

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO DEL BARRIO EL TAMBO, CUTUGLAGUA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE TECNOLOGÍA EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

Cynthia Yolanda Cuñez Catota
cynthia.cunez@epn.edu.ec

Margarita de Lourdes Proaño Villarreal
margarita.proano@epn.edu.ec

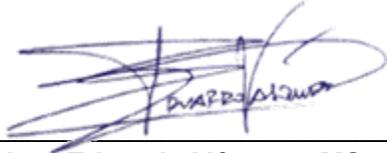
DIRECTOR: ING. EDUARDO MAURICIO VÁSQUEZ FALCONES, MSc.
eduardo.vasquez@epn.edu.ec

CODIRECTORA: ING. PATRICIA LORENA HARO RUIZ, MSc. PHD.
patricia.haro@epn.edu.ec

Quito, enero 2022

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por las Srtas. Cynthia Yolanda Cuñez Catota y Margarita de Lourdes Proaño Villarreal, como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnologías en Agua y Saneamiento Ambiental, bajo nuestra supervisión:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Eduardo Vásquez', is written over a horizontal line.

Ing. Eduardo Vásquez MSc
DIRECTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Patricia Haro', is written over a horizontal line.

Ing. Patricia Haro Msc
CODIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotras, CYNTHIA YOLANDA CUÑEZ CATOTA con CI: 1725085169 y MARGARITA DE LOURDES PROAÑO VILLARREAL con CI: 1725294365, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Cuñez Catota Cynthia Yolanda



Proaño Villareal Margarita de Lourdes

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, a Dios por abrirme las puertas que debo y necesito cruzar, por ser la guía y el pilar que sostiene mi vida. A mis padres, por la paciencia y el amor que me han dado sobre todo cuando menos lo he merecido, por el apoyo moral y económico para continuar estudiando y dar todo de ellos aun cuando no tenían nada, los amo inmensamente.

A mis hermanos, porque de cada uno de ellos aprendí la importancia de saber hacer las cosas en equipo, de amar y cuidar incluso en los malos momentos.

A la luz de mi vida, que me hacía falta, pero no lo sabía hasta que lo sentí en mi vientre y escuché sus latidos por primera vez, tu existencia se convirtió en la mejor y mayor motivación que he tenido en toda la vida, Bastian Gabriel, te amo hijo mío.

Margarita Proaño

A mis padres que siempre me han apoyado a seguir adelante, me han permitido tomar mis propias decisiones y me han guiado por un camino de responsabilidad, rectitud y honestidad.

A mi madre, Martha Catota, quien siempre me acompañó en mis noches de estudio, aconsejó e inculco todos los valores que me han guiado a esta nueva etapa de mi vida.

A mi padre, Manuel Cuñez, quien siempre supo entenderme y aconsejarme de la mejor forma posible, quien guio mi camino y nunca me dejo caer, a mi querido padre que siempre me apoyó a seguir estudiando y ser una buena profesional.

A mi querido esposo e hija Victoria, quienes son el motor de mi vida, me han enseñado el valor de la paciencia, orden y responsabilidad de una manera indescriptible, me impulsan a ser mejor y a superarme cada día, sin dejarme vencer por los obstáculos.

Cynthia Cuñez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser la voz de mi conciencia que me ha permitido tomar buenas decisiones a pesar de la dificultad.

A Lourdes Villarreal, por darme los mejores consejos que una mamita pueda dar, te agradezco por tu apoyo incondicional, por acompañarme y guiarme en esta nueva etapa de ser mamá, te amo mi más grande amiga.

A Henry Proaño, por la incomparable paciencia y el cuidado que has tenido conmigo, por enseñarme lo que sabes y aprender lo que no sabías para enseñarme a que me fuera bien en mis exámenes y en la vida, gracias por todo tu sacrificio papito y perdón por ser tan difícil.

A Henry Proaño mi hermano mayor, por protegerme del mal siempre y en cada paso que doy, a Isaac Proaño por ser mi confidente en las buenas y en las malas, a Jesús Proaño por ayudarme cuando lo he necesitado y a mi querido hermano Francisco Proaño, porque aun siendo mi hermanito menor he aprendido mucho de ti.

Al Ing. Eduardo Vásquez, por saber compartir sus conocimientos y por ser el mejor guía para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Y en especial, a Gabriel Álvarez porque en tu cortita edad ya me has enseñado mucho, me motivas a seguir avanzando en mi vida personal y profesional, te amo hijo.

Margarita Proaño

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO

certificación	2
declaración	3
dedicatoria	4
agradecimiento	5
resumen.....	10
abstract.....	11
1. introducción	12
1.1 planteamiento del problema.....	12
1.2 justificación	13
1.3 objetivos del proyecto	13
1.3.1 objetivo general	13
1.3.2 objetivos específicos	13
1.4 alcance del proyecto	14
1.5 marco teórico	14
1.5.1 sistemas de abastecimiento	14
1.5.2 conducción	15
1.5.3 tipos de tanques	19
1.5.4 sistema de desinfección	19
1.5.5 sistema de distribución	22
1.5.6 programa de simulación epanet.....	24
2. METODOLOGÍA.....	25
2.1 Levantamiento de puntos georreferenciados, planimetría y altimetría	25
2.2 Levantamiento de información	25
2.2.1 Catastro de equipos y accesorios.....	25
2.2.2 Curva característica de la bomba	26
2.3 Cálculo de población de diseño y del caudal necesario para abastecer la población.....	26
2.3.1 Población de diseño	26
2.3.2 Caudal de diseño	27
2.4 Desarrollo de planos y perfiles del terreno	28

2.5	Simulación hidráulica en epanet	29
2.5.1	Sistema de conducción	29
2.5.2	Sistema de distribución	30
2.6	Evaluación del sistema de abastecimiento.....	31
2.6.1	Evaluación del sistema de bombeo	31
2.6.2	Evaluación de los volúmenes de tanque el tambo y tanque de succión....	34
2.7	Evaluación del sistema de tratamiento.....	35
2.7.1	Sistema de tratamiento utilizado en la junta	35
2.7.2	Medidor de cloro residual dr300 hach.....	36
2.7.3	Determinación de cloro y coliformes fecales.....	37
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
3.4.1	Sistema de conducción	44
3.4.2	Sistema de distribución	45
3.5.1	Evaluación del sistema de bombeo.....	50
3.5.2	Evaluación de los volúmenes de tanque elevado el tambo y tanque de succión	54
3.7.1	Sistema de conducción.....	56
3.7.2	Sistema de bombeo	57
3.7.3	Sistema de distribución	57
3.7.4	Sistema de tratamiento	57
4.	CONCLUSIONES	61
5.	RECOMENDACIONES.....	62
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
7.	ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de las curvas características de las bombas (Tutoriales Ingeniería Civil, 2021).....	18
Figura 2. Curva de demanda de cloro (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 1984).....	22
Figura 3. Levantamiento de los tambos 1,2 y 3.....	26
Figura 4. Curva característica de la bomba de 125 hp.....	30
Figura 5. Contenido del medidor ultrasónico de caudal (PCE-Instruments, 2017).....	31
Figura 6. Método “V” para medición de caudal (PCE-Instruments, 2017).....	32
Figura 7. Medición de caudal con medidor ultrasónico.....	33
Figura 8. Curva de consumo típico.	34
Figura 9. JAAPS medición de cloro y pH.	35
Figura 10. Componentes del medidor de cloro residual DR300 HACH (HACH, 2021).	36
Figura 11. Análisis de agua del tanque de almacenamiento del Tambo 3.....	38
Figura 12. Análisis de agua en una casa.	39
Figura 13. Diagrama del sistema de bombeo de la JAAPS.....	42
Figura 14. Listado de nodos, datos de cotas, altura y presión.....	45
Figura 15. Plano en EPANET de la red de distribución en un sistema estático.....	46
Figura 16. Delimitación de zonas por colores con presiones altas y bajas de la red de distribución.....	47
Figura 17. Perfil longitudinal de presiones, de la red de distribución.	47
Figura 18. Listado de nodos, datos de cotas, altura y presión.....	48
Figura 19. Plano en EPANET de la red de distribución en un sistema dinámico.....	49
Figura 20. Perfil longitudinal de la línea de distribución en un sistema dinámico.....	49
Figura 21. Curva integral del tanque elevado “El Tambo”.	54
Figura 22. Valores de K en mg.min/L para plantas de remoción del 95 al 99% de coliformes totales (RAS, 2000)	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Determinación del caudal máximo diario en un año.	42
Tabla 2. Cálculo de la población futura y caudal necesario para abastecer a la población.	43
Tabla 3. Resultados de pérdidas en el sistema de bombeo.	50
Tabla 4. Potencia requerida para elevar un caudal de 8 y 12 L/s.	51
Tabla 5. Caudal que se puede bombear con una bomba de 125 hp.	52
Tabla 6. Caudal que se puede bombear con una eficiencia entre 70 – 90%.	52
Tabla 7. Potencia de la bomba requerida para un periodo de diseño de 15 años.	53
Tabla 8. Costo mensual del consumo energético.	53
Tabla 9. Resultado del volumen del tanque elevado “El Tambo”.	54
Tabla 10. Resultados de cloro libre y total	55
Tabla 11. Resultados de laboratorio de coliformes fecales.	56
Tabla 12. Datos planteados para el sistema de cloración	58
Tabla 13. Cálculo de la dosificación de cloro	58

RESUMEN

El presente proyecto de titulación comprende una evaluación del estado y funcionamiento de los componentes que forman parte de la línea de conducción por bombeo y desinfección del agua potable que distribuye La Junta Administrativa de Agua Potable y Saneamiento Regional “ROSARIO-AYMESA-SAN FRANCISCO”, mediante inspecciones visuales, recorridos de campo y el programa EPANET, para determinar el estado de funcionamiento del sistema.

Se realizó un levantamiento de puntos geo-referenciados de la red, desde el sistema de bombeo hasta el tanque de distribución del Barrio Tambo 3. También en los barrios que comprenden el Tambo 1 y Tambo 2, se realizaron visitas técnicas para determinar el estado de las estructuras, accesorios y equipos que comprenden la línea de distribución y conducción.

Con los datos obtenidos, se realizó una simulación hidráulica, probando con distintas condiciones y parámetros como: velocidades, presiones, pérdidas y caudales. Además, se analizó hidráulicamente el sistema de bombeo y el tanque regulador.

Posteriormente se evaluó el sistema de desinfección, analizando cloro libre residual y total en diferentes puntos de la línea de distribución. De igual forma, se realizaron análisis fisicoquímicos con la finalidad de conocer si el agua distribuida es aceptable para el consumo humano dentro de las normativas nacionales, para ello se recolectó 4 muestras puntuales, las cuales fueron analizadas en un laboratorio acreditado.

Con los datos recolectados y resultados obtenidos se procedió a realizar un documento informativo y planos actualizados dirigidos a los dirigentes de la JAAPS. Por medio de una reunión virtual se presentaron los resultados y mejoras propuestas a la comunidad y dirigentes.

PALABRAS CLAVE: distribución, conducción, desinfección.

ABSTRACT

This project includes an evaluation of the status and operation of the components that are part of the pipeline for pumping and disinfection of drinking water distributed by the Administrative Board of Drinking Water and Regional Sanitation “ROSARIO-AYMESA-SAN FRANCISCO”, through visual inspections, field trips and the EPANET program, to determine the operating status of the system.

A survey of geo-referenced points of the network was carried out, from the pumping system to the distribution tank of Barrio Tambo 3. Also, the neighborhoods that comprise Tambo 1 and Tambo 2, technical visits were made to determine the status of the structures, accessories and equipment that comprise the distribution and conduction line.

With the data obtained, a hydraulic simulation was carried out, trying with different conditions and parameters such as: speeds, pressures, losses and flows. In addition, the pumping system and the regulating tank were analyzed hydraulically.

Subsequently, the disinfection system was evaluated, analyzing residual and total free chlorine at different points of the distribution line. Similarly, physicochemical analyzes were carried out in order to know if the distributed water is acceptable for human consumption within national regulations, for which 4 specific samples were collected, which were analyzed in an accredited laboratory.

With the data collected and the results obtained, an informative document and updated plans were prepared for the leaders of the JAAPS. Through a virtual meeting, the results and proposed improvements were presented to the community and leaders.

KEY WORDS: distribution, conduction, disinfection.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La UNICEF asegura que los habitantes de áreas rurales tienen más probabilidades que los de zonas urbanas, de no tener acceso a agua potable. (UNICEF, 2020).

En la provincia de Pichincha, al norte del cantón Mejía, se encuentra Loma de Santa Rosa, una comunidad rural que dentro de sus límites cuenta con una fuente de abastecimiento de agua, sin embargo, no obtuvo el apoyo para la distribución del recurso por parte de la EPMAPS.

La Junta Administradora de agua potable y alcantarillado "Rosario-Aymesa-San Francisco", es la encargada de administrar, operar y mantener el sistema que abastece a los barrios de la Loma de Santa Rosa, esta mantiene dos sistemas, uno a gravedad y otro a bombeo que abastece de modo irregular a los barrios del sector medio y alto de Santa Rosa.

Hasta el año 2006, la estructura civil de la estación de bombeo estaba conformada por un tanque de recolección ubicado en el barrio El Rosario, y un tanque de bombeo, con una casa de máquinas; constaba con un equipo de bombeo deficiente para cubrir la demanda, ya que el caudal y la reserva eran insuficientes.

Con la finalidad de mejorar el servicio, se reemplazaron tres equipos, que son: dos bombas sumergibles de 20 y 25 HP y una centrífuga de 40 HP.

Sin embargo, para realizar todas estas implementaciones no se realizaron los estudios técnicos adecuados como son: establecer el caudal desde la captación hasta el cárcamo de bombeo, el estado de los equipos y accesorios, inspección de conexiones y accesorios en el sistema de bombeo, una tecnificación en el sistema de bombeo obteniendo las curvas características, evaluación hidráulica de la línea de impulsión y evaluación del volumen del tanque de almacenamiento, sistema de distribución y desinfección.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Un correcto diseño del Sistema de abastecimiento de Agua Potable establece mejorar la calidad de vida, salud y desarrollo de la población, por tal motivo debe cumplir con las normativas vigentes, para garantizar su correcto funcionamiento.

La necesidad de agua potable para las comunidades es imprescindible para su diario vivir y esta debe tener las condiciones adecuadas para su consumo. Según la normativa se establece que el cloro libre residual para la distribución de agua potable debe estar entre 0.3 a 1.5 mg/l. (INEN, 2020). Se realizarán inspecciones que nos permitan analizar el sistema de desinfección, para establecer la dosis de cloro optima y que cumpla con los parámetros establecidos en el TULSMA.

Para realizar mejoras, reparaciones, corregir obstrucciones, realizar reemplazos o ampliaciones, se requiere los planos actualizados de la línea de conexión y distribución de agua potable, pero al no contar con los mismos la operación y mantenimiento del sistema es deficiente. Por esta razón es imprescindible realizar el catastro de todas las obras y componentes existentes, desde el sistema de bombeo hasta el tanque de distribución, donde los estudios permitirán evaluar y plantear posibles mejoras.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el sistema de abastecimiento y tratamiento de agua para consumo del barrio El Tambo, Cutuglagua.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un levantamiento de la línea base del sistema.
- Evaluar el sistema de abastecimiento.
- Evaluar el sistema de tratamiento.
- Socializar los resultados del proyecto con las autoridades competentes.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto de titulación propone la evaluación del sistema de conducción y desinfección del agua potable que distribuye La Junta Administrativa de Agua Potable y Saneamiento Regional “ROSARIO, AYMESA, SAN FRANCISCO” ubicada en la Av. Panamericana Sur km 6, barrio el Rosario, Loma de Santa Rosa-Cutuglagua.

Se realizó un levantamiento de puntos geo-referenciados a lo largo del terreno, para obtener información que se pueda procesar en los diferentes programas de diseño, simulación y análisis hidráulicos.

También se realizó análisis de coliformes en diferentes puntos, con la finalidad de determinar si el agua es apta para el consumo humano, y si requiere algún tratamiento adicional al actual. Conjuntamente se analizó cloro libre residual y cloro total para determinar la eficiencia del sistema de desinfección.

Las inspecciones de campo y los resultados de la simulación permitieron generar mejoras en el sistema de distribución de agua potable, aumentando la eficiencia en el sistema de bombeo.

Los análisis realizados permitieron proponer mejoras en el sistema de desinfección, generando mayor homogenización de cloro en el sistema de distribución, esta información fue entregada a los dirigentes de la JAAPS, por medio de entregables y reuniones virtuales.

1.5 MARCO TEÓRICO

1.5.1 SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO

Se considera una fuente de abastecimiento a una acumulación o vía fluvial, sea esta superficial o subterránea, con la finalidad de ser utilizada en un sistema de aprovisionamiento de agua a la población, esta puede ser aguas subterráneas, superficiales, marinas o atmosféricas (Humberto, Tuesca, Sisa, & Pardo, 2015).

Un sistema de abastecimiento es un conjunto de instalaciones cuya construcción, explotación y mantenimiento se destina a captar, transportar, potabilizar, almacenar y distribuir agua hasta los usuarios finales en cantidad y calidad según las normativas vigentes.

CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN AGUAS TIPO MANANTIAL

Estas aguas deben ser captadas en sus yacimientos geológicos, por ende, las obras de captación de manantiales deberán ir a buscarlo en la misma roca. Las aguas de manantial están conformadas por varias líneas de filetes de agua, que después de haberse reunido fluyen a través de una formación de estratos de grava, arena o piedra fisurada (material permeable), posteriormente aparecen en una cavidad natural donde existen estratos impermeables, mismos que bloquean el flujo subterráneo del agua permitiendo que sean conducidos a una cámara de recepción o superficie (Gomella & Guerrée, 1982).

Las tomas o arquetas para captación de los manantiales deben construirse de materiales inertes que no se disgreguen, evitando las posibles obstrucciones de las venas líquidas, así como impermeabilizar en sentido contrario, para evitar contaminación de agentes externos (Pimienta, 1980).

1.5.2 CONDUCCIÓN

CONDUCCIÓN POR GRAVEDAD

Se trata de una línea de tubería que cuenta con un desnivel favorable para la conducción del agua desde la fuente hasta el tanque de almacenamiento. En este caso se debe determinar el diámetro de tubería que permita respetar las velocidades y presiones máximas y mínimas establecidas en normativa vigente (CONAGUA , 2015).

CONDUCCIÓN POR BOMBEO

Se considera a la línea de succión, el tramo de tubería ubicado antes de la bomba con el fin de extraer agua de la fuente y direccionarla al siguiente tramo de tubería considerado la línea de impulsión la cual conduce el caudal entregado hasta el tanque para el tratamiento y posterior distribución y es aplicada cuando el nivel de agua en la fuente es menor al nivel donde se encuentra el punto de entrega del caudal bombeado (CONAGUA , 2015).

Línea de succión

Las pérdidas de carga en este tramo resultan en mayor parte por pérdidas localizadas, es decir por los accesorios instalados y la pérdida de carga por fricción es baja ya que este tramo es corto

(Narváez, 2011). La velocidad mínima en esta sección es de 0,45 m/s y la máxima es de m/s, la presión de vapor para la temperatura que se tiene en la junta no debe estar por debajo de 1,7 kPa (EMAAP-Q, 2008).

Línea de impulsión

Por el contrario de la línea de succión, este tramo es de mayor longitud por lo que las pérdidas por fricción superan a las perdidas localizadas en el sistema (Narváez, 2011). La velocidad mínima en esta sección es de 0,6 m/s y la máxima es de 2,0 m/s, por otro lado, la presión mínima debe ser de 5 m.c.a. (EMAAP-Q, 2008).

Conducciones a presión en sistemas de bombeo

Para el diseño se consideran varios factores fundamentales, primero se deben establecer los puntos donde estarán las obras principales (captación y tanques de almacenamiento) y accesorios, luego se da lugar al cálculo de las pérdidas de carga en todo el sistema, determinación de diámetros requeridos para cumplir con la entrega del caudal de agua respetando las velocidades máxima y mínima (Narváez, 2011). Haciendo referencia a un sistema que trabaja con flujo permanente se tienen la ecuación de la continuidad y de energía.

Ecuación de continuidad

$$Q = V * A$$

Ecuación 1. Ecuación de continuidad (Narváez, 2011)

Donde:

Q= caudal o gasto (m³/s)

A= área de la sección transversal de la

V= velocidad (m/s)

tubería (m²)

Ecuación de la energía

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_b = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 H_f + \sum_1^2 H_L$$

Ecuación 2. Ecuación de la energía (Narváez, 2011).

Donde:

Z= carga de posición (m)

V= velocidad media en la tubería (m/s)

P= presión (kg/m²)

g= gravedad (m/s²)

H_b= carga de la bomba (m)

Hf= pérdidas por fricción en todo el tramo analizado (m)

HL= pérdidas localizadas o por accesorios en todo el tramo analizado (m)

γ = peso específico del agua (kg/m³)

Sistemas de bombeo

Está conformado por varios elementos estructurales equipos, tubería y accesorios, que permiten bombear y dirigir un volumen de agua determinado, desde la captación hasta una fuente de distribución y posteriormente a la población.

Los sistemas de bombeos son dispositivos para elevar y extraer agua de un punto bajo aun elevado.

Accesorios del sistema de bombeo

- **Válvulas**

Se utilizan para el seccionamiento manual de una conducción, se puede detener, regular o iniciar el flujo, es uno de los elementos más importantes en la línea de conducción.

Válvula de control: regula la velocidad de flujo del fluido a medida que el actuador altera el posicionamiento del disco, son útiles para controlar un proceso fluctuante lo más cerca posible del punto de ajuste ideal (HIDROCÚCUTA S.A.S., 2018).

Válvulas de retención: impide que el fluido retorne por la misma vía. Este tipo de válvulas se recomienda colocar en la parte de tubería donde se descarga la bomba, para evitar que las ondas del golpe de ariete al cerrar una válvula lleguen a las bombas. (Manuel & Javier, 2004)

Válvulas de drenaje: Se deben instalar en el nivel bajo de la tubería, sirve para limpiar los sólidos que se almacenen e impedir el paso de regreso del flujo por la misma vía. Este tipo de válvula cuenta con una tapa superior que se puede abrir con la finalidad de revisar el disco, debido a que puede existir en el fluido algún plástico, piedras o ramas sobre todo en caso de inundaciones o deslaves. (Manuel & Javier, 2004)

Válvula de aire: Se debe instalar en los niveles más altos de la tubería u otro elemento del sistema, con la finalidad de expulsar gases que se produzcan en la tubería y el exceso de aire, esto reduce que se produzcan rupturas de tubería (Manuel & Javier, 2004).

Curva característica de la bomba

Es una representación visual, creada por cada fabricante de bombas. En esta se muestra la relación existente entre el caudal-carga, que garantiza el equipo de bombeo a una determinada velocidad de giro de su mismo impulsor (FESMEX , 2021).

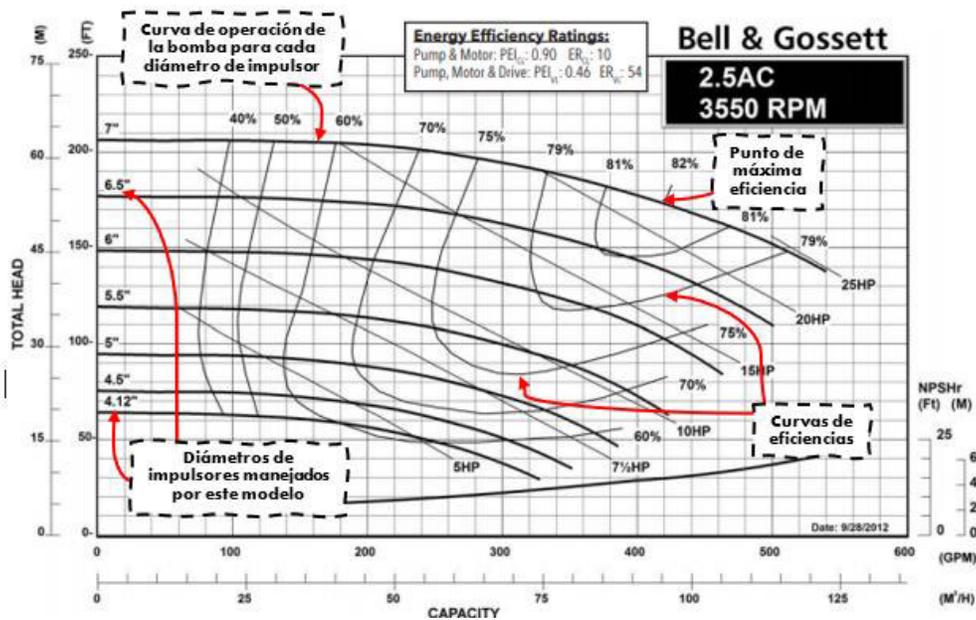


Figura 1. Componentes de las curvas características de las bombas (Tutoriales Ingeniería Civil, 2021).

- La curva característica de una bomba centrífuga representa una relación única de Caudal-Altura.
- Existirá una curva característica para cada diámetro de impulsor que sea posible instalar en el modelo de bomba respectivo, en la medida que el diámetro del impulsor es menor, la carga de bombeo suministrada por la bomba, para un mismo caudal, es menor
- A lo largo de cada curva característica de una bomba centrífuga, se diferencian distintos valores de eficiencia para el equipo (Tutoriales Ingeniería Civil, 2021).

1.5.3 TIPOS DE TANQUES

TANQUES DE SUCCIÓN

Es el tanque destinado a almacenar el agua que proporciona la fuente y debe tener siempre la cantidad requerida para el bombeo, el volumen de este tanque se determina rápidamente mediante la multiplicación del caudal requerido por las horas de bombeo y obtener así, valor del volumen mínimo requerido (Rosales, 2004).

TANQUES REGULADORES

La capacidad del tanque regulador o tanque de succión se determina mediante el método de la curva integral de consumo, ya que esta es ascendente, la pendiente en cualquier punto de la línea indica el consumo total hasta el momento, la cual se debe invertir para calcular el volumen, debido a que la demanda que se tiene en el tanque de succión será la curva de bombeo (López, 2003).

1.5.4 SISTEMA DE DESINFECCIÓN

La desinfección del agua es el último proceso que se realiza para garantizar un consumo seguro para el ser humano, desde el punto de vista microbiológico. Para ello existen varios tipos de tratamientos que se determinan por tres factores fundamentales: el tiempo de contacto, la concentración del desinfectante y la temperatura del agua que se va a tratar (Romero, 2012).

TRATAMIENTOS BÁSICOS

El tipo de tratamiento se selecciona en base a la calidad del agua cruda que será destinada para consumo humano, para ello se toman en cuenta análisis físicos, químicos y microbiológicos. Según los resultados de estos análisis, se establecen tres tipos de tratamientos, el primero consiste en un tratamiento físico simple que es una filtración rápida y desinfección, el segundo va de un tratamiento físico a un químico y finalmente la desinfección, por último, la aplicación de tratamiento físico y químico intensos, que comprenden cribado, sedimentación, coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección (Romero, 2012).

Tratamientos físicos

Entre los más comunes de este tipo son la filtración, aireación, floculación y clarificación o sedimentación. La filtración consiste en el paso de agua por un medio poroso que dé lugar a la retención de las partículas presentes en el agua, existen los sistemas de filtración lenta y rápida con capas de arena y/o otros materiales y los sistemas de empaque o filtros industriales prefabricados. La aireación busca lograr una relación eficiente entre el aire y el agua de tal manera que los contaminantes volátiles presentes en el agua sean eliminados y así mejorar la calidad en cuanto a olor y sabor (Salamanca, 2016). La floculación es un proceso que genera las condiciones para la unión de varias partículas pequeñas con el fin de formar flóculos con el tamaño y peso que permitan su fácil remoción (Restrepo, 2009). Por último, la sedimentación es la remoción de las partículas aun presentes, mediante la fuerza de la gravedad y teniendo en consideración la naturaleza, concentración y grado de floculación de las partículas o sólidos que serán removidos en esta etapa (Rojas, 1996).

Tratamientos químicos

Coagulación, desinfección y ablandamiento están entre los más usados, estos son tratamientos de los cuales se tiene como resultado nuevas sustancias.

La coagulación aglomera las partículas basándose en un principio de neutralización de la carga eléctrica de un coloide permitiendo que estos aumenten su fuerza de atracción y formen partículas de mayor tamaño. Este fenómeno se da con la aplicación de sales de aluminio o hierro, más comúnmente conocidos como floculantes (Acosta, 2006). La desinfección es la eliminación de microorganismos patógenos que persisten en el agua, para este proceso los agentes químicos más usados son el dióxido de cloro, cloro y ozono (Romero, 2012). La dureza del agua se debe principalmente a la presencia de iones de calcio y magnesio en el agua que está siendo tratada, para lograr el ablandamiento de ésta se realiza un intercambio iónico con iones de sodio (Robillard, 2021).

DOSIFICACIÓN DE CLORO

La cloración es el proceso más económico de la industria y de fácil manipulación que controla biológicamente el agua, eliminando los microorganismos vivos altamente perjudiciales para la salud del ser humano (Rivas, 2003). La cantidad de cloro que se utilizará se establece de acuerdo con el caudal de distribución, la calidad que se debe cumplir según la Normativa 1108:2020 y el

TULSMA, y también del sistema de distribución para garantizar la buena calidad desde el punto de cloración hasta las conexiones domiciliarias, ya que hay una probabilidad de contaminación en las redes de distribución.

El cloro que se encuentra en estado sólido, reacciona según la temperatura a la que sea sometido. Por ejemplo, en un medio frío no daña los metales a diferencia de un medio caliente que ha 149°C daña las tuberías de acero (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 1984). También viene en estado líquido y gaseoso, en los tres estados es aplicable para tratamiento de aguas por su buena capacidad de reacción, pero se debe tener especial cuidado en la dosificación ya que causa efectos negativos sobre el organismo humano, para ello se instalan sistemas como el equipo de hipo clorador en línea que consiste en un tacho de plástico para almacenar la solución de cloro, una bomba dosificadora y una válvula de inyección, conectados con mangueras (Organización Mundial de la Salud, 2014), para que el sistema funcione correctamente se realiza un estudio de la demanda de cloro con la siguiente formula:

$$Dosis\ Cl = Demanda\ Cl + Cl\ Residual$$

Ecuación 3. Dosis de cloro que se debe usar (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Luego se calcula el caudal que ingresa al tanque de almacenamiento porque este es directamente proporcional a la cantidad de Cl que se debe agregar y así finalmente se determina la dosis de cloro que se debe usar.

COLORO LIBRE RESIDUAL

En la desinfección como último proceso de tratamiento se debe tener en consideración dejar en el agua cloro libre residual, para cumplir con este propósito se dosifica el cloro tomando en cuenta que este al ser suministrado al agua va a reaccionar con compuestos reductores (manganeso, hierro y nitritos) que están en ella y reducir la cantidad de cloro (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 1984) como se representa en la FIGURA 2. Haciendo que sea necesario seguir añadiendo más cantidades de cloro hasta que este resulte en cloro libre residual, dicho de otra forma, este tipo de cloro es el que se reserva o el que queda en el agua después del tratamiento y actúa como un desinfectante muy activo a lo largo de la red de distribución.

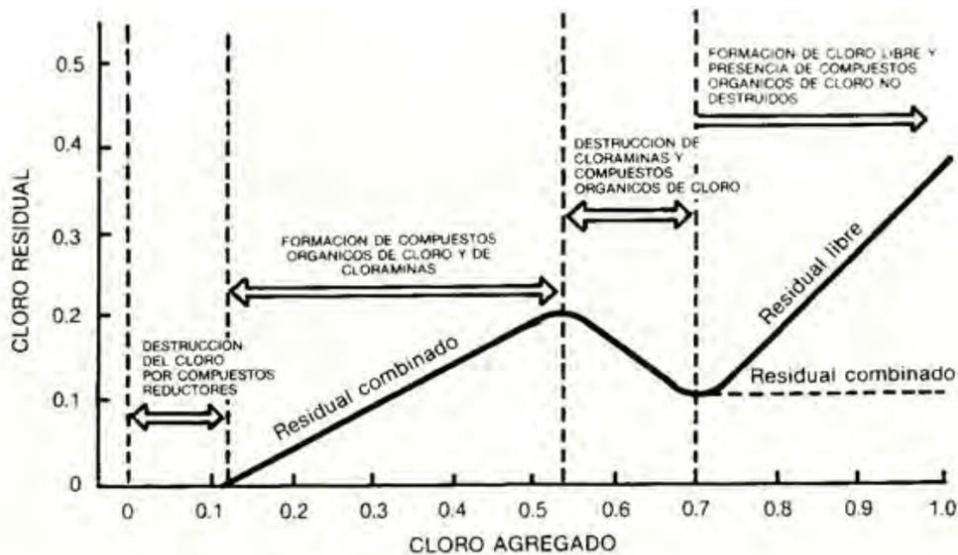


Figura 2. Curva de demanda de cloro (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 1984).

1.5.5 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Los componentes de una línea de conducción dependen del diseño y del sistema de abastecimiento de agua, entre los que podemos destacar se encuentran: tuberías, codos, uniones, tees, cruces, reducciones, acoples, tapones, entre otros.

TUBERÍAS

Existe una gran gama de materiales para tuberías, cada uno es diferente y posee características distintas y a su vez ofrece ventajas y desventajas, por lo tanto, su elección dependerá de su utilidad, clima, ubicación, tipo de suelo, corrosión, entre otros.

Entre los tipos de tuberías tenemos:

Tubería de hormigón, de fundición, aluminio, hierro dúctil, fibrocemento, de acero aleación con hierro y carbono, policloruro de vinilo (PVC), polietileno (PE).

Las tuberías de PVC son construidas a partir de resinas de PVC y aditivos para evitar su deterioro, estos son materiales termoplásticos, para realizar las diferentes uniones se utilizan aditivos especiales o a su vez pegamento encolado (VASITESA, 2002).

Este material es resistente a productos corrosivos, tomando en cuenta que puede transportar líquidos con temperaturas menor a 60 grados centígrados, para evitar deformación en la tubería o rupturas, este tipo de material es ideal para la distribución de agua potable.

Accesorios de tuberías

Los accesorios o adaptadores son piezas moldeables que mediante un procedimiento específico se unen a los tubos, formando las líneas estructurales de tubería, los accesorios se especifican por el diámetro nominal de la tubería.

- **Bridas:** Uniones que permiten el paso liso y directo del flujo, proporcionan mayor eficacia y eficiencia ya que son piezas desmontables, no requiere operaciones destructivas para su cambio o revisión, permitiendo unir tubería, válvulas, bombas u otros elementos (ESPECIFICAR, 2021).
- **Uniones mecánicas:** Sirven para mantener la posición relativa entre varios elementos limitando los movimientos lineales o rotativos, se conocen también como sujetadores.
- **Collarín:** Se utilizan para la instalación de acometidas domiciliarias de agua potable, con refuerzo metálico en la salida radial y pernos de acero inoxidable para garantizar durabilidad.
- **Codos:** Es un accesorio que permite el cambio de dirección del flujo o gas, estos presentan grados de dirección estándar:

Codo estándar de 45°

Codo estándar de 90°

Codo estándar de 60°

Codo estándar de 180°

- **Cruz:** Se utilizan para unir cuatro conductos, los diámetros pueden ser dos de un mismo diámetro y dos de diferente o los cuatro de un mismo diámetro.
- **Adaptador:** Estos se clasifican en adaptador hembra o macho, se utiliza para unir la tubería con un accesorio que tenga rosca, como un filtro o una válvula de aire.
- **Reductor:** Se utiliza cuando se pasa de un diámetro de tubería o accesorio mayor a un diámetro menor.
- **Tees:** Es un accesorio en forma de T, está formado por tres ramales que dividen o combinan la tubería y el flujo o lo cambian de dirección.

1.5.6 PROGRAMA DE SIMULACIÓN EPANET

Un software libre para realizar análisis hidráulicos de redes de tuberías a partir de características físicas de las tuberías y dinámicas de los nodos, así se obtiene datos como son: presiones, caudales, análisis de calidad que permiten ver el tiempo de viaje desde la captación hasta los distintos nodos del trayecto (Tutoriales Ingeniería Civil, 2021).

Permite obtener información como:

- Conocer la evolución del flujo en las conducciones.
- Presión en los nodos de demanda.
- Nivel de agua en los depósitos.
- Concentración de cualquier sustancia a través del sistema de distribución durante un periodo prologado de simulación.
- Tiempos de permanencia del agua en la red de distribución.

2. METODOLOGÍA

2.1 LEVANTAMIENTO DE PUNTOS GEORREFERENCIADOS, PLANIMETRÍA Y ALTIMETRÍA DEL SECTOR

En primera instancia se realizó un oficio dirigido al presidente de la JAAPS, con la finalidad de obtener el permiso respectivo para la actividad a desempeñar y trabajar juntamente con un operario que conozca la ruta de distribución del sistema por bombeo.

Con el equipo de posicionamiento global (GPS), se realizó el recorrido de la red principal desde el tanque hasta la estación de bombeo y captación, y también se definió la ruta de la red de distribución general que distribuye a los barrios: el Tambo 1, Tambo 2 y Tambo 3.

Durante el recorrido, se tomaron puntos específicos en los sitios de importancia, como: captación, bombas, válvulas, pozos de revisión, tanques de distribución, entre otros. Con esta información se elaboraron las fichas catastrales de estructuras, equipos y accesorios presentados en el ANEXO 2.

El levantamiento de los puntos geo-referenciados, sirve para realizar la implantación del sistema de abastecimiento en un plano y generar perfiles del terreno. También proporcionó datos e información para el análisis hidráulico de la red de conducción y distribución.

2.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

2.2.1 CATASTRO DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

El presidente de la junta de agua nos proporcionó los registros de los medidores de agua, al igual que los planos donde se encuentran divididos los lotes que conforman los barrios de la Loma de Santa Rosa.

Mediante las visitas de campo, se tomaron notas del estado en el que se encuentran las instalaciones, accesorios y equipos que conforman la red de distribución y conducción de la Junta de Agua Potable, clasificando tipo de accesorio, si se encuentra en funcionamiento, tipo de mantenimiento, especificaciones técnicas, punto de ubicación, material y estado del equipo o accesorio. ANEXO 3.

2.2.2 CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA

En la estación de bombeo, realizamos un listado de todas las bombas, sus tiempos de trabajo, la potencia de cada una, ubicación, funcionamiento, y datos técnicos de cada bomba.

La bomba 4, es la encargada de distribuir agua hacia el tanque del Tambo3, por tal motivo se procedió a buscar la marca y modelo de la bomba, encontrando así la curva característica de la bomba, que es elaborada por los fabricantes de las bombas.

La curva característica de la bomba proporciona información indispensable como: alturas manométricas y caudales, datos necesarios para ingresar en el programa EPANET y realizar la simulación hidráulica.



Figura 3. Levantamiento de los tambos 1,2 y 3

2.3 CÁLCULO DE POBLACIÓN DE DISEÑO Y DEL CAUDAL NECESARIO PARA ABASTECER LA POBLACIÓN

2.3.1 POBLACIÓN DE DISEÑO

Para determinar la población de diseño es necesario conocer la dotación de agua, para esto pueden intervenir factores en los que se puede citar los siguiente: nivel de educación, condición social, cercanía a la capital, tamaño de la población, clima, disponer de redes de alcantarillado, entre otros.

La dotación de agua se obtuvo tomando en cuenta datos de la EPMAPS en el año 2020, con un incremento del 40 % en el consumo de agua potable ya que el nivel de servicio del sistema actual a todos los barrios es conexión domiciliaria con medidor de agua y porque la población ha crecido y sus características de consumo han cambiado.

Mediante los datos proporcionados entregados por la Junta de Agua Potable, de los barrios altos de la loma de Santa Rosa, se procedió a calcular la población actual, utilizando un coeficiente de ocupación por vivienda que es el aplicable para la parroquia, según el censo de la población de 2001 y multiplicándolo por el número de lotes existentes, este cálculo se realiza debido a que la junta no cuenta con ese dato al presente año 2020.

El índice o porcentaje de pérdidas (%P)

$$\%P = \frac{\text{Volumen producido} - \text{Volumen consumido}}{\text{Volumen producido}}$$

Ecuación 4. Porcentaje de pérdidas de agua (López, 2003).

A falta de datos para calcular el porcentaje de pérdidas, el segundo tomo de Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados establece que, para sistemas con alta capacidad técnica y económica el índice puede ser máximo 20 %, por lo tanto, fue el dato que se usó para este cálculo.

El consumo total (L/hab*día):

$$\text{El consumo total} \left(\frac{l}{\text{hab} * \text{dia}} \right) = \frac{\text{Consumo Neto}}{\%P}$$

Ecuación 5. Consumo total de agua (López, 2003).

Para el cálculo de población futura se consideró un periodo de diseño (n) de 15 años comprendidos entre el año 2020 y 2035, por contar con una población actual mayor a 1000 habitantes y porque los elementos del sistema ya se encuentran instalados haciendo uso de su vida útil, así también, se consideró un índice de crecimiento anual (i) del 2% según establece el derecho de aprovechamiento de aguas en la SENAGUA, por consiguiente, la fórmula utilizada para determinar la población futura fue:

$$\text{Población futura} = \text{Población actual} * (1 + i)^n$$

Ecuación 6. Método de crecimiento geométrico (López, 2003).

2.3.2 CAUDAL DE DISEÑO

El caudal necesario para abastecer a la población actual se determinó considerando el consumo total de la misma, dividiendo la dotación o consumo neto para uno menos el porcentaje de

pérdidas del 20% estipulado para este tipo de población (de alta capacidad técnica y económica). Con el consumo total por la población se determinó el caudal medio y a su vez este se usó para calcular el caudal máximo diario multiplicándolo por el factor de mayoración k1 de 1,3 por tratarse de una población menor a 12500 habitantes (López, 2003), finalmente se obtuvo el caudal máximo horario ANEXO 2, multiplicando el QMD por el factor de mayoración k2 de 1,65 por tratarse de una población entre 5000 y 20000 habitantes (López, 2003).

El caudal medio se calculó con la siguiente ecuación:

$$Q M = \frac{\text{Consumo total} \left(\frac{1}{\text{hab} * \text{día}} \right) \times \text{Población}(\text{hab})}{86400}$$

Ecuación 7. Caudal medio diario o caudal promedio (López, 2003).

Caudal máximo diario se calculó con la siguiente ecuación:

$$Q MD = k1 * Q M$$

K1: 1.3 < 12 500 hab; 1.2 >12

Ecuación 8. Caudal máximo diario (López, 2003).

Caudal máximo horario se calculó con la siguiente ecuación:

$$Q MH = k2 * Q MD$$

K2: 1.8 < 5000 hab

Ecuación 9. Caudal máximo horario (López, 2003).

Aplicando las mismas fórmulas, pero usando los datos de población futura calculados anteriormente, se determinó el caudal requerido hasta el año 2035. Dato que posteriormente será una importante referencia para la evaluación del sistema de bombeo.

2.4 DESARROLLO DE PLANOS Y PERFILES DEL TERRENO

Se realizó un procesamiento de los datos obtenidos con el GPS durante los recorridos de campo, estos se ingresaron en el programa Google Earth Pro, con la finalidad de tener una imagen satelital de la zona de estudio, y poder escalar la imagen en el programa de AutoCad.

Estos datos se ingresaron en el programa MapSource, donde clasificamos los puntos específicos tomados en los recorridos como: instalaciones, válvulas, tanques de reserva y distribución, pozos de revisión, bombas, tanque de desinfección, entre otros, y los puntos que nos permitieron realizar los planos en AutoCad, obteniendo datos de altura, posición en el eje X, Y.

Posteriormente, en el programa AutoCad, se realizó el perfil longitudinal de la línea de conducción, que empieza desde la estación de bombeo hasta el tanque de distribución ubicado en el barrio Tambo 3, para ello requerimos realizar alineamiento de puntos, creación de superficies tridimensionales, verificación de la ubicación de puntos en el mapa. Donde se identificaron las diferentes elevaciones del terreno, y las curvas de nivel, para posteriormente implementar válvulas de aire y válvulas de desagüe, como propuestas de mejora. Se realizó una línea continua desde la estación de bombeo hasta el tanque de distribución en el tambo 3, para poder exportar los puntos en el programa EPANET y realizar la simulación. El perfil longitudinal se muestra en el ANEXO 1.

Para la línea de distribución, se importaron los puntos al AutoCad, del recorrido realizado en los barrios Tambo1, Tambo2 y Tambo3, tomando como punto de inicio el tanque de distribución del Tambo3, se procedió a activar la geo-ubicación aérea del programa AutoCad, con la finalidad de tener un mapa completo y distinguir las calles principales y transversales por donde se encuentra el paso de las tuberías de distribución. Se realizaron líneas de esquina a esquina en todos los puntos del recorrido hasta que se encuentren conectadas todas entre sí, con la finalidad de tener un esquema básico de tuberías para poder procesarlo en el programa EPANET y realizar las simulaciones. El plano general se muestra en el ANEXO 1.

2.5 SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN EPANET

Con ayuda del programa MapSource se importaron los puntos del GPS obtenidos en el recorrido por el sistema de conducción y distribución, donde se observó los puntos marcados durante el recorrido, y una previa visualización de la ruta trazada.

2.5.1 SISTEMA DE CONDUCCIÓN

En el sistema de conducción la ruta inicia en la estación de bombeo y captación, terminando en el tanque de distribución ubicado en el barrio Tambo 3. Para la simulación se importó la ruta antes mencionada del AutoCAD al programa EPANET, ubicando las cotas correspondientes, en la captación 3035 m.s.n.m. y en el tanque de distribución 3155 m.s.n.m.

Para la curva característica de la bomba, se utilizó la bomba de 125 HP, marca BEKERLY, modelo B4E_BM, ingresando datos de altura manométrica y caudal en el programa EPANET.

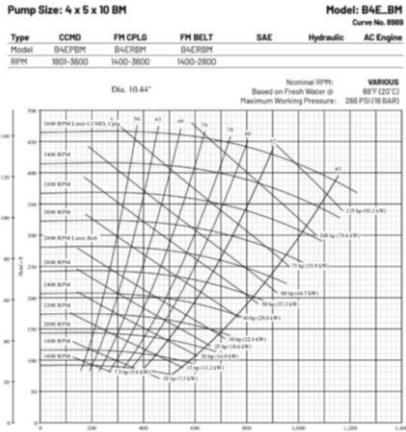


Figura 4. Curva característica de la bomba de 125 hp

Se realizó la simulación con el caudal determinado en campo y el diámetro de tubería existente. Con la simulación en este tramo se puede observar si la velocidad se encuentra en los límites máximos y mínimos permisibles.

2.5.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La ruta empieza desde el tanque de distribución ubicado en el barrio Tambo 3 hasta los barrios Tambo 1, Tambo 2 y Tambo 3. La simulación se realizó en dos modos, el estático, es decir cuando el caudal es 0 L/s y en modo dinámico, donde se realizó el cálculo del caudal de distribución para cada nodo, el total es 69 nodos. Se ingresaron datos de cotas y caudal en cada nodo, diámetro, rugosidad y longitud en cada tubería.

Después de ingresar los datos respectivos se procedió a ejecutar la simulación en modo estático y dinámico, evidenciando que todos los datos se encuentren ingresados de manera correcta. En esta simulación se obtuvo datos de presión, velocidad y caudal.

2.6 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

2.6.1 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

PÉRDIDAS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Para la evaluación de pérdidas de la Bomba 4 se consideró el caudal máximo diario estimado por la Junta administrativa de agua potable, siendo este 12 L/s y el caudal medido en el sitio, en un horario de bombeo de 12 horas diarias, un diámetro de tubería en funcionamiento de 160mm tanto en la tubería de succión como de impulsión y una altura estática comprendida entre la cota del taque El Tambo y la cota del tanque de succión tomadas con GPS.

La medición in-situ del caudal se realizó mediante un medidor ultrasónico de flujo de alta eficiencia en tuberías de metal, goma y plástico.

Datos técnicos generales del medidor ultrasónico de caudal

- Rango de medición: 0.01 – 30 (m/s)
- Tiempo de respuesta: 0.99 (s)
- Dimensiones de tubo: 108 – 720 (mm)
- Medio: cualquier liquido
- Interfaz: USB
- Temperatura del líquido: -30°C – 160°C

Componentes del medidor



Figura 5. Contenido del medidor ultrasónico de caudal (PCE-Instruments, 2017).

- 1 medidor de caudal
- 2 transductores
- 2 cables de conexión

- Gel de acoplamiento
- Flexómetro
- Instrucciones de uso

Método de medición

- 1) Se limpió con una franela la sección del tubo donde se realizó la medición.
- 2) Se conectaron los dos cables a los transductores tomando en cuenta los colores rojo-rojo, azul-azul en los extremos.
- 3) Luego se conectaron los otros extremos de los cables al equipo y se procedió a encenderlo.
- 4) Una vez encendido el equipo se introdujo el valor del diámetro de la tubería, el espesor de la misma, el tipo de material y líquido que fluye en la tubería, para determinar la distancia a la que deben ser colocados los sensores entre sí.
- 5) Se colocó una cantidad razonable de gel en los sensores para aplicarlos en la tubería.
- 6) Debido a que la tubería se encontró semi enterrada, se procedió a colocar los sensores aplicando el método “V”, como se muestra en la FIGURA 6.
- 7) Una vez ubicados correctamente los sensores se procede a dar lectura de los valores como se indica en la FIGURA 7.
- 8) Se toman varias lecturas para poder sacar un promedio y tener un dato del caudal que fluye por la tubería más preciso.

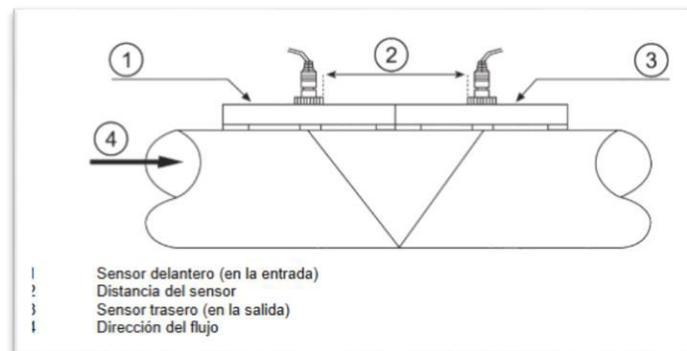


Figura 6. Método “V” para medición de caudal (PCE-Instruments, 2017).



Figura 7. Medición de caudal con medidor ultrasónico

Para el cálculo de la altura dinámica total del sistema de bombeo se aplicó la siguiente formula:

$$\text{Altura dinámica total} = H_{est} + P_s + P_i + \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 10. Altura dinámica total del sistema de bombeo

Donde:

H_{est}= altura estática (m)

P_s= pérdida de carga en la succión (m)

P_i= pérdida de carga en la impulsión (m)

V= velocidad media en la tubería (m/s)

g= gravedad (m/s²)

POTENCIA DE LA BOMBA

Para el cálculo de la potencia de la bomba se usó el caudal máximo diario de 12 L/s, la altura dinámica total anteriormente calculada en un rango de eficiencia entre 90 y 50% de funcionamiento de la bomba 4.

También se calculó el caudal que se puede bombear con la potencia de la bomba existente (125Hp) con una eficiencia del 80% y adicional los caudales que se pueden bombear con una eficiencia entre el 70 y 90%.

2.6.2 EVALUACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE TANQUE EL TAMBO Y TANQUE DE SUCCIÓN

Mediante el método de la curva integral se evaluó el volumen del tanque elevado, con un horario de bombeo comprendido entre las 7:00 h y las 18:00 h, total 11 horas de bombeo. La evaluación para el tanque de succión no aplica en este caso, debido a que es un elemento que se encuentra siempre lleno para abastecer a 10 barrios de Cutuglagua.

Tanque El Tambo

El método de cálculo se detalla según el presente caso, ya que se determina mediante el comportamiento de consumo y/o costumbres que tenga la población, por lo tanto, tomando como referencia un consumo típico de la población en un día que se indica en la figura 8 y un suministro por bombeo de 11 horas desde el tanque de succión, se determinó el porcentaje de volumen horario de agua en el tanque del Tambo tomando como referencia un punto donde el tanque se encuentra totalmente vacío en función del déficit horario acumulado, para esto se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$(S\%) = \frac{100}{\text{horas de bombeo}}$$

Ecuación 11. Suministro horario de bombeo

$$\text{Déficit horario} = \text{Suministro} - \text{Consumo}$$

Ecuación 12. Déficit horario

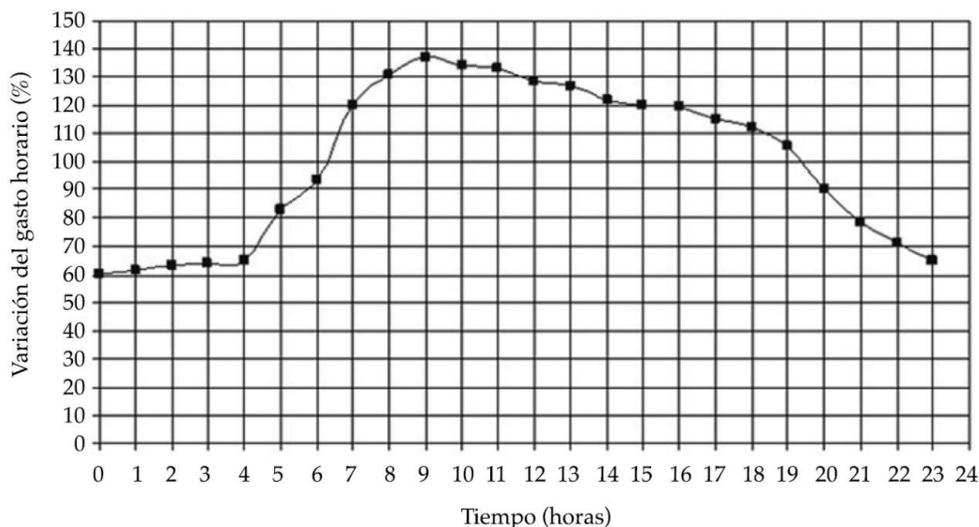


Figura 8. Curva de consumo típico.

Para el cálculo del volumen total requerido en el tanque, se sumó el volumen calculado con el volumen de seguridad del 20%, el volumen calculado se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$Vol.tanque = Q_{máx.diario} * \frac{\%Vmáx}{100}$$

Ecuación 13: volumen del tanque

Y el volumen de seguridad se calculó multiplicando el resultado de la ecuación 13 por el 20%, y finalmente se obtuvo el volumen total en metros cúbicos.

2.7 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

2.7.1 SISTEMA DE TRATAMIENTO UTILIZADO EN LA JUNTA

La JAAPS realiza un análisis diario de cloro y pH en el tanque de desinfección ubicado en el barrio Tambo 3, el cual consiste en utilizar reactivos de orto-tolidina para medición de cloro y fenol rojo para medición de pH, el proceso consiste en enjuagar el test kit con agua tratada antes y después de su uso y llenarlo con la muestra hasta la línea indicada por el test kit, posteriormente se añade 3 gotas de cada reactivo. El reactivo de orto-tolidina provoca que el agua se torne de color amarillo, mientras más clara sea la tonalidad menos concentración de hipoclorito de sodio existe en la muestra y por el contrario si esta es más oscura indica mayor concentración. El reactivo de fenol rojo presenta tonalidad roja claro cuando el pH es menor a 7, indicando presencia de aguas ácidas, si la tonalidad cambia a color magenta es decir pH mayor a 7, indica que el agua es alcalina o básica. El pH para agua potable debe encontrarse entre 6.5 y 9.



Figura 9. JAAPS medición de cloro y pH.

2.7.2 MEDIDOR DE CLORO RESIDUAL DR300 HACH

Es un medidor fotómetro de filtro portátil y de funcionamiento sencillo, resistente al agua y a temperaturas extremas, cuenta con una transferencia de datos directa para eliminar errores de introducción manual de datos que pudiesen ser cometidos en el trabajo de campo. Es aplicable para agua potable, residual e industrial, así como para bebidas en laboratorios de alimentación y para la industria energética (HACH, s.f.).

Datos técnicos generales

- Condiciones de operación: 0 – 50 °C y 0 – 90% de humedad
- Absorbancia: 0 – 2,5 Abs
- Ancho de banda espectral: ancho de banda del filtro de 15 nm
- Longitud de onda: más menos 2 nm
- Detector: Fotodiodo de silicio
- Protección de la carcasa: resistente al agua a 1m durante 30 minutos
- Almacenamiento de datos: últimas 50 mediciones

Parámetro de medición

Cloro libre con un rango de medición de 0,02 – 2,00 mg/l y cloro total con un rango de medición de 0.1 – 8,0 mg/l, el método de medición para ambos parámetros es DPD (HACH, s.f.).

Componentes

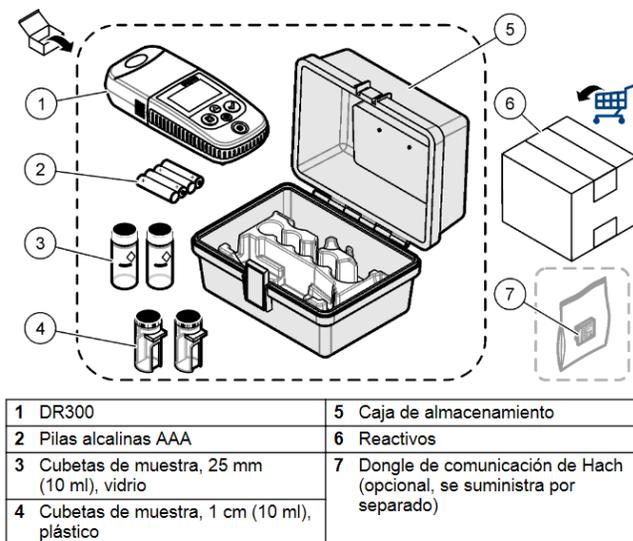


Figura 10. Componentes del medidor de cloro residual DR300 HACH (HACH, 2021).

Limpieza

Limpiar el exterior del instrumento con un paño húmedo y un jabón suave, secar con otro paño. Limpiar las cubetas de muestra lavando varias veces con agua desionizada y dejar secar a temperatura ambiente (HACH, 2021).

2.7.3 DETERMINACIÓN DE CLORO Y COLIFORMES FECALES

Para que el agua sea adecuada para consumo humano, debe cumplir ciertos parámetros y con ello determinamos que tipo de tratamiento se debe realizar, por consiguiente, en este sistema se planteó realizar análisis de:

- Cloro libre residual y total
- Coliformes fecales

Posteriormente se plantea una comparación con las normativas vigentes TULSMA Libro 6, ANEXO 1 y normativa 1108:2020 para determinar si cumplen con los límites máximos permisibles.

Análisis de cloro libre residual y cloro total

Los puntos de muestreo fueron los siguientes:

- El tanque de distribución en el Barrio el Tambo 3: cloro libre y total
- La primera casa de distribución: cloro libre y total
- La última casa de distribución: cloro libre y total

En el tanque de almacenamiento:

Se utilizó un recipiente (balde), para tomar la muestra del tanque y se lo enjuagó 3 veces con el propósito de curarlo, luego se procedió a lavar las celdas de medición con agua destilada y posteriormente se secó con papel sin pelusa. Para evitar interferencia en la medición se realizó el procedimiento con el uso de guantes quirúrgicos.

Para comenzar con las mediciones se procedió a llenar la celda con 10 ml de agua tratada (blanco), para encerrar el espectrofotómetro UV-Vis marca HACH modelo DR 300, una vez

encerado, se retiró el blanco y en esta muestra se colocó el reactivo de cloro libre residual o cloro DPD total, se agitó la muestra hasta que el reactivo se disolvió en su totalidad, tornándose un color fucsia y se obtuvo resultados en mg/l CL2 como se aprecia en la figura 11.

Se esperó 1 minuto para la medición de cloro libre residual y 4 minutos para cloro DPD total antes de realizar la medición y se encendió el equipo cada vez que se realizó un análisis diferente.



Figura 11. Análisis de agua del tanque de almacenamiento del Tambo 3.

Primera y última casa de distribución:

Para dar inicio al procedimiento se usó nuevos guantes de nitrilo, mientras se dejó correr el agua del grifo por alrededor de 1 minuto, transcurrido el minuto se colocó la celda de medición directo en el agua y se realizó tres lavados, una vez hecho esto se tomó la muestra de 10 ml en la celda y se secó cuidadosamente la celda con papel sin pelusa, luego se colocó en el espectrofotómetro UV-Vis marca HACH modelo DR 300, para encerrar. Una vez encerrado se retiró la muestra del blanco y en esta se colocó el reactivo de cloro libre residual o cloro DPD total, se agitó la muestra hasta que el reactivo se disolvió en su totalidad, tornándose un color fucsia y se obtuvo resultados en mg/l CL2 como se indica en la figura 12.

Se esperó 1 minuto para cloro libre residual y 4 minutos para cloro DPD total antes de realizarla medición y se encendió el equipo cada vez que se realizó un análisis diferente.



Figura 12. Análisis de agua en una casa.

Análisis de coliformes fecales

Los puntos de muestreo fueron los siguientes:

- Captación de bombeo
- El tanque de distribución en el Barrio el Tambo 3
- La primera casa de distribución
- La última casa de distribución

Captación de bombeo:

Se utilizó un recipiente (balde), para tomar la muestra del tanque de captación y se lo enjuagó 3 veces con el propósito de curarlo, se etiquetó la botella donde se almaceno la muestra, luego se tomó la muestra sumergiendo el balde en el centro del tanque a 30 cm de profundidad aproximadamente y se vertió el agua en una botella de plástico nueva, etiquetada y lavada previamente con agua destilada. Todo el procedimiento se realizó con guantes de nitrilo. Se almacenó la botella con la muestra en un recipiente oscuro y se procedió a tomar las muestras en los otros puntos de la obra.

En el tanque Tambo 3:

Se utilizó un recipiente (balde), para tomar la muestra del tanque y se lo enjuagó 3 veces con el propósito de curarlo, luego se procedió a etiquetar, lavar la botella de plástico nueva con agua destilada y se llenó con la muestra, recogida en el balde que fue sumergido en el centro del tanque, este fue sumergido aproximadamente a 30 cm para la toma de la muestra. Todo el

procedimiento se realizó con guantes de nitrilo nuevos, para evitar la contaminación de la muestra.

Primera y última casa de distribución:

Se empezó el procedimiento haciendo uso de nuevos guantes de nitrilo, mientras se dejó correr el agua del grifo por alrededor de 1 minuto, transcurrido el tiempo se colocó la botella directo en el agua, se llenó y vació por tres ocasiones, una vez hecho esto se tomó la muestra, se secó la botella y se etiquetó, luego se colocó en el recipiente oscuro junto con las otras muestras, para llevar al laboratorio. El mismo procedimiento se realizó en la primera casa y en la última.

Una vez concluido el muestreo en todos los puntos mencionados, el mismo día se llevó las muestras debidamente etiquetadas al CICAM (Centro de investigación y control ambiental), donde se solicitó previamente el análisis de coliformes totales en cada muestra puntual tomada. Cada muestra ingresó al laboratorio con una temperatura de 4,5 °C como se indica en el ANEXO 6. El método utilizado en el laboratorio por los analistas, fue el de fermentación en tubos múltiples, que consiste en cuantificar las bacterias presentes en la muestra.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. LEVANTAMIENTO DE PUNTOS GEORREFERENCIADOS, PLANIMETRÍA Y ALTIMETRÍA DEL SECTOR

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Junta Administrativa de Agua Potable y Saneamiento Regional “ROSARIO-AYMESA-SAN FRANCISCO” ubicada en la Av. Panamericana Sur km 6, del barrio el Rosario, Loma de Santa Rosa – Cutuglagua, con coordenadas 9960492 N y 772671 E, limita al norte con la quebrada Shushury y al sur, este y oeste con el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas INIAP, como se aprecia en el ANEXO 1.

DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA

La altitud del proyecto se encuentra entre 3035 m.s.n.m en la captación y 3155 m.s.n.m en el tanque el Tambo, la temperatura media del sector oscila entre los 11.7°C, con una pluviosidad anual de 1434 mm. Se considera una topografía regular con superficies onduladas y pendientes moderadas.

CATASTRO DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

El agua es captada de la vertiente Shushury, la cual es conducida por tubería cerrada hacia el tanque 1, en este tanque se encuentra una bomba sumergible de 40 HP, que bombea agua hacia el tanque de reserva 2. La bomba 1, 2, 3 y 4 captan agua del tanque 1, el agua pasa por tubería de acero hacia las bombas antes mencionadas, para conducirla hacia los tanques de reserva.

Todas las bombas se encuentran conectadas entre sí por tuberías y accesorios de acero, como válvulas, codos, tees, entre otros. En el tanque de reserva 2 se encuentra una bomba sumergible de 40 HP, la cual ayuda a impulsar agua hacia el tanque de distribución del Rosario, en conjunto con la ayuda de la Bomba 2 de 40HP.

El funcionamiento de las bombas es considerado por el operario, quien decide que bombas funcionan y el rango de tiempo. La bomba 4 de 125 HP siempre bombea agua hacia el tanque del Tambo, cuando se encuentra en reposo la bomba 1 de 40 HP es la encargada de suplirla.

Las bombas 2 y 3 son las encargadas de distribuir agua hacia el tanque de reserva del Rosario, mientras la una bomba descansa, la otra trabaja y así según considere el operario. ANEXO 3.

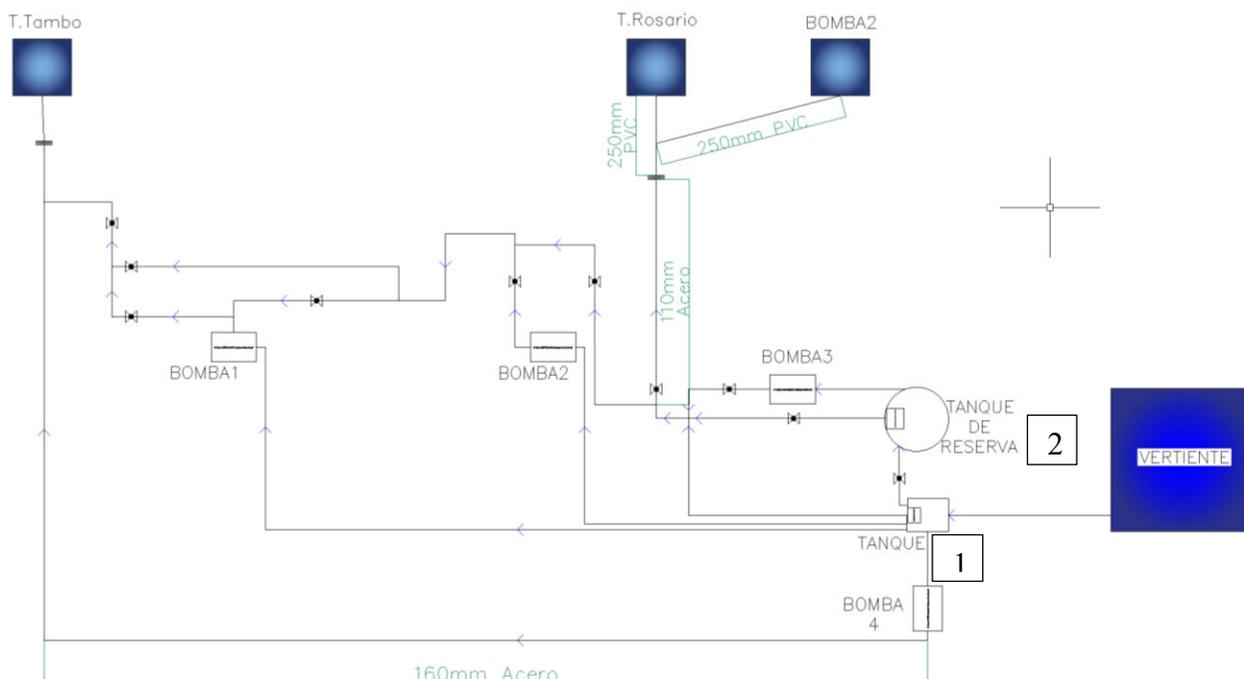


Figura 13. Diagrama del sistema de bombeo de la JAAPS.

3.2. POBLACIÓN DE DISEÑO Y DEL CAUDAL NECESARIO PARA ABASTECER LA POBLACIÓN

Para determinar tanto la población como el caudal se tomaron diversas consideraciones importantes, a continuación, en la TABLA 1 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 1. Determinación del caudal máximo diario en un año.

Año	Población actual	Dotación (L/hab*día)	Consumo neto (L/hab*día)	Consumo total (L/hab*día)	%P	k1	k2	Caudal medio (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
2020	5623	180	180	225	0,2	1,3	1,65	15	19	31
2020	5623	110	110	137,5	0,2	1,3	1,65	9	12	19

Para el año 2020 la población se estimó realizando la multiplicación del número de lotes existentes por el coeficiente de ocupación por vivienda de 4,4, dando como resultado 5623

habitantes que viven actualmente en la parroquia en estudio, luego se realizó el cálculo con dos tipos de dotación o consumo neto, una de 180 y otra de 110 litros por habitante por día, la primera que denominaremos caso 1 es debido a que la sub secretaría de Saneamiento Ambiental detalla que para una población mayor a 5000 habitantes se debe considerar una dotación de entre 120 y 180 L/hab/día, y la segunda dotación que denominaremos caso 2 de 110 L/hab/día se tomó en cuenta según la OMS. El consumo total se estimó dividiendo el consumo neto de 180 y 110 para uno menos el porcentaje de pérdidas dando como resultados 225 y 137,5 L/hab/día respectivamente.

El caudal medio calculado con la ecuación 7 para el caso 1 es de 15 L/s y 9 L/s para el segundo caso, el caudal máximo diario calculado con la ecuación 8 para el primer caso es de 19 L/s y de 12 L/s para el segundo caso, finalmente se calculó el caudal máximo horario con la ecuación 9, dando como resultado 31 y 19 L/s respectivamente.

Para el factor de mayoración (k_1) se consideró 1,3 por contar con una población menor a 12500 habitantes y se consideró un factor de mayoración (k_2) de 1,65 porque la población se encuentra en un rango de 5000 y 20000 habitantes, en base a la segunda edición de elementos de diseño para acueductos y alcantarillados de Ricardo López.

A continuación, se muestra la tabla 2, donde se estima el caudal máximo diario que se requeriría en un periodo de diseño de 15 años.

Tabla 2. Cálculo de la población futura y caudal necesario para abastecer a la población.

Año	Población	Dotación (L/hab*día)	Caudal medio (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
2020	5618	180	14,6	19,0	31,4
2021	5730	180	14,9	19,4	32,0
2022	5845	180	15,2	19,8	32,6
2023	5962	180	15,5	20,2	33,3
2024	6081	180	15,8	20,6	34,0
2025	6203	180	16,2	21,0	34,6
2026	6327	180	16,5	21,4	35,3
2027	6453	180	16,8	21,8	36,0
2028	6582	180	17,1	22,3	36,8
2029	6714	180	17,5	22,7	37,5
2030	6848	180	17,8	23,2	38,3

2031	6985	180	18,2	23,6	39,0
2032	7125	180	18,6	24,1	39,8
2033	7267	180	18,9	24,6	40,6
2034	7413	180	19,3	25,1	41,4
2035	7561	180	19,7	25,6	42,2

El periodo de diseño de 15 años está comprendido entre el año 2020 y 2035, la población futura se determinó con la ecuación 6, y para la tabla de Excel se consideró un índice de crecimiento anual de la población del 2%, por lo cual para el año 2035 se estima tener una población de 7561 habitantes en los 1278 lotes, un caudal promedio de 19,7 L/s, un caudal máximo diario de 25,6 L/s y un caudal máximo horario de 42,2 L/s.

3.3. DESARROLLO DE PLANOS Y PERFILES DEL TERRENO

Los datos obtenidos y perfiles del terreno de la línea de conducción, que está conformada desde la captación, estación de bombeo hasta el tanque de distribución del barrio el Tambo 3 se encuentra en el ANEXO 1

Las gráficas y planos del terreno de la línea de distribución, que conforma a los barrios TAMBO1, TAMBO 2 Y TAMBO 3, se encuentra en el ANEXO 1

3.4. SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN EPANET

3.4.1 SISTEMA DE CONDUCCIÓN

Para realizar el análisis hidráulico se utilizó el caudal máximo diario de 12 L/s, con un diámetro de tubería de 160 mm, teniendo como longitud total de tubería 2466 m, la altura a la que se encuentra la captación y la estación de bombeo es de 3035 msnm, y la del Tanque de distribución ubicado en el Tambo 3 es de 3155 msnm.

La bomba de 125 hP tiene la capacidad para entregar el agua al tanque de distribución ubicado en el barrio TAMBO 3, sin embargo, la potencia de la bomba es demasiado para el caudal de 8 L/s que transporta.

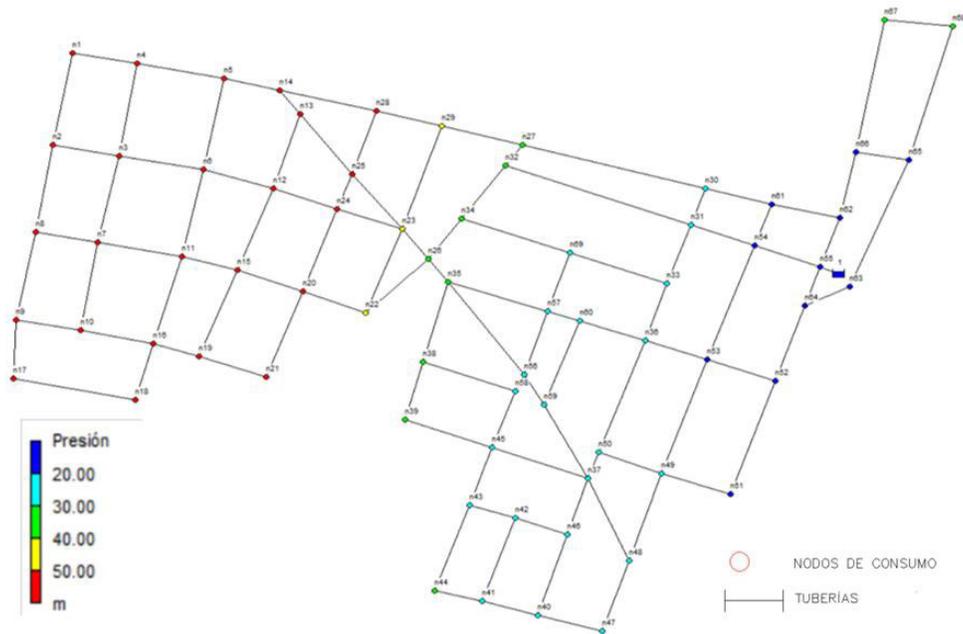


Figura 15. Plano en EPANET de la red de distribución en un sistema estático.

La zona noreste y sureste se encuentra conformada desde los nodos: n20, hasta el n69, embalse 1. Los nodos dentro del rango se encuentran conforme a la normativa ya que las presiones estáticas no sobrepasan los 60 m.c.a. Las zonas se encuentran de color azul, amarillo, celeste y verde. Como se muestra en la FIGURA 16

La zona noroeste y suroeste se encuentra conformada desde los nodos: n1 hasta el n19. Los nodos antes mencionados se encuentran fuera de la normativa, ya que las presiones estáticas sobrepasan los 60 m.c.a. La zona se encuentra de color rojo en la FIGURA 16

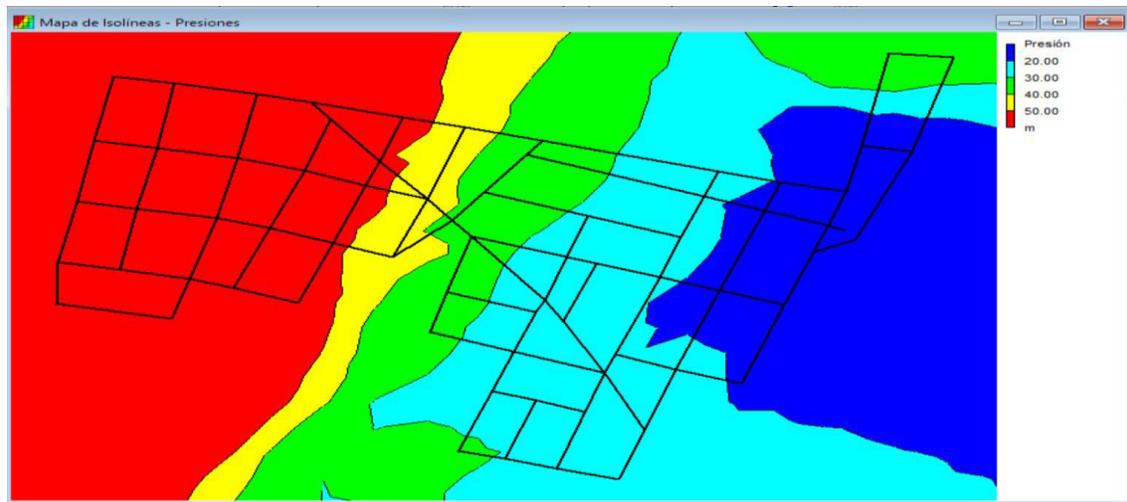


Figura 16. Delimitación de zonas por colores con presiones altas y bajas de la red de distribución.

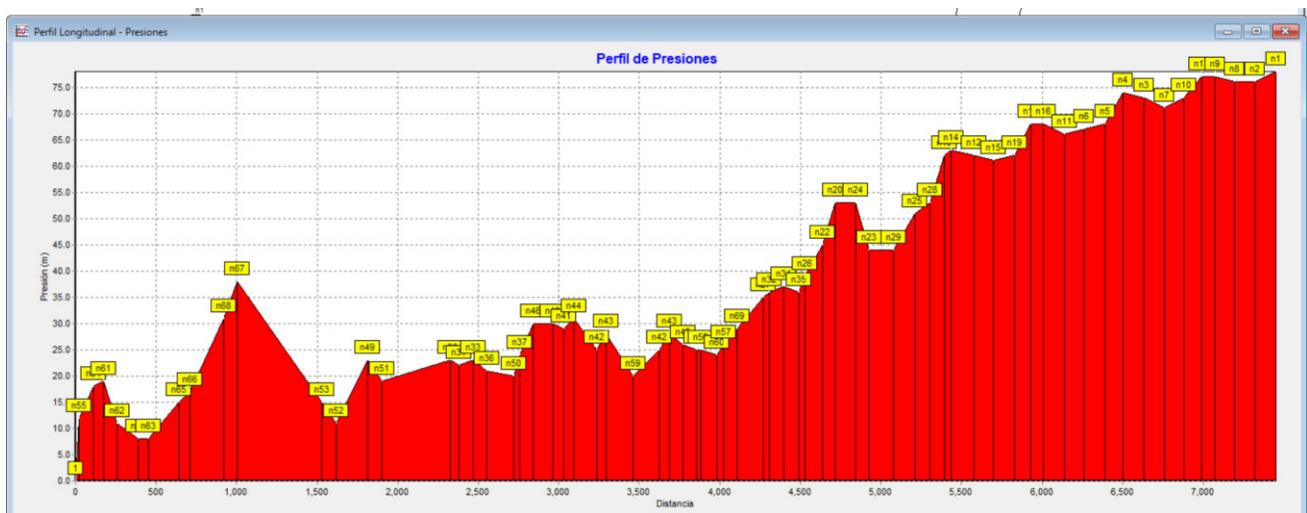


Figura 17. Perfil longitudinal de presiones, de la red de distribución.

La simulación dio como resultados zonas que sobrepasan los 60 m.c.a, que es la presión estática máxima, tenida en cuenta para las redes matrices y menores de distribución, según la normativa.

En la zona azul existen presiones menores a 20 m.c.a

En la zona celeste existen presiones entre 21 hasta 30 m.c.a

En la zona verde existen presiones entre 31 hasta 40 m.c.a

En la zona amarilla existen presiones entre 41 hasta 50 m.c.a

En la zona roja existen presiones mayores a 50 m.c. a, los nodos existentes en este rango se encuentran incumpliendo la normativa ya que superan los 60 m.c.a.

Esto provoca constantes rupturas en las tuberías, equipos y accesorios, fallos eléctricos en el sistema de bombeo y por consiguiente pueden aparecer ondas de sobrepresión y subpresión durante la conducción.

En la figura 17, se puede observar en orden ascendente el incremento con su respectivo nodo.

SIMULACIÓN EN UN SISTEMA DINÁMICO

Para la simulación en estado dinámico se utilizaron datos como: $q_e = 0.00168$ L/s, longitud total de la distribución = 11317.33 m, QMH = 19 L/s, permitiendo obtener la demanda base de cada nodo. Como se muestra en la FIGURA 18.

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Nudo n1	3079	0.135	0.14	3143.76	72.76
Nudo n2	3079	0.361	0.36	3143.76	70.76
Nudo n3	3082	0.386	0.39	3143.76	67.76
Nudo n4	3081	0.405	0.41	3143.76	68.76
Nudo n5	3087	0.339	0.34	3143.77	62.77
Nudo n6	3088	0.359	0.36	3143.77	61.77
Nudo n7	3084	0.339	0.34	3143.76	65.76
Nudo n8	3079	0.209	0.21	3143.76	70.76
Nudo n9	3078	0.346	0.35	3143.76	71.76
Nudo n10	3082	0.154	0.15	3143.76	67.76
Nudo n11	3089	0.391	0.39	3143.77	60.77
Nudo n12	3093	0.348	0.35	3143.78	56.78
Nudo n13	3093	0.359	0.36	3143.79	56.79
Nudo n14	3092	0.277	0.28	3143.79	57.79
Nudo n15	3094	0.335	0.34	3143.78	55.78
Nudo n16	3087	0.237	0.24	3143.77	62.77
Nudo n17	3078	0.139	0.14	3143.76	71.76
Nudo n18	3087	0.257	0.26	3143.76	62.76
Nudo n19	3093	0.148	0.15	3143.78	56.78
Nudo n20	3102	0.146	0.15	3143.80	47.80
Nudo n21	3102	0.215	0.22	3143.78	47.78
Nudo n22	3110	0.320	0.32	3143.84	39.84
Nudo n23	3111	0.300	0.30	3143.84	38.84
Nudo n24	3102	0.350	0.35	3143.81	47.81
Nudo n25	3104	0.252	0.25	3143.81	45.81
Nudo n26	3116	0.068	0.07	3143.91	33.91
Nudo n27	3120	0.453	0.45	3143.95	29.95
Nudo n28	3102	0.297	0.30	3143.81	47.81
Nudo n29	3111	0.429	0.43	3143.85	38.85
Nudo n30	3132	0.231	0.23	3150.46	18.46
Nudo n31	3133	0.147	0.15	3150.46	17.46
Nudo n32	3119	0.563	0.56	3150.45	31.45
Nudo n33	3132	0.140	0.14	3150.37	18.37
Nudo n34	3118	0.356	0.36	3150.36	32.36
Nudo n35	3119	0.486	0.49	3150.00	31.00
Nudo n36	3134	0.482	0.48	3150.30	16.30
Nudo n37	3131	0.423	0.42	3150.11	19.11
Nudo n38	3122	0.399	0.40	3150.01	28.01
Nudo n39	3122	0.140	0.14	3150.03	28.03
Nudo n40	3125	0.139	0.14	3150.10	25.10
Nudo n41	3126	0.326	0.33	3150.02	24.02
Nudo n42	3130	0.115	0.12	3150.02	20.02
Nudo n43	3127	0.314	0.31	3150.02	23.02
Nudo n44	3124	0.103	0.10	3150.02	26.02
Nudo n45	3129	0.336	0.34	3150.01	21.01
Nudo n46	3125	0.338	0.34	3150.01	25.01
Nudo n47	3126	0.174	0.17	3150.13	24.13
Nudo n48	3126	0.216	0.22	3150.16	24.16
Nudo n49	3132	0.152	0.15	3150.36	18.36
Nudo n50	3135	0.205	0.20	3150.36	15.36
Nudo n51	3136	0.265	0.26	3150.42	14.42
Nudo n52	3144	0.188	0.19	3150.54	6.54
Nudo n53	3140	0.432	0.43	3150.44	10.44
Nudo n54	3137	0.426	0.43	3150.63	13.63
Nudo n55	3143	0.314	0.31	3151.16	8.16
Nudo n56	3130	0.125	0.12	3150.01	20.01
Nudo n57	3129	0.225	0.23	3150.01	21.01
Nudo n58	3130	0.141	0.14	3150.01	21.01
Nudo n59	3135	0.195	0.19	3150.03	15.03
Nudo n60	3131	0.354	0.35	3150.03	19.03
Nudo n61	3136	0.248	0.25	3150.63	14.63
Nudo n62	3144	0.123	0.12	3150.85	6.85
Nudo n63	3147	0.322	0.32	3150.80	3.80
Nudo n64	3147	0.198	0.20	3150.80	3.80
Nudo n65	3140	0.328	0.33	3150.81	10.81
Nudo n66	3138	0.157	0.16	3150.82	12.82
Nudo n67	3117	0.317	0.32	3150.81	33.81
Nudo n68	3124	0.141	0.14	3150.81	26.81
Nudo n69	3126	0.360	0.36	3150.01	24.01
Embalse 1	3155	Sin Valor	-19.00	3155.00	0.00

Figura 18. Listado de nodos, datos de cotas, altura y presión.

Los nodos: n51, n52, n53, n54, n55, n61, n62, n63, n64, n65, n66, tienen presiones dinámicas menores a 15 m.c.a, por lo que incumplen la normativa.

Los nodos: : n1, n2, n3, n4, n5, n6, n7, n8, n9, n10, n11, n12, n13, n14, n15, n16, n17, n18, n19, n20, n21, n22, n23, n24, n25, n26, n27, n28, n29, n30, n31, n32, n33, n34, n35, n36, n37, n38, n39, n40, n41, n42, n43, n44, n45, n46, n47, n48, n49, n50, n56, n57, n58, n59, n60, n67, n68, n69, cumplen con la presión dinámica mínima establecida en la de norma.

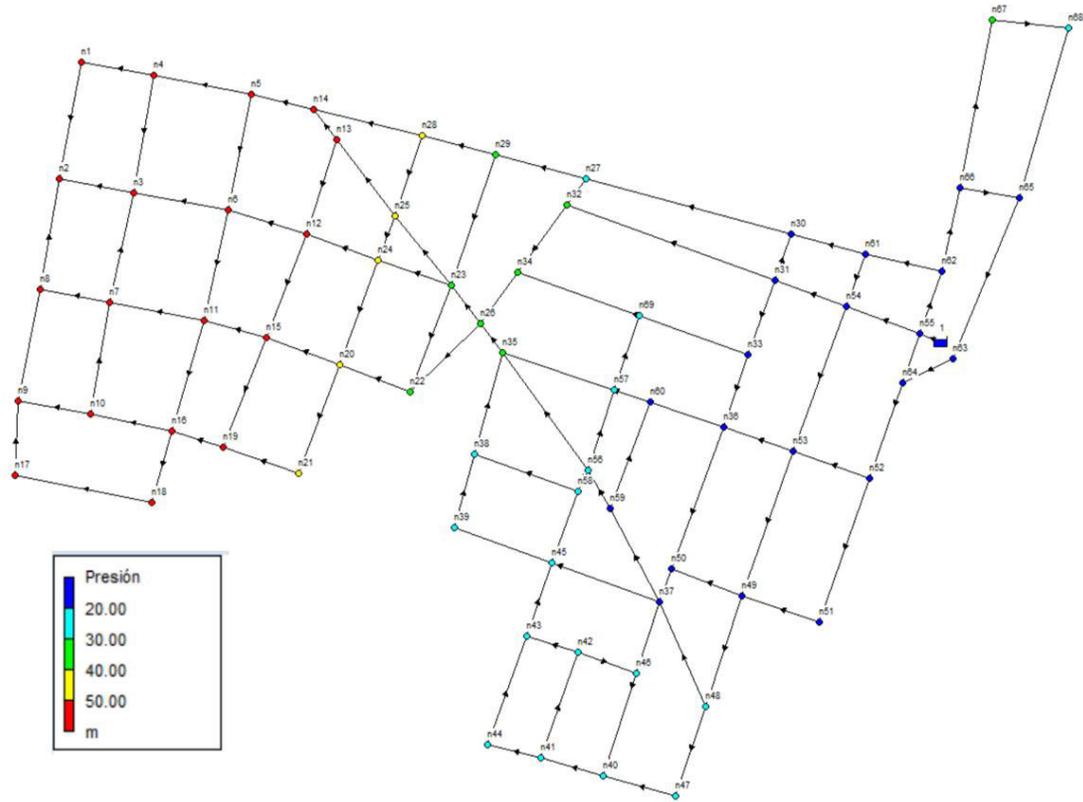


Figura 19. Plano en EPANET de la red de distribución en un sistema dinámico.

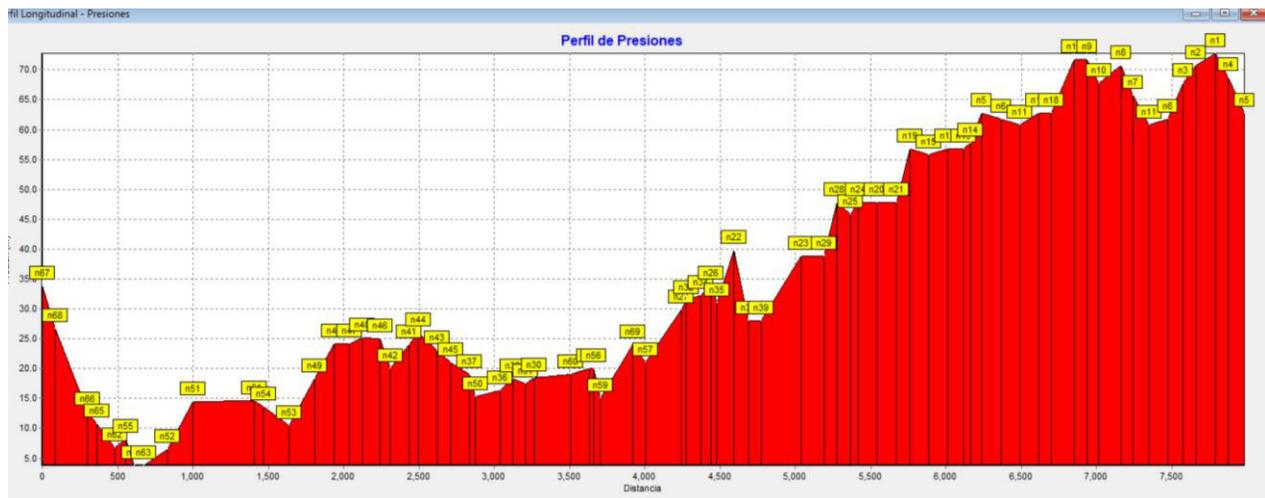


Figura 20. Perfil longitudinal de la línea de distribución en un sistema dinámico.

3.5. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

3.5.1 EVALUACION DEL SISTEMA DE BOMBEO

PERDIDAS DEL SISTEMA DE BOMBEO

A continuación, en la TABLA 3 se presentan los resultados de las alturas dinámicas que debería superar la bomba del sistema.

Tabla 3. Resultados de pérdidas en el sistema de bombeo.

Caudal máximo diario (m ³ /s)	Diámetro comercial (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga en la succión (m)	Pérdida de carga en la impulsión (m)	Carga de velocidad en descarga (m)	Altura dinámica total (m)
0,008	0,160	0,796	0,1906	9,01	0,0323	129,23
0,012	0,160	1,194	0,5200	18,80	0,0727	139,40

Las pérdidas de carga en la succión, es decir en la instalación antes de la bomba, son menores que las pérdidas de carga en la impulsión que es la instalación realizada después de la bomba, debido a que las longitudes equivalentes de los componentes son menores, los componentes considerados para la succión fueron: una válvula de pie en el tanque de succión, un codo de 90° de radio corto, una reducción gradual de la tubería, una entrada de borda y la longitud del tubo de 4 m, por otro lado, los componentes considerados para la impulsión fueron dos codos de 90° de radio corto, dos codos de 45°, una válvula de globo, una T de paso directo y la longitud del tubo de 2478 m obtenida en el recorrido con GPS, estos datos se usaron para ambos casos debido a que el sistema de bombeo es el mismo.

Los resultados para el caudal de 8 L/s medido en el sistema de bombeo de la junta, es decir el caudal real que se está bombeando actualmente, la velocidad es de 0,79 m/s y está dentro de las Normas Técnicas IEOS. Así también se determinó que la bomba tendría que superar una altura dinámica total de 129,23 m, por otro lado, para el caudal determinado por la junta de agua potable de 12 L/s la altura dinámica total que tiene que superar la bomba de 125 hP es de 139,40 m y la velocidad al ser de 1,19 m/s para este caso también se encuentra dentro de la norma.

Para establecer la altura dinámica total que debe superar la bomba en cada caso, también se sumó la carga de posición, en otras palabras, la diferencia entre la cota de 3035 m.s.n.m.

correspondiente al tanque de succión y captación, y la cota de 3155 m.s.n.m. correspondiente al tanque del Tambo, siendo esta carga de posición igual a 120 m entre un punto y otro.

POTENCIA DE LA BOMBA

La potencia de la bomba instalada actualmente en el sistema de la junta es de 125 hP, a continuación, se tiene los resultados de las potencias requeridas según los caudales real de 8 L/s (0,008 m³/s) y el caudal teórico de 12 L/s (0,012 m³/s) establecido por la junta y que también fue calculado en el presente documento.

Tabla 4. Potencia requerida para elevar un caudal de 8 y 12 L/s.

Caudal	Altura dinámica total (m)	Eficiencia de la bomba (90-50%)	Potencia de la bomba (hP)
0,008	129,23	0,9	15,1
		0,85	16,0
		0,8	17,0
		0,75	18,1
		0,7	19,4
		0,65	20,9
		0,6	22,7
		0,55	24,7
0,012	139,40	0,5	27,2
		0,9	24,5
		0,85	25,9
		0,8	27,5
		0,75	29,3
		0,7	31,4
		0,65	33,9
		0,6	36,7
		0,55	40,0
		0,5	44,0

Según la tabla 4 se evidencia que no se requieren más de 44 hP en la potencia de la bomba para superar una altura dinámica de 139,40 m al bombear 12 L/s, aun trabajando con el 50% de eficiencia. Por otro lado, para el caudal real que se bombea actualmente en la junta, no se requiere una potencia mayor a 28 hP incluso si esta trabaja al 50% de eficiencia, en un nivel óptimo de esta, es decir si trabaja entre el 80 y 90%, no sería necesaria una potencia mayor a 17 hP en la bomba.

En consecuencia, de los resultados ya obtenidos, es necesario calcular el caudal que se puede elevar con la bomba que está actualmente en funcionamiento, por lo tanto:

Tabla 5. Caudal que se puede bombear con una bomba de 125 hp.

Diámetro de tubería (m)	Altura dinámica total (m)	Potencia de la bomba 125hP(kW)	Eficiencia de la bomba (%)	Caudal bombeado (m3/s)
0,160	129,23	93,21	0,8	0,059
0,160	139,40	93,21	0,8	0,055

En función del cálculo realizado en la tabla 5, al multiplicar la potencia de 93,21 kW por la eficiencia del 80% y dividirlo para la gravedad por la altura dinámica que tiene que superar la bomba, se tiene como resultado que una bomba con potencia de 125 hP trabajando a una eficiencia del 80%, tiene la capacidad de bombear hasta 59 L/s.

Debido a este análisis se tiene la necesidad de calcular los caudales que se podría bombear con potencias de entre 10 y 30 kW en la bomba.

Tabla 6. Caudal que se puede bombear con una eficiencia entre 70 – 90%.

Diámetro de tubería (m)	Altura dinámica total (m)	Potencia de la bomba (kW)	Eficiencia de la bomba (70-90%)	Caudal bombeado (m3/s)
0,160	129,23	30	0,7	0,017
	129,23	25	0,75	0,015
	129,23	20	0,8	0,013
	129,23	15	0,85	0,010
	129,23	10	0,9	0,007
	139,40	30	0,7	0,015
	139,40	25	0,75	0,014
	139,40	20	0,8	0,012
	139,40	15	0,85	0,009
	139,40	10	0,9	0,007

Según el cálculo realizado en la tabla 6, tanto para el caudal de 8 L/s correspondiente a la altura dinámica de 129,23 m como para el de 12 L/s correspondiente a una altura dinámica de 139,40 m, se tiene que es suficiente una potencia de 20 hP en la bomba, con una eficiencia del 80% en su funcionamiento. Sin embargo y teniendo en cuenta que la población crece, se calcula la altura dinámica total y la potencia en referencia al caudal máximo diario obtenido en la tabla 2, por lo tanto:

Tabla 7. Potencia de la bomba requerida para un periodo de diseño de 15 años.

Diámetro de tubería (m)	Altura dinámica total (m)	Potencia de la bomba (kW)	Eficiencia de la bomba (80%)	Caudal bombeado (m ³ /s)
0,160	140,38	40	0,8	0,023
	140,38	50	0,8	0,029
	140,38	60	0,8	0,035
	140,38	70	0,8	0,041
	140,38	80	0,8	0,046

La altura dinámica total que la bomba debe superar para el año 2035 se estima que sea de 140,38 m, pero se debe tener en cuenta que para la fecha indicada y con el sistema de tuberías que se encuentra actualmente en funcionamiento, la velocidad sobrepasa la recomendada y se esperarían más daños en las tuberías debido al aumento de la presión en consecuencia de esto, teniendo en cuenta lo anterior, se requeriría una potencia de 50 kW en la bomba que corresponde a 67 hP.

La bomba en estudio trabaja a una baja eficiencia y la potencia es muy alta incluso para impulsar un caudal de 25 L/s que se estima se requerirá en 15 años más, por ello se vuelve necesario calcular el consumo energético:

Tabla 8. Costo mensual del consumo energético.

Potencia de la bomba	125 hP	70 hP
Costo mensual	\$ 159,277	\$ 89,198

En consecuencia, según los resultados presentados en la TABLA 8 el consumo energético con la bomba de 125 hP es elevado actualmente, aun considerando que para el sector que brinda el servicio público el costo es de \$ 7,12 Kw/h en Ecuador, \$3,00 dólares más económico que para el sector residencial, por el contrario, para la bomba de 70 hP se otorgaría un ahorro de \$70,080.

3.5.2 EVALUACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE TANQUE ELEVADO EL TAMBO Y TANQUE DE SUCCIÓN

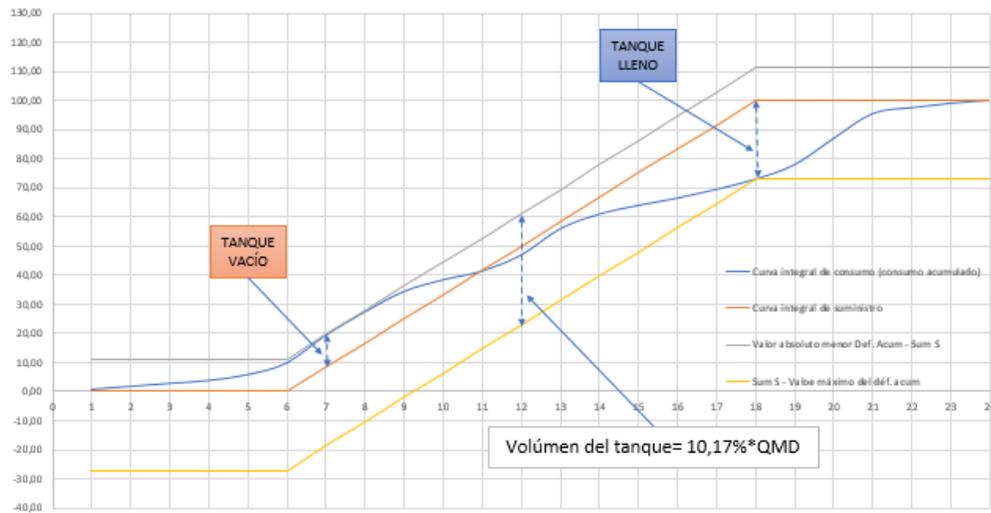


Figura 21. Curva integral del tanque elevado “El Tambo”.

Como resultado de la evaluación de este tanque ANEXO 5 se obtiene la FIGURA 21, donde la línea azul representa el consumo integrado de la población, la línea tomate es la curva integral de suministro del tanque elevado que se abastece del tanque de succión y las líneas ploma y amarilla son paralelas a la línea de suministro al tanque elevado desde el tanque de succión, distanciadas en referencia al valor máximo y mínimo del déficit acumulado donde intersecan con la línea de consumo. Se determina que con un bombeo continuo de 7:00 am a 18:00 pm el tanque estará lleno a las 18:00 horas, con un 10,17% del volumen total de agua y vacío a las 6:00 de la mañana, por lo tanto:

Tabla 9. Resultado del volumen del tanque elevado “El Tambo”.

Volúmen del tanque elevado					
Qmáxd (L/s)	12				
Qmáxd (m ³ /día)	1004,22				
Volúmen del tanque (m ³)	102,10	Volumen adicional por seguridad (m ³)	20,42	Volumen total del tanque (m³)	122,51

Siendo 122,51m³ el volumen adecuado para el tanque que abastece a la población estudiada en el presente y al tener un tanque con la capacidad de almacenar 250m³ de agua actualmente, se determina que es suficiente y no es necesario realizar ningún cambio en la capacidad del tanque.

3.6. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA Y EN EL LABORATORIO

Análisis de cloro libre y total

Al tratarse de agua con un pH entre 6 y 7, la interpretación de resultados será en base a la norma INEN 1108:2020, donde se establece que el cloro libre no debe ser menor a 0,3 mg/l ni mayor a 1,5 mg/l.

Tabla 10. Resultados de cloro libre y total

MEDICIONES DE CLORO			PUNTOS DE MUESTREO
Cloro Libre	Cloro Total	Cloro combinado	
0.93 mg/l	1.64 mg/l	0.71 mg/l	Tanque de distribución
0.90 mg/l	1.35 mg/l	0.45 mg/l	Casa cercana
1.92 mg/l	1.96 mg/l	0.04 mg/l	Casa lejana

El resultado obtenido en el tanque de distribución del barrio el Tambo 3, se encuentra el límite permisible de la normativa vigente, se obtuvo 0.93 mg/l de cloro libre residual, mismo que está dentro del rango según la Norma INEN 1108 sexta versión.

El resultado obtenido en la casa más cercana al tanque de cloración también se encuentra el límite permisible, se obtuvo 0.90 mg/l de cloro libre residual, mismo que está dentro del rango según la Norma INEN 1108 sexta versión.

Los resultados obtenidos la casa más lejana al tanque de cloración, sobrepasaron el límite máximo permisible de la normativa vigente, se obtuvo 1.92 mg/l de cloro libre residual, mismo que es mayor a 1,5 mg/l, que es el límite máximo según normativa INEN 1108.

Análisis de coliformes fecales

El análisis fue realizado en cuatro puntos del sistema con la finalidad de evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento que se aplica actualmente en la junta, con base en la Normativa 1108:2020 y en el Libro VI Anexo 1 del TULSMA, para cada punto se tiene:

Tabla 11. Resultados de laboratorio de coliformes fecales.

Punto de muestreo	Tipo de agua	Resultado de coliformes fecales
Captación	cruda	<1,1
Tanque elevado	potable	<1,1
Primera casa	potable	<1,1
Última casa	potable	<1,1

En base a los resultados de laboratorio de <1,1 NMP/100ml en todos los casos ANEXO 6, se determina que todos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, tanto en la normativa como en el TULSMA.

3.7. PLANTEAMIENTO DE MEJORAS PROPUESTAS PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y DE TRATAMIENTO

3.7.1 SISTEMA DE CONDUCCIÓN

Se propone colocar válvulas de aire, para proteger a la tubería en momentos que exista depresiones por vaciado o limpieza de tubería, y evitar que se produzcan rupturas en la tubería. También colocar válvulas de desagüe, para controlar el flujo evitando que se retorne por la misma vía, y evitar el almacenamiento de sedimentos dentro de la tubería y realizar mantenimientos de mejor manera. Los puntos para colocar las válvulas se encuentran detallados en el ANEXO 1. El caudal medido in situ fue 8l/s con una velocidad de 0.4 m/s, esta es menor a la velocidad de autolimpieza y el caudal teórico calculado para el mismo caso en función del consumo neto de

la población actual, es de 12l/s, con el segundo caudal se cumple la velocidad mínima de 0.6 m/s.

Con el caudal de 8l/s los sedimentos se acumulan en la tubería y se transportan de manera lenta hasta llegar a los domicilios.

La bomba encargada de suministrar agua la Tanque del Tambo 3, tiene una potencia de 125 hP, y transporta 8 l/s, se determinó que la potencia actual de la bomba a un 90 % de eficiencia es demasiada, ya que para transportar ese caudal se requiere una bomba de 40 hP, esto genera mayor consumo de energía y costo en el pago de la luz.

3.7.2 SISTEMA DE BOMBEO

Se propone colocar un sistema de remoción de sedimentos previo al tanque de bombeo, el sistema sería de coagulación un método de pretratamiento convencional, con la finalidad de alargar la vida útil de las bombas y reducir el taponamiento de los grifos y lavadoras de las casas.

3.7.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Debido a que existen puntos donde la presión estática máxima sobrepasa la normativa, se propone implementar válvulas de rotura de carga en los puntos marcado en el ANEXO 3, con la finalidad de evitar roturas continuas en la zona que son producidas por las presiones altas.

3.7.4 SISTEMA DE TRATAMIENTO

En referencia al volumen del tanque igual a 250m³, es correcto la elección del sistema que se usa actualmente de cloración por goteo, sin embargo, y según los resultados obtenidos, no existe una correcta homogenización del cloro en el tanque.

Para ello se planteó los datos de la tabla 12, donde 8 L/s es el caudal que se midió al ingreso del tanque Tambo 3, se estableció una concentración de 1 ml de cloro al 70% por cada litro de agua en el tanque, el volumen de agua a tratar se estimó multiplicando el caudal de ingreso por el periodo de recarga de 7 días asumiendo que la solución será preparada semanalmente.

Tabla 12. Datos planteados para el sistema de cloración

DATOS	VALOR	UNIDAD
Caudal de ingreso	8	L/s
Concentración de cloro a nivel de reservorio (C2)	1	mg/l
Porcentaje de hipoclorito de calcio a utilizar	70	%
Volumen de agua	4838400	litros
Volumen del tanque de la solución desinfectante	1000	litros
pH del agua a tratar	7	iones hidrógeno
Temperatura del agua	11,7	°C
Periodo de recarga de la tecnología de cloración	7	días

Teniendo en cuenta lo enunciado en la tabla 12, se calculó el estado óptimo del sistema, como se indica en la tabla 13 a continuación:

Tabla 13. Cálculo de la dosificación de cloro

DETERMINANTES PARA DOSIFICACIÓN DE Cl	VALOR	UNIDAD
Cantidad de hipoclorito de Ca	6912	g
Caudal de goteo	99,21	ml/min
Concentración máxima de la solución clorada	4838	mg/l
Volumen mínimo de agua para disolución	10	litros
Tiempo de contacto	39,0	minutos

La cantidad de hipoclorito de calcio se obtuvo de la división entre el volumen de agua a tratar por la concentración de cloro en el reservorio y el porcentaje de hipoclorito de calcio por 10, que es el factor usado para convertir mg a gr, por otro lado, el caudal de goteo resulto de la división entre el volumen del tanque donde se encuentra la solución clorada en ml y el tiempo de goteo planteado en la tabla 12. Para obtener los 4838 mg/l de concentración máxima de la solución clorada, se dividió la cantidad de hipoclorito de calcio al 70% y el volumen de solución en el tanque desinfectante en litros (Proyecto SABA, 2018)

Dosis de Cloro Aplicada mg/l	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5
<=0,4	24	29	35	42	16	20	23	28	12	15	17	21	8	10	12	14
0,6	25	30	36	43	17	20	24	29	13	15	18	21	8	10	12	14
0,8	26	31	37	44	17	20	24	29	13	15	18	22	9	10	12	15
1	26	31	37	45	18	21	25	30	13	16	19	22	9	10	12	15
1,2	27	32	38	46	18	21	25	31	13	16	19	23	9	11	13	15
1,4	27	33	39	47	18	22	26	31	14	16	19	23	9	11	13	16
1,6	28	33	40	48	19	22	26	32	14	17	20	24	9	11	13	16
1,8	29	34	41	49	19	23	27	33	14	17	20	25	10	11	14	16
2	29	35	41	50	19	23	28	33	15	17	21	25	10	12	14	17
2,2	30	35	42	51	20	23	28	34	15	18	21	26	10	12	14	17
2,4	30	36	43	2	20	24	29	35	15	18	22	26	10	12	14	17
2,6	31	37	44	53	20	24	29	36	15	18	22	27	10	12	15	18
2,8	31	37	45	54	21	25	30	36	16	19	22	27	10	12	15	18
3	32	38	46	55	21	25	30	37	16	19	23	28	11	13	15	18

Figura 22. Valores de K en mg.min/L para plantas de remoción del 95 al 99% de coliformes totales (RAS, 2000)

Para estimar el tiempo de contacto óptimo que debe tener la solución clorada y el agua a tratar se dividió la dosis de cloro aplicada, que se identifica en la figura 22, por el factor correspondiente al pH de 7.

Por lo tanto, se propone mejorar el sistema con la implementación de un tanque de 1000 litros que contenga la solución con una concentración no mayor a 5000 mg/l, para esto se debe preparar la solución cada 7 días, con 6912 g de hipoclorito de Ca, por lo mínimo en 10 litros de agua y máximo en 1000 litros.

Así también, se recomienda un tiempo de contacto de 39 minutos, con un caudal de goteo de 99,21 ml/min, si se toma en cuenta las mejoras detalladas anteriormente se tendrá una concentración máxima en la solución clorada de 4838 mg/l, por lo que se evidencia que esto beneficiara también a los elementos que conforman el sistema ya que con una concentración mayor a 5000 mg/l se puede ocasionar la cristalización de la manguera.

Para asegurar la correcta homogeneización o mezcla de la solución con el agua que entra al tanque del Tambo, se propone que el goteo de la solución clorada se encuentre instalada en el punto de llegada del agua o en un punto cercano de este, para así lograr llegar a una concentración de 1 mg/l en el tanque al que llega el caudal de bombeo.

3.8. SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO

REUNIÓN VIRTUAL

Se realizó la reunión con los dirigentes de la junta y los operarios, donde como primer punto se explicó los problemas existentes en el sistema de abastecimiento por bombeo y tratamiento del tanque ubicado en el Tambo 3, luego se mostró las fichas técnicas de los equipos y accesorios, informando del estado en el que se encuentran, al mismo tiempo se propuso que se realicen mantenimientos frecuentes y no de forma aleatoria. Como segundo punto se explicó los resultados encontrados en la red de conducción, proponiendo aumentar el caudal real bombeado de 8L/s a 12 L/s, para mantener una velocidad dentro de normativa y con ello reducir la acumulación de sedimentos dentro de tubería.

Como tercer punto se explicó los resultados obtenidos en el análisis del funcionamiento de la bomba de 125hP y se habló sobre la regularización del tanque ubicado en el barrio el tambo 3. Por otro lado, se dio a conocer la localización de puntos en la red de distribución, donde las presiones estáticas sobrepasan los 60 m.c.a, y se explicó la solución pertinente.

Como cuarto punto se abordó el sistema de desinfección, explicando por qué se produce la mala homogenización del hipoclorito de calcio, y se propuso las mejoras para tener un sistema eficiente.

Como último punto se presentó los análisis de coliformes y cloros realizados en laboratorio e insitu respectivamente, y se explicó los resultados que si se encuentran dentro de normativa.

Al final de la reunión, se contestaron preguntas e inquietudes planteadas por los dirigentes y operarios, así mismo, se estableció una fecha para realizar una reunión con los presidentes de cada barrio y los dirigentes, donde se entregará la memoria técnica, planos y resultados de laboratorios.

4. CONCLUSIONES

- La junta de agua potable no posee planos detallados con la ubicación de válvulas, ya que con las obras de pavimentación estas quedaron cubiertas, y no son visibles a simple vista, por ello cuando se realizan reparaciones, limpieza o mantenimiento de tubería, se corta el agua para todo el sector. Debido al desconocimiento de su ubicación por parte de los operarios estos accesorios no cuentan con el mantenimiento adecuado, por ello se propone implementar válvulas de aire, desagüe y de control para mejorar los aspectos de limpieza, mantenimiento y control de flujo por sectores en la línea de distribución y conducción.
- El caudal real bombeado al tanque ubicado en el Tambo 3, es de 8L/s y el caudal teórico calculado para el mismo caso en función del consumo neto de la población actual, es de 12 L/s, lo que implica que no se está bombeando la cantidad de agua que satisfaga la demanda de la población.
- En la línea de distribución existen presiones estáticas que sobrepasan los 60 m.c.a en el sector noroeste y suroeste de la zona, esto provoca constantes rupturas de tubería.
- El caudal que se bombea es de 8 L/s, dando como resultado una velocidad de 0.4 m/s, esta es menor a la velocidad de autolimpieza de 0.6 m/s según normativa, por ello los sedimentos se acumulan en la tubería y se transportan de manera lenta hasta llegar a los domicilios.
- La bomba encargada de suministrar agua la Tanque del Tambo 3, tiene una potencia de 125 hP, y transporta 8 L/s, sin embargo, con los cálculos realizados, el caudal a transportar debería ser 12 L/s, y con este caudal se determinó que la potencia actual de la bomba a un 90 % de eficiencia es demasiada, ya que para transportar ese caudal solo se requiere una bomba de 40 hP, esto genera mayor consumo de energía y costo en el pago de la luz.
- El sistema de tratamiento actual es deficiente por no contar con un sistema adecuado de preparación de la solución de cloro antes de introducirla al tanque, donde la homogeneización tampoco es aceptable, se plantearon mejoras como la implementación de un tanque de 1m³, que permitirá la correcta preparación de la solución clorada cada 7 días y también ubicar la inyección de la solución desinfectante en el punto donde ingresa el caudal de bombeo al tanque el Tambo o cercano a este para garantizar que cumpla su función.
- Las evaluaciones y mejoras propuestas en el presente documento se detallaron y explicaron a las autoridades competentes de la junta mediante una reunión virtual a través de la plataforma de Zoom y se acordó la entrega de la memoria técnica en físico, desarrollada principalmente para los operarios de la junta.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un plan de mantenimiento de los equipos y accesorios de la red de distribución y conducción, para evitar su pronto deterioro, garantizar un mejor funcionamiento y evitar la acumulación de escombros en ciertas estructuras.
- Realizar mantenimiento cada 2 meses de las tuberías de agua, con la finalidad de mejorar la limpieza y evitar la acumulación de sedimentos.
- Se recomienda ubicar válvulas de aire y de desagüe para evitar daños en tubería por incremento o reducción de presión, y para mejor mantenimiento.
- Se recomienda un sistema de remoción de sedimentos previo al bombeo, esto reduce los sedimentos en la tubería y mejora la vida útil de los equipos de la estación de bombeo, ya que las partículas que ingresan generan descargaste en los equipos.
- Instalar un tanque de 1m³ para la preparación de la solución desinfectante y permitir que el goteo de esta solución se de en el caudal bombeado que ingresa al tanque de distribución o cercano a este, así se garantiza una correcta homogeneización del cloro dentro del tanque.
- Al tener presiones altas en el sistema de distribución, se sugiere colocar válvulas de rotura de carga en ciertos puntos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Y. (2006). *Estado del Arte del Tratamiento de Aguas por Coagulación-Floculación*. Obtenido de Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA): <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento. (noviembre de 1984). *Manual de la Cloración*. Obtenido de Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento: <https://www.asoaeas.com/sites/default/files/Documentos/AEAS.%20Manual%20de%20a%20Cloracion.pdf>
- CESPAC. (2001). *Agua potable en zonas rurales, operación y mantenimiento en sistemas por gravedad sin planta de tratamiento*. Lima: Care-Perú.
- CESPAC. (2001). *Agua potable en zonas rurales, operación y mantenimiento en sistemas por gravedad sin planta de tratamiento*. Lima: Care-Perú.
- CONAGUA . (8 de Diciembre de 2015). *Manual de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento, conducciones* . Obtenido de Manual de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento, conducciones : https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.%20Conducciones.pdf
- CONAGUA. (8 de Diciembre de 2015). *Manual de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento, conducciones*. Obtenido de Manual de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento, conducciones: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.%20Conducciones.pdf
- EMAAP-Q. (2008). *NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAP-Q*. Quito: V&M Gráficas.
- ESPECIFICAR. (2 de Julio de 2021). *ESPECIFICAR, Soluciones para agua. energía y sustentabilidad*. Obtenido de ESPECIFICAR, Soluciones para agua. energía y sustentabilidad: <https://www.especificarmag.com.mx/las-bridas-y-su-clasificacion.html#gsc.tab=0>
- FESMEX . (5 de 10 de 2021). Obtenido de FESMEX : <https://www.fesmex.com.mx/article/interpretacion-basica-de-la-curva-caracteristica-de-bomba-centrifuga/>
- Gomella, C., & Guerrée, H. (1982). *LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LAS AGLOMERACIONES URBANAS Y RURALES*. Barcelona: Editores técnicos asociados, s.a.
- HACH. (21 de 08 de 2021). *Pocket Colorimeter DR300, cloro libre + total, con maletín User manual DR300*. Obtenido de Hach Be Right TM : <https://co.hach.com/pocket-colorimeter-dr300-cloro-libre-total-con-maletin/product-downloads?id=55315011514>
- HACH. (s.f.). *Pocket Colorimeter DR300*. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:W8on86Gm9EoJ:https://es.hach.com/asset->

- get.download.jsa%3Fid%3D55703281711+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec&client=firefox-b-d
- HAWK INTERNACIONAL. (13 de Noviembre de 2015). *HAWK INTERNACIONAL*. Obtenido de HAWK INTERNACIONAL: https://www.hawkpumps.com/es/download-pdf-faq/S014-13%20%20valvulas%20reguladoras%20de%20presion_es.pdf
- HIDROCÚCUTA S.A.S. (28 de Marzo de 2018). *HIDROCÚCUTA S.A.S. Su aliado en proyectos hidráulicos*. Obtenido de HIDROCÚCUTA S.A.S. Su aliado en proyectos hidráulicos: ESPECIFICAR, Soluciones para agua. energía y sustentabilidad
- Humberto, Á., Tuesca, R., Sisa, A., & Pardo, D. (2015). *Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano*. Colombia: Universidad del Norte.
- INEN. (marzo de 2020). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2020 AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS. Quito, Pichincha, Ecuador.
- López, R. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados 2a. Edición*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Luszczewski, A. (1999). *Redes industriales de tuberías. Bombas para agua, ventiladores y compresores. Diseño y construcción*. Barcelona: Reverté.
- Manuel, V., & Javier, Á. (2004). *BOMBAS, teoría, diseño y aplicaciones*. México: NORIEGA.
- Narvárez, W. (julio de 2011). *Rehabilitación del Sistema de Agua Potable Sambache-Salcoto y Diseño de la línea de Impulsión al Tanque de Reserva Mushuñan*. Obtenido de Repositorio de la Universidad Internacional del Ecuador-Escuela de Ingeniería Civil: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2047/1/T-UIDE-1177.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2014). *DESINFECCIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO: Método de cloración*. Obtenido de Documentos Técnicos OPS/OMS N°3.
- PCE-Instruments. (16 de Noviembre de 2017). *Manual de Instrucciones del medidor de caudal PCE-TDS 100H/HS*. Obtenido de PCE Instruments: https://www.pce-instruments.com/espanol/api/getartfile?_fnr=889291&_dsp=inline
- Pimienta, J. (1980). *La captación de aguas subterráneas*. Barcelona: Reverte.
- Proyecto SABA. (Marzo de 2018). *Memoria descriptiva: Instalación del hipoclorador por goteo con flotador*. Obtenido de Proyecto SABA Plus: http://doc.rero.ch/record/323227/files/14-12_inst_del_hipoclorador_por_goteo_con_flotador-min.pdf
- RAS. (Noviembre de 2000). *Sistemas de potabilización, sección II, título C*. Obtenido de Ministerio de desarrollo económico dirección de agua potable y saneamiento básico: https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2561/15372239_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivas, W. (2003). *Sistema de control basado en autómatas programables de la red de distribución de agua potable Troncoso*. Obtenido de Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones: https://www.researchgate.net/profile/Raul-Rivas-Perez/publication/345692562_Sistema_de_control_basado_en_automatas_programables_de_la_red_de_distribucion_de_agua_potable_troncoso/links/5faae2b5a6fdcc331b9319ad/Sistema-de-control-basado-en-automatas-progra

- Robillard, P. (6 de mayo de 2021). *Ablandamiento de agua*. Obtenido de PennState Extension: <https://extension.psu.edu/ablandamiento-de-agua>
- Rojas, J. R. (1996). *Potabilización del Agua*. México: Editorial Escuela Colombia de Ingeniería .
- Romero, M. (16 de junio de 2012). *Facultad de ingeniería-Universidad Rafael Landívar*. Obtenido de TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN POTABILIZACIÓN DE AGUA: <https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/13/32/894.pdf>
- Rosales, J. G. (agosto de 2004). *DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE POR BOMBEO PARA EL CASERÍO LA FE, CANTÓN PUJUIL II, MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ*. Obtenido de Biblioteca de la Universidad de San Carlos de Guatemala: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2452_C.pdf
- Salamanca, E. (2016). *REPOSITORIO UNIVERSIDAD DE LA COSTA REDICUC*. Obtenido de TRATAMIENTO DE AGUAS PARA EL CONSUMO HUMANO: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2488/Tratamiento%20de%20aguas%20para%20el%20consumo%20humano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tutoriales Ingeniería Civil. (5 de Julio de 2021). Recuperado el 2021, de <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/%C2%BFque-es-epanet-y-cuales-ventajas-ofrece/>
- UNICEF. (6 de Agosto de 2020). *FONDO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA INFANCIA*. Obtenido de <https://www.unicef.es/prensa/dia-mundial-del-agua-las-zonas-rurales-necesitan-mas-apoyo-para-tener-acceso-agua-potable>
- VASITESA. (2 de Enero de 2002). *VASITESA, Válvulas y asesoría integral en termoplásticos*. Obtenido de VASITESA, Válvulas y asesoría integral en termoplásticos: <http://vasitesa.com.mx/tipos-de-tuberias-que-se-ocupan-para-la-conduccion-de-fluidos/>