

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Propuesta de diseño de un sistema de conducción para el abastecimiento de
agua potable para el poblado de Capellades, Alvarado, Cartago.

Dilan Calvo Pereira

CARTAGO, 2019

Propuesta de diseño de un sistema de conducción para el abastecimiento de
agua potable para el poblado de Capellades, Alvarado, Cartago.

Dilan Calvo Pereira

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Mario Zúñiga Chaves
Asesor

Marvin Villalobos Araya
Director Escuela
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2019

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de los Ángeles que me han guiado por el camino correcto e iluminado.

A mi familia que durante todo este periodo en la Universidad han sido indispensables para salir adelante y poder culminar bajo todas las circunstancias que se presentan.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen de los Ángeles por ser la luz que ilumina todo aquello bajo tinieblas y que supieron estar en cada momento.

A mi familia que dio su mayor esfuerzo para verme salir adelante.

A los profesores de la Universidad que de una u otra manera fueron los guías para darme las herramientas y su conocimiento.

A todos los que forman parte del equipo de Atletismo, ya que desde mi inicio en la Universidad pertenecí a este grupo, el cual me dio mucha madurez y apoyo para salir adelante.

Al equipo de la Municipalidad de Alvarado, específicamente a la Ingeniera Natali Quesada, por brindarme su apoyo para ejecutar este proyecto de manera satisfactoria.

Índice general

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Aspectos generales	5
2.2. Elementos de un acueducto	7
2.2.1 Fuente de abastecimiento.....	7
2.2.2 Captación de agua superficial o subterránea.....	8
2.2.3 Conducción	8
2.2.4 Tanques de almacenamiento	10
2.2.5 Sistema de potabilización de agua	12
2.2.6 Redes de distribución.....	13
2.2.7 Estación de bombeo.....	14
2.3. Estudios topográficos	15
2.4. Población de diseño	15
2.4.1 Método de crecimiento logarítmico	16
2.4.2 Método de crecimiento geométrico	17
2.5. Periodo de diseño.....	18
2.5.1 Vida útil.....	19
2.6. Factores de diseño de conducción	19
2.6.1 Consumo.....	19
2.6.2 Caudal coincidente o caudal de diseño	20
2.7. Epanet.....	22
2.8. Obras para el sistema de conducción	23
2.8.1 Obra de captación	23
2.8.2 Sistema de bombeo.....	24
2.8.2.1 Pozo o tanque de succión	24
2.8.2.2 Fenómeno de Cavitación.....	25
2.8.2.3 Carga dinámica total (CDT).....	27
2.8.2.4 Potencia de la bomba	29
2.8.2.5 Golpe de ariete.....	29
2.8.3 Tuberías	31
2.8.4 Válvulas.....	32

2.8.4.1	Válvulas de aire	32
2.8.4.2	Válvulas de retención	33
2.8.4.3	Válvulas de purga o limpieza	35
2.8.4.4	Válvulas de corte	35
2.8.4.5	Válvulas de alivio.....	36
2.8.4.6	Válvula de control de nivel	37
2.8.5	Instalación de la tubería	37
2.8.6	Tanque de almacenamiento.....	38
III.	METODOLOGÍA	40
3.1.	Etapa 1. Situación actual	44
3.1.1	Visita inicial	44
3.1.2	Topografía.....	45
3.1.3	Recopilación de información	45
3.2.	Etapa 2. Población en estudio.....	45
3.2.1	Información general de la población	45
3.2.2	Población futura	46
3.3.	Etapa 3. Consumo de agua potable	47
3.3.1	Consumo actual	47
3.3.2	Caudal de diseño	48
3.4.	Etapa 4. Fuente de abastecimiento y obra de captación	48
3.5.	Etapa 5. Diseño de sistema de bombeo, conducción, tanque de almacenamiento y sistema de desinfección	50
3.5.1	Diseño del sistema de bombeo	50
3.5.2	Diseño hidráulico de la línea de conducción	51
3.5.3	Diseño hidráulico del tanque de almacenamiento	53
3.5.4	Sistema de desinfección.....	54
3.6.	Etapa 6. Análisis de costos, impacto ambiental y social	55
3.6.1	Análisis económico	55
3.6.2	Impacto ambiental	55
3.6.3	Impacto social.....	55
IV.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
4.1.	Situación actual	57
4.2.	Población en estudio	58
4.3.	Consumo de agua potable.....	59
4.4.	Fuente de abastecimiento.....	60

4.4.1	Obra de captación	60
4.5.	Diseño hidráulico.....	61
4.6.	Tanque de almacenamiento.....	64
4.7.	Modelación del diseño en Epanet.....	67
4.8.	Sistema de desinfección	72
4.9.	Análisis de impacto económico.....	73
4.10.	Análisis de impacto ambiental	74
4.11.	Análisis de impacto social	78
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
5.1.	Conclusiones	81
5.2.	Recomendaciones.....	83
VI.	BIBLIOGRAFÍA	84
VII.	ANEXOS	87
7.1.	Plano 1 Detalles de obra de captación, tanque de succión y sistema de bombeo	88
7.2.	Plano 2 Detalles de la caseta de bombeo	89
7.3.	Plano 3 Detalles de tanque de almacenamiento.....	90
7.4.	Plano 4 Detalles del perfil longitudinal con obras de conducción.....	91
7.5.	Curva característica Bomba Q-Pumps serie QC 328 4.0"x2.0" enlargued Inlet	92
7.6.	Detalles hidráulicos de líneas (tuberías) modelación Epanet.....	93
7.7.	Detalles hidráulicos de nudos (conexiones y elementos) modelación Epanet	94
7.8.	Detalle de costos obra de captación.....	95
7.9.	Detalle de costos tanque de succión-Bombeo-Caseta	96
7.10.	Detalle de costos Línea de conducción	98
7.11.	Detalle de costos tanque de almacenamiento	99
7.12.	Detalle de costos sistema de desinfección	100

Índice de cuadros

CUADRO 1. VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO SEGÚN EL TAMAÑO DE LA POBLACIÓN	11
CUADRO 2. MÉTODOS MÁS COMUNES DE DESINFECCIÓN DE AGUA	12
CUADRO 3. PERIODO DE DISEÑO PARA DISTINTAS OBRAS.....	18
CUADRO 4. CONSUMO BRUTO PARA POBLACIONES.....	19
CUADRO 5. CAUDAL DE INCENDIO SEGÚN EL TAMAÑO DE LA POBLACIÓN	21
CUADRO 6. VALORES DE CELERIDAD PERMISIBLES PARA TUBERÍAS DE PLÁSTICO	31
CUADRO 7. POBLACIÓN PROYECTADA PARA EL POBLADO DE CAPELLADES EN UN PERIODO DE 20 AÑOS	47
CUADRO 8. REQUERIMIENTO DE CAUDALES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE	48
CUADRO 9. CAUDAL DE DISEÑO OBRA DE CONDUCCIÓN	52
CUADRO 10. POBLACIÓN PROYECTADA PARA EL POBLADO DE CAPELLADES EN UN PERIODO DE 20 AÑOS .	59
CUADRO 11. REQUERIMIENTO DE CAUDALES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE	59
CUADRO 12. CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE CONDUCCIÓN	61
CUADRO 13. DETALLES SELECCIÓN DE LA BOMBA	63
CUADRO 14. VOLUMEN TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	65
CUADRO 15. DETALLE TUBERÍA DE CONDUCCIÓN	67
CUADRO 16. DETALLE DE COSTOS PARA LAS OBRAS DISEÑADAS	73
CUADRO 17. DETALLES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	75
CUADRO 18. ANÁLISIS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN FASE DE CONSTRUCCIÓN	76
CUADRO 19. ANÁLISIS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN FASE DE CONSTRUCCIÓN	77
CUADRO 20. UNIDADES DE CÁLCULO BENEFICIADOS POBLADO CAPELLADES DE ALVARADO.....	78

Índice de figuras

FIGURA 1. TIPOS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	14
FIGURA 2. OBRA DE CAPTACIÓN EN MANANTIALES	23
FIGURA 3. DIAGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DINÁMICA TOTAL	28
FIGURA 4. VÁLVULAS DE EXTRACCIÓN E INGRESO DE AIRE A LA TUBERÍA	33
FIGURA 5. DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA VÁLVULA DE RETENCIÓN	35
FIGURA 6. ELEMENTOS Y FUNCIONAMIENTO DE UNA VÁLVULA DE COMPUERTA	36
FIGURA 7. FUNCIONAMIENTO DE UNA VÁLVULA DE CONTROL DE NIVEL	37
FIGURA 8. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	39
FIGURA 9. ETAPAS DE TRABAJO DISEÑO DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE	41
FIGURA 10. ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN LAS ETAPAS DE TRABAJO	43
FIGURA 11. OBRA DE TOMA NACIENTE DE TIPO MANANTIAL	49
FIGURA 12. OBRA DE PROTECCIÓN PARA UNA NACIENTE TIPO MANANTIAL	50
FIGURA 13. TANQUE DE ALMACENAMIENTO	53
FIGURA 14. SISTEMA DE DESINFECCIÓN POR CLORACIÓN	54
FIGURA 15. PERFIL LONGITUDINAL DE LA CONDUCCIÓN	58
FIGURA 16. CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA Y PUNTO DE OPERACIÓN	63
FIGURA 17. ELEMENTOS INICIALES DEL PROYECTO	68
FIGURA 18. DATOS INGRESO DE CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA	69
FIGURA 19. COTAS DE LAS ESTRUCTURAS Y LONGITUD DE LAS TUBERÍAS	70
FIGURA 20. PRESIÓN DE TRABAJO EN LA TUBERÍA Y CAUDAL CONDUCIDO	71
FIGURA 21. VELOCIDADES EN LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN	72

RESUMEN

La propuesta de diseño de un sistema de conducción para el abastecimiento de agua potable para el poblado de Capellades de Alvarado, ubicado en la provincia de Cartago, nace a consecuencia de la necesidad de tener un sistema de alimentación de agua potable para la comunidad, ya que el sistema que actualmente funciona, debido a la localización del mismo, sufre de daños y averías muy frecuentemente por su localización y accesos. Debido a esto, se presentó una propuesta de diseño basada en una obra de captación de tipo manantial que dirige mediante una tubería hacia un tanque, donde se ubica en la parte superior una bomba que realiza la succión e impulsa 13,53 l/s mediante una tubería de 100 mm durante un periodo de trabajo de 12 horas, hacia un tanque de almacenamiento con una capacidad de 180 m³. El sistema se limita al diseño de la red de distribución, ya que este se encuentra en análisis por parte de la Municipalidad de Alvarado, mediante el Acueducto de la zona. La propuesta de diseño abastece las 473 previstas de tipo domiciliar que se encuentran, además, 55 adicionales de tipo productivo, comercial, salud, educación, entre otras; al igual que la población proyectada en un periodo de diseño de 20 años. El diseño se respalda según las normas técnicas establecidas por el AyA y su modelación para efectos de diseño se realizó para evaluar el comportamiento en el software Epanet.

Palabras clave: Acueducto, línea de conducción, almacenamiento.

ABSTRACT

The proposal for the design of a conduction system for the supply of drinking water for the town of Capellades de Alvarado, located in the province of Cartago, was born as a result of the need to have a potable water supply system for the community, since that the system that currently works, due to its location, suffers from damage and breakdowns very frequently due to its location and access. Due to this, a design proposal was presented based on a spring-type collection work that directs through a pipeline to a tank, where a pump that performs the suction and drives 13.53 l / s is located at the top a 100 mm pipe during a 10-hour work period, towards a storage tank with a capacity of 180 m³. The system is limited to the design of the distribution network, since this is under analysis by the Municipality of Alvarado, through the Aqueduct of the area. The design proposal provides the 473 planned home-based type, which are also additional 55 productive, commercial, health, education, among others; like the projected population in a design period of 20 years. The design is supported according to the technical standards established by the AyA and its modeling for design purposes was performed to evaluate the behavior in the Epanet software.

Keywords: Aqueduct, conduction line, storage.

I. INTRODUCCIÓN

El futuro Ingeniero Agrícola se encuentra comprometido por el bienestar de una población, donde se busca de forma técnica y científica dar solución a problemas que yacen en las zonas de asentamiento y de producción, esto con diseños de proyectos que cumplan con las normas de calidad; generando así el sustento de las necesidades de la población, contribuyendo en la mejora de la calidad de vida y productiva de sus negocios, tomando en cuenta que no haya una afectación sobre el medio ambiente.

Los sistemas de abastecimiento de agua tanto para consumo humano, como para aprovechamiento en el uso agrícola y ganadero, se centran en atender la necesidad de la población en una cantidad y tiempo determinado. Estos sistemas, los ya implementados, pueden no satisfacer los objetivos para los cuales fueron diseñados, ya sea por un mal funcionamiento, mantenimiento, daño en la estructura o incluso el crecimiento de una población y aumento en la extensión de la producción agrícola o ganadera; es aquí donde interviene la toma de decisiones para poder cumplir nuevamente con las necesidades locales.

Según tal necesidad, el presente trabajo de graduación se centra en poder realizar una propuesta de diseño para el abastecimiento de agua potable mediante un sistema de conducción para el poblado de Capellades, Alvarado, Cartago; esto brindando el volumen de agua adecuado en dos tanques de almacenamiento y que de este sea tomado para que con la red de distribución ya existente se logró satisfacer las necesidades de cada usuario.

Actualmente la localidad de Capellades de Alvarado, se abastece de 7 nacientes de tipo manantial ubicadas en el sector norte del distrito y distribuidos en cuatro sectores mediante captaciones, tuberías de conducción por gravedad, tanques de almacenamiento y tanques quiebra gradiente.

El uso del agua que se da en la localidad se divide en consumo humano, riego en áreas agrícolas, consumo para industria lechera y producción de industria agroalimentaria.

La principal captación, por el volumen de agua potable que aporta, tiene la singularidad de que, si el sistema de conducción falla, por eventos naturales como ya han sucedido, prácticamente un 85% del poblado se queda sin agua para consumo humano o los diferentes usos ya antes mencionados. Ante esto, surge la necesidad de realizar una propuesta de diseño de un sistema de conducción de una nueva naciente llamada El Salto, ubicada en el sector de Pacayas, y que puede abastecer al menos en un 70 % de la población.

Para este trabajo se evaluó la fuente de agua que va a abastecer las necesidades, tanto en capacidad hidráulica como en su ubicación, además la topografía de la zona para hacer un correcto trazado de la red de conducción que cumpla con criterios técnicos para realizar un diseño funcional y de bajo costo económico.

Objetivo general:

Diseñar un sistema de conducción de agua potable para el abastecimiento de la comunidad de Capellades de Alvarado, Cartago.

Objetivos específicos:

Realizar el análisis hidráulico de la fuente de captación a utilizar para el proyecto.

Diseñar un sistema de captación, impulsión, conducción y almacenamiento para posibilitar el acceso del agua potable al poblado.

Analizar el impacto económico, ambiental y social del proyecto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales

Según el Fondo de Naciones Unidas para la Infancia (2006), el agua potable es considerada una necesidad fundamental para la vida humana, visto desde dos aspectos básicos como lo son, la calidad y la cantidad; entendiéndose de que el contagio de algunas enfermedades se puede incrementar por una baja calidad del agua para consumo como sucede con la diarrea y el cólera, donde es indispensable que exista un sistema de desinfección en los sistemas de distribución del líquido para asegurar este aspecto. Por otro lado, es necesario una cantidad de agua estable para poder cumplir al menos con el mínimo consumo diario que debe de tener el ser humano y no se presenten problemas en la salud.

A su vez el Ministerio de Salud, menciona explícitamente que: “el agua potable es aquella que cumple con las disposiciones de valores recomendables o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, que al ser consumida por la población no causa daño a la salud”. Además, es fundamental que se realice una evaluación por periodos continuos de dichos valores mencionados anteriormente, esto desde el lugar donde se realiza la captación, la conducción, distribución, almacenamiento y demás estructuras que tienen contacto con el agua; para asegurar que se encuentre dentro de los valores normales. (Ministerio de Salud, 2005)

En Costa Rica existen 3 entidades encargadas de velar por el cumplimiento de las normas, parámetros, la administración y operación de los sistemas de agua potable y saneamiento, con el fin de que los dos aspectos básicos (calidad y cantidad) considerados como necesidades fundamentales para la vida humana se ajusten a las normas existentes en el país. Dichas entidades corresponden al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y Ministerio de Salud (MINS). (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016)

Por otro lado, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2016), define que los únicos entes encargados de prestar el agua potable como un servicio público son, propiamente el AyA, Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS), Empresa de Servicios Públicos de Heredia Sociedad Anónima (ESPH S.A) y Municipalidades. Cada una de ellas debe de apegarse a las directrices técnicas de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas.

Las municipalidades en su carácter de acueducto tienen a cargo la administración y protección del recurso hídrico de los sistemas de agua potable de aquellas que estuvieran administrando y operando de forma eficiente antes de la creación del AyA, bajo las normas técnicas del Reglamento para la Calidad del Agua Potable y de las recomendaciones del AyA. Las municipalidades tienen autonomía presupuestaria, con lo cual pueden establecer los tributos y tasas para la prestación de los servicios, al igual que las tarifas de cobro que son aprobadas en el consejo municipal y un posterior control de la Contraloría General de la República. Dicho de esta manera, cada municipalidad establece las tarifas de cobro según las necesidades propias. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2002)

Los acueductos son sistemas de conducción de agua desde un lugar a otro con el fin principal de poder brindar el bien básico a una población, para así atender sus necesidades. Los sistemas pueden ser de tipo abiertos, como canales de conducción o cerrados como lo son las tuberías. Además, los acueductos cuentan con varias estructuras para su correcto funcionamiento como lo son las tomas de agua, estaciones de bombeo, obras de almacenamiento, tratamiento y distribución, etc. (Organización Panamericana de la Salud, 2003)

Según Ramírez (2016), un acueducto está compuesto por una serie de elementos para su correcto funcionamiento, entre los que están:

- a. Fuente de abastecimiento.
- b. Captación de agua superficial o subterránea.
- c. Conducción.
- d. Tanques de almacenamiento.
- e. Sistema de potabilización.
- f. Redes de distribución.
- g. Otros componentes: estaciones de bombeo.

2.2. Elementos de un acueducto

2.2.1 Fuente de abastecimiento

La fuente de agua que se elija es aquella que puede abastecer las necesidades futuras de gasto máximo diario para un periodo de diseño del acueducto en trámite o al menos satisfacer las necesidades actuales de la población, con la posibilidad de poder anexar otras fuentes en un tiempo futuro y reforzar las capacidades de necesidad. Esto implica inclusive que, se debe de realizar un análisis sobre las condiciones climatológicas y de localización, para prever por ejemplo una disminución de agua por sequía u otra causa. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

Las fuentes de abastecimiento para un acueducto pueden ser de aguas superficiales o de aguas subterráneas. La Comisión Nacional del Agua (2007) define las aguas superficiales como: “aquellas que se captan de canales, ríos y embalses”; mientras que las aguas subterráneas como: “aquellas que se captan de pozos, manantiales y galerías filtrantes”.

2.2.2 Captación de agua superficial o subterránea

La captación es la forma mediante el cual se obtiene el agua para ser utilizada por el acueducto y debe tener al menos los siguientes elementos básicos: orificios de toma, vertedero para control de excedentes, rejillas para limpieza, compuertas de control y dispositivos de aforo. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

La Comisión Nacional del Agua (2007), menciona las principales maneras de realizar la toma, ya sea de agua superficial o subterránea:

2.2.2.1 Tomas de agua superficial

- a. Toma directa o de fondo.
- b. Presas derivadoras.
- c. Presas de almacenamiento.

2.2.2.2 Tomas de agua subterránea

- a. Pozos profundos.
- b. Pozos excavados.
- c. Manantiales.
- d. Galerías de filtración.

2.2.3 Conducción

La conducción, corresponde a la línea del sistema que transporta desde la captación hasta el tanque de almacenamiento o a la planta potabilizadora, el volumen de gasto máximo diario requerido por el poblado, o el volumen que es capaz de brindar la fuente. La línea de conducción dependiendo de las características del terreno y las necesidades se puede dar el movimiento mediante gravedad, donde la fuente de abastecimiento se encuentra en una cota superior al punto de entrega. El otro tipo de movimiento es mediante un sistema de bombeo, donde sucede lo contrario al sistema por gravedad, ya que en este la fuente de abastecimiento se encuentra en una cota inferior al punto final del sistema. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

2.2.3.1 Conducción por gravedad

En los sistemas por gravedad, el movimiento del agua dentro de la tubería se puede dar mediante una superficie libre o funcionando a presión, que es en la mayoría de los casos como se realizan los diseños de conducción. Para un diseño de un sistema de conducción por gravedad la Comisión Nacional del Agua (2007), recomienda que se deben de tomar en cuenta varios aspectos básicos como:

- a. Las tuberías deben de tratar de seguir el perfil del terreno, esto por disponibilidad de acceso y para estar cerca del gradiente hidráulico para el cual se podrán mantener presiones no muy altas que generen una ruptura del sistema. Si la línea de la conducción se aleja de la línea de gradiente hidráulico las presiones altas que se generan, se pueden eliminar con elementos auxiliares.
- b. Las tuberías se deben de instalar paralelas a una vía pública que permita el acceso abierto para facilitar la inspección de la conducción, poder detectar y corregir daños que sufran las tuberías.
- c. En líneas de conducción donde la topografía es muy irregular, en los sitios más elevados se deben de colocar válvulas para el ingreso y salida de aire. Cuando el tramo por lo contrario es muy regular (plano), se deben de colocar válvulas según la norma que indique cada país.
- d. En los puntos más bajos del trayecto se deben de colocar válvulas de purga para vaciar la tubería si hay una falla en otro trayecto superior, también para realizar limpieza.

2.2.3.2 Conducción por bombeo

Para los sistemas de conducción por bombeo es fundamental de que este funcione por debajo de las 24 horas, ya que no es práctico ni eficiente un sistema trabajando tantas horas prolongadas; por lo cual el caudal de trabajo aumenta en relación de las horas de bombeo y pueda satisfacer las necesidades de la población. Al igual que una conducción por gravedad, para un sistema por bombeo se deben considerar los mismos aspectos antes mencionados. También se deben de considerar estructuras de protección como válvulas aliviadoras de presión, torres de oscilación y cámaras de aire. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

2.2.4 Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son diseñados con el fin primordial de poder tener un equilibrio entre el agua de consumo de los usuarios y el volumen que es captado a dicho tanque. Lo que pretende es poder garantizar que el volumen que aporta la conducción que se comporta de forma constante se transforme en el tanque, según la demanda de la distribución a los usuarios que es de forma variable. (Ramírez, 2016)

Según el AyA (2017), en la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Saneamiento y Pluvial, los tanques de almacenamiento deben ser diseñados bajo tres volúmenes primordiales en el abastecimiento de agua para una población, los cuales son:

2.2.4.1 Volumen de regulación del consumo

Debido a que el consumo horario de la población es variable, el volumen de regulación compensa las fluctuaciones de este consumo. Este se calcula utilizando curvas del consumo real, pero al no tener estas, se puede determinar utilizando el 14% del volumen promedio diario, cuando el caudal que alimenta el tanque es constante e igual al caudal promedio requerido por el 100% de la población a abastecer. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017)

2.2.4.2 Volumen de reserva para incendios

El volumen de reserva para incendios es el requerido para atender un incendio y este depende del tamaño de la población para su cálculo. El AyA (2001), define según el tamaño de la población, que el volumen de almacenamiento para incendios como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Volumen de almacenamiento según el tamaño de la población

Tamaño de la población (habitantes)	Duración de incendio (horas)	Volumen del almacenamiento (m³)
0-5.000	0	0
5.000-15.000	3	90
15.000-30.000	3	170
30.000-60.000	3	260
60.000-120.000	4	580
120.000-200.000	4	690
200.000-300.000	4	920

Fuente: (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001)

Cabe aclarar que, para una población inferior a los 5.000 habitantes, no es requerido considerar un caudal de incendio y este se puede satisfacer con el volumen de regulación.

2.2.4.3 Volumen de reserva para interrupciones

Corresponde al volumen necesario para poder abastecer la población por interrupciones en el servicio y debe ser de al menos 4 horas del caudal promedio diario. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017)

2.2.4.4 Volumen total de almacenamiento

El volumen total de almacenamiento corresponde a la suma de los volúmenes de regulación del consumo, reserva para incendios y reserva para interrupciones. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017)

2.2.5 Sistema de potabilización de agua

El objetivo de la desinfección del agua potable es asegurar que los usuarios consuman agua esencialmente saludable, mediante sistemas que destruyen agentes patógenos. Entre los principales métodos físicos y químicos que se utilizan se muestran en el Cuadro 2: (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

Cuadro 2. Métodos más comunes de desinfección de agua

Físicos	Químicos
Ultrafiltración	Cloro
Ultrasonido	Yodo
Ósmosis inversa	Permanganato de potasio
Electroforético	Bromo
Ebullición	Ozono
Congelación	Peróxido de Hidrógeno
Radiación ionizante	Plata

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

A nivel rural los sistemas implementados en la desinfección deben ser escogidos bajo varias características como la efectividad y rapidez, fácilmente soluble en las concentraciones requeridas, que no afecte el sabor, olor y color, fácil de manipular, transportar, aplicar y controlar. Bajo estas características el sistema de cloro es el más aplicable a nivel rural. (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

Según la Organización Panamericana de la Salud (2007), el sistema de desinfección por cloro es el más aplicable debido a que es el más accesible, alta capacidad de destrucción de materia orgánica, propiedades residuales, el equipo utilizado es sencillo, confiable y de bajo costo, los productos basados en cloro se consiguen fácilmente, económico y eficaz en relación a su costo. Dentro de la familia del cloro se encuentran para realizar la desinfección los siguientes productos:

- a. Cloro gaseoso: no es recomendable en poblaciones por debajo de 5.000 habitantes.
- b. Cal clorada.
- c. Hipoclorito de sodio.
- d. Hipoclorito de calcio.

2.2.6 Redes de distribución

Según Ramírez (2016), la red de distribución consiste en el conjunto de elementos como tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento, hasta la acometida de cada usuario o hidrante público, con el fin primordial de brindar el agua potable en calidad y cantidad que lo establece las normas; además de, la disposición de agua para hidrantes en la atención de incendios.

Algunas de las recomendaciones o necesidades que debe de satisfacer la red de distribución según la Comisión Nacional del Agua (2007) y que son aplicables para las normas que establece el AyA están:

- a) La presión adecuada de operación que debe haber en las acometidas debe ser de al menos de 15 a 50 metros columna de agua (mca). Para zonas urbanas pequeñas al menos de 10 mca.
- b) La tubería de distribución debe estar siempre separada de otras líneas de conducción, ya sea de alcantarillado sanitario, gas, electricidad y telecomunicaciones; respetando al menos una distancia de 1,5 metros de manera horizontal con otra estructura. Por otro lado, la tubería de agua potable siempre debe de ubicarse por encima si fuera el caso, del sistema de alcantarillado sanitario en al menos 30 cm.

Existen dos diseños de red de distribución de agua potable para un poblado como lo son, la red abierta y la red cerrada como se muestra en la Figura 1. La red abierta generalmente se utiliza cuando la red de caminos no permite tener un circuito y se tienen que realizar ramificaciones para hacer la distribución. Por otro lado, la red cerrada es aquella donde se forman anillos de conexión y el suministro puede viajar por varias líneas, con la ventaja principal de que, en caso de averías no se ve afectado todo el sistema, como sucede en la red abierta, sino que, solo se verá afectado el punto en específico. (Ramírez, 2016)

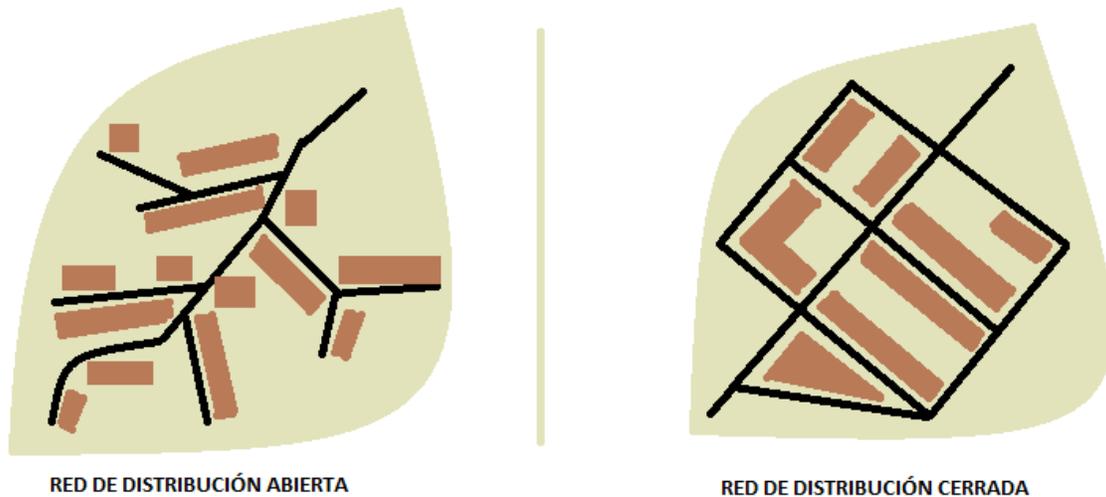


Figura 1. Tipos de redes de distribución de agua potable

2.2.7 Estación de bombeo

La estación de bombeo es el conjunto de elementos que tiene como fin principal mediante la energía mecánica transformar a energía hidráulica con un aumento de velocidad y presión del fluido. Las bombas se clasifican según el material con que se construyen, los líquidos que mueven, la orientación en el espacio y la aplicación a la que está destinada. (Corcho Romero & Duque Serna, 2005)

Para la instalación de una estación de bombeo se deben de tomar en cuenta una gran cantidad de factores para que el sistema sea funcional y eficiente, esto inicialmente según los recursos que se tienen disponibles y las necesidades del sistema. Algunos de los parámetros para el diseño son las dimensiones de los equipos, localización de la estación de bombeo, cercanía de una fuente eléctrica, vías de acceso, obra de captación, tanque a la descarga, operación de la estación, control de los equipos, títulos de propiedad, ubicación fuera de áreas protegidas, milla fronteriza entre otros aspectos. (Corcho Romero & Duque Serna, 2005)

2.3. Estudios topográficos

Los estudios topográficos son el conjunto de actividades de campo y escritorio que tienen como fin mostrar información altimétrica y/o planimétrica para presentarlas en planos y de aquí hacer el uso necesario para cada fin. Cada estudio está en función del sistema utilizado, la información disponible, la localidad, las condiciones locales de cada sitio y de otros parámetros que dependerán del tipo y precisión del estudio que se desea realizar. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

Dos elementos que debe tener un estudio topográfico son:

- a. Control horizontal de mediciones de distancias horizontales referenciadas a un punto de apoyo, como una orientación astronómica.
- b. Una referencia del nivel medio del mar para tener un control vertical. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

2.4. Población de diseño

Un acueducto es un sistema que da acceso de agua potable a un poblado y en este están localizadas grandes cantidades de zonas habitacionales o por decirlo de otra manera, gran cantidad de usos a los que se les va a dar el agua, ya sean hogares, entidades públicas y privadas. El poblado tiene una cantidad de habitantes al momento de realizar el levantamiento de la información, pero el diseño es realizado para un periodo definido según las normas técnicas de cada país; pero la población no es un dato estable ya que se ve afectado de forma creciente por los nacimientos e inmigraciones y de forma decreciente por los fallecimientos y migraciones. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017)

Por lo tanto, la población de diseño, es la población futura al cual se pretende dar servicio de agua potable al finalizar el periodo de diseño del proyecto. Existen varios métodos para poder obtener este cálculo como lo son el método de comparación gráfica, método de crecimiento lineal, método de crecimiento geométrico y el método de crecimiento logarítmico; siendo los más confiables de utilizar el método logarítmico y geométrico. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017)

2.4.1 Método de crecimiento logarítmico

Este método se utiliza cuando el tipo de crecimiento de la población es de tipo exponencial, se requiere información de habitantes de al menos dos censos y se calcula según la Ecuación 1 y 2, que se detallan a continuación:

$$\ln P_f = \ln P_{ci} + Kg (T_f - T_{ci}) \dots \dots (1)$$

$$Kg = (\ln P_{cp} - \ln P_{ca}) / (T_{cp} - T_{ca}) \dots \dots (2)$$

Donde:

Pf: población proyectada (habitantes).

Pci: población del censo inicial (habitantes).

Kg: tasa de crecimiento exponencial (%).

Tf: año de la proyección.

Tci: año del censo inicial.

Pcp: población censo posterior (habitantes).

Pca: población censo anterior (habitantes).

Tcp: año del censo posterior.

Tca: año del censo anterior.

2.4.2 Método de crecimiento geométrico

El método de crecimiento geométrico es utilizado cuando el aumento de población es proporcional al tamaño de esta y se utiliza la Ecuación 3 y 4 para su cálculo:

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{(T_f - T_{uc})} \dots\dots(3)$$

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}}} - 1 \dots\dots(4)$$

Pf: población proyectada (habitantes).

Puc: Población de último censo (habitantes).

r: tasa de crecimiento anual (%).

Tf: año de la proyección.

Tuc: año del último censo.

Pci: población del censo inicial (habitantes).

Tci: año del censo inicial.

Si no se dispone de censos de población, se pueden utilizar las tasas de crecimiento anual recomendadas por el AyA (2001):

- a. Crecimiento de población rural: 3,5 %.
- b. Crecimiento de población urbana: 3,0 %.

2.5. Periodo de diseño

La Comisión Nacional del Agua (2007), define que el periodo de diseño es el tiempo en años donde la obra cumple satisfactoriamente su funcionamiento para cual fue diseñada y según los parámetros que fueron utilizados, como la población del proyecto, gasto de diseño y niveles de operación.

El periodo de diseño está ligado con aspectos económicos y la vida útil de los elementos, ya que periodos de diseño muy altos pueden generar sobredimensionamiento de las estructuras y por lo tanto costos de inversión y operación muy altos. Después de superado el periodo de diseño, la obra continuará funcionando con normalidad, pero con una eficiencia menor, hasta llegar a su vida útil. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

El AyA (2001), define los siguientes periodos de diseño según el Cuadro 3 para las siguientes obras de un sistema de conducción de agua potable para un poblado:

Cuadro 3. Periodo de diseño para distintas obras

Obra	Periodo de diseño (años)
Captación	20
Equipo de bombeo	10 a 15
Línea de conducción	20 a 30
Planta de tratamiento	20 a 30
Tanque de almacenamiento	20 a 30
Red de distribución	20 a 30

Fuente: (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001)

2.5.1 Vida útil

La vida útil es el periodo en el cual se espera que la obra funcione para propósitos de diseño y está ligado a la duración de los materiales con que están hechas las estructuras y en consecuencia este debe ser mayor al periodo de diseño. Además, la vida útil depende de las condiciones ambientales, el diseño propiamente, calidad del agua, operación, mantenimiento programado y calidad de los equipos. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

2.6. Factores de diseño de conducción

2.6.1 Consumo

El consumo es el suministro de agua potable que utilizan los usuarios y varía según la localidad por factores climáticos, hidrológicos, las costumbres locales e inclusive las actividades locales de la zona en estudio. Según el AyA (2001), cuando no se tienen datos de consumo y demandas de la localidad donde se va a realizar el sistema de conducción, se deben utilizar los siguientes valores que se muestran en el Cuadro 4:

Cuadro 4. Consumo bruto para poblaciones

Ubicación	Consumo (litros/persona/diario)
Poblaciones rurales	200
Poblaciones urbanas	300
Población costera	375
Área metropolitana	375

Fuente: (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001)

2.6.2 Caudal coincidente o caudal de diseño

Corresponde al caudal de diseño del proyecto y se calcula para diferentes sistemas de agua potable mediante las siguientes ecuaciones. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001)

Para sistemas por gravedad, con captación, conducción, tanques de almacenamiento, el caudal de diseño se calcula mediante las Ecuaciones 5, 6 y 7:

$$Q_d = Q_{maxdiario} \dots \dots (5)$$

$$Q_{maxdiario} = 1,2 * Q_{promdiario} \dots \dots (6)$$

$$Q_{promdiario} = \frac{C * P}{86400} \dots \dots (7)$$

Donde:

Qd: caudal de diseño (l/s).

Qmaxdiario: caudal máximo diario (l/s).

Qpromdiario: caudal promedio diario (l/s).

C: consumo bruto (l/p/d).

P: población proyectada (habitantes).

Para sistemas por bombeo, con tanques de almacenamiento, el caudal de diseño se calcula mediante la Ecuación 8:

$$Q_d = \frac{Q_{maxdiario} * 24 \text{ horas}}{N} \dots \dots (8)$$

Donde:

Q_d : caudal de diseño (l/s).

$Q_{maxdiario}$: caudal máximo diario (l/s).

N : número de horas de trabajo diarias bombeo (horas).

Para la red de distribución, el caudal de diseño se calcula mediante la Ecuación 9:

$$Q_d = Q_{maxdiario} + Q_i \dots \dots (9)$$

Donde:

Q_d : caudal de diseño (l/s).

$Q_{maxdiario}$: caudal máximo diario (l/s).

Q_i : caudal de incendio (l/s), según el Cuadro 5.

Cuadro 5. Caudal de incendio según el tamaño de la población

Tamaño de la población (habitantes)	Caudal de incendio (l/s)
0-5.000	0
5.000-15.000	8
15.000-30.000	16
30.000-60.000	24
60.000-120.000	40
120.000-200.000	48
200.000-300.000	64

Fuente: (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001)

2.7. Epanet

Epanet es un programa que realiza modelaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en las redes de distribución a presión. Epanet determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión de cada uno de los nudos, nivel de agua en cada tanque y concentración de diferentes componentes químicos a través de la red durante un determinado periodo de simulación. (Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos Universidad Politécnica de Valencia, 2012)

Algunas de las características más útiles del modelo hidráulico que tiene el programa Epanet son: (Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos Universidad Politécnica de Valencia, 2012)

- a. Puede calcular las pérdidas por fricción de las conducciones mediante los modelos de Hazen - Williams, Darcy - Weisbach o Chézy - Manning, incluyendo pérdidas menores como codos y acoplamientos.
- b. Modelación de bombas en funcionamiento, energía consumida y costo de bombeo de las estaciones.
- c. Modelación de válvulas de retención, regulación, aislamiento, reductoras de presión, control de caudal, entre otras.
- d. Modelos sobre tanques de almacenamiento de distintas geometrías.
- e. Modela consumos dependientes de la presión que salen al exterior del sistema.

2.8. Obras para el sistema de conducción

2.8.1 Obra de captación

Según Terán (2013), para obras de captación en manantiales es indispensable que se mantenga una protección para que no se contaminen, además de que los afloramientos no se obstruyan y esto se logra con la construcción de una estructura que separe el área de salida de agua. Los elementos básicos en una toma aguas de tipo manantial se pueden observar con mayor detalle en la Figura 2:

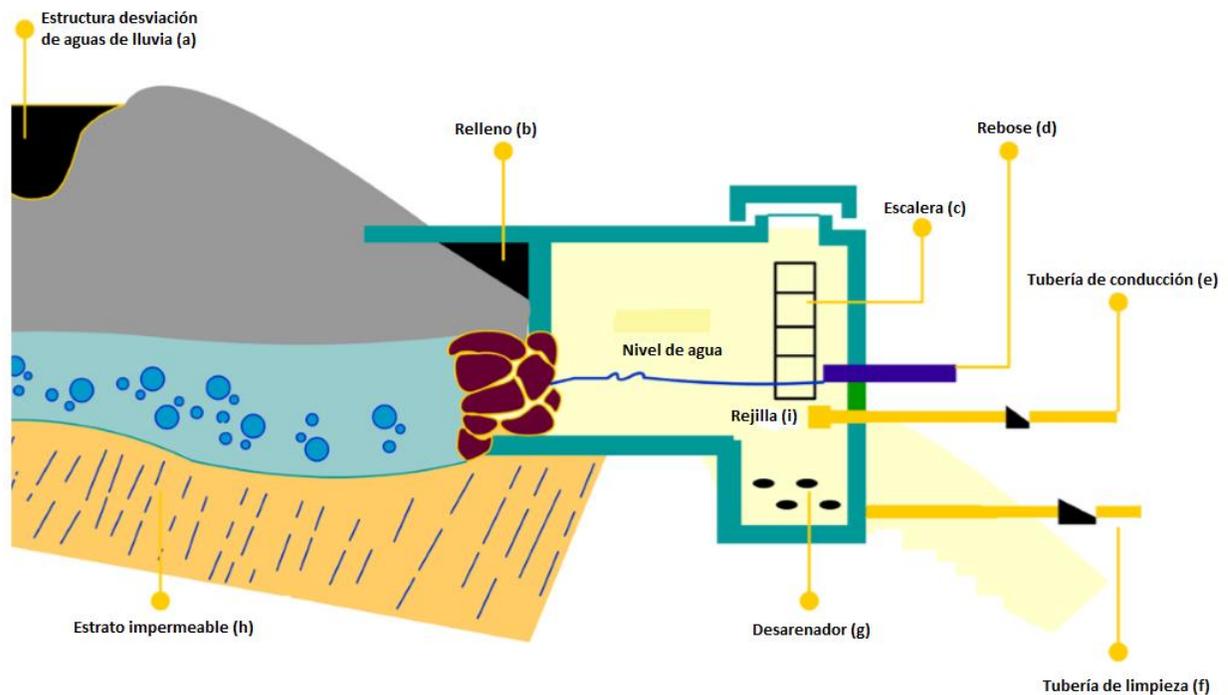


Figura 2. Obra de captación en manantiales

Fuente: (Ramírez, 2016)

- a. Estructura para desviación de aguas externas: Funciona para evitar el ingreso por escorrentía de aguas hacia la estructura de captación.
- b. Relleno: estructura que funciona para evitar que se depositen materiales extraños.
- c. Escalera: permite el ingreso para realizar mantenimiento preventivo.
- d. Rebose o excedentes: permite tener un control de los excedentes de agua.
- e. Tubería de salida o toma: es de igual diámetro que la tubería de conducción y tiene una canastilla o rejilla para el control de los sedimentos u objetos.

- f. Tubo de desagüe o limpieza: es la estructura que permite realizar limpiezas en la cámara.
- g. Desarenador: área donde se depositan las arenas, para evitar que se vaya en la tubería de conducción.
- h. Estrato impermeable: Capa de suelo natural con altas capacidades de infiltración.
- i. Rejilla: estructura de toma que permite la filtración de materiales extraños a la tubería de conducción.

2.8.2 Sistema de bombeo

Un sistema de bombeo y en su defecto una estación de bombeo, es el que permite vencer la diferencia de altura, pérdidas por fricción y otras pérdidas, cuando se tiene una condición opuesta al aprovechamiento de energía por gravedad. Para el diseño se deben conocer aspectos como la demanda de agua, aspectos generales de la zona, estudios topográficos, condiciones geológicas, disponibilidad de energía, calidad del agua, entre otras. (Corcho Romero & Duque Serna, 2005)

El sistema de bombeo puede funcionar bajo dos métodos. El primero es realizando la conducción a un tanque, donde el caudal de diseño será igual al caudal medio diario, para un funcionamiento de 24 horas, lo cual no es recomendable, por lo cual el caudal de diseño depende de las horas disponibles para trabajar. El segundo caso es, realizar el bombeo directamente a la red de distribución, con la singularidad de que se deben de resguardar las presiones máximas de trabajo en ciertos puntos según la norma. (Empresas Públicas de Medellín, 2009)

2.8.2.1 Pozo o tanque de succión

El tanque de almacenamiento para la succión se debe de diseñar con un caudal igual o superior al caudal de diseño y con las características de poder tener espacio para la instalación de equipos de bombeo, tuberías de succión, labores de inspección y mantenimiento. Algunos de los criterios para la construcción del tanque de succión son: (Empresas Públicas de Medellín, 2009)

- a. El fondo y las paredes del tanque deben estar al menos a 50 cm de la tubería de succión de la bomba.
- b. La velocidad a la entrada del tanque debe ser menor a 0,7 m/s.
- c. El tanque debe de contar con válvulas de limpieza y apertura para los excesos.
- d. La velocidad mínima de entrada en la tubería de succión debe ser de 0,5 m/s.

2.8.2.2 Fenómeno de Cavitación

El fenómeno de la cavitación ocurre en bombas cuando la presión dentro del impulsor de la bomba, se reduce hasta cambiar a presión de vapor del líquido bombeado y se generan burbujas de vapor. Cuando estas burbujas están a punto de salir, generan erosión dentro de la bomba, acompañado de ruido y vibración en el sistema. (Martínez, 2009)

La cavitación se da por circunstancias externas e internas a la bomba de impulsión que son:

- a. Hay una caída de presión en el sistema externo (pozo o tanque de succión) y es mayor que el considerado durante el diseño del sistema.
- b. La presión actual dentro del sistema es mayor a la informada por el fabricante de la bomba y que se utilizó para seleccionarla.

Una forma de medir si se da el fenómeno de la cavitación es, midiendo la altura disponible del sistema ya que, si esta es mayor que la altura requerida en la aspiración, no se está presentando el fenómeno, esto como se observa en la Ecuación 10: (Martínez, 2009)

$$NPSH_d > NPSH_r \dots\dots(10)$$

Donde:

$NPSH_d$: altura neta positiva de succión disponible (m).

$NPSH_r$: altura neta positiva de succión requerida (m).

El valor de la altura neta de succión positiva requerida por el fabricante debe ser menor que el valor disponible en la instalación, en al menos si es posible un 20% por debajo. Para obtener este valor disponible se utiliza la Ecuación 11: (Empresas Públicas de Medellín, 2009)

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{atm}}{\rho * g} + H_{es} + h_f - h_m - \frac{v^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho * g} \dots\dots(11)$$

Donde:

$NPSH_{disp}$: altura neta de succión positiva (m).

P_{atm} : Presión atmosférica (Pa).

ρ : densidad del agua (kg/m^3).

g : aceleración de la gravedad (m/s^2).

H_{es} : altura estática de succión (m).

h_f : pérdidas por fricción (m).

h_m : pérdidas menores (m).

v : velocidad media del flujo (m/s).

P_v : presión de vapor (Pa).

2.8.2.3 Carga dinámica total (CDT)

La carga dinámica total es la energía requerida para levantar o impulsar el líquido desde el nivel de succión hasta el punto de descarga, considerando las resistencias del sistema que incluyen la carga estática total, la carga por pérdidas por fricción en la tubería de succión y conducción, y la carga por velocidad. Se puede determinar la carga dinámica total mediante la Ecuación 12, además como se observa en la Figura 3 que detalla los puntos de análisis: (Comisión Nacional del Agua, 2007)

$$CDT = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (h_d - h_s) + H_{f_{1-2}} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \dots\dots(12)$$

Donde:

P_1 y P_2 : presión sobre la superficie del líquido en los puntos 1 y 2 (Pa).

V_1 y V_2 : velocidad que experimenta el fluido en los puntos 1 y 2 (m/s).

h_s y h_d : alturas de succión y descarga (m).

CDT: carga dinámica total que la bomba tiene que desarrollar para conducir el fluido del tanque 1 al tanque 2 (m).

$H_{f_{12}}$: pérdidas totales de carga (m).

γ : densidad del fluido (kg/m^3).

g : aceleración de la gravedad (m/s^2).

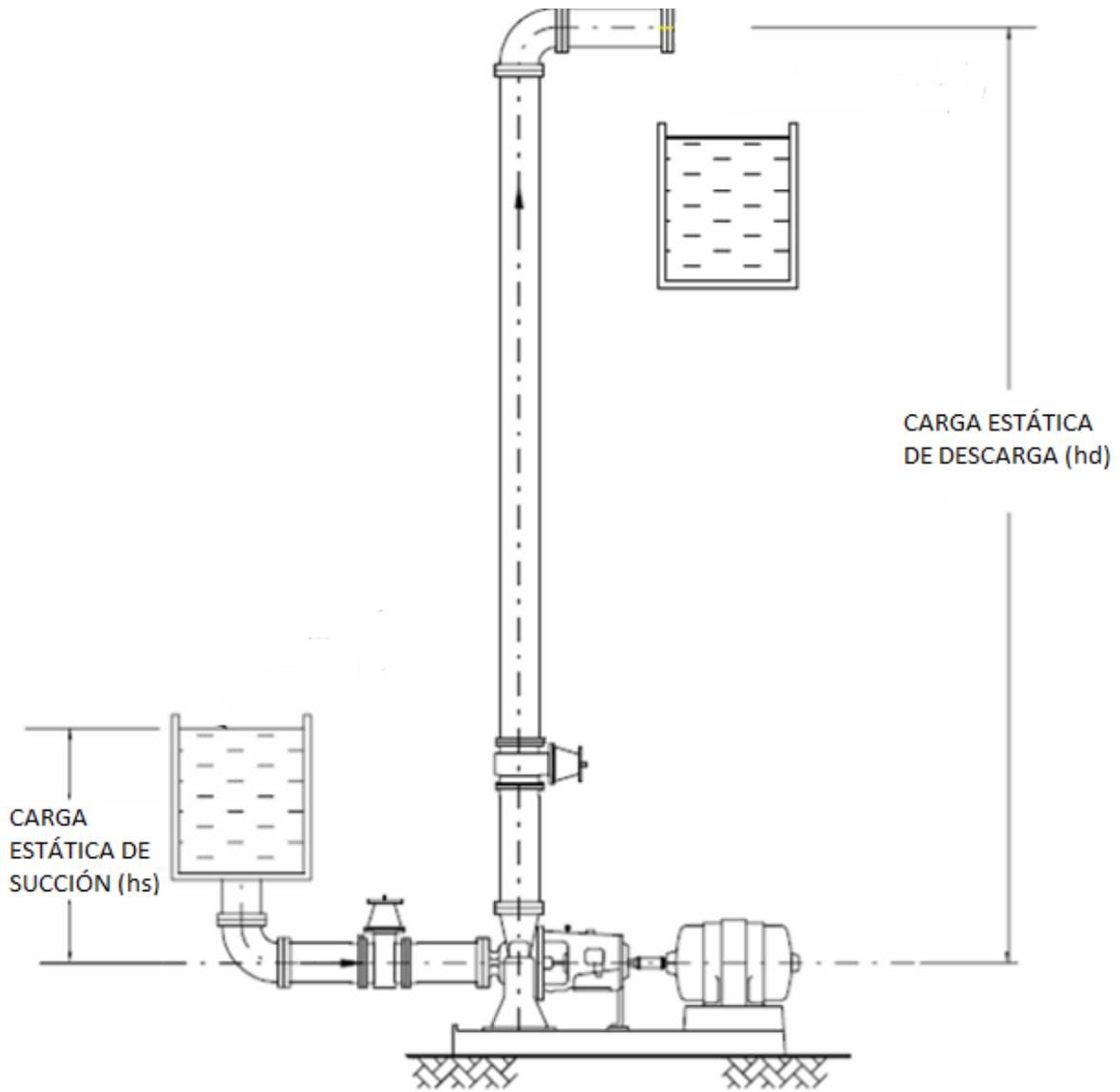


Figura 3. Diagrama para el cálculo de la Carga Dinámica Total

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2007)

2.8.2.4 Potencia de la bomba

La potencia de la bomba es la requerida para obtener la capacidad del sistema bajo la condición de caudal máximo de operación y se puede calcular mediante la Ecuación 13: (Empresas Públicas de Medellín, 2009)

$$P = \frac{Q\gamma H}{\eta} \dots\dots(13)$$

Donde:

P: potencia de la bomba (W).

Q: caudal de operación (m³/s).

γ : peso específico del agua (N/m³).

H: altura total de bombeo incluyendo la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores en la tubería de impulsión (m).

η : eficiencia de bombeo (%).

2.8.2.5 Golpe de ariete

El golpe de ariete se da cuando hay interrupciones bruscas en el transporte del líquido debido a procesos rápidos de regulación de energía eléctrica o por desperfectos mecánicos en la bomba o en el conjunto, lo que generan cambios de presión en las líneas de succión, impulsión o descarga. Al haber un paro repentino, la energía que queda en el sistema no es suficiente para sostener el flujo y esta empieza a decrecer, generándose ondas de presión que golpean, hasta el punto de hacer un cambio en el sentido de flujo de la bomba. El golpe de ariete se puede minimizar con el uso de válvulas de retención cerca del inicio de la tubería de impulsión. (Corcho Romero & Duque Serna, 2005)

La celeridad de la onda de presión que golpea, se puede calcular mediante la Ecuación 14 y permite conocer si la tubería seleccionada resiste la sobrepresión por golpe de ariete: (Empresas Públicas de Medellín, 2009)

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E \cdot D \cdot (1 - \mu_p^2)}{E_p \cdot e_p}}} \dots \dots (14)$$

Donde:

a: celeridad de la onda de presión (m/s).

E: módulo de elasticidad de un material (Pa).

ρ : densidad del agua (kg/m³).

D: diámetro interno real de la tubería (m).

μ_p : relación de Poisson de un material.

E_p : módulo de compresibilidad del líquido (GPa).

e_p : espesor de pared de la tubería (m).

El periodo del golpe de ariete es el tiempo que necesita una onda de presión para recorrer la longitud de la tubería desde donde inicia la perturbación hasta el final de la misma y retornar al inicio. Este tiempo se puede calcular mediante la Ecuación 15: (Empresas Públicas de Medellín, 2009)

$$\tau = \frac{2L}{a} \dots \dots (15)$$

Donde:

τ : periodo del golpe de ariete (s).

L: longitud de la tubería (m).

El Cuadro 6 muestra distintos valores de celeridad permisible para tuberías de plástico y distintos valores de presión nominal:

Cuadro 6. Valores de celeridad permisibles para tuberías de plástico

Tubería	Presión nominal (kg/cm ²)			
	4	6	10	16
PE baja densidad	118	147	196	-
PE alta densidad	-	234	305	-
PVC	240	295	380	475

Fuente: (Empresas Públicas de Medellín, 2009)

2.8.3 Tuberías

Las velocidades permisibles de trabajo en la tubería de conducción no pueden superar los 5,0 m/s y ser superior a 0,6 m/s. En el caso de que se presenten velocidades inferiores a 0,6 m/s, predomina el criterio de utilizar el diámetro mínimo. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001)

La presión estática máxima será de 50 mca, en los puntos más bajos de la red y se permiten inclusive en terrenos muy quebrados presiones hasta de 70 mca. La presión estática interna, más sobrepresiones por golpe de ariete no deben ser menores a 80 mca. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001)

Para el cálculo del diámetro de la tubería, se utiliza la Ecuación 14 y 15:

$$D = \sqrt{\frac{4*Q_d}{V_{asumida*\pi}}}\dots\dots(14)$$

$$V_{real} = \frac{4*Q_d}{D^2*\pi}\dots\dots(15)$$

Donde:

D: diámetro (m).

Q_d: caudal de diseño (l/s).

V: velocidad (m/s).

2.8.4 Válvulas

2.8.4.1 Válvulas de aire

Las válvulas de aire tienen dos funciones principales que son la expulsión automática de aire en los puntos más altos de la línea de conducción o pueden expulsar o admitir aire a la tubería si está llenando o vaciando la conducción. Es indispensable que la colocación de estas sea en los puntos más elevados de la red, pero si los trayectos tienen una pendiente baja y prolongada, se deben de colocar cada 400 a 800 metros. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017)

Cuando el sistema trabaja bajo impulsión, se deben de colocar válvulas de aire posterior a la válvula de retención, para el ingreso y salida de aire en la tubería de impulsión. En la Figura 4, se muestra dos tipos de válvulas de llenado y expulsión de aire.



Figura 4. Válvulas de extracción e ingreso de aire a la tubería

Fuente: (Ramírez, 2016)

2.8.4.2 Válvulas de retención

En sistemas de bombeo, cuando se da una suspensión en el flujo eléctrico, por condiciones programadas o de imprevisto, se da el fenómeno del golpe de ariete, ya que el flujo va a realizar una carga sobre el sistema de bombeo porque este no tiene la capacidad para poder soportarlo; en ese momento interviene la válvula de retención que detiene el flujo inverso y pueda generar un daño en las estructuras. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

Existen varios tipos de válvulas de retención, entre las que se destacan:

- a. Válvula check tradicional: es una válvula que permite el flujo en una dirección y cierra cuando la presión en la descarga es mayor que en la entrada.
- b. Válvula duo-check: en una válvula con la misma función que la check tradicional, pero tiene menor peso, pero mayores las pérdidas de carga.
- c. Válvula check silenciosa: es una válvula que realiza el cierre de forma lenta, lo que permite mayor durabilidad de la misma y elimina el ruido, que generan las demás por su funcionamiento.
- d. Válvula roto-check: es una válvula similar a la check tradicional, pero con un cierre más lento y se le puede añadir un elemento para control de los tiempos de cierre y apertura.

En la Figura 5 se muestra el diagrama de funcionamiento de una válvula de retención, donde en la primera parte hay un ingreso de fluido de izquierda a derecha con el paso libre. En la segunda parte se observa que el flujo se está devolviendo (derecha a izquierda) y se da un cierre con un elemento que obstaculiza el paso y poder proteger las estructuras aguas abajo.

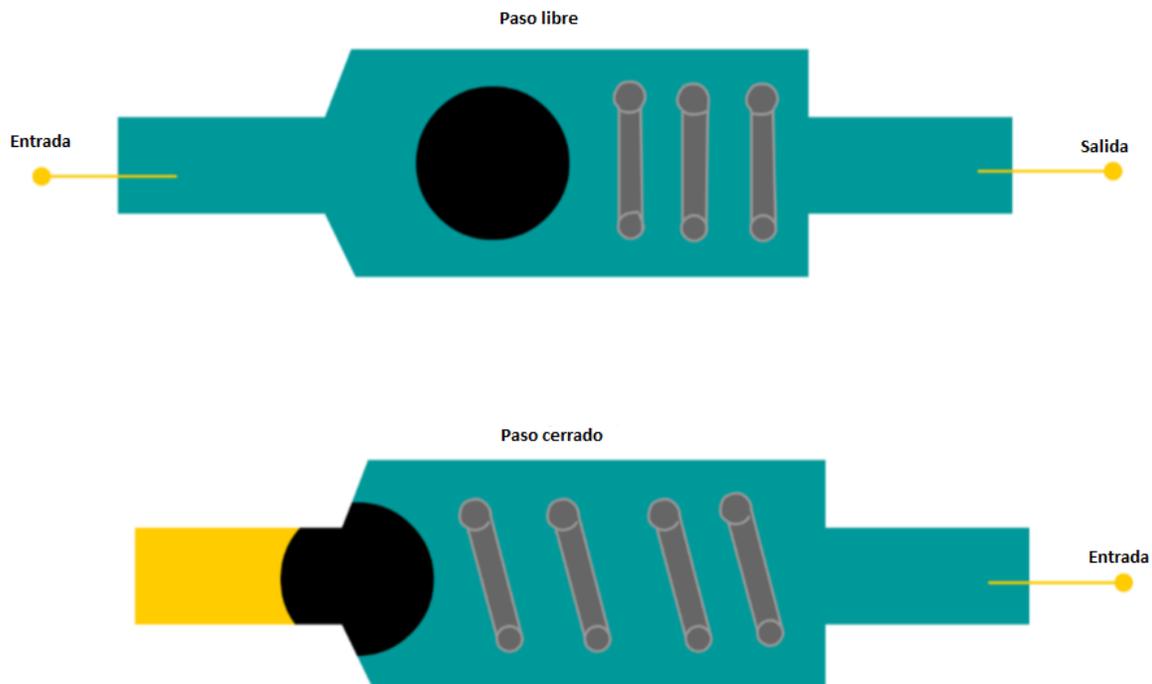


Figura 5. Diagrama de funcionamiento de una válvula de retención

Fuente: (Ramírez, 2016)

2.8.4.3 Válvulas de purga o limpieza

Las válvulas de purga se utilizan para realizar limpieza de la tubería por sedimentos y se colocan en los puntos bajos del trazado para facilitar la limpieza, con la posibilidad de realizar dicha descarga sobre un cuerpo de agua natural. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017)

2.8.4.4 Válvulas de corte

Las válvulas de corte son de tipo compuerta como se muestra en la Figura 6 y permiten tener separados tramos de tubería en los casos donde se den averías o fallos. El AyA (2017), recomienda que para líneas de conducción se deben de colocar cada 1.000 metros.

Además, se deben de colocar válvulas de corte en el ingreso, salida y limpieza de los tanques de almacenamiento.

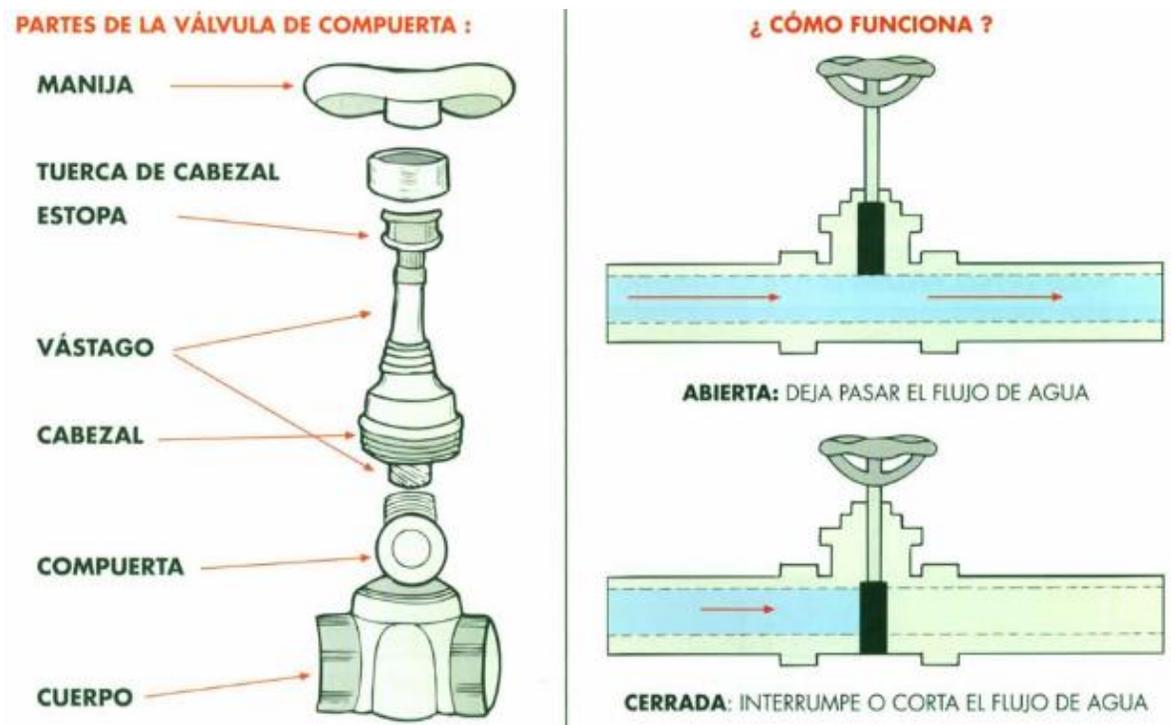


Figura 6. Elementos y funcionamiento de una válvula de compuerta

Fuente: (Obando, 2012)

2.8.4.5 Válvulas de alivio

Los aumentos de presión producidos por paros en el sistema eléctrico o encendidos repentinos se pueden proteger con válvulas de alivio, sobre los equipos de bombeo, tuberías y accesorios, ya que este tipo de válvulas permite la salida del flujo al exterior de la tubería, cuando la presión interior sobrepasa el límite establecido previamente para la válvula en relación a las capacidades de la tubería. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

Las válvulas de alivio que se utilizan con mayor frecuencia son las de pistón y las de diafragma; y por lo general se recomienda que estén controladas con una válvula solenoide, la cual cuando se interrumpe el flujo eléctrico se abre la válvula antes de que se genere el aumento repentino de presión. (Comisión Nacional del Agua, 2007)

2.8.4.6 Válvula de control de nivel

Estas válvulas son utilizadas para controlar el nivel del agua dentro de un tanque para evitar que se derrame el líquido, cuando este ya superó el nivel para el cual fue diseñado como se muestra en la Figura 7. Se puede controlar mediante un flotador según la altura de la lámina de agua o en función de la presión del agua. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017)

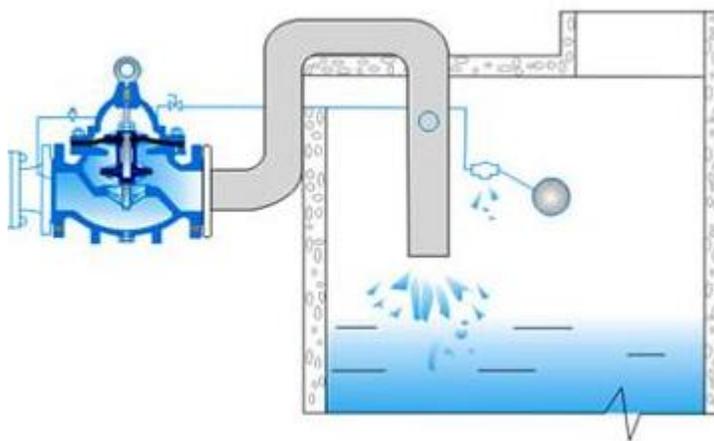


Figura 7. Funcionamiento de una válvula de control de nivel

Fuente: (BERMAD, n.d.)

2.8.5 Instalación de la tubería

La profundidad de instalación de la tubería de conducción para asegurar que no se den deformaciones que pueden causar roturas o afectación el funcionamiento hidráulico normal, se recomienda que no sea menor a 1,0 metro de profundidad desde la superficie del terreno hasta la corona de la tubería. Además, el material para la cama de apoyo cuando los terrenos son normales se recomienda arena gruesa (espesor menor a 0,10 m), si el terreno es muy rocoso será arena gruesa, pero de espesor menor a 0,15 m. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001)

2.8.6 Tanque de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento deben de tener la capacidad suficiente para para almacenar el agua con los requerimientos de fluctuaciones horarias de consumo, intervención en incendios y suplir posibles interrupciones. Ramírez (2016), indica que los tanques de almacenamiento deben de contar con varios elementos básicos para su correcto funcionamiento y mantenimiento, como lo son:

- a. Escalera de acceso para realizar inspecciones y mantenimiento.
- b. Impedir el ingreso de agua de lluvias u otras fuentes, que no sea propiamente la de conducción.
- c. Válvulas o aperturas para el ingreso y salida de aire.
- d. Válvulas de control de entrada de agua, para controlar la capacidad y rebose.
- e. Tubería de salida de agua para realizar lavados y mantenimiento.

Los tanques de almacenamiento se pueden ubicar de forma superficial, respecto al nivel del suelo cuando este tiene la capacidad de soportar las cargas impuestas por el peso de la estructura. El tanque se dispone enterrado cuando su ubicación es adecuada para abastecer la red de distribución o se debe buscar una capa de suelo, capaz de soportar las cargas. Por último, el tanque elevado se dispone de esta manera cuando se requiere energía suficiente de carga, para lograr una correcta distribución. La clasificación antes mencionada se puede observar en la Figura 8. (Ramírez, 2016)

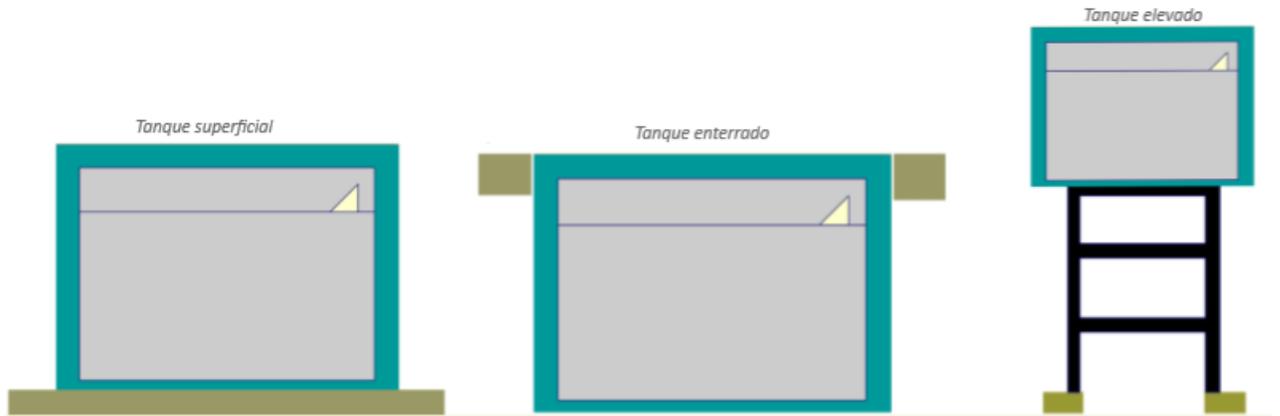


Figura 8. Tipos de tanques de almacenamiento

Fuente: (Ramírez, 2016)

III. METODOLOGÍA

Para la realización del proyecto de conducción de agua potable para el poblado de Capellades de Alvarado, se consideraron 6 etapas de trabajo, cada una de ellas con una serie de actividades para finalmente obtener una propuesta final de diseño. Las etapas realizadas se detallan en la Figura 9:

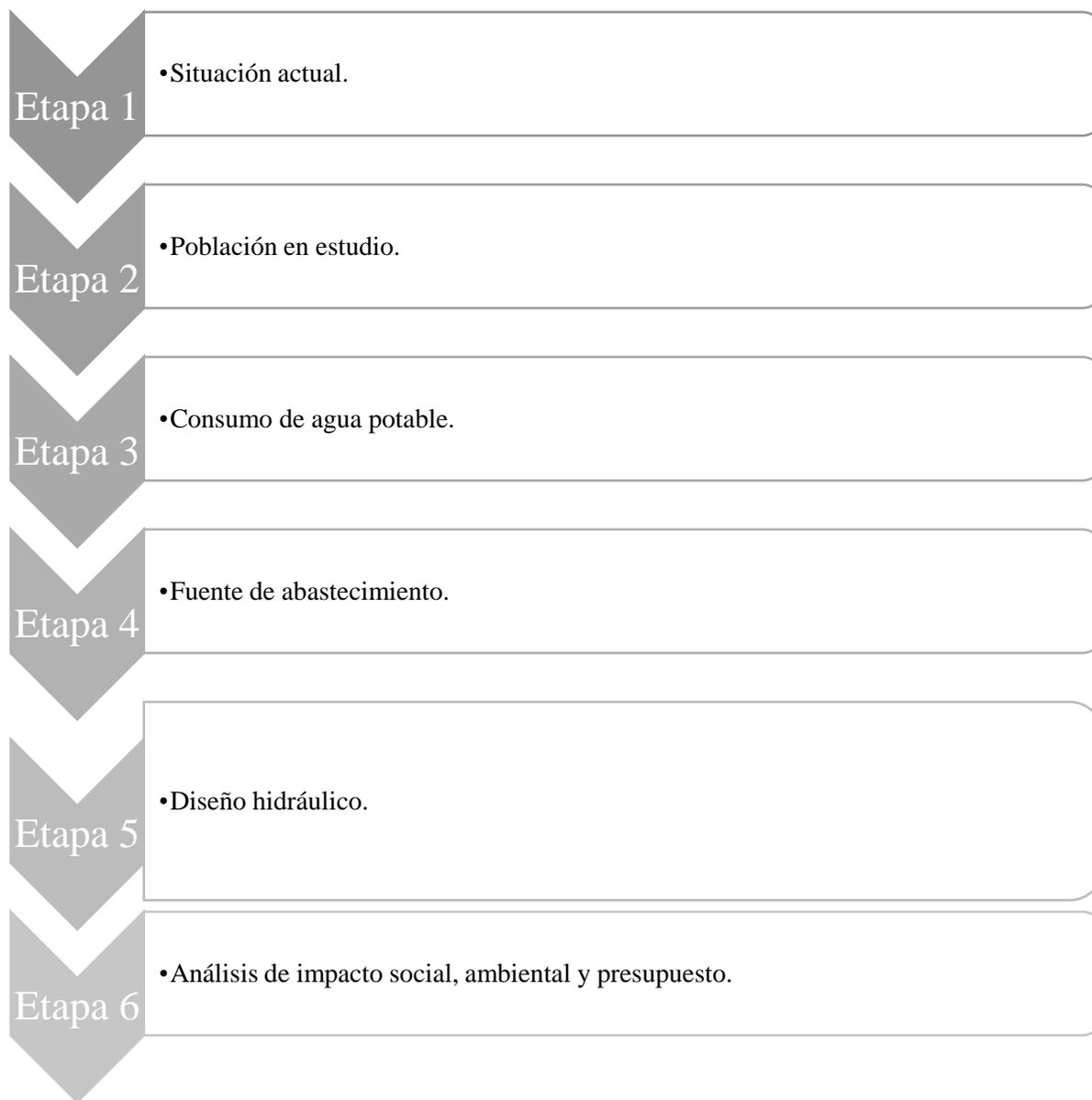


Figura 9. Etapas de trabajo diseño de conducción de agua potable

El diseño contempla los siguientes elementos:

- a. Selección de la fuente de abastecimiento apropiada.
- b. Ubicación y diseño de la obra de captación.
- c. Diseño del sistema de bombeo.
- d. Diseño hidráulico de la línea de conducción.
- e. Diseño hidráulico del tanque de almacenamiento.
- f. Sistema de desinfección.

Las actividades desarrolladas en cada una de las etapas son las que se observan en la Figura 10:

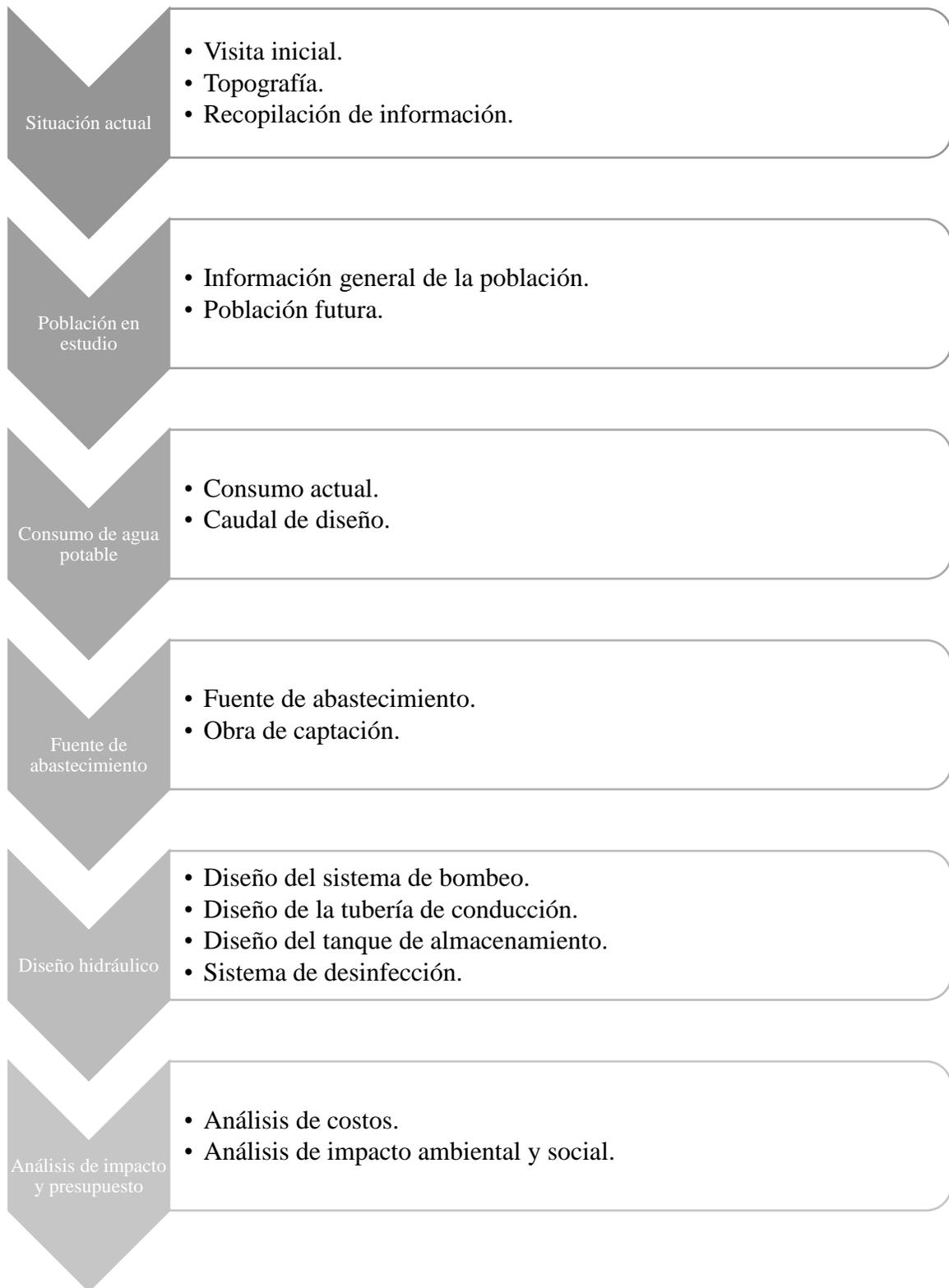


Figura 10. Actividades a desarrollar en las etapas de trabajo

3.1. Etapa 1. Situación actual

3.1.1 Visita inicial

Se realizó una visita inicial al sitio para tener un panorama más claro de la necesidad presentada inicialmente por la Municipalidad de Alvarado, propiamente con los encargados del Acueducto, para brindar el acceso de agua potable al poblado de Capellades de Alvarado. Se ubicó la naciente El Salto, la cual tiene un caudal ya concesionado, además se caminó por la ruta donde se va a trazar posteriormente la línea de conducción.

La naciente de tipo manantial se encuentra a escasos 4 metros de la caída de una pequeña catarata. Además, hay un camino público a 6 metros de la naciente, lo que facilita el acceso para la construcción de la estación de bombeo y que también por este camino pasa el tendido eléctrico público brindado por la Junta Administrativa de Servicios Eléctricos de Cartago (JASEC).

Se determinó en la visita inicial la necesidad de un sistema de impulsión por bombeo, ya que la fuente de abastecimiento se encuentra en una cota inferior al punto de almacenaje del agua potable para su posterior distribución. Por lo cual, se realizó el diseño de la obra de captación de tipo manantial, diseño del sistema de bombeo, según las demandas del poblado.

En particular, en el punto final de la conducción propuesto por los encargados del Acueducto de la Municipalidad, se encuentra un tanque de almacenamiento que no es utilizado al 100 %, ya que la naciente que abastecía este tanque bajo considerablemente la capacidad hídrica y se mantiene prácticamente con 1 m³ constante en su interior. La capacidad de este tanque de almacenamiento es de 32 m³.

3.1.2 Topografía

Se realizó el levantamiento topográfico de la ruta por donde se va a trazar el diseño de la conducción del agua potable, resaltando varios puntos importantes como en la fuente de captación, la posible ubicación de la estación de bombeo, los cambios de pendiente, curvas, u otras variaciones en la ruta de la línea de conducción y la ubicación del tanque de almacenamiento. El levantamiento se realizó con la Estación Total marca SOKKIA, modelo TKS 202, facilitada por la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Además, para realizar la georreferencia de los puntos tomados con la Estación Total, se utilizó el GPS marca Garmin, modelo Montana 360, facilitado de igual manera por la Escuela de Ingeniería Agrícola.

3.1.3 Recopilación de información

La Municipalidad de Alvarado cuenta con mapas, de las líneas de conducción y distribución con que dan servicio de agua potable al poblado, además de la cobertura que se tiene y las nacientes de donde se da la captación. Estos han sido utilizados para tener una referencia de la cobertura sin el servicio de agua potable cuando existe alguna falla, por el cual es que justamente nace la necesidad de realizar el presente diseño.

Posterior al tanque de almacenamiento que se encuentra actualmente, el Acueducto se dará a la tarea posterior a este diseño, de evaluar la capacidad que tiene esta red de distribución para brindar de agua potable a la comunidad.

3.2. Etapa 2. Población en estudio

3.2.1 Información general de la población

Capellades es uno de los tres distritos del cantón de Alvarado y propiamente este cuenta con varios poblados que conforman este distrito que son: Lourdes (Callejón), Capellades Centro, La Enseñanza, Bajos de Abarca, Coliblanco y Santa Teresa. (Instituto de Desarrollo Rural, 2014)

Debido a que la cobertura del sistema de conducción que se está diseñando, no tiene una capacidad de brindar agua potable al 100 % de Capellades, por la ubicación geográfica de varios de estos poblados, se tuvo que considerar solamente los poblados propiamente de Capellades Centro, La Enseñanza y Lourdes (Callejón); por lo tanto, la cantidad de habitantes brindada en los censos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), nos dio la referencia de cantidad de habitantes por cada hogar.

3.2.2 Población futura

Es necesaria la determinación de los habitantes que serán servidos y el consumo per cápita, por lo cual se utilizó mediante la proyección de crecimiento logarítmico con las Ecuaciones 1 y 2; y el crecimiento geométrico con las Ecuaciones 3 y 4, para determinar la tasa de crecimiento de la población. Esto con un período de diseño de 20 años, que es lo que establece el AyA de 20 a 30 años para diseño de líneas de conducción para acueductos.

Para el cálculo de la población futura se utilizó información de los últimos 2 censos que ha desarrollado el INEC, que corresponden al del año 2000 y al de 2011. Se tomaron de los registros de dichos censos la cantidad de habitantes para el distrito de Capellades y de esta manera, mediante las ecuaciones antes mencionadas se determinó la cantidad de personas proyectadas para el periodo de diseño establecido.

Se tiene contabilizado una cantidad de 473 previstas de tipo domiciliar, además, 55 previstas adicionales que corresponden a escuelas, iglesias, centros de salud, agroalimenticios (locales en la cual se transforma un producto agrícola mediante procesos industriales para la comercialización), negocios comerciales y sector productivo (ganadería y agricultura), para un total de 528 previstas.

Debido a que el diseño del sistema de conducción no incluye todos los poblados del distrito de Capellades, no es posible utilizar los valores del Censo de Población para el cálculo de la población proyectada; no así para el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional para tal poblado, esto como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Población proyectada para el poblado de Capellades en un periodo de 20 años

Detalle	Método de crecimiento	Método de crecimiento
	geométrico	logarítmico
Tasa de crecimiento	1,019	1,014
Población actual	1.988 habitantes	
Habitantes por hogar	3,7 habitantes	
Periodo de diseño	20 años	
Población proyectada	2.435 habitantes	2.435 habitantes

La población que se proyecta para un periodo de 20 años en el Distrito de Capellades y específicamente para los poblados de Capellades Centro, Lourdes y La Enseñanza es de 2.435 habitantes, que será la población que el sistema es capaz de brindar agua potable en cantidad y calidad al cual fue diseñado.

3.3. Etapa 3. Consumo de agua potable

3.3.1 Consumo actual

Actualmente el Acueducto, se encuentra en un proyecto de recopilación del consumo que se tiene por cada usuario al que se le brinda el agua potable ya que se tienen valores que no tienen información correcta, como lo es datos de consumo negativos, usuarios con dos, tres o más ingresos de agua potable y solamente un dato es registrado, además de usuarios que se consideran de consumo domiciliario y realmente tienen un consumo de uso reproductivo, el cual tiene un consumo más alto.

Además, de todo el poblado actualmente solo se tiene registro de 78 previstas, lo cual no representa ni el 10 % de las previstas que se les brinda el servicio. El pago del servicio de agua potable se realiza con una tarifa fija y no con lo que realmente se consume por cada una de ellas.

Debido a que no se tienen datos confiables y que representen el consumo real de la población, según el AyA (2001), se debe utilizar para un poblado rural un consumo de 200

litros/persona/diario, según el Cuadro 1. Con este dato se obtienen el requerimiento de caudales de diseño según el Cuadro 8:

Cuadro 8. Requerimiento de caudales de diseño para el sistema de conducción de agua potable

Descripción	Caudal (l/s)
Caudal promedio diario	5,64
Caudal máximo diario	6,76
Caudal máximo horario	16,91
Caudal de incendio	0,0
Caudal de diseño	6,76

El valor correspondiente de caudal máximo diario de 6,76 l/s, es el utilizado para el diseño de la fuente, captación y la línea de conducción. En el tanque de almacenamiento interviene otros elementos para su diseño.

3.3.2 Caudal de diseño

Para la determinación del caudal de diseño se utilizó la Ecuación 5, 6, 7 y 8 respectivamente y la Ecuación 9, con la singularidad de que no se requiere el caudal de incendio según recomienda el AyA y se muestra en el Cuadro 2.

3.4. Etapa 4. Fuente de abastecimiento y obra de captación

Según el caudal de diseño para el sistema, la fuente de abastecimiento satisface las necesidades hídricas que requiere el sistema.

La obra de captación se diseñó según lo establecido por el AyA, para una fuente de tipo manantial, asegurándose el resguardo del afloramiento hídrico, que cuente con una salida de limpieza, control de excedentes y salida a la conducción. Para este diseño, se tomó en cuenta la toma que actualmente tienen para abastecer el poblado de Pacayas de Alvarado, administrado por el mismo acueducto como se observa en la Figura 11.



Figura 11. Obra de toma naciente de tipo manantial

En las tomas de nacientes de tipo manantial que se tienen, se tiene un resguardo terreno arriba, para asegurar que no haya alguna actividad humana que genere contaminación a la fuente, además, en los alrededores se mantiene un cercado para asegurar el ingreso, al igual que una obra en concreto, con tapa y candado para que no se de contaminación como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Obra de protección para una naciente tipo manantial

3.5. Etapa 5. Diseño de sistema de bombeo, conducción, tanque de almacenamiento y sistema de desinfección

3.5.1 Diseño del sistema de bombeo

El diseño del sistema de bombeo se realiza en un periodo de diseño de 10 años según el AyA, en la Norma para el Diseño de Proyectos de Agua Potable en Costa Rica. No así, para el resto de componentes del sistema que se diseñaron a un periodo de 20 años.

El caudal de diseño para un sistema de bombeo debe de satisfacer el consumo máximo diario en un determinado tiempo de bombeo, que en este caso mediante la ecuación 9 se determinó dicho valor. Además, la recomendación técnica brindada por AyA de 8 a 12 horas de trabajo para la estación de bombeo.

La tubería de succión que es la que conecta el agua desde el tanque o pozo de succión, hasta la entrada de la bomba y el diámetro elegido para este tramo es igual al diámetro de la conducción. Además, se recomendó la utilización de una canastilla o malla en el inicio de la tubería para evitar el ingreso de materiales extraños.

Para la determinación del fenómeno de la cavitación se utilizó la Ecuación 11, sobre el cálculo de la Altura Neta de Succión Positiva disponible ($NPSH_d$), en comparación con la requerida por la bomba ($NPSH_r$) con la Ecuación 10.

La Carga Dinámica Total (CDT) se calculó mediante la Ecuación 12 que expresa la carga que debe elevar el caudal de agua para llevarlo al tanque de almacenamiento que se encuentra en el final del trayecto.

La potencia requerida por la bomba, para poder satisfacer los requerimientos de caudal y altura necesarios, se calculó mediante la Ecuación 13.

Para la protección del equipo de bombeo y de la tubería de conducción, se deben considerar los efectos producidos por el fenómeno denominado golpe de ariete, el cual mediante las Ecuaciones 14 y 15 se determina su influencia.

3.5.2 Diseño hidráulico de la línea de conducción

Para el trazado de la línea de conducción se consideró el levantamiento topográfico realizado para determinar la ruta más cercana y que menor resistencia tuviera sobre el paso de agua.

La cantidad de accesorios utilizados equivale al mínimo de ellos para reducir las pérdidas por fricción que generan, pero que, además se cumpla con las normas del AyA, con respecto a seguridad, mantenimiento y eficiencia de toda la estructura, como válvulas de limpieza en los puntos más bajos, válvulas de expulsión o ingreso de aire a la tubería en los puntos más altos, válvulas de control de nivel, entre otras.

Existen dos opciones de diseño, cuando se trata de una conducción con la utilización de un sistema de bombeo, como son, la capacidad de almacenar el agua en un tanque de regulación para así cumplir con la demanda de la población, poder tener acceso a mantenimiento preventivo y correctivo, además el descanso del conjunto motor-bomba y por lo tanto este es más económico por las horas efectivas de trabajo de la bomba. También, permite tener un volumen para cubrir emergencias como incendios e interrupciones repentinas en el sistema que aporta el fluido. La otra opción de diseño, es la menos utilizada ya que el sistema de impulsión alimenta directamente las líneas de distribución y si se da una avería, la interrupción es completa sobre el sistema, las presiones de trabajo fluctúan con mucha regularidad en relación con el consumo, además, el sistema de bombeo tiene un consumo de energía más alto y por lo tanto aumenta los costos.

Debido a lo mencionado anteriormente, el presente diseño cuenta con un sistema de impulsión dirigido hacia el tanque de almacenamiento, mediante una línea de tuberías y accesorios para el correcto funcionamiento.

Cuando el sistema requiere ser diseñado por bombeo, se necesita considerar el caudal de bombeo suficiente para abastecer el consumo máximo diario en un determinado tiempo de bombeo, el cual para un periodo de trabajo de 12 horas se tiene el caudal de diseño mediante el sistema de bombeo como se observa en el Cuadro 9:

Cuadro 9. Caudal de diseño obra de conducción

Descripción	Caudal
Caudal de diseño	13,53 l/s

Para el sistema de impulsión, es requerido un conjunto de elementos para que se dé la succión del agua por la bomba y que esta sea transportada mediante la tubería de conducción hasta el tanque de almacenamiento. En este caso se diseñó un tanque de succión para cubrir las demandas horarias del sistema de bombeo, que se ve alimentado por la obra de captación mediante la tubería principal.

3.5.3 Diseño hidráulico del tanque de almacenamiento

Debido a que en el tramo final de la conducción se encuentra actualmente un tanque de almacenamiento sin ser usado al 100 %, este se utilizará como el tanque de almacenamiento para el proyecto ya que satisface las necesidades hidráulicas del nuevo sistema de conducción como se observa en la Figura 13. Solamente se requiere de un programa más efectivo de mantenimiento de limpieza y pintura.



Figura 13. Tanque de almacenamiento

3.5.4 Sistema de desinfección

Actualmente los tanques de almacenamiento que tiene a cargo la Municipalidad de Alvarado, trabajan con un sistema de desinfección de tipo cloración y este aprobado por AyA ya que cumple con las normas establecidas. El sistema de cloración resulta más económico por la cantidad de elementos que utiliza y resulta más viable su mantenimiento y operación. En la Figura 14 se muestra el sistema de cloración que actualmente se utiliza para uno de los tanques que tiene a cargo el Acueducto de Capellades.



Figura 14. Sistema de desinfección por cloración

El funcionamiento de este sistema de desinfección es automático, sin la utilización de energía eléctrica u algún accesorio móvil. Este funciona con el pasó de agua a través de las pastillas de cloro que están a un 65 % de ingrediente activo, para finalmente generar la solución. Esta estructura es de 30 cm de diámetro y 90 cm de altura, el cual se puede ubicar en la tapa de ingreso y graduarse el flujo de agua que ingresa, para asegurar cantidades de cloro según la recomendación del AyA.

3.6. Etapa 6. Análisis de costos, impacto ambiental y social

3.6.1 Análisis económico

Se realizó el análisis económico para determinar los costos del proyecto de conducción de agua potable, según la cantidad de estructuras a construir, accesorios y equipos requeridos.

3.6.2 Impacto ambiental

Se realizó un análisis de impacto ambiental desde los puntos de vista de la construcción, operación, funcionamiento y mantenimiento de la obra de conducción de agua potable para el poblado de Capellades de Alvarado.

3.6.3 Impacto social

Para el impacto social, se realizó una encuesta con una parte de los pobladores de Capellades, para tener la respuesta y criterio de ellos, en relación a los beneficios que trae consigo la construcción de una nueva fuente a conducción de agua potable para abastecer la red de abastecimiento actual. Además, si fuera el caso los aspectos negativos de dicho proyecto.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Situación actual

El cantón de Alvarado se encuentra en el extremo oriental de la Gran Área Metropolitana (GAM) y forma parte de la provincia de Cartago, limitando al oeste con Oreamuno, al sur con Paraíso, al este y nordeste con Jiménez y Turrialba. Sus coordenadas geográficas medias son 09°56'46" latitud norte y 83°48'08" longitud oeste. Actualmente se compone de tres distritos: Alvarado, Capellades y Cervantes. (Municipalidad de Alvarado, 2015)

Capellades tiene una altitud promedio de 1653 m y una superficie de 36,89 km², entre los poblados de Capellades Centro, Lourdes, La Enseñanza, Bajos de Abarca, Santa Teresa y Coliblanco. Tiene una población de 2454 habitantes según el censo del 2011 realizado por el INEC, con una distribución de 1244 hombres y 1210 mujeres; además, el promedio de ocupantes por cada hogar es de 3,7 personas. (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2011)

En la primera visita de campo realizada se permitió tener un panorama más claro de las dimensiones y necesidades que tiene el sistema de conducción de agua potable que se desea diseñar, desde la fuente de abastecimiento donde se requiere una obra de captación de tipo manantial con sus debidas protecciones del afloramiento. Además, se continuó con el posible trayecto donde se desea trazar la red de conducción, donde todo se encuentra en vía pública cumpliendo con las normas que establece el AyA.

Debido a que el trayecto, desde la naciente hasta el punto más lejano, la carga de posición es negativa ya que la naciente está en una elevación inferior al último tramo, es necesaria la instalación de un sistema de impulsión por bombeo, para poder llevar el agua al punto más elevado. En el tramo más alto, se encuentra un tanque de almacenamiento, que actualmente no se le está sacando el mayor provecho, ya que la fuente que abastecía este disminuyó considerablemente su capacidad hídrica. La utilización de este, será evaluada según las capacidades y demanda que serán diseñadas.

En la Figura 15 se observa el perfil longitudinal del levantamiento topográfico del terreno donde se trazará la red de conducción de agua potable para el poblado de Capellades. Se muestra que la longitud total desde el punto de captación, hasta el tanque de almacenamiento para una posterior distribución es de 848 metros y una diferencia de cotas de 72,14 metros de la toma que corresponde el punto más bajo y hasta el punto de almacenaje que es uno de los puntos más elevados.

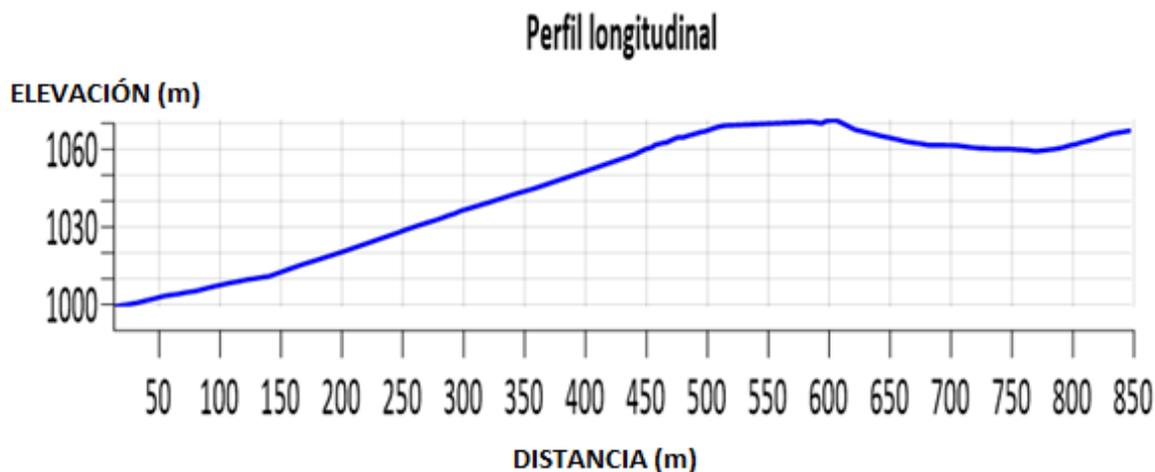


Figura 15. Perfil longitudinal de la conducción

4.2. Población en estudio

Se tiene contabilizado una cantidad de 473 previstas de tipo domiciliar, además, 55 previstas adicionales que corresponden a escuelas, iglesias, centros de salud, agroalimenticios, negocios comerciales y sector productivo (ganadería y agricultura), para un total de 528 previstas.

Debido a que el diseño del sistema de conducción no incluye todos los poblados del distrito de Capellades, no es posible utilizar los valores del Censo de Población para el cálculo de la población proyectada; no así para el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional para tal poblado, esto como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Población proyectada para el poblado de Capellades en un periodo de 20 años

Detalle	Método de crecimiento geométrico	Método de crecimiento logarítmico
Tasa de crecimiento	1,019	1,014
Población actual	1.988 habitantes	
Habitantes por hogar	3,7 habitantes	
Periodo de diseño	20 años	
Población proyectada	2.435 habitantes	2.435 habitantes

La población que se proyecta para un periodo de 20 años en el Distrito de Capellades y específicamente para los poblados de Capellades Centro, Lourdes y La Enseñanza es de 2.435 habitantes, que será la población que el sistema es capaz de brindar agua potable en cantidad y calidad al cual fue diseñado.

4.3. Consumo de agua potable

Debido a que no se cuenta con un dato de consumo por cada una de las previstas actuales que se les da servicio, se utiliza el valor recomendado por el AyA, de 200 litros/persona/diario para un poblado rural. Con este dato se obtienen el requerimiento de caudales de diseño según el Cuadro 11:

Cuadro 11. Requerimiento de caudales de diseño para el sistema de conducción de agua potable

Descripción	Caudal (l/s)
Caudal promedio diario	5,64
Caudal máximo diario	6,76
Caudal máximo horario	16,91
Caudal de incendio	0,0
Caudal de diseño	6,76

El valor correspondiente de caudal máximo diario de 6,76 l/s, es el utilizado para el diseño de la fuente, captación y la línea de conducción. En el tanque de almacenamiento interviene otros elementos para su diseño.

4.4. Fuente de abastecimiento

La capacidad hídrica de la fuente de abastecimiento mediante los aforos realizados por el Acueducto de la Municipalidad de Alvarado, dieron como resultado un caudal de 42 litros/segundo, para el periodo más crítico de verano en la localidad. A pesar de que la fuente no tiene un historial de aforos, si se sabe que no hay variaciones significantes al caudal en verano.

4.4.1 Obra de captación

Para el diseño de la captación de tipo manantial se considera la velocidad de paso de 0,5 m/s, y el coeficiente de descarga 0,8; además de, tener en consideración el caudal que aporta la fuente de abastecimiento y el caudal requerido por el sistema de conducción.

Se diseñó la captación que consiste en una obra donde ingresa el agua por dos líneas de 5 orificios cada una, a una cámara donde se tiene una tubería del diámetro asignado dirigido hacia el tanque donde se realiza la succión del sistema de bombeo, y otra tubería donde se evacuan los excedentes de agua y retornan aguas abajo sobre el mismo cauce. También, cuenta con una tubería para realizar la limpieza y/o mantenimiento del interior. La tubería principal se dirige hacia un tanque donde se realiza la succión y por lo cual este cuenta con una rejilla para evitar el ingreso de materiales extraños al sistema. Esta obra además cuenta con una válvula, para controlar el flujo del sitio hasta el tanque de succión, para eventualidades de control y mantenimiento.

El plano final de la obra de captación de tipo manantial se encuentra en el Anexo 7.1, con sus respectivas estructuras de protección para el afloramiento, obras de control de excedentes, tubería principal y válvula.

4.5. Diseño hidráulico

Las variables mencionadas en la sección de Metodología para el diseño hidráulico permiten tener como resultado la estructura de succión del sistema de bombeo que se puede observar en la sección 7.1 de Anexos.

También, en la sección 7.2 de Anexos, se observa el detalle de la caseta de bombeo la cual permite proteger el sistema de bombeo contra los efectos climáticos como lluvia y sol, además de robo u daños a los componentes del sistema. Dicha estructura con sus respectivas dimensiones permite realizar labores de mantenimiento y reparación, además, de ventilación para mantener una temperatura adecuada.

La línea de conducción es el tramo de tubería que transporta el agua desde la captación hasta el tanque de almacenamiento para su posterior distribución ajustado al gasto de diseño requerido por la población y las horas de trabajo del sistema de bombeo. Debido a que el sistema trabaja para menos de las 24 horas, el diámetro de la tubería aumenta para poder abarcar el flujo en un menor tiempo de trabajo, que en este caso es de 12 horas de funcionamiento.

El diámetro calculado resultante para la línea de conducción se calculó en relación al caudal requerido en 12 horas de trabajo del sistema de bombeo. En el Cuadro 12 se muestran las características de dicha tubería.

Cuadro 12. Características tubería de conducción

Detalle	Valor
SDR	26
Diámetro comercial	100 mm (4")
Diámetro interno	105,5 mm
Diámetro externo	114,3 mm

La velocidad media calculada con el diámetro comercial existente es de 1,55 m/s, la cual se encuentra entre el rango de velocidades permitidas por el AyA, para diseño de líneas de impulsión de agua potable.

Las pérdidas de carga por fricción de la línea de impulsión que permiten para el diámetro determinado conocer si la elección se encuentra entre los intervalos de diseño para la velocidad de flujo y la capacidad de carga que la tubería puede soportar, dio como resultado un valor de pérdida de carga de 0,0225 m/m, que para la longitud del tramo de la conducción equivale a 19,06 m,

Posteriormente las pérdidas locales representan el 10 % de la pérdida por fricción y corresponden a 1,91 m. Las pérdidas totales del sistema, que equivalen a las pérdidas por fricción, más las pérdidas locales resulto a 20,97 m.

La altura estática total representa la diferencia de alturas entre el punto más bajo y el sector más alto de la línea de conducción, el cual equivale según el levantamiento topográfico realizado con la Estación Total a 72,0 m.c.a. Por lo tanto, la Altura Dinámica Total es de 93,10 metros.

La potencia de consumo o energía entregada por la bomba de impulsión será de 24 HP para poder elevar el agua desde la naciente hasta el tanque de almacenamiento, tanto por la carga de posición, como las pérdidas locales. Dicho valor equivale al dato teórico, pero se debe elegir la bomba a utilizar que se ajuste a los parámetros antes mencionados.

En relación a la bomba comercial que fue escogida se detalla en el Cuadro 13 de la casa comercial Q-Pumps donde se muestra las especificaciones más importantes:

Cuadro 13. Detalles selección de la bomba

Detalle	Valor
Serie	QC
Succión	4"
Descarga	2"
Impulsor máximo	8"
Carga máxima	320 pies
Capacidad máxima	800 gpm

En la Figura 16 se muestra la curva característica de la bomba de las capacidades de conducción y de carga, además, del punto de operación del sistema según los cálculos de diseño mencionados anteriormente. En la sección 7.5 de Anexos, se muestran los detalles de la Curva Característica de la Bomba, brindada por el fabricante donde se muestran las capacidades de operación de la bomba recomendada.

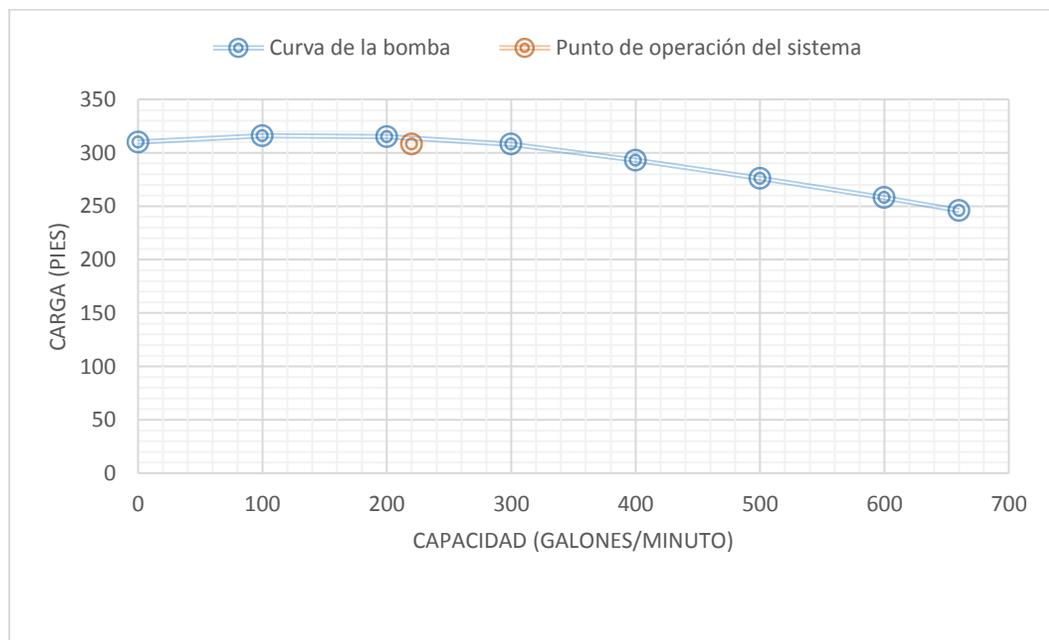


Figura 16. Curva característica de la bomba y punto de operación

El cálculo del fenómeno de la cavitación se aseguró que no ocurriera mediante la medición de la altura disponible del sistema ya que, si esta es mayor que la altura requerida en la aspiración, no se está presentando el fenómeno. La Carga Neta de Succión Positiva disponible ($NPSH_d$) es de 6,62 metros y la requerida o dada por el sistema para el caudal y carga de diseño es de 3,05 mts. Con lo cual se cumple efectivamente que $NPSH_d > NPSH_r$.

4.6. Tanque de almacenamiento

El dimensionamiento del tanque de almacenamiento se obtuvo con los parámetros de volúmenes que rige el AyA, debido a que no se cuenta con la curva de variación horaria real del poblado en estudio para realizar la proyección basado en este sistema con el consumo horario y el abastecimiento aportado. El volumen de regulación para un sistema abastecido por bombeo se encuentra entre 20 a 25 % del caudal promedio diario.

Al realizarse una estimación con dicho valor, el volumen del tanque de almacenamiento puede sobredimensionarse, pero satisface las necesidades máximas de consumo horario al poder abastecer la población cuando el consumo por esta sea mayor en una franja horaria del día. Además, el tanque tiene la capacidad de almacenar una cierta cantidad de volumen cuando el consumo por lo contrario sea inferior.

La reserva para la atención de emergencias, como lo son incendios, para la población en estudio (<5.000 habitantes) no es necesario considerarlo, ya que incrementa las dimensiones del sistema y por lo tanto el aspecto económico; por lo cual este no es considerado en el diseño del tanque de almacenamiento.

El volumen de reserva para interrupciones que permite satisfacer las necesidades de la población cuando se da un evento y se requiere realizar una interrupción en la línea principal que alimenta el tanque de almacenamiento, representa un porcentaje de caudal medio diario y que significa a 4 horas de este volumen. Realizando el análisis total de dichos parámetros el volumen total de almacenamiento se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Volumen tanque de almacenamiento

Descripción	Valor (m³)
Volumen promedio diario	487,1458
Volumen de regulación del consumo	97,4092
Volumen de reserva para incendios	0,0
Volumen de reserva para interrupciones	81,1743
Volumen total del tanque de almacenamiento	178,5835

En relación al volumen total requerido para el sistema de almacenamiento lo fundamental es definir la geometría del tanque. En Costa Rica los tanques prefabricados de mayor volumen de almacenamiento alcanzan los 75 m³, lo cual implica que se deberían instalar 2 tanques de esta capacidad y al menos 1 de la mitad de este volumen antes mencionado. Esto significa que se requiere un espacio amplio para la colocación de estos tres tanques circulares verticales de al menos 4 metros aproximadamente de diámetro. Además, la dificultad de traslado y colocación al sitio puede verse complicada, por el camino de acceso que es una calle pública de piedra y con pendientes elevadas.

Debido a lo mencionado anteriormente, se tomó la decisión de construir el tanque de tipo rectangular con dimensiones 7 x 6 x 4,6 m de ancho, largo y altura respectivamente.

El tanque de almacenamiento cuenta con una válvula tipo compuerta de cierre antes de la entrada al mismo, esta es del diámetro de la tubería de conducción. También, el final de la tubería de conducción (dentro del tanque) cuenta con un codo direccionado hacia abajo para evitar el flujo hacia arriba. La tubería de rebose se encuentra en el límite definido como el nivel máximo de la capacidad del reservorio. Esta tubería de rebose se encuentra en una altura inferior que la tubería de entrada.

La tubería de limpieza se encuentra en el fondo del tanque de almacenamiento y cuenta con una válvula tipo compuerta y el fondo del tanque tiene una pendiente de 1,43%, para facilitar la salida del agua cuando se desea limpiar.

El tanque de almacenamiento cuenta, con un sistema de ventilación o respiradero, tipo “U” invertida para evitar el ingreso de insectos y animales, protegido por una rejilla o malla milimétrica.

El bordo libre (distancia por encima del nivel máximo de agua) adecuado para el sistema de almacenamiento es de 30 cm, lo cual es una distancia suficiente (mínimo de 20 cm). También, se tiene la tapa de ingreso de 1,5 metros de distancia para realizar las inspecciones y se encuentra en una de las paredes verticales del tanque y justamente en la de ingreso del agua. Los detalles antes mencionados de las dimensiones y características del tanque de almacenamiento se muestran en la sección 7.3 de Anexos, donde se encuentra el plano de las dimensiones y estructuras del mismo, como la tubería de entrada, salida a la distribución, tubería de limpieza y rebose, escalera de ingreso y respiradero, entre otras.

En la sección 7.4 de Anexos, se muestra el Plano de Detalles de los elementos que constituyen todo el proyecto como un perfil longitudinal, desde la obra de captación, tanque de succión del sistema de bombeo, el sistema de bombeo propiamente y el tanque de almacenamiento. Este plano muestra la secuencia de instalación de las estructuras, pero no detalla la longitud de la tubería ni las cotas de las mismas, ya que no lo permite la escala de trabajo.

4.7. Modelación del diseño en Epanet

El software Epanet permite realizar una modelación del comportamiento hidráulico, dentro de los accesorios que sean ingresados y que, para este caso, corresponde al tanque de succión, con su respectivo sistema de bombeo, la tubería de conducción y el tanque de almacenamiento. En cada uno de ellos se debe de ingresar la cota en que se encuentra según el levantamiento topográfico realizado, los diámetros elegidos para la tubería de conducción, la rugosidad del material (tubería), la longitud de cada uno de los tramos, las dimensiones del tanque de almacenamiento, también, las alturas máximas de llenado y vacío del tanque, así como la altura total del tanque, dichos parámetros se muestran de igual manera en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Detalle tubería de conducción

Descripción	Valor
Diámetro de la tubería	105,5 mm
Rugosidad de la tubería	0,0015
Cota de la bomba	999,21 m
Cota tanque de almacenamiento	1.067,20 m
Cota máxima de nivel del agua en tanque de almacenamiento	5,0 m
Cota mínima de nivel del agua en tanque de almacenamiento	1.067,20 m
Bordo libre	2,0 m
Longitud total de tubería	847,00 m

Cabe destacar que el software Epanet, permite el ingreso del reservorio o tanque de almacenamiento de forma cilíndrica, por lo cual se realizó la conversión de los m³ diseñados para el tanque rectangular a un diámetro y altura para lograr modelar el sistema.

En la Figura 17, se muestra el detalle de los elementos básicos de la configuración inicial del proyecto, con el tanque de succión, la bomba, línea de conducción y tanque de almacenamiento.

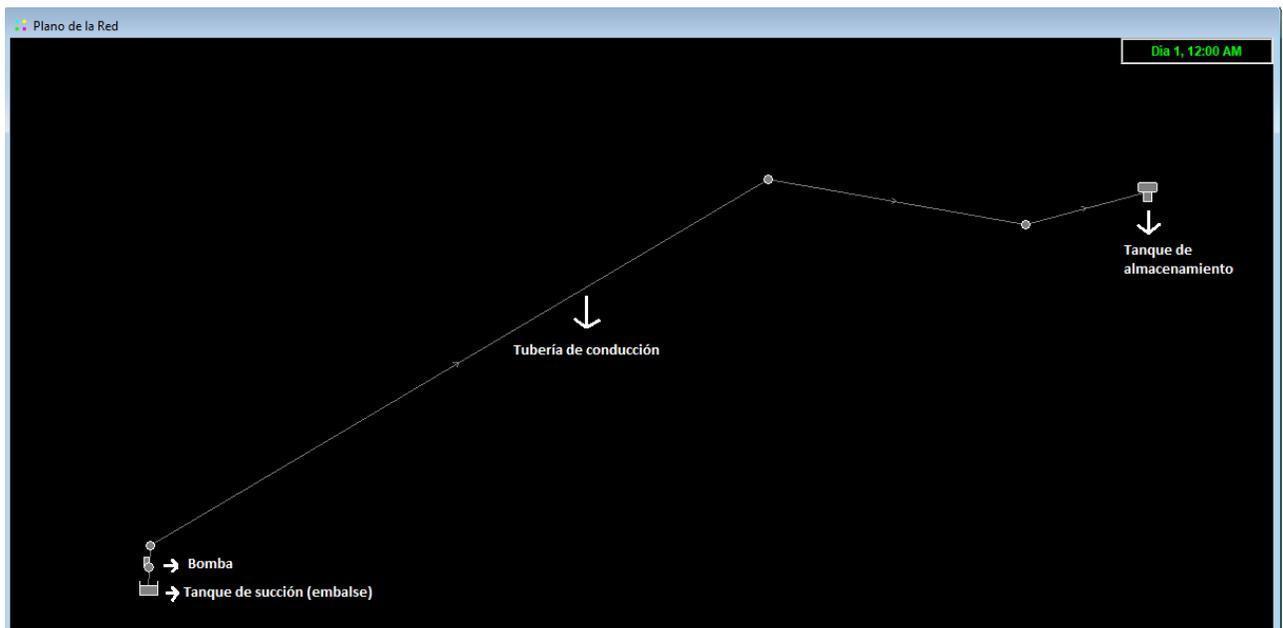


Figura 17. Elementos iniciales del proyecto

La curva característica de la bomba elegida e ingresada al software Epanet, se muestra en la Figura 18. En la edición se coloca la identificación deseada, la descripción de la bomba y los valores de caudal y altura en unidades de l/s y m, respectivamente. Esta curva es asignada a la bomba colocada en el sistema, al cual se va a ajustar a los requerimientos del diseño.

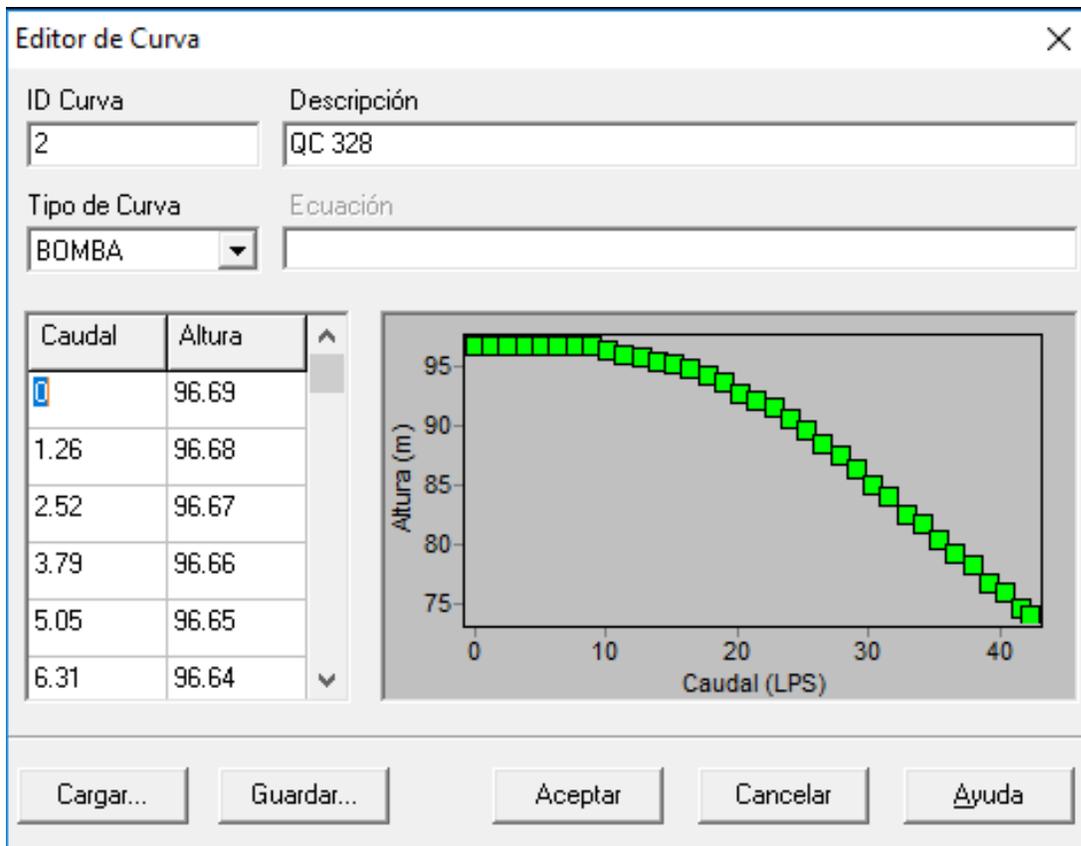


Figura 18. Datos ingreso de curva característica de la bomba

En el trayecto de la conducción, el volumen conducido es constante, debido a que no hay que realizar ninguna dotación en dicho trayecto y todo este va dirigido hacia el tanque de almacenamiento.

La Figura 19 muestra las cotas de los elementos del sistema de conducción, así como las longitudes de los tramos.

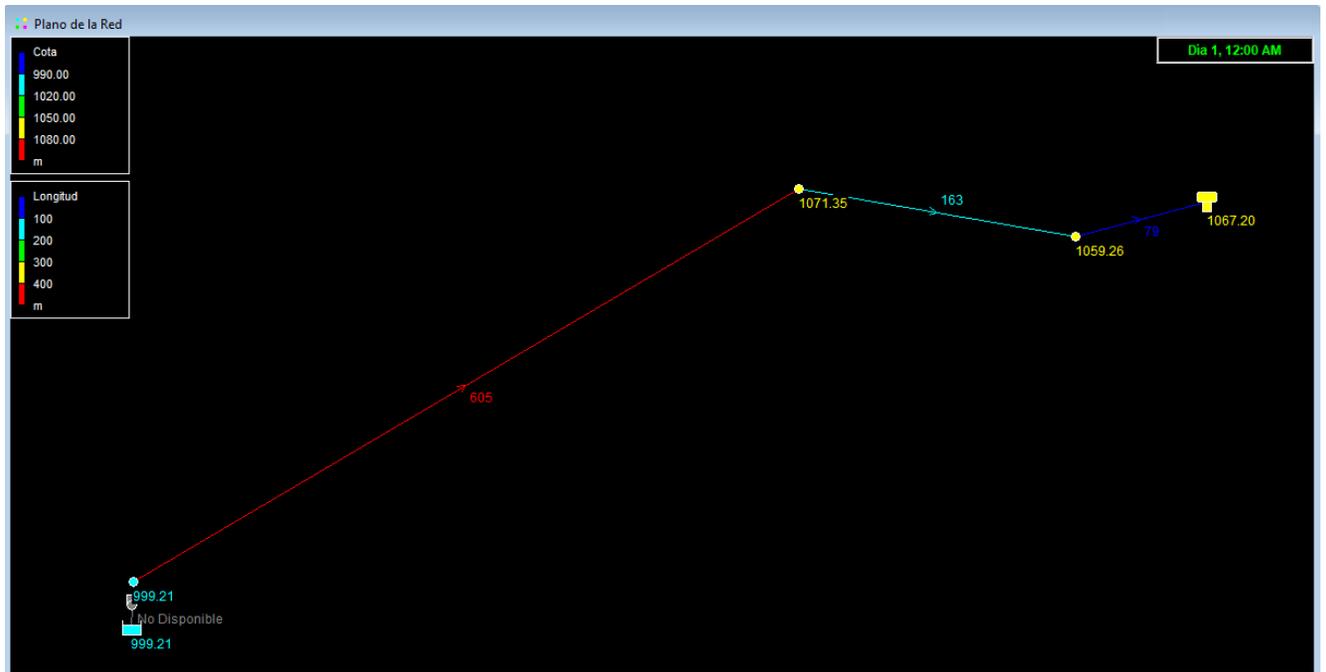


Figura 19. Cotas de las estructuras y longitud de las tuberías

En la Figura 20 se muestra el comportamiento del sistema en relación a la presión de trabajo de bombeo, además de la presión en el punto más elevado y más bajo, también la presión de descarga al tanque de almacenamiento. Además, se muestra el caudal que conduce la red, que en este caso es constante ya que no hay aportes a otras líneas.

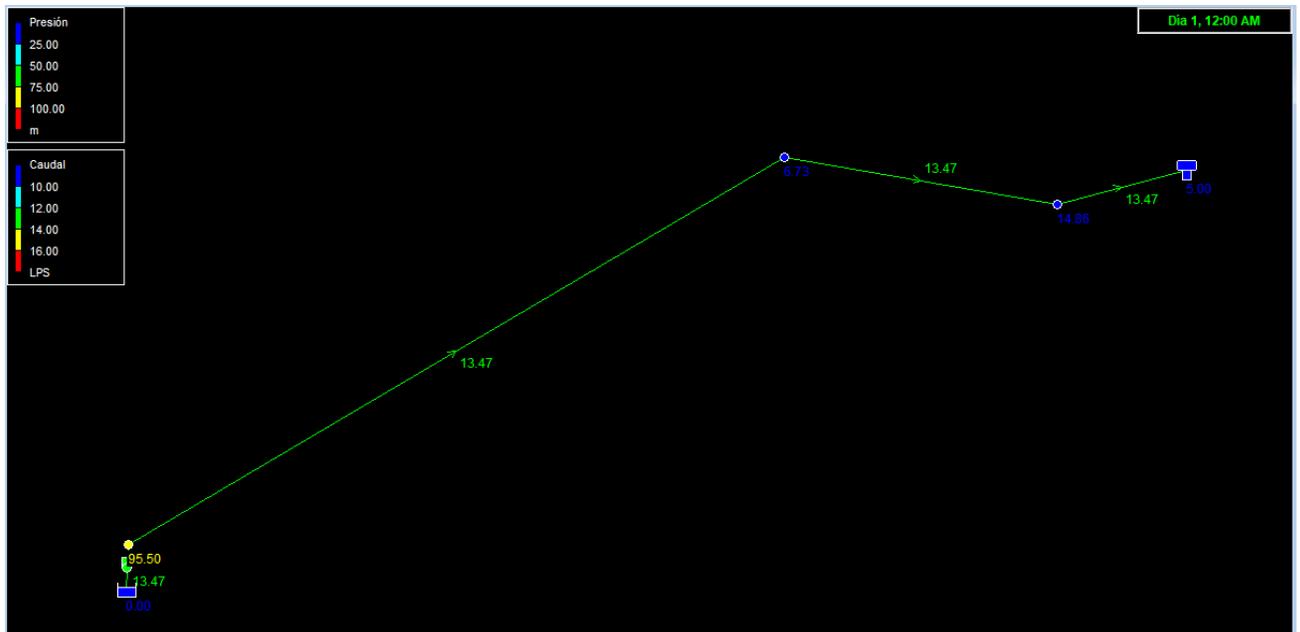


Figura 20. Presión de trabajo en la tubería y caudal conducido

Se observa en la Figura 20, que el caudal impulsado por el sistema de bombeo es de 13,47 l/s, el cual es inferior al diseñado de 13,53 l/s. Esto se debe a que el punto de operación diseñado (caudal requerido y carga total) no coincide puntualmente con la intersección de la curva característica de la bomba, ya que esta va a trabajar según sus parámetros para el cual fue diseñada.

La presión en los puntos que detalla la Figura 20, refleja en la salida de la bomba un valor muy cercano a la Carga Dinámica Total que fue calculada de 93,10 m. Este valor corresponde a 93,50 m, lo que refleja es que la escogencia de la bomba fue satisfactoria ya que es capaz de levantar el fluido por carga de posición y por carga de fricción. Además, la presión en dos de los nodos es inferior a la presión de trabajo de la tubería escogida.

La Figura 21 muestra las velocidades en los tramos de la tubería de conducción la cual es de 1,72 m/s y se encuentra dentro de las velocidades óptimas de una línea de conducción.

En la sección de Anexos específicamente los puntos 7.6 y 7.7, se observa un resumen de detalles hidráulicos de las líneas de conducción y elementos del sistema, como caudal, velocidad, presión, altura, entre otros.

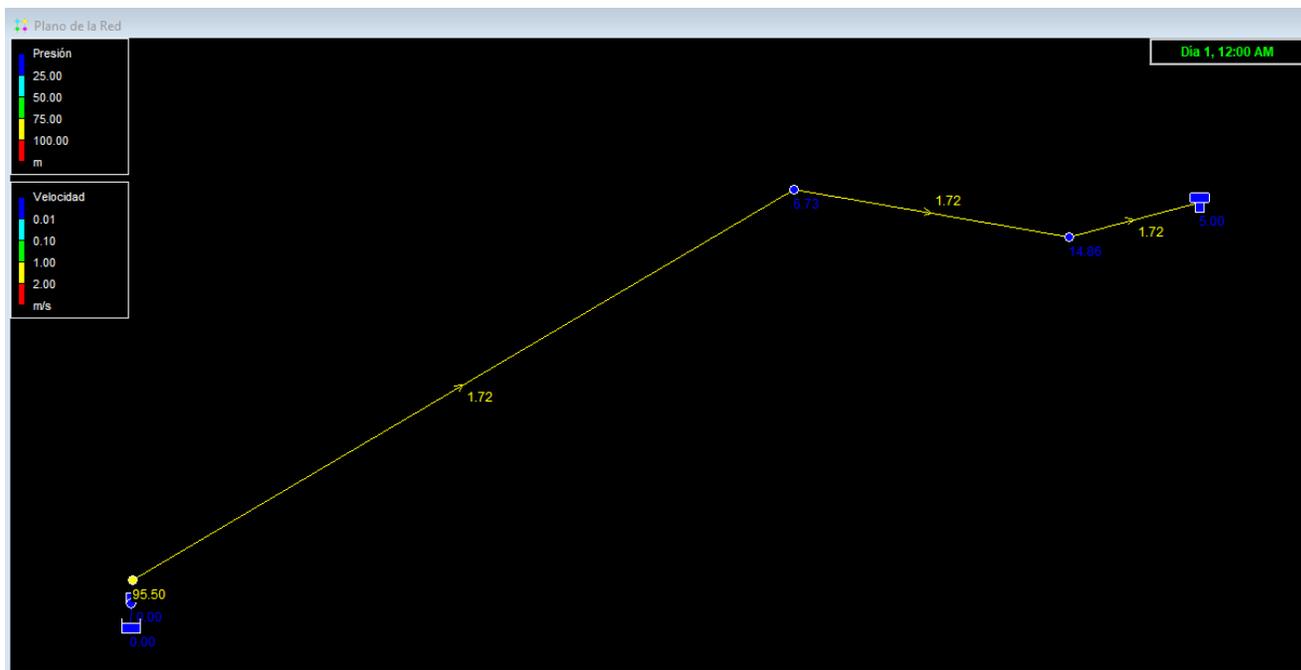


Figura 21. Velocidades en la tubería de conducción

4.8. Sistema de desinfección

El sistema de desinfección diseñado es un sistema tipo cloración aprobado por AyA ya que cumple con las normas establecidas. El sistema de cloración resulta más económico por la cantidad de elementos que utiliza y resulta más viable su mantenimiento y operación. En la Figura 14 de la sección de Metodología se muestra el sistema de cloración que actualmente se utiliza para uno de los tanques que tiene a cargo el Acueducto de Capellades.

El funcionamiento de este sistema de desinfección es automático, sin la utilización de energía eléctrica u algún accesorio móvil. Este funciona con el pasó de agua a través de las pastillas de cloro que están a un 65 % de ingrediente activo, para finalmente generar la solución. Esta estructura es de 30 cm de diámetro y 90 cm de altura, el cual se puede ubicar en la tapa de ingreso y graduarse el flujo de agua que ingresa, para asegurar cantidades de cloro según la recomendación del AyA.

4.9. Análisis de impacto económico

El diseño e implementación del sistema de conducción de agua potable para el poblado de Capellades de Alvarado, implica una inversión importante para poder solventar los costos de los materiales y elementos que conlleva dicho diseño y por el cual, alguna institución debe de financiar los costos que se presentan en este capítulo, esto con el fin de mostrar el análisis de la manera más precisa posible.

En el Cuadro 16 se muestra el detalle por cada una de las estructuras diseñadas para la conducción de agua potable para el Poblado de Capellades de Alvarado, donde se incluyen el costo de cada accesorio y material para el correcto funcionamiento de la obra, así también, los costos del movimiento de materiales, mano de obra, costos administrativos y de imprevistos.

Cuadro 16. Detalle de costos para las obras diseñadas

Detalle de la obra	Costo total
Obra de captación	¢783.189,622
Tanque de succión-Bombeo-Caseta	¢3.972.783,44
Línea de conducción (+accesorios)	¢9.858.158,57
Tanque de almacenamiento	¢5.298.094,35
Sistema de desinfección	¢100.038,324
Costo total	¢20.012.264,300
Tipo de cambio a la fecha	¢590,000

Como se observa en el Cuadro 16, el costo total del diseño propuesto es de ¢20.012.264,300 lo cual significa que este dinero debe ser financiado por alguna entidad para realizar el proyecto. Además, en la sección de Anexos específicamente en los puntos 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 y 7.12, se muestra a detalle el costo por cada uno de los accesorios y materiales para cada una de las obras.

4.10. Análisis de impacto ambiental

El diseño de una nueva obra trae consigo la afectación al medio ambiente, ya sea de una manera directa o indirecta, con una magnitud variable dependiendo de las medidas que se adopten para que sea esta lo más pequeña posible. Es importante saber que, al tratarse de un poblado rural, la afectación puede ser mayor, debido a que se cuenta con más áreas de flora y fauna que se deben de proteger. Sin embargo, la naciente se encuentra a escasos metros del paso de vía pública de tipo lastre, además, el resto de las estructuras como el sistema de succión para el bombeo, el bombeo propiamente, la obra de conducción y tanque de almacenamiento se ubican sobre vía pública y por ende no interviene la destrucción o apertura sobre montaña o inclusive necesario derribar algún árbol.

A pesar de lo mencionado anteriormente es indispensable realizar una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), donde se pueda identificar y predecir los efectos que va a traer la construcción sobre el ambiente. Los elementos que generan un impacto son, la obra de captación, obra de succión del bombeo, línea de conducción, tanque de almacenamiento y sistema de desinfección.

Se realizó el análisis ambiental desde dos puntos de vista que son: Impacto Ambiental durante la ejecución del Proyecto e Impacto Ambiental después de la ejecución del Proyecto. En la primera parte, se realiza un análisis de las afectaciones directas ambientales que se dan en el periodo constructivo de las obras, ya sean sobre la naciente, alrededores u otros medios que puedan sufrir una afectación; en la segunda parte, las afectaciones que vienen después de la construcción como residuos y basura. Por lo cual en el Cuadro 17 se muestra un resumen de la EIA realizada.

Cuadro 17. Detalles de la Evaluación de Impacto Ambiental

Fase	Etapas	Labores	Aspectos ambientales
Durante la ejecución del proyecto	Operación de maquinaria en el terreno	Limpieza de terreno	Ruido, compactación del suelo, gases.
	Preparación del terreno	Limpieza de terreno	Remoción capa arable
		Excavación de corte y relleno	Polvo y erosión
	Construcción de estructuras (obra de captación, tanque de succión, sistema de bombeo y tanque de almacenamiento)	Obra gris	Pérdida de especies vegetales, impermeabilización del suelo y ruido.
Después de la ejecución del proyecto	Operación de los equipos	Sistema de bombeo	Ruido
	Mantenimiento	Colindancias con áreas privadas	Limpieza de áreas aledañas

En el Cuadro 17, se muestra el resultado de la matriz de Leopold de las acciones susceptibles a generar un impacto ambiental con base a los riegos que se puedan dar en las fases de construcción y posterior a esta, además de los parámetros de la magnitud del impacto y la gravedad de estos, según el criterio técnico del autor. Se muestra las etapas que dieron como resultado los impactos más elevados y que en síntesis podrán ser los que mayor afectación pueden generar sobre el ambiente.

Con base a los resultados del Cuadro 17, de los impactos más elevados se realizó un análisis de las medidas preventivas y de mitigación, que se deben de llevar a cabo durante la fase de construcción como se muestra en el Cuadro 18 y en el Cuadro 19 las medidas post construcción de la obra, con el fin primordial de reducir los impactos.

Cuadro 18. Análisis de medidas preventivas y de mitigación fase de construcción

Labor a desarrollar	Medidas de reducción de impactos
Operación de maquinaria en el terreno	<p>Reducir la zona de trabajo al mínimo impacto posible.</p> <p>Minimizar al máximo la generación de ruidos y vibraciones, controlando los motores y el estado de los silenciadores.</p> <p>Verificar el correcto funcionamiento de los motores para evitar desajustes en la combustión que generan emisiones de gases.</p>
Preparación del terreno	<p>Controlar la remoción, excavación y/o cobertura vegetal, que se ajuste a lo estrictamente necesario para la instalación y montaje.</p> <p>Evitar las labores en días ventosos, para minimizar el movimiento de partículas de suelo.</p> <p>Evitar la incorporación de residuos de la maquinaria mediante el mantenimiento preventivo de las mismas y contar con elementos de recolección en el caso de derrames.</p> <p>Contar con personal capacitado para la operación y asistencia.</p>
Construcción de estructuras	<p>Prevenir el exceso de excavaciones innecesarias sobre los límites del proyecto.</p> <p>Almacenar los materiales alejado de las fuentes de agua, para evitar derrames y en el periodo de construcción en la medida de lo posible, alejarse de las fuentes para que las emisiones de polvo no generen un impacto.</p> <p>Hacer riego en las obras para disminuir la generación de polvo.</p> <p>Entregar la obra realizando una limpieza profunda de restos como escombros que generan un mal aspecto sobre la vegetación.</p>

Cuadro 19. Análisis de medidas preventivas y de mitigación fase de construcción

Labor a desarrollar	Medidas de reducción de impactos
Operación de los equipos	Realizar posterior a la instalación un estudio de la vibración y ruido, asociadas al sistema motor-bomba, con el fin de habilitar la posibilidad de colocar sistemas de arranque más ligeros y accesorios en paredes para reducir las ondas de sonido.
Mantenimiento	Limitar correctamente las áreas a mantener limpias sin realizar un exceso y generar una apertura indiscriminada. Realizar cercados para evitar el ingreso de animales que generen contaminación.

4.11. Análisis de impacto social

Debido a que el poblado de Capellades de Alvarado, cuando se dan fuertes lluvias en la zona, la tubería que realiza el mayor aporte de agua potable al poblado sufre severos daños que generan un desabastecimiento del uso básico por varias horas o días dependiendo de la afectación. Esto sucede ya que dicha tubería se encuentra en las paredes del cauce del Río Coliblanco y no se encuentra enterrada, lo que genera que cuando se dan lluvias, los deslizamientos de tierra, caída de árboles dañan la tubería principal.

Además, el acceso a la naciente y a la tubería de conducción se torna difícil por las pendientes tan empinadas y el terreno con tanta vegetación y difícil acceso, lo cual implica que los tiempos de reacción son más elevados y el ingreso con materiales se hace más complicado.

Por la implementación de un nuevo sistema de conducción de agua potable, el impacto social que puede generar se debe de analizar para tener un panorama de la satisfacción de los pobladores. Debido a lo mencionado anteriormente, se muestra un detalle en el Cuadro 20, de la cantidad de unidades de cálculo beneficiados con la implementación del nuevo sistema de conducción de agua potable para el Poblado de Capellades de Alvarado.

Cuadro 20. Unidades de cálculo beneficiados poblado Capellades de Alvarado

Descripción	Unidades de cálculo
Domiciliar	473
Escuelas	2
Iglesias	3
Centros de salud (EBAIS)	1
Producción (agricultura y ganadería)	26
Comercial	21
Cementerio	1
CEN	1

La proyección realizada mediante los métodos recomendados por el AyA, indican que, para el periodo de diseño realizado de 20 años, la población que se proyecta es de 2.435 habitantes. Quiere decir, que si la tendencia de crecimiento del poblado de Capellades, crece según las tasas de crecimiento calculadas, el sistema de abastecimiento con sus dimensiones mencionadas anteriormente en la sección de Diseño de obras, es capaz de brindar agua potable según cantidad y calidad a la población proyectada, para poder satisfacer sus necesidades personales, de negocio y/u comercial; además, poder tener brindar el servicio público a estudiantes en escuelas, centros de salud, iglesias, entre otros.

Además, el presente diseño de conducción de agua potable genera beneficios sobre los pobladores, ya que las tareas domésticas, agrícolas, comerciales, o las del fin que se haya determinado, se podrán desarrollar con mayor facilidad e inclusive puede haber un crecimiento en sus aspiraciones socioeconómicas, al saber que se cuenta con un bien público que cumple con las necesidades de cantidad hídrica que se considere. Estas pueden ser actividades agropecuarias, turísticas, comerciales u otras actividades que generen un ingreso.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- a. La propuesta de diseño realizada para los 844 metros de conducción con el diámetro de 100 mm, se apegan a las normas de diseño establecidas por el AyA, ya que satisface los parámetros de velocidad y presión de trabajo para un óptimo funcionamiento.
- b. El sistema de bombeo elegido satisface las necesidades del sistema en cuanto a la carga que debe de superar para llevar el agua potable al punto deseado, además por el periodo de trabajo elegido, se asegura que la bomba va a tener su tiempo de descanso recomendado, además, del impacto económico sobre el gasto energético.
- c. El tanque de almacenamiento diseñado cumple con las recomendaciones brindadas por el AyA en cuanto a su diseño, para poder abastecer la demanda horaria, la atención de incendios y la disponibilidad en el caso de eventos que impliquen el desabastecimiento en la línea de conducción.
- d. No se utilizó el tanque de almacenamiento que está actualmente en el sitio que es de 32 m³, ya que intervienen una cantidad mayor de accesorios para hacer la conexión de este, al que fue diseñado de 180 m³. Además, de que este es alimentado por otra fuente, que en su momento se puede activar nuevamente y se le pueda dar el uso que así lo considere el Acueducto.
- e. El costo total del diseño propuesto es de ₡20.012.264,300.
- f. Según los costos mostrados y al tratarse de un proyecto de bien social, se determina que la propuesta de diseño es rentable ya que el impacto económico no es tan elevado y el mismo pago del servicio por los usuarios puede cubrir los gastos y en dado caso se puede buscar la manera de que alguna institución de financiamiento para la construcción.
- g. Desde el punto de vista económico y de facilidad de manipulación, el sistema de desinfección tradicional utilizado en el diseño, representa un ahorro económico muy alto y este además brinda mayor facilidad de manipulación para los encargados y es de fácil reparación.

- h. Con base al impacto ambiental, se determinó que las labores de construcción y limpieza son las que tienen un mayor índice en la posibilidad de generar un daño sobre el medio, pero atendiendo a las recomendaciones de medidas de prevención y mitigación, el impacto puede ser menor.
- i. Debido a los problemas que se han presentado con la actual línea de alimentación de agua potable para el poblado, la nueva propuesta de diseño definitivamente traerá un beneficio social sobre los habitantes, ya que asegura el bienestar en la salud, educación e inclusive en el ámbito económico.

5.2. Recomendaciones

- a. Realizar un seguimiento del caudal brindado por la fuente de abastecimiento y contar con registro histórico de aforos, con el fin de asegurar las capacidades hidráulicas, esto con un periodo de al menos 2 mediciones anuales durante 10 años.
- b. Asegurar el mantenimiento y limpieza de las áreas aledañas a la naciente mensualmente, para asegurar la conservación de la misma. Además, la construcción de mallas perimetrales para asegurar que no haya ingreso a los sectores aledaños a las estructuras.
- c. Realizar un análisis de calidad del agua, para tener un equilibrio con el sistema de desinfección.
- d. Realizar un trabajo amplio para conocer la demanda por cada una de las previstas que actualmente están ubicadas y con esto aproximar de mejor manera la demanda.
- e. Se sugiere la evaluación por parte de un Ingeniero Civil o Estructural, sobre las estructuras diseñadas.
- f. Se recomienda colocar en la tubería de descarga un medidor de flujo, para tener un control del caudal que está saliendo del tanque de almacenamiento.
- g. Realizar obras de fácil acceso a las obras diseñadas, para facilitar el ingreso con materiales u evitar accidentes.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- BERMAD. (n.d.). *Válvula de control de nivel*. Recuperado el 06 de Agosto de 2019, de <https://www.bermad.com/es/products/bermad-mineria/valvula-de-control-de-nivel/>
- Comisión Nacional del Agua. (Diciembre de 2007). *MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO*. Recuperado el 30 de Julio de 2019, de LINEAMIENTOS TECNICOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO : <ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/LIBROS.pdf>.
- Comisión Nacional del Agua. (Diciembre de 2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de instalaciones Mecánicas*. Recuperado el 08 de Agosto de 2019, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/09DisenoDeInstalacionesMecanicas.pdf>
- Corcho Romero, F. H., & Duque Serna, J. I. (2005). *ACUEDUCTOS: TEORÍA Y DISEÑO*. (L. C. Restrepo, Ed.) Medellín, Colombia: Universidad de Medellín. Recuperado el 09 de Agosto de 2019
- Empresas Públicas de Medellín. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EMP*. Recuperado el 03 de Agosto de 2019, de https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf
- Fondo de Naciones Unidas para la Infancia. (2006). *La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales*. Recuperado el 29 de Julio de 2019, de <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>
- Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos Universidad Politécnica de Valencia. (2012). *EPANET 2: MANUAL DEL USUARIO*. Recuperado el 01 de Agosto de 2019, de https://epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2001). *Normas para el Diseño de Proyectos de Abastecimiento de Agua Potable en Costa Rica*. Recuperado el 30 de Julio de 2019, de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cos30867.pdf>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (Julio de 2002). *Análisis Sectorial de Agua Potable y Saneamiento de Costa Rica*. Recuperado el 30 de Julio de 2019, de <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/An%C3%A1lisis%20sectorial%20agua%20potable%20y%20saneamiento%20de%20Costa%20Rica%20Informe%20final%202002.pdf>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2016). *Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica 2017/2030*. Recuperado el 30 de Julio de 2019, de <https://www.aya.go.cr>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (22 de Setiembre de 2017). *Norma Técnica para Diseño y Cosntrucción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Saneamiento y Pluvial*. Recuperado el 30 de Julio de 2019
- Instituto de Desarrollo Rural. (2014). *Caracterización del Territorio Paraiso Alvarado*. Recuperado el 12 de Agosto de 2019, de https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Territorio-Paraiso-Alvarado.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2011). *Censos 2011. Población total por zona y sexo, según provincia, cantón y distrito*. Recuperado el 26 de Agosto de 2019, de http://www.inec.go.cr/censos/censos-2011?keys=Distrito&at=All&prd=All&field_anio_documento_value%5Bvalue%5D%5Bdate%5D=
- Martínez, J. C. (2009). *Estudio del fenómeno de cavitación en la bomba*. Recuperado el 07 de Agosto de 2019, de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4253/1/aguado_mj.pdf
- Ministerio de Salud. (03 de Mayo de 2005). *Reglamento para la Calidad del Agua Potable*. Recuperado el 29 de Julio de 2019, de

- https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/comision_agua_segura/legislacion/CAS_reglamento_calidad_agua_potable.pdf
- Municipalidad de Alvarado. (Agosto de 2015). *Plan Regulator Territorial del Cantón de Alvarado*. Recuperado el 26 de Agosto de 2019, de http://www.munialvarado.go.cr/images/normativalegal/reglamentos/plan_regulador_territorial_cantonalvarado_version_agosto2015.pdf
- Obando, V. L. (Febrero de 2012). *Operación y Mantenimiento de Sistemas de Agua Potable*. (P. A. Prácticas, Ed.) Recuperado el 06 de Agosto de 2019, de <https://docplayer.es/57955189-Operacion-y-mantenimiento-de-sistemas-de-agua-potable-autora-colaboradores-cuidado-de-edicion-correccion-diseno-y-diagramacion-editado-por.html>
- Orellana, J. (2005). *Conducción de las aguas*. Recuperado el 06 de Agosto de 2019, de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_07_Conduccion_de_las_Aguas.pdf
- Organización Panamericana de la Salud. (2003). *Calidad del agua potable en Costa Rica: situación actual y perspectivas*. Recuperado el 30 de Julio de 2019, de <https://www.bvs.sa.cr/php/situacion/agua.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (2007). *GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMA DE DESINFECCIÓN*. Recuperado el 31 de Julio de 2019, de <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf>
- Ramírez, C. (2016). *Acueducto y Alcantarillado: Guía Técnica*. Recuperado el 30 de Julio de 2019, de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14128/1/Guia%20Tecnica%20Acueducto.pdf>
- Terán, J. M. (Setiembre de 2013). *MANUAL PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO*. Recuperado el 01 de Agosto de 2019

VII. ANEXOS

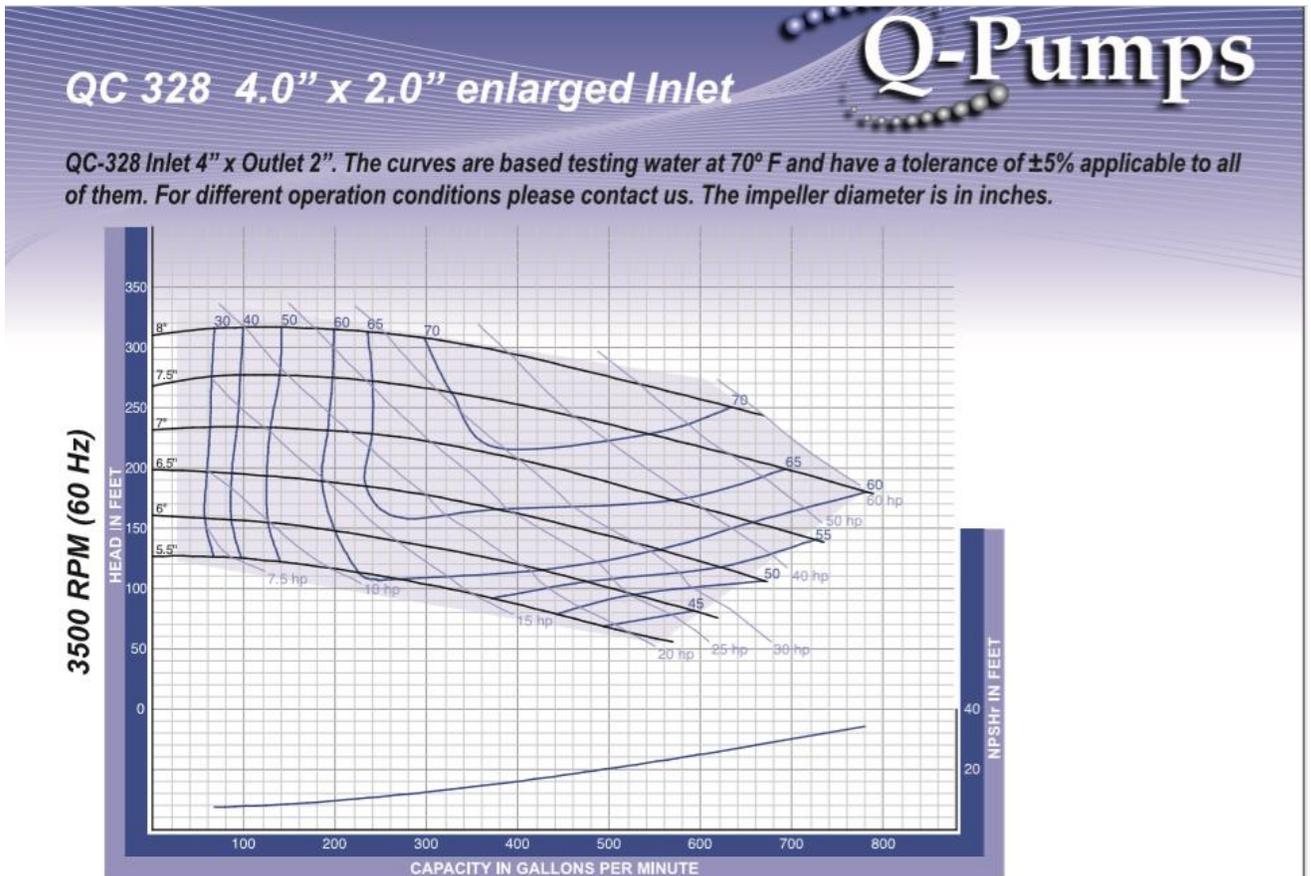
7.1. Plano 1 Detalles de obra de captación, tanque de succión y sistema de bombeo

7.2. Plano 2 Detalles de la caseta de bombeo

7.3. Plano 3 Detalles de tanque de almacenamiento

7.4. Plano 4 Detalles del perfil longitudinal con obras de conducción

7.5. Curva característica Bomba Q-Pumps serie QC 328 4.0"x2.0" enlargued Inlet



7.6. Detalles hidráulicos de líneas (tuberías) modelación Epanet

Tabla de Red - Líneas

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km
Tubería 2	605	100	13.47	1.72	27.50
Tubería 3	163	100	13.47	1.72	24.28
Tubería 4	79	100	13.47	1.72	24.28
Bomba 1	No Disponible	No Disponible	13.47	0.00	-95.50

7.7. Detalles hidráulicos de nudos (conexiones y elementos) modelación Epanet

 Tabla de Red - Nudos

ID Nudo	Cota m	Demanda LPS	Presión m
Conexión 2	999.21	0.00	95.50
Conexión 3	1071.35	0.00	6.73
Conexión 4	1059.26	0.00	14.86
Embalse 1	999.21	-13.47	0.00
Depósito 5	1067.20	13.47	5.00

7.8. Detalle de costos obra de captación

Obra de captación				
Accesorio / Material	Unidades	Unidad	Costo unitario C	Costo total
Tubo PVC para canastilla sanitario 4" 6 mts	1	Unidad	29141.385	29141.385
Unión de tope PVC 4" SCH40	1	Unidad	3652.987	3652.987
Tubo PVC 4" SDR 26 6 mts	1	Unidad	37647.519	37647.519
Válvula compuerta MATCO 4"	1	Unidad	84761.3	84761.3
Adaptador macho PVC 4"	2	Unidad	3300.44	6600.88
Válvula compuerta MATCO 2"	1	Unidad	21002.8	21002.8
Adaptador macho PVC 2"	2	Unidad	735.098	1470.196
Lamina hierro negro 1.22x2.44 1/8"	1	Unidad	45000	45000
Tubo estructural negro 2x2" 6 mts	1	Unidad	11600	11600
Bisagra pistón 3/4"	2	Unidad	2000	4000
Picaporte de pin #4	1	Unidad	1500	1500
Candado Stanley 90 mm	1	Unidad	18000	18000
Cemento	20	Sacos	6000	120000
Arena fina	2	m3	17000	17000
Piedra (1/4")	3	m3	19000	38000
Total de materiales				439377.067
Transporte de materiales (5% total materiales)				21968.8534
Herramientas y equipo (10% total materiales)				43937.7067
Mano de obra (40% materiales)				175750.827
Costo directo				681034.454
Administración 10%				68103.4454
Imprevistos 5%				34051.7227

Costo Total

783189.622

7.9. Detalle de costos tanque de succión-Bombeo-Caseta**Tanque de succión-Bombeo-Caseta**

Accesorio / Material	Unidades	Unidad	Costo unitario C	Costo total
Codo 90° PVC 4" campana cementada SCH40	5	Unidad	5528.237	27641.185
Válvula compuerta MATCO 2"	1	Unidad	21002.8	21002.8
Adaptador macho PVC 2" SCH40	2	Unidad	735.098	1470.196
Válvula de pie 4" + canastilla de succión	1	Unidad	32711.12	32711.12
Tee PVC 4" campana cementada SCH40	1	Unidad	8536.138	8536.138
Tapón de cebado 4"	1	Unidad	3015.402	3015.402
Válvula de check MATCO 4"	1	Unidad	125866.78	125866.78
Codo 45° PVC 4" campana cementada SCH40	2	Unidad	7088.445	14176.89
Bomba centrifuga 25HP	1	Unidad	1221200	1221200
Lamina de zinc rectangular roja 107 x 366 cm	6	Unidad	19950	119700
Tubo galvanizado 50x50x1.5 mm 6 mts	5	Unidad	12950	64750
Lamina desplegada lisa #3 1.22 x 2.44 m rombo	6	Unidad	11000	66000
Llavín pico lora Delko	1	Unidad	15000	15000
Bisagra pistón 3/4" para portón	3	Unidad	2000	6000
Tubo negro industrial 25x25x1.5 mm 6 mts	8	Unidad	5700	45600
Lamina hierro negro 1.22x2.44 1/8"	1	Unidad	45000	45000
Tubo estructural negro 2x2" 6 mts	1	Unidad	11600	11600
Picaporte de pin #4	1	Unidad	1500	1500
Candado Stanley 90 mm	1	Unidad	18000	18000
Cemento	39	Sacos	6000	234000
Arena	3	m3	17000	51000

Piedra (1/4")	5	m3	19000	95000
---------------	---	----	-------	-------

Continuación Anexo 7.9.

Total de materiales				5530523.74
Transporte de materiales (5% total materiales)				276526.187
Herramientas y equipo (10% total materiales)				553052.374
Mano de obra (40% materiales)				2212209.5
Costo directo				8572311.8
Administración 10%				857231.18
Imprevistos 5%				172729.715
Costo Total				3972783.44

7.10. Detalle de costos Línea de conducción

Línea de conducción				
Accesorio / Material	Unidades	Unidad	Costo unitario C	Costo total
Tubería PVC 4" SDR 26 6 mts	142	Unidad	37647.519	5345947.7
Adaptador macho PVC 4" SCH40	1	Unidad	3300.44	3300.44
Tee PVC 4" campana cementada SCH40	1	Unidad	8536.138	8536.138
Válvula extracción e ingreso de aire PVC 4" SCH40	1	Unidad	25000	25000
Tee reductora lisa 4x2" SCH40	1	Unidad	14004.367	14004.367
Adaptador macho PVC 2" SCH40	1	Unidad	735.098	735.098
Válvula de limpieza PVC 4" SCH40	1	Unidad	36000	36000
Cemento	7	Sacos	6000	42000
Arena	1	m3	17000	17000
Piedra (1/4")	2	m3	19000	38000
Total de materiales				5530523.74
Transporte de materiales (5% total materiales)				276526.187
Herramientas y equipo (10% total materiales)				553052.374
Mano de obra (40% materiales)				2212209.5
Costo directo				8572311.8
Administración 10%				857231.18
Imprevistos 5%				428615.590
Costo Total				9858158.57

7.11. Detalle de costos tanque de almacenamiento

Tanque de almacenamiento

Accesorio / Material	Unidades	Unidad	Costo unitario C	Costo total
Codo 90° PVC 4" campana cementada SCH40	3	Unidad	5528.237	16584.711
Válvula de compuerta MATCO 4" SCH40	2	Unidad	84761.3	169522.6
Adaptador macho PVC 4"	6	Unidad	3300.44	19802.64
Válvula control de nivel 4"	1	Unidad	496800	496800
Válvula de compuerta MATCO 2" SCH40	1	Unidad	21002.8	21002.8
Adaptador macho PVC 2"	2	Unidad	735.098	1470.196
Lamina hierro negro 1.22x2.44 1/8"	1	Unidad	45000	45000
Tubo estructural negro 2x2" 6 mts	1	Unidad	11600	11600
Bisagra pistón 3/4"	2	Unidad	2000	4000
Picaporte de pin #4	1	Unidad	1500	1500
Candado Stanley 90 mm	1	Unidad	18000	18000
Cemento	236	Sacos	6000	1416000
Arena	14	m3	17000	238000
Piedra (1/4")	27	m3	19000	513000
Total de materiales				2972282.95
Transporte de materiales (5% total materiales)				148614.147
Herramientas y equipo (10% total materiales)				297228.295
Mano de obra (40% materiales)				1188913.18
Costo directo				4607038.57
Administración 10%				460703.857
Imprevistos 2%				230351.928

Costo Total	5298094.35
--------------------	------------

7.12. Detalle de costos sistema de desinfección

Sistema de desinfección

Accesorio / Material	Unidades	Unidad	Costo unitario C	Costo total
Tubería PVC 4" SDR 26	1	Unidad	37647.519	37647.519
Tapón hembra PVC 4" SCH40	2	Unidad	3015.402	6030.804
Abrazadera domiciliar 4" x 1/2" SCH40	1	Unidad	9436.258	9436.258
Tubería PVC 1/2" SDR 13.5	1	Unidad	2467.829	2467.829
Codo 90° PVC 1/2" campana cementada SCH40	4	Unidad	135.018	540.072
Total de materiales				56122.482
Transporte de materiales (5% total materiales)				2806.1241
Herramientas y equipo (10% total materiales)				5612.2482
Mano de obra (40% materiales)				22448.9928
Costo directo				86989.8471
Administración 10%				8698.98471
Imprevistos 2%				4349.4924
Costo Total				100038.324