - Weisbach

En un sistema de tuberías a presión se generan pérdidas de capacidad de transporte o pérdida hidráulica debido a la fricción de los fluidos con las paredes internas de los ductos que lo transportan, esta energía que se pierde es transformada en calor y se refleja como una pérdida de eficiencia en el sistema, que depende de variables como la rugosidad del conducto, el tipo de material, el tipo de fluido y sus características; para el cálculo de estas pérdidas una de las fórmulas más exactas es la de Darcy-Weisbach, la cual obtiene su nombre en honor a Henry Darcy y Julius Weisbach, ingenieros que proporcionaron los mayores aportes en el desarrollo de esta ecuación; la ecuación desarrollada es la siguiente.<sup>12</sup>

$$h = f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h$  = Pérdida de carga o de energía (m)

$f$  = Coeficiente de fricción (adimensional)

$l$  = Longitud de la tubería (m)

$v$  = Velocidad media (m/s)

$g$  = Gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

---

<sup>12</sup> HIDALGO, Jeimi ; CASTILLO, Daniel Y GIRAL, Jefferson . Cálculo de diámetros de tubería mediante la ecuación de Darcy-Weisbach.

## 2.2.2 Ecuación de Colebrook-White

La ecuación implícita de Colebrook-White se ha utilizado ampliamente para estimar el factor de fricción para el flujo de fluido turbulento en la ecuación de Darcy-Weisbach.

La ecuación de Colebrook-White, que relaciona el factor de fricción con la rugosidad de la tubería y el número de Reynolds, La ecuación de Colebrook-White es válida para  $Re$  que va de  $4 * 10^3$  a  $10^8$  y para el  $\frac{\epsilon}{D}$  que van desde 0 hasta 0.05. Esta ecuación también cubre los casos límite de tuberías lisas,  $\epsilon \cong 0$  y flujo turbulento completamente desarrollado.<sup>13</sup>

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \frac{\epsilon}{3.71 * D} + \frac{2.5}{Re * \sqrt{f}}$$

*Ecuación de Colebrook-White*

Dónde:

$\epsilon$  = *Rugosidad absoluta de la tubería m*

$D$  = *Diámetro de la tubería m*

$Re$  = *Numero de Reynolds (Adimensional)*

$f$  = *Coficiente de fricción (adimensional)*

---

<sup>13</sup> SAMADIANFARD, Saeed. Gene expression programming analysis of implicit Colebrook–White equation in turbulent flow friction factor calculation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2012, vol. 92, p. 48-55.

### 2.2.3 Número de Reynolds

El número de Reynolds relaciona las fuerzas dinámicas del fluido, y la rugosidad relativa de la tubería ( $\epsilon/D$ ), la cual es un indicador de las imperfecciones del material de la misma tubería.<sup>14</sup>

$$Re = \frac{Ve * D}{\nu}$$

*Ecuación del número de Reynolds*

Dónde:

$$Ve = \text{Velocidad } \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$D = \text{Diámetro Tubería (m)}$$

$$\nu = \text{Viscosidad Fluido (m}^2/\text{s)}$$

Obtenido el número de Reynolds, se procede con la clasificación del mismo bajo las siguientes consideraciones:<sup>15</sup>

$$Re > 4000 \text{ Turbulento}$$

$$Re < 2000 \text{ Laminar}$$

### 2.2.4 Diagrama de Moody

Este diagrama muy conocido se muestra en la Figura 5, Este gráfico proporciona la magnitud del coeficiente de fricción dependiendo de si el flujo es el de una corriente laminar o turbulenta.<sup>16</sup>

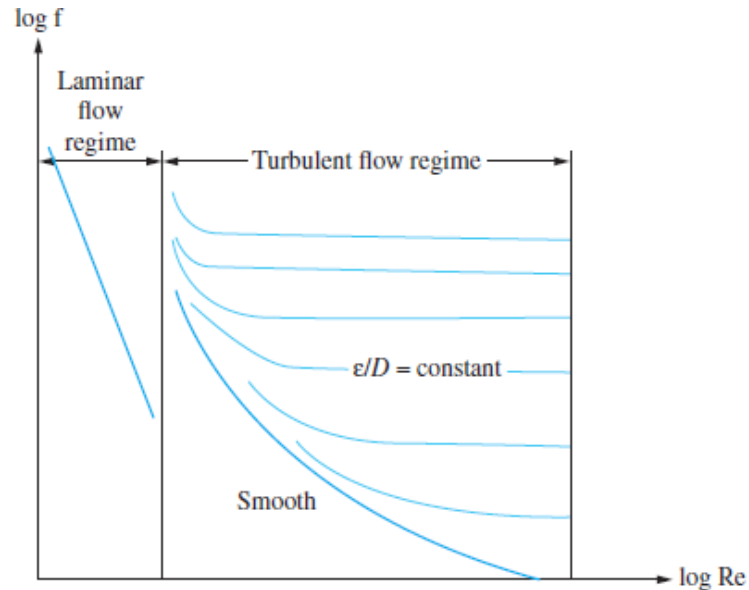
---

<sup>14</sup> ANAYA-DURAND, Alejandro Isaías, et al. Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías. Educación química, 2014, vol. 25, no 2, p. 128-134.

<sup>15</sup> HIDALGO. Op. Cit., p1.

<sup>16</sup> CENGEL, Y.; CIMBALA, J. Fundamentals and Application. McGraw-Hill, USA, 2006.

Figura 5. Diagrama de Moody para flujo laminar y turbulento



Fuente: CENGEL, Y.; CIMBALA, J. Fundamentals and Application. McGraw-Hill, USA, 2006.

### 2.2.5 Ecuación de Hazen -Williams

Introducida a principios de 1900, la ecuación de Hazen-Williams (HW) determina la pérdida de carga de la tubería para agua, que requiere un coeficiente de fricción único ( $c$ ). Básicamente, la ecuación de HW se desarrolló originalmente a partir del trabajo en los sistemas de distribución de agua donde los tamaños y las descargas de las tuberías son más grandes, con un número de Reynolds superior a 100.000. Aunque la ecuación de HW no es dimensionalmente homogénea y su rango de aplicabilidad es limitado, sigue siendo particularmente popular entre los usuarios debido a su simplicidad en los cálculos hidráulicos.

Existe una fuerte dependencia del coeficiente Hazen-Williams  $C$  en el diámetro de la tubería  $D$  por lo tanto, un valor único de  $C$  no se puede utilizar para todos los rangos de diámetros de tubería.<sup>17</sup>

A continuación, se muestra la ecuación de Hazen-Williams.

$$h = 10.674 * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} * L$$

Donde:

$Q =$  Caudal ( $m^3/s$ )

$C =$  Coeficiente de rugosidad (adimensional)

$D =$  Diámetro interno de la tubería (m)

$L =$  Longitud de la tubería (m)

---

<sup>17</sup> YILDIRIM, Gürol; ÖZGER, Mehmet. Neuro-fuzzy approach in estimating Hazen–Williams friction coefficient for small-diameter polyethylene pipes. *Advances in Engineering Software*, 2009, vol. 40, no 8, p. 593-599.

### **3. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO**

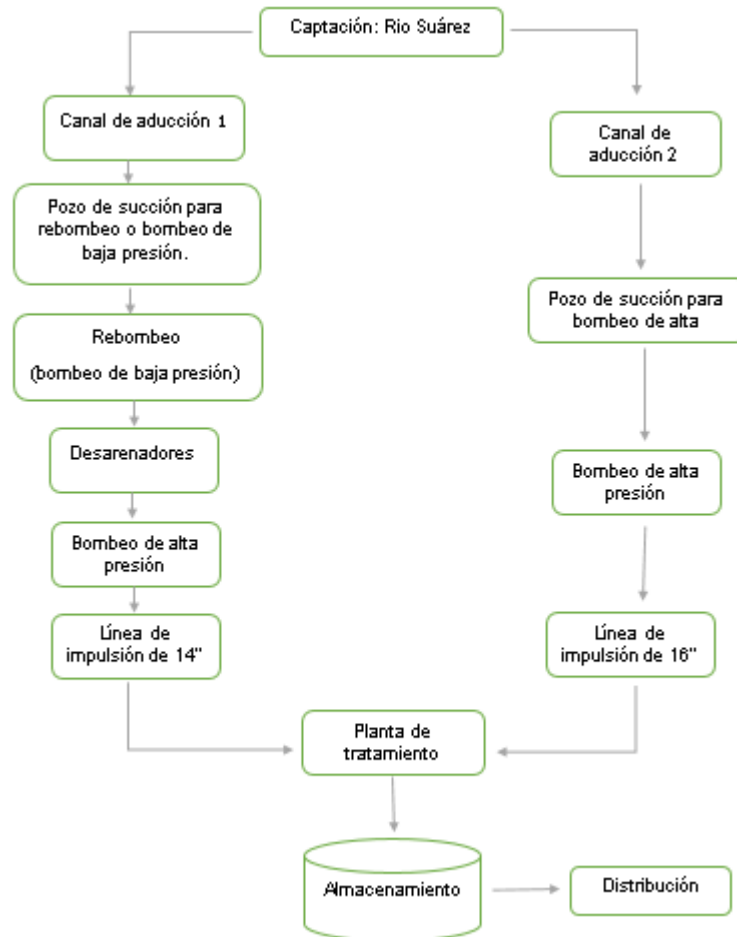
La estación de bombeo está constituida por elementos encargados de tomar y transportar el fluido a través de tuberías y bombas, así como de instrumentos de medición y control para la regulación de parámetros físicos tales como caudal y presión.

La captación se desarrolla por bombeo con sistema abierto, lo que implica que se deban realizar inspecciones rutinarias que permitan establecer posibles fuentes de contaminación de agua captada, tiene dos sistemas de captación de canal lateral con rejilla; el primero capta las aguas para el pozo de succión de la estación de bombeo de baja presión (rebombeo), el cual conduce las aguas a los desarenadores existentes (2 unidades) para luego enviarlas al bombeo de alta presión por una línea de impulsión de 14" hacia la planta de tratamiento Terebinto; el segundo, capta las aguas desde el canal de aducción y las conduce por la línea de impulsión de 16", cada línea de impulsión está adaptada con 3 unidades de bombeo conectadas en paralelo. Además de ello tres bombas sulzer con conexión en paralelo sirven de apoyo para garantizar un mayor caudal en cada canal de aducción.

Actualmente la línea de 14" no está en funcionamiento, mientras que la línea de 16" tiene en funcionamiento dos de sus unidades de bombeo pertenecientes a la bomba 2 y la bomba 3 (Ver Figura 6)

En la Figura 6 se presenta un esquema en el que se muestra la captación de agua en el Río Suárez, la llegada del líquido a la planta de tratamiento Terebinto y finalmente el almacenamiento y distribución del fluido.

Figura 6. Esquema de la estación de bombeo



Fuente: ALCANDÍA DE CHIQUINQUIRÁ. Plan de desarrollo 2012-2015. Chiquinquirá, 2012. P.52

La estación de bombeo de EMPOCHIQUINQUIRÁ cuenta con un área de 500 metros cuadrados, en donde se encuentran los diferentes equipos de bombeo.

En el Anexo B se muestra el plano de distribución de los componentes existentes en la estación de bombeo, en el cual se subdivide la estación de bombeo en seis zonas.

- ZONA A: Captación del fluido.
- ZONA B: Línea de impulsión de 16 pulgadas.
- ZONA C: Rebombeo línea de 14 pulgadas.
- ZONA D: Desarenadores.
- ZONA E: Línea de impulsión de 14 pulgadas.
- ZONA F: Línea de 16 pulgadas.

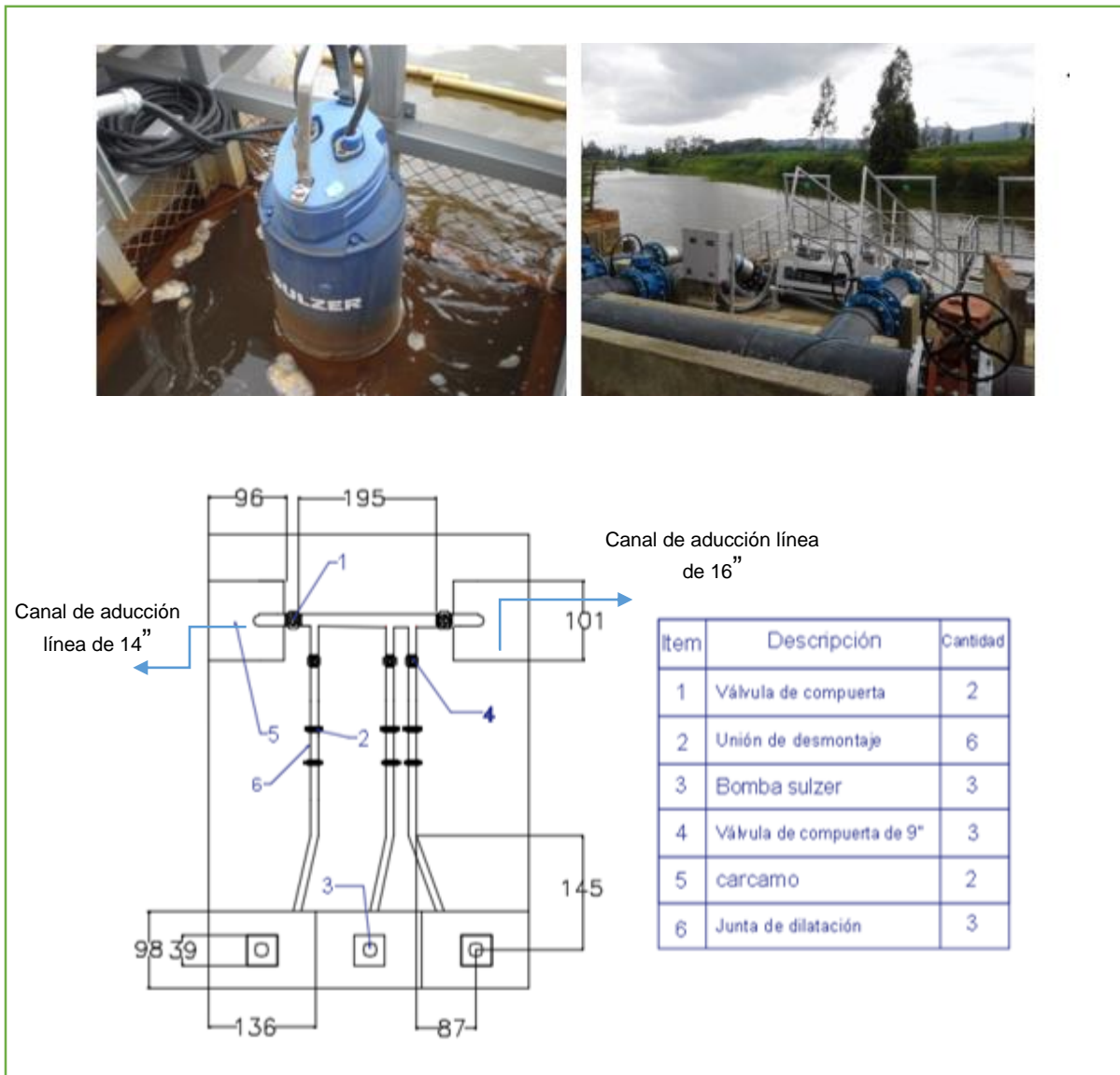
### **3.1.1 Zona A: captación del fluido**

La captación de agua se da de manera directa del río Suárez, por dos bocatomas de forma lateral que se encuentra a 91 cm de profundidad, conduciendo el fluido hasta los canales de aducción. Además, para suministrar un mayor caudal se recurre al uso de tres bombas de etapas múltiples de marca Sulzer de referencia ABS XFP, las tres bombas trabajan alternadamente por periodos de 8 horas y son las encargadas de llevar el fluido hasta los canales de aducción de 16 y 14 pulgadas.

En la figura 7 se observan las fotografías de la zona y además un plano en vista superior en donde se muestran cada una de las componentes de la zona, así como también las dimensiones de cada elemento, las dimensiones están dadas en pulgadas.

En el Anexo C se presenta una ficha técnica acerca del estado actual de cada elemento, y además en el Anexo D se muestra un plano descriptivo en donde se observan cada uno de los componentes existentes en la zona.

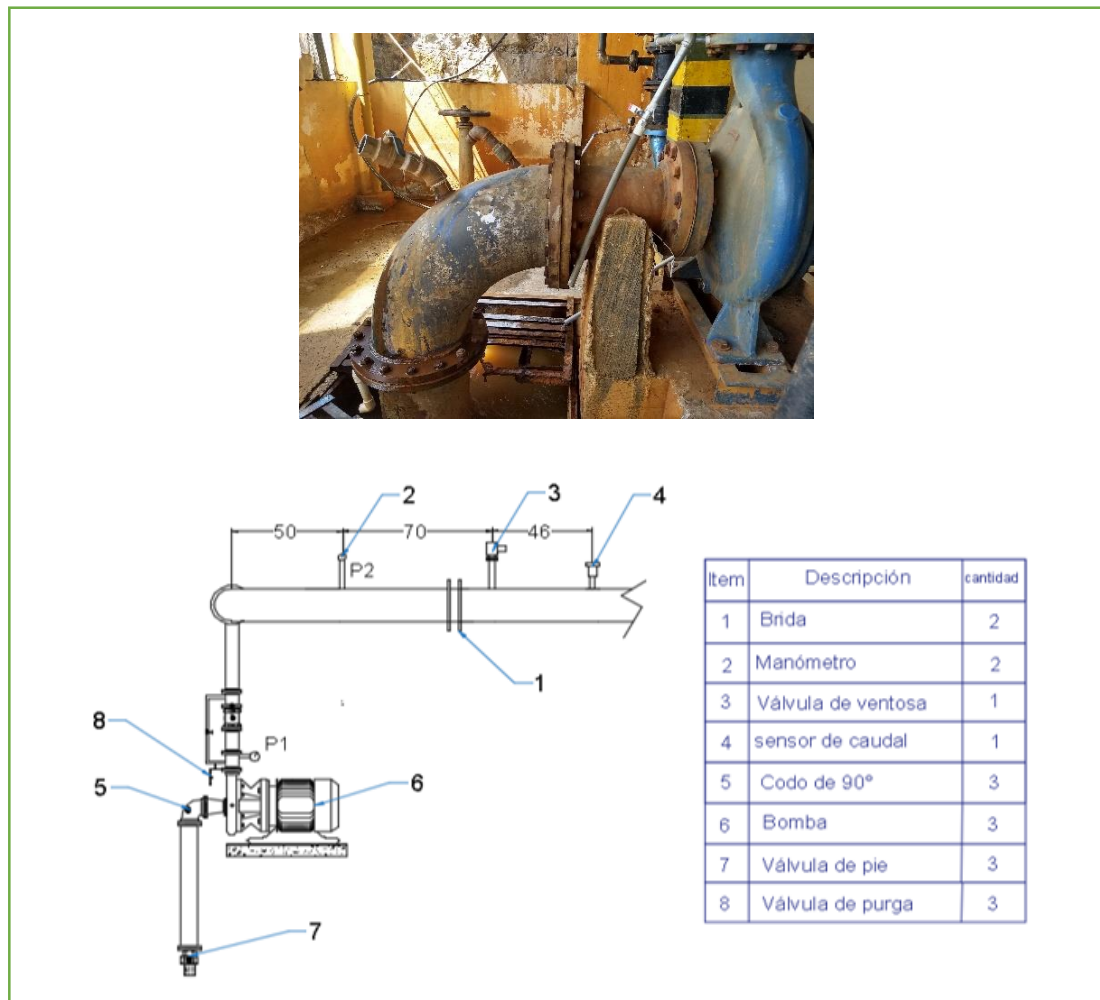
Figura 7. Sistema de captación



### 3.1.2 Zona B: línea de impulsión 16 pulgadas

La succión se da desde los depósitos internos a través de un canal que cuenta con unas rejillas de filtración que eliminan sedimentos de gran tamaño, pasando a unos túneles de 6 a 8 metros de profundidad, que proveen constantemente de agua a las motobombas. Las bombas ejercen una succión negativa de aproximadamente 3 metros, en la Figura 8 se observa la fotografía y esquema de succión de la bomba 2.

Figura 8. Succión en la bomba de la línea de 16"



En las tablas 4,5 y 6 se presenta la información de las características de cada una de las bombas ubicadas en esta zona.

- Motobomba N°1. Bomba marca sterling, modelo NOWA 150500.

Tabla 1. Características de la motobomba N°1

<b>MOTOBOMBA N°1</b>	
<b>DATOS DE LA BOMBA</b>	
MARCA	Sterling
MODELO	NOWA 150500
NÚMERO DE SERIE	CO-0212-J08
DIÁMETRO DEL IMPULSOR	514 mm
DIÁMETRO DE SUCCIÓN	8 In
DIÁMETRO DE DESCARGA	6 In
TIPO DE FLUIDO	Agua
<b>DATOS DEL MOTOR</b>	
MARCA	Western Electric
MODELO	1D315L2
POTENCIA NOMINAL	275 HP
VELOCIDAD NOMINAL	1780 RPM
VOLTAJE NOMINAL	220/440 VAC
CORRIENTE NOMINAL	630/315 A
FACTOR DE POTENCIA NOMINAL	0,9.
EFICIENCIA NOMINAL	95%.

- Motobomba N°2. Bomba marca sterling, modelo NOWA 150500.

Tabla 2. Características de la motobomba N°2

MOTOBOMBA N°2	
---------------	--

DATOS DE LA BOMBA	
MARCA	Sterling
MODELO	NOWA 150500
NÚMERO DE SERIE	CO-0212-J08
DIÁMETRO DEL IMPULSOR	514 mm
DIÁMETRO DE SUCCIÓN	8 In
DIÁMETRO DE DESCARGA	6 In
TIPO DE FLUIDO	Agua

DATOS DEL MOTOR	
MARCA	Western Electric
MODELO	1D315L2
POTENCIA NOMINAL	275 HP
VELOCIDAD NOMINAL	1780 RPM
VOLTAJE NOMINAL	220/440 VAC
CORRIENTE NOMINAL	630/315 A
FACTOR DE POTENCIA NOMINAL	0,9.
EFICIENCIA NOMINAL	95%.

- Motobomba N°3. Bomba marca sterling, modelo NOWA 150500.

Tabla 3. Características de la motobomba N°3

MOTOBOMBA N°3	
---------------	--

DATOS DE LA BOMBA	
MARCA	Sterling
MODELO	NOWA 150500
DIÁMETRO DEL IMPULSOR	514 mm
DIÁMETRO DE SUCCIÓN	8 In
DIÁMETRO DE DESCARGA	6 In
TIPO DE FLUIDO	Agua

DATOS DEL MOTOR	
MARCA	US Electric Motor
MODELO	1D315L2
POTENCIA NOMINAL	250 HP
VELOCIDAD NOMINAL	1780 RPM
EFICIENCIA NOMINAL	94,50%
FACTOR DE POTENCIA NOMINAL	0,88.
FACTOR DE SERVICIO	1,15.

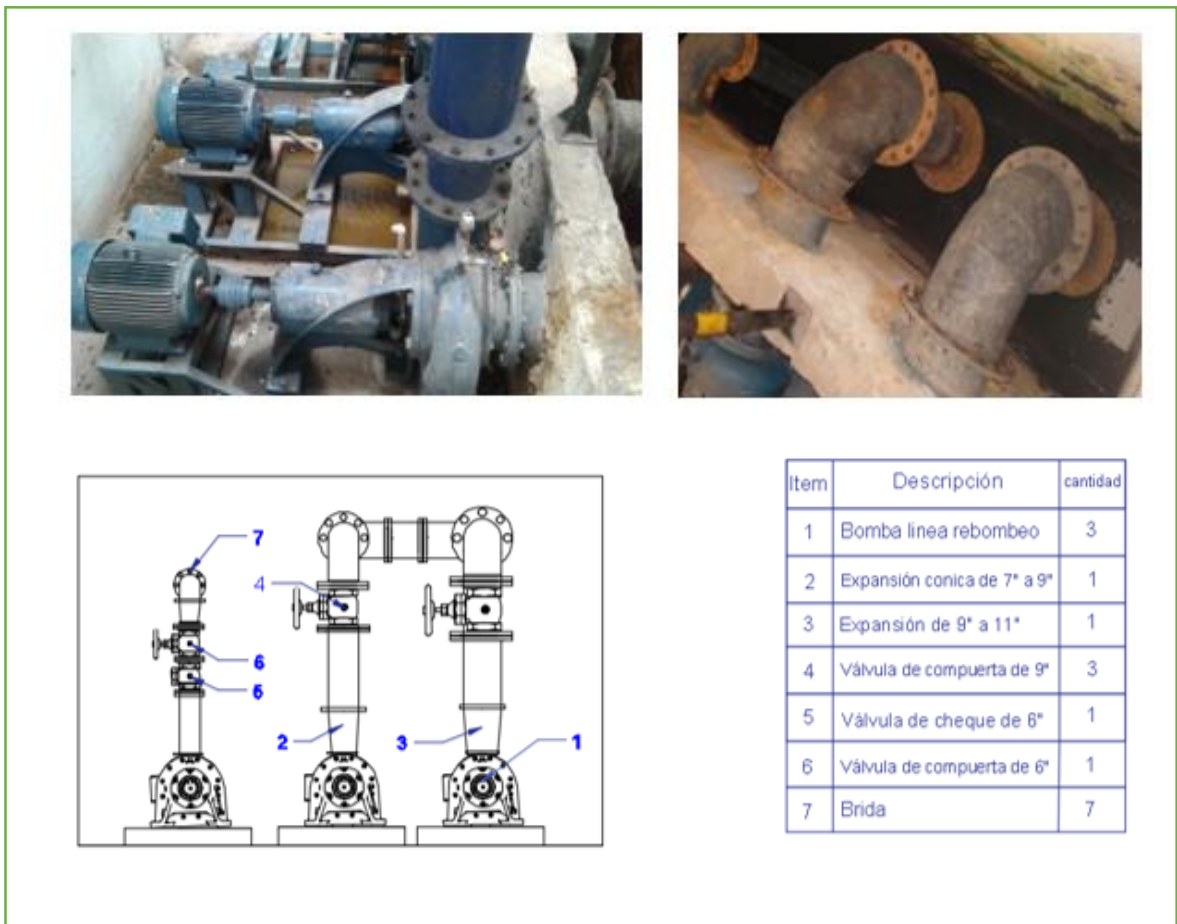
En el Anexo E se presenta una ficha técnica acerca del estado actual de cada elemento, y además en el Anexo F se muestra un plano descriptivo en donde se observan cada uno de los componentes existentes en la zona.

### 3.1.3 Zona C: rebombeo línea de 14 pulgadas

Desde el canal de aducción de la línea de 14" se dirige el fluido hasta el pozo de succión de bombeo de baja presión o también denominado pozo de rebombeo, el

rebombeo conduce el fluido hasta dos desarenadores ubicados en la entrada de la estación, la zona de baja presión está compuesta por 2 bombas conectadas en paralelo que van dirigidas al desarenador N°1 y una bomba conectada al desarenador N°2. (Ver Figura 9)

Figura 9. Zona de rebombeo



### Rebombeo hacia el Desarenador N°1

- Motobomba N°1. Bomba marca KSB Hidromac, modelo ETA 250/29.
- Motobomba N°2. Bomba marca KSB Hidromac, modelo ETA 250/29.

## **Rebombeo hacia el Desarenador N°2**

- Motobomba N°3. Bomba marca WORTHINGTON, modelo 6 CNE 104.

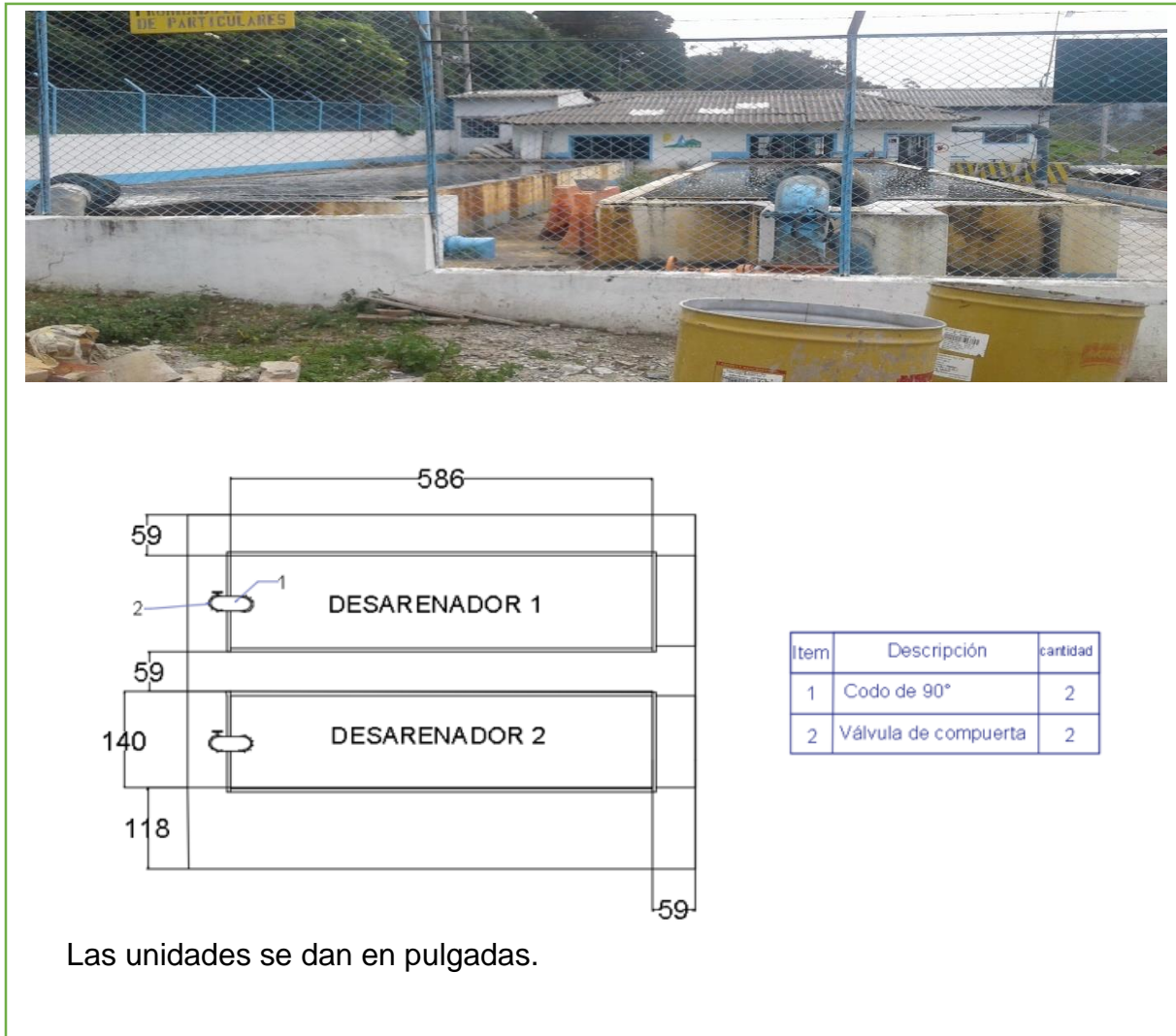
En el Anexo G se presenta una ficha técnica acerca del estado actual de cada elemento, y además en el Anexo H se muestra un plano descriptivo en donde se observan cada uno de los componentes existentes en la zona.

### **3.1.4 Zona D: desarenadores**

En la planta de bombeo existen dos desarenadores que trabajan por gravedad con el agua proveniente del rebombeo. Solamente el agua de la línea de impulsión de 14" pasa por esta etapa. Las dimensiones de los dos tanques son 14.90 m de largo, 3.57m de ancho y una profundidad útil de 1.25 m. Además, los desarenadores sirven de pozo de succión para el bombeo de alta presión de la línea de 14 pulgadas, en la Figura 10 se observa la fotografía y el plano de los desarenadores.

En el Anexo I se presenta una ficha técnica acerca del estado actual de cada elemento, y además en el Anexo J se muestra con mayor detalle un plano descriptivo en donde se observan cada uno de los componentes existentes en la zona.

Figura 10. Desarenadores



### 3.1.5 Zona E: línea de impulsión de 14 pulgadas

Después del proceso de desarenado, tres bombas de alta presión impulsan el agua cruda por la línea de impulsión de 14" hacia la planta Terebinto, esta línea de aducción tiene una longitud de 2511 m, se encuentra construida en "American Pipe" material que está constituido en acero recubierto en mortero reforzado, cuenta, además, con válvulas de ventosa y válvulas de purga.

- Motobomba N°1. bomba marca sterling, modelo BEW 125/3.

Tabla 4. Características de la motobomba N°1

MOTOBOMBA N°1	
---------------	--

DATOS DE LA BOMBA	
MARCA	Sterling
MODELO	BEW 125/3
DÍAMETRO DEL IMPULSOR	295 mm
DÍAMETRO DE SUCCIÓN	6 In
DÍAMETRO DE DESCARGA	5 In
TIPO DE FLUIDO	Agua
CAUDA NOMINAL	187 m <sup>3</sup> /h
ALTURA DINÁMICA TOTAL NOMINAL	120 m.c.a

DATOS DEL MOTOR	
MARCA	Loher Sohne
MODELO	DC61-4G
POTENCIA NOMINAL	93 KW
VELOCIDAD NOMINAL	1755 RPM
VOLTAJE NOMINAL	220/380 VAC
CORRIENTE NOMINAL	308/178 A
EFICIENCIA NOMINAL	93%.

- Motobomba N°2. bomba marca Hidromac, modelo WKL 125/3.

Tabla 5. Características de la motobomba N°2

MOTOBOMBA N°2	
---------------	--

DATOS DE LA BOMBA	
MARCA	Hidromac
MODELO	WKL 125/3
DIÁMETRO DEL IMPULSOR	295 mm
DIÁMETRO DE SUCCIÓN	6 In
DIÁMETRO DE DESCARGA	5 In
TIPO DE FLUIDO	Agua
CAUDA NOMINAL	
ALTURA DINÁMICA TOTAL NOMINAL	

DATOS DEL MOTOR	
MARCA	Loher Sohne
MODELO	DC61-4G
POTENCIA NOMINAL	93 KW
VELOCIDAD NOMINAL	1755 RPM
VOLTAJE NOMINAL	220/380 VAC
CORRIENTE NOMINAL	308/178 A
EFICIENCIA NOMINAL	93%.

- Motobomba N°3. bomba marca sterling, modelo BEW 125/3.

Tabla 6. Características de la motobomba N°3

<b>MOTOBOMBA N°3</b>	
----------------------	--

<b>DATOS DE LA BOMBA</b>	
MARCA	Sterling
MODELO	BEW 125/3
DIÁMETRO DEL IMPULSOR	295 mm
DIÁMETRO DE SUCCION	6 In
DIÁMETRO DE DESCARGA	5 In
TIPO DE FLUIDO	Agua
CAUDAL NOMINAL	187 m <sup>3</sup> /h
ALTURA DINÁMICA TOTAL NOMINAL	120 m.c.a

<b>DATOS DEL MOTOR</b>	
MARCA	Loher Sohne
MODELO	DC61-4G
POTENCIA NOMINAL	93 KW
VELOCIDAD NOMINAL	1755 RPM
VOLTAJE NOMINAL	220/380 VAC
CORRIENTE NOMINAL	308/178 A
EFICIENCIA NOMINAL	93%.

En el Anexo K se presenta una ficha técnica acerca del estado actual de cada elemento, y además en el Anexo L se muestra un plano descriptivo en donde se observan cada uno de los componentes existentes en la zona.

### 3.1.6 Zona F: línea de 16 pulgadas

Esta línea tiene una longitud de 2500 m y se encuentra construida en “American Pipe”, material que está constituido en acero recubierto en mortero reforzado la cual, cuenta, además, con un manómetro, una válvula de ventosa y un sensor utilizado para la medición del caudal. En la Figura 11 se puede observar cada una de las componentes respectivamente.

En el Anexo M se presenta una ficha técnica acerca del estado actual de cada elemento, y además en el Anexo N se muestra un plano descriptivo en donde se observan cada uno de los componentes existentes en la zona,

Figura 11. Manómetro, válvula de ventosa y sensor



Figura 12. Válvula de alivio



La estación cuenta con una válvula de alivio ubicada en un costado de la zona F, este tipo de válvulas se utilizan ocasionalmente para atenuar cierto tipo de solicitudes transitorias que se originan debido al golpe de ariete. (Ver Figura 12).

### **3.2 NORMAS DE SEGURIDAD DENTRO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO**

Según el Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico (RAS-2000). La estación debe contar con una señalización visual clara en toda el área, indicando zonas de peligro de alta tensión, salidas de emergencia, localización de extintores, áreas de tránsito restringido y demás elementos y actividades que sea necesario resaltar por su peligro potencial o porque resultan importantes en la prevención de accidentes. La señalización debe cumplir con la norma técnica NTC 1461; la señales contra incendio deben considerar las normas técnicas NTC 193, NTC 1867. (RAS 2000 B.11.3).<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá DC, 2000. il.(RAS 2000, Título B). P.189

Comparando los aspectos de seguridad planteados por la Ras y otras normas colombianas, con los existentes en la estación de bombeo, se puede observar que en algunos aspectos se está cumpliendo con la norma a cabalidad pero que en algunos casos hay falencias en algunos puntos importantes.

Se inspeccionó que la estación de bombeo no cumple con la señalización de protección ya que en áreas cercanas a los motores y bombas se encuentra en mal estado o no están demarcadas, (Ver Figura 13). Además de la no existencia de señales de evacuación y emergencia, elementos de protección personal y escasez de señales de riesgo eléctrico especificadas en la norma técnica para estas instalaciones.

Figura 13. Estado de señalización dentro de la estación de bombeo



### **3.3 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO TEREINTO**

Para potabilizar el agua cruda que viene por las líneas de impulsión de 14” y 16”, Chiquinquirá cuenta con dos plantas de tratamiento convencionales, las cuales, en conjunto, constituyen la planta potabilizadora Terebinto, en la Figura 14 se muestra

un esquema general de los procesos realizados durante la potabilización. La primera es la planta antigua que fue construida en el año 1928 y de la que se desconoce su caudal de diseño; la segunda, llamada planta nueva, fue construida entre los años 1981 y 1983 con una capacidad para tratar un caudal inicial de 124 l/s. Las dos plantas funcionan 24 horas al día, (Ver Anexo A), Actualmente la planta antigua trata un caudal constante de 40 l/s y la planta nueva trata un caudal variable que depende de las condiciones de bombeo. El caudal máximo de tratamiento de la planta nueva registrado en el año 2011 fue de 100 l/s aproximadamente y actualmente esta planta trata un caudal de 55 l/s; la planta de tratamiento abastece 10886 usuarios.<sup>19</sup>

La planta de tratamiento comienza su funcionamiento con la llegada de las líneas de 14 y 16 pulgadas provenientes de la estación de bombeo las cuales descargan en la torre de aireación, la torre de aireación está compuesta por cinco módulos como se observa en la Figura 16 al interior de cada módulo existen filtros pall ring encargados de absorber el contenido de hierro presente en el agua, posterior a este proceso el agua pasa a dos vertederos uno de forma triangular para la planta antigua y otro rectangular para la planta nueva. La floculación se da por medio de una agitación lenta con la ayuda de algunos floculantes tales como PAC Y aluminio insoluble, en la planta antigua así mismo este proceso se hace de manera consecutiva en diferentes tanques donde se va formando la partícula de Floc para la planta nueva. Luego del proceso de floculación las partículas formadas caen por acción de gravedad en la planta nueva y antigua; en la planta nueva estas partículas son atrapadas por paneles tipo colmena.

El proceso de filtración se lleva a cabo en la planta nueva, en la cual existen unos filtros de diferentes tamaños de gravas tales como arenas finas, zeolita y antracita.

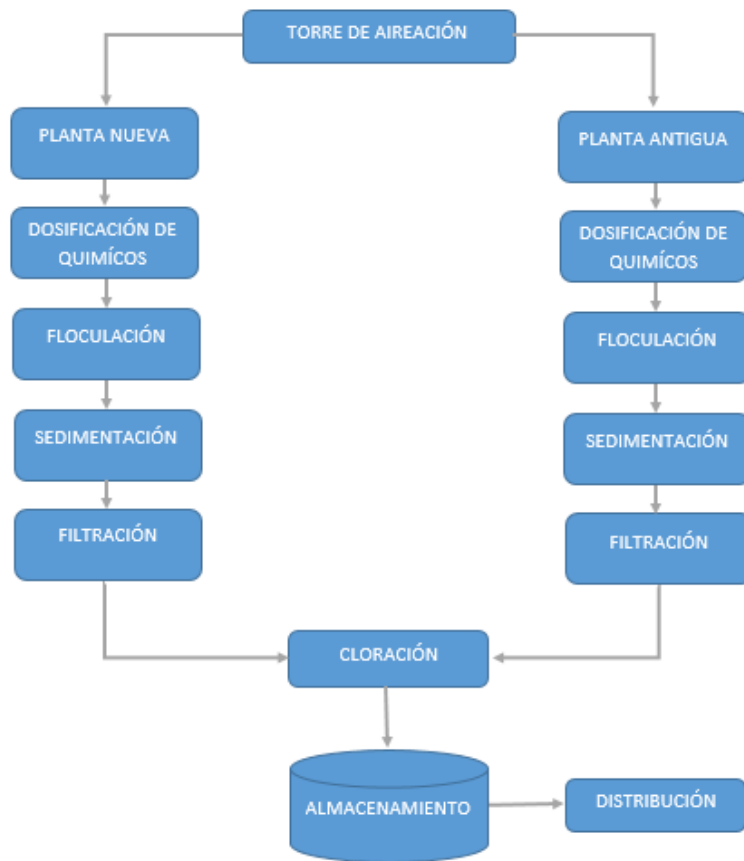
---

<sup>19</sup> ALCANDÍA DE CHIQUINQUIRÁ. Plan de desarrollo 2012-2015. Chiquinquirá, 2012. P.53

Luego del proceso de filtración de cada planta, el agua es conducida al tanque de almacenamiento principal y al tanque de contacto ubicado en la planta nueva, el tanque principal está construido en mampostería, de sección circular y cuenta con una capacidad de 1200 m<sup>3</sup> , el tanque de contacto está construido en concreto reforzado es de sección rectangular y cuenta con una capacidad de 800 m<sup>3</sup> A partir de estos tanques salen las tres líneas de conducción principales que abastecen al 100% del municipio. Con las pérdidas que actualmente se manejan en Chiquinquirá y los consumos de la población los tanques no alcanzan a llenarse, afectando el funcionamiento general del sistema, el tiempo de llenado del tanque sin suministro es aproximadamente 4 horas.

Para complementar el sistema, el municipio cuenta con dos tanques adicionales de almacenamiento, que son el tanque apallares que tiene una capacidad de 1000 m<sup>3</sup>, además del tanque “20 de julio” que tiene una capacidad de 725 m<sup>3</sup>.

Figura 14. Esquema de la planta de tratamiento



Fuente: EMPRESA INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE CHIQUINQUIRÁ ESP. Manual de operaciones de mantenimiento del sistema de acueducto del municipio de Chiquinquirá. Chiquinquirá, 2011. P.22

### 3.3.1 Torre de aireación

Es el proceso el cual el agua cruda se pone en contacto con el aire por medio de una torre de aireación, con el fin de:

- Transferir oxígeno al agua y aumentar con ello el oxígeno disuelto.
- Disminuir la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- Disminuir la concentración de sulfuro de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{S}$ )

- Remover el metano (CH<sub>4</sub>).
- Oxidar hierro (Fe) y manganeso (Mn).
- Remover compuestos orgánicos volátiles(COV), productores de olores y Sabores provenientes normalmente de aguas o acuíferos subterráneos.

La torre de aireación presente en la planta de tratamiento del municipio de Chiquinquirá está compuesta por cinco módulos, (Ver Figura 16). Anteriormente cada módulo estaba relleno con carbón coque el cual tenía como función absorber los minerales, actualmente se utiliza un sistema llamado pall ring, es lo más avanzado en nuevas tecnologías para absorción de hierro en las torres de aireación para sistemas de abastecimiento de agua. Al pasar el agua proveniente de las líneas de suministro por la torre de aireación, al contacto con los anillos pall ring el hierro se precipita en partículas insolubles, las cuales se adhieren a los anillos pall ring, permitiendo que el agua pase a la planta de tratamiento libre de hierro, en la Figura 15 se puede observar un pall ring utilizado en la torre de aireación.

Figura 15. Anillos pall ring



Figura 16. Torre de aireación



### 3.3.2 Dosificación de químicos

El flujo de agua ingresa por un canal rectangular a la planta de tratamiento nueva y por un canal triangular a la planta de tratamiento antigua, en estos canales se adiciona el coagulante (sulfato de aluminio) y el ayudante de floculación (PAC ) coagulante inorgánico a base de sal polimérica de policloruro de aluminio. Tiene bajo peso molecular y mediana basicidad. Se aplica principalmente en procesos de clarificación de agua cruda y potable. Para la planta antigua se realiza la mezcla rápida mediante un mezclador tipo paletas y para la planta nueva se realiza mediante la canaleta Parshall.<sup>20</sup>

<sup>20</sup> EMPRESA INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE SERVICIOS PUBLICOS DE CHIQUINQUIRA ESP. Manual de operaciones de mantenimiento del sistema de acueducto del municipio de Chiquinquirá. Chiquinquirá, 2011. P.24

### 3.3.3 Vertederos

Para realizar la medida del caudal se utilizan dos vertederos existentes en la planta de tratamiento, (Ver Figura 17), el vertedero de la planta nueva tiene las siguientes características.

- El vertedero es de forma rectangular, con contracciones laterales, construido en concreto reforzado, en el cual desemboca las tuberías provenientes de las líneas de 16" y 14".
- El vertedero tiene un foso de recibo del agua de 50 cm/70 cm.
- la longitud total del vertedero es de 4 metros y un ancho de 69.5 cm.
- El vertedero tiene dos contracciones laterales de 10.5 cm y 9 cm, dando un ancho de cresta de 50 cm.
- La capacidad máxima de medición de caudal del vertedero es de 230 l/s.

La fórmula utilizada en la planta de tratamiento para obtener el valor del caudal es la Formula de J.B. Francis.

Figura 17. Vertedero planta antigua y planta nueva



### 3.3.4 Floculación

Es un proceso químico el cual mediante la adición de sustancias llamadas floculantes, se aglutinan las partículas presentes en el agua facilitando su decantación.

Para la planta antigua se realiza una agitación lenta del agua con los coagulantes con el fin de formar el floc, mientras que para la planta nueva este proceso se realiza mediante una serie de celdas en las cuales se forma el floc.<sup>3</sup>

Figura 18. Floculación planta antigua y planta nueva



### 3.3.5 Sedimentación

Proceso en el cual las partículas se sedimentan ya sea por gravedad o por ayuda de paneles tipo Colmena.

Figura 19. Sedimentación planta antigua y planta nueva



### 3.3.6 Filtración

Es un proceso en el cual el agua pasa por un medio poroso o filtro donde se retienen las partículas sólidas que no fueron retenidas en el proceso de sedimentación, los filtros están compuestos por varias capas de arenas, gravas, zeolitas y antracita que van desde una capa de grava, seguida de una capa de arena, zeolita y finalmente una capa antracita.<sup>3</sup>

Figura 20. Lecho del filtro



### **3.3.7 Cloración**

Es el proceso de desinfección del agua por medio de cloro o compuestos clorados, estos compuestos se agregan en el tanque general y en el tanque de contacto en la planta de tratamiento nueva.<sup>3</sup>

## **3.4 TIPOS DE CONEXIONES EXISTENTES**

En la estación de bombeo encontramos dos líneas de transporte de líquido anteriormente descritas, las cuales son independientes una de la otra, a continuación, se describe la conexión de cada una de las líneas.

### **3.4.1 Línea de 14 pulgadas**

Esta línea tiene dos fases para el transporte de líquido, la fase de rebombeo y la fase de alta presión, en el Anexo F se puede observar la fase de rebombeo en donde dos de sus bombas se encuentran conectadas para trabajar en paralelo y una separada, las bombas conectadas en paralelo funcionan alternadamente por periodos de 8 horas, actualmente ninguna de estas bombas está en funcionamiento.

En la etapa de alta presión encontramos tres bombas las cuales se conectan en paralelo (Ver Figura 21), estas funcionaban alternadamente. Actualmente se encuentran desconectadas.

. Figura 21. Cuarto de bombeo para la línea de 14 pulgadas.

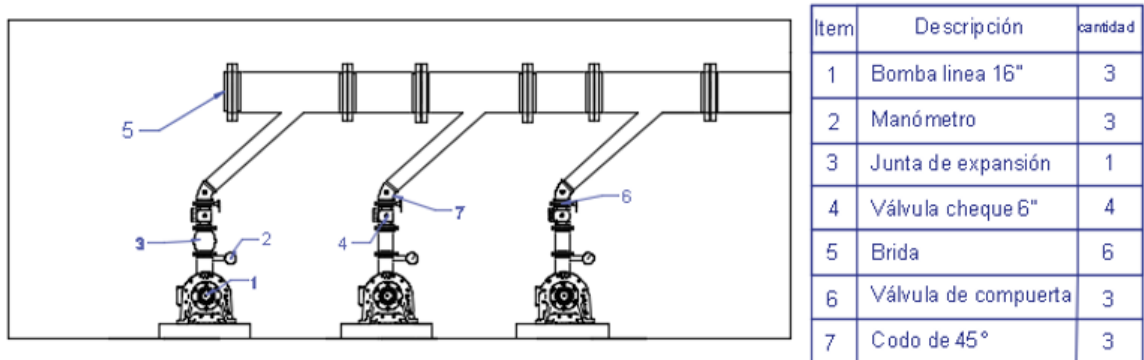


### 3.4.2 Línea de 16 pulgadas

Esta línea se compone de tres bombas de alta presión, conectadas en paralelo (Ver Figura 22), que funcionaban alternadamente cada 8 horas.

Actualmente las bombas 2 y 3 son las únicas en funcionamiento, debido a ello las bombas están trabajando por periodos de 12 horas.

Figura 22. Tipo de conexión para la línea de 16 pulgadas.



### **3.5 RECOPIACIÓN DE DATOS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO**

Para llevar a cabo el análisis de la estación de bombeo se recopiló información suministrada por la planta tales como, lectura de manómetros y medidores de caudal.

El levantamiento de datos se obtuvo desde el 11 de noviembre hasta el 17 de noviembre, llevando a la generación de la Tabla 7, donde se recopiló parte de la información obtenida. Además durante ese periodo de tiempo se realizó la inspección y acotación de las diferentes líneas y elementos presentes en la estación, los datos de las dimensiones y distribución de los equipos se observan en los Anexos B,D,F,H,J y L, y la información de la inspección integral se observan en los Anexos C,E,G,I,K y M.

Para la toma de datos en cuanto a caudales y presiones se realizó la medida en cada relevo, debido a que las dos bombas que actualmente funcionan trabajan alternadamente, obteniendo así los datos diarios de presiones y caudales de las bombas 2 y 3.

Tabla 7. Tabla de datos

CRONOGRAMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
BOMBA 2					
DÍA	HORA	P1 (Válvula cerrada)	P1(Válvula abierta)	P2 (PSI)	Q (L/S)
1	11:00 a. m.	189	172	154	95
2	11:00 a. m.	191	175	156	94
3		NO BOMBEO	NO BOMBEO	NO BOMBEO	NO BOMBEO
4		NO BOMBEO	NO BOMBEO	NO BOMBEO	NO BOMBEO
5	11:00 a. m.	191	170	155	95
6	11:00 a. m.	190	176	158	93
7	11:00 a. m.	189	170	155	95
		190	172,6	155,6	94,4

BOMBA 3					
DÍA	HORA	P1 (Válvula cerrada)	P1(Válvula abierta)	P2 (PSI)	Q (L/S)
1	2:00 p. m.	192	175	158	97
2	2:00 p. m.	191	173	155	98
3		NO BOMBEO	NO BOMBEO	NO BOMBEO	NO BOMBEO
4		NO BOMBEO	NO BOMBEO	NO BOMBEO	NO BOMBEO
5	2:00 p. m.	191	174	154	98
6	2:00 p. m.	198	170	152	100
7	2:00 p. m.	198	173	158	98
		194	173	155,4	98,2

### 3.5.1 Medición del caudal

La estación de bombeo actualmente cuenta con un macromedidor el cual es el encargado de medir el caudal, el sensor MS 3770 1A1U del macromedidor se encuentra ubicado sobre la línea de 16 pulgadas como se muestra en la Figura 23, y la lectura de caudal está ubicada debajo de la estructura en donde se encuentra la tubería de 16" como se puede apreciar en la Figura 24.

Figura 23. Sensor MS 3770 1A1U



Durante la toma de datos de caudal se pudo apreciar que el macromedidor tenía una lectura por debajo de los valores medidos en la planta de tratamiento, por tanto, se optó por tomar la medición de la planta de tratamiento, Los datos de caudales obtenidos se encuentran registrados en la Tabla 7.

Figura 24. Lectura del macromedidor estación de bombeo



### 3.5.2 Medición de presiones

La medición de las presiones se realizó por medio de dos manómetros, el primero de ellos está ubicado a la salida de cada una de las bombas, (Ver anexo F) y el segundo ubicado al comienzo de la línea de 16 pulgadas como se muestra en la Figura 25.

Figura 25. Manómetro ubicado al inicio de la tubería de 16 pulgadas.



Dentro de los datos se encuentran dos datos diferentes, uno correspondiente a la presión de funcionamiento durante el periodo de régimen de cada una de las bombas y otro dato de presión obtenido al realizar el cierre de las válvulas de compuerta para la bomba dos y de cremallera para la bomba tres, en el Anexo F se muestra la ubicación de cada una de las válvulas y los manómetros.

### 3.5.3 Ubicación geográfica de la estación de bombeo y la planta Terebinto

Como se ha mencionado anteriormente la estación de bombeo se encuentra ubicada en la vereda la Balsa y la planta de terebinto se encuentra ubicada en la vereda córdoba, las dos veredas se encuentran ubicadas a un costado de la ciudad

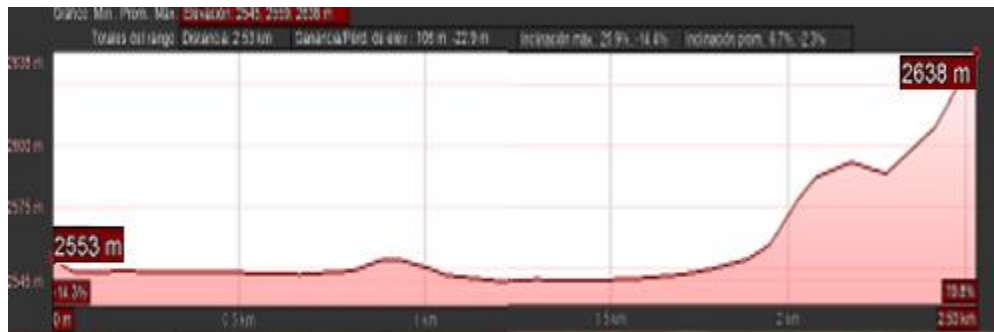
de Chiquinquirá (Ver Figura 26), de acuerdo a google earth la altura entre la planta de terebinto y la estación de bombeo fue de 85 m, en la Figura 27 se observa el perfil de elevación entre la estación de bombeo y la planta de tratamiento.

Figura 26. Ubicación geográfica de la estación de bombeo



Fuente: Google Earth

Figura 27. Perfil de elevación



Fuente: (Google Earth)

## 4. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1 CAUDALES DE DISEÑO SEGÚN REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (RAS 2000)

Inicialmente se calculará el caudal correspondiente al año en el cual se realizó el último censo (2015), con el fin de comparar dichos caudales con los caudales medidos actualmente en la estación.

Para la obtención de ese valor la Ras tiene en cuenta los siguientes parámetros,

- Dotación neta por habitante
- Porcentaje de pérdidas
- Dotación bruta
- Caudal medio diario (Qmd)
- Caudal máximo diario (QMD)

#### 4.1.1 Dotación neta por habitante.

Corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor o de un habitante, dependiendo de la forma de proyección de la demanda de agua, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto, de acuerdo a la Ras 2000 tabla B.2.2 la dotación neta por suscriptor es de 130 (L/Hab\*dia)<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá DC, 2000. il.(RAS 2000, Título B). P.33-34

#### 4.1.2 Porcentaje de pérdidas

De acuerdo a la Ras 2000 tabla B.2.4 el porcentaje de pérdidas para un nivel de complejidad medio alto es del 25%.<sup>22</sup>

#### 4.1.3 Dotación bruta

Cantidad de agua que el sistema realmente demanda, considerando pérdidas técnicas y comerciales que se presentan

$$Dotación\ bruta = \frac{Dotación\ neta}{1 - \%perdidas} = \frac{L}{hab * dia}$$

$$Dotación\ bruta = \frac{130}{1 - 25\%} = 173.33 \frac{L}{hab * dia}$$

#### 4.1.4 Caudal medio diario (Qmd)

Es el caudal medio calculado para la población, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un periodo de un año. (Ras 2000 título B (2.7.1))<sup>23</sup>

Para el cálculo del caudal medio diario se tomó el valor de la población existente en el año 2015, esto con el objetivo de observar cual debería ser el caudal ideal en el

---

<sup>22</sup> Ibid. P.36

<sup>23</sup>Ibid. P.37

año actual, y así pues llegar a una comparación con los datos obtenidos en la medición.

$$Q_{md} = \frac{\text{Dotacion bruta} * \text{población actual}}{86400} = L / s$$

$$Q_{md} = \frac{173.33 * 56.061}{86400} = 112.46 L/s$$

#### 4.1.5 Caudal máximo diario (QMD)

Corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un periodo de un año. (Ras 2000 título B (2.7.2)).

$$QMD = Q_{md} * k_1 \quad \text{Donde } K_1 = 1,2 \text{ según ras 2000 título B Tabla B.2.5}$$

$$QMD = 112.46 * 1.20 = 135 \frac{L}{s}$$

Según el último censo realizado en la ciudad de Chiquinquirá, la ciudad debería recibir un caudal diario de  $135 \frac{L}{s}$ , de los cuales  $12 \frac{L}{s}$  son suministrados por un pozo profundo, y el restante deberían ser suministrados por la estación de bombeo.

#### 4.2 PROYECCIÓN POBLACIONAL

El municipio de Chiquinquirá, en el año 2015 contaba con una población de 65.274, de los cuales 56.061 estaban en la zona urbana. De acuerdo con información del

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en la Tabla 8 se muestra la información poblacional en distintos años, esto con el fin de plantear alternativas de solución basadas en el crecimiento poblacional.

Tabla 8. Información poblacional en distintos años

Año	Población
2005	46.827
2012	53.525
2015	56.061

El nivel de complejidad es medio alto dado que su población en el año 2015 en la zona urbana es de 56.061, de acuerdo al Ras 2000 título A (3.1) “dice que el nivel de complejidad del sistema medio alto, tiene una población urbana entre 12.501 a 60.000.”<sup>24</sup> Por ende, el periodo de diseño es de 25 años (Ras 2000 título B (8.5.1)).<sup>25</sup>

Para el cálculo de la proyección futura, la normativa Ras propone ciertos métodos de cálculo los cuales serán nombrados a continuación.

#### 4.2.1 Método aritmético

Supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. En la Tabla 9 se encuentran la proyección futura. (Ras 2000 título B (2.2.4))<sup>26</sup>

$$P_f = P_{ultimo\ censo} + K * (t_f - t_{uc}) \quad \text{Donde } k \quad K = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{t_{uc} - t_{ci}}$$

<sup>24</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá DC, 2000. il.(RAS 2000, Titulo A). P.9

<sup>25</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá DC, 2000. il.(RAS 2000, Titulo B). P.180

<sup>26</sup> Ibid. P.29

Donde:

$P_f$  = población (hab) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población

$P_{uc}$  = población correspondiente al último año sensado con información.

$P_{ci}$  = población correspondiente al censo inicial con información.

$T_{uc}$  = año correspondiente al último año censado.

$T_{ci}$  = año correspondiente al censo inicial con información.

$T_f$  = es el año al cual se quiere proyectar la información.

Tabla 9. Proyección futura (método aritmético)

Método aritmético			
año	población	k	Pf
2005	46827	923,4	79146
2012	53525	845,333333	77194,3333
2015	56061		
		Promedio	78170,1667

#### 4.2.2 Método Geométrico

Es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. En la Tabla 10 se encuentran la proyección futura. (Ras 2000 título B (2.2.4))<sup>2</sup>

$$P_f = P_{ultimo\ censo} * (1 + r)^{(t_f - t_{uc})} \quad r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{t_{uc} - t_{ci}}} - 1$$

$r$  = tasa de crecimiento anual en forma decimal .

Nota: las demás variables se definen igual que para el método anterior

Tabla 10. Proyección futura (método geométrico)

Método Geométrico			
año	población	k	Pf
2005	46827	0,01816098	87916,8467
2012	53525	0,01555018	82450,9271
2015	56061		
		Promedio	85183,8869

### 4.2.3 Método exponencial

La utilización de este método Requiere conocer por los menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. En la Tabla 11 se encuentran la proyección futura. (Ras 2000 título B (2.2.4))

$$P_f = P_{ci} * e^{(k*(t_f-t_{ci}))}$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada para de censos. <sup>2</sup>

$$K = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{t_{cp} - t_{ca}}$$

Donde:

$P_{cp}$  = Población del censo posterior

$P_{ca}$  = Población del censo

$T_{cp}$  = Año correspondiente al censo posterior

$T_{ca}$  = Año correspondiente al censo

Tabla 11. Proyección futura (método Exponencial)

método Exponencial			
año	población	k	Pf
2005	46827	0,01909841	85688,2906
2012	53525	0,01543052	
2015	56061		
	K prom	0,01726446	

#### 4.3 CAUDALES DE DISEÑO CORRESPONDIENTES A LA POBLACIÓN PROYECTADA

- **Dotación neta por habitante:** De acuerdo a la Ras 2000 tabla B.2.2 la dotación neta por suscriptor es de 130 (L/Hab\*día)<sup>27</sup>
- **Porcentaje de pérdidas:** De acuerdo a la Ras 2000 tabla B.2.4 el porcentaje de pérdidas para un nivel de complejidad medio alto es del 25%.<sup>28</sup>
- **Dotación bruta:**

$$\text{Dotación bruta} = \frac{\text{Dotación neta}}{1 - \% \text{pérdidas}} = \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}$$

$$\text{Dotación bruta} = \frac{130}{1 - 25\%} = 173.33 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}$$

<sup>27</sup> Ibid. P.33-34

<sup>28</sup> Ibid. P.36

- **Caudal medio diario (Qmd):**

Para el cálculo del caudal medio diario se tomó el valor máximo de la población proyectada para dar una mejor solución a las necesidades de los usuarios.

$$Qmd = \frac{\text{Dotación bruta} * \text{población proyectada}}{86400} = L / s$$

$$Qmd = \frac{173.33 * 85688,2906}{86400} = 171.9L/s$$

- **Caudal máximo diario (QMD):**

$QMD = Qmd * k1$  Donde K1= 1,2 según ras 2000 título B Tabla B.2.5

$$QMD = 171.9 * 1.20 = 206.28L/s$$

**Nota:** La capacidad de la estación debe ser el caudal máximo diario, si el bombeo es de 24 horas según la Ras 2000 título B (8.5.2).

#### 4.4 VERIFICACIÓN DEL NPSHd Y NPSHr

Para descartar problemas relacionados con cavitación en las bombas en el desarrollo del proyecto se realizó los cálculos del NPSHd. Para realizar el cálculo de la presión atmosférica se utilizó la siguiente formula:

$$P_{atm} = P_o * e^{-\left(\frac{g*M*h}{R_o*T_o}\right)}^{29}$$

Donde:

$P_{atm}$  = presión atmosférica

$P_o$  = presión atmosférica estándar al nivel del mar

$T_o$  = Temperatura estándar a nivel del mar

$g$  = aceleración gravitacional

$M$  = masa molar del aire

$R_o$  = constante universal de los gases

$h$  = altura de la ciudad sobre el nivel del mar

$$P_{atm} = 75 \text{ Kpa}$$

Para la bomba dos se tiene:

$$D_6 = 6 \text{ (pulgadas)}$$

$$Q = 94,4 \frac{L}{S}$$

$$v = 0,000001235 \frac{m^2}{s} \text{ Para el agua a } 12^\circ\text{c}$$

$$Re = \frac{V_e * D_6}{v}$$

$$V_e = 5,175 \frac{m}{s}$$

$$Re = 638485$$

---

<sup>29</sup> QUICK, A. Derivation relating altitude to air pressure, Portland State Aerospace Society, 2004

Para el cálculo del factor de fricción se utilizó la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log\left(\frac{\varepsilon}{3.71 * D}\right) + \frac{2.5}{Re * \sqrt{f}}$$

$$\text{Donde } \varepsilon = 4,572 * 10^{-5} (m).^{30}$$

$$f = 0,01602$$

$$hf = f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$l = 3$$

$$hf = 0,4305 (m)$$

$$hs = 3 (m)$$

$$h_{sp} = \left(\frac{P_{atm}}{\gamma}\right) * 1000$$

$$\gamma = 9805 \frac{N}{m^3}$$

$$h_{sp} = 7,649 (m)$$

$$h_{vp} = \left(\frac{P_{evap}}{\gamma}\right) * 1000$$

$$h_{vp} = 0,1431 (m)$$

$$NPSHd = h_{sp} - hs - h_{vp} - hf$$

$$NPSHd = 4,075 (m)$$

Para la bomba tres se tienen:

$$D_6 = 6 (\text{pulgadas})$$

$$Q = 98,2 \frac{L}{S}$$

---

<sup>30</sup> LOOMIS, A; WESTARWAY, C. Cameron hydraulic data. Woodeliff Lake, NJ: Sixteenth Edition, 1984. p.3-5

$$v = 0,000001235 \frac{m^2}{s} \text{ Para el agua a } 12^\circ\text{c}$$

$$Re = \frac{Ve_6 * D_6}{v}$$

$$Ve = 5,383 \frac{m}{s}$$

$$Re = 664186$$

Para el cálculo del factor de fricción se utilizó la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \frac{\epsilon}{3.71 * D} + \frac{2.5}{Re * \sqrt{f}}$$

Donde  $\epsilon = 4,572 * 10^{-5}(m)$ .<sup>31</sup>

$$f = 0,01598$$

$$hf = f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$l = 3(m)$$

$$hf = 0,4648(m)$$

$$hs = 3 (m)$$

$$h_{sp} = \left( \frac{P_{atm}}{\gamma} \right) * 1000$$

$$\gamma = 9805 \frac{N}{m^3}$$

$$h_{sp} = 7,649 (m)$$

$$h_{vp} = \left( \frac{P_{evap}}{\gamma} \right) * 1000$$

$$h_{vp} = 0,1431(m)$$

---

<sup>31</sup> Ibid, p.3-5.

$$NPSHd = h_{sp} - h_s - h_{vp} - hf$$

$$NPSHd = 4,041(m)$$

#### 4.5 FALLAS EN LA LÍNEA DE 14 PULGADAS

La línea de 14 pulgadas actualmente se encuentra fuera de servicio debido a la falta de mantenimiento preventivo realizado sobre las bombas presentes en la zona B y E, sumándose a la falta de mantenimiento cabe destacar que esta línea presenta un periodo de funcionamiento mayor de 40 años con lo cual la ha llevado a un desgaste progresivo de sus elementos.

La línea de 14 pulgadas fue afectada también por factores climáticos tales como el fenómeno del niño, en el cual se produjo una reducción del caudal del río Suarez en el año 2015, llevando a que las bombas succionaran lodo, y así pues aumentando el desgaste de sus componentes. En la Figura 28 se muestra el estado actual de las bombas de 14 pulgadas.

Figura 28. Estado actual de las bombas de 14 pulgadas



## 4.6 CÁLCULOS DE LA LÍNEA DE 16 PULGADAS

Para la línea de 16 pulgadas no se encontró documentación acerca de sus parámetros de diseño, por tal circunstancia su diagnóstico se hará con base al Reglamento (RAS) para determinar parámetros iniciales de diseño, a su vez se aplicará la ecuación de Hazen William, para determinar el funcionamiento actual de la línea de 16 pulgadas.

### 4.6.1 Cálculos teóricos

Para los cálculos iniciales de la bomba dos y tres se partirá de un caudal de  $123 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$  el cual se obtuvo mediante los cálculos de demanda actual basados en la norma RAS, los componentes de la instalación de las dos bombas no varían significativamente tal como se observa en el Anexo F y debido a que las dos bombas presentan características mecánicas e hidráulicas semejantes, por lo cual se realizó un solo cálculo de las características teóricas.

$$Q = 123 \frac{l}{s}$$

$$l_{16} = 2500 \text{ m}$$

$$D_{16} = 16''$$

$$\nu = 0,000001235 \frac{m^2}{s} \text{ Para el agua a } 12^\circ\text{c}$$

$$V_{16} = 0,95 \frac{m}{s}$$

$$A_{16} = 0,1297 \text{ m}^2$$

$$Re = \frac{V_{16} * D_{16}}{\nu}$$

$Re = 311891$  Este valor es  $> 4000$  por tanto el flujo se encuentra en régimen turbulento por tanto se aplicó la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \frac{\varepsilon}{3.71 * D_{16}} + \frac{2.5}{Re * \sqrt{f}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0001125$$

Donde  $\varepsilon = 0,000045$ .<sup>32</sup>

$f = 0,01546$  Para la longitud de 2500 metros.

$f = 0,0156$  Verificación mediante el diagrama de Moody

$$h = f * \frac{l_{16}}{D_{16}} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h = 4,357 (m)$$

### **Tubería de 6 pulgadas**

La tubería de 6 pulgadas correspondiente a la descarga presenta una longitud total de 3 metros y la tubería de 8 pulgadas correspondiente a la succión tiene una longitud de 3 metros, por lo cual se consideró que las pérdidas en las tuberías a lo largo de estos tramos serán despreciadas, en comparación con las obtenidas en la tubería de 16 pulgadas y 2500 metros.

Los accesorios que involucran perdidas menores dentro de la línea de 16 pulgadas se muestran en Tabla 12, su ubicación y distribución se muestran en el Anexo N, las constantes K se tomaron del catálogo Crane.<sup>33</sup>

Se tomaron como referencia los valores de los coeficientes de fricción correspondientes a la tubería de 6 y 16 pulgadas, basados en recomendaciones del

---

<sup>32</sup> Ibid, p.3-5.

<sup>33</sup> CRANE, División de ingeniería. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México: Mc.Graw Hill. 1981.

catálogo Crane para la tubería de 6 y 16 pulgadas y de acero comercial, los valores obtenidos se muestran en la Tabla 12.

Para la expansión de 5" a 6"

$$K_6 = \frac{2.6 * \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) * (1 - \beta^2)^{(2)}}{e^4} \quad \text{con } \beta = \frac{d_1}{d_2} \quad \text{y } \theta = 7.15^\circ$$

$$K_6 = 0.03138$$

Tabla 12. Coeficientes de pérdidas en accesorios

ELEMENTO	DIÁMETRO	FACTOR DE FRICCIÓN	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Válvula de compuerta	6"	0,015	k1=8*ft
válvula check	6"	0,015	k2=600*ft
Codo de 45°	6"	0,015	k3=16*ft
T de 45°	6"	0,015	k4=32*ft
Codo de 90°	16"	0,013	K5=30*ft
expansión 5" a 6"	-	-	K6=0,3138

$$Kt_6 = \sum k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_6$$

$$Kt_6 = 9.87$$

$$ha_6 = \frac{Kt_6 * V_6^2}{2 * g}$$

$$ha_6 = 22.8 \text{ m}$$

$$ha_{16} = \frac{Kt_{16} * V_{16}^2}{2 * g}$$

$$ha_{16} = 0.01787 \text{ m}$$

Donde:

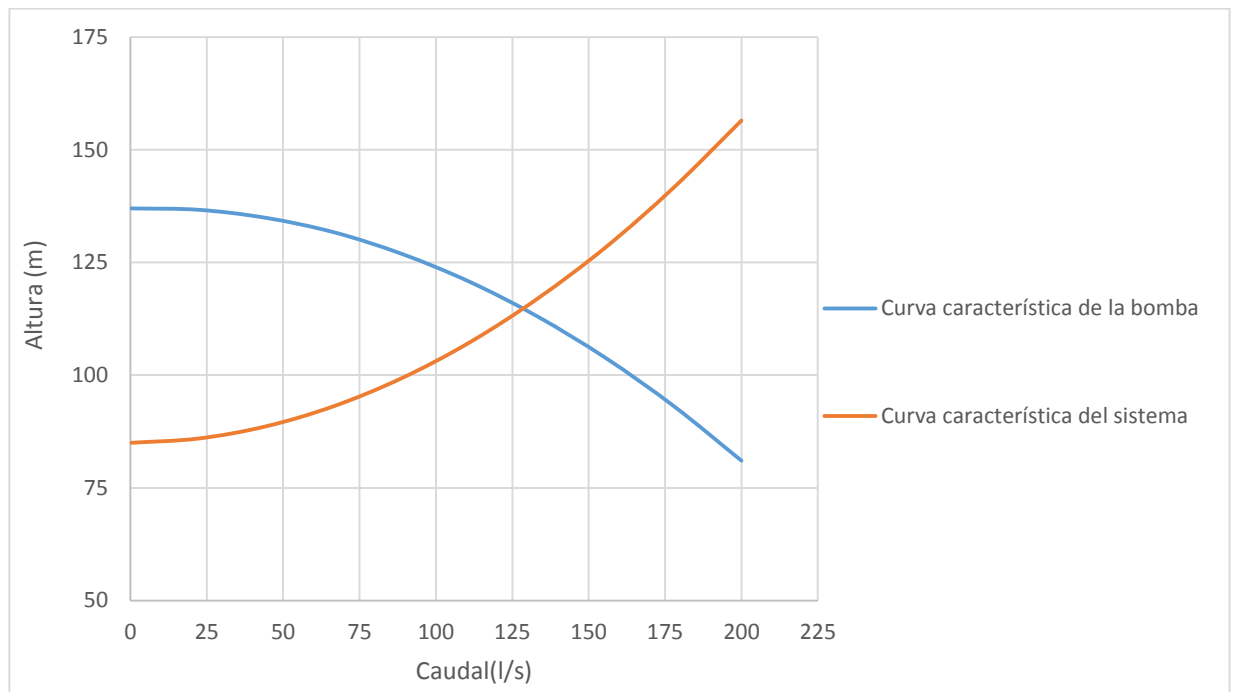
$Kt_6$  = coeficiente de perdidas en los accesorios de la tubería de 6 pulgadas.

$ha_6$  = pérdidas menores en los accesorios de la tubería 6 pulgadas

$ha_{16}$  = pérdidas menores en los accesorios de la tubería de 16 pulgadas

Mediante la variación de caudales que van desde los  $Q = 0 \frac{l}{s}$  hasta los  $200 \frac{l}{s}$  se obtiene la curva característica del sistema, la cual al interceptarse con la curva característica de la bomba (Ver Anexo O) se encuentra el punto de operación teórico del sistema, el punto de operación teórico se puede observar en la Figura 29.

Figura 29. Punto de operación teórico de las bombas 2 y 3



#### 4.6.2 Cálculo real de la línea de 16 pulgadas, con la bomba dos en funcionamiento

Debido a que los equipos y accesorios de la línea de 16 pulgadas presentan un periodo de funcionamiento mayor a 30 años, se utilizó la ecuación de Hazen-William para simular el nuevo factor de fricción debido al paso del tiempo en las tuberías y con la lectura de los manómetros uno y dos se obtuvieron las pérdidas menores en el primer tramo de tubería (Ver Anexo N).

Los datos de caudal y de presión corresponden a datos reales obtenidos durante la visita a la estación de bombeo y la información completa de estos se encuentra en la Tabla 7.

$$Q = 95 \frac{l}{s}$$

$$v = 0,000001235 \frac{m^2}{s} \text{ Para el agua a } 12^\circ\text{c}$$

$$P1 = 1192,79 \text{ Kpas}$$

$$P2 = 1075,58 \text{ Kpas}$$

$$D_{16} = 16 \text{ pulg}$$

$$D_6 = 6 \text{ pulg}$$

$$A_{16} = \frac{\pi * D_{16}^2}{4}$$

$$V_{16} = 0,7324 \frac{m}{s}$$

$$A_6 = \frac{\pi * D_6^2}{4}$$

$$Q = V_6 * A_6$$

$$V_6 = 5,208 \frac{m}{s}$$

$$\left( \frac{P1 - P2}{g * \rho} \right) * 1000 = ha_r$$

$$ha_{rm} = 11,95 \text{ m}$$

Donde:

$ha_{rm}$  = pérdidas por fricción desde el manómetro 1 hasta el manómetro 2

## Cálculo de pérdidas menores

Debido a que a la tubería donde se encuentran ubicados los accesorios presenta un periodo de uso superior a 30 años se calculó los nuevos factores de fricción  $f_{r_6}$  y  $f_{r_{16}}$ , diferente al recomendado por el manual Crane.

$$e_r = e_0 + \alpha * T.^{34}$$

Donde:

$e_0 =$  Rugosidad inicial

$\alpha =$  Coeficiente de proporcionalidad

$T =$  Tiempo en años

$e_r =$  Tiempo en años

Tabla 13. Rugosidad equivalente de tuberías comerciales.<sup>35</sup>

Clase de tubería	Rugosidad equivalente	
	Valor medio	Valor de diseño recomendado
Acero sin recubrimiento	0,028	0,04

$$e_0 = 0,04$$

$$\alpha = 0,025\left(\frac{mm}{años}\right)$$

<sup>34</sup> LAMONT, P. A. The reduction with age of the carrying capacity of pipelines. Inst. Wtr. Engrs, 1954.

<sup>35</sup> LAMONT, Peter A. Common pipe flow formulas compared with the theory of roughness. Journal (American Water Works Association), 1981, p. 274-280.

Este valor se tomó para aguas poco mineralizadas, no agresivas, poco contenido de minerales y de materia orgánica<sup>36</sup>, características similares a las del río Suárez.

$$T = 30 \text{ años}$$

$$e_r = 0,86$$

Entonces tenemos:

$$f_{r_6} = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{e_r}{3,7 * D_6} + \frac{5,74}{Re_6^{0,9}}\right)\right)^2}^{37}$$

$$f_{r_6} = 0,0318$$

$$f_{r_{16}} = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{e_r}{3,7 * D_{16}} + \frac{5,74}{Re_{16}^{0,9}}\right)\right)^2}$$

$$f_{r_{16}} = 0.0247$$

Para el cálculo de los coeficientes de pérdidas en los accesorios los datos fueron tomados de la Tabla 12, pero para este caso el factor de fricción para cada tramo de tubería cambio, debido al cambio del factor de fricción.

$$Kt_{r_6} = \sum k1 + k2 + k3 + k4 + k6$$

$$Kt_{r_6} = 21.17$$

$$ha_{r_6} = \frac{Kt_{r_6} * V_6^2}{2 * g}$$

$$ha_{r_6} = 29.27 \text{ m}$$

$$ha_{r_{16}} = \frac{Kt_{r_{16}} * V_{16}^2}{2 * g}$$

$$Kt_{r_{16}} = 0.741$$

---

<sup>36</sup> MÉNDEZ Op.cit, p.2.26.

<sup>37</sup> MÉNDEZ Op.cit, p.2.14.

$$ha_{r16} = 0.02026 \text{ m}$$

Donde:

$f_{r6}$  = factor de fricción real de la tubería de 6 pulgadas

$f_{r16}$  = factor de fricción real de la tubería de 16 pulgadas

$Kt_{r6}$  = Coeficiente de pérdidas reales de los accesorios en la tubería de 6 pulgadas

$ha_{r6}$  = pérdidas menores reales de los accesorios en la tubería de 6 pulgadas

$Kt_{r16}$  = Coeficiente de pérdidas reales de los accesorios en la tubería de 16 pulgadas

$ha_{r16}$  = pérdidas menores reales de los accesorios en la tubería de 16 pulgadas

$h_{r16}$  = pérdidas reales en la tubería de 16 pulgadas por Hazen – Williams

#### 4.6.2.1 Pérdidas reales por fricción a través de la tubería de 16 pulgadas

$$Q = 0,2787 * C * D_{16}^{2,63} * S^{0,54}$$

$C$  = Donde representa el coeficiente de rugosidad

Para determinar el coeficiente de Hazen-Williams se utilizó los siguientes valores, para tuberías de acero, recomendados por el manual de M-11, de la AWWA.<sup>38</sup>

Tuberías con un periodo de servicio relativamente extenso y cierto grado de deterioro y de formación de incrustaciones:

$$C = 130 + 0,16 * D_{16} \quad (D_{16}: \text{diámetro de la tubería en pulgadas})$$

$$c = 132,6$$

$$S = 0,001284$$

$$h_{r16} = S * l$$

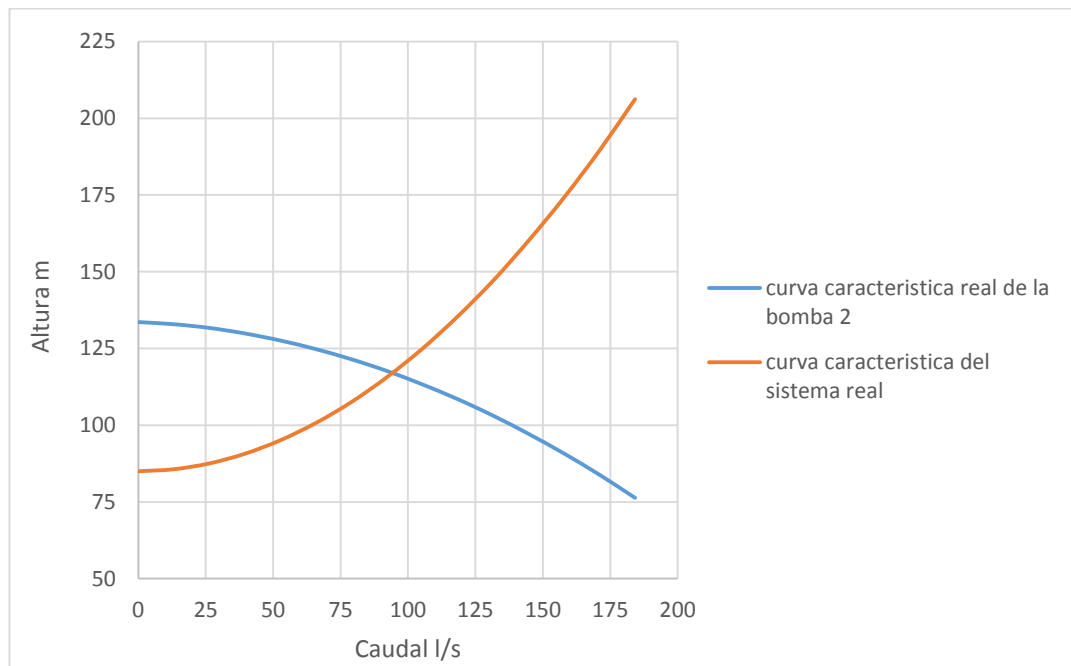
$$h_{r16} = 3,21 \text{ m}$$

---

<sup>38</sup> AWWA, Steel Pipe: Design and Installation, Manual M-11. Última revisión, 1988

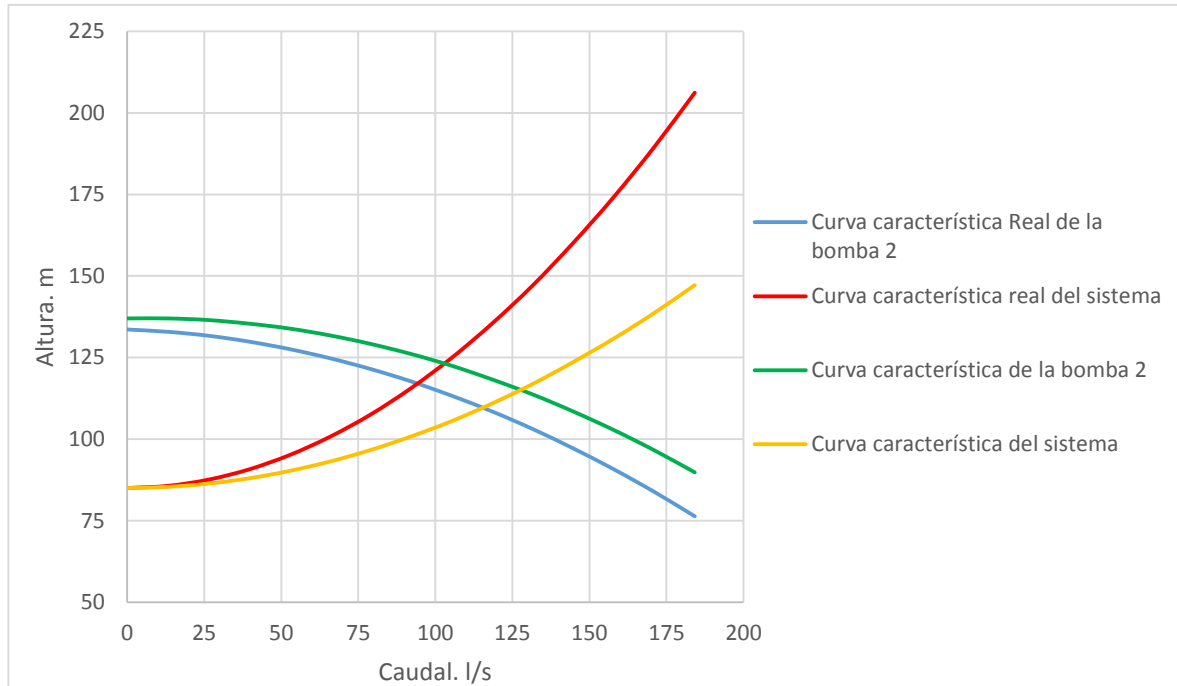
Para obtener la altura máxima generada por la bomba se realizó el cierre de la válvula de compuerta, con este punto y sabiendo el caudal y la presión de operación, se generó la curva característica real de la bomba como se muestra en la Figura 30, además en la Figura 30 se muestra el punto de operación real del sistema.

Figura 30. Punto de operación real de la bomba 2



**4.6.2.2 Comparación entre la curva real y teórica del sistema:** En la Figura 31 se muestra el resultado obtenido al simular el comportamiento real y teórico de la línea de 16 pulgadas, estando en funcionamiento activa la bomba 2. La Figura 31 muestra una visión general de lo que pasa actualmente en el sistema, para con ello plantear alternativas acordes a la realidad.

Figura 31. Comparación del compartimento real y teórico de la bomba 2



#### 4.6.3 Cálculo real de la línea de 16 pulgadas, con la bomba tres en funcionamiento

Como se muestra en la Tabla 7, durante la puesta en marcha de la bomba 3 los datos de caudal y presión variaron considerablemente por tanto se consideró pertinente realizar nuevamente la caracterización del comportamiento real de la bomba 3 en la línea de 16 pulgadas.

$$Q = 98,2 \frac{l}{s}$$

$$v = 0,000001235 \frac{m^2}{s} \text{ Para el agua a } 12^{\circ}c$$

$$P1 = 1192,79 Kpas$$

$$P2 = 1071,443 Kpas$$

$$D_{16} = 16 \text{ pulg}$$

$$D_6 = 6 \text{ pulg}$$

$$A_{16} = \frac{\pi * D_{16}^2}{4}$$

$$V_{16} = 0,757 \frac{m}{s}$$

$$A_6 = \frac{\pi * D_6^2}{4}$$

$$Q = V_6 * A_6$$

$$V_6 = 5,383 \frac{m}{s}$$

$$\left( \frac{P1 - P2}{g * \rho} \right) * 1000 = ha_{rm}$$

$$ha_{rm} = 12,38 \text{ m}$$

### Calculo de pérdidas menores

Para el cálculo de pérdidas menores los valores de los factores de fricción y coeficientes de pérdidas mostrados en la Tabla 12, son los mismos que los calculados anteriormente para la bomba 2, puesto que tales valores no dependen del caudal.

Los valores obtenidos para las perdidas menores son los siguientes:

$$ha_{r6} = \frac{Kt_{r6} * V_6^2}{2 * g}$$

$$ha_{r6} = 30.5 \text{ m}$$

$$ha_{r16} = \frac{Kt_{r16} * V_{16}^2}{2 * g}$$

$$ha_{r16} = 0.02164 \text{ m}$$

#### 4.6.3.1 Pérdidas reales por fricción a través de la tubería de 16 pulgadas

$$Q = 0,2787 * C * D_{16}^{2,63} * S^{0,54}$$

$C$  = Donde representa el coeficiente de rugosidad

Para determinar el coeficiente de Hazen-Williams se utilizó los siguientes valores, para tuberías de acero recomendados por el manual de M-11, de la AWWA.<sup>39</sup>

Tuberías con un periodo de servicio relativamente extenso y cierto grado de deterioro y de formación de incrustaciones:

$$C = 130 + 0,16 * D_{16} \quad (D_{16}: \text{diámetro de la tubería en pulgadas})$$

$$c = 132,6$$

$$S = 0,001365$$

$$h_{r16} = S * l$$

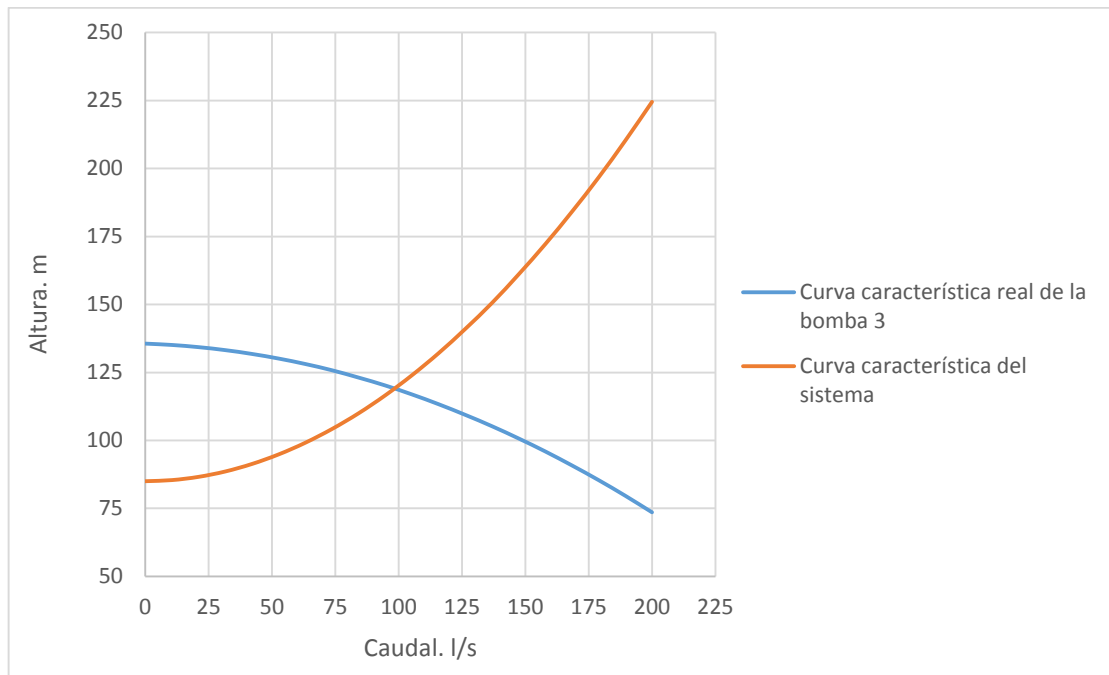
$$h_{r16} = 3,413 \text{ (m)}$$

Para obtener la altura máxima generada por la bomba se realizó el cierre de la válvula de compuerta, con este punto y sabiendo el caudal y la presión de operación, se generó la curva característica real de la bomba como se muestra en la Figura 32, además en la Figura 32 se muestra el punto de operación real del sistema.

---

<sup>39</sup> AWWA, Steel Pipe: Design and Installation, Manual M-11. Última revisión, 1988

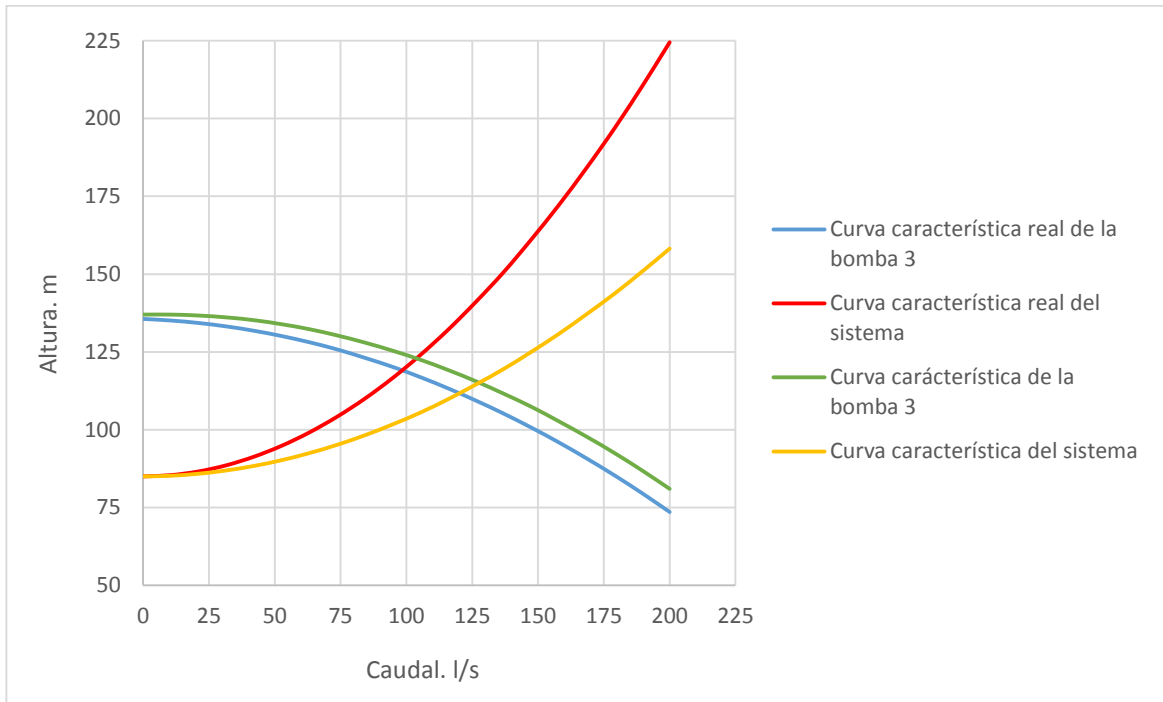
Figura 32. Punto de operación real de la bomba 3



**4.6.3.2 Comparación entre la curva real y teórica del sistema:** En la Figura 33 se muestra el resultado obtenido al simular el comportamiento real y teórico de la línea de 16 pulgadas, estando en funcionamiento activa la bomba 3.

La Figura 33 muestra una visión general de lo que pasa actualmente en el sistema, para con ello plantear alternativas acordes a la realidad.

Figura 33. Comparación del compartimento real y teórico de la bomba 3



## 5. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, se evidencian algunos resultados comparativos importantes, que permiten plantear una serie de recomendaciones y alternativas para mejorar y solucionar los problemas actuales y futuros, de acuerdo a las necesidades de demanda de la ciudad., basándose en la normativa técnica Ras, además del conocimiento ingenieril de nosotros como estudiantes de ingeniería mecánica.

### 5.1 DEMANDA DEL SISTEMA DE BOMBEO

Para el análisis de los datos obtenidos se realizó una comparación que se muestra en la Tabla 14, en la cual se encuentran anexados los valores reales de la estación ofrecidos por cada bomba y además se encuentran los valores de los parámetros de diseño recomendados por la norma RAS.

Tabla 14.Comparación de caudales.

	Caudales en l/s
<b>Bomba dos</b>	94,4
<b>Bomba tres</b>	98,2
<b>Caudal actual (RAS)</b>	135
<b>Caudal EB actual según (RAS)</b>	123
<b>Demanda futura</b>	206,28

En esta tabla se puede apreciar que la estación de bombeo no cumple con las recomendaciones propuestas por la RAS, debido a que los valores de los caudales que entregan las bombas están muy por debajo de los propuestos por la norma, estos resultados muestran un déficit actual de 27 l/s en el suministro de agua potable y un déficit proyectado de 98l/s para el año 2041.

## 5.2 FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

### 5.2.1 Cavitación

Durante la fase de inspección integral no se detectaron fenómenos físicos asociados a la cavitación tales como, ruidos y vibraciones en los sistemas de bombeo, sin embargo, se realizaron los cálculos pertinentes para descartar problemas de dicho fenómeno en las bombas.

Tabla 15. Comparación entre el NPSHd y NPSHr para las dos bombas

comparación NPSHd y NPSHr		
	NPSHd	NPSHr (este valor se la curva característica ver Anexo O)
Bomba 2	4,075	2,8
Bomba 3	4,041	3,1

En la Tabla 15 se observa que los valores obtenidos de NPSHd son superiores a los de NPSHr en las dos bombas, por tanto se cumple que  $NPSHd > NPSHr$ , cabe destacar que según el fabricante los valores deben cumplir con:  $NPSHd > NPSHr + 0.5m$ , por lo cual se deduce que las bombas no presentan cavitación.

### 5.2.2 Pérdidas en el sistema

Se evidenció que las mayores pérdidas de presión se dan en la válvula check, como se muestran en la Tabla 16. Los cálculos reales se basan en la edad actual del sistema, además que ningún accesorio se ha cambiado.

De acuerdo a estos cálculos se observa que las velocidades obtenidas en la tubería de descarga de 6 pulgadas son muy altas en comparación a lo recomendado por la normativa RAS, la cual sugiere que la velocidad en las tuberías de impulsión debe

estar entre 1.0 y 3.0 m/s<sup>40</sup> (Ver Tabla 18), estas altas velocidades en la línea de descarga generan una gran pérdida en el tramo de tubería de 6 pulgadas, como se observa en la Tabla 17.

Tabla 16. Comparación de las pérdidas en la válvula check

Pérdidas reales en la válvula checke(m)	Pérdidas teóricas en la válvula checke(m)
26,38	12,44

### 5.2.3 Instrumentos de medida

- Para evidenciar el funcionamiento correcto del manómetro ubicado en la línea de 16 pulgadas, se realizó la comparación entre la caída de presión desde el manómetro 1 hasta el manómetro 2, (Ver anexo N). En la Tabla 7 se puede apreciar que los valores correspondientes a la medición realizada el pasado 11 de noviembre dan como resultado un valor por debajo del valor teórico como se aprecia en la Tabla 17, por ende, presenta un error en su funcionamiento debido a dicha comparación.

Tabla 17. Comparación de las pérdidas en los accesorios

	Pérdidas menores manómetros (P1 Y P2) (m)	Pérdida menores reales en accesorios (m)	Pérdida menores teóricas en accesorios (m)
<b>Bomba 2</b>	11,95	29,27	14,04
<b>Bomba 3</b>	12,38	30,5	15

<sup>40</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá DC, 2000. il.(RAS 2000, Título B). P.184

- El macromedidor utilizado para tomar la lectura del caudal en la estación de bombeo esta desconfigurado, puesto que los valores arrojados durante la toma de datos están muy por debajo de los datos obtenidos en la planta de tratamiento, como se puede observar en la Figura 24.

## **6. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

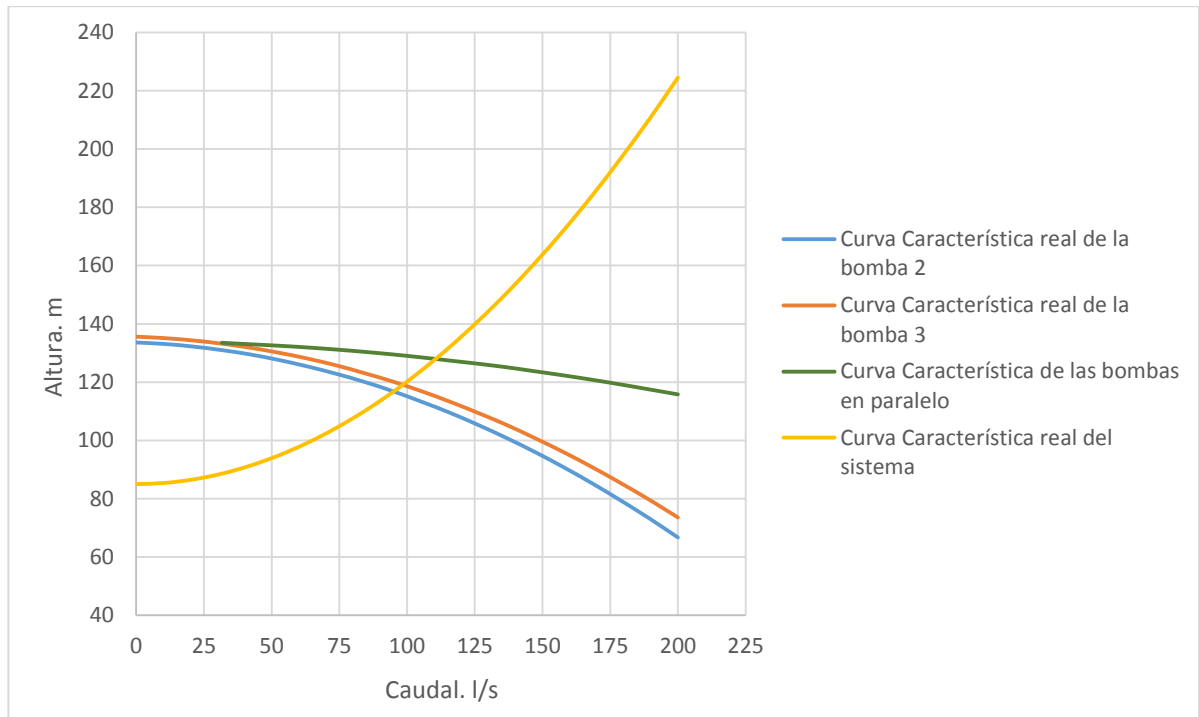
Durante el desarrollo del proyecto y una vez terminado el diagnóstico se evidencia que la estación de bombeo no supe con las necesidades exigidas por la norma RAS, para los habitantes que actualmente viven en el municipio de Chiquinquirá, por tanto, se sugerirán algunas alternativas para solucionar el problema de desabastecimiento.

### **6.1 ALTERNATIVAS PARA EL PROBLEMA DE ABASTECIMIENTO ACTUAL**

#### **6.1.1 Bombas en paralelo para el sistema actual**

Esta alternativa consiste en adquirir o reparar la bomba 1 (Ver Anexo F), para con ello poder realizar un sistema en paralelo de dos bombas, y así hacer el relevo entre las diferentes bombas, como lo sugiere la normativa RAS en su sección B.8.5.4.1. En la Figura 34 se muestra el comportamiento actual en paralelo de las dos bombas en funcionamiento, Además en la Tabla 18 se muestra una comparación de velocidades y puntos de operación entre la normativa Ras y la solución de la alternativa.

Figura 34. Funcionamiento en paralelo

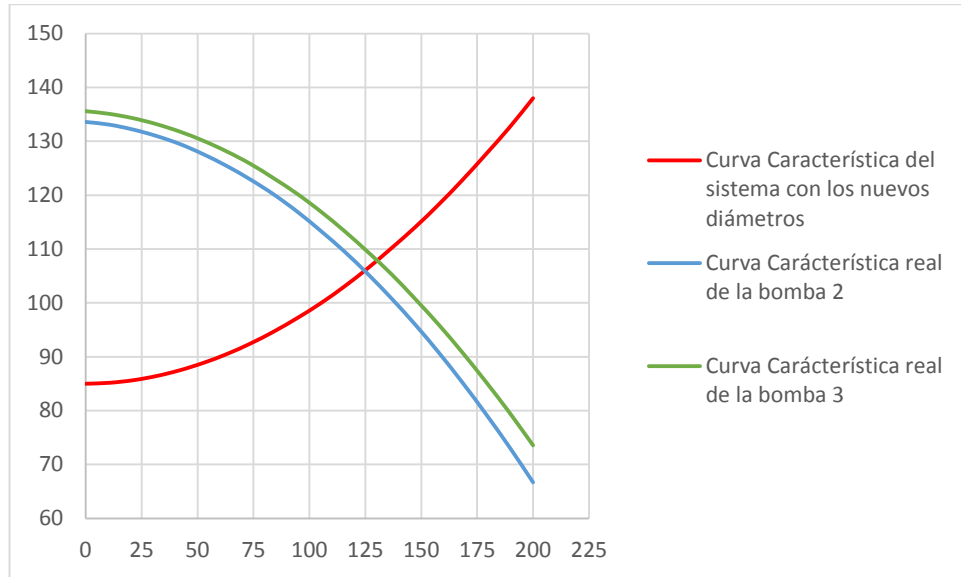


### 6.1.2 Modificación de los tramos de succión e impulsión

Esta alternativa consta de un cambio en los diámetros de los tramos actuales de succión y descarga de 8 y 6 pulgadas respectivamente, esta alternativa surge del análisis realizado anteriormente a las pérdidas en estos tramos tubería, donde las velocidades son muy altas y general grandes pérdidas.

Los diámetros modificados de succión y descarga son de 10 y 8 pulgadas respectivamente, en los cuales las velocidades no están dentro del margen recomendado por la normativa RAS, tal como se muestran en la Tabla 18, cabe aclarar que esta alternativa soluciona el problema de abastecimiento actual. La simulación de esta alternativa se muestra en la Figura 35.

Figura 35. Modificación del sistema



## 6.2 ALTERNATIVAS PARA GARANTIZAR EL ABASTECIMIENTO PARA LA DEMANDA PROYECTADA

### 6.2.1 Modificación de diámetros del sistema e instalación de nuevas bombas

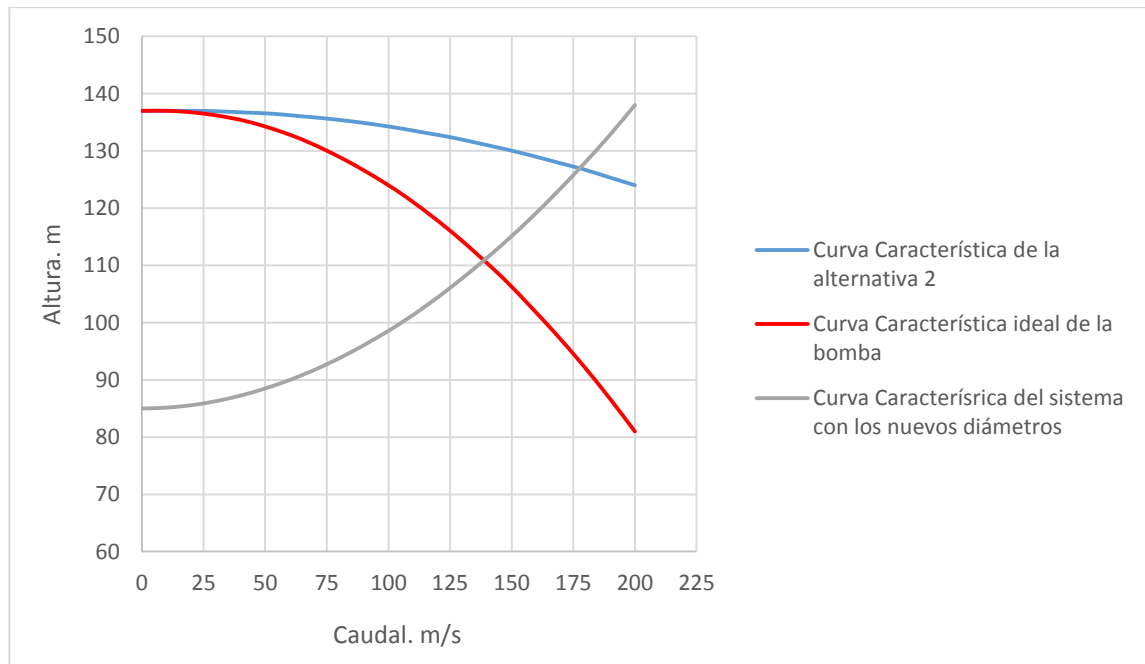
La ciudad de Chiquinquirá presentará un crecimiento poblacional que demanda  $206.28 \frac{l}{s}$  aproximadamente para el año 2040, tal como se muestra en la Tabla 14, por tanto, se sugiere adquirir unas bombas con características similares a las que actualmente prestan el servicio, funcionando dos de ellas en paralelo y una de respaldo o de alternancia.

Para un óptimo funcionamiento de la línea de 16 pulgadas, se deberán implementar las recomendaciones planteadas anteriormente, tales como el cambio de la tubería de descarga de 6 pulgadas y la tubería de succión de 8 pulgadas, cumpliendo así con los parámetros mínimos sugeridos por la normativa RAS en las secciones

B.8.5.6.1. y B.8.5.6.2. La simulación de esta alternativa se muestra en la Figura 36, además en la Tabla 18 se muestran características básicas, tales como velocidad de flujo y punto de operación.

El caudal aportado por la alternativa mencionada es de  $180 \frac{l}{s}$ , este no es suficiente para suplir la demanda futura, por ello se sugiere la reparación y puesta en marcha de la línea de 14 pulgadas, para aportar el caudal restante. En la reparación de esta línea se deberán tener en cuenta parámetros como cambios físicos y químicos en el Rio Suarez; así como velocidad en la descarga y succión del fluido y número de bombas en funcionamiento establecidos en la normativa RAS.

Figura 36. Sistema modificado y bombas en paralelo



## 6.2.2 Búsqueda de nuevas fuentes hídricas

Para suplir la demanda de caudal requería por la ciudad de Chiquinquirá para el año 2040, se plantea dejar las mismas bombas tal como se muestra en la alternativa anterior, o cambiarlas por otras que generen un mayor punto de operación individualmente, además si la contaminación del agua en el Rio Suarez empeora o su caudal se ve afectado por fenómenos naturales, se sugiere que parte del caudal sea obtenido de otras fuentes, como pozos profundos semejantes al que actualmente se encuentra ubicado en la zona sur de la ciudad, o aguas veredales superficiales.

Tabla 18. Comparación de los datos actuales con las alternativas planteadas

	Diámetro de succión	Diámetro de descarga	Velocidad de descarga (m/s)	Velocidad de succión (m/s)	punto de Operación (l/s)	Velocidad en la línea de 16" (m/s)
<b>Bomba 2</b>	8"	6"	5,28	2,929	94,4	0,732
<b>Bomba 3</b>	8"	6"	5,383	3,028	98,2	0,757
<b>Alternativa 1</b>	8"	6"	3,18	1,789	116	0,8943
<b>Alternativa 2</b>	10"	8"	3,8	2,44	125	0,9713
<b>Alternativa 3</b>	10"	8"	2,775	1,468	180	1,388

## 7. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este proyecto se busca generar una relación entre la Universidad industrial de Santander y la empresa Empochiquinquirá, con el objetivo de obtener beneficios mutuos al servicio de la comunidad.

El levantamiento de planos y fichas técnicas, permite a la empresa tener una base de datos técnicos, que permiten el control de las condiciones físicas del sistema de abastecimiento. Además, Las fichas técnicas aportan un formato accesible donde el personal técnico puede realizar observaciones de los cambios futuros en los elementos del sistema de bombeo, aportando las bases necesarias para la realización de un plan de mantenimiento preventivo.

Durante la inspección integral, se encontró un deterioro físico en la mayoría de los componentes del sistema de bombeo, sumado a la falta de un plan de mantenimiento preventivo y monitoreo constante de él. Esto ha llevado a un deterioro en la línea de 16 pulgadas y a la falla total en las bombas de las líneas 14 pulgadas.

Durante el desarrollo del proyecto se evidenciaron problemas en el abastecimiento de agua potable, dado que los caudales obtenidos en la estación de bombeo cumplen solo con el 78% de lo demandado por la población actual según la normativa RAS.

Se garantiza que las dos bombas actualmente en funcionamiento pueden suplir las necesidades actuales de la población, solo si se hace la adquisición de una bomba nueva para su relevo correspondiente, o se realizan modificaciones en los tramos de succión y descarga.

Según las alternativas planteadas se observó que para la demanda proyectada hacia el año 2040, la línea de 16" será insuficiente para suplir las necesidades de la población.

La falta de elementos de medición y puntos de control en la estación impidió tener una mayor certeza del comportamiento de cada uno de los elementos presentes en el sistema de bombeo, lo cual dificultó la realización del diagnóstico.

## 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda el cambio del manómetro dos, para así saber con exactitud cuál es la caída de presión durante el recorrido del fluido dentro de los accesorios y la tubería presentes en la estación de bombeo.

Es necesario reparar el macromedidor o en su defecto adquirir un equipo nuevo de medición, para monitorear de forma continua el correcto funcionamiento del sistema de abastecimiento.

En cuanto a las instalaciones complementarias la estación de bombeo debe mejorar en varios aspectos tales como, Accesos y escaleras, iluminación y Señalización, además la estación no cuenta con equipos de movilización los cuales permiten el transporte y la movilización de maquinaria y equipo, por lo tanto, se propone realizar mejoras y adquirir estos elementos, los cuales son de suma importancia según lo menciona la RAS en su sección B.8.11.

Se recomienda aumentar el diámetro de succión y descarga de tubería, para así disminuir las pérdidas y además cumplir con las recomendaciones propuestas en la normativa RAS (Ver Anexo P). Además, si se aumenta el diámetro de impulsión en el sistema, se debe aumentar también el diámetro de succión tal como se enuncia en la sección B.8.5.6.3 de la normativa Ras.

En la Figura 31 se observa el comportamiento real de la bomba dos y se evidencia un deterioro, por lo cual se propone realizar un proceso de relleno en su impulsor, ya que este puede presentar abrasión debido a su contacto con el agua del río o a un mal montaje, cabe destacar que este proceso se le realizó a la bomba 3 razón por la cual se evidenció un mejor rendimiento de esta.

Durante la toma de datos se observó la no utilización de las válvulas de purga, debido a que estas no se encuentran en funcionamiento, por lo cual se recomienda el cambio inmediato de ellas para evitar la acumulación de sedimentos, facilitando así la función de limpieza.

La estación de bombeo cuenta con un plan de mantenimiento correctivo, por lo cual se recomienda la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, baso en las recomendaciones de la norma RAS, expuestas en la sección B.6.5, B.6.6, B.6.7, B.7.10 Y B.8, Teniendo en cuenta el nivel de complejidad del sistema.

Durante la inspección general, se observó la falta de manómetros en las líneas de succión, por lo cual se sugiere la instalación de estos elementos, para verificar de manera constante el funcionamiento real de las bombas, además de la adquisición de medidores de presión en ciertos tramos de la tubería para monitorear de manera constante los cambios del sistema.

Actualmente en la estación de bombeo no se encuentra trabajando un ingeniero residente, razón por la cual se recomienda contratar un profesional en el área, para que se encargue de monitorear y verificar el funcionamiento adecuado de los sistemas de bombeo.

Se hace necesario realizar un estudio completo que involucre tantos factores económicos, técnicos y ambientales, para el planteamiento de una serie de alternativas que garanticen el abastecimiento de agua potable en los próximos 25 años y permitan el desarrollo de la Ciudad.

## BIBLIOGRAFÍA

UNATSABAR, CEPIS. "Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable." Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. OPS, 2005.

CARACOL TUNJA. Por falta de agua potable declaran calamidad pública en Chiquinquirá, Boyacá. En: Caracol Radio. Tunja, Abril, 2017.

EMPRESA INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE SERVICIOS PUBLICOS DE CHIQUINQUIRA ESP. Manual de operaciones de mantenimiento del sistema de acueducto del municipio de Chiquinquirá. Chiquinquirá, 2011.

MÉNDEZ, Manuel. Tuberías a presión. Caracas: Publicaciones U.C.A.B, 2011. ISBN:980-244-106-6.

BORA, Birinchi, et al. Optimum sizing and performance modeling of Solar Photovoltaic (SPV) water pumps for different climatic conditions. Solar Energy, 2017, vol. 155.

MENON, E. Shashi. Working Guide to Pump and Pumping Stations: Calculations and Simulations. Gulf Professional Publishing, 2009.

JAYAMAHA, Lal. Energy-efficient Industrial Systems: Evaluation and Implementation. McGraw Hill Professional, 2016.

DENIAU, Patrick. Applying NPSH to metering pumps. World Pumps, 2009, vol. 2009, no 8.

YILDIRIM, Gürol; ÖZGER, Mehmet. Neuro-fuzzy approach in estimating Hazen–Williams friction coefficient for small-diameter polyethylene pipes. Advances in Engineering Software, 2009, vol. 40, no 8.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá DC, 2000. il.(RAS 2000, Título B).

ALCANDIA DE CHIQUINQUIRA. Plan de desarrollo 2012-2015. Chiquinquirá, 2012.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá DC, 2000. il.(RAS 2000, Título A). P.9

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá DC, 2000. il.(RAS 2000, Título B). P.180

QUICK, A. Derivation relating altitude to air pressure, Portland State Aerospace Society, 2004

LOOMIS, A; WESTARWAY, C. Cameron hydraulic data. Woodeliff Lake, NJ: Sixteenth Edition,1984. p.3-5

LARRY W. Mays. Manual de diseño de sistemas de recolección de aguas pluviales. McGraw-Hill Professional, 2001

CRANE, División de ingeniería. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México: Mc.Graw Hill. 1981.

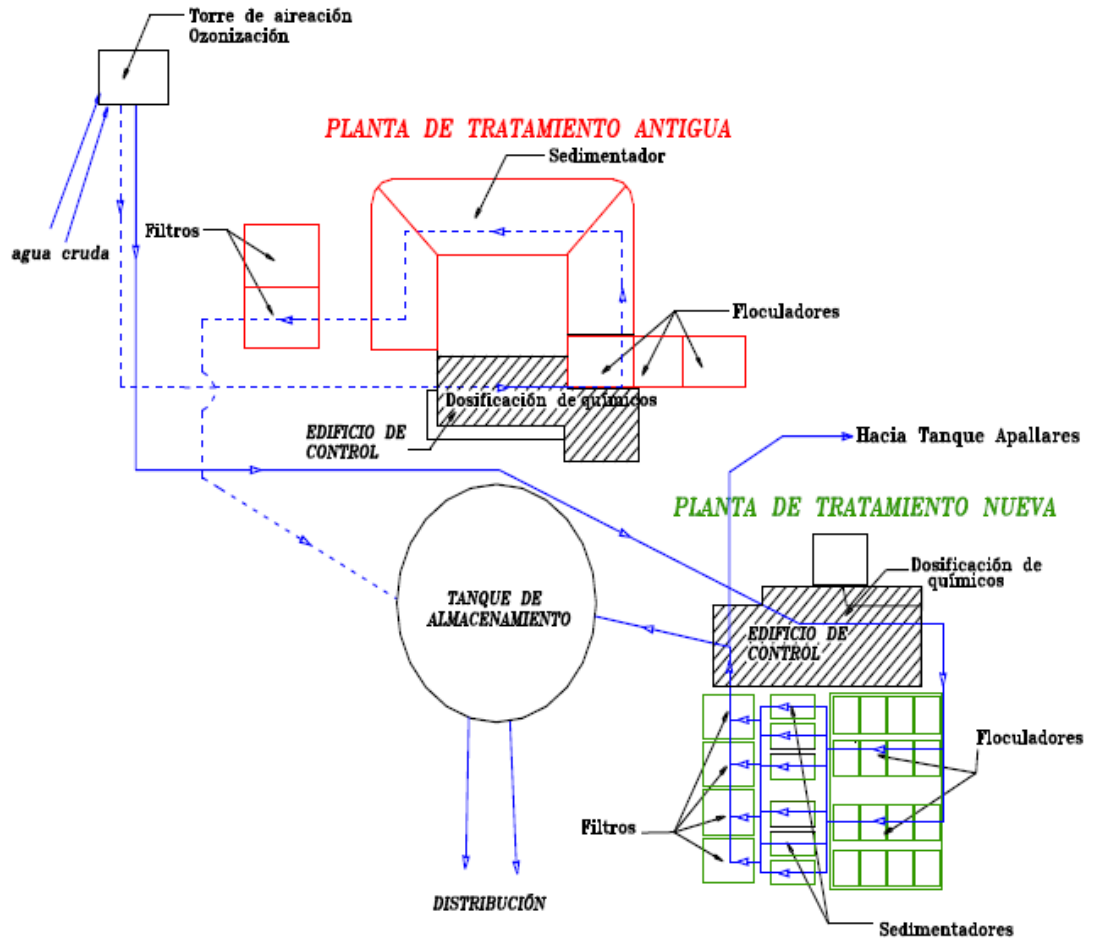
LAMONT, P. A. The reduction with age of the carrying capacity of pipelines. Inst. Wtr. Engrs, 1954.

LAMONT, Peter A. Common pipe flow formulas compared with the theory of roughness. Journal (American Water Works Association), 1981, p. 274-280.

Méndez, Manuel. Tuberías a presión. Venezuela: Publicaciones U.C.A.B. ISBN: 980-244-106-6.

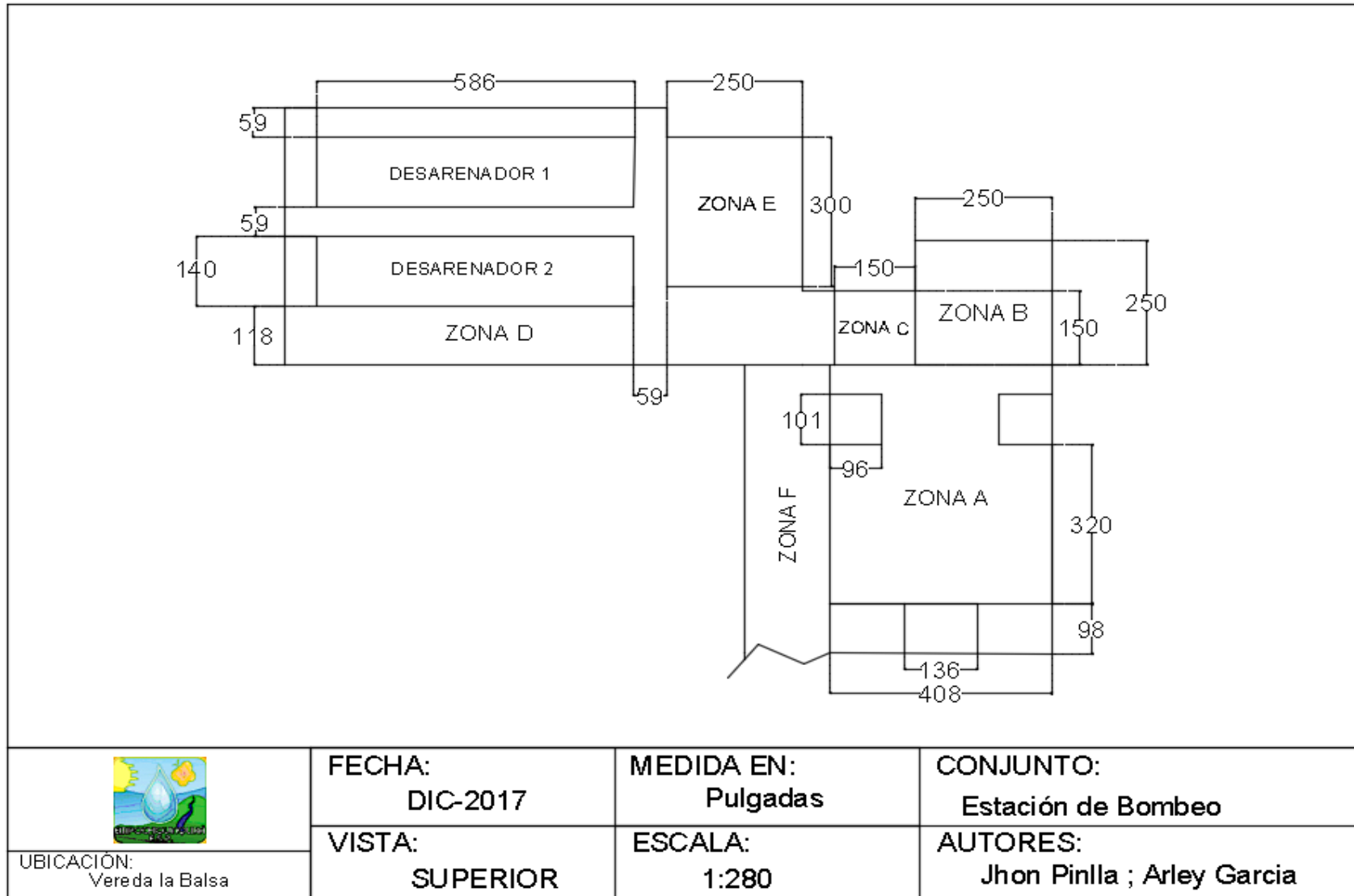
AWWA, Steel Pipe: Desing and Installation, Manual M-11. Última revisión, 1988

## Anexo A. Planta de tratamiento terebinto




Fuente: EMPRESA INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE SERVICIOS PUBLICOS DE CHIQUINQUIRA ESP. Manual de operaciones de mantenimiento del sistema de acueducto del municipio de Chiquinquirá. Chiquinquirá, 2011. P.23

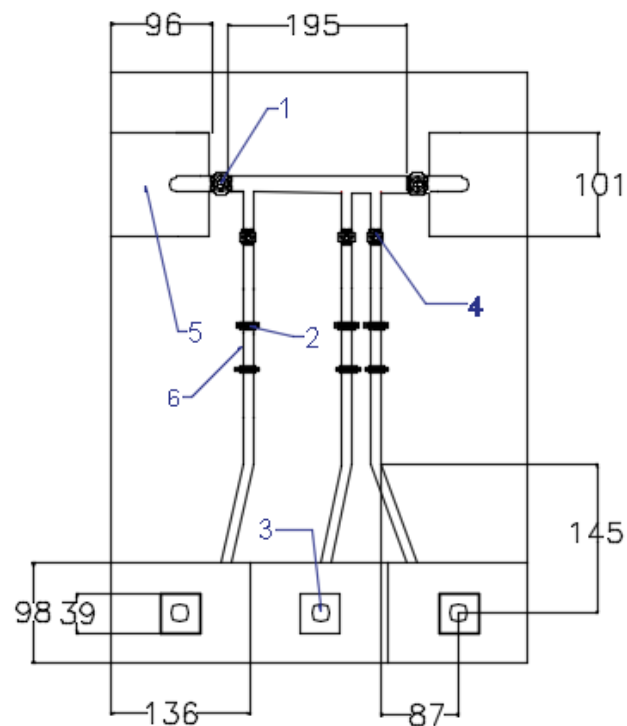
## Anexo B. Estación de bombeo




## Anexo C. Ficha técnica de la zona A

ZONA A: CAPTACION DEL FLUIDO							
			IMÁGENES			CARACTERISTICAS	
			LOCALIZACION	EB Vereda la balsa			
			UBICACIÓN	Río Suarez			
			FUNCION	Transportar los fluidos hacia los carcamos 1 y 2			
			FECHA DE INSTALACION	2015			
			PRESION DE DESCARGA	no hay elemento de medición			
			CAUDAL	no hay elemento de medición			
			DIAMETRO SUCCION				
			DIAMETRO DE DESCARGA				
			MATERIAL DE LA TUBERIA				
VOLUMEN OCUPADO							
COMPONENTES DE LA ZONA A							
ESPACIO	EXISTE	TIPO	CANTIDAD	MARCA	OBSERVACIONES		
Piso	SI				se encuentra en buenas condiciones		
Pintura	SI				Marcos, accesorios y tuberías en buenas condiciones		
Muros	NO				-		
Iluminación	NO				-		
soportes	SI				Todos los accesorios tienen soportes		
ACCESORIOS							
Unión de desmontaje	SI	14 Tornillos	6		buenas condiciones		
Valvula de compuerta	SI		1		en buen estado		
Valvula check	NO						
Valvula de ventosa	NO						
Manómetros	NO				Falta instalación de manómetros		
Control	SI	Automatico	3		buenas condiciones		
Reducciones	NO						
Juntas de dilatacion	SI	metalica	3		buenas condiciones		
ESTADO DE LAS BOMBAS							
N° de bombas		OBSERVACIONES					
3	Bomba 1	Exelentes condiciones, no presenta oxidacion ni ningun tipo de desgaste en la carcasa					
	Bomba 2	Exelentes condiciones, no presenta oxidacion ni ningun tipo de desgaste en la carcasa					
	Bomba 3	Exelentes condiciones, no presenta oxidacion ni ningun tipo de desgaste en la carcasa					


## Anexo D. Plano de la zona A



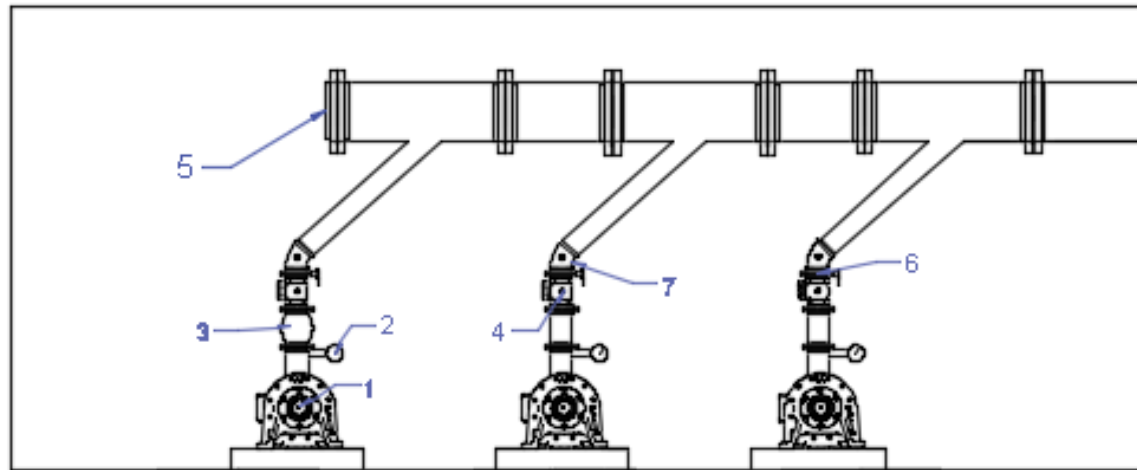
Item	Descripción	Cantidad
1	Válvula de compuerta	2
2	Unión de desmontaje	6
3	Bomba sulzer	3
4	Válvula de compuerta de 9"	3
5	carcamo	2
6	Junta de dilatación	3

	FECHA: DIC-2017	MEDIDA EN: Pulgadas	CONJUNTO: CAPTACIÓN DEL FLUIDO
	UBICACIÓN: Vereda la Balsa	VISTA: SUPERIOR	ESCALA: 1:180

## Anexo E. Ficha técnica de la zona B

ZONA B: LINEA DE IMPULSION DE 16 PULGADAS					
IMÁGENES			CARACTERISTICAS		
			LOCALIZACION	EB Vereda la balsa	
			UBICACIÓN	Estación de bombeo	
			FUNCION	Llevar el fluido desde los carcamos hasta la PTAP	
			FECHA DE INSTALACION	1986	
			PRESION DE DESCARGA		
			CAUDAL		
			DIAMETRO SUCCION	8 in	
			DIAMETRO DE DESCARGA	6 in	
			MATERIAL DE LA TUBERIA	American Pipe	
			VOLUMEN OCUPADO DE LA ZONA		
COMPONENTES DE LA ZONA B					
ESPACIO	EXISTE	TIPO	CANTIDAD	MARCA	OBSERVACIONES
Piso	SI	Concreto			piso irregular en algunas zonas
Pintura	SI				Malas condiciones
Muros	SI				presentan humedad
Iluminación	SI				Regular, no hay suficiente iluminacion
soportes	SI				Falta soporte en algunos accesorios
ACCESORIOS					
Unión de desmontaje	SI	8 Tornillos	3		algunas presentan oxidacion
Valvula de compuerta	SI		3		malas condiciones, presentan oxidacion
Valvula check	SI		3		buenas condiciones
Valvula de purga de aire	SI		3		regulares condiciones
Valvula de ventosa	NO				
codo de 45 grados	SI		3		regulares condiciones
T de 45 grados	SI		3		buen estado
Manómetros	SI				vidrio rayado, no se aprecia claramente la lectura
Control	SI	Manual			buenas condiciones
Reducciones	SI		6		han sido soldadas y presentan oxidacion
Juntas de dilatacion	SI		1		solo una bomba posee una junta dilatacion
ESTADO DE LAS BOMBAS					
N° de bombas	OBSERVACIONES				
3	Bomba 1	Deterioro total no funciona			
	Bomba 2	presenta oxidacion en la carcasa y la base esta deteriorada			
	Bomba 3	presenta oxidacion en la carcasa y la base esta deteriorada			

## Anexo F. Plano zona B



Item	De scripción	cantidad
1	Bomba linea 16"	3
2	Manómetro	3
3	Junta de expansión	1
4	Válvula cheque 6"	4
5	Brida	6
6	Válvula de compuerta	3
7	Codo de 45°	3



UBICACIÓN:  
Vereda la Balsa

FECHA:  
DIC-2017

VISTA:  
Frontal

MEDIDA EN:  
Pulgadas

ESCALA:  
1:60

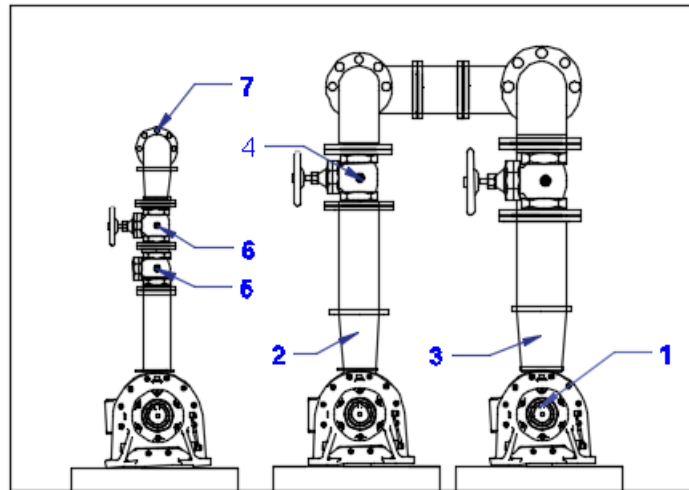
CONJUNTO:  
Linea de impulsión de 16"

AUTORES:  
Jhon Pinlla ; Arley Garcia

## Anexo G. Ficha técnica de la zona C

ZONA C: REBOMBEO LINEA DE 14"					
IMÁGENES			CARACTERÍSTICAS		
	LOCALIZACIÓN		EB Vereda la balsa		
	UBICACIÓN		Estación de bombeo		
	FUNCION		Llevar el fluido desde los caracamos hasta los desarenadores		
	FECHA DE INSTALACION		1976		
	PRESION DE DESCARGA		actualmente no esta en funcionamiento		
	CAUDAL		actualmente no esta en funcionamiento		
	DIAMETRO SUCCION				
	DIAMETRO DE DESCARGA				
	MATERIAL DE LA TUBERIA		American Pipe		
VOLUMEN OCUPADO					
COMPONENTES DE LA ZONA A					
ESPACIO	EXISTE	TIPO	CANTIDAD	MARCA	OBSERVACIONES
Piso	SI	Concreto			se encuentra en muy malas condiciones
Pintura	SI				bombas, accesorios y tuberías con irregularidades
Muros	SI	Concreto			Muros frisados y sin pintura, además de humedad
Iluminación	SI				Regular, no hay suficiente iluminación
soportes	SI				aparentemente improvisados y además en malas condiciones
ACCESORIOS					
Unión de desmontaje	SI	8 Tornillos	4		algunas de las uniones presentan oxidación
Valvula de compuerta	SI		3		buenas condiciones no presentan oxidación
codo de 45 grados	SI		3		regulares condiciones
T de 90 grados	SI		1		malas condiciones presenta oxidación
T de 45 grados	SI		3		buen estado
Valvula de purga de aire	SI		3		se encuentra en regulares condiciones
Valvula de ventosa	NO				
Manómetros	NO				
Control	SI	Manual			
Reducciones	SI		3		en buenas condiciones externas
Juntas de dilatacion	NO				
ESTADO DE LAS BOMBAS					
N° de bombas		OBSERVACIONES			
3	Bomba 1	no se encuentran en funcionamiento, externamente en buenas condiciones			
	Bomba 2	no se encuentran en funcionamiento, externamente en buenas condiciones			
	Bomba 3	no se encuentran en funcionamiento, externamente en buenas condiciones			

## Anexo H. Plano de la zona C



Item	Descripción	cantidad
1	Bomba linea rebombeo	3
2	Expansión conica de 7" a 9"	1
3	Expansión de 9" a 11"	1
4	Válvula de compuerta de 9"	3
5	Válvula de cheque de 6"	1
6	Válvula de compuerta de 6"	1
7	Brida	7



FECHA:  
dic-2017

MEDIDA EN:  
Pulgadas

CONJUNTO:  
Zona de rebombeo

UBICACIÓN:  
Vereda la Balsa

VISTA:  
Frontal

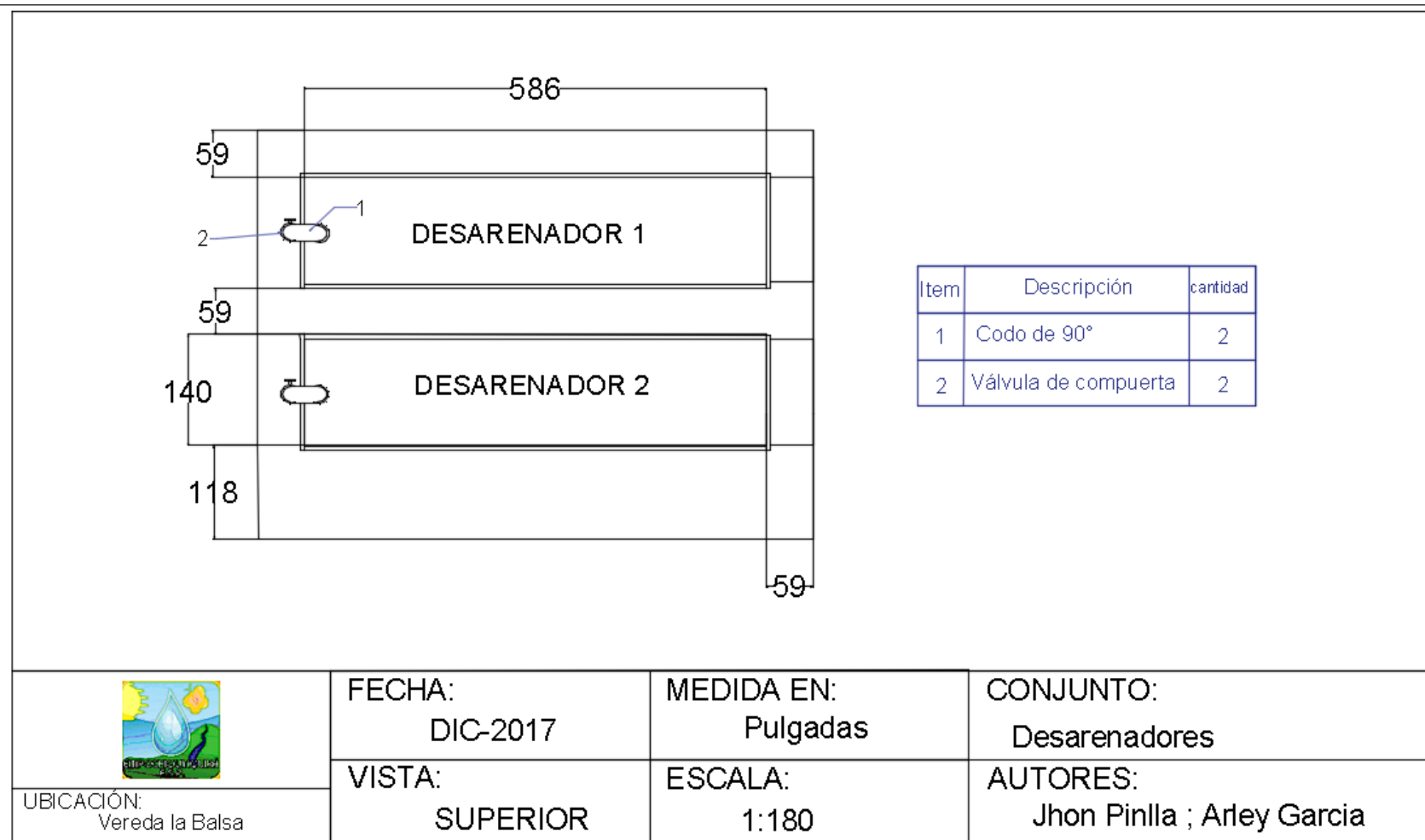
ESCALA:  
1:40

AUTORES:  
Jhon Pinlla ; Arley Garcia


## Anexo I. Ficha técnica de la zona D

ZONA D: DESARENADORES					
<b>IMÁGENES</b>			<b>CARACTERÍSTICAS</b>		
			<b>LOCALIZACION</b>	EB Vereda la balsa	
			<b>UBICACIÓN</b>	Rio Suarez	
			<b>FUNCION</b>	Transportar los fluidos hacia las bombas de alta presion	
			<b>FECHA DE INSTALACION</b>	1976	
			<b>PRESION DE DESCARGA</b>	no hay instrumentos de medicion	
			<b>CAUDAL</b>	no hay instrumentos de medicion	
			<b>DIAMETRO SUCCION</b>		
			<b>DIAMETRO DE DESCARGA</b>		
			<b>MATERIAL DE LA TUBERIA</b>	American pipe	
			<b>VOLUMEN OCUPADO</b>		
COMPONENTES DE LA ZONA A					
ESPACIO	EXISTE	TIPO	CANTIDAD	MARCA	OBSERVACIONES
Piso	SI	Concreto			piso irregular en algunas zonas
Pintura	SI				La pintura de los desarenadores en mal estado
Muros	SI	valla metalica			alunas rejas presentan deformaciones
Iluminación	SI				Regular, no hay suficiente iluminacion
soportes	SI				Ausencia de soportes en algunos accesorios
ACCESORIOS					
Unión de desmontaje	SI	12 tornillos	4		regulares condiciones
Valvula de compuerta	SI		2		algunas zonas presentan oxidacion
Valvula check	NO				
Valvula de ventosa	NO				
Manómetros	NO				
Control	NO				

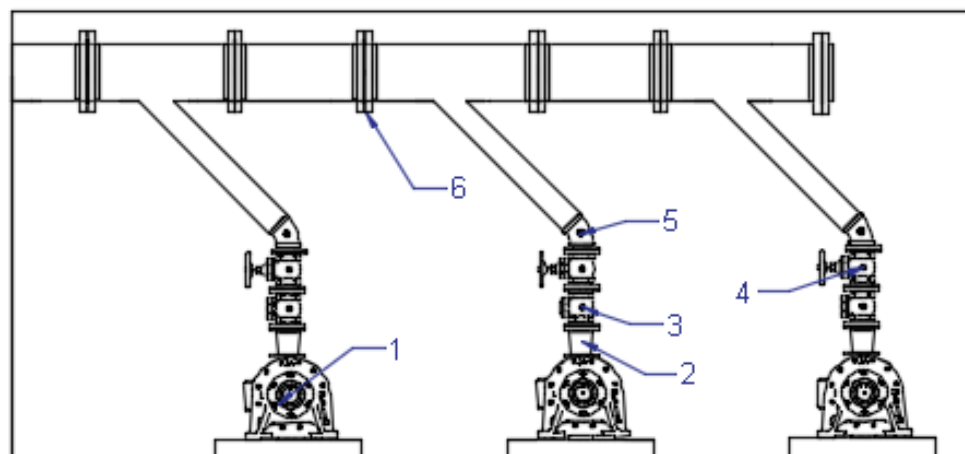
## Anexo J. Plano de la zona D



## Anexo K. Ficha técnica de la zona E

ZONA E: LINEA DE IMPULSIÓN DE 14 PULGADAS					
<b>IMÁGENES</b>			<b>CARACTERÍSTICAS</b>		
			<b>LOCALIZACIÓN</b>	EB Vereda la balsa	
			<b>UBICACIÓN</b>	Estación de bombeo	
			<b>FUNCION</b>	Llevar el fluido desde los desarenadores hasta la planta de tratamiento	
			<b>FECHA DE INSTALACION</b>	1976	
			<b>PRESION DE DESCARGA</b>	no hay medicion, las bombas no funcionan	
			<b>CAUDAL</b>	no hay medicion, las bombas no funcionan	
			<b>DIAMETRO SUCCION</b>	6"	
			<b>DIAMETRO DE DESCARGA</b>	5"	
			<b>MATERIAL DE LA TUBERIA</b>	American Pipe, revestimiento con mortero de cemento	
			<b>VOLUMEN OCUPADO</b>		
COMPONENTES DE LA ZONA E					
ESPACIO	EXISTE	TIPO	CANTIDAD	MARCA	OBSERVACIONES
Piso	SI	Concreto			Presenta fisuras, rejillas de drenaje en mal estado
Pintura	SI				Zonas de seguridad, muros y equipos en malas condiciones
Muros	NO				presentan humedad
Iluminación	SI				Regular no hay suficiente iluminación
soportes	SI				Soportes improvisados
ACCESORIOS					
Unión de desmontaje	NO				
Valvula de compuerta	SI		3		La 2 y la 3 en buenas condiciones la 1 en regulares condiciones
codo de 45 grados	NO				
T de 90 grados	NO				
T de 45 grados	SI		3		buenas condiciones y no presentan oxidacion
Valvula de purga de aire	SI		3		se encuentra en regulares condiciones
Valvula check	SI		3		regulares condiciones, con oxidacion en algunas zonas
Valvula de ventosa	NO				
Manómetros	NO				Las bombas no estan en funcionamiento
Control	SI	Manual			
Reducciones	SI				presentan oxidaciones en ciertas partes
ESTADO DE LAS BOMBAS					
N° de bombas		OBSERVACIONES			
3	Bomba 1	No funciona actualmente			
	Bomba 2	No funciona actualmente			
	Bomba 3	No funciona actualmente			

## Anexo L. Plano de la zona E



Item	Descripción	cantidad
1	Bomba línea de 14"	3
2	Expansión de 5'a 6"	1
3	Válvula de cheque de 6"	3
4	Válvula de compuerta de 6"	3
5	Codo de 45°	1
6	Brida	6



FECHA:  
DIC-2017

MEDIDA EN:  
Pulgadas

CONJUNTO:  
Línea de impulsión de 14"


UBICACIÓN:  
Vereda la Balsa

VISTA:  
FRONTAL

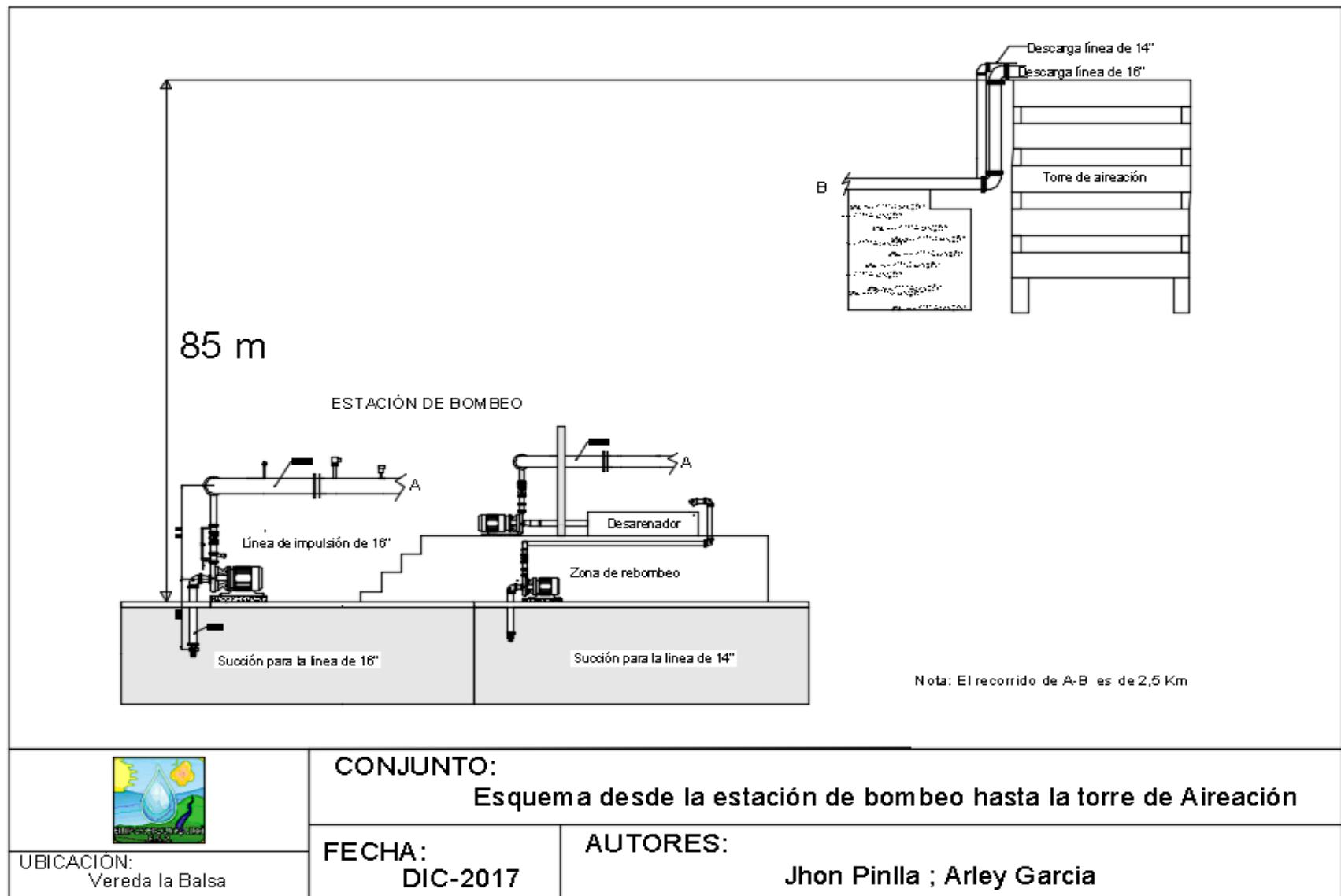
ESCALA:  
1:45

AUTORES:  
Jhon Pinlla ; Arley Garcia

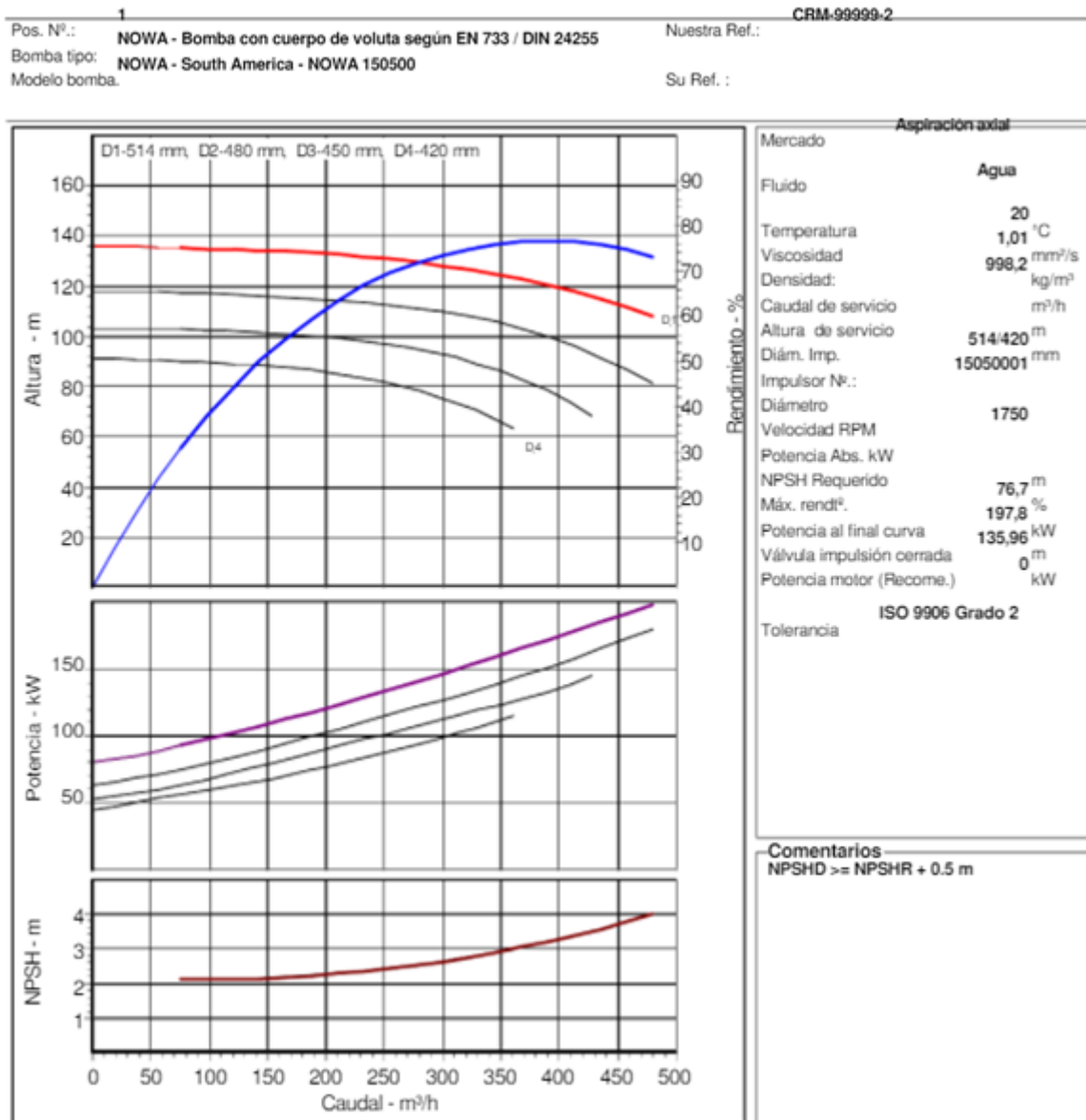
## Anexo M. Ficha técnica de la zona F

ZONA E: LINEA DE 16"					
IMÁGENES			CARACTERISTICAS		
	LOCALIZACION		EB Vereda la balsa		
	UBICACIÓN		Rio Suarez		
	FUNCION		Transportar los fluidos hacia las bombas de alta presion		
	FECHA DE INSTALACION		1986		
	PRESION DE DESCARGA		155		
	CAUDAL		96		
	DIAMETRO SUCCION		-		
	DIAMETRO DE DESCARGA		16 pulgadas		
	MATERIAL DE LA TUBERIA		American pipe		
	VOLUMEN OCUPADO				
COMPONENTES DE LA ZONA A					
ESPACIO	EXISTE	TIPO	CANTIDAD	MARCA	OBSERVACIONES
Piso	SI	Concreto			piso irregular en algunas zonas
Pintura	SI				La pintura de los desarenadores en mal estado
Muros	SI	valla metalica			alunas rejas presentan deformaciones
Iluminación	SI				Regular, no hay suficiente iluminacion
soportes	SI				Ausencia de soportes en algunos accesorios
ACCESORIOS					
Unión de desmontaje	SI	12 tornillos	4		regulares condiciones
Valvula de compuerta	NO				
Valvula check	NO				
Valvula de ventosa	SI		1		
Manometros	SI		1		el manometro no presentan rayones en el vidrio
sensor del macromedidor	SI		1		buenas condiciones no presenta daños superficiales

**Anexo N. Plano de la zona F**



## Anexo O. Curvas características de las bombas 2 y 3



**Anexo P. Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro**

<b>Diámetro de la tubería de succión (mm)</b>	<b>Velocidad máxima (m/s)</b>
50	0.75
75	1.00
100	1.30
150	1.45
200	1.60
250	1.60
300	1.70
Mayor que 400	1.80