



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE
SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

“ANALISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE
CAPTACION Y BOMBEO DE AGUA CRUDA A LA PLANTA DE
AGUA POTABLE, AGUAPEN. EP UBICADA EN ATAHUALPA
PROVINCIA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

VANESSA KATHERINE SUÁREZ RODRÍGUEZ

Tutor:

ING. RICHARD RAMIREZ PALMA, Mg

La Libertad, Ecuador

2021

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE
SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

“ANALISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE
CAPTACION Y BOMBEO DE AGUA CRUDA A LA PLANTA DE
AGUA POTABLE, AGUAPEN. EP UBICADA EN ATAHUALPA
PROVINCIA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

VANESSA KATHERINE SUÁREZ RODRÍGUEZ

Tutor:

ING. RICHARD RAMIREZ PALMA, Mg

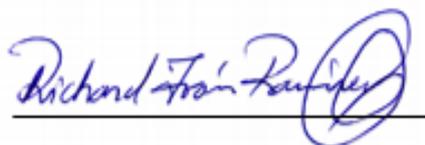
La Libertad, Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo del Componente Práctico, modalidad Examen de Grado de carácter Complexivo, denominado “ANALISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE CAPTACION Y BOMBEO DE AGUA CRUDA A LA PLANTA DE AGUA POTABLE, AGUAPEN. EP UBICADA EN ATAHUALPA PROVINCIA DE SANTA ELENA”, elaborado por la Srta. SUAREZ RODRIGUEZ VANESSA KATHERINE, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR (A)



Ing. Richard Ramírez Palma, Mg.

La Libertad, a los 12 días del mes de marzo del 2021.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

YO, VANESSA KATHERINE SUÁREZ RODRÍGUEZ

DECLARO QUE:

El trabajo/ tarea integradora de grado denominado “ANALISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE CAPTACION Y BOMBEO DE AGUA CRUDA A LA PLANTA DE AGUA POTABLE, AGUAPEN. EP UBICADA EN ATAHUALPA PROVINCIA DE SANTA ELENA.”, ha sido desarrollada (o) con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las referencias que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis y/o proyecto de grado en mención.



Vanessa Katherine Suárez Rodríguez

AUTOR

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios y a la Virgen María por brindarme salud, sabiduría y fortaleza cada día para cumplir mis propósitos y metas.

A mis padres por estar siempre presente a lo largo de mi carrera universitaria y enseñarme que todo lo que uno como persona se propone puede lograrlo con sacrificio, paciencia y perseverancia.

A toda mi familia porque han sido el regalo más hermoso que Dios me ha dado y me han acompañado en todos los momentos que he pasado a lo largo de mi carrera.

Al P. José Antonio Guerrero y al P. Marcos Marcillo mis amigos espirituales, quienes con su amor a Jesús y a la Virgen María han sabido aconsejarme y motivarme impulsándome a ser mejor persona.

A mi asesor, que gracias a sus conocimientos y profesionalismo logre culminar mi trabajo de investigación.

Es para mí una gran satisfacción poder dedicarles esto a ellos, que con mucho esfuerzo y esmero lo he conseguido.

ÍNDICE GENERAL.

PORTADA.....	
CONTRAPORTADA.....	
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	I
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
INTRODUCCION.....	1
UNIDAD I.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Especificos.....	4
UNIDAD II.....	5
MARCO TEORICO REFERENCIAL.....	5
2.1 Fundamentacion Teorica.....	5
2.1.1 Captacion.....	5
2.1.2 Obras de Captacion.....	5
2.1.3 Sistema de Bombeo.....	5
2.1.4 Definicion de cavitacion.....	5
2.1.5 Problemas generados por cavitacion	6
UNIDAD III.....	8
ANALISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE CAPTACION Y BOMBEO DE AGUA CRUDA A LA PLANTA DE AGUA POTABLE.....	8
3.1 Captación de agua que ingresa al reservorio “San Rafael”.....	8
3.2 Reservorio de agua cruda “San Rafael”.....	9
3.3 Estación de Bombeo.....	11
3.4 Bombas de la Estación “San Rafael”.....	12

3.5 Bombas suspendidas de eje vertical.....	15
3.5.1 Recomendaciones para la instalación del sistema de bombeo.....	16
3.5.2 Verificación de sumergencia.....	18
3.5.3 Verificación de área transversal de pozo húmedo.....	19
3.6 Alternativa 1.....	20
3.6.1 Aumento de profundidad del pozo húmedo.....	20
3.7 Alternativa 2.....	21
3.7.1 Nuevo de reservorio.....	21
3.7.2 Estimación de la población futura.....	21
3.7.3 Dotación.....	22
3.7.4 Variaciones de Consumo.....	23
3.7.5 Caudales de diseño.....	24
3.7.6 Sistema de bombeo para nuevo reservorio.....	25
3.7.7 Cálculo de la tubería de impulsión.....	25
3.7.8 Cálculo de la tubería de succión.....	26
3.7.9 Altura estática total.....	26
3.7.10 Pérdidas en la succión.....	26
3.7.11 Pérdidas en la impulsión.....	27
3.7.12 Altura de velocidad de descarga.....	27
3.7.13 Altura Dinámica Total de Elevación.....	27
3.7.14 Calculo de cavitación.....	28
3.7.15 Presión de Vapor.....	28
CONCLUSIONES.....	29
RECOMENDACIONES.....	30
BIBLIOGRAFIA.....	31
ANEXO.....	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Canal abierto.....	2
Figura 2: Nivel del reservorio.....	3
Figura 3: Esquema de aumento de velocidad y disminución de presión.....	6
Figura 4: Daños ocasionados por la cavitación.....	6
Figura 5: Rejilla de captación hacia el reservorio y dique artesanal.....	8
Figura 6: Reservorio de agua cruda Esta ^V an Rafael.....	9
Figura 7: Grupo de bombas - Estación San Rafael.....	11
Figura 8: Grupo de bombas - Estación San Rafael.....	13
Figura 9: Bomba Alstom GEV 56 GN I -161 en la estación de bombeo San Rafael...	15
Figura 2: Válvula de pie con coladera.....	16
Figura 3: Válvula de pie con coladera.....	17
Figura 4: Instalación actual pozo húmedo de bombas en San Rafael.....	18
Figura 5: Instalación actual pozo húmedo de bombas en San Rafael.....	18
Figura 6: Extensión de profundidad en el pozo húmedo de bombas en San Rafael...	20
Figura 7: Proyección de tendencia exponencial de población.....	22

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Población Futura al año 2041.....	21
Tabla 2: Dotaciones recomendadas.....	22
Tabla 3: Caudales de diseños para elementos de un sistema de Agua potable.....	24
Tabla 4: Tabla de inconvenientes y soluciones.....	29

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.- Foto Zona de Estudio Reservorio de Agua Cruda.....	32
Anexo 2.- Canal de Azúcar-Rio Verde.....	32
Anexo 3.- Estación de Bombeo de Agua Cruda.....	32
Anexo 4.- Planos de Aguapen.Ep Zona de Estudio.....	33
Anexo 5.- Aumento de Profundidad del Pozo Húmedo.....	33

RESUMEN

Los sistemas de agua potable para una población tienen gran importancia porque aseguran el abastecimiento de agua a la población, del buen proceso de potabilización dependerá la salud y el bienestar de los consumidores.

Este estudio se enfoca en analizar y mejorar el sistema de captación, conducción y bombeo de agua cruda desde el embalse el Azúcar hacia la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la Parroquia Atahualpa, la misma que provee del agua potable a la provincia de Santa Elena. En la actualidad existe una problemática dentro de la Estación de Bombeo ubicada en San Rafael, puesto que en referidas ocasiones se ha indicado que la reserva de agua cruda en la estación de bombeo tiene valores y niveles que no permiten una adecuada operación.

La Empresa Pública Municipal Mancomunada Aguapen E.P. tiene como actividad principal la producción de agua potable y siendo una empresa única en su rama, esta se dedica a la prestación de servicios públicos de alcantarillado sanitario y pluvial, tratamiento de aguas servidas y además de la potabilización del agua, la distribución y venta de la misma. (Adolfo, 2016)

El estudio realizado presenta un análisis técnico de los canales de conducción, sistemas de captación en los reservorios y sistema de bombeo en la estación de agua cruda “San Rafael”, posterior al análisis se plantearía posibles soluciones para el mejoramiento de la operación del sistema de captación, conducción y bombeo de agua cruda a la planta potabilizadora de AGUAPEN. E.P.

PALABRAS CLAVES: Reservorio, Sistema de bombeo, cavitación

ABSTRACT

Drinking water systems for a population are of great importance because they ensure the supply of water to the population; the health and well-being of consumers will depend on the proper purification process.

This study focuses on analyzing and improving the raw water collection, conduction and pumping system from the El Azúcar reservoir to the drinking water treatment plant located in the Atahualpa Parish, which provides drinking water to the province of Santa Elena. Currently there is a problem within the Pumping Station located in San Rafael, since on referred occasions it has been indicated that the raw water reserve in the pumping station has values and levels that do not allow adequate operation.

The Municipal Public Joint Venture Aguapen E.P. Its main activity is the production of drinking water and being a unique company in its branch, it is dedicated to the provision of public services of sanitary and rain sewerage, wastewater treatment and in addition to the purification of water, the distribution and sale of the same. (Adolfo, 2016)

The study carried out presents a technical analysis of the conduction channels, catchment systems in the reservoirs and the pumping system in the “San Rafael” raw water station. After the analysis, possible solutions would be proposed to improve the operation of the water system. collection, conduction and pumping of raw water to the AGUAPEN water treatment plant. E.P.

Keywords: Reservoir, Pumping system, cavitation.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de las Obras Complementarias de Infraestructura para la Península de Santa Elena (OCIPSE) iniciaron su diseño y construcción en el año 1998 y con interrupciones intermedias por motivos financieros concluyeron a finales del año 2002 por la Comisión de Estudios y Desarrollo de Cuenca del Río Guayas CEDEGE, CEDEX y de la constructora brasileña Norberto Odebrecht, su diseño básico estuvo a cargo de CEDEX (Elena). Los equipos y maquinarias que se implementaron son en su mayoría de providencia brasileña.

Geográficamente las obras se concentran en dos áreas de la Península: Zona I y Zona II. La Zona I cubre los municipios principales de Playas y Posorja y la Zona II abastece el canal Azúcar - Río Verde este sistema abarca los sitios más poblados; Salinas, Muey, Libertad, Santa Elena, Ballenita y se extiende hasta la zona norte. El cálculo hidráulico del proyecto fue basado en la potabilización de 800 l/seg y proyectados a 1600 l/seg para una segunda etapa, para abastecer a Santa Elena. El Agua Cruda es impulsada a unos 45m de altura geométrica hasta la ETAP modular de Atahualpa.

El presente trabajo tiene como finalidad realizar un análisis técnico de las obras complementarias de infraestructura en el canal de conducción, reservorios de agua cruda y sistema de bombeo de la Zona II, y así poder dar una propuesta de mejora al sistema de captación y abastecimiento de agua cruda hacia la planta potabilizadora evaluando las condiciones de las que se encuentra la Estación de Bombeo de agua cruda "Río Verde".

Para obtener información se tomarán como base libros (tesis), revistas y guías de carácter nacional e internacional. Patricia (2014) indica que actualmente, el sistema de agua potable localizada en la Provincia de Santa Elena presenta problemas en su servicio de cobertura, calidad y estado de infraestructura.

UNIDAD I

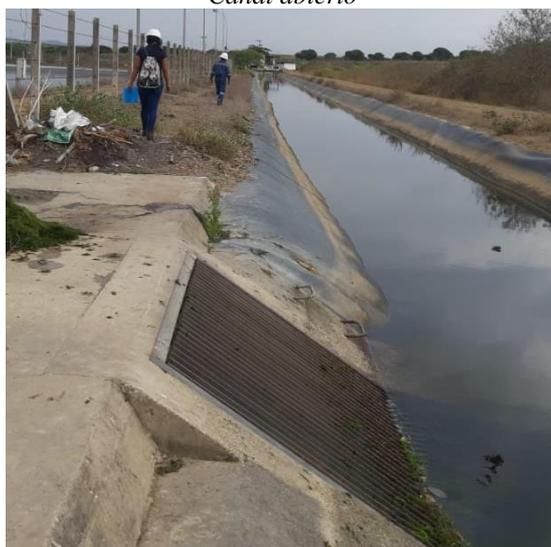
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El proyecto de obras complementarias en la Península de Santa Elena, Zona II, comprende varios elementos constructivos para su diseño, tales como sistemas de conducción, canales de conducción, reservorios, estaciones de bombeo, plantas potabilizadoras y sistemas de distribución. Este proyecto fue contemplado para abastecer de agua potable a los núcleos más populosos y turísticos de la península como Santa Elena, La Libertad, Salinas y San Pablo con una población de 200.000 habitantes. Con una capacidad de producción de 800 l/s y ampliables a 1600 l/s para una segunda etapa. Su construcción inició en el año 1998 y fue concluido en el año 2002

En la Zona II, el canal abierto que trasvasa agua desde la represa el Azúcar hacia la estación de bombeo se evidencia que en diferentes tramos del canal existen numerosas bombas reguladas que son usadas para captar agua y enviarla hacia las diferentes plantaciones que existen en los costados del canal. Esto provoca que la profundidad de flujo sea gradualmente variada. Puesto que desde el Embalse el Azúcar el caudal de salida es de 5500 l/s y el caudal de ingreso al reservorio esta entre 3000 l/s y 3500 l/s.

*Figura 8:
Canal abierto*



En la estación de bombeo existe un sistema de captación (rejilla metálica con compuerta) donde el agua cruda que llega desde el embalse “el azúcar” por medio del canal abierto,

es captada y almacenada en el reservorio artificial en la estación “San Rafael”. En este empalme la profundidad de flujo dentro del canal es variable, cuando la profundidad de flujo es alta, el reservorio puede captar un caudal de 3,5 m³/seg, pero cuando la profundidad de flujo en el canal es baja solo puede captar 3,0 m³/seg, y esto provoca que el nivel del reservorio baje considerablemente.

Figura 2:
Nivel del reservorio



Tumbaco Lucín (2014) Dice que usando el nivel del reservorio es bajo o está por debajo del nivel 2.50 provoca que el sistema de bombeo no funcione normalmente, puesto que el suministro de agua es insuficiente debido a que existe una altura de aspiración excesiva o que el NPSHD de la instalación sea insuficiente, ocasionando que en el rodete exista demasiado vacío que excede la presión del vapor líquido, bombeado y formando burbujas (vapor o gas) a este efecto se lo denomina cavitación.

Este efecto produce desde un deterioro o picaduras en el ojo del rodete hasta una rotura total del impulsor y destrucción en la placa de desgaste, afectando considerablemente la vida útil de las partes que compone una bomba.

1.2. Justificación de la investigación

El reservorio de agua cruda, provocado por el mínimo caudal de ingreso en la rejilla de captación, afecta directamente a las bombas porque la altura de sugerencia en la tubería de succión disminuye causando que la velocidad de succión aumente provocando una disminución de presión. En donde se genera el efecto denominado cavitación, que afecta considerablemente las partes que componen una bomba.

El estudio se proyectará para que exista una correcta distribución de agua cruda desde el embalse “El azúcar” que es transportada por medio de canales abiertos hasta el reservorio artificial en la estación de bombeo “San Rafael”, para luego ser impulsada por los grupos de bombas para abastecer a la planta potabilizadora de agua de Atahualpa y también para riego de sembríos de parroquias o comunas en lo que sigue su curso.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar un estudio para optimizar el sistema de captación y bombeo de agua cruda en la Estación “San Rafael” de la empresa AGUAPEN. E.P. ubicada en la Provincia de Santa Elena.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar el estado y funcionamiento actual de los sistemas de conducción, captación y bombeo de agua cruda desde del embalse el “Azúcar” hasta la estación de bombeo “San Rafael”.
- Identificar los factores que influyen sobre la profundidad de flujo en el canal abierto y el nivel del reservorio de agua cruda; y los factores que inciden negativamente sobre el funcionamiento de las bombas.
- Sugerir alternativas para mejorar los sistemas de captación y bombeo de agua cruda en la Estación San Rafael.

UNIDAD II

MARCO TEORICO REFERENCIAL

2.1. Fundamentación Teórica

2.1.1. Captación

La captación consiste en el encauce de cierto caudal proveniente de una fuente que cumpla con los requerimientos que dicta la normativa para ser tratada y distribuida posteriormente, el tipo de captación cambia conforme con la fuente logrando ser superficiales, subterráneas o de agua lluvia. (C.E.C) Según el Código Ecuatoriano de la construcción el caudal de la fuente de abastecimiento deberá ser al menos doble del caudal máximo diario futuro calculado y la captación tendrá que tener una capacidad que posibilite derivar al sistema de agua potable un caudal mínimo equivalente a 1.2 veces el caudal máximo diario que correspondiente al finalmente el periodo de diseño.

2.1.2. Obras de Captación

Son obras y equipos de electromecánicos que se utilizan para captar el agua superficial o subterránea. Dichas obras cambian de acuerdo con la naturaleza de la fuente de abastecimiento. (Carrasco, 2018) Considera que la obra de captación debe ser diseñada para que se prevea las posibilidades de contaminación del agua también debe permitir que el caudal que sea captado sea necesario para suministrar a la población.

2.1.3. Sistema de bombeo

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, desde interior mina hasta la superficie forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. (OMS, 2005)

2.1.4. Definición de cavitación

R (2006) Menciona que la palabra cavitación proviene del latín “cavus” que significa cavidad o espacio hueco, se la define como la rápida formación y colapso de cavidades en zonas de muy baja presión en un flujo líquido.

Este fenómeno es producido por la formación de vapor de agua en zonas de muy baja presión y posterior colapso (implosión) en un sistema de un flujo líquido.

Figura 3:
Esquema de aumento de velocidad y disminución de presión

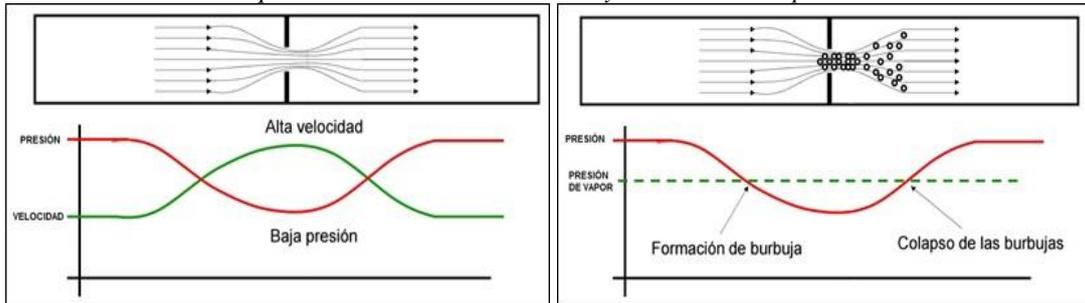
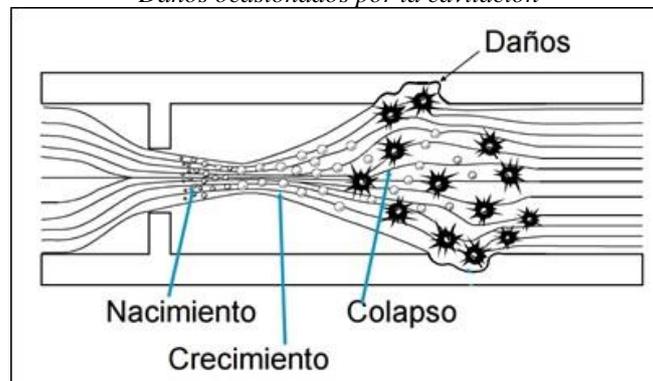


Figura 4:
Daños ocasionados por la cavitación



2.1.5. Problemas generados por cavitación

La cavitación es uno de los problemas más graves que afectan las bombas. Cuando una bomba está en funcionamiento con una aspiración excesiva, la presión a la entrada puede disminuir hasta llegar a superar la tensión de vapor de agua, formando burbujas de vapor. En un punto, cuando la presión se eleva estas burbujas explotarían violentamente ocasionando daños severos en los mecanismos de las bombas.

Los daños pueden ocurrir en las diferentes partes que componen una bomba, tales como:

En partes móviles de la bomba

- Alabes de turbinas
- Rodetes de bombas
- Hélices de barcos

En partes no móviles

- Estrangulamientos bruscos
- Regulación mediante orificio
- Válvulas reguladoras

Entre los principales efectos que se producen en las bombas están los de

- Ruidos y golpeteos
- Vibraciones
- Erosiones del material

La línea de agua cruda que conduce el líquido hacia la planta de tratamiento de agua potable se llene de aire y a su vez baje el rendimiento de las bombas.

UNIDAD III

ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE CAPTACION Y BOMBEO DE AGUA CRUDA A LA PLANTA DE AGUA POTABLE

3.1. Captación de agua que ingresa al reservorio “San Rafael”

El agua que ingresa al reservorio de la Estación San Rafael, proviene del sistema de “trasvase a la Península de Santa Elena”, líquido que ingresa hacia el reservorio es captada mediante un empalme lateral (rejilla captadora) del canal abierto “Azúcar - Rio Verde”.

Figura 5:

Rejilla de captación hacia el reservorio y dique artesanal



En este punto existe una profundidad de flujo baja, provocado por las conexiones de bombas, las mismas que son utilizados para los sistemas de riego de las diferentes plantaciones ubicadas a metros del canal abierto. Para evitar que el flujo este por debajo del nivel óptimo, se ha implementado un dique artesanal ubicado a pocos metros de la rejilla de captación, el cual está conformado por sacos de arena.

El dique logra retener el caudal, y a su vez mantener la profundidad de flujo óptima del canal abierto en el tramo de captación de la Estación, aunque esta técnica no es muy eficiente, puesto que en épocas donde la profundidad de flujo es alta, este dique es arrastrado por la fuerza del agua.

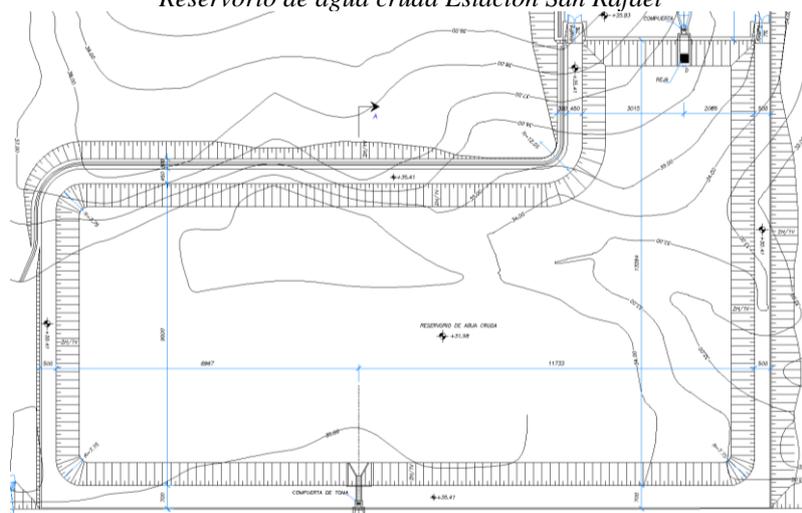
3.2. Reservorio de agua cruda “San Rafael”

La Estación de Bombeo cuenta con un reservorio artificial donde almacena agua cruda, la misma que esta revestida de polietileno de alta densidad, esta cuenta con un volumen de almacenamiento de 43000 m³.

El agua cruda proviene del canal abierto “Azúcar – Rio Verde” que es impulsado por gravedad desde el embalse El Azúcar, trayecto en el cual hay una pérdida considerable de líquido debido que, en ciertos puntos existen varias conexiones clandestinas por parte de dueños de haciendas y sembríos.

Situación que en varias ocasiones se torna incontrolable ocasionando en que se suscite un bajo nivel en el embalse de San Rafael para el respectivo bombeo. El agua que se transporta por el canal abierto no es destinada para uso exclusivo de sembrío, sino también para su potabilización y respectiva distribución hacia la población de Santa Elena.

Figura 6:
Reservorio de agua cruda Estación San Rafael



El reservorio cuenta con una capacidad de almacenamiento máxima de 43000m³ aproximadamente cuando la cota de agua se encuentra en +35,02; en condiciones críticas cuando la cota de agua se encuentra +32,71 el almacenamiento mínimo que puede ser bombeado es de 13521m³.

El área transversal del reservorio se detalla a continuación:

$$A_t = \frac{A_s + A_i}{2}$$

Donde:

A_s : Área Superior

A_i : Área inferior

Reemplazando:

$$A_t = \frac{20843m^2 + 16242m^2}{2}$$

$$A_t = 18542.5$$

Volumen útil de almacenamiento se obtiene de la siguiente operación:

$$V_u = (C_{max} - C_{min}) * A_t$$

Donde:

C_{max} = Cota máxima de agua

C_{min} = Cota mínima

Entonces:

$$V_u = (35.02 - 32.71)(18542.5)$$

$$V_u = (2.31m)(18542.5)$$

$$V_u = 42833,12m^3 \approx 43000m^3$$

Volumen mínimo de almacenamiento

$$V_m = (32,71 - 31,98)(18542.5)$$

$$V_m = (0.73m)(18542.5)$$

$$V_m = 13536m^3$$

Este volumen de almacenamiento mínimo puede ser vaciado en un tiempo de 4 a 5 horas de bombeo. Se la puede determinar mediante esta ecuación.

$$T_{Bombeo} = \frac{V}{Q}$$

$$T_{Bombeo} = \frac{13563m^3}{0.8m^3/seg}$$

$$T_{Bombeo} = 16920seg = 4.7 \text{ horas}$$

No hay problemas con el nivel forzado de aguas por que el reservorio está apto para recibir excesos de caudal ya que cuenta con una capacidad de almacenamiento de 43000m³, pero no está apto para funcionar correctamente en la condición más crítica por su nivel de cota de agua muy bajo.

Tampoco hay la necesidad de extender lateralmente del reservorio en la etapa 1 porque su nivel de cota más baja se mantendría con el problema de poca sumergencia de la entrada de succión de la bomba. Como alternativa de solución se podría extender la profundidad en el pozo húmedo.

3.3. Estación de Bombeo

La estación de bombeo San Rafael actualmente está comprendido por 5 bombas, de las cuales 3 permanecen en funcionamiento constante y las restantes sirven como alternativas en los momentos que en algunas de las bombas principales sufren algún desperfecto o estén en mantenimiento. Las bombas de alto rendimiento están constituidas por dos bombas de 510 lt/s y una bomba de 400 lt/s.

*Figura 7:
Grupo de bombas - Estación San Rafael*



Uno de los principales problemas que surgen en las bombas es cuando el nivel del reservorio está por debajo del nivel mínimo, por lo tanto en los pozos húmedos donde se sumergen las bombas sufren variaciones de niveles de máxima eficiencia, y cuando este llega a un nivel de 2.50m o menor de profundidad provoca que en las bombas exista un incremento de velocidad y esto implica un decremento en la presión del fluido en la entrada del impulsor al contactar el fluido con los alabes.

Cuando la presión del fluido se reduce a un nivel inferior a la presión del vapor se inicia la formación de burbujas produciendo el efecto denominado “cavitación de succión”.

3.4. Bombas de la Estación “San Rafael”

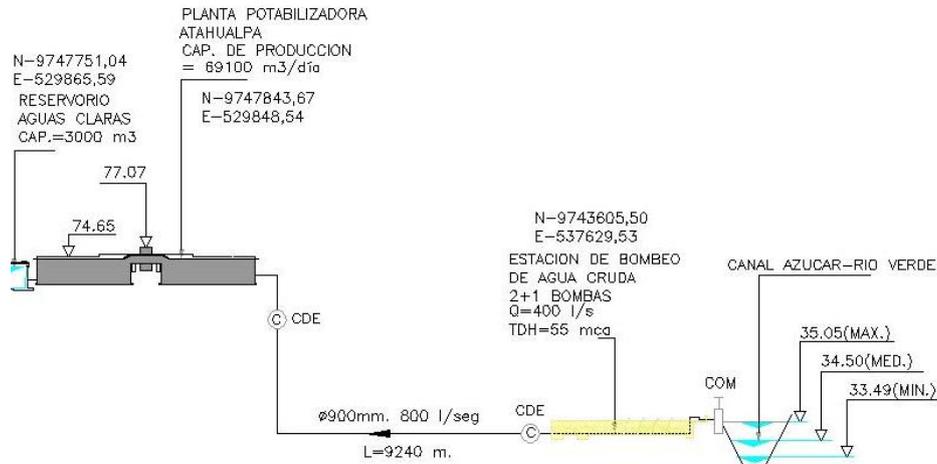
En la actualidad las bombas utilizadas en la estación de bombeo “San Rafael” son marca Alstom modelo GEV 56 GN I -161 SERIE 320151, potencia 355KW, RPM 1750, Hm 58.9, 1440 m³/h, que cuenta con motores eléctricos GEVISA de 476,09 HP-416v, este grupo de bombas tiene la capacidad de bombear un caudal de 400 l/s aproximadamente. (Aguapen.ep)

En un sistema de flujo de agua siempre se debe realizar mantenimientos preventivos cada cierto tiempo, sobre todo a los elementos internos de las bombas como son las columnas de bomba, cabezal, ejes, soporte de los ejes, campana de absorción, cajera de rodamiento, anillos, etc.

Cuando una de las bombas que está en operación sufre algún daño y deja de funcionar, inmediatamente se enciende otra bomba y asume dicha función, por consiguiente, el flujo de agua nunca se paraliza ni tampoco se disminuye la producción de la planta potabilizadora. (Aguapen.ep)

Desde la instalación de las 5 bombas conformantes del sistema y bajo las condiciones de servicio al cual ha estado expuesto durante su operatividad se han generado diversas fallas, tales como: Desgaste y rotura del eje central y superior, averío de la caja de rodamiento principal, rotura el acople superior de la bomba, desgaste del ello mecánico bipartido, desgaste de rodamiento y deterioro de retenedores.

Figura 8:
Grupo de bombas - Estación San Rafael



Fuente: AGUAPEN EP

La estación de bombeo utiliza solo 3 bombas de las 5 existentes debido a la capacidad de operación que posee la planta de tratamiento de AGUAPEN E.P., ya que su caudal de ingreso es de 830 l/s, caudal que abastecería con 3 bombas con capacidad de impulsar caudales de 400 l/s, si se utilizan más de 3 bombas, el agua cruda que ingresaría a la planta sería mucho mayor, y así provocando que se sature la capacidad operativa de la misma.

En cualquier ámbito de ingeniería prevalece la actualización de los diferentes equipos y metodologías aplicadas para poder estar a la vanguardia con respecto a la optimización de recursos de diferentes tipos y este caso no es la excepción, una solución sería la modernización de los equipos de bombeo o el correcto uso de los equipos ya instalados, los mismos que deben ser aptos para las condiciones de variación de niveles de agua cruda que afectan las actuales bombas instaladas, esta variación de los niveles de agua cruda provenientes del canal Azúcar – Río Verde es la que ha generado problemas en el sistema, llevando así a grandes costos de reparación.

Actualmente el sistema de bombeo en la estación San Rafael se encuentra instalado con los siguientes parámetros:

Caudal de ingreso	$Q = 800 \text{ l/s} = 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$
Coefficiente de Hazen-Willians	$C = 130$

Longitud de tubería

L=9240

Pérdida de carga (h_f):

$$h_f = 10.67 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \left(\frac{L}{D^{4.87}} \right)$$

$$h_f = 10.67 \left(\frac{0.8}{130} \right)^{1.852} \left(\frac{9240}{0.9^{4.87}} \right)$$

$$h_f = 13.248$$

Altura geométrica (h_g):

$h_g = \text{cota de llegada} - \text{altura de agua}$

$$h_g = 77.07 - 32.71$$

$$h_g = 44.36 \text{ mca}$$

Altura dinámica(TDH):

$$TDH = h_f + h_g$$

$$TDH = 13.248 + 44.36$$

$$TDH = 57.61 \text{ mca}$$

Potencia(P):

$$P = \frac{Q(TDH)}{76n}$$

$$P = \frac{0.8(57.61)}{76 \left(\frac{65}{100} \right)}$$

$$P = 466.5 \approx 500$$

La potencia de la bomba es de 466.5hp, pero por temas comerciales las promocionan en 500hp

3.5. Bombas suspendidas de eje vertical

Este tipo de bombas poseen un excelente rendimiento que mitiga las pérdidas hidráulicas en la válvula de fondo y en las líneas de eje bajo condiciones de una correcta instalación como por ejemplo; si no se puede evitar una válvula mariposa en el tubo de entrada la longitud del tubo recto entre la válvula y la entrada de la bomba debe asegurarse de que la tubería esté totalmente llena de líquido con la implementación de un dispositivo de enderezado de flujo adecuado o un tubo recto largo de al menos 12 D de la longitud de la entrada de la bomba.

Figura 9:
Bomba Alstom GEV 56 GN I -161 en la estación de bombeo San Rafael



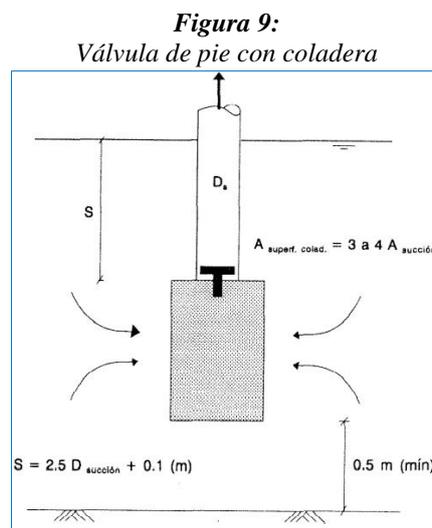
Actualmente el sistema instalado presenta problemas de cavitación por una mala condición de entrada de agua en la etapa de succión, la cual es la etapa más crítica en el bombeo, sobre todo en este caso de tener succión negativa, ya que cualquier entrada de aire producirá problemas en el sistema de bombeo.

3.5.1. Recomendaciones para la instalación del sistema de bombeo

Una de las primeras condiciones a revisar es que el diámetro de tubería de succión nunca debe ser inferior al diámetro de la tubería de impulsión ni tampoco inferior al diámetro del orificio de entrada de la tubería de succión a la bomba, así también procurar diseñar la tubería lo más recta y corta posible.

El eje de la bomba al estar localizado por encima del nivel del agua en el pozo, es imprescindible la válvula de pie con la finalidad de impedir que la tubería de succión se desocupe y por ende se descebe la bomba.

El área de la coladera o malla que impide que ingresen cuerpos extraños a la bomba debe tener como mínimo 3 a 4 veces el diámetro de la tubería de succión, y esta tubería de succión debe presentar una sumergencia idónea, para que se evite la entrada de aire cuando el nivel de agua en el pozo se encuentre en su punto más bajo.



Fuente: (López Cualla, 2000)

La sumergencia recomendada es de $2.5D_s+0.1$ como se muestra en la figura 8.

Donde:

$S =$ sumergencia (m)

$D_s =$ Diámetro de la tubería de succión (m)

Así también se recomienda que exista una distancia mínima de 50 centímetros desde el fondo del pozo hasta la coladera. (López Cualla, 2000)

Figura 11:
Instalación actual pozo húmedo de bombas en San Rafael

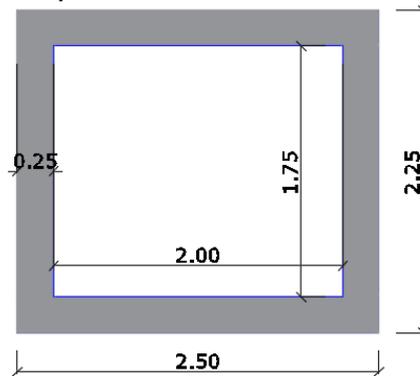
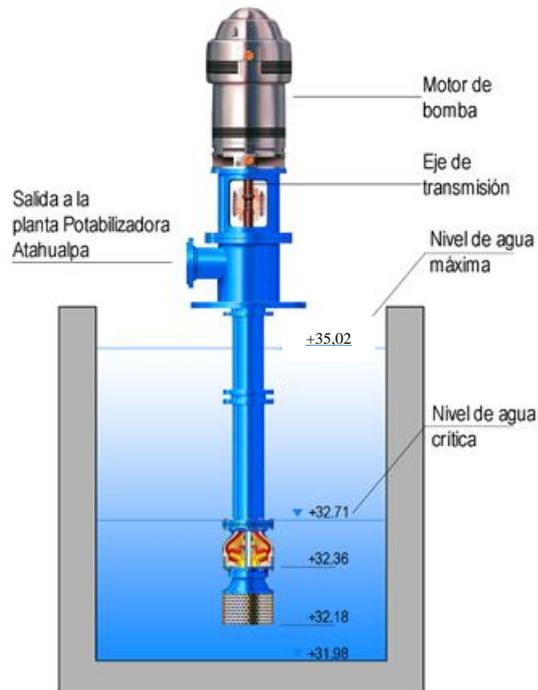


Figura 12:
Instalación actual pozo húmedo de bombas en San Rafael



Cuando el nivel de agua es mínimo se encuentra en la cota +32.71, lo que quiere decir que tendría una sumergencia de 35 cm en su condición más crítica.

3.5.2. Verificación de sumergencia

(Ricardo Alfredo López Cualla)

$$S = 2.5Ds + 0.1m$$

$$S = 2.5(16'' \left(\frac{2.54cm}{1''}\right)) + 10cm$$

$$S = 101.6\text{cm} + 10\text{cm}$$

$$S = 111.6\text{cm} = 1.12\text{m}$$

(NTON 09 003-99, 1989)

Sumergencia mínima 1m

(OPS/CEPIS/05.161 UNATSABAR, 2005)

Bomba vertical de tipo axial

Sumergencia (S_{min})

$$S_{min} = 2D$$

$$S_{min} = 2(0.4064\text{m})$$

$$S_{min} = \mathbf{0.8128\text{m}}$$

La holgura comprendida entre el fondo del pozo y la sección de entrada (H)

$$H = 0.75D$$

$$H = 0.75 * (0.4064)$$

$$H = 0.3048\text{m}$$

Se escoge el valor mínimo de **0.50m** según norma

La sumergencia en su condición más crítica no cumple con las recomendaciones y por lo consecuente se generan problemas de cavitación debido a que la presión de succión está cercana a la presión de vapor del fluido, escogemos el mínimo valor de sumergencia entre todas las fuentes, donde la sumergencia es 0.8128 m generado por OPS/CEPIS/05.161 UNATSABAR.

3.5.3. Verificación de área transversal de pozo húmedo

A_p : Área de pozo húmedo

A_s : Área de succión

$$A_p = (200\text{cm})(175\text{cm}) = 35000\text{cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3.14)(40.64)^2}{4} = 1297.17 \text{ cm}^2$$

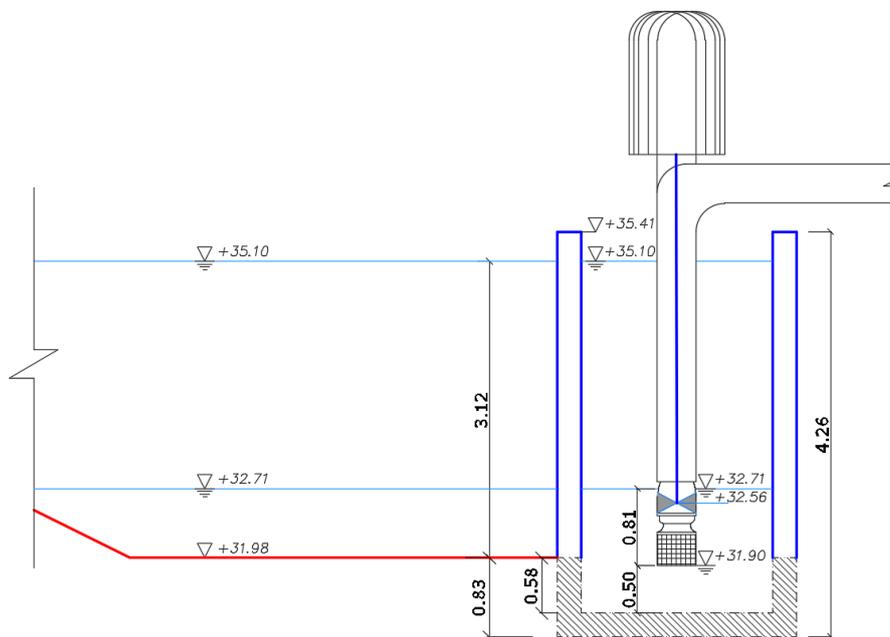
$$\frac{A_p}{A_s} = \frac{35000}{1297.17} = 26.98 \text{ OK}$$

El área transversal del pozo húmedo es mayor a 5 veces el diámetro de la tubería de succión por lo que el dimensionamiento está correcto dentro de la planta.

3.6. Alternativa 1

3.6.1. Aumento de profundidad del pozo húmedo

Figura 13:
Extensión de profundidad en el pozo húmedo de bombas en San Rafael



Actualmente el nivel de agua de embalse muerto se encuentra en la cota +31.98, esta es la condición más crítica del sistema, puesto que la bomba solo dispone de 0.35m de sumergencia o distancia a la entrada de succión de la bomba que no es lo suficiente para el correcto funcionamiento de toma de agua debido a problemas por cavitación.

En el literal 3.6.2 se ha determinado la medida mínima de sumergencia y posee un valor de 0.8128 m; así mismo se ha determinado la distancia entre el fondo del pozo y la sección de entrada de succión de la bomba dada por la OPS de 0.50m mínimo.

Como alternativa de solución se determina la extensión en profundidad del pozo húmedo una distancia de 0.58m de fondo terminado para contrarrestar los problemas de cavitación dados por la poca sumergencia de la tubería de succión de la bomba; el nivel de cota de agua +32.71 en su condición más crítica no cambiará, pero así se logra una mayor sumergencia tal y como lo establece normativa y el fabricante.

Se debe extender la tubería de succión hasta lograr cumplir la sumergencia de 0.81m pero considerando también la distancia de 0.50m libre desde el fondo del pozo y la entrada de succión de la tubería, entonces habría que extender la tubería una longitud de 0.46m.

3.7. Alternativa 2

3.7.1. Nuevo de reservorio

Se estima que para el año 2041 se debe aumentar la capacidad de almacenamiento del reservorio, debido al aumento exponencial de habitantes, y esto representa un mayor consumo de agua, por lo tanto, el reservorio actual no podrá abastecer a la población futura.

3.7.2. Estimación de la población futura

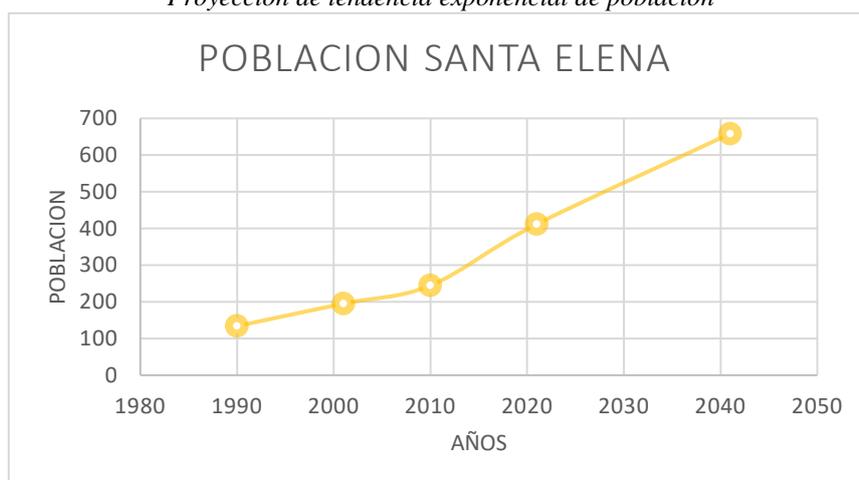
Para establecer la estimación de población futura de la provincia de Santa Elena se utilizó el método de los componentes demográficos, que es el método utilizado por el INEC. Para realizar las proyecciones, se elaboró una línea de tendencia exponencial, debido a la inmigración de varias personas extranjeras y turistas. En la siguiente figura se muestra la proyección de la población futura para el año 2041.

Tabla 5:
Población Futura al año 2041

AÑOS	1990	2001	2010	2021	2041
POBLACIÓN					
SANTA ELENA	133.898	195.251	244.563	411.768	658.396

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC)

Figura 14:
Proyección de tendencia exponencial de población



3.7.3. Dotación

Para la selección de la dotación, nos referimos en la investigación cualitativa de la población de la provincia que para una proyección hasta el año 2041, será de **658.396** habitantes, redondeando 659.000 habitantes y al clima que es Templado debido a su ubicación geográfica, nos da como resultado un valor de 220 lts/hab día para una dotación media futura.

La dotación que necesitará la provincia de Santa Elena por parte se fijara en base a condiciones particulares, las mismas que servirán para la producción de agua que satisfaga las necesidades. A falta de datos, y para estudio de factibilidad nos regimos a las dotaciones indicadas en la tabla *Dotaciones recomendadas*.

Tabla 6:
Dotaciones recomendadas

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Fuente: Secretaria del agua

3.7.4. Variaciones de Consumo

El consumo medio anual diario (en m³/s), se debe calcular mediante la fórmula:

$$Q_{med} = \frac{q \times N}{1000 \times 86400}$$

Donde:

q= Dotación tomada de Tabla 1.1 (l / hab. /día)

N= Número de habitantes

$$Q_{med} = \frac{(220) \times (659.000)}{1000 \times 86400}$$

$$Q_{med} = 1,678 \text{ m}^3/\text{s}$$

El requerimiento máximo correspondiente al mayor consumo diario, se debe calcular por la fórmula:

$$Q_{max. dia} = K_{max. dia} \times Q_{med}$$

Donde:

K max día = Coeficiente de variación del consumo máximo diario, que debe establecerse en base a estudios en sistemas existentes, y aplicar por analogía al proyecto. En caso contrario se recomienda utilizar los valores: 1,3 – 1,5

$$Q_{max. dia} = 1,5 \times 1,678$$

$$Q_{max. dia} = 2,517 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 2517 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

El requerimiento máximo correspondiente al mayor consumo horario, se debe calcular por la fórmula:

$$Q_{max. hor} = K_{max. hor} \times Q_{med}$$

Donde:

K max. hor = Coeficiente de variación del consumo máximo horario, que debe establecerse en base a estudios en sistemas existentes, y aplicar por analogía al proyecto.

En caso contrario se recomienda utilizar los valores: 2 – 2,3

$$Q_{max. hor} = 2,3 \times 1,678$$
$$Q_{max. hor} = 3,859 \frac{m^3}{s} \approx 3859 \frac{l}{s}$$

3.7.5. Caudales de diseño

Para el diseño de las diferentes partes de un sistema de abastecimiento de agua potable, se usarán los caudales que constan en la tabla 6.

*Tabla 7:
Caudales de diseños para elementos de un sistema de Agua potable*

ELEMENTO	CAUDAL
Captación de aguas superficiales	Máximo diario + 20%
Captación de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Conducción de aguas superficiales	Máximo diario + 10%
Conducción de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Red de distribución	Máximo horario + incendio
Planta de tratamiento	Máximo diario + 10%

Fuente: Secretaria del agua

Los elementos a evaluar será la planta de tratamiento

$$Q_{pt} = Q_{max. dia} + 10\%$$
$$Q_{pt} = 2517 + 251,7$$
$$Q_{pt} = 2768,7 \text{ l/s}$$
$$Q_{pt} = 2,768 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el año 2041 el consumo proyecto de agua para la Provincia de Santa Elena es de $2,76 \text{ m}^3/\text{s}$, actualmente la planta de tratamiento produce y abastece a la población un

caudal de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$, de lo cual existe una diferencia de $1,96 \text{ m}^3/\text{s}$. Para este nuevo caudal se necesita un reservorio adicional de 200.000m^3 aproximadamente.

El nuevo reservorio se puede dimensionar con la misma área del actual reservorio, pero se calcularía la profundidad.

$$V_r = A_t * H_{prof.}$$

$$H_{prof.} = V_r/A_t$$

$$H_{prof.} = 200000\text{m}^3/18522.5\text{m}^2$$

$$H_{prof.} = 10,79\text{m}$$

Para lograr almacenar los 200000m^3 en el reservorio, es necesario implementar una conducción con tubería enterrada, que transporte agua cruda desde el embalse El Azúcar hasta el reservorio de cola Rio Verde, el diámetro de tubería de conducción a implementarse debe ser de $2,5\text{m}$ de diámetro a tubo lleno y a tubo vacío 2 metros, para lograr abastecer el reservorio.

3.7.6. Sistema de bombeo para nuevo reservorio.

El nuevo reservorio debe contar con un sistema de bombeo independiente del actual, puesto que se tendrían que implementar un nuevo grupo de bombas que logre impulsar la diferencia de caudal que necesitaría la población futura.

Para el diseño de las tuberías de succión, tuberías de impulsión y potencia de la bomba se las realiza mediante los siguientes cálculos.

3.7.7. Cálculo de la tubería de impulsión

Según la ecuación de Bresse:

$$D_i = K\sqrt{Q}$$

$$D_i = 1.2\sqrt{2 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$D_i = 1.69\text{m} = \mathbf{1.7\text{m}}$$

La velocidad de la tubería será:

$$V_i = \frac{Q}{A}$$

$$V_i = \frac{1.968 \text{ m}^3/\text{s}(4)}{\pi(1.7)^2}$$

$$V_i = 1.47 \frac{\text{m}}{\text{s}} \leq 1.5 \text{ m/s CUMPLE}$$

3.7.8. Cálculo de la tubería de succión

$$V_s = \frac{Q}{A}$$

$$V_s = \frac{0.4 \text{ m}^3/\text{s}(4)}{\pi(0.76)^2}$$

$$V_s = 0.88 \frac{\text{m}}{\text{s}} \leq 0.9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se eligió una tubería de 30" para poder cumplir con velocidad máxima permitida.

Cálculo de altura dinámica de elevación.

3.7.9 Altura estática total (Succión + Impulsión)

Altura estática de succión (m)	8
Altura estática de impulsión (m)	42.02
Altura estática Total (m)	50.02

3.7.10 Pérdidas en la succión $D_s = 30'' = 0.76\text{m}$

Válvula de pie con coladera:	193
Codo de radio medio a 90°	20
Longitud de tubería recta	11
Longitud equivalente Total (m)	224
Pérdida de carga total (J) (m/m)	0.00103696
Pérdidas en la succión (m)	0.23

3.7.11 Pérdidas en la impulsión $D_i = 1.70\text{m}$

Expansión concéntrica 12D L.E.	20.4
Válvula de retención horizontal	60
Codo de radio largo 90° (5)	78
Longitud equivalente Total (m)	158.4
Perdida de carga total (J) (m/m)	0.000398
Perdidas en la impulsión (m)	0.06

3.7.12 Altura de velocidad de descarga V_i

$$\frac{Vd^2}{2g} = \frac{1.47^2}{2(10)}$$
$$= 0.11\text{m}$$

3.7.13 Altura Dinámica Total de Elevación = 50.42m

$$P_b = \frac{\gamma Q H^t}{e}$$
$$P_b = \frac{9.81\text{kn/m}^3 \left(\frac{0.4\text{m}^3}{\text{s}}\right) (50.42\text{m})}{0.85}$$

$$P_b = 235.55 \text{ Kw}$$

$$P_m = 1.2(235.55\text{kw})$$

$$P_m = 282.66 \text{ Kw}$$

Se propone que las bombas actúen a un 80% de eficiencia considerando las variaciones de nivel, lo que conlleva a requerir 296.80 KW de potencia, muy similar a las instaladas actualmente, esto quiere decir que las actuales están dentro de sus capacidades.

3.7.14 Cálculo de cavitación

Altura barométrica (m)	10.29
Altura estática de Succión (m)	7

Pérdidas en la succión

L.E. (m)	224.00
C	120
Q (m³/s)	0.4
Ds (m)	0.76
J	0.00089411
Hs (m)	0.20

Altura de velocidad

Vs (m/s)	0.88
Vs²/2g (m)	0.04

3.7.15 Presión de Vapor

Presión de vapor (m)	0.18
-----------------------------	-------------

Considerando que la entrada de la tubería de succión quedará sumergida 7m bajo el nivel de agua máximo se obtienen los siguientes datos

$$CNPS_d = [\textit{altura barométrica} - (\textit{altura estática de succión} + \textit{perdida de succión} + \textit{altura de velocidad}) - \textit{presión de vapor}]$$

$$CNPS_d = [10.29m - (7m + 0.20m + 0.04m) - 0.18m]$$

$$CNPS_d = 2.87m$$

La Altura neta positiva de succión requerida por el fabricante al momento de elegir la bomba debe ser menor a la disponible en base al diseño del bombeo.

CONCLUSIONES

La potabilización del agua es un proceso que se conforma por varios sistemas, en este proyecto nos centramos en el inicio del proceso, por lo que se analizara desde la conducción del agua cruda desde el embalse El Azúcar hasta el embalse de cola de Rio Verde, almacenamiento del agua cruda Rio Verde y su posterior transporte a la planta potabilizadora Atahualpa.

Luego de analizar los problemas actuales y en un periodo de diseño de 20 años se proponen luego del diseño y análisis de distintas soluciones a los problemas que se podrían suscitar debido al incremento de la población, una de ellas es la necesidad de ampliar el volumen de reserva, un nuevo pozo húmedo para las bombas y tuberías de conducción e impulsión.

*Tabla 8:
Tabla de inconvenientes y soluciones*

INCONVENIENTES	SOLUCIONES
La demanda de agua para riego supera la oferta prevista de caudal de diseño=5,5 m³/s	Control por parte de autoridades para dotar del caudal de agua de riego autorizada, evitando conexiones no reguladas
Bajo caudal de agua cruda que llega al reservorio que provoca en las bombas de cavitación-	Evitar que baje el caudal para asegurar una adecuada sumergencia en la entrada de succión de la bomba y así evitar el riesgo de ingreso de aire
Rejilla de ingreso al reservorio de agua cruda Rio Verde de operación manual deficiente	Se debe instalar rejilla automática para mejorar la eficiencia de la operación retirando palos, plantas y algas.
Dique con fundas de arena en el canal Azúcar-Rio Verde	Incorporar una compuerta automática para evitar la reducción de niveles de agua en el canal abierto
Insuficiencia del volumen del reservorio en emergencias, reserva para operación de 4 horas.	Implementar una conducción a gravedad paralela al canal que esté conectada directamente entre la presa “El Azúcar” y el reservorio para aumentar su volumen de reserva.
Bombas de agua con poco mantenimiento y reemplazo.	Reemplazar las bombas que presentan una eficiencia menor de 60%.

RECOMENDACIONES

Se debe implementar un nuevo sistema de conducción y captación de agua cruda, ya sea un canal abierto o tuberías subterráneas, este sistema debe ser destinado únicamente para llenar el reservorio artificial en épocas donde el nivel de agua es crítico o esté por debajo del nivel de operación óptimo. Se recomienda realizar un estudio sobre este nuevo sistema a implementar.

Las bombas de la estación “San Rafael” fueron instaladas en el año 2001, y han estado en funcionamiento durante 20 años, tiempo en el cual no se les ha realizado mantenimientos preventivos adecuados, solo son intervenidas cuando una de estas falla o sufre algún desperfecto. Las mencionadas bombas ya cumplieron con su periodo de diseño que es de 20 años, por lo que es necesario sustituirlas por mejores equipos que estén a la vanguardia de la ingeniería hidráulica.

Implementar planes de contingencias como plantas de tratamiento modulares provisionales para evitar desabastecimiento del líquido vital a pobladores de la provincia de Santa Elena ya que con el incremento de habitantes, turistas nacionales y extranjeros va a provocarse un colapso de las redes que inducirá a la restricción del servicio hacia la población.

BIBLIOGRAFIA

- Adolfo, A. M. (2016). *Evaluacion De La Planta De Tratamiento De Agua Potable*. Guayaquil.
- AGUAPEN.E.P. (2014). *Informe del grupo de bombeo #1 de agua cruda San Rafael*. Santa Elena.
- C.E.C. (s.f.). *Codigo Ecuatoriano de la Construccion*. Quito.
- Carrasco, J. R. (2018). *Evaluacion Del Sistema De Agua Potable De La Parroquia Urbana El Salto*. Guayaquil.
- INEN - Instituto Ecuatoriano De Normalizacion. (S.F.). *Codigo Ecuatoriano De La Construccion - Diseño De Instalaciones Sanitarias: Código De Practica Para El Diseño De Sistemas*. Quito.
- López Cualla, R. (2000). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- NTON 09 003-99. (1989). *Normas Técnicas para el diseño de absatecimiento y potabilización del agua*. Nicaragua.
- OMS - Organizacion Mundial De La Salud. (2011). *Guia para la calidad del agua de consumo humano*. Ginebra: Worl Health Organization.
- OMS, O. M. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bpombeo de agua potable*. Lima.
- OPS/CEPIS/05.161 Unatsabar. (2005). *Guías Para El Diseño De Estaciones De Bombeo De Agua Potable*. Lima.
- Tumbaco Lucin, J. (2011). *Analisisn y mejoramiento de la productividad de la planta potabilizadora de la empresa Aguapen.E.P.* Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

ANEXOS

ANEXO 1. FOTO ZONA DE ESTUDIO RESERVORIO DE AGUA CRUDA



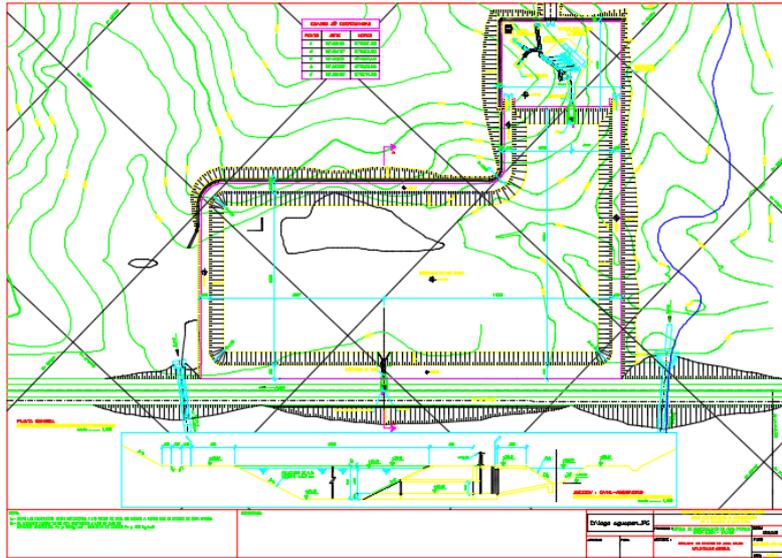
ANEXO 2. CANAL DE AZUCAR-RIO VERDE



ANEXO 3 ESTACION DE BOMBEO DE AGUA CRUDA



ANEXO 4. PLANOS DE AGUAPEN.EP ZONA DE ESTUDIO



ANEXO 5. AUMENTO DE PROFUNDIDAD DEL POZO HÚMEDO

