



Evaluación hidráulica en el sistema de captación en ACUALCOS E.S.P.
ubicado en la localidad de Chapinero.

Juan José Pérez Vargas

Programa de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño
Bogotá D.C.
2023

Evaluación hidráulica en el sistema de captación en ACUALCOS E.S.P.
ubicado en la localidad de Chapinero.

Juan José Pérez Vargas

Documento presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil

Directores:

Codirector Temático: Alexandra Morales.

Codirector Metodológico: Didier Sierra.

Programa de Ingeniería Civil
Facultad de ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño
Bogotá D.C.
2023

ANALISIS DEL SISTEMA DE CAPTACION DE ACUALCOS E.S. P. UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO.

ANALYSIS OF THE SYSTEM OF COLLECTION OF ACUALCOS E.S. P. LOCATED IN THE TOWN OF CHAPINERO

Pérez Vargas, Juan José;

Universidad Antonio Nariño, Colombia, juperez60@uan.edu.co

Resumen: El presente trabajo de grado enseña la evaluación hidráulica del sistema de captación y pretratamiento de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P, ubicado en la localidad de Chapinero, en la ciudad de Bogotá Cundinamarca. Inicialmente se realizan visitas a las diferentes bocatomas que alimentan la planta, realizando la recopilación de datos como las medidas de las estructuras existentes, el estado en que se encuentran y la capacidad que tienen para la captación del caudal que se requiere para abastecer la población, analizando también la caja de captación de una de estas y el desarenador por donde pasa el flujo. Seguidamente con todos los datos recopilados se procede a realizar los cálculos para establecer de manera más precisa la cantidad de caudal que se capta en cada una de las bocatomas y las mejoras que requieren para un funcionamiento óptimo procurando la mitigación de pérdidas en el sistema. Una vez realizados los cálculos se encuentran fallos en cada una de las estructuras analizadas, se procede a generar posibles soluciones a estas falencias, todo esto teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la Resolución 0330 del 2017, luego de proponer mejoras en el sistema se procede a realizar los planos de cada una de las estructuras analizadas.

Palabras claves: Captación, Pérdidas, Caudal, Diseño, AutoCAD.

Abstract: This degree work teaches the hydraulic evaluation of the collection and pretreatment system of the ACUALCOS E.S.P drinking water treatment plant, located in the town of Chapinero, in the city of Bogotá Cundinamarca. Initially, visits are made to the different intakes that feed the plant, collecting data such as the measurements of the existing structures, the state in which they are located and the capacity they have to capture the flow required to supply the population.

also analyzing the collection box of one of these and the sand trap through which the flow passes. Next, with all the data collected, calculations are carried out to more precisely establish the amount of flow that is captured in each of the intakes and the improvements they require for optimal operation, seeking to mitigate losses in the system. Once the calculations have been carried out, faults are found in each of the analyzed structures, possible solutions to these faults are generated, all taking into account the parameters established in Resolution 0330 of 2017, after proposing improvements in the system, we proceed. to make the plans of each of the structures analyzed.

Key words: Collection, Losses, Flow, Design, AutoCAD.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso de suma importancia para cualquier tipo de actividad; da vida y desarrollo a las comunidades, planteado como un objetivo en la cumbre de las Naciones Unidas dentro de los ODS (objetivos de desarrollo sostenible) donde uno de los objetivos es garantizar agua limpia y saneamiento básico para toda la población. (*Datos del ODS 6, 2023.*)

Existen diversas utilidades para este recurso esencial, siendo el consumo humano la más crucial, ya que, sin él, una persona no podría sobrevivir más de dos días, sucumbiendo a la deshidratación debido a que el cuerpo está compuesto en un 70% de agua (National Geographic, 2023). Cabe señalar que no toda el agua es apta para el consumo, pero mediante un tratamiento adecuado, se puede hacer apta para el consumo humano, independientemente de su origen.

Para abordar esta necesidad, la ingeniería ha implementado sistemas de acueducto, comenzando desde una parte esencial del sistema: la bocatoma. Esta estructura desvía una pequeña porción del caudal destinado a abastecer todo el sistema, iniciando así el proceso de tratamiento para obtener agua con la calidad adecuada para el consumo.

La construcción de bocatomas se adapta a la demanda de la población, pero en ocasiones, el crecimiento demográfico y, por ende, la demanda supera las proyecciones y capacidades de estas estructuras. A lo largo del tiempo, las bocatomas pueden enfrentar desgaste y falta de mantenimiento, acelerando su deterioro y generando pérdidas de agua al inicio del sistema. Esto

resulta en la captación de un caudal mayor al necesario, provocando cambios en el ecosistema del lugar de abastecimiento. Aquí es donde entra en juego el concepto de caudal ecológico, que establece que el sistema puede abastecerse de diversas fuentes de agua, pero debe limitar la cantidad para no alterar el ecosistema local.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Gran parte de los municipios de Colombia no cuentan con un sistema de captación que cumpla con las especificaciones técnicas y la normativa, pero también en las grandes ciudades del país se tienen sistemas de abastecimiento que llevan años trabajando en pro de las poblaciones a las cuales les transportan hasta sus hogares este recurso vital, es el caso de ACUALCOS E.S.P, que es un acueducto comunitario que inició labores hace 40 años, con el esfuerzo de los pobladores de los barrios San Luis, San Isidro I y II, y La Sureña, ubicados a un costado de la ciudad de Bogotá (ACUALCOS, 2023.)

Este importante sistema de abastecimiento lleva trabajando desde el año 1983, llevando agua a los pobladores de los barrios San Luis, San Isidro I, San Isidro II y la Sureña, pero deteniéndonos un momento a pensar en el crecimiento poblacional y la cantidad de personas que día a día van llegando a la capital buscando oportunidades, surge la inquietud de saber si el sistema de captación de ACUALCOS E.S.P aún cuenta con unas instalaciones aptas para abastecer este gran incremento poblacional que se ha registrado en la capital en los últimos años (DANE, 2023).

En este contexto, se propone examinar detalladamente el sistema de captación de la planta ACUALCOS E.S.P en la localidad de Chapinero. El objetivo inicial es llevar a cabo un análisis exhaustivo de las instalaciones para identificar las mejoras necesarias que aseguren el continuo abastecimiento de agua a la población de Chapinero Alto, minimizando al máximo las posibles pérdidas.

ESTADO DEL ARTE

A continuación, se hizo la búsqueda de trabajos de investigación relacionados con el tema tratado en el presente, esto utilizando la plataforma SCOPUS que proporciona una búsqueda más minuciosa de artículos, libros o cualquier otro tipo de documento que aporte a la investigación.

Se trata de usar documentos y artículos que estén relacionados con el tema y que al mismo tiempo estén regidos por la norma colombiana en cuanto a todo el desarrollo del proyecto.

Con la intención de incluir artículos e investigaciones en un segundo idioma, en este caso se incluirán artículos en inglés.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la efectividad de las tecnologías para eliminar antibióticos, bacterias resistentes a los antibióticos y sus correspondientes genes de resistencia, junto con una exploración de los países donde se han desarrollado estas tecnologías. Para lograr este objetivo, se realizó una revisión sistemática, centrándose en los tratamientos terciarios capaces de eliminar los contaminantes especificados. Las bases de datos ScienceDirect y Scopus sirvieron como fuentes primarias, considerando solo estudios experimentales realizados entre 2006 y 2019, y en el análisis de datos se incluyeron tecnologías que demostraron tasas de eliminación superiores al 70%. Entre las nueve tecnologías examinadas en 47 investigaciones, se determinó que los tratamientos foto-Fenton y electroquímicos resultaron más eficaces para eliminar los antibióticos. Mientras tanto, la radiación gamma y la fotocatalisis con TiO₂ y UV mostraron resultados superiores en la eliminación de agentes microbianos resistentes a los antibióticos y sus genes de resistencia, logrando eficiencias del 99,9%. En particular, China, un importante productor y consumidor de antibióticos, surgió como el país líder en investigación científica en este campo. El estudio subraya la importancia de la innovación en los procesos de tratamiento de aguas residuales para mejorar la eliminación de antibióticos, bacterias resistentes a los antibióticos y sus genes de resistencia. Este énfasis es crucial debido a los posibles impactos en los ecosistemas acuáticos y la salud pública. (Zapata-Zúñiga et al., 2022).

La isla flotante artificial representa una tecnología de restauración ecológica de ambientes acuáticos, basada en los principios de la hidráulica ecológica. Su objetivo principal es abordar la

cuestión del agua eutrófica descomponiendo la demanda química de oxígeno, el nitrógeno total y el fósforo total. Esta tecnología ofrece importantes beneficios sociales y ambientales, así como aplicaciones prometedoras. En el contexto del tratamiento de aguas residuales domésticas, se estableció un entorno de prueba para la isla flotante artificial de tipo vegetal mixto, incorporando lucioperca, *Scirpus tabernaemontani* y juncos de pantano. Al analizar los efectos de adsorción y absorción de varias plantas, se determinaron y resumieron las capacidades de purificación de la isla flotante artificial de tipo vegetal mixto en función de los valores conocidos de nitrógeno total, fósforo total y demanda química de oxígeno. Los resultados de las pruebas indican una eficacia significativa del sistema de islas flotantes artificiales de tipo planta mixta en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Las tasas de eliminación de nitrógeno total y fósforo total fueron del 55,12% y 37,59%, respectivamente, mientras que la tasa de eliminación de la demanda química de oxígeno alcanzó el 47,85%. Así, la isla flotante artificial de tipo vegetal mixto demuestra ser un método eficaz para eliminar el nitrógeno y el fósforo del agua. (Chen et al., 2022).

El *Ulex Europaeus* es un arbusto leñoso perenne perteneciente a la familia de leguminosas Fabaceae. Reconocida internacionalmente como Tojo y conocida como Retamo espinoso en Colombia, esta planta espinosa, oportunista y perennemente ramificada exhibe un alto potencial invasivo, particularmente prosperando en ecosistemas perturbados (Beltrán y Barrera, 2014). Su presencia se ha relacionado con importantes impactos ambientales y desequilibrios ecosistémicos (Amaya-Villarreal y Rengifo, 2010).

Objetivo. Este estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad de *Ulex europaeus* como alternativa coagulante natural para el tratamiento primario de agua. Materiales y métodos. Metodológicamente se preparó una solución de *Ulex europaeus* al 1% y se aplicó en dosis de 3, 6, 9, 12 y 15 mL, en tres niveles de pH diferentes. Se empleó la técnica de coagulación-floculación mediante jarras de prueba, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$). Resultados. El estudio reveló que *Ulex europaeus* posee propiedades coagulantes, con diferentes dosis y niveles de pH logrando una eficiencia de eliminación de turbidez del 40% (a pH 3 y una dosis de solución coagulante de 6 ml). Conclusiones. Se concluye que existe una relación directa entre el pH inicial de la muestra y el volumen de dosificación de la solución coagulante, influyendo en las eficiencias de eliminación de turbidez. (Santana et al., 2021).

Este artículo analiza los resultados de la evaluación de la eficiencia de la fotocatalisis heterogénea para eliminar el contaminante metilparabeno, una sustancia previamente identificada en varios ambientes acuosos y que se sospecha está relacionada con actividades disruptivas en diversos organismos. Los experimentos se llevaron a cabo utilizando un colector de cilindro parabólico con la luz solar como fuente principal de radiación. Empleando un diseño experimental compuesto central y una metodología de superficie de respuesta, el estudio investigó el impacto del pH de la solución, la concentración del catalizador y la presencia de peróxido de hidrógeno en la eliminación del sustrato. Además, la investigación identificó ciertos subproductos generados durante la reacción. (Zúñiga-Benítez & Peñuela, 2019).

Se cuenta con un documento titulado *Diseño y construcción de un prototipo de bocatoma lateral para el laboratorio de hidráulica de la universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio* presentado por Edixon Chingate, Helmer Álvarez y Nixon León, en el año 2020, donde presentan el diseño y construcción de una bocatoma lateral en la universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio, nos ilustra el documento con amplia información sobre los diferentes tipos de bocatomas y el diseño de la bocatoma lateral en la sede mencionada anteriormente (*Diseño y construcción de un prototipo de bocatoma lateral para el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio*, 2021).

Continuando con la indagación de información, se encuentra con un documento que podría dar aportes importantes al inicio de la investigación, este se titula *Estudio de prefactibilidad para el sistema de acueducto complementario de la cabecera municipal de la Vega, Cundinamarca, 2020*, Donde los autores *Giovana Andrea Prada Vara, Germán Andrés Castiblanco Solórzano, Ángel David Guerrero Rojas, Alfredo Andrés Espinel Ortiz* explican cada uno de los términos que se suelen utilizar al momento de realizar los cálculos para el diseño de un acueducto, es decir, la demanda, caudales que se necesitan para abastecer a cierta cantidad de población, esta información es muy valiosa para la investigación ya que son los cimientos para el diseño de una bocatoma (*Estudio de prefactibilidad para el sistema de acueducto complementario de la cabecera municipal de la Vega, Cundinamarca*, 2014).

Se encuentra el documento titulado *Diseño de bocatomas*, un documento peruano que tiene como autor al *Ingeniero Alfredo Mansen Valderrama* quien nos proporciona información relacionada con los diferentes tipos de bocatomas, los diferentes tipos de cálculos hidráulicos que se realizan al momento de realizar el diseño, las partes que lo componen y la importancia de cada una, también nos ilustra con una breve reseña de cómo se encuentra la investigación de este tipo de estructuras en Perú (Alfredo Manse, 2019).

Siguiendo con la búsqueda de documentos que nos aporte conocimientos e ideas para el trabajo en cuestión, encontramos la tesis titulada *Propuesta de optimización para la planta de potabilización de agua del municipio de Zipacón Cundinamarca* donde sus autores *Fabián Camilo Alarcón Mariño, Nicolás Molina Cely* nos indican el paso a paso para la mejora de la PTAP en el municipio de Zipacón, iniciando el sistema desde la parte de la captación, es decir la bocatoma, hasta el proceso final de la planta que es ya la distribución hacia la red de acueducto donde el principal objetivo de este trabajo de grado es realizar el diagnóstico y evaluación técnica a la planta de potabilización de agua en el corregimiento conocido como La Vedra en el municipio de Zipacón Cundinamarca y determinar la mejora de los procesos y operaciones, de acuerdo a las normas vigentes, y así darle cumplimiento al objetivo de desarrollo sostenible número 6 (Agua y saneamiento básico) (*Propuesta de optimización para la planta de potabilización de agua del Municipio de Zipacón (Cundinamarca)*, 2021).

Se encuentra el documento titulado *Evaluación del sistema de abastecimiento a partir de un balance de oferta y demanda en un acueducto veredal la cabaña del municipio de Zipacón Cundinamarca*. donde el autor *Francisco Cruz Hernández* en su trabajo investigativo nos presenta el siguiente resumen. El presente artículo se hizo conociendo las falencias con las que cuenta una comunidad, buscando el cambio de mentalidad de que los recursos son infinitos, al contrario, si se usan de manera irresponsable se terminarían. De acuerdo a este lema se inició un estudio para observar la oferta y la demanda en un acueducto ubicado en el sector conocido como veredal de la cabaña, ubicado en el municipio de Zipacón. Se indagó sobre las condiciones climáticas del lugar, las que eran más representativas que serían de gran ayuda para la realización de la investigación; Éste estudio se llevó a cabo en la mesocuenca del río Apulo, y se tuvo en cuenta un período histórico de 20 años, desde 1986 hasta 2005, utilizando los registros de la estación La Florida del

IDEAM. Según los datos recopilados de esta estación en cuanto a la precipitación, se determinó que, en promedio, caen 100.8 mm de lluvia al año, con niveles más altos en los meses de abril y octubre, y niveles más bajos en junio. La temperatura anual promedio es de 16.8 °C y experimenta cambios mínimos a lo largo del año, aunque se observan variaciones bruscas entre agosto y septiembre, lo que puede influir en la humedad y la evaporación (*Cruz Hernández, 2017*).

En relación al sistema de abastecimiento de agua, el acueducto carece de sistemas primarios de tratamiento, la bocatoma es básica y no cuenta con desarenador, micromedidores ni macromedidores. El caudal captado es de 4.56 L/s para satisfacer las necesidades locales. Se realizó una proyección de la población a 15 años, considerando una tasa de crecimiento del 0.63%. Luego de promediar los métodos encontrados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable Saneamiento Básico (RAS) para calcular la dotación de diseño, los cálculos aritméticos, geométricos y exponenciales indicaron que para el año 2023 se estima una población de 1.513 habitantes.

En cuanto a la oferta y la demanda para el período de diseño hasta el año 2032, se observa una demanda de 63,574 m³/año y una oferta de 883,008 m³/año, generando un excedente de 819,433 m³/año. Esto sugiere que, hasta ese período de proyección, la fuente de agua de la quebrada será suficiente para atender las necesidades de la población sin dificultades. (*CruzHernandezFrancisco,2017*).

MARCOS REFERENCIAS

MARCO TEORICO – CONCEPTUAL

Con el fin de familiarizar al lector con el tema en cuestión se realiza la compilación de diferentes términos con sus respectivos conceptos para un mayor entendimiento.

Río.

Un río es una corriente natural de agua que fluye en una dirección específica, generalmente hacia el océano, el mar, un lago o otro río. Los ríos son componentes fundamentales de los sistemas hidrológicos de la Tierra y desempeñan un papel crucial en el transporte de agua, sedimentos y nutrientes a través de paisajes. Los ríos son una parte vital de los ecosistemas y proporcionan hábitats únicos para una variedad de flora y fauna (*Incidence of the tensor of the vastus intermedius: A cadaveric study*, 2023).

Objetivos de desarrollo sostenible.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 con el propósito de constituir un llamado universal para erradicar la pobreza, preservar el medio ambiente y garantizar que para el año 2030 todas las personas experimenten paz y prosperidad.

Los 17 ODS están interconectados, reconociendo que la acción en un área puede tener impacto en otras, y que el desarrollo debe ser equitativo en términos de sostenibilidad social, económica y ambiental. Los países se han comprometido a priorizar el avance de aquellos que están más rezagados.

Los ODS están diseñados para poner fin a la pobreza, el hambre, el VIH/SIDA y la discriminación contra mujeres y niñas (*Sustainable Development Goals*, 2015).

Agua

Se trata de un líquido que carece de sabores, olores y colores distintivos, y se encuentra en la naturaleza en un estado relativamente puro. En nuestro planeta Tierra, cubre aproximadamente el 71% de la superficie. Esta sustancia es bastante abundante en el Sistema Solar y el universo en sus estados gaseoso y sólido. («Agua - Concepto, composición, funciones e importancia», 2023)

En nuestro planeta, el agua se encuentra mayormente distribuida en tres principales áreas: los mares y océanos, que representan el 96.5% del total; los glaciares y casquetes polares, con un 1.74%; y en depósitos acuíferos y permafrost, con un 1.72%. El resto del agua en el planeta, que constituye un 0.04%, se halla en lugares como lagos, la humedad de los suelos, el vapor presente en la atmósfera, embalses, ríos y dentro de los organismos vivos. («Agua - Concepto, composición, funciones e importancia», 2023)

Agua potable

El agua potable escasea, pero es de suma importancia para la vida humana. Al decir que se cuenta con agua potable, se está diciendo que se tiene un agua que las personas pueden beber sin que les presente ningún riesgo para la salud. Solo algunas personas tienen el privilegio de contar con agua potable, y millones mueren al no tener acceso a ella. Aunque el agua potable tiene origen en la naturaleza, entre su origen y su final, hay un proceso intermedio por el que el agua se hace potable (*AGUA POTABLE*, 2023.)

Agua cruda

El agua cruda es agua natural como el agua de lluvia, el agua subterránea y el agua de cuerpos como lagos y ríos. El agua se considera cruda hasta que se trata mediante un proceso de tratamiento de agua potable (Industriapedia, 2022).

El agua cruda es menos costosa que el agua tratada, pero conlleva más riesgos. En una unidad generadora de vapor, los contaminantes del agua cruda pueden (Industriapedia, 2022).

- Corroe los metales.
- Forma depósitos aislantes de sedimentos.

- Escala en superficies de transferencia de calor.
- Causar sobrecalentamiento y posible falla de partes presurizadas.

Caudal

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. (Robles, 2023).

Caudal Ambiental

De acuerdo con lo establecido en el artículo 2.2.3.3.1.3 del Decreto 1076 de 2015 (modificado por el Decreto 050 de 2018), el caudal ambiental es el “Volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de régimen y calidad, requerido para mantener el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su provisión de servicios ecosistémicos” («Caudal Ambiental», 2023).

Caudal ecológico

El término de "caudal ecológico" se encuentra ampliamente utilizado en la literatura científica, y todas las definiciones coinciden en que se refiere a la cantidad y calidad del agua que debe mantenerse en un río para preservar las condiciones de vida de los organismos que lo habitan sin alterarlas. Además, este concepto ha sido incorporado en las regulaciones de numerosos países como una expresión del objetivo socioambiental de proteger los cuerpos de agua y salvaguardar los derechos de las comunidades que dependen de este recurso hídrico. (*Caudal Ecológico*, 2019).

Resolución 0330 del 2017

Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009 (*Resolución 0330 - 2017 | Minvivienda, 2017*).

Conexión Bypass

Una conexión de bypass constituye una tubería que conecta las secciones de aspiración y descarga de un conjunto elevador de presión, permitiendo derivar el flujo de agua cuando las bombas no están operativas. Esta tubería adicional está compuesta por un colector, dos válvulas de cierre y una válvula de retención, y se sitúa entre los colectores de aspiración y descarga del conjunto elevador de presión.

La función principal de la conexión de bypass radica en posibilitar que el agua evite las bombas, fluyendo directamente desde la sección de aspiración hasta el colector de descarga (*Conexión bypass, 2021*).

Aguas superficiales

Estas son las capas que se encuentran sobre la superficie terrestre y en contacto con la atmósfera, es decir, en la parte exterior. Para una descripción más sencilla, podríamos decir que son las que son visibles a simple vista o que no se encuentran debajo de la tierra. (*Qué son las aguas superficiales, 2022*).

Estos cuerpos de agua comprenden el agua proveniente de lluvias, manantiales y de los flujos que provienen de otras fuentes acuíferas. El curso de las aguas superficiales generalmente las lleva hacia un cuerpo de agua más extenso, como ocurre en el caso de los ríos que finalmente desembocan en los océanos.

Aguas subterráneas.

Para aprovechar las aguas subterráneas, es esencial establecer un sistema de captación, que consiste en un conjunto de métodos para hacer que el agua almacenada en los acuíferos esté disponible para su uso. Cuando hablamos de acuíferos, nos referimos a las formaciones rocosas

que almacenan agua y permiten su movimiento debido a la influencia de la gravedad, lo que facilita su explotación en cantidades significativas.

La aplicación de conocimientos hidrogeológicos y la gestión adecuada de este recurso contribuyen a un suministro sostenible a largo plazo y ayudan a satisfacer las demandas, al mismo tiempo que mitigando el impacto en el ciclo climático. Un desequilibrio en el ciclo hidrogeológico puede transformar este recurso en no renovable (*Aguas subterráneas*, 2021).

Bocatoma.

Se define el término bocatoma como una estructura que es la responsable de cambiarle el curso a una parte del caudal de un río o cuerpo de agua para luego ser tratado y distribuido a cualquiera que sea la necesidad de su uso.

Tipos de bocatoma

Toma lateral con muro transversal.

Utilizada generalmente en ríos y quebradas donde la lámina de agua no es muy profunda, teniendo de desventaja que cuando el caudal crece y recoge todo el material que transporta el río o quebrada se puede llegar a tapar la rejilla y el desagüe.

Bocatoma lateral con bombeo.

Este tipo de bocatoma es utilizada cuando el río cuenta con una sección transversal bastante grande y una profundidad considerable, este tipo de bocatoma cuenta con una rejilla que no permite el paso de material que transporta el río.

Bocatoma lateral por gravedad.

En ríos de gran profundidad, se puede utilizar este tipo de sistema de toma de agua, ya que se puede implementar mediante el flujo por gravedad, de manera similar a la toma con un muro transversal. En este caso, el muro se reemplaza por compuertas, y la rejilla se sustituye por una de

mayores dimensiones. Esta estructura se emplea en ríos con un caudal limitado y donde no se produce una erosión profunda del lecho.

La ubicación de la estructura se determinará en el lugar más adecuado, teniendo en cuenta las características geológicas de la zona, y se aplicarán muros de protección adicionales para prevenir el desgaste del terreno circundante.

Bocatoma superficial.

Este tipo de estructuras se tratan de canales a cielo abierto, pero existe un gran problema ya que no mide el caudal que se va a captar, es decir que, para un sistema de abastecimiento en determinado lugar, no sería de gran ayuda teniendo en cuenta que se debe captar únicamente el caudal que se requiere, el resto representaría desperdicios.

Bocatoma de fondo.

El agua se recolecta a través de una rejilla situada en la parte superior de una barrera, que se coloca de forma perpendicular al flujo del río. La anchura de esta barrera puede ser igual o menor que la anchura del río.

Desarenador

Un desarenador constituye una estructura ubicada en las proximidades del punto de captación, como, por ejemplo, al inicio del proceso en una estación depuradora. Su finalidad es retener, extraer y separar diversos elementos como arena, gravilla, tierra y otros sólidos presentes en el agua residual. Posteriormente, se procede a filtrar esta sedimentación para someterla a un tratamiento adicional(«▷ Desarenador ACO Remosa», 2023).

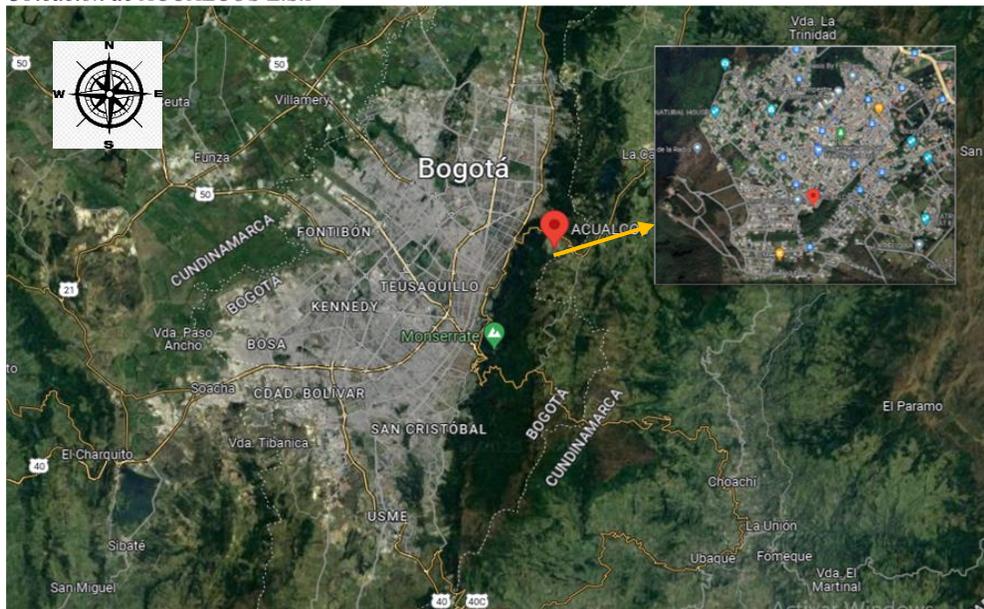
Al llevar a cabo la separación de componentes como arena, sedimentación y partículas pesadas del flujo de aguas residuales, el desarenador impide que dichos elementos ingresen al sistema. Esto es fundamental, ya que la acumulación de este material podría ocasionar obstrucciones y desgaste en las bombas y otros componentes de la instalación.

MARCO GEOGRAFICO

La calera, ubicada en la parte nororiental de la capital, Bogotá D.C, a tan solo 18 Km (ver figura 1) se encuentra a una altura entre los 2600 y 3000 m.s.n.m por lo que cuenta con pisos térmicos frío y páramo.

Figura 1

Ubicación de ACUALCOS E.S.P



Nota. La figura presenta la ubicación de la planta de tratamiento ACUALCOS E.S.P. Tomado de *Google maps 2023*.

El Municipio de La Calera se encuentra ubicado a orillas del valle sobre el río Teusacá. De sur a norte se encuentra surcado por la cordillera oriental, y presenta muchas ramificaciones. Algunas de estas áreas incluyen la vegetación de color verde que rodea el lugar tanto en el lado oriental como en el occidental, presentando una topografía irregular con la alternancia de valles, colinas y elevaciones. Este diseño crea un contraste asombroso que resulta muy apreciado tanto por visitantes como por residentes locales.

UBICACIÓN DE LA BOCATOMA EN EL RÍO TEUSACÁ

Tomando como punto inicial las instalaciones de la planta ACUALCOS E.S.P hacia el suroeste aproximadamente a 8 Km encontramos la bocatoma lateral que abastece la planta de tratamiento, y a una distancia de aproximadamente 500 metros se encuentra el desarenador (ver figura 2).

Figura 2

Distancia desde la bocatoma hasta la PTAP

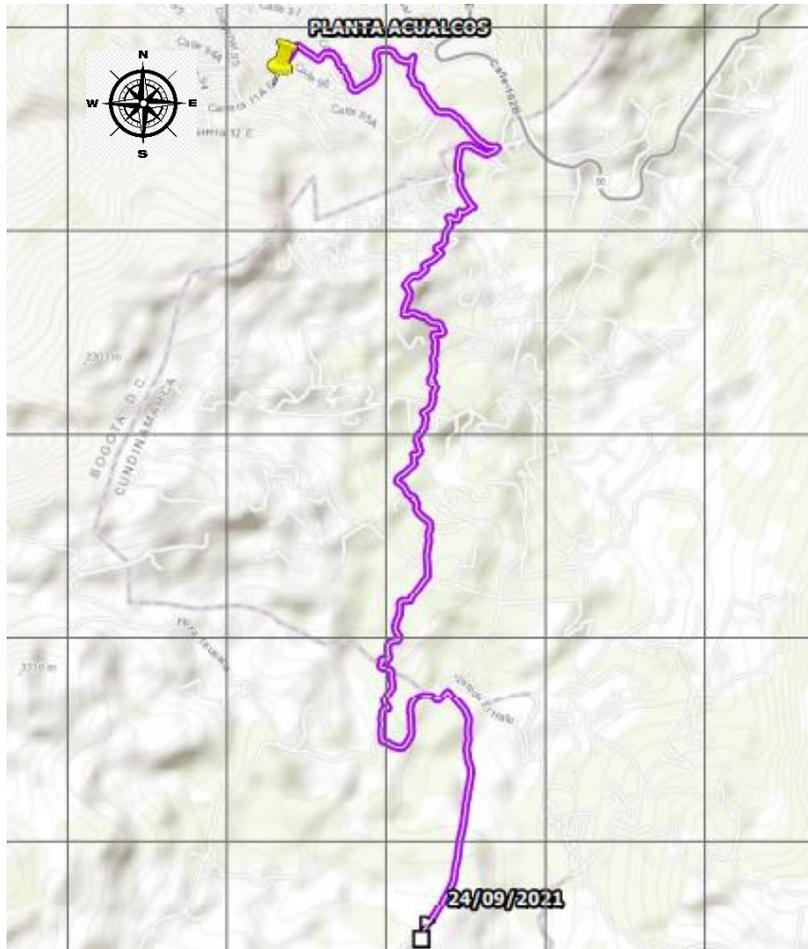


Nota. La imagen nos presenta la distancia en línea recta desde la planta de tratamiento hasta la bocatoma que alimenta la planta. Tomado de *Google maps, 2023*.

En la figura (3) se presenta la ruta que se realiza desde la planta de tratamiento ACUALCOS E.S.P hasta el punto de captación en el río Teusacá.

Figura 3

Ruta desde la PTAP hasta la bocatoma



Nota. La imagen presenta la ruta que se debe hacer para ir desde la PTAP hasta la bocatoma ubicada en el río Teusacá. Tomado de ACUALCOS, 2021.

MARCO LEGAL

La Ley 99 de 1993, conocida como la "Ley General Ambiental de Colombia", promulgada el 22 de diciembre de 1993, tuvo como consecuencia la creación del Ministerio de Ambiente. También, introdujo una reorganización del sector público encargado de la gestión del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y estableció la estructura del Sistema Nacional Ambiental (SINA). Esta legislación regula la gestión de los recursos naturales de manera sostenible, y estipula que una de las responsabilidades de las autoridades ambientales es la emisión de permisos para la utilización de estos recursos. (ACUALCOS, 2021.).

Política nacional para la gestión del recurso hídrico (PNGIRH). En ella se tienen objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para manejar los recursos hídricos en un lapso de 12 años. De los objetivos principales se puede destacar la política de la disminución de la contaminación y la recuperación de las condiciones de calidad de las fuentes hídricas.

El Decreto 1076 de 2015, emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), es el único reglamento que rige en el ámbito del medio ambiente y desarrollo sostenible. En su artículo 2.2.3.1.8, se aborda la regulación de los procesos de planificación de los recursos, que requieren una serie de etapas, entre las que se encuentra la identificación de los posibles usos del recurso, basada en los resultados de un diagnóstico. Para llevar a cabo esta identificación, es necesario realizar simulaciones de la calidad del agua, considerando diversos escenarios que engloben aspectos ambientales, sociales, culturales y económicos. (ACUALCOS, 2021.).

La Ley 142 de 1993 de Colombia, que establece el marco legal para la provisión de servicios públicos domiciliarios, dio origen a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) y a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), las cuales tienen la responsabilidad de supervisar y regular estos servicios. Este marco legal establece los derechos y responsabilidades tanto de los usuarios como de las empresas prestadoras de servicios públicos, con el propósito de asegurar la calidad, continuidad y acceso equitativo a dichos servicios en todo el territorio colombiano. (ACUALCOS, 2021.).

OBJETIVOS

GENERAL

Realizar una evaluación hidráulica en el sistema de captación de ACUALCOS E.S.P con el fin de optimizarlo.

ESPECÍFICOS

- Recopilar información del lugar donde se encuentra el sistema de captación de la planta ACUALCOS E.S.P.
- Evaluar hidráulicamente el sistema de captación de ACUALCOS E.S.P teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la resolución 0330 del 2017 y 799 del 2021.
- Generar una propuesta de optimización en el que se prevean menos pérdidas en el sistema de captación.

METODOLOGÍA

Con la finalidad de cumplir con cada uno de los objetivos planteados y realizar un análisis al sistema de captación de la planta ACUALCOS E.S.P se realizan diferentes actividades divididas en fases, mencionadas a continuación.

FASE 1: PLANEACION.

Para un óptimo desempeño en cuanto al desarrollo de todo el proyecto, se pone en marcha la fase denominada planificación, que es una de las más importantes, ya que en esta fase se generan las diferentes actividades a desarrollarse durante el transcurso del proyecto.

En esta etapa, se investiga el sitio de trabajo y se recopila información proporcionada por la empresa ACUALCOS E.S.P., como la ubicación de su sistema de captación y la fuente desde la cual se realiza la captación. Estos datos son fundamentales para el inicio del proyecto. Luego, se inicia la recolección de información mediante una visita de campo al lugar donde se ubica el sistema de captación.

FASE 2: EVALUACION HIDRAULICA.

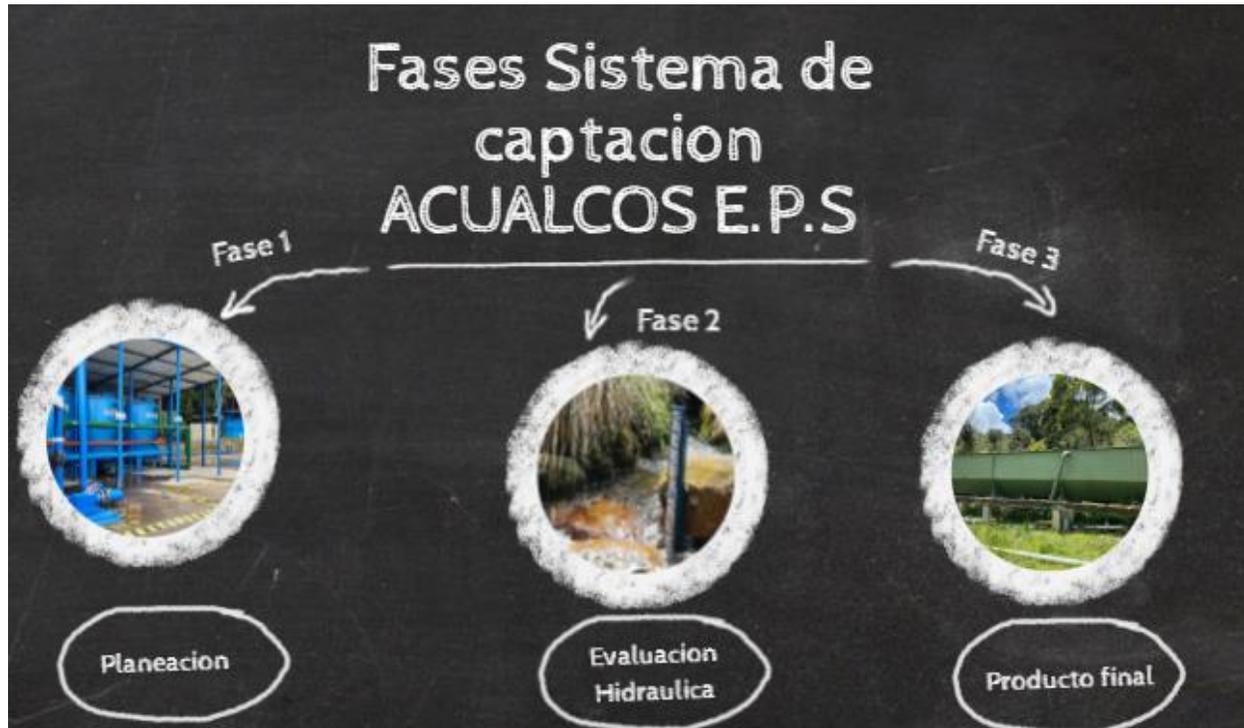
Esta etapa del proyecto implica la recopilación completa de todos los datos necesarios para la evaluación hidráulica del sistema de captación. Posteriormente, se realiza el cálculo de la bocatoma y el desarenador, seguido por un análisis de los resultados, teniendo en cuenta los parámetros presentes en el RAS.

FASE 3: PRODUCTO FINAL.

Después de completar los cálculos hidráulicos de las estructuras, se inicia la etapa final del proyecto. En este punto, se desarrolla una propuesta destinada a mejorar y optimizar el sistema de captación de la planta de ACUALCOS E.S.P.

Figura 4

Diagrama de fases del proyecto



Nota. La figura presenta las fases que se deben desarrollar durante el proyecto. Tomado de *Fuente propia*, 2023

RESULTADOS

Con el propósito de alcanzar los objetivos establecidos en este trabajo, el equipo se dedica a recopilar datos.

Inicialmente, ACUALCOS E.S.P proporciona información crucial para el proyecto, como la ubicación de las bocatomas y el desarenador, la cantidad de agua que están captando, y detalles sobre el funcionamiento de su planta.

Al llegar al punto de captación, se inicia la medición del caudal del río (ver figura 5), revelando que, en ese punto, el caudal del río es de 50 litros por segundo.

Figura 5

Medición del caudal del río



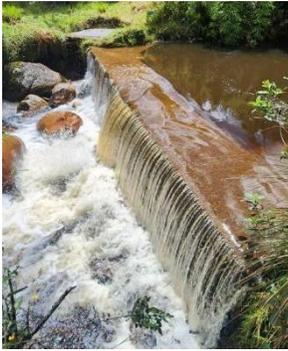
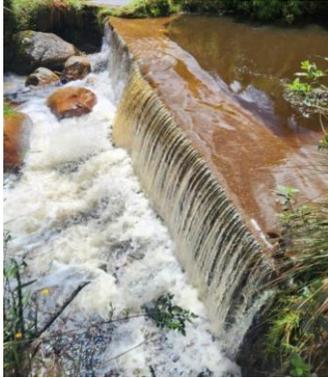
Nota. En la imagen se presenta la medición del caudal en el río Teusacá. Tomado de *Fuente propia, 2023*.

BOCATOMA 1

Al llegar a la bocatoma situada en el río Teusacá, se inicia la recopilación de datos, obteniendo la siguiente información.

Tabla 1

Medidas de la bocatoma

Dato	Valor	Unidad	Descripción
Velocidad del río	1.3	m/s	Se trata de la velocidad del río
Ancho del dique	6.1	m	Se trata del ancho de la presa. 
Altura del dique	1.1	m	La distancia que hay desde la parte superior del dique, hasta la parte más baja 

Tubería para captación	6	In	Tubería que conduce el caudal a la caja de captación
Altura de la tubería 1	0.32	m	Se toma la medida desde la parte superior del dique hacia la parte inferior
Altura de la tubería 2	1.32	m	Se toma la medida desde la parte superior del dique hacia la parte inferior

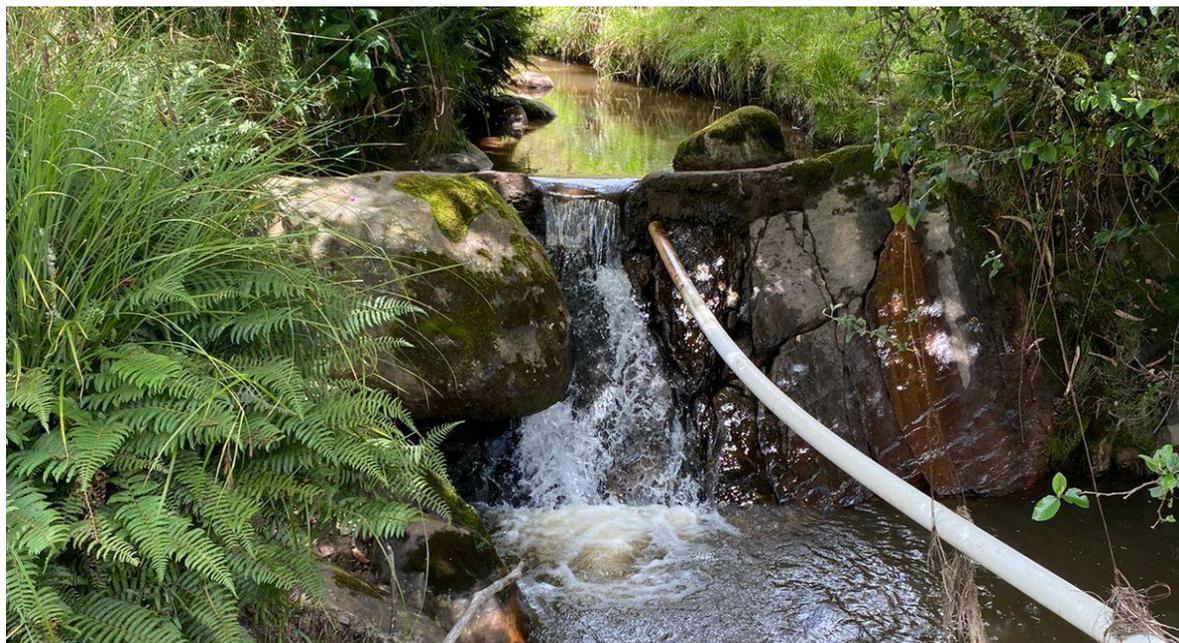
Nota. Esta tabla muestra las medias recolectadas durante la visita a la bocatoma en el río Teusacá

BOCATOMA 2

Se encuentra en el lugar una segunda bocatoma, esta no se encuentra en funcionamiento actualmente, sin embargo, se realiza la toma de datos.

Figura 6

Bocatoma 2



Nota. En la imagen se presenta la segunda bocatoma ubicada en el río Teusacá. Tomado de *Fuente propia* 2023.

Tabla 2

Datos recolectados de la bocatoma 2

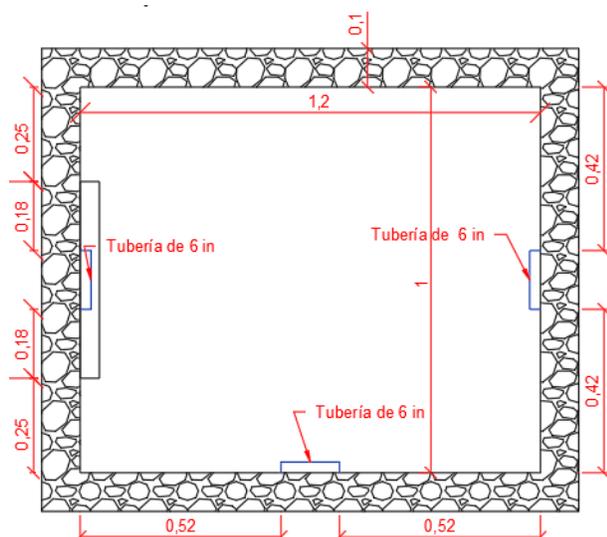
Dato	Unidad	Valor	Descripción
Velocidad del río	m/s	1.3	
Ancho del dique	m	3	Se trata del ancho del muro que contiene el caudal del río.
Altura del dique	m	1.6	La distancia que hay desde la parte superior del dique, hasta la parte más baja.

Nota. La tabla muestra los datos recolectados durante la medición de la bocatoma 2 ubicada en el río Teusacá. Tomado de *Fuente propia*.

CAJA DE CAPTACIÓN

Figura 7

Dibujo de caja de captación

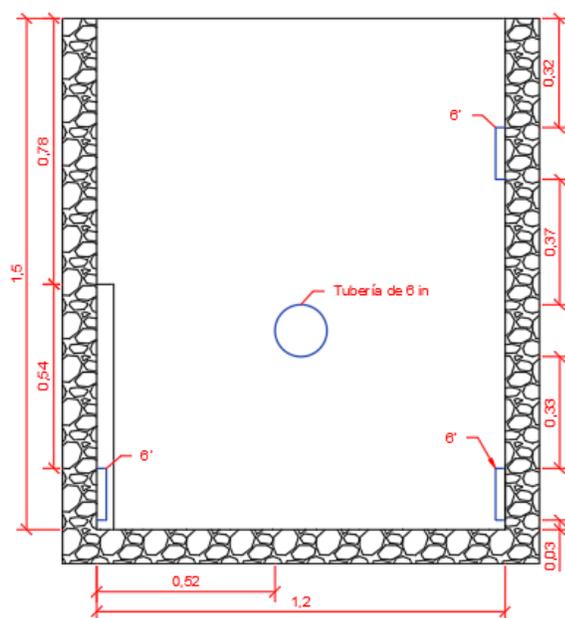


Nota. En la imagen se presenta un dibujo de la caja de captación desde una vista en planta, elaborado en AUTOCAD. Tomado de *Fuente propia*.

Después de que el dique retiene el agua, se emplean tuberías para dirigir el caudal captado hacia una caja de captación. El objetivo de este sistema es garantizar la cantidad precisa de agua que se dirigirá al desarenador. En el caso de que se recoja un caudal superior al necesario, se dispone un mecanismo para devolver el exceso de agua de nuevo al curso del río.

Figura 8

Caja de captación



Nota. En la imagen se aprecia la caja de captación desde una vista lateral, elaborado en AUTOCAD. Tomado de *Fuente propia*.

En la tabla 3 se muestran los datos recaudados en campo, estos datos corresponden a la caja de captación ubicada a un costado de la bocatoma.

Tabla 3

Medidas de la caja de captación

Dato	Valor	Unidad	Descripción
Ancho	1	m	
Largo	1.2	m	
Alto	1.5	m	
Altura de tubería de captación 1	0.32	m	Tubería que capta cuando el caudal del río es grande
Altura tubería de captación 2	1.32	m	Tubería que capta cuando el caudal del río es pequeño
Altura tubería de excesos	0.84	m	Tubería que devuelve el caudal excedente nuevamente al río.
Altura de tubería que conduce al desarenador	1.32	m	Esta tubería está protegida por una malla la cual retiene material grande
Ancho de la malla	0.51	m	
Largo de la malla	0.72	m	
Diámetro de la arena	0.9	mm	

Nota. La tabla muestra los datos recolectados durante la medición de la caja de captación.

Una vez obtenidos estos datos, se inicia con los cálculos para determinar del caudal que se está captando, utilizando la siguiente ecuación.

$$Q = v * S \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

Q= Caudal
V= velocidad del flujo de agua
S= sección de la tubería

La sección de la tubería se halla con la siguiente fórmula.

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

D= Diámetro de la tubería.
Reemplazando la ecuación 2 en la ecuación 1, tenemos la siguiente ecuación.

$$Q = v * \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ec. 3}$$

Con los datos que se han recogido en campo se le puede dar solución a la ecuación, teniendo una velocidad de 1.3 m/s y un diámetro de la tubería de 6 in, que, si se realiza la conversión a metros, se obtendrá un valor de 0.1524 m, procediendo a la ecuación quedaría de la siguiente manera.

$$Q = \frac{1.3m}{s} * \frac{\pi * (0.1524 m)^2}{4} \quad \text{Ec. 4}$$

Como resultado de esta ecuación se tiene que el sistema de captación de ACUALCOS E.S.P está captando un total de 23.71 L/s en su bocatoma, ahora, partiendo de que el caudal que llega a la planta de tratamiento es de 16.5 L/s, el caudal excedente que se devuelve nuevamente al río sería de 7.21 L/s.

DESARENADOR

Siguiendo la indicación del RAS en su apartado b, se establece que el desarenador debe ubicarse en la primera sección de la conducción, procurando que esté lo más cercano posible al punto de captación de agua. Esta disposición debe considerar las condiciones topográficas y geográficas de la zona (*titulob-030714.pdf*, 2017). Se confirma que esta condición se cumple, ya que el desarenador está a escasa distancia de la Bocatoma.

Al momento de realizar la visita a campo se encuentra con el desarenador que se presenta en la figura 9.

Figura 9

Desarenador



Nota. La imagen presenta el estado en el que se encuentra el desarenador de ACUALCOS E.S.P. Tomado de *Fuente propia, 2023.*

Una vez que se cuenta con el caudal a procesar, comienza el pretratamiento del agua antes de llegar a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP). Este procedimiento se inicia en el desarenador, para el cual se tomaron las medidas necesarias para iniciar los cálculos. Estos datos se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 4

Medidas del desarenador

Dato	Valor	Unidad
Largo	7.49	m
Ancho	2.06	m
Alto	1.55	m
Tubería entrante	6	In
Tubería saliente	4	in

Nota. La tabla muestra las medidas que presenta el desarenador.

Cálculo de la carga hidráulica mediante la siguiente ecuación.

$$Ch = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Ch= Carga hidráulica.

Q= Caudal.

A= área del desarenador.

El área del desarenador se halla con el producto entre el largo y el ancho.

$$A = 7.49m * 2.06m \quad \text{Ec. 6}$$

$$A = 15.43 m^2$$

Reemplazando en la ecuación 5, y sabiendo que el caudal que ingresa al desarenador es de 16.5 L/s.

$$Ch = \frac{1425.6 \text{ m}^3/\text{dia}}{15.43 \text{ m}^2} = 92.39 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$$

Una vez el caudal ingresa al desarenador, y teniendo las medidas del desarenador se pasa a calcular el tiempo de detención, utilizando la siguiente ecuación.

$$Td = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

Td= Tiempo de detención en el desarenador.

V= Volumen de sedimentación en el desarenador.

Q= Caudal que ingresa al desarenador.

Se halla el Volumen de sedimentación mediante la siguiente ecuación.

$$V = A * H \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

A= Área del desarenador.

H= Profundidad del desarenador.

Por lo tanto, el tiempo de detención se puede expresar de la siguiente manera.

$$Td = \frac{A*H}{Q} \quad \text{Ec. 9}$$

$$Td = \frac{15.43 \text{ m}^2 * 1.55 \text{ m}}{\frac{0.0165 \text{ m}^3}{\text{s}}} = 1449 \text{ s}$$

$$Td = 24 \text{ minutos}$$

Teniendo 4 minutos por encima del mínimo establecido por el RAS, se realiza el recalcu­lo del sistema en la bocatoma para conocer el caudal que en realidad está pasando por esta estructura.

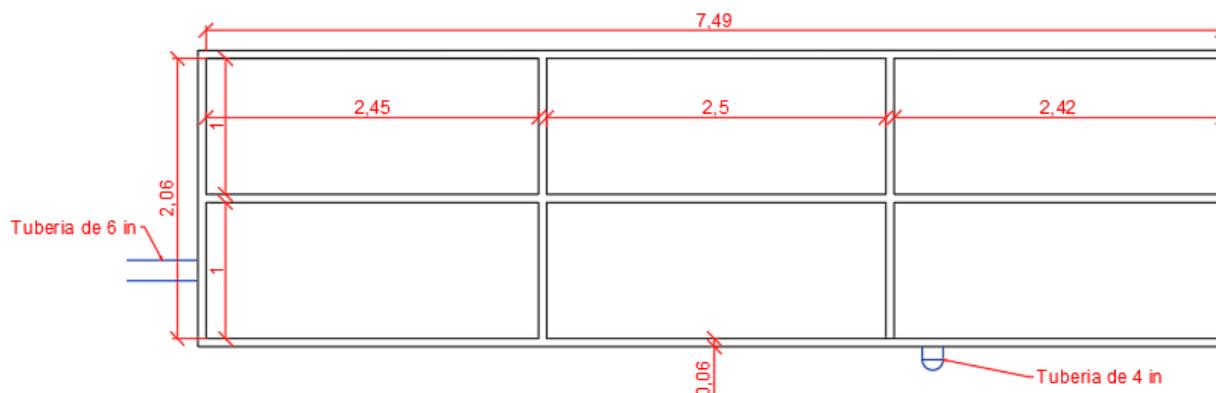
$$Q = \frac{A * H}{T_d}$$

$$Q = \frac{15.43m^2 * 1.55m}{1200s} = 0.0199m^3/s$$

Para la estructura del desarenador con el tiempo mínimo de detención que exige el RAS, estaría manejando un total de 19.9 L/s.

Figura 10

Desarenador



Nota. La Figura presenta una vista de planta del desarenador de ACUALCOS E.S.P. Tomado de *Fuente propia*.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Considerando las dimensiones y datos obtenidos durante el levantamiento de campo, se llevó a cabo una evaluación hidráulica exhaustiva. A partir de esta evaluación, se derivaron las recomendaciones que se detallan en la tabla a continuación.

Tabla 5

Análisis de resultados

Estructura	Imagen	Análisis
Bocatoma 1		<p>Basándonos en las medidas obtenidas, se sugiere la posibilidad de emplear una tubería de dimensiones más reducidas en la bocatoma. Esto garantizaría que el caudal captado sea el apropiado; no obstante, es importante tener en cuenta que esta modificación podría conllevar a un aumento en la velocidad del caudal que fluye a través de la tubería.</p>
Bocatoma 2		<p>Aunque esta estructura no está operativa, podría utilizarse siempre y cuando se capture un caudal más bajo que contribuya a suplementar el necesario durante las épocas de sequía, aunque no cumpla con los requisitos de la planta en términos del caudal total requerido.</p>
Caja de captación		<p>Se sugiere la instalación de un conducto de derivación (Bypass) en la caja de captación para asegurar que, una vez capturado el caudal requerido, cualquier excedente sea reintegrado al cuerpo de agua.</p>

<p>Desarenador</p>		<p>Se aconseja que las dimensiones longitud-anchura del desarenador sean proporcionadas en una relación de 1 a 4, donde la longitud sea cuatro veces mayor que el ancho para cumplir con los criterios del RAS. Además, se podría considerar la instalación de una válvula que restrinja el flujo de agua, de modo que, al llegar al desarenador, la velocidad sea reducida, permitiendo una sedimentación más eficaz de las partículas.</p>
---------------------------	---	--

Nota. La tabla muestra el análisis y recomendaciones que se le realizan a cada una de las estructuras.

CONCLUSIONES

- Después de llegar al sistema de captación de ACUALCOS E.S.P, se llevó a cabo la inspección del área y se logró recopilar de manera exitosa la información necesaria que contribuyó al progreso del proyecto.
- Utilizando la información recopilada, se da inicio a la evaluación hidráulica que resulta en la elaboración de la memoria de cálculos para cada una de las estructuras, detallando la función específica que desempeña cada una de ellas.
- Una vez comprendido el modo de operación de las estructuras, se elaboran las sugerencias destinadas a mejorar el rendimiento del sistema de captación.
- Se generan los planos de cada una de las estructuras.

REFERENCIAS

ACUALCOS. (2023). ACUALCOS. Recuperado 4 de septiembre de 2023, de

<https://acualcossanluis.wixsite.com/website/conoce-al-equipo>

ACUALCOS. (2021). Recuperado 10 de octubre de 2023, de

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1Q-lSzb-eUH5CGyVYDhBEVp3bJuYutTDU>

Agua—Concepto, composición, funciones e importancia. (s. f.). <https://concepto.de/>.

Recuperado 19 de septiembre de 2023, de <https://concepto.de/agua/>

Aguas subterráneas. (2019). Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado 24 de septiembre de

2023, de <https://www.ambientebogota.gov.co/aguas-subterranas>

Caudal Ecológico: Su influencia en la supervivencia de los ecosistemas. (s. f.). Recuperado 24

de septiembre de 2023, de

<https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2021/05/caudal-ecologico-su-influencia-en-la-supervivencia-de-los-ecosistemas/>

CruzHernandezFrancisco2017.pdf. (2017). Recuperado 6 de marzo de 2023, de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16398/CruzHernandezFrancisco2017.pdf>

Industriapedia. (2022, julio 27). *Qué es Agua cruda [2023]* . Industriapedia.

<https://industriapedia.com/que-es-agua-cruda/>

Inicio | Datos del ODS 6. (2023). Recuperado 6 de mayo de 2023, de

<https://www.sdg6data.org/es>

National Geographic. (2023, junio 1). National Geographic.

<https://www.nationalgeographicla.com/ciencia/2023/06/cuanto-tiempo-puede-pasar-una-persona-sin-beber-agua>

Qué es el AGUA POTABLE y sus características—Te lo contamos. . [ecologiaverde.com](https://www.ecologiaverde.com).

Recuperado 19 de septiembre de 2023, de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-agua-potable-y-sus-caracteristicas-1643.html>

Qué son las aguas superficiales: Definición y ejemplos - Resumen y FOTOS. [ecologiaverde.com](https://www.ecologiaverde.com).

Recuperado 24 de septiembre de 2023, de <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-superficiales-definicion-y-ejemplos-3944.html>

R, J. L. (2021, junio 7). *CAUDAL (fluidos) | Concepto, características, como se mide.*

<https://como-funciona.co/caudal-fluidos/>

Titulob-030714.pdf. (s. f.). Recuperado 8 de octubre de 2023, de

<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>

▷ Desarenador Aguas Residuales » ACO Remosa. (2023). *ACO Remosa.*

<https://www.remosa.net/desarenadores/>

Alfredo Manse, R. (2019). *Diseño de Bocatomas—Alfredo Manse.*

https://www.academia.edu/7304324/Dise%C3%B1o_de_Bocatomas_Alfredo_Manse

Caudal Ambiental. (2023). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.*

<https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/caudal-ambiental/>

Chen, L.-J., Wu, Y.-Y., Xu, M.-R., Cai, K.-Y., Liu, S., Su, Z., & Chen, Z.-L. (2022).

COMPARISON OF SINGLE AND MIXED PLANT ARTIFICIAL FLOATING

ISLANDS FOR DOMESTIC SEWAGE TREATMENT. *Revista Internacional de*

Contaminacion Ambiental, 38, 163-172. Scopus. <https://doi.org/10.20937/RICA.54441>

Conexión bypass. (2021). <https://www.grundfos.com/mx/learn/research-and-insights/bypass-connection>

Cruz Hernández, F. (2017). *Evaluación del sistema de abastecimiento a partir de un balance de oferta y demanda en un acueducto veredal la cabaña del municipio de zipacon*

Cundinamarca. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16398>

DANE. (2023). <https://www.dane.gov.co/>

Diseño y construcción de un prototipo de bocatoma lateral para el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio. (2021).

<https://repository.ucc.edu.co/items/32319765-3d2e-4159-9243-e381b5c1e766>

Estudio de prefactibilidad para el sistema de acueducto complementario de la cabecera municipal de la Vega, Cundinamarca. (2014).

<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/10837>

Incidence of the tensor of the vastus intermedius: A cadaveric study. (2023). [https://www-](https://www-scopus-com.ezproxy.uan.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-)

[scopus-com.ezproxy.uan.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-](https://www-scopus-com.ezproxy.uan.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-)

[85174699058&origin=resultslist&sort=plf-](https://www-scopus-com.ezproxy.uan.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-)

[f&src=s&sid=f8a9feaa918f06886f5a992d91097007&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-](https://www-scopus-com.ezproxy.uan.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-)

[KEY%28rio%29&sl=32&sessionSearchId=f8a9feaa918f06886f5a992d91097007](https://www-scopus-com.ezproxy.uan.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-)

Propuesta de optimización para la planta de potabilización de agua del Municipio de Zipacón (Cundinamarca). (2021). <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35554>

Resolución 0330—2017 | Minvivienda. (2017). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

Robles, K. (2023). *Caudal*. <https://dme-k.es.tl/Caudal.htm>

Santana, J. E., Monsalve, A. L. P., & González, V. T. (2021). Evaluation of *Ulex Europaeus* (FABACEAE) as natural coagulant for water treatment. *Produccion y Limpia*, 16(1), 100-116. Scopus. <https://doi.org/10.22507/PML.V16N1A6>

Sustainable Development Goals. (2015). UNDP. <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>

Zapata-Zúñiga, M. C., Parra-Pérez, M. Á., Álvarez-Berrio, J. A., & Molina-Gómez, N. I. (2022). Technologies in wastewater treatment plants for the removal of antibiotics, resistant bacteria and antibiotic resistance genes: A review of the current literature*. *Ingenieria y Universidad*, 26. Scopus. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu26.twtp>

Zúñiga-Benítez, H., & Peñuela, G. A. (2019). Potential application of a solar collector in the treatment of water with presence of methylparaben. *Afinidad*, 76(588), 284-291. Scopus.