

Diseño de una Estación de Bombeo de Agua Potable para el Barrio San Marcos del Municipio de
Aguachica Cesar

Luis Alberto Pérez Passo y Yilver Andrés Serrano Gutiérrez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Yesid Javier Rueda Ordóñez

PhD en Ingeniería de Procesos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A Dios Todopoderoso, porque me brindó la sabiduría y el entendimiento para afrontar esta carrera.

A mis profesores, que durante 5 años me educaron y formaron para afrontar la vida profesional con argumentos científicos.

A mi madre Claudia, por ser mi motivación cada día para querer ser un excelente profesional.

A mi madre Myriam, por ser mi pilar en cada momento difícil.

A mi hermano y mi sobrino, que siempre me brindaron el apoyo en todos estos años.

Luis Alberto Pérez Passo

Damos gracias a Dios por habernos permitido llegar victoriosos hasta aquí, dedicamos este trabajo primeramente a nuestros padres y maestros quienes fueron el apoyo para alcanzar la meta de ser unos excelentes profesionales, dirigidos a ser útiles a la sociedad.

Yilver Andrés Serrano Gutiérrez

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos.....	13
1.1 Objetivo General.....	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Marco Referencial.....	14
2.1 Marco Teórico.....	14
2.1.1. Tipos de Bomba	15
2.1.1.1. Bombas Hidráulicas.	15
2.1.1.2. Bombas Centrífugas Horizontales.	15
2.1.1.3. Bombas Verticales.	15
2.1.1.4. Bombas Sumergibles.	15
2.1.2. Sistemas de Captación	16
2.1.2.1. Flotante.	16
2.1.2.2. Fija.	16
2.1.2.3. Móvil.....	16
2.1.2.4. Sumergida.	16
2.1.2.5. De Rejilla.	16
2.1.3. Sistemas de Succión.....	16
2.1.3.1. Impulsión de la Succión.....	16
2.1.3.2. Succión Positiva.....	17
2.1.3.3. Succión Negativa.	17

2.1.4. Tipos de Succión.....	17
2.1.4.1. Sumergida.....	17
2.1.4.2. Modulada.....	17
2.1.4.3. En Succión.....	17
2.2 Marco Legal.....	17
2.3 Antecedentes de la Investigación.....	18
2.3.1. Diseño de una Estación de Bombeo de Agua de Riego con su respectivo Sistema de Utilización 22.9 kV, 3Ø, para el sector Mallaritos, Distrito de Marcavelica, Provincia de Sullana, Departamento de Piura (Simbaña, 2018).....	18
2.3.2. Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Municipio de Riosucio – Chocó (Rey y Pinilla, 2020).....	19
2.3.3. Diseño de Sistema de Bombeo Solar Automatizado para la Comunidad Wayúu de Alakat, Maicao – La Guajira (Wüin-KaI) (Tiller, 2020).....	19
2.3.4. Diseño Estructural de Transporte para Sistema de Bombeo Portátil Activado con Energía Solar Fotovoltaica para el Departamento de Boyacá (Rua et al., 2018).....	20
3. Metodología.....	20
3.1 Estimación de la Población.....	20
3.2 Dotación Neta por Habitante.....	21
3.3 Dotación Bruta.....	22
3.4 Caudales de Diseño.....	22
3.4.1 Caudal Medio Diario (L/día).....	23
3.4.2 Coeficientes de Consumo Máximo (K_1 y K_2).....	23
3.4.3 Caudal Máximo Diario (L/día).....	23

3.4.4 Caudal Máximo Horario (L/hora).....	24
3.4.5 Caudal de Diseño (L/seg).....	24
3.4.6 Tubería Principal de Succión y de Descarga	24
3.4.7 Comprobación de Velocidad Máxima Aceptable en la Succión	24
3.4.8 Longitud de Tubería.....	25
3.4.9 Altura Dinámica Total	26
3.4.10 Selección de la Bomba.....	27
3.4.11 Selección de Motores.....	27
3.4.12 Análisis Técnico Económico	27
4. Resultados y Discusión.....	28
4.1 Estimación de la Población.....	28
4.2 Dotación Neta por Habitante	29
4.3 Dotación Bruta	30
4.4 Caudales de Diseño.....	30
4.4.1 Caudal Medio Diario (L/día)	30
4.4.2 Caudal Máximo Diario (L/día)	30
4.4.3 Caudal Máximo Horario (L/hora).....	31
4.4.4 Caudal de Diseño (L/seg).....	31
4.4.5 Tubería Principal de Succión y de Descarga	31
4.4.6 Comprobación de Velocidad Máxima Aceptable en la Succión	32
4.4.7 Altura Dinámica Total	33
4.4.8 Selección de la Bomba.....	34
4.4.9 Selección de Motores.....	38

4.4.9.1 Funcionamiento de Motores Asincrónicos.	38
4.4.9.1.1 Rendimiento.....	38
4.4.9.1.2 Velocidad.	39
4.4.9.1.3 Factor de potencia.....	39
4.4.9.1.4 Intensidad.....	39
4.4.10 Análisis Técnico Económico	39
4.4.10.1 Calculo de valor actual neto (VAN).	40
4.4.10.2 Aguas Subterráneas.....	41
4.4.11 Presupuesto	46
5. Conclusiones	50
Referencias Bibliográficas	51

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Consumo por persona	21
Tabla 2. Dotación neta por altura.....	22
Tabla 3. Coeficientes de consumo máximo diario.....	23
Tabla 4. Tabla de relación del diámetro con velocidad	25
Tabla 5. Dotación neta para consumo residencial	29
Tabla 6. Eficiencia del motor.....	39
Tabla 7. Presupuesto estudiantil	47
Tabla 8. Presupuesto del proyecto general	48

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Bombas de una estación de bombeo. Fuente: Tech school of engineering.	14
Figura 2. Gráfica del sistema de bombeo.....	25
Figura 3. Análisis de distribución de bombas y válvulas.....	26
Figura 4. Información en materia demográfica, habitantes del municipio, DANE	28
Figura 5. Curvas de operación para la bomba 40-200	34
Figura 6. Curvas de operación para la bomba 40-200 a 1730 RPM.....	35
Figura 7. Gráfica de curvas características de bombas sumergibles.....	36
Figura 8. Gráfica de la curva de la bomba tipo 425GPM 8’’	37
Figura 9. Gráfica rendimiento de la bomba tipo 425GPM 8’’	37
Figura 10. Aguas subterráneas en el municipio de Aguachica, Cesar	41
Figura 11. Esquema de pozo de agua profunda	42
Figura 12. Esquema de ubicación de pozos perforados	43
Figura 13. Esquema futuro montaje de tubería y zonas de almacenamiento.....	44
Figura 14. Montaje de futuro uso de piscinas sépticas	45

Resumen

Título: Diseño de una Estación de Bombeo de Agua Potable para el Barrio San Marcos del Municipio de Aguachica Cesar *

Autores: Luis Alberto Pérez Passo y Yilver Andrés Serrano Gutiérrez **

Palabras Clave: Agua, tubería, bombas, motor, población, caudal, hogares.

Descripción: A lo largo de los años, se ha presentado una problemática general de acceso al agua potable en el municipio de Aguachica – Cesar, debido a la rápida expansión del municipio, ya que Aguachica se encuentra en una conexión de la vía que conecta al centro del país con la costa Caribe. Debido a esto, muchas personas deciden rehacer su vida en el municipio, bien sea por decisión propia o por ser desplazados. Con la expansión del municipio, la infraestructura no avanzó de la misma manera y es por esto que los habitantes de Aguachica acceden al recurso hídrico cada 10 o 15 días; y en algunas ocasiones, hasta se ven obligados a tomar agua sin tratamiento y de dudosas procedencias. Con lo anteriormente planteado, se genera este proyecto que planea realizar un diseño de un sistema de bombeo de agua potable usando aguas subterráneas como medida de impulso y ayuda al barrio San Marcos, que es uno de los barrios que menos acceso tiene al agua potable, brindando una mejora a la calidad de vida a los habitantes y planteando una posible ampliación a la infraestructura con posibilidad de mejorarse para futuros usos en otros barrios.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordóñez. PhD Ingeniería de Procesos.

Abstract

Title: Design of a Drinking Water Pumping Station for San Marcos neighborhood of the municipality of Aguachica, Cesar.*

Authors: Luis Alberto Pérez Passo, Yilver Andrés Serrano Gutiérrez**

Keywords: Water, pipes, pumps, motor, population, flow, homes.

Description: Over the years, there has been a general issue of access to safe drinking water in the municipality of Aguachica - Cesar, due to its rapid expansion, since Aguachica is located in a junction that connects the center of the country with the Caribbean coast. Therefore, many people choose to rebuild their lives in the municipality, either due to own decision-making or forced displacements. Along with the expansion of the municipality, the infrastructure did not develop at the same rate and that is the reason why the inhabitants of Aguachica have access to water only every 10 or 15 days; and occasionally, they are even forced to drink untreated water from dubious sources. With the aforementioned, this project is envisioned to carry out the design of a drinking water pumping system using groundwater as a measure of promotion and support for San Marcos neighborhood, which is one of the areas with the least access to safe drinking water, hence providing an improvement of the quality of life for its inhabitants and proposing a possible expansion of the infrastructure, with the aim of upgrading it for future uses in other neighborhoods.

* Degree Work

**Physicomechanical Engineering Faculty. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Thesis supervisor: Yesid Javier Rueda Ordóñez. PhD in Process Engineering.

Introducción

Es evidente que Colombia cuenta con una diversidad de fuentes hidrográficas, pero, a pesar de ello, existen algunas zonas del país en donde se registra una alta escasez de agua potable de calidad. Un 8% de la población del territorio no cuenta con este beneficio, lo cual provoca muertes causadas por infecciones y enfermedades tanto en niños como adultos, debido al consumo agua no potable. La falta del suministro del servicio de agua potable y saneamiento básico afecta de manera directa a poblaciones en estado de vulnerabilidad socioeconómica, originando una brecha en los derechos al acceso de agua potable, la salud, la salubridad o una vida digna para las personas.

Según el periódico El País (Lou, 2020), en un estudio realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se encontró que en 391 comunidades ya se estaba en riesgo de sufrir una dura escasez de agua y, a largo plazo, se espera una tendencia donde muchas más comunidades sufrirán el mismo riesgo.

En el municipio de Aguachica - Cesar, la escasez y sequía de agua no es ajena. Aunque es un servicio vital, durante la pandemia del coronavirus, cerca del 90% de la población del Municipio de Aguachica padeció la escasez de agua por semanas; principalmente en los sectores más vulnerables y los más golpeados por la sequía (Escalona, 2020). Debido a la gran problemática, en muchos sectores del municipio se ven en la obligación de comprar el precioso líquido de manera ilegal en los llamados “dados de agua”; ya que, al no contarse con sistemas de tubería, en algunos casos, no tienen la manera de poder acceder a la obtención del agua por tubería.

A pesar de que se han realizado varios proyectos tales como el rediseño de la ampliación de la planta de tratamiento de agua potable, la población sigue viéndose afectada por el continuo déficit de la llegada del agua a sus hogares. En algunas zonas del Municipio de Aguachica se

presenta escasez de este recurso, por lo tanto, se plantea unas condiciones de operación para una estación de bombeo de agua potable ubicada en una zona rural del municipio, con el fin de mejorar la calidad de vida de un barrio del sector municipal.

El presente proyecto de investigación genera una solución notoria a un conjunto de la comunidad del sector municipal, generando un impacto positivo y directo en la vida de muchas personas. Actualmente, el municipio de Aguachica es uno de los sectores más afectados en Colombia en relación al suministro de agua potable, en donde este preciado líquido es necesario para el subsistir del ser humano. Cada día, se incrementa el índice de personas que sufren enfermedades e infecciones debido al consumo de agua contaminada al no contar en sus hogares con el servicio de suministro de agua potabilizada.

Se pretende aprovechar un recurso natural de mayor vitalidad e importancia para el mundo, teniendo en cuenta que se debe diseñar y edificar una infraestructura que cumpla con los requisitos ambientales y que tenga el menor impacto posible en la naturaleza.

En la actualidad, se requiere que los procesos y/o proyectos que busquen beneficios sociales para cualquier comunidad sean a su vez beneficiosos con el ecosistema y que su vida útil sea de larga duración. Por lo anterior, se concluye que, la instalación del proyecto es viable en las zonas donde se realizaron los estudios.

Por tal motivo, se plantea realizar un proceso de tratamiento de agua para el consumo y uso seguro en la comunidad, mediante el diseño de una estación de tratamiento de agua potabilizada para el consumo humano, que contribuya al desarrollo social, económico, ambiental y político de las personas que habitan este territorio.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de tratamiento de agua potable para brindar seguridad de abastecimiento continuo y adecuado a los habitantes del barrio San Marcos del Municipio de Aguachica, Cesar.

1.2 Objetivos Específicos

Elaborar cálculos que conlleven a realizar el diseño de operaciones de captación, conducción y tratamiento del agua.

Elaborar el presupuesto técnico económico para la elaboración del diseño de la estación de bombeo de agua potable.

Realizar un diagnóstico de las fuentes hídricas necesarias para proporcionar el consumo máximo de agua diario requerido por la población.

2. Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

Se define a una estación de bombeo como una estructura diseñada para transportar de manera vertical un líquido desde un nivel de energía inicial a un nivel de energía superior. Su principal objetivo es dirigir el agua tanto a las redes de almacenamiento como a las redes de distribución (Antamba y Rodríguez, 2017).

Igualmente, una estación de bombeo es un conjunto que consta de una o más bombas, dentro de las cuales también existen diversos conjuntos de tuberías y un pozo de succión. Hay dos tipos de tuberías: una para succión y otra para descarga. La tubería de succión o aspiración recoge agua o líquidos para después distribuirlos por toda la red por medio de tuberías de presión o descarga (SFA, 2018).

Entre los diversos campos de aplicación que tienen las estaciones de bombeo, se encuentran las redes de abastecimiento de agua potable, las cuales serán el papel principal de la reingeniería de abastecimiento.

Figura 1

Bombas de una estación de bombeo.



Nota. Adaptado de TECH School of Engineering (2010).

Se conoce como un conjunto de estructuras a un sistema de bombeo municipal, el cual se encarga de extraer agua de ríos, arroyos, lagos, lagunas, embalses y acuíferos mediante un sistema de bombeo, siendo bombeada desde puntos de captación en la superficie de la tierra. Se envía a través de una red de tuberías a tanques de almacenamiento centralizados (Rodríguez y Cisneros, 2022).

2.1.1. Tipos de Bomba

Se clasifican en (Díaz y Moreno, 2018; Fluideco, 2019):

2.1.1.1. Bombas Hidráulicas. Son aquellas que se implementan para suplir grandes volúmenes de agua, así como manejo de alta presión y fácil posicionamiento.

2.1.1.2. Bombas Centrífugas Horizontales. En la parte superior del tanque hay una bomba centrífuga horizontal con un sistema de prellenado. Tiene como beneficio que el mantenimiento se realiza en la superficie y la desventaja de que se pueden dañar si no se sobrealimentan correctamente. Sin embargo, no funcionan de una manera óptima a partir de los 8 m de agua.

2.1.1.3. Bombas Verticales. El motor está por encima del nivel de fluido y el impulsor está por debajo. Es una bomba con gran longitud vertical que requiere un sistema de elevación para su mantenimiento, lo que brinda beneficios económicos y de disponibilidad.

2.1.1.4. Bombas Sumergibles. En el fondo del tanque se sitúan el motor y el impulsor. Tiene ventajas de precio y cebo y también puede funcionar automáticamente según la altura de la boya. El inconveniente con esta clase de bombas es que requieren un sistema de elevación para su mantenimiento. A menudo se utilizan para vaciar agua de lluvias que están enterradas y tanques de recolección de lixiviados.

2.1.2. Sistemas de Captación

La recolección de agua superficial que se hace de ríos, lagos y embalses, es una estructura a nivel del suelo que asegura que el agua de una fuente adecuada se use, ya sea gravitatoriamente (a nivel de suelo) o bombeada para suministrar el recurso a la comunidad. En cuanto a todo lo que caracteriza a la infraestructura de la cuenca, se definirán mediante el caudal de agua necesario para la comunidad (Stauffer et al., 2021).

Los sistemas de captación se clasifican en (Díaz y Moreno, 2018):

2.1.2.1. Flotante. Se utiliza cuando la fuente de donde se extrae el agua contenga diversos cambios de altitud conservando el caudal y volumen correcto.

2.1.2.2. Fija. Se ubica una cavidad de succión a las orillas del lugar de donde se vaya a extraer el agua, pero tiene que estar a cierta altura del fondo.

2.1.2.3. Móvil. Se utiliza en ríos con grandes desniveles y corrientes. Dicho sistema se eleva o desciende por carriles que son manejados por diversos mecanismos ubicados en el río.

2.1.2.4. Sumergida. Las tuberías se ubican a lo largo del cauce del río en la dirección que este corra y terminan en tuberías o sumergibles.

2.1.2.5. De Rejilla. Consiste en una muralla a través del arroyo, con una rejilla de desagüe que permite la entrada de agua y restringe el ingreso de materiales sólidos.

2.1.3. Sistemas de Succión

Se caracterizan dos clases de succión, que puede ser simple o doble. Para la simple, el agua entra por un impulsor (un lado) y la succión es doble cuando hay más de un impulsor involucrado (Díaz y Moreno, 2018).

2.1.3.1. Impulsión de la Succión. Esta se caracteriza en tipos según el posicionamiento en el cual se encuentre el eje de la bomba en relación con el nivel del agua.

2.1.3.2. Succión Positiva. Se presenta cuando el eje de la bomba está por encima del agua, la cabeza estática de succión tendrá que ser mayor a cero y con valor positivo.

2.1.3.3. Succión Negativa. Si el nivel del agua está por debajo del eje de la bomba, la carga de aspiración será negativa cuando la altura del agua no alcance al eje de la bomba.

2.1.4. Tipos de Succión

2.1.4.1. Sumergida. Se operan bombas sumergibles que están estructuradas con el fin de trabajar por debajo del líquido que se está bombeando, esto trae ventajas en cuanto a reducir problemas de cavitación y evitar inundaciones en el cuarto de máquinas (Díaz y Moreno, 2018).

2.1.4.2. Modulada. Además de implementar bombas sumergibles, también se debe hacer uso de una bomba de tipo horizontal. Lo cual brinda ventajas en la obtención de un caudal mucho mayor y una mayor altura de impulsión (Díaz y Moreno, 2018).

2.1.4.3. En Succión. El eje de transmisión de la bomba se encuentra horizontal y se puede instalar en lugares distintos al de la fuente de suministro de agua. Se encuentra dentro de zonas secas, con tal de que se proteja de inundaciones y que sea de fácil acceso gracias a su cómodo funcionamiento (Díaz y Moreno, 2018).

2.2 Marco Legal

Las reglas o normativas de diseño para las instalaciones de tratamiento de agua potable deben basarse en:

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Alcantarillado, “Resolución 0330 del 2017”, teniendo en cuenta el Capítulo A.4, numerales A.4.7 y A.4.8.

Resolución 2320 de 2009, por la cual se modifica parcialmente la resolución 1096 del 2000 que adopta el reglamento técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

Decreto 1575 de 2007, por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.

Constitución de Política de 1991, en su Artículo 366.

2.3 Antecedentes de la Investigación

Las instalaciones de tratamiento de agua y tratamiento de agua potable corresponden a un conjunto de actividades y sistemas físicos y químicos separados, cuyo propósito es prevenir y disminuir contaminantes en el agua o aparición de propiedades indeseables con la ayuda de las instalaciones (Synertech, s.f.).

Agua Potable. Se define como el agua que es óptima para el consumo de la comunidad, es decir, agua que puede usarse para fines domésticos sin presentar riesgo alguno a la salud del individuo beneficiario (Etecé, 2021).

Agua Cruda. Es un producto que no ha pasado por un tratamiento para poder ser llevada a distribución. Este tipo de agua puede encontrarse en recursos y fuentes naturales, incluyendo las aguas superficiales y subterráneas (Zarza, s.f.).

2.3.1. Diseño de una Estación de Bombeo de Agua de Riego con su respectivo Sistema de Utilización 22.9 kV, 3Ø, para el sector Mallaritos, Distrito de Marcavelica, Provincia de Sullana, Departamento de Piura (Simbaña, 2018)

Este trabajo de investigación se realizó como trabajo de grado por un estudiante de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán de Perú, cuya metodología se basó en realizar una visita a los agricultores para poder determinar cuáles eran sus principales dificultades. Se realizó un diseño de piezas de potencia y control. Se realizó un análisis físico de los patrones de riego de cultivos actuales, el tiempo y los costos, donde utilizaron bombas impulsadas por unos generadores.

También se observaron análisis físicos de materiales de trabajo, incluyendo levantamiento topográfico donde se diseñó la casa de bombas. Con los datos tomados del suelo, agua y canal se optó por diseñar mecanismos acordes con los requerimientos necesarios para suplir con el caudal solicitado para los cultivos. Se escogió esta tesis con el fin de tomar como referencia el presupuesto de costos de suministros y montajes, de la casa de bombas, tuberías, bombas y motores.

2.3.2. Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Municipio de Riosucio – Chocó (Rey y Pinilla, 2020)

En este diseño se realizaron estudios en la zona donde se fue a implementar la planta, los cuales dieron resultados prometedores, ya que el caudal que puede ofrecer el río Atrato puede suplir el requerimiento de agua que surgía en la población de Riosucio. Dichos cálculos, en cuanto a planeación y datos reunidos del río, se tomaron como iniciativa base para obtener cálculos desde tuberías e implementación de equipos y materiales.

En cuanto a que la planta sea sustentable a futuro, los cálculos se hicieron proyectados a 25 años adelante, siendo así capaz de suministrar la cantidad de agua requerida en dicho año y con posibles ajustes y variaciones para cuando la población aumente durante ese lapso de tiempo estipulado. La población es un número similar a la zona de Aguachica donde se quiere implementar este proyecto, es por eso que este diseño es de utilidad al momento de calcular caudales requeridos para el sustento de la población.

2.3.3. Diseño de Sistema de Bombeo Solar Automatizado para la Comunidad Wayúu de Alakat, Maicao – La Guajira (Wüin-KaI) (Tiller, 2020)

Se implementó un diseño que alcanza a suplir con un mínimo de más de 15 litros a cada individuo de dicha comunidad. Esto se logra gracias a los pozos profundos ubicados en la zona y captando el agua que proveen mediante un sistema de bombeo, que se maneja de manera

automática, enlazado mediante paneles solares; lo cual hace que el sistema sea amigable con el medio ambiente y sea potencial en energías limpias. De igual manera, se nota una disminución en cuanto a costos, ya que cuenta con dos reservorios o piscinas de almacenamiento de dos mil litros, a lo que hace referencia una baja en los costos cuando estos están llenos, pues reduce el tiempo en que se tendría que extraer el agua de los pozos subterráneos y llevarla a los tanques, procesarla y luego distribuirla. Existe un gran impulso de pozos subterráneos y de igual manera, nuestro proyecto pretende explotar de manera óptima la gran capacidad acuífera subterránea que existe en la zona para dar abasto con la necesidad de la comunidad.

2.3.4. Diseño Estructural de Transporte para Sistema de Bombeo Portátil Activado con Energía Solar Fotovoltaica para el Departamento de Boyacá (Rúa et al., 2018)

Este proyecto surge como una solución a la necesidad de energía, ya que en muchas zonas no se cuenta con redes eléctricas que puedan brindar el recurso eléctrico. De ahí nace la idea de implementar un sistema que funcione de manera fotovoltaica; en otras palabras, que use energía solar para accionar las motobombas que extraen el agua para el riego de sus cultivos.

Es un proyecto donde se usan muchas teorías y modelos matemáticos con el fin de generar un sistema móvil que pueda cumplir con la función de extraer agua y contar con un caudal óptimo requerido para suplir la necesidad de agua para los riegos.

3. Metodología

3.1 Estimación de la Población

Se debe realizar los cálculos necesarios para determinar la cantidad de personas que saldrán beneficiadas a futuro con el proyecto. El número de habitantes de una población varía de forma muy activa, ya que es afectado por factores como nacimientos, muertes, emigraciones e inmigraciones; a su vez, también se tiene en cuenta las adiciones de otros centros urbanos

generando áreas metropolitanas y centrales urbanísticas. Debido a esto, es necesario realizar estimaciones y proyecciones de la población del municipio, pues estas pueden planificar las demandas y necesidades de los presentes y futuros usuarios. Para ello, se tomó como base el Censo poblacional disponible en el sitio web del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

3.2 Dotación Neta por Habitante

Para determinar la cantidad de agua potable necesaria para cada habitante, se calcula la dotación neta, la cual es la encargada de asignar qué cantidad de agua es necesaria para que un habitante pueda satisfacer sus necesidades básicas, sin considerar las pérdidas que se presentan en la red de distribución. Según el tipo de actividades que demandan el consumo de agua, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento (RAS) toma los siguientes aspectos.

Tabla 1

Consumo por persona

Consumo de una persona	
	L/habitante*día
Cocina	20 a 30
Ropa	10 a 15
Inodoros	15 a 30

Nota. Adaptado de la Resolución 0330 de 2017, Reglamento Técnico —RAS.

El consumo depende de las actividades que va a realizar el tipo de población para la que se diseña el acueducto. En este caso, será residencial y también será afectada por la altitud geográfica del lugar donde se encuentra la población.

Tabla 2*Dotación neta por altura*

Altura	Dotación Neta
>2000 msnm	120
1000-2000 msnm	130
<1000 msnm	140

Nota. Adaptado de la Resolución 0330 de 2017, Reglamento Técnico —RAS.

3.3 Dotación Bruta

Es la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. El porcentaje de pérdidas técnicas máximas admisibles no deberá superar el 25%

$$Dotación\ bruta = \frac{Dotación\ neta}{1 - \% \text{ de pérdidas}} \quad (Ec. 1)$$

3.4 Caudales de Diseño

El caudal de diseño es el método que permite estimar la cantidad de caudal que será necesario para el diseño de instrumentos, mecanismos, equipos y estructuras utilizadas para suplir las necesidades de un conjunto poblacional. Para realizar los cálculos necesarios del caudal de diseño, se tiene en cuenta tres factores importantes que son: Caudal medio diario, Caudal máximo diario y Caudal máximo horario. Mediante los cálculos de estos indicadores se obtiene el valor a suplir del caudal de diseño; para el caso de las estaciones de bombeo, se prioriza el caudal máximo diario que por lo general las unidades a utilizar son litros por día (L/día).

3.4.1 Caudal Medio Diario (L/día)

Es el valor medio del consumo de agua durante veinticuatro horas, por el cual se pondera el consumo diario en un lapso determinado, que por lo general en un año. Se calcula implementando la fórmula presentada por el Reglamento Técnico RAS.

$$Q_{md} = \frac{\text{Población} * \text{Dotación bruta}}{86400} \quad (\text{Ec. 2})$$

3.4.2 Coeficientes de Consumo Máximo (K_1 y K_2)

Los coeficientes de consumo máximo K_1 y K_2 son factores que afectan directamente el caudal máximo diario y caudal máximo diario, y varían según la cantidad de población que se encuentra en estudio. Para una población menor a 12.500, los coeficientes K_1 y K_2 no excederán un valor de 1.3 y 1.6 respectivamente; para una población mayor a 12.500, el coeficiente K_1 y K_2 no excederá un valor de 1.2 y 1.5 respectivamente.

Tabla 3

Coeficientes de consumo máximo diario

Población	K_1	K_2
<12500	1.3	1.6
>12500	1.2	1.5

Nota. Adaptado de la Resolución 0330 de 2017, Reglamento Técnico —RAS.

3.4.3 Caudal Máximo Diario (L/día)

Es el valor de consumo máximo que se registra en las 24 horas a lo largo de un lapso de un año.

$$Q_{MD} = Q_{md} * K_1 \quad (\text{Ec. 3})$$

3.4.4 Caudal Máximo Horario (L/hora)

Es el valor de consumo máximo que se registra en una hora a lo largo del lapso de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio.

$$Q_{MH} = Q_{md} * K_2 \quad (Ec. 4)$$

3.4.5 Caudal de Diseño (L/seg)

Es el valor de caudal que se usará al momento de realizar los debidos cálculos para el sistema de bombeo. Se calcula de acuerdo con la normativa presentada por el RAS.

$$Q_d = Q_{MD} * \frac{24}{h_{servicio}} \quad (Ec. 5)$$

3.4.6 Tubería Principal de Succión y de Descarga

Para calcular los diámetros de tubería de succión y de descarga (impulsión), se deben tener en cuenta aspectos como análisis de costos, energías de bombeo contra el costo de la tubería y el sistema de aguas por debajo de la bomba. Y se expresa por medio de la siguiente fórmula:

$$D_e = 1,3 * \left(\frac{t}{24}\right)^{0.25} * \sqrt{Q_d} \quad (Ec. 6)$$

3.4.7 Comprobación de Velocidad Máxima Aceptable en la Succión

La velocidad máxima en tuberías de succión depende del diámetro.

$$Q_d = V * A \quad (Ec. 7)$$

Una vez calculada, se analizará si la velocidad máxima cumple con los estándares establecidos según el RAS, donde se indica que la velocidad mínima será de 0.45 m/s y la máxima tabulada a continuación:

Tabla 4*Tabla de relación del diámetro con velocidad*

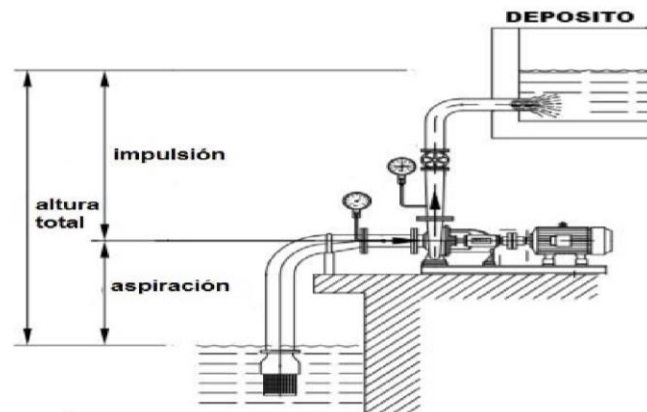
Diámetro de la tubería de succión	Velocidad máxima
50 mm	0.75 m/s
75 mm	1.00 m/s
100 mm	1.30 m/s
150 mm	1.45 m/s
200 mm	1.60 m/s
250 mm	1.60 m/s
300 mm	1.70 m/s
Mayor que 400 mm	1.80 m/s

Nota. Adaptado de la Resolución 0330 de 2017, Reglamento Técnico —RAS.

3.4.8 Longitud de Tubería

Es importante conocer la longitud de la tubería que se va a emplear para transportar el agua desde la toma de fondo hasta el tanque de almacenamiento. Se sabe que el municipio de Aguachica se encuentra a 162 m.s.n.m.

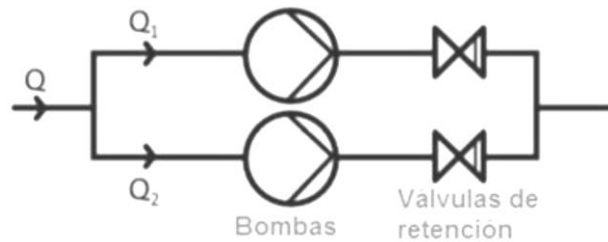
Teniendo en cuenta que, en bombas centrífugas, la altura de succión debe ser inferior a los 5 metros, se tomará una altura de succión de 4 metros, y 2 metros para la línea de descarga.

Figura 2*Gráfica del sistema de bombeo*

Los ramales de succión y descarga serán ubicados para la configuración de bombas en paralelo.

Figura 3

Análisis de distribución de bombas y válvulas



3.4.9 Altura Dinámica Total

Se conoce como el incremento total de la carga del flujo a través de la bomba. Se relaciona mediante la suma de la carga de succión y la carga de impulsión:

$$H_B = H_s + H_i \quad (\text{Ec. 8})$$

$$H_B = \text{Altura dinámica [m]}$$

$$H_s = \text{Carga de succión [m]}$$

$$H_i = \text{Carga de impulsión [m]}$$

$$H_s = h_s + h_{fs} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$h_s = \text{Altura de succión}$$

$$h_{fs} = \text{Pérdidas en la succión}$$

$$H_i = \frac{P}{\text{Densidad} * g} + \frac{v^2}{2 * g} + z \quad (\text{Ec. 10})$$

P : Presión

v : Velocidad

z : Altura de descarga

3.4.10 Selección de la Bomba

Una de las partes más indispensables e importantes del proyecto es la selección de la bomba. Debe cumplir con los parámetros requeridos y cumplir con su función para entregar los caudales proporcionados y calculados.

Para poder consultar las diferentes gráficas de curvas, se requiere conocer los siguientes datos: Caudal de diseño, horas de servicio, vida útil, altura sobre el nivel del mar, temperatura del agua y altura dinámica total.

3.4.11 Selección de Motores

En la práctica, se conoce que la mayoría de las estaciones de bombeo utilizan los motores eléctricos para el accionamiento de las bombas y demás mecanismos que requieren movimiento. Los motores eléctricos más utilizados son los trifásicos asincrónicos, que tienen un comportamiento óptimo en rendimiento, vida útil y costo. Se tomará en cuenta la siguiente ecuación para determinar la potencia del equipo de bombeo y del motor eléctrico.

$$HP = \frac{Q * H}{76 * \mu} \quad (Ec. 11)$$

$HP =$ Caballos de fuerza ; $H =$ Altura manométrica

$Q =$ Gasto $\left(\frac{L}{min} \text{ y } gpm\right)$; $\mu =$ Eficiencia de bomba

3.4.12 Análisis Técnico Económico

A partir de la información planteada, se realiza un estudio técnico – económico que permite la obtención del escenario más favorable para la toma de decisiones en futuro. También se analizan los efectos positivos como costos y ganancias que esta propuesta plantea para la comunidad beneficiaria.

Uno de los indicadores que tiene mayor relevancia en el plan de investigación es la viabilidad rentable. Para analizar la viabilidad del proyecto se pueden utilizar diferentes métodos

de evaluación entre los cuales se pueden mencionar: Valor actual neto (VAN). Aquí se tomarán en cuenta los tiempos de vida útil para cada elemento, los costos de inversión, operación y mantenimiento; los cuales serán de ayuda para analizar, evaluar y optimizar las necesidades del presente estudio. No se tomará en cuenta los costos y beneficios del lugar de donde se tomará el agua, únicamente se tomará los costos del sistema de bombeo de agua potable.

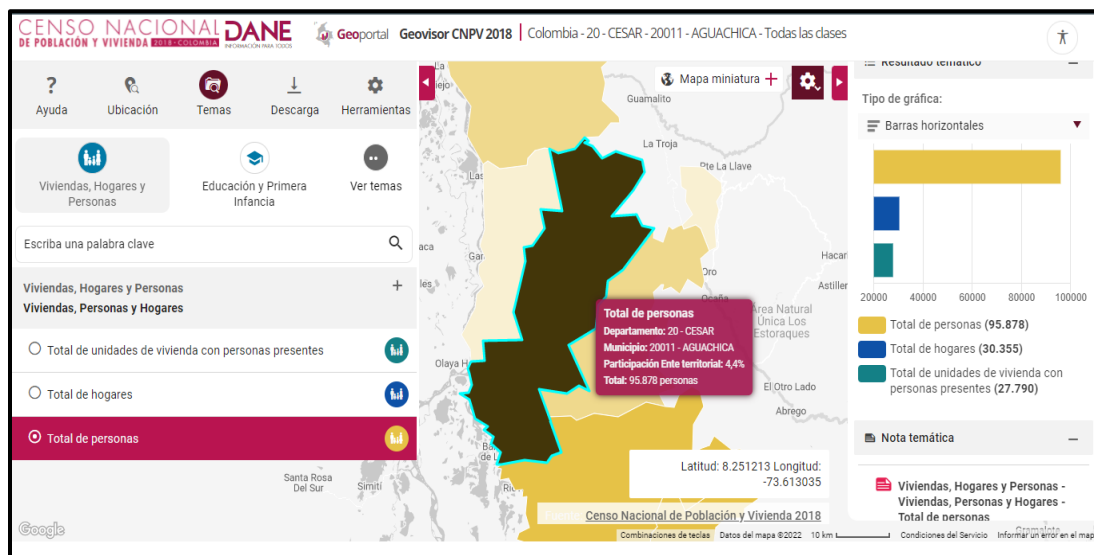
Una vez analizados estos resultados se puede determinar si el proyecto es viablemente rentable.

4. Resultados y Discusión

4.1 Estimación de la Población

Figura 4

Información en materia demográfica, habitantes del municipio, DANE



Nota. Adaptado de Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2018).

En cuanto a natalidad, el municipio de Aguachica mantiene una tendencia poblacional; pero debido a que su ubicación en el país se da conectando la parte central del país con la costa

caribe, tiende a tener muchos migrantes que al principio llegan de paso, pero luego se plantan a vivir en el municipio donde tienen familia con oriundos del municipio y llegan a tener su vivienda y vehículos de transporte.

Teniendo en cuenta el número de habitantes, hogares y la totalidad de barrios que se encuentran habitados por personas (85 barrios) en el municipio, se estima un valor de habitantes por barrio de 1.128 habitantes y 358 hogares por barrio. Para el estudio proyectado en el barrio San Martín, se tomarán estos valores para el cálculo del consumo de agua y demás.

4.2 Dotación Neta por Habitante

Tabla 5

Dotación neta para consumo residencial

Población	Consumo mínimo (L/hab*día)	Consumo máximo (L/hab*día)
<2500 habitantes	100	150
2500-12500 hab	120	180
12500-60000 hab	130	
>60000 hab	150	

Nota. Adaptado de la Resolución 0330 de 2017, Reglamento Técnico —RAS.

Teniendo en cuenta la información planteada por el Reglamento Técnico RAS (ver Tabla 5) y la cantidad de habitantes por barrio para quienes se diseña el sistema de acueducto, se adopta un valor de dotación neta de 120 L/hab*día. Este valor es escogido por medio los Reglamentos Técnicos del RAS y las tablas que suministran la altitud en la que se encuentra la población y su consumo mínimo (ver Tablas 1 y 2).

4.3 Dotación Bruta

Con base en la Ec. 1:

$$\text{Dotación bruta} = \frac{\text{Dotación neta}}{1 - \% \text{ de pérdidas}}$$

$$\text{Dotación bruta} = \frac{120 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}}{1 - 0.25}$$

La dotación neta que corresponde al consumo mínimo por cada habitante es de:

$$\text{Dotación bruta} = 160 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}$$

4.4 Caudales de Diseño

4.4.1 Caudal Medio Diario (L/día)

Se calcula a partir de la Ec. 2:

$$Q_{md} = \frac{\text{Población} * \text{Dotación bruta}}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{1128 \text{ hab} * 160 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}}{86400 \text{ s/día}}$$

$$Q_{md} = 2,0889 \frac{L}{s}$$

4.4.2 Caudal Máximo Diario (L/día)

Con base en la Ec. 3 y la Tabla 3:

$$Q_{MD} = Q_{md} * K_1$$

K_1 : Coeficiente de consumo máximo diario = para este caso será de 1,30

$$Q_{MD} = 2,0889 \frac{L}{s} * 1,30$$

$$Q_{MD} = 2,72 \frac{L}{s}$$

4.4.3 Caudal Máximo Horario (L/hora)

Con base en la Ec. 4 y la Tabla 3:

$$Q_{MH} = Q_{md} * K_2$$

K_2 : Coeficiente de consumo máximo diario = para este caso será de 1,60

$$Q_{MH} = 2,0889 \frac{L}{s} * 1,60$$

$$Q_{MH} = 12032,06 \frac{L}{h}$$

4.4.4 Caudal de Diseño (L/seg)

Para la red de distribución, se realizará un bombeo durante 20 horas al día. Se calcula con base en la Ec. 5:

$$Q_d = Q_{MD} * \frac{24}{h_{servicio}}$$

$$Q_d = 2,262 * \frac{24}{20 \text{ horas}}$$

$$Q_d = 3,264 \frac{L}{s}$$

4.4.5 Tubería Principal de Succión y de Descarga

Se calcula con base en la Ec. 6:

$$D_e = 1,3 * \left(\frac{t}{24}\right)^{0,25} * \sqrt{Q_d}$$

D_e : Diámetro

t : Servicio de horas = 20

$$Q_d = \text{Caudal de diseño} \left(\frac{m^3}{s}\right) = 3,264 \frac{L}{s} = 0,0557 \frac{m^3}{s}$$

$$D_e = 1,3 * \left(\frac{20}{24}\right)^{0,25} * \sqrt{0,0557 \frac{m^3}{s}} = 0,293 m$$

$$D_e = 11,53 in$$

$$D_N = 12 in$$

Se tuvieron en cuenta factores comerciales para la selección del material de la tubería, como lo son los costos de instalación, costos del material y durabilidad en el tiempo. Hoy en día, es común ver cómo se reemplazan las tuberías de cobre por las de propileno, debido a su bajo costo; ya que al no encontrarse tan fácil el cobre en la naturaleza últimamente, este tiende a un alza. Aunque la utilización de propileno en tubería en diámetros grandes genera un gran costo al momento de realizar las uniones entre varios segmentos de tubería, se decide implementar una tubería de propileno (PP-R), que es amigable con el medio ambiente, se mantiene con el largo del tiempo y en cuanto a costos de instalación y de uniones entre segmentos es mucho más económico que al optar por un material como el cobre o el acero inoxidable, que es más elevado en cuanto costos. Además, el propileno tiene excelentes resistencias a presiones, lo cual beneficia el segmento de tubería que conducirá el agua hasta su consumo.

Descrito lo anteriormente mencionado, se escoge un diámetro nominal (D_N) de 12 pulgadas con el material PP-R (propileno), que es un material que garantiza una larga vida útil y se caracteriza por su ligereza por su bajo peso, facilitando su montaje y transporte; además de ser resistentes a la corrosión y a los rayos UV. En cuanto a uniones, este material cuenta con todo tipo de ellas, desde uniones mediante soldadura a tope y electrofusión hasta uniones mediante bridas o accesorios mecánicos.

4.4.6 Comprobación de Velocidad Máxima Aceptable en la Succión

Con base en la Ec. 7:

$$Q_d = V * A$$

$$V = \frac{Q_d}{A} = \frac{0,0557 \frac{m^3}{s}}{\pi * (0,1465 m)^2} = 0,8260 \frac{m}{s}$$

El diámetro en estudio es de 304.8 [mm], por lo cual se solicita una velocidad máxima de 1.70 m/s (ver Tabla 4) y la obtenida fue de 0.8260 m/s, lo que indica una respuesta positiva.

4.4.7 Altura Dinámica Total

Se recuerda que se tomó una altura de succión de 4 metros y 2 metros para la línea de descarga. Con base en las Ec. 8, 9 y 10:

$$H_B = H_s + H_i$$

$$H_B = \text{Altura dinámica [m]}$$

$$H_s = \text{Carga de succión [m]}$$

$$H_i = \text{Carga de impulsión [m]}$$

$$H_s = h_s + h_{fs}$$

$$h_s = \text{Altura de succión} = 4 \text{ [m]}$$

$$h_{fs} = \text{Pérdidas en la succión} = 0,2932 \text{ [m]}$$

$$H_s = 4 + 0,2932 = 4,2932 \text{ [m]}$$

$$H_i = \frac{P}{\text{Densidad} * g} + \frac{v^2}{2 * g} + z$$

$$P: \text{Presión} = 101300 \text{ [pa]}$$

$$\text{Densidad} = 1000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$v: \text{Velocidad} = 0,8260 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$z: \text{Altura de descarga} = 2[m]$$

$$H_i = 12,3715 [m]$$

$$H_B = H_s + H_i = 4,2932 + 12,3715 = 16,6647 [m]$$

4.4.8 Selección de la Bomba

Datos a tener en cuenta para la selección de las bombas:

- Caudal de diseño: 3.264 L/s
- Horas de servicio: 20 horas
- Vida útil: 5 años
- Altura sobre el nivel del mar: 162 msnm
- Temperatura del agua: 25° C
- Altura dinámica total: 16.6647 m

Figura 5

Curvas de operación para la bomba 40-200

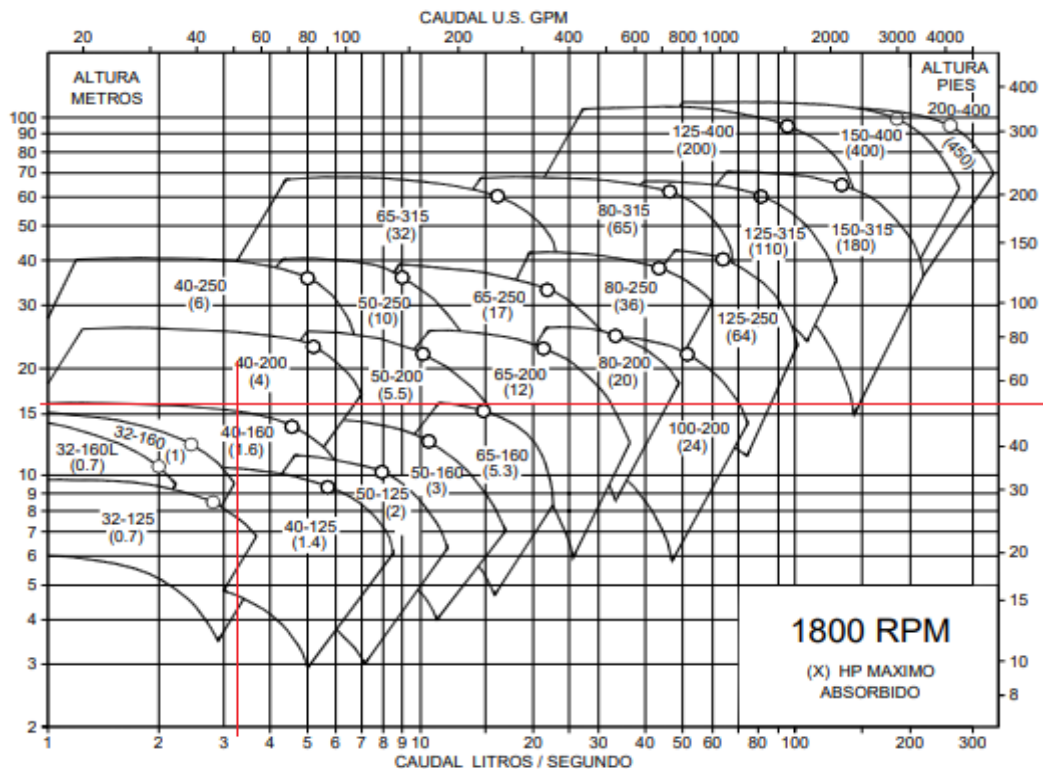
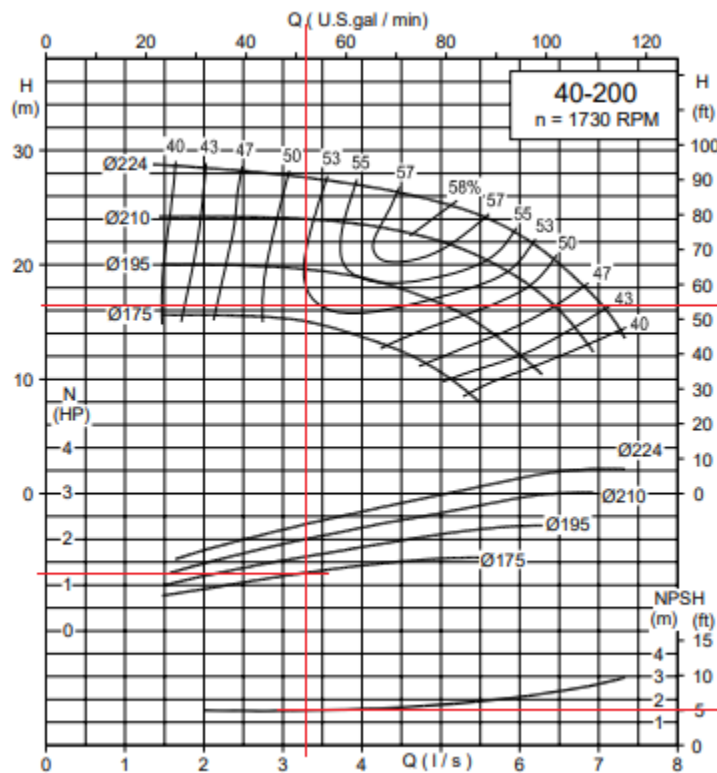


Figura 6

Curvas de operación para la bomba 40-200 a 1730 RPM



De las anteriores gráficas y datos, se puede llegar a tener criterios de selección de una bomba que satisfaga las necesidades de la planta, la cual puede tener las siguientes características:

- Caudal: 3.264 L/s
- Eficiencia del motor: 52%
- Potencia máxima: 1.3 HP
- Velocidad del rotor: 1730 RPM
- NPHS requerido: 1.5 m

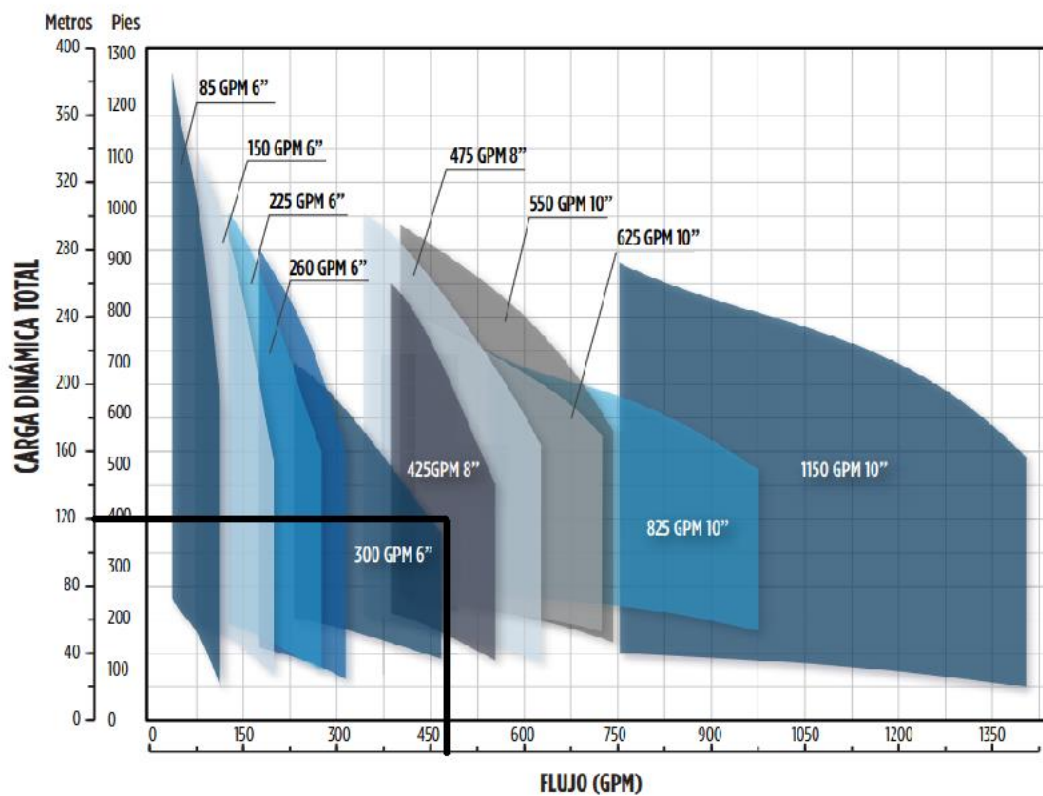
Para los pozos perforados, donde se estima una extracción de agua a más de 80 metros de profundidad, se determina que la bomba que más se ajusta en cuanto a eficiencia y caudales son las bombas sumergibles. Se puede instalar una bomba sumergible por pozo, pues es un equipo que

puede trabajar las horas estipuladas en este proyecto, que son 20 horas por día y con un caudal de 30 L/s, ya que es un caudal que no afecta el acuífero y puede generar una mejora en cuanto a la vida útil de la estación de bombeo.

Teniendo en cuenta que en la mayoría de los pozos las bombas sumergibles tendrán una instalación entre los 100 y los 120 metros de profundidad, se consideran los anteriores datos para seleccionar qué tipo de bomba sumergible se empleará en los pozos.

Figura 7

Gráfica de curvas características de bombas sumergibles

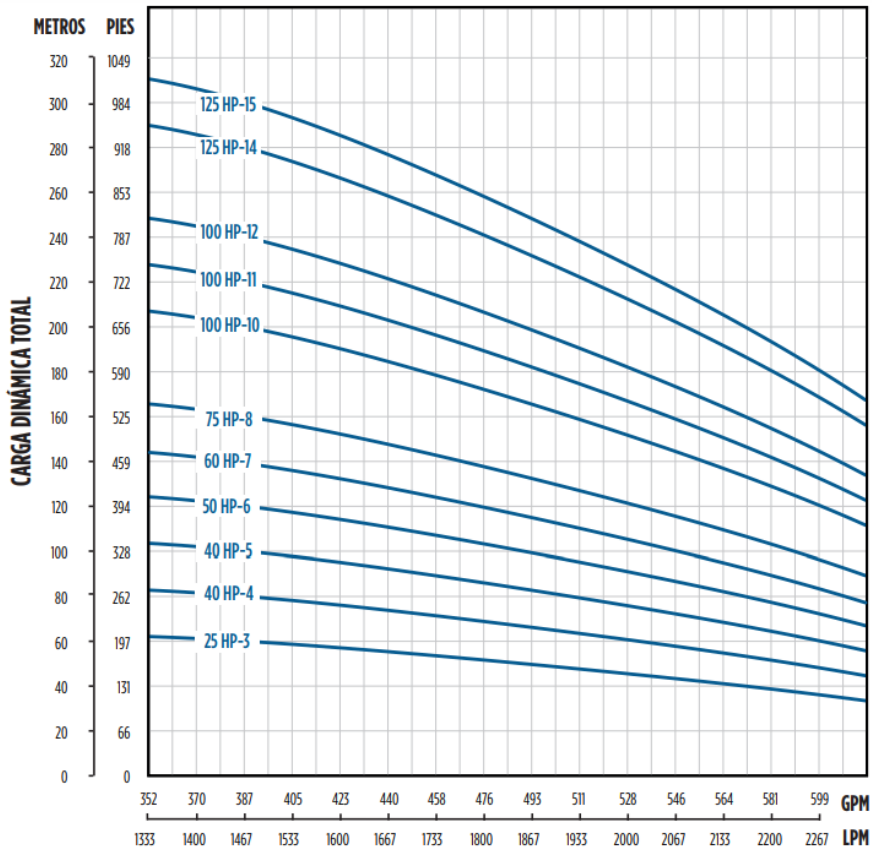


Nota. Adaptado de Franklin Electric (2016).

Siguiendo con la información de las curvas anteriores y ubicando los datos necesarios, se elige el tipo de bomba sumergible 425GPM 8''.

Figura 8

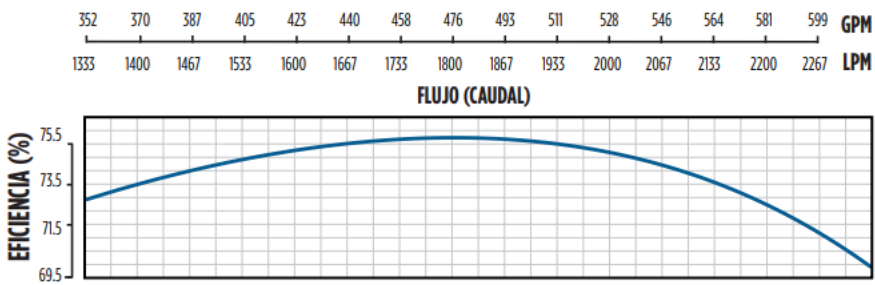
Gráfica de la curva de la bomba tipo 425GPM 8''



Nota. Adaptado de Franklin Electric (2016).

Figura 9

Gráfica rendimiento de la bomba tipo 425GPM 8''.



Nota. Adaptado de Franklin Electric (2016).

La bomba contaría con un rendimiento de un 75.5% según las gráficas proporcionadas anteriormente y cumpliría con los requisitos especificados según las diferentes profundidades de los pozos y sus cargas dinámicas.

4.4.9 Selección de Motores

Con base en la Ec. 11:

$$HP = \frac{Q * H}{76 * \mu}$$

$HP =$ Caballos de fuerza ; $H =$ Altura manométrica

$Q =$ Gasto $\left(\frac{L}{min} \text{ y } gpm\right)$; $\mu =$ Eficiencia de bomba

Dichos parámetros se trabajan con valores de 30 L/s, 16.66 m y 75.5% para Caudal, altura manométrica y eficiencia de la bomba respectivamente, proporcionándonos un caballo de fuerza de 6.6 [hp].

Por consiguiente, se opta por usar un motor eléctrico de corriente alterna asincrónica trifásico de 2 polos de 7.5 hp de carcasa de hierro fundido que trabaja a 3520 rpm marca WEG modelo W22. Tiene bajo nivel de ruido y baja temperatura de funcionamiento, lo que lo hace ideal para diversas aplicaciones industriales. Debido a su estructura simple y fuerte, es un motor de impulsión ideal, no hay necesidad de cambiar constantemente la velocidad en un amplio rango.

4.4.9.1 Funcionamiento de Motores Asincrónicos. Se definen los siguientes parámetros para conocer más a fondo el comportamiento de los motores eléctricos frente a distintos estados de carga.

4.4.9.1.1 Rendimiento. En estos equipos se ve un aumento instantáneo en un intervalo de cero hasta tomar valores muy altos de carga, iniciando en un 20% del valor nominal hasta dar con su tope máximo; esto quiere decir, cuando alcanza el mismo valor de la potencia nominal.

4.4.9.1.2 Velocidad. Con la determinación del deslizamiento del motor, podemos evidenciar que su velocidad asincrónica no varía mucho para los diversos estados de potencia; es decir, los motores eléctricos son imperceptibles a la alteración de la carga.

4.4.9.1.3 Factor de potencia. Este parámetro es una particularidad fundamental del comportamiento de los motores, especialmente en esta época, debido a la importancia económica que tiene el aumento de la potencia reactiva en relación con los servicios de energía eléctrica.

4.4.9.1.4 Intensidad. El consumo de corriente por estas máquinas mantiene una corriente de vacío elevada en relación a la nominal. Mientras que, podemos evidenciar que su variación es casi nula en relación a la disminución de la carga.

Tabla 6

Eficiencia del motor

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado II/In		Par de arranque Ta/Tn	Par máximo Tm/Tn	Inercia J (kgm ²)	Tiempo máx. con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	460 V						Corriente nominal In(A)	
HP	kW			% de la potencia nominal					Caliente	Frio				Rendimiento			Factor de potencia				
				Letra	la/In									Ta/Tn	50	75	100	50	75		100
II polos																					
1	0,75	143/5T	2,02	L	8,2	2,8	3,4	0,0014	22	48	16,5	68,0	3480	75,0	79,0	81,5	0,63	0,74	0,80	1,44	
1,5	1,1	143/5T	3,02	L	8,9	3,5	3,8	0,0020	21	46	18,5	68,0	3490	81,5	84,0	84,0	0,70	0,80	0,84	1,96	
2	1,5	143/5T	4,04	L	8,9	3,5	3,8	0,0026	17	37	23,5	68,0	3475	82,5	85,5	85,5	0,71	0,80	0,86	2,56	
3	2,2	182/4T	5,99	K	8,6	2,5	3,8	0,0080	41	90	40,0	69,0	3515	82,5	86,5	86,5	0,75	0,84	0,88	3,63	
5	3,7	182/4T	10,0	J	7,6	2,3	3,5	0,0094	25	55	40,0	69,0	3500	86,5	88,5	88,5	0,76	0,85	0,89	5,90	
7,5	5,5	213/5T	15,0	H	7,2	2,1	3,0	0,0197	27	59	63,0	72,0	3520	87,5	89,5	89,5	0,75	0,84	0,88	8,76	
10	7,5	213/5T	20,0	H	7,2	2,2	2,9	0,0268	24	53	74,0	72,0	3520	89,5	90,2	90,2	0,79	0,87	0,90	11,6	
15	11	254/6T	29,9	G	6,7	2,2	2,7	0,0530	25	55	107	72,0	3530	89,5	91,0	91,0	0,77	0,85	0,88	17,2	
20	15	254/6T	39,9	G	6,1	2,0	2,4	0,0647	21	46	122	72,0	3520	91,0	91,7	91,0	0,82	0,87	0,89	23,2	

Nota. Adaptado de Grupo WEG (2017). W22 – Eficiencia Premium – 60 Hz.

4.4.10 Análisis Técnico Económico

El propósito del análisis técnico-económico es determinar si el “Diseño Estación de Bombeo Agua Potable Aguachica” es rentable y/o viable, es decir, si la inversión económica/financiera realizada en el año inicial se recuperará a corto o largo plazo (periodo de recuperación) y, a su vez, que se cumpla con el objetivo social. Etapa del proyecto donde se

evidencia la diferencia entre lo que llamamos ingresos y costos del proyecto (método económico), es en este punto donde se nos indica evaluar la viabilidad de un proyecto.

Con el análisis técnico-económico, se analiza el estado de las inversiones que se pretende realizar, es decir, los costos realizados y los ingresos que se pretender recibir y, teniendo muy en cuenta la variable tiempo. Para lo anterior, se debe aplicar la siguiente métrica financiera: Valor actual neto (VAN). Una vez analizados estos resultados, se puede determinar si el proyecto resulta rentable.

4.4.10.1 Calculo de valor actual neto (VAN). El principio de este modelo es llevar al año cero o año inicial del proyecto todos los costos, para así poder compararlos de manera correcta.

Datos:

Habitantes beneficiarios: 1.128 personas (Población del barrio San marcos)

Consumo /mes de agua de cada persona: 3,8 m³

Precio del m³ de agua en la actualidad: \$2.100 (Fuente: Recibo emitido por la empresa de servicios públicos de Aguachica)

Tasa de interés: 5%

Periodo: 4 años (Tiempo aproximado de vida útil de algunos equipos que hacen parte de la estación de bombeo)

Inversión actual (según presupuestos anexados): \$111.309.836.

$$VAN = \sum_n^t \frac{fn}{(1-i)^s} \quad (Ec. 12)$$

Donde:

fn = Flujo de cada por periodo

n = periodos

$i = \text{Tasa de interés}$

$$\text{VAN} = -111.309.836 + 35.000.000/1,05 + 35.000.000/1.1025 + 41.300.836/1,157625 + 30.000.000/1,21550625$$

$$\text{VAN} = -111.309.836 + 125.445.428,85$$

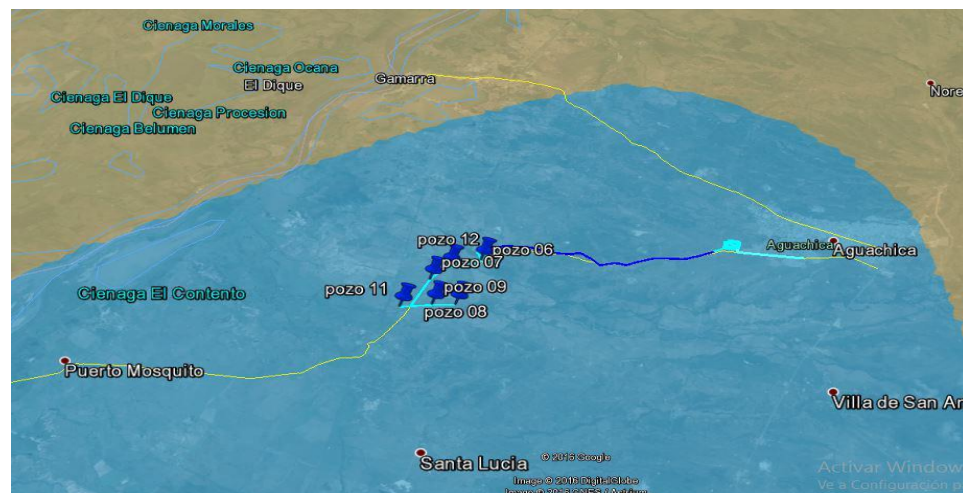
$$\text{VAN} = 14.135.592,85$$

Del anterior ejercicio se puede deducir que, sí es conveniente realizar la inversión en este proyecto social que beneficiará a la comunidad del barrio San Marcos de la ciudad de Aguachica, dado que la inversión se recupera a mediados del cuarto año de realizada esta. Además, este es el tiempo adecuado para empezar a realizar plan de mantenimiento de los equipos de la estación de bombeo. En conclusión, es viable realizar el proyecto.

4.4.10.2 Aguas Subterráneas. Este proyecto consiste en analizar la viabilidad de una estación de un sistema de bombeo para la optimización del agua potable en el barrio San Marcos en el municipio de Aguachica-Cesar. Para lograr esto, se opta por la captación de agua subterránea que se encuentra debajo del municipio de Aguachica, como se muestra a continuación:

Figura 10

Aguas subterráneas en el municipio de Aguachica, Cesar

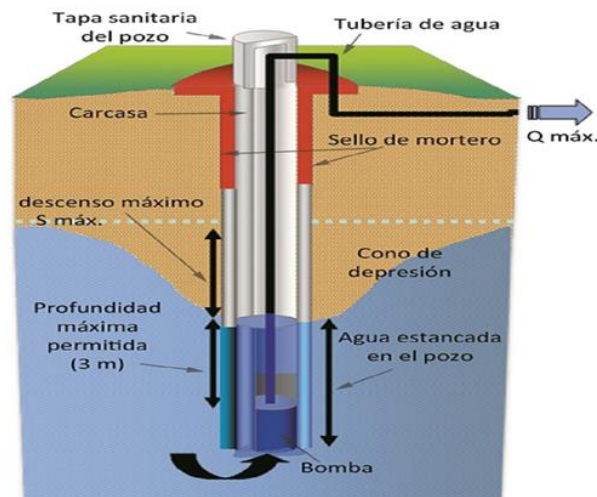


Nota. Adaptado de Google Maps.

Dicha imagen, demuestra una gran fuente de agua subterránea ubicada en el sector de la vereda Buturama, que puede suplir con la necesidad del recurso hídrico a gran parte de la comunidad de Aguachica que no cuenta con acceso a este. Dicho déficit está afectando más a los sectores nuevos, donde algunos no cuentan siquiera con acueducto ni alcantarillado para aguas negras, sufriendo el desbocamiento de dichas aguas en fuertes lluvias y sufriendo la escasez de agua en sequías.

Figura 11

Esquema de pozo de agua profunda



Nota. Adaptado de Life Rural Supplies (s.f.).

En una investigación hecha por Sánchez (2019), se dio a conocer que, actualmente, existen 12 pozos perforados en la vereda, contando con diferentes profundidades y diámetros. Además, se evidenció que tienen producciones entre los 5 y 32 litros por segundo, siendo un buen caudal para suplir con las necesidades de agua planteadas en este proyecto para las viviendas del barrio en dicho sector. Según dicho estudio, esto propicia la opción de perforación de nuevos pozos para la recolección y utilidad del agua necesaria para el desarrollo de dicho proyecto y ubicar una estación de bombeo óptima con caudales y presión necesarias para suplir las necesidades del agua para el barrio San Marcos y, así, también dejando una estación con disponibilidad de ampliación a futuro;

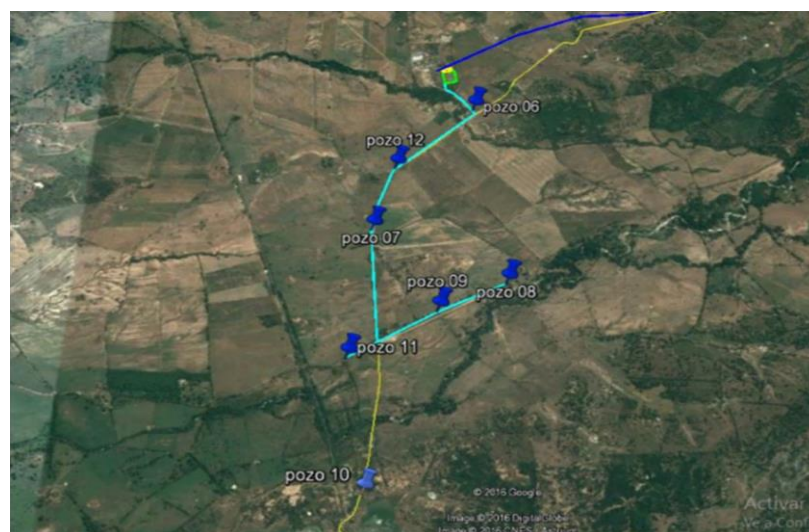
donde, en llegado caso de una posible ampliación de la zona, se cuente con dicha estación para suplir con el recurso hídrico.

Desde otro punto de vista, la alcaldía del municipio de Aguachica dio a conocer resultados muy reconfortantes sobre un estudio geoelectrico realizado en el año 2014 con diversos sondeos eléctricos verticales (SEV) a través de la empresa Ingeoexploraciones. Dicho estudio, se efectuó en diversos sectores del municipio del Cesar, evidenciando que las aguas subterráneas son imprescindibles para la optimización del acueducto. Del mismo modo, se determina que la zona ubicada en el sector de la vereda Buturama posee la mayor área con potencial hídrico (Sánchez, 2019).

Dada la anterior información hidrológica, en este proyecto se opta por usar esas aguas subterráneas como fuentes de captación de agua que será succionada e impulsada por bombas y llevada hacia la estación de bombeo, donde se le realizará todo su proceso de purificación y posteriormente, su distribución a la red hacia la comunidad.

Figura 12

Esquema de ubicación de pozos perforados



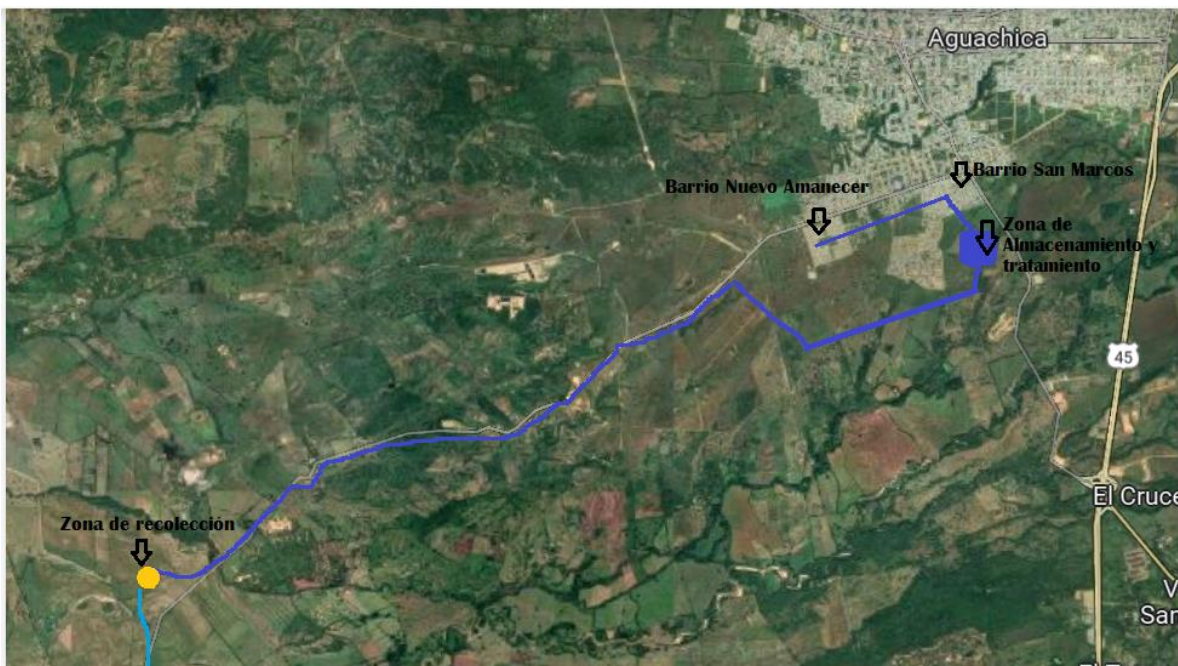
Nota. Adaptado de Sánchez (2019).

Teniendo en cuenta el estudio realizado por la alcaldía en 2014 con ayuda de Ingenioexploraciones, arrojan los sondeos eléctricos verticales 6 al 12 con las mejores características hidrológicas y con excelentes probabilidades de perforaciones de pozos para la suministración del agua potable; los cuales serán los elegidos para la exploración y apertura de pozos subterráneos para la captación del agua.

En cuanto al diseño que conlleva las tuberías y contempla todos los recursos desde la captación, el transporte del fluido hasta la planta de tratamiento y luego su debida distribución; se tiene como referencia un punto de almacenamiento cerca de la quebrada el gallinazo a 58 metros sobre el nivel del mar, donde recorre 8 kilómetros en dirección hacia el municipio de Aguachica, donde se encontrarán los estanques de almacenamiento para el agua; donde por último será transportada hacia su debida distribución en el barrio San Marcos y aledaños.

Figura 13

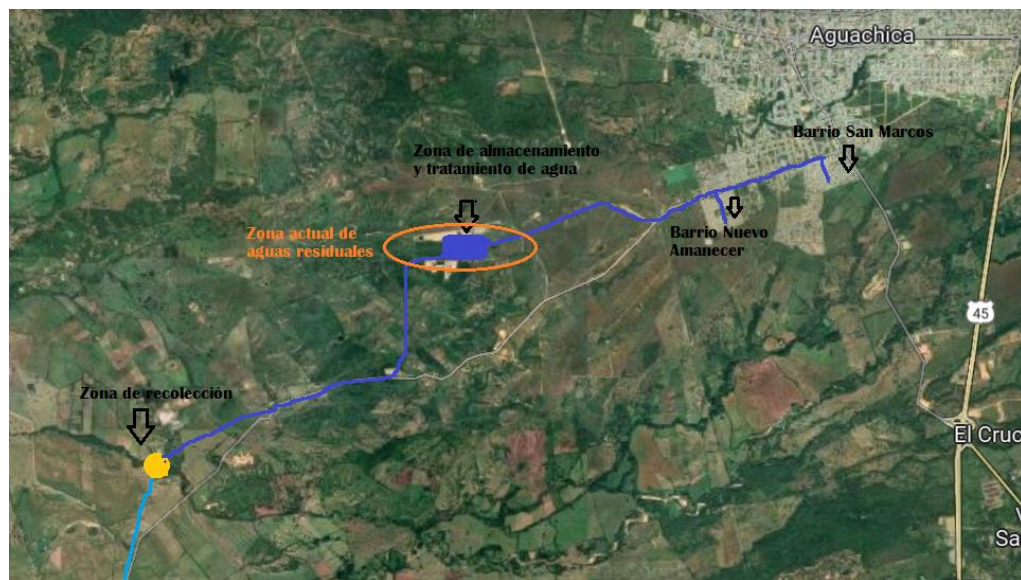
Esquema futuro montaje de tubería y zonas de almacenamiento



Actualmente, en la vereda Las Bateas, se encuentran los pozos sépticos donde son vertidas todas las aguas negras del municipio de Aguachica. Debido a la gran expansión que ha sufrido el municipio, y que cada día se siguen construyendo urbanizaciones en la vía cerca a Puerto Mosquito, hace que la distancia entre el municipio y los pozos sépticos sea cada vez menor, haciendo de esto un peligroso daño a futuro, ya que se sigue proyectando futuras urbanizaciones y expansiones del municipio; lo cual haría que se deba buscar una nueva localización de otros pozos para verter las aguas residuales del municipio. Siendo así, para unas futuras investigaciones, se recomienda tomar en cuenta dichas piscinas para un posible almacenamiento de agua, aprovechando así el recurso ya estipulado en el hábitat y no teniendo que optar por la construcción de nuevos estanques de almacenamientos. Esto podría mejorar la expansión de una subse de una estación de bombeo hacia otras zonas o simplemente contar con esos estanques como medida de almacenamiento de agua potable.

Figura 14

Montaje de futuro uso de piscinas sépticas



4.4.11 Presupuesto

El presupuesto que embarca todo lo relacionado a costos de papelería y ejecución de programas para desarrollar la idea se evidencia en la Tabla 7, que comprende costos reales de *software*, póliza estudiantil y equipos de cómputo requeridos.

Luego, se encuentra el presupuesto de cotizaciones requeridas para el alquiler de maquinaria, costeo de personal y mano de obra, tuberías, materiales y demás herramientas necesarias para una futura ejecución del proyecto planteado (ver Tabla 8).

Tabla 7

Presupuesto estudiantil

ANÁLISIS DE PRESUPUESTO						
#	CONCEPTOS	FINANCIAMIENTO	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. CANTIDAD
1 Recursos Humanos						
1,1	Director del proyecto	Universidad	Hora	80	\$ 60.000,00	\$ 4.800.000,00
1,2	Estudiante 1	Autor	Hora	240	\$ 20.000,00	\$ 4.800.000,00
1,3	Estudiante 2	Autor	Hora	240	\$ 20.000,00	\$ 4.800.000,00
Subtotal de Recursos Humanos						\$ 14.400.000,00
2 Equipos						
2,1	Equipo Cómputo	Autor	Unidad	2	\$ 2.000.000,00	\$ 4.000.000,00
2,2	Red Móvil	Autor	Mes	4	\$ 90.000,00	\$ 360.000,00
Subtotal Equipos						\$ 4.360.000,00
3 Software						
3,1	Microsoft Office 365 Personal Estudiante 1	Universidad	Año	1	\$ 280.000,00	\$ 280.000,00
3,2	Microsoft Office 365 Personal Estudiante 2	Universidad	Año	1	\$ 280.000,00	\$ 280.000,00
3,3	AutoCAD 2.0	Universidad	Año	1	\$ 900.000,00	\$ 900.000,00
3,4	Solidworks student	Universidad	Año	1	\$ 900.000,00	\$ 900.000,00
Subtotal Software						\$ 2.360.000,00
4 Materiales						
4,1	Gastos de papelería	Autores	Mes	4	\$ 30.000,00	\$ 120.000,00
Subtotal Materiales						\$ 120.000,00
5 Adicionales						
5,1	Póliza estudiantil	Universidad	Unidad	2	\$ 35.000,00	\$ 70.000,00
Subtotal Adicional						\$ 70.000,00
COSTO PARCIAL					\$	21.310.000,00
IMPREVISTOS (10% COSTO PARCIAL DEL PROYECTO)					\$	2.131.000,00
COSTO TOTAL					\$	23.441.000,00

Tabla 8

Presupuesto del proyecto general

PRESUPUESTO						
DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA POTABLE EN EL BARRIO SAN MARCOS DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA CESAR						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
1.0	ESTACIÓN DE BOMBEO					
1.1	Captación tipo pozo y sus elementos: desagüe de fondo con tapón hembra o válvula, granada (filtro) y/o material de filtro (escollera y grava), rebosadero, válvula de paso y caja de registro que contiene la llave de paso.	1	1	\$ 1.460.000,00	\$	1.460.000,00
1.2	Depósito de Bombeo incluye: tubo de rebalse o niple de desaire, desagüe de fondo o de limpieza. (con válvula de paso o tapón hembra con su caja de registro).	1	1	\$ 9.200.000,00	\$	9.200.000,00
1.3	Caseta de control	1	1	\$ 4.000.000,00	\$	4.000.000,00
1.4	Bombas. Incluye: motor eléctrico e instalación	1	1	\$ 16.000.000,00	\$	16.000.000,00
1.5	Instalación eléctrica monofásica	1	1	\$ 7.000.000,00	\$	7.000.000,00
1.6	Tubería entre captación y depósito (material de hierro)	tub. 6 m	1	\$ 273.480,00	\$	273.480,00
1.7	Accesorios de la tubería que va de captación al depósito: Pegamento y/o Uniones universales y Codos	tub. 6 m	16	\$ 7.200,00	\$	115.200,00
1.8	Tubería de impelencia (material de hierro)	tub. 6 m	1	\$ 504.000,00	\$	504.000,00
1.9	Accesorios para la impelencia incluyendo válvula de paso (de globo, de compuerta o mariposa). Uniones universales cada 50 m y en cada válvula. Purgas de aire de doble acción y su arqueta. Niples y camisas. Válvulas anti retorno. Codos. Purgas de aire con su arqueta. Válvulas Cheque	tub. 6 m	210	\$ 13.720,00	\$	2.881.200,00
2.0	RECURSOS HUMANOS					
2.1	Ingeniero director de obra	mes	4	\$ 3.622.160,00	\$	14.488.640,00
2.2	Maestro de obra	mes	4	\$ 2.057.160,00	\$	8.228.640,00
2.3	Albañil	mes	4	\$ 1.371.440,00	\$	5.485.760,00
2.4	Técnico-Promotor de desarrollo comunal	mes	2	\$ 905.480,00	\$	1.810.960,00
	Oficial contado	mes	2	\$ 3.622.160,00	\$	7.244.320,00
	Financiación inicial fontanero comunidad	mes	2	\$ 594.280,00	\$	1.188.560,00
SUBTOTAL DEL PROYECTO					\$	79.880.760,00
IMPREVISTOS 10%					\$	7.988.076,00
TOTAL DEL PROYECTO					\$	87.868.836,00

No es ajeno el tema de que la inflación en el país ha afectado diversos sectores en la nación donde el sector de construcción e infraestructura no ha sido la excepción. Hoy en día, se pueden obtener opciones de construcción e infraestructura mucho más viables que los de antes, contando con tecnología mucho más avanzada y mucho más atractiva para el ojo humano; pero cuando llega el momento de analizar los costos, estos van a ser mucho más elevados si se comparan con infraestructuras cotizadas y ejecutadas hace muchos años. Esto debido a la inflación global que hace que todo tiende al alza, aumentando desde materiales hasta mano de obra.

Un informe de una periodista de Portafolio esquematiza un panorama del crecimiento de diversos campos de construcción y en algunos materiales en Colombia. Según el grupo de costos, mientras que las herramientas lideran la lista, prosiguió el aumento general del valor en los servicios de construcción con un aumento del 15.8% en diciembre del 2022, comparado con el mismo periodo del 2021; seguida de esta cifra, los aumentos superiores al 5% en materiales, maquinaria y equipamiento y mano de obra (Galeano, 2023).

Otro factor a considerar es la escasa explotación de recursos en los últimos años, ya que materiales como el cobre son casi imposibles de encontrar en el país.

Habiendo mencionado lo anterior, para generar un análisis económico viable, se tomaron en cuenta referencias de proyectos ejecutados en la zona, como la inversión a la mejora de la antigua planta potabilizadora, donde se realizaron actividades como ampliación y optimización, situada en la bocatoma, por un valor de 10.500 millones de pesos. Se tomó como referencia para buscar un acercamiento que no sobrepase esta inversión, con tal de hacer la solución al lugar de bombeo de agua potable mediante extracción de agua subterránea una alternativa viable económicamente.

Finalmente, puesto que es una gran inversión, también se tendrá un gran beneficio a largo plazo para toda la comunidad de los sectores del barrio Villa San Marcos y alrededores, además de las futuras urbanizaciones construidas a sus alrededores. Sería una estación que impulsaría al crecimiento del municipio de Aguachica, ya que, al dar certeza de que futuras construcciones tendrán soporte de agua potable todos los días, este ya sería un factor positivo a tener en cuenta al momento de pensar en futuras construcciones aleatorias.

5. Conclusiones

Se realizó el diseño de una estación de bombeo de agua potable mediante extracción de agua subterránea, que según los cálculos realizados y con los estudios llevados a cabo en el área de ejecución, podría ser un proyecto completamente funcional para la zona en donde está destinado a emplearse.

Con base en el estudio proporcionado por una de las fuentes, se pudo establecer que las aguas subterráneas que se sitúan en la cercanía del barrio San Marcos tienen la capacidad de abastecer la demanda de agua exigida por ley y requerida por la comunidad, incluyendo tiempos de lluvia y sequía.

Con el constante crecimiento poblacional y estructural del municipio de Aguachica – Cesar, se tendría que reubicar la zona de desechos, dejando varias piscinas con la capacidad de servir como tanques reservorios de agua para una futura expansión de la estación.

La inversión que requiere el proyecto es mucho menor a las inversiones que se han aplicado en expandir la actual planta de tratamiento y que ha fracasado en darle mejoría a la comunidad de Aguachica en cuanto al acceso del agua potable a la comunidad.

Referencias Bibliográficas

- Aguas del Cesar. (17 de marzo de 2022). *Boletín N° 8 – Aguachica cuenta con una nueva fase de la Revolución del Agua: inicia construcción de la optimización y ampliación de la planta de tratamiento del agua potable*. <https://aguasdelcesar.gov.co/boletin-n-8-aguachica-cuenta-con-una-nueva-fase-de-la-revolucion-del-agua-inicia-construccion-de-la-optimizacion-y-ampliacion-de-la-planta-de-tratamiento-del-agua-potable>
- Antamba Pulla, A. S., & Rodríguez Sanmartín, E. F. (2017). *Estudio para el análisis y optimización de la red de agua potable de Sumak Yaku en el Cantón Otavalo Barrio Araque* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13628>
- Armenta, J., & Cañas Cervantes, H. (2009). *Evaluación del Potencial del Agua Subterránea en los Municipios de Curumaní, Pailitas, Tamalameque, Pelaya, La Gloria, Gamarra, Aguachica, Río de Oro, San Martín y San Alberto, Departamento del Cesar*. Corporación Autónoma Regional del Cesar [CORPOCESAR]. <https://www.corpocesar.gov.co/files/INFORME%20FINAL%20AGUAS%20SUBTERRANEAS%20SUR%20DEL%20CESAR.pdf>
- Barrios, C., Torres, R., Lampoglia, T., & Agüero, R. (2009). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades*. Organización Panamericana de la Salud [OPS]/Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS]. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BARRIOS%20et%20al%202009%20Guia%20de%20orientacion%20alcaldes.pdf

- Betancourt Prisco, J. C., & Ospina Berrío, J. E. (2010). *Diseño y construcción de un prototipo de caldera que usa como combustible cáscara de Jatropha Curca* [Trabajo de grado, Universidad EAFIT]. <http://hdl.handle.net/10784/4520>
- Cámara de Comercio de Aguachica. (2020). *Estudio Económico año 2020*. https://camaraaguachica.org.co/media/prensa/ESTUDIOS_ECONOMICOS_2020_CAMARA_DE_COMERCIO_DE_AGUACHICA.pdf
- Constitución Política de Colombia [Const]. Art. 366. 7 de julio de 1991 (Colombia).
- DANE. (2005). *Censo General 2005 Perfil Aguachica – Cesar*. <https://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/cesar/aguachica.pdf>
- DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>
- Decreto 1575 de 2007 [con fuerza de ley]. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 09 de mayo de 2007. D.O. No. 46623.
- Díaz Tangarife, M. D., & Moreno Moreno, J. A. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo para acueducto de Malambo, Atlántico* [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6909>
- Escalona, T. (2020). *En Aguachica 90% de la población no tiene agua desde hace un mes*. El País Vallenato. <https://www.elpaisvallenato.com/2020/03/31/en-aguachica-90-de-la-poblacion-no-tiene-agua-desde-hace-un-mes/>
- Etecé. (05 de agosto de 2021). *Agua potable*. Concepto. <https://concepto.de/agua-potable/>

- Fluideco. (22 de abril de 2019). *Funcionamiento sistemas de bombeo*.
<https://fluideco.com/funcionamiento-sistemas-de-bombeo/>
- Franklin Electric. (2016). *Catálogo bombas sumergibles – Serie SSI – Acero Inoxidable*.
<https://franklinagua.com/media/62940/lmx02030-ssi-series-catalog-pages-web.pdf>
- Franklin Electric. (s.f.). *Catálogo bombas sumergibles Serie SSI 6” – Troquelado Acero Inoxidable 304*. <https://franklinagua.com/media/37093/lco02001-catalogo-de-partes-colombia-03-15-industrial-sumergible-4-13.pdf>
- Galeano, P. (30 de enero de 2023). *Los más costosos: insumos de construcción que más han subido de precio*. Portafolio. <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/insumos-de-construccion-que-mas-han-subido-de-precio-en-colombia-577721>
- González Rodríguez, H. (28 de octubre de 2021). *Escasez de agua en Colombia*. El Espectador. <https://www.elespectador.com/opinion/columnistas/hernan-gonzalez-rodriguez/escasez-de-agua-en-colombia/>
- Grupo WEG. (2017). *Catálogo comercial mercado latinoamericano – Motor trifásico*.
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h60/h24/WEG-w22-motor-trifasico-50044029-brochure-spanish-web.pdf>
- Ibáñez-Ardila, J. A., & Sandoval-Rodríguez, C. A. (2015). *Diseño de sistemas de pozos para la captación de agua subterránea: caso de estudio La Mojana* [Trabajo de investigación, Universidad Católica de Colombia]. <http://hdl.handle.net/10983/2843>
- Inostroza Espejo, R. C. (2011). *Análisis técnico-económico de sistemas de elevación de aguas para edificios residenciales* [Trabajo de grado, Universidad de Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104337>

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (1998). *Referencias Documentales para Fuentes de Información Electrónicas* (NTC 4490).
<https://www.politecnicojic.edu.co/images/downloads/biblioteca/guias/NTC4490.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2008a). *Documentación. Presentación de tesis, Trabajos de Grado y otros Trabajos de Investigación* (NTC 1486).
https://academia.utp.edu.co/seminario-investigacion-II/files/2017/03/Norma_Tecnica_Colombiana_NTC_1486_completa_archivo.pdf
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2008b). *Referencias Bibliográficas. Contenido, Forma y Estructura* (NTC 5613).
<https://www.politecnicojic.edu.co/images/downloads/biblioteca/guias/NTC5613.pdf>
- Life Rural Supplies (s.f.). *Construcción y mantenimiento del pozo*.
<https://liferuralsupplies.wordpress.com/4-informacion-al-usuario/abastecimiento-autonomo/11-construccion-y-mantenimiento-del-pozo/>
- Lou, L. (02 de septiembre de 2020). *Colombia: rica en agua, pero con sed de inversiones*. El País.
<https://elpais.com/economia/2020-09-02/colombia-rica-en-agua-pero-con-sed-de-inversiones.html>
- Manchego Gil, G. K. J. (2019). *Diseño de estación de bombeo automatizada para la explotación de recurso hídrico subterráneo en la Región de Tacna* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3779>
- Ministerio de Desarrollo Económico [Mindesa]. (2000). *Documentación técnico normativa del sector de agua potable y saneamiento básico*.
https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_a_.pdf

- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. Publications CEPIS. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55454>.
- Ortega Moncayo, J. S. (2015). *Análisis tecno-económico para los sistemas de bombeo electrosumergible e hidráulico de los pozos de la estación Shushuquí del área Libertador* [Trabajo de grado, Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4956>
- Resolución 0330 del 2017 [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS. 08 de junio de 2017.
- Resolución 2115 de 2007 [Ministerio de Ambiente y Ministerio de Protección Social]. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 22 de junio de 2007.
- Resolución 2320 de 2009 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS. 27 de noviembre de 2009.
- Rey Molina, J. A., & Pinilla Zúñiga, L. M. (2020). *Diseño de una planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Riosucio – Chocó*. [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9398>
- Rodríguez, S., & Cisneros, P. E. (24 de octubre de 2022). *Abastecimiento comunal por bombeo con tratamiento*. Sustainable Sanitation and Water Management [SSWM]. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/sistemas-de/sistemas-de-abastecimiento-de->

agua/sistemas-de-abastecimiento-de/abastecimiento-comunal-por-bombeo-con-tratamiento

Rua, R. E., Cely, L., González, A., Ramírez, R., & Granados, A. (2018). Diseño estructural de transporte para sistema de bombeo portátil activado con energía solar fotovoltaica para el departamento de Boyacá. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 9(2), 1-11. doi: 10.24054/19009178.v2.n2.2018.403.

Sánchez, G. (2019). *Proyecto hidrogeológico para dar cumplimiento al objetivo de desarrollo sostenible seis en el municipio de Aguachica, Cesar* [Ensayo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/32559>.

Serrano, P. M. (2020). *Informe de gestión PDA Cesar 2016-2019*. Gobernación del Cesar. <https://aguasdelcesar.gov.co/wp-content/uploads/2020/10/INFORME-DE-GESTION-ADC-2016-2019.pdf>

SFA. (04 de diciembre de 2018). *¿Qué son las estaciones de bombeo?* <https://www.sfa.es/blog/que-son-las-estaciones-de-bombeo-n26>

Simbaña Calle, J. D. (2018). *Diseño de una estación de bombeo de agua de riego con su respectivo sistema de utilización 22.9 kV, 3Ø, para el sector Mallaritos, Distrito de Marcavelica, Provincia de Sullana, Departamento de Piura* [Trabajo de grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/4531>

Stauffer, B., Spuhler, D., & Pérez, L. R. (01 de noviembre de 2021). *Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios)*. Sustainable Sanitation and Water Management [SSWM]. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captacion/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos%2C-lagos-y-embalses-%28reservorios%29>

- Synertech. (s.f.). *Plantas de Tratamiento de Agua Potable*. NyF de Colombia.
<https://www.nyfdecolombia.com/plantas/tratamiento-de-agua-potable>
- Taco Chalá, V. G. (2012). *Análisis en los primarios de distribución de las subestaciones: no. 02, no. 10, no. 12, no. 32 y no. 53 pertenecientes a la Empresa Eléctrica Quito SA para reducir pérdidas* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1898>
- TECH School of Engineering. (02 de mayo de 2010). *Sistemas de Bombeo, Redes de Abastecimiento y Saneamiento del Ciclo Integral del Agua*. Techtitude.
<https://www.techtitude.com/co/ingenieria/especializacion/especializacion-sistemas-bombeo-redes-abastecimiento-saneamiento-ciclo-integral-agua>
- Tiller Avellaneda, L. (2019). *Diseño de sistema de bombeo solar automatizado para la comunidad Wayúu de Alakat, Maicao – La Guajira (Wüin-KaI)* [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Bucaramanga]. <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/1618>
- Zarza, L. F. (s.f.). *¿Qué es el agua cruda?* iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua-cruda>