



**Diseño de la planta de tratamiento de agua potable en el campus matriz de la ESPE considerando que los procesos sean visibles y analizables desde la perspectiva académica para estudiantes e investigadores.**

Garnica Domínguez, Diego Alejandro y Vásquez Guerrero, Mayra Alejandra

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, Ph.D.

23 de septiembre del 2021



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TESIS - GARNICA\_VÁSQUEZ.docx (D112376714)  
**Submitted:** 9/10/2021 6:41:00 PM  
**Submitted By:** jc.altamiranoc@uta.edu.ec  
**Significance:** 2 %

### Sources included in the report:

TESIS PAMELA LOGROÑO.docx (D14715280)  
 Tesis Jacqueline Tenesaca Cayambe Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable en  
 Pusniag San Patricio .. .docx (D12993499)  
 tesis final jacque tenesaca.docx (D12924738)  
<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2413/1/13.%20MENDOZA%20G%C3%93MEZ%20CRISTHIAN%20RONALD.pdf>  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15892/1/Tesis%20931%20-%20Pilco%20Pilco%20Wilmer%20Edison.pdf>  
<https://core.ac.uk/download/pdf/143437044.pdf>  
<http://docplayer.es/200944480-Propuesta-de-diseno-para-la-optimizacion-de-la-planta-de-potabilizacion-del-municipio-de-pitalito-huila-juan-sebastian-valenciano-perdomo.html>  
<https://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/11757/1/Tesis%20888%20-%20Ulloa%20Guerrero%20Erik%20Jossue.pdf>  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15905/1/Tesis%20933%20-%20Coca%20Cando%20Stalin%20Ismael.pdf>

### Instances where selected sources appear:

10

DARIO  
 ROBERTO  
 BOLANOS  
 GUERRON

Firmado digitalmente por  
 DARIO ROBERTO  
 BOLANOS GUERRON  
 Fecha: 2021.09.10  
 15:11:30 -05'00'



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de integración curricular, **“Diseño de la planta de tratamiento de agua potable en el campus matriz de la ESPE considerando que los procesos sean visibles y analizables desde la perspectiva académica para estudiantes e investigadores”** fue realizado por los señores **Garnica Domínguez, Diego Alejandro y Vásquez Guerrero, Mayra Alejandra**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021



Firmado digitalmente por:  
DARIO ROBERTO  
BOLANOS GUERRON

Firma

C.C.: 1715206593

Darío Roberto Bolaños Guerrón



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Garnica Domínguez, Diego Alejandro y Vásquez Guerrero, Mayra Alejandra**, con cédulas de ciudadanía N° **1721732764** y **1723719801**, respectivamente; declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular **“Diseño de la planta de tratamiento de agua potable en el campus matriz de la ESPE considerando que los procesos sean visibles y analizables desde la perspectiva académica para estudiantes e investigadores”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 23 de septiembre de 2021**

Firma



**Garnica Domínguez, Diego Alejandro**

C.C.: 1721732764

Firma



**Vásquez Guerrero, Mayra Alejandra**

C.C.: 1723719801



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Autorización de Publicación**

Nosotros, **Garnica Domínguez, Diego Alejandro y Vásquez Guerrero, Mayra Alejandra**, con cédulas de ciudadanía N° **1721732764 y 1723719801**, respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular "**Diseño de la planta de tratamiento de agua potable en el campus matriz de la ESPE considerando que los procesos sean visibles y analizables desde la perspectiva académica para estudiantes e investigadores**", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 23 de septiembre de 2021**

Firma

**Garnica Domínguez, Diego Alejandro**

C.C.: 1721732764

Firma

**Vásquez Guerrero, Mayra Alejandra**

C.C.: 1723719801

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a mis padres Hernán y Rosita, por haberme enseñado que con esfuerzo y sacrificio se puede conseguir todo lo que uno se propone, que en la vida siempre hay que ponerse límites para sobresalir adelante, por haberme tenido paciencia en mis malos momentos y ser mi principal apoyo que nunca me faltará, todo mi esfuerzo a lo largo de mi vida académica no tendría ningún sentido si no fuera por ellos. A mi hermano Ricardo, por ser un pilar fundamental en mi vida, por enseñarme cosas a diario que me han enseñado a crecer como persona, y por esa gran vibra que transmite a cualquier persona que le conoce. A mis abuelitos Olimpia y Aurelio, por enseñarme que cada esfuerzo siempre tendrá su recompensa, que no existe pretexto alguno para quedarse estancado y no triunfar en la vida. Y por último a una persona muy especial que sin duda marcó mi vida, Mayra, por ser mi apoyo en los malos momentos y sacarme una sonrisa cuando he pensado en botar la toalla, siempre será mi persona favorita y mi compañera de vida.

**Diego Garnica**

Dedico este trabajo principalmente a mis padres Vinicio y Patricia, por haberme enseñado que la familia siempre va a estar, sin importar cuando triunfes o decaigas, gracias por ser el mayor motor de mi vida y porque sin ustedes no sería la persona que soy ahora, todo lo que he logrado es fruto del inmenso amor y atención hacia mí, espero algún día poder compensarles todo lo esfuerzo y dedicación, los amo tanto. A mis hermanas Viviana y Brenda, por ser mis compañeras en días buenos y malos, por enseñarme que la vida es mejor cuando tienes alguien con quien pelear y reconciliarte cada vez, siempre voy a velar por su bienestar, nunca lo duden. A mis abuelitos María y José, por brindarme tanto amor y enseñanzas que voy a tener guardadas en mi corazón siempre, por hacerme ver que, con esfuerzo se puede conseguir cada meta propuesta. A mi tía Feli, que siempre fue como mi segunda madre, sé que

en el lugar que se encuentre, se está alegrando mucho por este nuevo logro. A Diego, por ser una persona que ha aportado tanto en mi vida, por todo el apoyo y el amor que me ha brindado, por tantos recuerdos y aventuras juntos.

**Mayra Vásquez**

## **Agradecimiento**

Agradezco a mis padres, por siempre darme su amor incondicional, por nunca fallarme y por aconsejarme con sabias palabras para superarme a diario, en ellos veo un ejemplo a seguir y siento orgullo de saber que tengo la mejor familia del mundo.

A mi hermano, Garniboy, por ser mi mejor amigo, y por ser ese motor que me impulsa adelante, le agradezco por cada enseñanza que me ha dado, por siempre sacarme una sonrisa y animarme en los malos momentos. A mi amigo Cachito, por siempre acompañarme en mis malas noches y estar a mi lado siempre que lo necesito.

A mi compañera de vida, Mayra, gracias por haberme enseñado a madurar y ver desde otro punto las cosas, sin ella nada de esto sería posible, desde su presencia mi vida tuvo un giro completo y me sirvió para querer superarme.

**Diego Garnica**

Agradezco a mis padres, por ser el pilar fundamental de mi vida, por haberme guiado y aconsejado para ser una mejor persona, por siempre esforzarse para que tuviera todo lo necesario, son los mejores padres del mundo y los amo con todo el corazón.

A mis hermanas, por darme su apoyo incondicional en cada situación adversa de mi vida, porque, aunque a veces no nos entendemos, el amor cada vez es más fuerte, sin importar nada.

A mi Mechas, por haber aparecido en mi vida en el momento más triste y hacerlo más llevadero, ahora no sé qué haría en mi vida sin él.

A mi compañero de aventuras y mejor amigo Diego, por compartir conmigo esta etapa, y seguramente, todas las que se vienen, por ser un apoyo incondicional en cada paso que doy, gracias por ayudarme cada vez a ser mejor.

**Mayra Vásquez**

## Índice de Contenido

Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	8
Índice de tablas .....	12
Resumen.....	14
Abstract.....	15
Capítulo I.....	16
Introducción.....	16
A nivel Global .....	18
A nivel Nacional.....	19
Objetivo General.....	19
Objetivos específicos.....	19
Capítulo II.....	23
Material y métodos .....	23
Capítulo III.....	37
Resultados .....	37
Mezcla lenta (Floculación) .....	48
Sistema de admisión de agua floculada .....	57
Recolección de agua sedimentada.....	58
Remoción de lodos.....	59
Tiempo de retención.....	60
Condiciones de flujo laminar.....	61
Altura mínima del lecho de resina (h) .....	63
Velocidad lineal de ablandador.....	63
Presupuestos y costos .....	68

Análisis de Precios Unitarios .....	68
Capítulo IV .....	77
Conclusiones y recomendaciones .....	77
Bibliografía .....	79
Anexos .....	84

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Diferencias entre las aguas superficiales y subterráneas</i> .....	20
<b>Tabla 2.</b> <i>Dotaciones para edificaciones de uso específico</i> .....	26
<b>Tabla 3.</b> <i>Factores Climáticos</i> .....	29
<b>Tabla 4.</b> <i>Análisis de agua cruda</i> .....	30
<b>Tabla 5.</b> <i>Rango de dureza y factor de compensación</i> . .....	35
<b>Tabla 6.</b> <i>Numérico personal ESPE</i> .....	37
<b>Tabla 7.</b> <i>Resumen de la población universitaria de los últimos cinco años:</i> .....	38
<b>Tabla 8.</b> <i>Gradiente de velocidad y tiempos</i> . .....	41
<b>Tabla 9.</b> <i>Resumen de mezcla rápida</i> .....	47
<b>Tabla 10.</b> <i>Gradiente 40 s<sup>-1</sup></i> .....	48
<b>Tabla 11.</b> <i>Resumen de mezcla lenta</i> .....	52
<b>Tabla 12.</b> <i>Resumen de sedimentador</i> . .....	62
<b>Tabla 13.</b> <i>Resumen de Ablandador</i> .....	65
<b>Tabla 14.</b> <i>Cantidades y presupuesto planta convencional</i> . .....	69
<b>Tabla 15.</b> <i>Cantidades y presupuesto planta compacta</i> .....	72
<b>Tabla 16.</b> <i>Cantidades y presupuesto tanque ablandador</i> . .....	74

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Mapa de ubicación de la PTAP</i> .....	23
<b>Figura 2.</b> <i>Ubicación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE</i> .....	24
<b>Figura 3.</b> <i>Fotografía cisterna</i> .....	27
<b>Figura 4.</b> <i>Esquema del tanque elevado</i> .....	28
<b>Figura 5.</b> <i>Fotografía tanque elevado</i> .....	28
<b>Figura 6.</b> <i>Vertedero Rectangular</i> .....	42
<b>Figura 7.</b> <i>Densidad y viscosidad en función de la temperatura</i> .....	46
<b>Figura 8.</b> <i>Valores del coeficiente de sumergencia</i> .....	50
<b>Figura 9.</b> <i>Sedimentador de alta tasa</i> .....	53
<b>Figura 10.</b> <i>Ancho del sedimentador</i> .....	54
<b>Figura 11.</b> <i>Detalle de las placas</i> .....	55
<b>Figura 12.</b> <i>Alturas del sedimentador</i> .....	56
<b>Figura 13.</b> <i>Ducto de distribución de agua floculada</i> .....	58
<b>Figura 14.</b> <i>Tubo colector</i> .....	60

## Resumen

El presente trabajo tiene como propósito el diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE de la ciudad de Sangolquí; con la finalidad de mejorar el agua que se utiliza en el campus matriz, misma que es extraída a través de dos pozos profundos. El proyecto contiene el estudio del agua subterránea, junto con una caracterización fisicoquímica rigiéndose a lo que se establece en la norma INEN 1108, donde se obtuvieron resultados de que los parámetros que están fuera del límite son la dureza total y los sólidos disueltos totales. En tal virtud se desarrolló esta investigación para poder abastecer de agua en un periodo de 25 años para 28974 personas. Se logró calcular un estimativo de consumo de agua, que fue de 95,49 metros cúbicos de agua por día, valor que sirvió para calcular el caudal de diseño necesario que es de 1,105 litros por segundo. En cuanto a los tratamientos que se le dará al agua, se encuentran detallados los cálculos de los procesos unitarios escogidos para la potabilización, los cuales son: coagulación o mezcla rápida con un vertedero rectangular, mezcla lenta con un floculador vertical, un sedimentador de alta tasa y el uso de un tanque ablandador. Como resultados se muestra el diseño de cada elemento que es necesario para el sistema y mediante el ensayo de la prueba de jarras, se pudo determinar las dosificaciones de químicos necesarios; es así como se hará uso de 0,5 ml de policloruro de aluminio, por cada litro de agua. Se incluye el presupuesto y planos de la planta potabilizadora, además de cotizaciones que se pueden considerar como otras opciones.

Palabras clave:

- **TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**
- **DUREZA TOTAL**
- **CALIDAD DE AGUA CRUDA**
- **PROCESOS UNITARIOS.**

### **Abstract**

The main purpose of this work is the design of a drinking water treatment plant for the "Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE" in the city of Sangolquí, province of Pichincha, in order to improve the water used in the main campus, which is extracted through two deep wells. The project contains the study of groundwater, along with a physicochemical characterization in accordance with INEN 1108, where results were obtained that the parameters that are outside the limit are total hardness and total dissolved solids. Therefore, this research was developed in order to supply optimal and quality water for a period of 25 years for about 28974 people divided into students, teachers, administrative staff, among others. It was possible to calculate an estimate of water consumption prior to the pandemic, which was 95.49 cubic meters of water per day, a value that was used to calculate the necessary design flow, which is 1,105 liters per second. As for the treatments to be given to the groundwater, the calculations of the unitary processes chosen for potabilization are detailed, which are: coagulation or rapid mixing with a rectangular weir, slow mixing with a vertical flocculator, a high rate settler and the use of a softening tank. The results show the design of each element that is necessary for the system and through the jar test, it was possible to determine the dosage of chemicals needed for treatment; thus, 0.5 ml of aluminum polychloride will be used for each liter of water. The budget and plans of the designed water treatment plant are included, as well as quotations that can be considered as other options if feasible.

Key words:

- **DRINKING WATER TREATMENT**
- **TOTAL HARDNESS**
- **RAW WATER QUALITY**
- **UNIT PROCESSES**

## **Capítulo I**

### **Introducción**

El agua es un líquido vital, base de toda forma de vida y el más abundante en la Tierra, este recurso natural ha sido considerado como renovable, en el caso de que su uso este controlado, pero en el caso de que no lo sea, se convierte en un recurso no renovable.

El agua destinada para consumo humano puede provenir a partir de diferentes fuentes, entre ellas se destacan, pozos, ríos o fuentes subterráneas, de donde es transportada a un sitio donde se realiza el tratamiento de la misma y su posterior distribución a cada domicilio.

Se debe asegurar tanto calidad como cantidad de agua, que abastezca a la población, además basándose en que esté dentro de los parámetros establecidos en la normativa INEN 1108, misma que es vigente en Ecuador actualmente; de modo que no constituya una fuente de contaminación a la salud de los consumidores.

La problemática discutida previamente es la motivación para la realización de este trabajo, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, no se abastece con agua potable apta para el consumo humano, por lo que surge la necesidad de elaborar un diseño de planta de potabilización, debido a que el agua es captada de un pozo subterráneo y posteriormente distribuida, sin un tratamiento previo.

### **Antecedentes**

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se abastece con agua subterránea proveniente de 2 pozos, cada uno con distinta calidad de agua, si bien, actualmente con esta cantidad de agua se puede cubrir el consumo para las personas que van a la universidad,

quienes entre administrativos y docentes suman un total de 1865 individuos; mientras que el total de estudiantes es de 27109, por lo que en el presente proyecto también se calculará la población futura y se podrá verificar si la cantidad de agua puede abastecer de manera correcta a los habitantes. (Alcocer, 2021).

La recomendación es realizar un análisis de la calidad de agua de los pozos al menos una vez al año, con lo que se puede comprobar cómo están los límites permisibles basados en la normativa vigente, para este estudio se cuenta con datos sobre calidad y se hará la comparación para focalizar el tratamiento, es decir, dependiendo del elemento que tenga mayor impacto de afección, se tomará la decisión de que método de potabilización llevar a cabo.

### **Planteamiento del Problema**

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE ha venido extrayendo agua subterránea de 2 pozos desde su creación, a lo largo de 27 años, es por eso que es necesario realizar una evaluación, diagnóstico y diseño de una planta de tratamiento de agua potable, de manera que se pueda suministrar agua de buena calidad y que sea apta para el consumo humano. Si bien es cierto, este método alternativo ha beneficiado económicamente en gran parte a la Universidad, ya que mensualmente se ahorran el cobro de planillas al no estar conectados a la red de agua potable del municipio de Rumiñahui, cabe mencionar que el agua actualmente cuenta con un proceso de desinfección mediante pastillas de cloro y un filtro de carbón activado, pero posee demasiada dureza por lo que no es posible consumirla directamente del grifo. Es por esta razón que se propone el proyecto, haciendo un llamado a las autoridades para que se construya una planta de tratamiento a corto o mediano plazo.

## **Justificación e Importancia**

### ***A nivel Global***

Al ser el agua un elemento indispensable y fundamental para la vida, también se le concibe como una necesidad humana básica. El término necesidad, se refiere a “aquello a lo cual es imposible sustraerse, faltar o resistir”, o a su vez “carencia de las cosas que son menester para la conservación de la vida” (Española, 2021).

Siendo el agua el nutriente principal del cuerpo humano, su consumo hace trabajar varias y cumple con una función específica, así como la digestión, la hidratación, transporte de nutrientes, eliminación de toxinas y muchas ventajas más. Esta cantidad de agua no es igual para todos los seres humanos, depende de diferentes factores.

Mientras en países desarrollados se usa un promedio de 70 litros de agua por persona al día para bañarse, existe una gran diferencia con las personas que viven en países que están en vías de desarrollo o en pobreza, ya que se puede llegar a destinar cinco o menos litros de agua para el mismo fin. Se establece un promedio de 15 litros de agua por persona al día para cubrir la higiene personal.

Según estudios utilizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), para cubrir las necesidades básicas de los seres humanos, se necesita de 50 litros de agua por persona al día, esta cantidad está destinada para beber y preparar alimentos debe ser potable, y el resto, al menos debe ser de agua limpia, ya que en ciertos casos se da que existe agua disponible pero no cumple con la calidad requerida, de esta manera se aumenta el riesgo de contraer enfermedades.

## ***A nivel Nacional***

La ingeniería Civil juega un papel muy importante en el proceso del desarrollo del Ecuador, se ha venido trabajando a lo largo del tiempo en diferentes sectores que impulsan a la sociedad a crear diferentes soluciones. El agua es un problema que se ve presente en el Ecuador, ya que en muchos lugares no está disponible o no cuenta con la calidad necesaria para poder consumirla. Al no disponer de agua potable en pleno 2021, nos hace un llamado a los futuros ingenieros para poder dotar de esta necesidad a las personas que lo necesiten.

En este caso los estudiantes, docentes y personal administrativo de la Universidad de las Fuerzas Armadas, cuentan con cantidad, pero no con calidad. Este problema se verá reflejado en la salud del consumidor, ya que al utilizar agua en mal estado se generan un sin número de enfermedades.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

- Diseñar una planta de tratamiento de potabilización de agua de pozo en la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, usando materiales que permitan evidenciar el proceso y analizarlo desde la perspectiva académica e investigativa.

### ***Objetivos específicos***

- Definir la calidad de agua de fuente de los pozos en comparación a las normativas vigente del país.
- Definir los parámetros de diseño, así como los procesos unitarios correspondientes de manera que se permita el correcto diseño de la planta de tratamiento.

- Elaborar planos y presupuestos requeridos para la realización del proyecto.

### **Propósito**

El propósito del tratamiento del agua es eliminar o reducir la contaminación de características indeseables del agua, ya sea natural o de suministro, en este tipo de comunidades, es factor fundamental, pues muchas son captadas en fuentes y pueden dar como resultado todo tipo de material que puede ser de calidad.

### **Normas de potabilización a utilizar**

- Ecuador: INEN 1108 - CÓDIGO DE PRÁCTICA ECUATORIANO CPE INEN 5
- AM 097-A
- AM 028

El agua potable que está apta para el consumo humano debe tener características que estén dentro de los límites permisibles que se establecen en las normas mencionadas.

### **Aguas subterráneas**

#### **Tabla 1.**

*Diferencias entre las aguas superficiales y subterráneas.*

<b>Características examinadas</b>	<b>Aguas superficiales</b>	<b>Aguas subterráneas</b>
Temperatura	Variable según la época del año	Relativamente constante

<b>Características examinadas</b>	<b>Aguas superficiales</b>	<b>Aguas subterráneas</b>
Turbiedad	Variable, a veces elevada	Baja o nula
Mineralización	Variable en función de los terrenos, precipitación, vertidos, etc.	Sensiblemente constante, generalmente mayor que en la superficie de la misma región
Hierro y manganeso divalentes en estado disuelto	Generalmente ausentes, salvo en el fondo de cuerpos de agua en estado de eutroficación	Generalmente presentes
Dióxido de carbono	Generalmente ausente	Normalmente presente en gran cantidad
Oxígeno disuelto	Normalmente próximo a saturación	Ausencia total en la mayoría de los casos
Amonio	Presente solo en aguas contaminadas	Presencia frecuente, sin ser un índice de contaminación
Ácido sulfhídrico	Ausente	Normalmente presente
Sílice	Contenido moderado	Contenido normalmente elevado
Nitratos	Poco abundante en general	Contenido a veces elevado, riesgo de metahemoglobinemia

---

Microorganismos	Bacterias (algunas patógenas), virus, plancton	Bjo contenido microbiano debido a la escasez de nutrientes
-----------------	--	--

---

*Nota:* Recuperado de (Comisión Nacional del Agua).

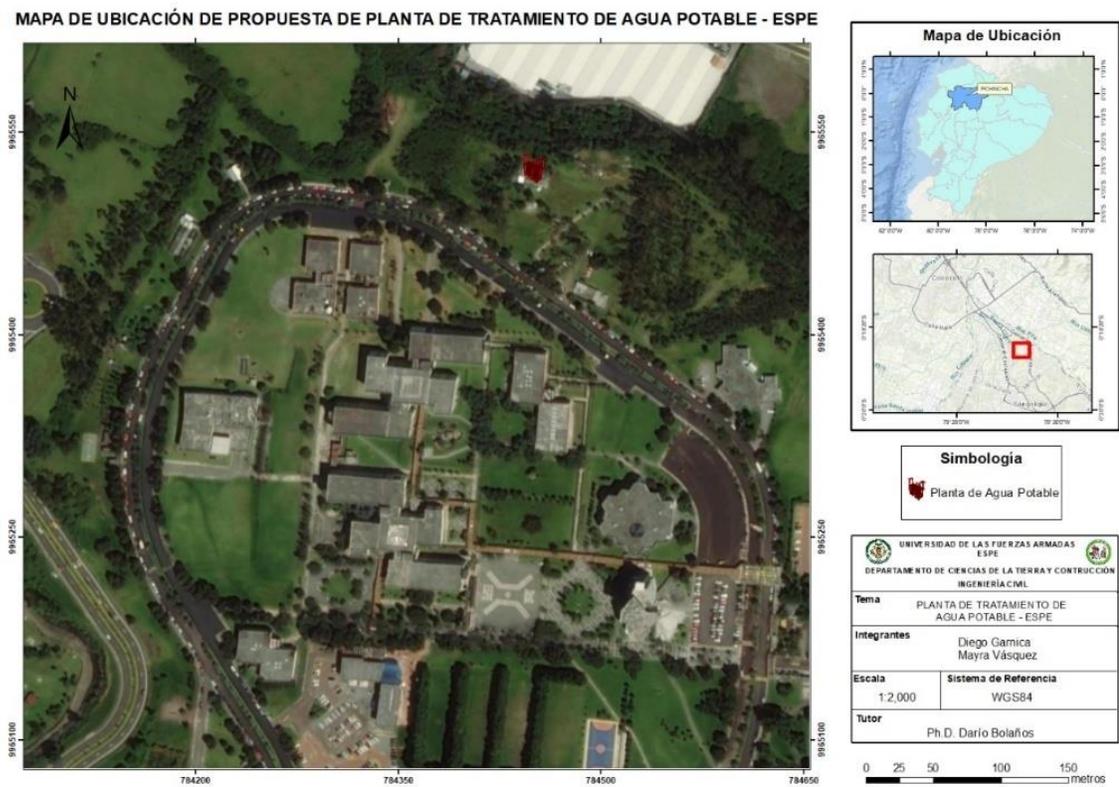
Mediante la tabla 1, se concluye que en las aguas superficiales varían los parámetros de sustancias presentes y sus respectivas concentraciones. Esto es principalmente por la exposición a la que se encuentra el agua superficial, ya que está en constante contacto con múltiples objeto y lugares, lo que ocasiona que se cambie la composición de acuerdo con el ambiente que lo rodea. Se debe tomar en cuenta que por lo general es mucho más económico potabilizar el agua subterránea que el agua superficial. (Comisión Nacional del Agua).

## Capítulo II

### Material y métodos

**Figura 1.**

*Mapa de ubicación de la PTAP.*



*Nota:* El gráfico representa la ubicación a colocar de la planta de tratamiento de agua potable. Fuente: Autoría propia.

## Figura 2.

*Ubicación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.*



*Nota:* El gráfico representa la ubicación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y de la ciudad de Sangolquí. Fuente: Google Earth.

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se ubica en la Región Interandina Ecuatoriana, en la Avenida General Rumiñahui s/n y Ambato, dentro de la ciudad de Sangolquí, perteneciente a la provincia de Pichincha, sus coordenadas geográficas corresponden a  $0^{\circ}18'53''S$  de latitud y  $78^{\circ}26'36''O$  de longitud.

### Periodo de diseño

Con lo que respecta al periodo de diseño de obras de abastecimiento de agua potable para sectores urbanos el Código ecuatoriano de construcción de obras hidrosanitarias (SENAGUA, 2016) establece un periodo óptimo de diseño de 25 años para proyectos de agua potable, alcantarillado y riego. Por lo que para el presente trabajo se adopta ese valor.

$$n = 25 \text{ años}$$

## **Población**

Para determinar la población se hizo una recopilación de datos del personal administrativo, estudiantil y docente de la universidad a partir del año 2016. Se debe tomar en cuenta que la población con la que se va a realizar el diseño tiene que ser previo a la pandemia, para tener datos más reales.

## **Población Futura**

“Para el cálculo de la población futura, se empleará el método geométrico.”  
(Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias e Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (I.E.O.S.)).

$$P_f = P_a * (1 + r)^n$$

Donde:

$P_f$ : Población Futura (habitantes).

$P_a$ : Población Actual (habitantes).

$r$ : Tasa de Crecimiento Geométrico de la Población expresada como fracción decimal.

$n$ : Periodo de Diseño (años).

## **Dotación**

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 11) capítulo 16, se encuentra la Norma Hidrosanitaria Agua NHE, que provee rangos de dotaciones de agua potable para diferentes tipos de edificaciones. La dotación especificada para centros educativos, en este caso universidades es de: entre 40 y 60 L/estudiante/día.

**Tabla 2.**

*Dotaciones para edificaciones de uso específico*

Tipo de edificación	Unidad	Dotación
<b>Universidades</b>	L/estudiante/día	40 a 60

*Nota:* Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción NEC-11.

Se procede a la elección de la dotación:

$$\text{Dotación} = 50 \text{ l/hab/día}$$

### **Volumen de agua**

La cantidad de agua que aporte la fuente debe ser la suficiente que garantice el abastecimiento ininterrumpido de agua.

Según datos recopilados en la Universidad, con información por parte de las personas que están a cargo del control y mantenimiento de los pozos de agua, se obtuvo que previo a la pandemia se llegaba a utilizar **tres tanques elevados diarios** de almacenamiento de agua en el pozo principal.

Las medidas de la cisterna donde se almacena el agua que es bombeada a partir del pozo es de: 9 metros de largo, 9 metros de ancho y 3 metros de alto. El sensor con el que trabaja la bomba se ubica a 2 metros 50 centímetros de altura. Las coordenadas de la cisterna son: 9965521.2 de latitud y 784445.4 de longitud.

**Figura 3.**

*Fotografía cisterna.*



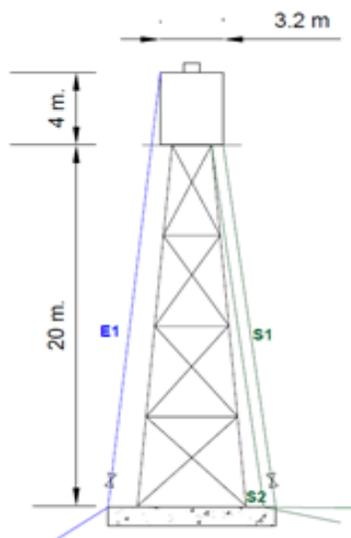
*Nota:* La planta de tratamiento será colocada junto a la cisterna. Fuente: Autoría propia.

Las bombas son de 20 caballos de fuerza y están a 56 metros de profundidad. El caudal de la bomba es de 15 litros por segundo.

Las coordenadas del tanque elevado son 784449.5 de longitud y 9965521.4 de latitud, existen 24 metros de altura desde la cisterna hasta la base del tanque elevado como se evidencia en la figura 5.

**Figura 4.**

*Esquema del tanque elevado.*



*Nota:* El tanque elevado se ubica junto a la cisterna, se encarga de abastecer de agua al campus matriz. Fuente: Autoría propia.

**Figura 5.**

*Fotografía tanque elevado.*



*Nota:* Fuente: Autoría propia.

## Clima

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se presentan dos tipos climáticos: “Frío húmedo y Húmedo”. La mayor parte del tiempo se encuentra dentro del clima Ecuatorial Mesotérmico húmedo.

El clima de la Universidad corresponde a la zona subtropical de tierras altas, la que oscila desde los 16 a 23°C durante el día mientras que en las noches baja hasta los 8°C. (GADMUR, 2014).

Se puede describir que en la Universidad se presenta:

- Precipitación media anual de 1000mm, siendo los meses de abril y octubre los de mayor precipitación.
- Rangos altitudinales que varían desde los 2435 hasta los 4000 m.s.n.m.

**Tabla 3.**

### *Factores Climáticos*

Área	Temperatura (C°)	Precipitación (mm)	Humedad (%)	Vientos (Dirección)	Nubosidad (Cielo Cubierto)	Heliofanía (horas sol)
<b>ESPE</b>	15,45	1000	73,5	SE	5,4	171,6

### Calidad del agua del pozo de abastecimiento.

Gracias a la ayuda del departamento de desarrollo físico de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, se logró recabar información en cuanto al análisis de la calidad del pozo. Siendo los resultados la tabla 4.

**Tabla 4.**

*Análisis de agua cruda.*

<b>Muestra</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Agua Cruda</b>	<b>Norma INEN 1108</b>
<b>Características Físicas</b>			
<b>Turbiedad</b>	NTU	3	<5
<b>Ph a 25 C</b>	Unidades	7,1	6-9
<b>Color</b>	uPt/Co	4	<15
<b>Olor</b>	--	No objetable	No objetable
<b>Conductividad</b>	microhoms/cm	1620	-
<b>Características Químicas</b>			
<b>Sodio</b>	mg/lit	206,00	-
<b>Magnesio</b>	mg/lit	112,00	-
<b>Calcio</b>	mg/lit	31,00	-
<b>Potasio</b>	mg/lit	6,00	-

<b>Muestra</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Agua Cruda</b>	<b>Norma INEN 1108</b>
<b>Hierro</b>	mg/lt	0,17	0,3
<b>Nitritos</b>	mg/lt	0,10	3
<b>Nitratos</b>	mg/lt	6,00	50
<b>Fosfatos</b>	mg/lt	0,00	-
<b>Sólidos Disueltos Totales</b>	mg/lt	1321,14	1000
<b>Dureza total</b>	mg/lt	533,00	300
Análisis bacteriológico			
<b>Coliformes totales</b>	UFC/100ml	<1 Ausencia	<1
<b>Coliformes fecales</b>	UFC/100ml	<1 Ausencia	<1

### Procesos de tratamiento para aguas subterráneas.

Respecto a las aguas subterráneas, el proceso de tratamiento más sencillo es la cloración, donde al agua se le desinfecta y protege de la contaminación que existe en el sistema de distribución. Comúnmente se suele adicionar flúor para el cuidado dental de la población, pero esto debe ser considerado en cuanto al costo para el suministro de este.

Algunos tratamientos comunes de utilizados en el agua subterránea son.

- Tratamiento convencional ablandador con cal-carbonato.
- Suavización con membranas.

- Tratamiento para la remoción de gas.
- Tratamiento para la remoción de hierro y manganeso.

Tratamiento convencional ablandador con cal – carbonato. El tratamiento convencional ablandador con cal se utiliza para remover dureza.

El agua se considera dura cuando tiene una dureza total (la suma de dureza carbonatada y no carbonatada) mayor a 150 o 180 mg/L. La dureza es baja (40 mg/L) cuando está conformada principalmente por calcio y magnesio. Se agrega cal en una sola etapa y carbonato de sodio para incrementar la alcalinidad y remover la dureza no carbonatada.

Por lo general la coagulación, floculación y sedimentación ocurre en un solo recipiente, llamado reactor-clarificador con recirculación de lodo.

### **Prueba de jarras:**

Como reactivo principal se utilizó el policloruro de aluminio, que es un coagulante muy común y comercial en el entorno.

Se realizaron pruebas con 6 jarras. En éstas se fue colocando diferentes dosis de coagulante de manera simultánea mientras las paletas de la máquina giraban a 200 revoluciones por minuto, esto por un tiempo de 30 segundos, de esta manera se puede simular una mezcla rápida. Luego se disminuye a 40 revoluciones por minuto durante 15 minutos, con esto se simular una mezcla lenta. Al final se le deja que flocule el agua durante 30 minutos y así se extraen muestras de agua para cada análisis de calidad.

## **Tratabilidad del agua cruda**

A partir del análisis de las características del agua cruda, son dos parámetros los que se hallan fuera de los límites normados: Dureza total y Sólidos disueltos totales.

Por lo que se procede a proponer los procesos unitarios de Tratamiento (CONAGUA):

La Planta de Tratamiento constará de los siguientes procesos:

- ✓ Mezcla Rápida (Coagulación)
- ✓ Mezcla Lenta (Floculación)
- ✓ Sedimentación
- ✓ Ablandador para tratar la dureza total y sólidos disueltos totales.

### **Mezcla rápida (Coagulación)**

La mezcla rápida es denominada como las condiciones de agitación, tiempo e intensidad de retención que debe reunir el agua cuando se dosifica el coagulante, la finalidad es que las reacciones de coagulación se den en las óptimas condiciones correspondientes al mecanismo de coagulación predominante. La dosificación se realiza en la unidad de mezcla rápida. (Carvajal, 2020).

“Los vertederos laterales, también conocidos como aliviaderos, son aberturas o escotaduras que se hacen en una de las paredes o taludes de un canal, su función es evacuar el exceso de caudal o desviar el flujo hacia otro canal.” (Gonzalez, Zaumudio, & Corzo, 2013).

Un vertedero puede usarse para medir el caudal y para producir mezcla rápida por la turbulencia del resalto hidráulico. (Carvajal, 2020).

Generalmente se utilizan resaltos hidráulicos siempre y cuando el resalto sea libre, estable y no penetre en profundidad en la masa de agua, es decir, dejando una capa por

debajo del resalto y, tratando de que el número de Froude esté comprendido entre estos dos rangos 1,7 a 2,5 o 4,5 a 9,0. Para el diseño del resalto hidráulico se usan datos preliminares como el caudal de diseño, el ancho y altura del vertedero, además, tomando en cuenta la temperatura del ambiente, se asumirá la temperatura del agua. (Carvajal, 2020).

### **Mezcla lenta (floculador)**

La mezcla lenta o floculación promueve la interrelación de partículas a fin de formar agregados con las partículas desestabilizadas y coloidales para su posterior sedimentación, el proceso se inicia inmediatamente después de la desestabilización mediante lentas agitaciones que permitan la colisión de partículas. (Carvajal, 2020).

Para el presente trabajo, se adoptó el diseño de un floculador hidráulico de flujo vertical, 1 cámara por módulo, con un tiempo de residencia de 10 minutos, se consideró una temperatura del agua de 15°C, y un gradiente de velocidad de  $40 \text{ s}^{-1}$ .

La velocidad entre tabiques suele variar entre 0,10 y 0,60; velocidades altas (0,60 m/s) pueden romper el flóculo, mientras que las bajas (0,10) permiten la sedimentación de los flóculos dentro del reactor (Carvajal, 2020).

Los floculadores de flujo vertical son más compactos que los de flujo horizontal, pueden construirse más profundo dentro de 2,0 a 3,0m, para el presente se toma una altura de 2,50 m (Carvajal, 2020).

### **Sedimentación.**

“La sedimentación se refiere a la remoción de partículas, flóculos químicos y precipitados de una suspensión en un tanque que actúa por gravedad. La sedimentación se

emplea para eliminar la fracción de sólidos sedimentables de los sólidos en suspensión.”  
(Carvajal, 2020).

Se optó por diseñar un sedimentador de alta tasa, el cual se refiere a la colocación de módulos de pequeños tubos o placas paralelas inclinadas generalmente a 60°, situados en la zona de sedimentación, los cuales permiten una sedimentación gravitacional más eficiente.

### **Ablandador.**

Es necesario conocer algunas de las condiciones iniciales como las características y potencia de los equipos que van a ser abastecidos, la calidad que tiene el agua que será tratada, y también las condiciones de dureza que se encuentren dentro del límite permisible, para saber que valores se van a tener al final del proceso.

$$\frac{\text{Capacidad } \left(\frac{\text{Granos}}{\text{pie}^3}\right)}{\text{Dureza}} * \text{Resina (pie}^3) * 3,78 \left(\frac{\text{L}}{\text{Gal}}\right) = \text{Volumen Agua Blanda (L)}$$

$$17,1 \left(\frac{\text{PPM}}{\text{Granos}}\right) * \text{Factor de compensación}$$

$$\frac{\text{Galón}}{\text{Galón}}$$

Factor de compensación = 1,5

### **Tabla 5.**

*Rango de dureza y factor de compensación.*

Rango de dureza	Factor de compensación
1_20	1,1
21_40	1,2
41_70	1,3
71_100	1,4

---

MAYOR A 100	1,5
-------------	-----

---

$$\text{RANGO DE DUREZA} = \frac{\text{DUREZA(PPM)}}{17,1 \frac{\text{PPM}}{\left(\frac{\text{GRANOS}}{\text{GAL}}\right)}}$$

#### Selección del tipo de ablandador

Las partículas que causan la dureza en el agua se pueden eliminar mediante el uso de ablandadores de tipo mecánico y químico. Dependiendo del requerimiento de producción de agua, y las características que tiene cada tipo de ablandador, se concluye que el más idóneo para este caso es el de tipo químico, debido a que el agua está destinada para consumo industrial y doméstico.

## Capítulo III

### Resultados

El diseño de la planta de tratamiento de agua potable convencional cuenta con los procesos unitarios de: coagulación, floculación, sedimentación y se aumenta un tanque ablandador para eliminar la dureza, la PTAP cuenta con un periodo de diseño de 25 años.

#### Población

Año 2020:

Estudiantes: 17115 (ESPE U. d., Rendición de Cuentas, 2020).

Personal Administrativo: 1774 (ESPE U. d., Ley de Transparencia, 2020).

Año 2019:

Estudiantes: 27109 (CPCCS, Rendición de Cuentas, 2019).

Personal administrativo:

#### Tabla 6.

*Numérico personal ESPE*

Numérico Personal ESPE		
1	LOSEP - Administrativos	448
2	Código de trabajo	202
3	LOES - Docentes	1215
<b>Total</b>		<b>1865</b>

*Nota: Fuente: (Alcocer, 2021).*

2018:

Estudiantes: 13062 (CPCCS, Rendición de Cuentas, 2018).

Personal Administrativo: 2216 (ESPE U. d., Ley de Transparencia, 2018).

2017:

Estudiantes: 10408 (CPCCS, Rendición de Cuentas, 2017).

Personal Administrativo: 596 (ESPE, 2017).

2016:

Estudiantes: 9063 (CPCCS, Rendición de Cuentas, 2016).

Personal Administrativo: 1861 (ESPE U. d., Ley de Transparencia, 2016).

### **Tabla 7.**

*Resumen de la población universitaria de los últimos cinco años:*

<b>Año</b>	<b>Población estudiantil</b>	<b>Población Administrativa</b>	<b>Total</b>
<b>2020</b>	17115	1774	18889
<b>2019</b>	27109	1865	28974
<b>2018</b>	13062	2216	15278
<b>2017</b>	10408	596	11004
<b>2016</b>	9063	1861	10924

*Nota: Fuente: Autoría propia.*

### **Población Actual**

De acuerdo con las condiciones establecidas para el diseño de esta planta de tratamiento se tiene como dato **28974 habitantes**, entre personal administrativo, docentes y estudiantes.

### **Tasa de Crecimiento Poblacional**

La tasa de crecimiento a considerar es 0,20% debido a que no hay proyección para construcciones futuras, lo que implica que no hay mayor número de crecimiento de la población estudiantil.

### **Población Futura**

$$P_f = 28974 * (1 + 0.2\%)^{25}$$

$$P_f = 30458,00 \approx 30458 \text{ habitantes}$$

### **Volumen y caudal de diseño:**

Las medidas del tanque elevado son: 10 metros de perímetro y 4 metros de alto, con estos datos se obtiene el volumen del tanque.

$$p = 2 * \pi * r$$

$$r = \frac{p}{2 * \pi}$$

$$r = \frac{10 \text{ m.}}{2 * \pi}$$

$$r = 1,5915 \text{ metros}$$

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * 1,5915^2 * 4$$

$$V = 31,83 \text{ m}^3$$

Una vez obtenido el volumen, se hace el cálculo para 3 tanques elevados diarios, por lo que el consumo es de: 95,49 m<sup>3</sup> por día

Con este dato se obtiene el caudal.

$$Q = 95,49 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \rightarrow Q = 0,0011 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \rightarrow Q = 1,105 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

### Prueba de jarras:

Para poder saber cuál es la cantidad de dosis necesaria en mg/l se inicia con el policloruro de aluminio, cuya densidad es de 1,22 g/ml.

$$v = \frac{m}{p} = \frac{1g}{1,22 \frac{g}{ml}}$$

$$v = 0.82 \text{ ml}$$

$$Pac = \frac{500 \text{ ml} * 0.82 \text{ ml}}{1640 \text{ ml}}$$

$$Pac = 0,5 \text{ ml de policloruro de aluminio}$$

Es así como va a ser necesario añadir 0,25 ml de policloruro de aluminio líquido en 500 ml de agua, cantidad que se colocará en la coagulación.

**Tabla 8.***Gradiente de velocidad y tiempos.*

<b>Gradiente de velocidad 40 rpm</b>						
<b>Fecha</b>	13/08/2021					
<b>Muestra</b>	Agua de pozo de ESPE					
<b>Lugar</b>	ISA					
<b>Número de Jarras</b>						
	1	2	3	4	5	6
<b>Químico mg/L</b>	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
<b>Velocidad mezcla rápida</b>	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
<b>Tiempo de mezcla</b>	10	10	10	10	10	10
<b>Tiempo en el que se observa los primeros flóculos</b>	10	10	10	10	10	10
<b>Ph</b>	7,28	7,33	7,36	7,41	7,24	7,25
<b>Turbiedad</b>	1,25	0,95	1,1	1,5	0,8	1,3
<b>Color</b>	3	3	2	3	4	3

*Nota:* Luego del análisis de jarras se establece un tiempo de floculación de 10 minutos.

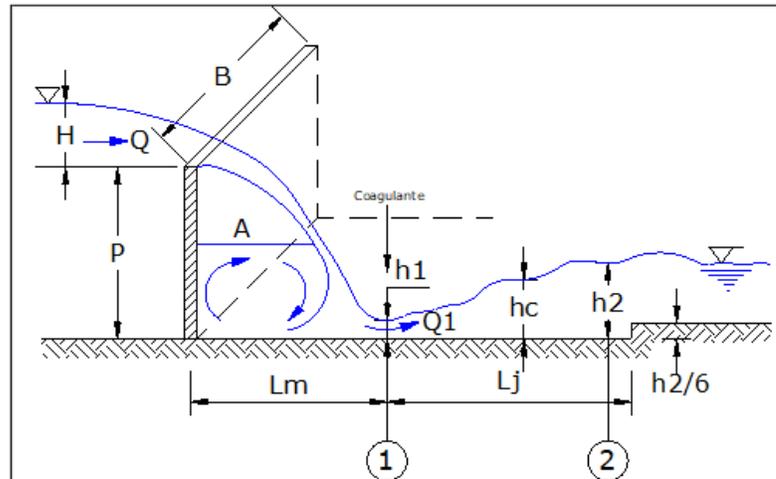
**Mezcla rápida (Coagulación)**

Caudal de diseño  $Q = 1,105$  l/s

Temperatura del agua  $15^{\circ}\text{C}$

Ancho de vertedero  $B = 1,00$  m

Altura del vertedero  $P = 0,80$  m

**Figura 6.***Vertedero Rectangular*

Se calcula el caudal, por unidad de ancho del vertedero “q” con la fórmula:

$$q = \frac{Q}{B}$$

Siendo:

Q = Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s

B = Ancho del vertedero

Teniendo como resultado:

$$q = \frac{0,0011 \text{ m}^3/\text{s}}{1,00 \text{ m}}$$

$$q = 0,0011 \text{ m}^2/\text{s}$$

La profundidad critica será:

$$hc = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$hc = \left( \frac{0,0011^2}{9,81} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$hc = 0,005 \text{ m}$$

La profundidad conjugada  $h_1$  será:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2hc}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{hc}} + 1,5}$$

$$h_1 = \frac{\sqrt{2(0,005)}}{1,06 + \sqrt{\frac{0,80}{0,005}} + 1,5}$$

$$h_1 = 0,001 \text{ m}$$

Una vez obtenida la profundidad  $h_1$  se procede al cálculo de la velocidad  $V_1$ :

$$V_1 = \frac{q}{h_1}$$

$$V_1 = \frac{0,0011}{0,001}$$

$$V_1 = 2,20 \text{ m/s}$$

Con los datos obtenidos se calcula el número de Froude

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$$

$$F_1 = 30,41 \text{ m/s}$$

La profundidad  $h_2$  se calculará una vez calculado el número de Freud con la siguiente formula:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right)$$

$$h_2 = \frac{0,002}{2} * \left( \sqrt{1 + 8 * 8,48^2} - 1 \right)$$

$$h_2 = 0,02 \text{ m}$$

Con la profundidad h2 se determina la velocidad V2:

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$V_2 = \frac{0,0011}{0,02}$$

$$V_2 = 0,05 \text{ m/s}$$

Se calcula la pérdida de energía h, en función de las profundidades calculadas:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

$$h = \frac{(0,02 - 0,001)^3}{4 * 0,02 * 0,001}$$

$$h = 0,22 \text{ m}$$

De igual manera con las profundidades se procede a calcular la longitud del resalto hidráulico

Lj:

$$L_j = 6 * (h_2 - h_1)$$

$$L_j = 6 * (0,02 - 0,001)$$

$$L_j = 0,13 \text{ m}$$

Se asume un  $L_j = 0,25m$

La velocidad media  $V_m$  en el resalto:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$V_m = \frac{2,20 + 0,05}{2}$$

$$V_m = 1,10 \text{ m/s}$$

El tiempo de mezcla rápida se lo calcula con los datos obtenidos anteriormente:

$$T = \frac{L_j}{V_m}$$

$$T = \frac{0,25}{1,10}$$

$$T = 0,22 \text{ s}$$

La profundidad  $H$  será:

$$H = \left[ \frac{Q}{1,84 B} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$H = \left[ \frac{0,0011 \text{ m}^3/\text{s}}{1,84 * 1,00} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$H = 0,007 \text{ m}$$

La distancia al punto de aplicación del coagulante se determina mediante:

$$L_m = 1,45 (P)^{0,54} (H)^{0,46}$$

$$L_m = 1,45 (0,80)^{0,54} (1,00)^{0,46}$$

$$L_m = 0,132 \text{ m}$$

Se asume un  $L_m = 0,30\text{m}$

El gradiente de velocidad según la ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * h}{\mu * T}}$$

Los valores de  $\gamma$  y  $\mu$  se toman en función de la temperatura de la siguiente tabla:

**Figura 7.**

*Densidad y viscosidad en función de la temperatura*

Temperatura °C	Densidad $\rho$ gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad	
		Absoluta $\mu$ g masa/cm.s (poises)	Cinemática $\nu = \mu/\rho$ cm <sup>2</sup> /s (Stokes)
0	0.99987	0.01792	0.01792
1	0.99993	0.01732	0.01732
2	0.99997	0.01674	0.01674
3	0.99999	0.01619	0.01619
4	1.00000	0.01568	0.01568
5	0.99999	0.01519	0.01519
6	0.99997	0.01473	0.01473
7	0.99993	0.01429	0.01429
8	0.99988	0.01387	0.01387
9	0.99981	0.01348	0.01348
10	0.99973	0.01310	0.01310
11	0.99963	0.01274	0.01274
12	0.99952	0.01239	0.01240
13	0.99940	0.01206	0.01206
14	0.99927	0.01175	0.01176
15	0.99913	0.01145	0.01146
16	0.99897	0.01116	0.01117
17	0.99880	0.01088	0.01089
18	0.99862	0.01060	0.01061
19	0.99843	0.01034	0.01036
20	0.99823	0.01009	0.01010

*Nota:* En este caso al tener una temperatura de 15°C se tomaron los valores:

g =	<b>0,99913</b>	gr/cm <sup>3</sup>	Peso específico del agua.
	9801,4653	N/m <sup>3</sup>	
m =	<b>0,01145</b>	g masa/cm.s	Viscosidad Dinámica.
	0,001145	Ns/m <sup>2</sup>	

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * h}{\mu * T}} = 3994 \text{ s}^{-1}$$

**Tabla 9.**

*Resumen de mezcla rápida.*

---

Mezcla rápida (Coagulación)

---

<b>Ancho del vertedero</b>	1,00 m.
<b>Altura del vertedero</b>	0,80 m.
<b>Distancia al punto de aplicación del coagulante</b>	0,25 m.
<b>Longitud de resalto hidráulico</b>	0,25 m.

---

**Mezcla lenta (Floculación)****Tabla 10.**Gradiente  $40 \text{ s}^{-1}$ 

Floculador Hidráulico de flujo vertical		
1 cámara		
$t_o =$	10	min
$v_2 =$	0,10	m/s
G	40	$\text{s}^{-1}$
(promedio) =		
$\mu =$	0,00000101	m <sup>2</sup> /s (Sistema técnico)
H =	2,5	m
Cd =	0,7	-

**Cálculos:**

Debido al caudal inicial, se consideran 1 cámara, se inicia el cálculo estableciendo el volumen:

$$V = Q * t_o$$

$$V = 0,663 \text{ m}^3$$

1. Pérdida total:

$$h_T = \frac{G^2 * \gamma * t_o}{g}$$

$$h_T = \frac{(40s^{-1})^2 * \left(0,00000101 \frac{m^2}{s}\right) * 10 \text{ min} * (60s)}{9,81 \frac{m}{s^2} * 1 \text{ min}}$$

$$h_T = 0,099 \text{ m}$$

2. Número de tabiques

$$n = \frac{V_2 * t_0}{H}$$

$$n = 24 \text{ tabiques}$$

3. Pérdida por tabique (incluye cambios de dirección)

$$hf = \frac{h_T}{n}$$

$$hf = 0,0041 \frac{m}{\text{tabique}}$$

4. Pasos superiores

Asumimos un valor de  $h_1 = 0,15 \text{ m}$

$$h_2 = h_1 - h_f$$

$$h_2 = 0,1459 \text{ m}$$

Establecemos la siguiente relación, con este valor establecemos el valor de  $\alpha$ , considerando un

$$Cd = 0.7$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{0,1459}{0,15} = 0,973 \rightarrow \alpha = 0,402$$

**Figura 8.**

*Valores del coeficiente de sumergencia*

<b>h<sub>2</sub>/h<sub>1</sub></b>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.000	1.004	1.006	1.006	1.007	1.007	1.006	1.006	1.006	1.005
0.1	1.005	1.003	1.002	1.000	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.987
0.2	0.985	0.982	0.980	0.977	0.975	0.972	0.970	0.967	0.964	0.961
0.3	0.959	0.952	0.953	0.950	0.917	0.944	0.911	0.938	0.935	0.932
0.4	0.929	0.926	0.922	0.919	0.915	0.912	0.908	0.904	0.900	0.896
0.5	0.892	0.888	0.884	0.880	0.875	0.871	0.866	0.861	0.856	0.851
0.6	0.846	0.841	0.836	0.830	0.824	0.818	0.813	0.806	0.800	0.794
0.7	0.782	0.780	0.773	3.766	0.758	0.750	0.742	0.732	0.723	0.714
0.8	0.703	0.692	0.681	0.669	0.656	0.644	0.631	0.618	0.604	0.590
0.9	0.574	0.557	0.539	0.520	0.498	0.471	0.441	0.402	0.352	0.275

*Nota: Fuente: Arboleda, J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo 1. Tercera ed.*

En base a este dato obtenido procedo a calcular el gasto unitario (por metro de vertedero):

$$q = 1,84 * \alpha * h_1$$

$$q = 1,84 * 0,402 * 0,15m$$

$$q = 0,110952 \frac{m^3}{s \cdot m}$$

Con este valor de gasto unitario por metro de vertedero calculamos el ancho teórico de cada tabique del floculador de acuerdo con:

$$b = \frac{Q}{q}$$

$$b = \frac{0,00105 \frac{m^3}{s}}{0,110952 \frac{s}{m}}$$

$b = 0,01m \rightarrow$  Asumimos un valor de  $b = 0,10m$

Espaciamiento entre tabiques:

$$e = \frac{Q}{b * V_2}$$

$$e = 0,11 m \approx 0,10 m$$

## 5. Pasos inferiores

Área de paso entre cámaras

$$A = \frac{Q}{\sqrt{Cd^2 * 2g * h_f}}$$

$$A = \frac{0,00105 \frac{m^3}{s}}{\sqrt{(0,7)^2 * 2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) * 0,0021m}}$$

$$A = 0,0074 m^2$$

Área se determina altura del orificio inferior

$$a = \frac{A}{b}$$

$$a = 0,07 m \approx 0,10m$$

Cálculo de la velocidad que se desarrolla en el orificio

$$V_1 = \frac{Q}{A}$$

$$V_1 = 0,11 \frac{m}{s}$$

Radio Hidráulico

$$R_H = \frac{0,10 * 0,10}{(2 * 0,10) + (2 * 0,10)} = 0,025$$

Gradiente de velocidad en el orificio, para lo cual es necesario conocer previamente el radio hidráulico:

$$G = \sqrt{\frac{f * V_3^3}{8 * R_H * \mu}}$$

$$G = 16,3455 \text{ s}^{-1}.$$

**Tabla 11.**

*Resumen de mezcla lenta*

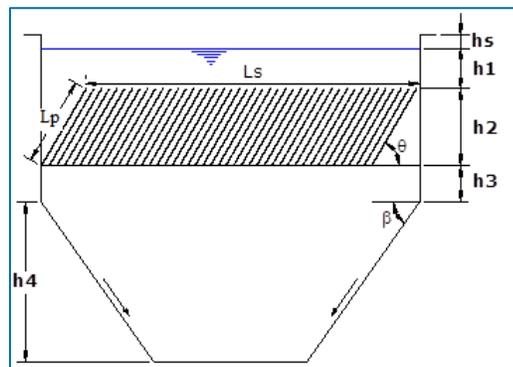
Mezcla Lenta (Floculación)	
<b>Tiempo</b>	10 min
<b>V2</b>	0,10 m/s
<b>Gradiente</b>	40 S-1

H	2,50 m
Número de tabiques	24 u
Espaciamiento entre tabiques	0,10 m
Ancho teórico de cada tabique	0,10 m

**Sedimentador.**

**Figura 9.**

*Sedimentador de alta tasa.*



Cálculo del área horizontal superficial neta de sedimentación acelerada,  $A_h$  se tiene:

$$A_h = \frac{Q}{CS}$$

$$A_h = 0,7072 \text{ m}^2$$

La velocidad del flujo,  $V_o$  entre las placas del sedimentador es:

$$V_o = \frac{Q}{A_h * \text{sen}(\theta)}$$

$$V_o = 155,88 \text{ m/día} = 0,108 \text{ m/min}$$

Área total horizontal  $A_t$ , se calcula con la fórmula:

$$A_t = \frac{Q}{V_o * \text{sen}(\theta)} * \left(1 + \frac{e}{s}\right)$$

$$A_t = 0,73 \text{ m}^2$$

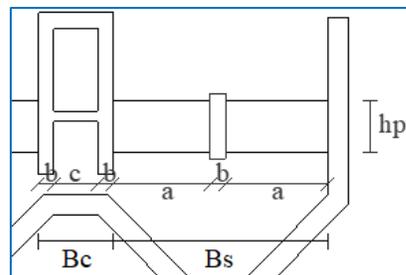
Este proceso se lo llevará a cabo con el uso de un sedimentador.

En cuanto a las placas se asigna la inclinación de  $60^\circ$  con dimensiones de 0,80 m por 0,50 m y espesor de 3 mm. Por lo que el ancho de cada cámara de sedimentación es de:

$$B_s = 0,80 \text{ m}$$

### Figura 10.

*Ancho del sedimentador.*



En cuanto al ducto de distribución de agua floculada se asumen las siguientes longitudes:

$$c = 0,10 \text{ m}$$

$$b = 0,10 \text{ m}$$

Obtenemos el ancho total del sedimentador

$$B_c = c + 2 * b$$

$$B_c = 0,10 + 2 * 0,10 = 0,30 \text{ m}$$

$$B_t = 2 * B_s + B_c$$

$$B_t = 2 * 0,80 + 0,30 = 1.90 \text{ m}$$

Para la distancia larga del sedimentador de alta tasa,  $L_s$  será:

$$L_s = \frac{A_s}{\text{hileras} * B_s}$$

$$L_s = 0,91 \text{ m}$$

Número de espacios entre placas

$$n_{\text{espplacas}} = \frac{L_s * \text{sen}\theta - L_p * \text{cos}\theta}{e + s} + 1$$

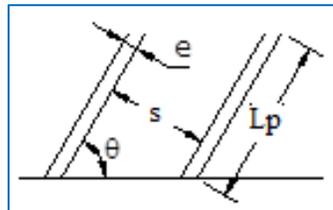
$$n_{\text{espplacas}} = 7 \text{ espacios}$$

$$n_{\text{placas}} = n_{\text{espplacas}} + 1$$

$$n_{\text{placas}} = 8 \text{ placas}$$

**Figura 11.**

*Detalle de las placas.*



Volvemos a calcular el valor de  $L_s$  con esa cantidad de espacios y placas

$$L_s = L_p * \text{cos}(\theta) + \frac{n_{\text{espplacas}} * s + n_{\text{placas}} * e}{\text{sen}(\theta)}$$

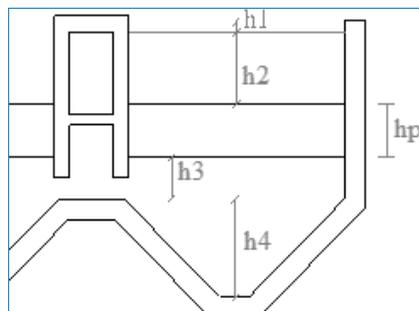
$$L_s = 1,24 \text{ m}$$

$$L_s = 1,30 \text{ m}$$

Alturas

### Figura 12.

*Alturas del sedimentador.*



Altura del borde libre

$$h_1 = 0,35 \text{ m}$$

Altura de placas

$$h_p = 0,80 * \text{sen}(60) = 0,43 \text{ m}$$

Altura de agua sobre las placas

$$h_2 = 0,40 \text{ m}$$

Altura libre hasta la corona de tolvas

$$h_3 = 0,40 \text{ m}$$

Altura adicional para recolección de lodos

$$h_4 = 0,90 \text{ m}$$

### **Sistema de admisión de agua floculada**

Se colocan tubos con perforaciones para conseguir una extracción uniforme. Para lo cual se realiza:

Cálculo de orificios y su separación

$$n_{\text{orificios}} = 5$$

$$s_{\text{orificios}} = \frac{L_s}{n_{\text{orificios}}} = \frac{1,30}{5} = 0,26 \text{ m}$$

Diámetro de los orificios

$$\phi_{\text{orificios}} = 2'' = 0,051 \text{ m}$$

Área de orificios

$$A_{\text{orificios}} = 2 * n_{\text{orificios}} * \frac{\pi * (\phi_{\text{orificio}})^2}{4}$$

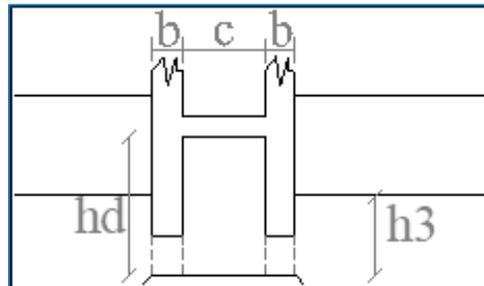
$$A_{\text{orificios}} = 2 * 5 * \frac{\pi * (0,051)^2}{4} = 0,010 \text{ m}^2$$

Velocidad en los orificios

$$V = \frac{Q}{A_{\text{orificios}}} = 0,109 \text{ m/s}$$

Velocidad entre 0,1 m/s y 0,6 m/s

Cálculo del ducto de distribución de agua floculada

**Figura 13.***Ducto de distribución de agua floculada*

$$c = 0,10 \text{ m}$$

$$h_d = 0,80 \text{ m}$$

$$A_{ducto} = c * h_d$$

$$A_{ducto} = 0,10 \text{ m} * 0,80 \text{ m} = 0,08 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A_{ducto}} = \frac{0,0011 \text{ m}^3/\text{s}}{0,28 \text{ m}^2} = 0,014 \text{ m/s}$$

***Recolección de agua sedimentada***

Con la información del ancho de la cámara de sedimentación y la longitud del sedimentador:

$$B_s = 0,80 \text{ m}$$

$$L_s = 1,30 \text{ m}$$

Se colocan 2 tubos a lo largo de la longitud  $L_s$ .

Diámetro de los tubos.

$$\phi_{tubos} = 2'' = 0,051 \text{ m}$$

Carga sobre orificios  $h_o = 0,05 \text{ m}$  y  $Cd = 0,75$  para calcular el área total de los orificios

$$A_{total_o} = \frac{Q_{tubo}}{Cd * \sqrt{2g * h_o}}$$

$$A_{total_o} = \frac{0,00055}{0,75 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,05}} = 0,00074 \text{ m}^2$$

Diámetro de los orificios:

$$\phi_{orificio} = 0,5'' = 0,0127 \text{ m}$$

Área de los orificios:

$$A_{orificio} = \frac{\pi * (\phi_{orificio})^2}{4}$$

$$A_{orificio} = \frac{\pi * (0,00127 \text{ m})^2}{4} = 0,00013 \text{ m}^2$$

Número de orificios

$$n_{orificios} = \frac{A_{total_o}}{A_{orificio}} = 5,87 \text{ orificios} \approx 6 \text{ orificios}$$

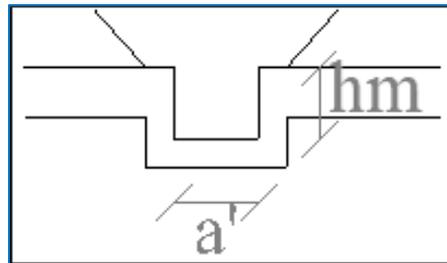
$$s_{orificios} = \frac{B_s}{n_{orificios}} = 0,14 \text{ m}$$

### **Remoción de lodos**

La remoción de lodos se la lleva a cabo a través un tubo colector con tolvas independientes

Diámetro de los orificios  $\phi_{orificio} = 2'' = 0,0508 \text{ m}$

Número de orificios  $n_{orificios} = 4$

**Figura 14.***Tubo colector.*

Asumimos un valor de 0,25 para la base

$$a' = 0,25 \text{ m}$$

Calculamos el área de los orificios

$$A_{\text{orificio}} = \frac{\pi * (\phi_{\text{orificio}})^2}{4}$$

$$A_{\text{orificio}} = \frac{\pi * (0,0508 \text{ m})^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

$$At_{\text{orificio}} = n_{\text{orificios}} * A_{\text{orificio}}$$

$$At_{\text{orificio}} = 4 * 0,002 \text{ m}^2 = 0,0081 \text{ m}^2$$

Altura del conducto con la fórmula del área mínima para el tubo colector

$$A_{\text{min}} = \frac{At_{\text{orificio}}}{0,42} = \frac{0,0081 \text{ m}^2}{0,42} = 0,0193 \text{ m}^2$$

$$h_m = \frac{A_{\text{min}}}{a'} = \frac{0,0193 \text{ m}^2}{0,25 \text{ m}} = 0,08 \text{ m}$$

### **Tiempo de retención**

El cálculo de tiempo de retención en las celdas será el siguiente:

$$t = \frac{B_s}{V_o}$$

$$t = \frac{0,80 [m]}{0,108 [m/min]} = 7,39 \text{ min}$$

### **Condiciones de flujo laminar**

Eficiencia del módulo de placas

$$s = 1$$

Valor de  $L_i$  considerado en la ecuación del factor de comparación

$$L_i = 1,30$$

Ángulo de inclinación de las placas

$$\theta = 60^\circ$$

Cálculo del factor de comparación con la sedimentación sin placas

$$f = \frac{\text{sen}\theta(\text{sen}\theta + L_i \cos\theta)}{s}$$

$$f = \frac{\text{sen}(60)(\text{sen}(60) + L_i \cos(60))}{1} = 1,313$$

Velocidad de sedimentación de las partículas

$$V_s = 1,480 \frac{m}{h} * \frac{h}{3600} = 0,00041 \frac{m}{s}$$

Velocidad media del flujo dentro del módulo

$$V_{flujo} = \frac{V_s * f * 100}{\text{sen}\theta}$$

$$V_{flujo} = \frac{0,00041 * 1,313 * 100}{\text{sen}(60)} = 0,062 \text{ cm/s}$$

Número de Reynolds dentro de las placas

$$NR = \frac{V_{flujo} * 10^{-2} * \text{sen}\theta}{2 * \nu} \left( s - \frac{e}{\text{sen}\theta} \right)$$

$$NR = \frac{0,062 * 10^{-2} * \text{sen}(60)}{2 * 1,14 \times 10^{-6}} \left( 0,10 - \frac{0,003}{\text{sen}(60)} \right) = 22,85$$

$$NR = 22,85 \Rightarrow \text{Flujo Laminar}$$

**Tabla 12.**

*Resumen de sedimentador.*

<b>Sedimentación</b>	
<b>Ángulo de inclinación de placas</b>	60 °
<b>Separación entre placas</b>	0,10 m
<b>Ancho de la placa</b>	0,80 m
<b>Largo de la placa</b>	0,50 m
<b>Espesor de la placa</b>	0,003 m
<b>Ancho del sedimentador</b>	0,80 m
<b>Ancho total</b>	1,90 m
<b>Distancia larga del sedimentador</b>	1,30 m
<b>Altura</b>	2,50 m

<b>Número de orificios</b>	5 u
<b>Diámetro de los orificios</b>	2 pulg

## **Ablandador**

### ***Altura mínima del lecho de resina (h)***

Debe existir una altura mínima del lecho de resina, recordando que debe haber un tiempo mínimo de contacto del agua y la resina, con el fin de que se realice correctamente el intercambio iónico.

Se establece como altura el valor de 72 pulgadas (182,88 cm).

### ***Velocidad lineal de ablandador***

Se puede definir como la velocidad que tiene una cantidad de flujo que circula en la sección de un ducto por unidad de tiempo.

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

Donde:

Q= Caudal

Capacidad de trabajo (Cap)

Se debe establecer la capacidad de trabajo, la cual deberá tener el equipo y es calculada a partir de dos parámetros de la calidad del agua, que son: caudal y cantidad de dureza.

$$Cap = Q * D * fc$$

Dónde:

$$Q = \text{caudal requerido, gal/día} = 1,105 \frac{l}{s} = 25221 \frac{gal}{día}$$

$$D = \text{dureza, granos/gal} = 533 \frac{mg}{lt} = 2 \frac{g}{gal}$$

Fc = factor de seguridad (1,25)

Al reemplazar los datos se obtiene:

$$Cap = 63052 \frac{granos}{día}$$

Se considera un periodo de 9 días de servicio antes de la regeneración y se calcula la capacidad de trabajo en ese periodo.

$$63052 \frac{granos}{día} * 9días = 567468 \text{ granos.}$$

Se conoce que  $1ft^3$  de resina posee un total de 25000 granos, del anterior cálculo, se puede concluir el primer valor del volumen de resina que se tendría que utilizar; tomando en cuenta un período correspondiente a 9 días para el ciclo de servicio, se asume un valor aproximado a  $34ft^3$ .

Con esto y tras investigar en el mercado local la existencia de ablandadores, se decidió acogerse a las medidas estándar de un producto de **36 x 72 pulgadas**, mismo que se detalla en los anexos.

**Tabla 13.***Resumen de Ablandador.*

Ablandador	
<b>Altura</b>	72 pulg
<b>Ancho</b>	36 pulg
<b>Volumen</b>	969,2 lt
<b>Peso</b>	95,5 kg
<b>Base</b>	Tipo trípode
<b>Presión máxima de trabajo</b>	150 Psi
<b>Temperatura de trabajo</b>	1° C a 50°C
<b>Material</b>	Polímeros reforzados con fibra (FRP)
<b>Tipo</b>	Resina catiónica
<b>Caudal Máximo</b>	50 GPM23

## Cálculo estructural

Datos de diseño

$$f'c = 210 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$fy = 4200 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

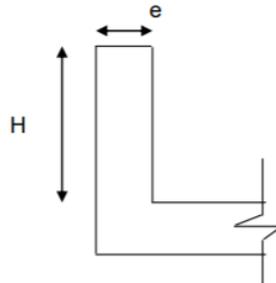
$$g = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ (Agua)}$$

Diseño de paredes del vertedero.

$$H = 1,00 \text{ m}$$

$$e = 0,10 H$$

$$e = 0,10 \text{ m}$$



Diseño de paredes de floculación y sedimentador

$$H = 2,50\text{m}$$

$$e = 0,10H$$

$$e = 0,25\text{m}$$

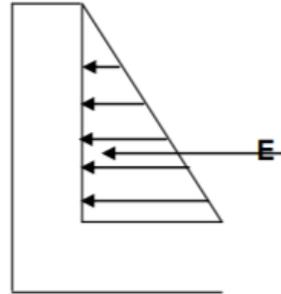
Empuje del agua

Cortante:

$$E = \frac{1}{2} H^2 * g$$

$$E = 3125 \text{ Kg}$$

$$E = V$$



$$v_p = 0,53 \sqrt{f'c} \rightarrow v_p = 7,68 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_c = \frac{v_u}{\phi * b * d} \rightarrow v_c = 1,79 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$v_c < v_p$  OK

Flexión:

$$M = \frac{ExH}{3} \rightarrow M = 2,60 \text{ Ton-m.}$$

$$b = 100 \text{ cm.}$$

$$d = 21 \text{ cm.}$$

$$\rho = 0,00278 \text{ calculada}$$

$$\rho = 0,0015 \text{ calculada}$$

$$A_s = 5,33 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 1 \phi 12 \text{ mm @ } 20 \text{ cm.}$$

## **Presupuestos y costos**

Se hizo una recopilación de las cantidades de obra, presupuestos y cotizaciones que se encuentran previstas para la construcción de la planta de tratamiento de agua potable. Se establecen 3 opciones de manera que se pueda corroborar cuál es la más factible para la zona de estudio y cuál se pega más a la investigación en curso. Así también se analizará cuál es la opción más conveniente en cuanto a costo – beneficio.

Opción 1: Planta de agua potable convencional.

Opción 2: Planta potabilizadora compacta.

Opción 3: Tanque ablandador.

### **Planta de agua potable convencional**

#### ***Análisis de Precios Unitarios***

La referencia que se toma es el listado de precios y rubros referenciales, formulado por la Cámara de Construcción de Quito, edición de enero-marzo 2021.

Se define el costo de materiales, mano de obra y la maquinaria que se necesita para la construcción de la planta de tratamiento de agua potable, y que se detalla en el anexo 1.

Tabla 14.

*Cantidades y presupuesto planta convencional.*

<b>Proyecto: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE -</b>					
<b>ESPE</b>					
ITEM	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio UNITARIO	Precio TOTAL
<b>TRABAJOS</b>					
<b>PRELIMINARES</b>					
REPLANTEO Y					
1	NIVELACION CON EQUIPO TOPOGRAFICO	M2	7,76	2,68	20,77
SEDIMENTADOR					
2	EXCAVACION EN SUELO A MÁQUINA	M3	7,79	7,97	62,14
DESALOJO DE					
3	MATERIAL (VOLQUETA Y CARGADORA)	M3	7,50	8,62	64,65
4	HORMIGÓN F'C = 210 KG/CM2	M3	1,00	93,22	93,2244
5	VARILLA CORRUGADA ANTISÍSMICA f 12mm	Kg	75,00	1,91	143,01
6	VÁLVULAS DE PASO	U	4,00	103,43	413,73
7	TUBERÍA PARA REMOCIÓN DE LODOS	M	1,60	33,20	53,1
ABLANDADOR					

<b>8</b>	EXCAVACION EN SUELO A MÁQUINA	M3	7,79	7,97	62,14
<b>9</b>	DESALOJO DE MATERIAL (VOLQUETA Y CARGADORA)	M3	7,50	8,62	64,65
<b>10</b>	TANQUE ESTRUCTURAL PENTAIR 36X72" @6" TF 6" BF BASE TRIPODE NATURAL	U	1,00	27.430,88	27430,88
COAGULACIÓN					
<b>11</b>	EXCAVACION EN SUELO A MÁQUINA	M3	0,64	6,25	3,99
<b>12</b>	DESALOJO DE MATERIAL (VOLQUETA Y CARGADORA)	M3	0,64	8,62	5,52
<b>13</b>	HORMIGÓN F'C = 210 KG/CM2	M3	0,04	96,38	4,24
<b>14</b>	VARILLA CORRUGADA ANTISÍSMICA f 12mm	Kg	7,00	1,98	13,85
<b>15</b>	VÁLVULAS DE PASO	U	3,00	103,43	310,30
FLOCULACIÓN					
<b>16</b>	EXCAVACION EN SUELO A MÁQUINA	M3	3,63	6,25	22,64

DESALOJO DE					
17	MATERIAL (VOLQUETA Y CARGADORA)	M3	3,63	8,62	31,25
18	HORMIGÓN F'c = 210 KG/CM2	M3	0,50	96,38	48,19
19	VARILLA CORRUGADA ANTISÍSMICA f 12mm	Kg	31,00	1,98	61,34
20	VÁLVULAS DE PASO	U	3,00	103,43	310,30
21	TUBERÍA DESAGUE	M	1,00	15,42	15,42
TOTAL				\$	<b>29.235,36</b>
				IVA	\$ 3508,24
				TOTAL + IVA	\$ 32.743,60

*Nota: Fuente: Autoría propia.*

### Planta potabilizadora compacta

Otra opción que se puede manejar para tratar el agua cruda de pozo que se ubica en la zona de estudio, es colocar una planta potabilizadora compacta, estos tipos de equipos suelen ser más convenientes en el sentido de instalación, mano de obra y mantenimiento, sin embargo, el costo es más elevado. A continuación, se realizó una cotización mediante la empresa Andean Water Treatment (AWT), misma que se dedica al diseño y construcción de plantas de agua potable en la ciudad de Quito y los valles aledaños.

La planta potabilizadora tiene las siguientes características:

- Tanque de oxidación y coagulación.

Cuenta con bombas dosificadoras para la colocación de policloruro de aluminio, un mezclador estático de 2" y el material de PVC Sch 40.

- Sistema de floculación.

Un sistema de floculación mecánico, a través de mezcladores eléctricos.

- Clarificador o sedimentador.

Tanque de sedimentos de placa inclinada, para que mejore la sedimentación en un 60%.

- Desinfección.

Para eliminar los microorganismos patógenos que puedan existir en el agua, ya que de no ser eliminados pueden causar enfermedades en las personas que lo consuman.

- Filtración.

Filtración de alta tasa, para retener flóculos que no alcanzaron a sedimentarse previamente o para las ramas, hojas, insectos.

- Ablandador
- Obras civiles y obras eléctricas.

#### **Tabla 15.**

*Cantidades y presupuesto planta compacta.*

<b>Nombre</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Tipo de planta</b>	Modular, para agua potable	1pc

<b>Tratamiento</b>	Coagulación, floculación, sedimentación, equilibrio, filtración, desinfección	N/A
<b>Dimensiones totales</b>	14,00m x 2,20m x 2,30m de alto	1pc
<b>Capacidad</b>	1,105 litros por segundo	
<b>Dimensiones del área requerida</b>	12,50m x 9,60m	N/A
<b>PAC Tanque de floculación</b>	SS304: 0,8m x 1,5m x 2,2m, 4mm de espesor	1pc
<b>PAM Tanque de floculación</b>	SS304: 0,8m x 0,7m x 2,2m, 4mm de espesor	1pc
<b>Clarificador Lamella</b>	SS304: Tamaño del tanque: 5,0m x 2,2m x 2,2m, 4mm de espesor	1pc
<b>Tanque de desinfección</b>	2,2m x 1,2m x 2,2m, 4mm de espesor	1pc
<b>Tanque ablandador</b>	Tk. Struc pentair 36" x 72"	1pc
<b>Filtros de sedimentos</b>	0,85m de diámetro x 2,6m de altura	2pc
<b>Mezclador tanques de floculación</b>	1,1kw y 0,75kw, agitación de acero inoxidable	2pc

<b>Sistema de control electrónico</b>	Tipo impermeable al aire libre	1set
<b>Tuberías y válvulas</b>	Tuberías de PVC, cédula 80, tuberías internas SS304	1set
<b>220v 60hz 3ph</b>		
<b>Precio: \$91.840,00</b>		

*Nota:* Fuente: Autoría propia.

### **Tanque ablandador**

Esta opción es oportuna debido al alto grado de dureza que existe en el agua cruda de muestra, por lo que se puede usar los tanques, con la ventaja de que no se debe ejecutar un previo tratamiento. Se hará uso de dos tanques ablandadores para que cada uno tenga un periodo de uso y descanso oportuno, de manera que se pueda hacer mantenimiento constante sin ningún tipo de problema.

La presente cotización fue gracias a la ayuda de la empresa Sanitron, que se encarga de gestionar, diseñar y construir plantas de tratamiento de agua potable en el país.

### **Tabla 16.**

*Cantidades y presupuesto tanque ablandador.*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Descuento</b>	<b>Precio total</b>
--------------------	-----------------	------------------------	------------------	---------------------

<b>TK. STRUC. PENTAIR 36"X</b>	2	4498,30	20,00%	7.197,28
<b>72" @ 6"TF 6"BF BASE TRIP.</b>				
<b>NATURAL</b>				
<b>BAJANTE TK 3672 PVC</b>	2	99,38	20,00%	159,01
<b>DIST. SUP. INST.SUP.</b>	2	102,53	0,00%	205,06
<b>SANITRON 4"-8 VAL.</b>				
<b>MAGNUM BAJANTE 1 1/2"</b>				
<b>CON PERNOS</b>				
<b>DIST. INFE. INST. INF.</b>	2	2243,35	20,00%	3.589,36
<b>PENTAIR 6"BF TK. 36" 167</b>				
<b>GPM 3" FNPT</b>				
<b>MAGNUM- 40- 764- V- AB- 20-</b>	2	3060,75	20,00%	4.897,20
<b>(100)- 30- 2- 76</b>				
<b>VALV. SALMYERA 3/4" TK</b>	2	167,98	16,00%	282,21
<b>MAYOR A 21" MAX 7,8 GPM</b>				
<b>TK. BLANCO 500LT CON</b>	2	277,20	20,00%	443,52
<b>TAPA</b>				
<b>RESINA CATIONICA</b>	1.000	3,60	10,00%	3.240,00
<b>SANIEXCHANGE</b>				
<b>ABLANDAMIENTO FORMA</b>				
<b>NA+POR LT</b>				
<b>SAL PARA</b>	100	0,45	5,00%	42,75
<b>ABLANDAMIENTO +98%</b>				

<b>KIT BRIDA PLASTICA 6"</b>	2	303,40	0,00%	606,80
<b>MAG (INC. BRIDA, ORING TORNILLOS, TUERCAS, ARANDELAS)</b>				
<b>CABLE BLOQUEO Y</b>	2	97,78	0,00%	195,56
<b>ARRANQUE REMOTO LOXIG 7XX</b>				
<b>SERVICIO TÉCNICO E INSTALACIÓN</b>	1	2000	0,00%	2000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>22.858,75</b>
<b>DESCUENTO</b>				<b>0,00</b>
<b>IVA 12%</b>				<b>2.743,05</b>
<b>TOTAL</b>				<b>25.601,80</b>

*Nota:* Esta propuesta no incluye instalación, transporte, viáticos. Fuente: Autoría propia.

## Capítulo IV

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Se diseñó una planta de tratamiento convencional para el agua proveniente de pozo que se consume en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el diseño se optó por aplicar los procesos unitarios de: coagulación, floculación, sedimentación y un tanque ablandador. El espacio necesario es de 5,35 m. de largo, 1,45 m. de ancho y 2,50 m. de alto; lo que genera un área de 7,76 metros cuadrados, misma que será colocada junto a la cisterna y el tanque elevado, el caudal de diseño es de 1,105 litros por segundo, beneficiará a 28.974 personas, con un periodo de diseño de 25 años y el material de la PTAP es hormigón armado.
- Tras haber analizado los parámetros de calidad de agua que excedían el límite permisible en base a la norma INEN 1108, dureza total con un valor de 533 mg/l y de sólidos disueltos totales con 1321,14 mg/l, razón por la cual no es apta para el consumo humano.
- Al realizar el análisis del presupuesto y cotizaciones de cada propuesta, se plantea que la mejor opción es la planta de tratamiento de agua potable convencional, para esto se realizó el análisis de precios unitarios con volúmenes de obra y rubros referenciales de la CAMICON periodo enero-marzo 2021, es así como el costo de ejecución es de 32.743,60 dólares americanos. Adjunto se anexa cada APU detallado y el plano de diseño de la PTAP.
- Mediante la prueba de jarras que se realizó en las muestras de agua subterránea, se concluyó que el químico a utilizar en el proceso de coagulación será el policloruro de

aluminio, y la dosis con la que se evidenció los mejores resultados fue de 0,5 ml por cada litro.

### **Recomendaciones**

- Es importante realizar el análisis de calidad de agua por lo menos una vez al año, pues al ser agua subterránea, puede cambiar las propiedades, por lo que se debe conocer para mejorar o cambiar los procesos de potabilización.
- Hay que brindar mantenimiento a los elementos de una planta potabilizadora, para comprobar y mantener su vida útil, y para que esta funcione correctamente.
- Se recomienda la construcción de una planta de tratamiento de agua potable en el campus matriz ESPE, primero para que el agua subterránea ya pueda ser consumida directamente del grifo y otro beneficio es el gran ahorro que se tendrá a largo plazo en las planillas de pago en caso de que se lleguen a conectar a la red de agua potable del municipio de Rumiñahui.
- Debido a que no se tienen valores exactos de la cantidad de agua que se consume a diario, se debería utilizar medidores o caudalímetros en cada entrada de agua potable para todos los edificios del campus matriz.

## Bibliografía

- ADERASA. (2003). *Cálculo y fijación de tarifas de agua potable y alcantarillado sanitario en 4 países miembros de ADERASA*. Buenos Aires.
- Alcocer, S. (22 de Junio de 2021). Numérico Personal ESPE. (D. Garnica, Entrevistador)
- AquaSistemas. (04 de Diciembre de 2017). *Proceso o Etapas para Potabilizar el Agua*.  
Obtenido de <https://aquasistemas.com.gt/sin-categoria/el-proceso-o-etapas-para-potabilizar-el-agua>
- Carvajal, E. (2020). *YAKU. Agua su calidad y tratamiento*. Quito: Gráficas JC.
- Cervantes, L. (2015). *Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de Termodinámica*. Quito.
- Choque, E. (2016). *Propuesta de coagulación química en el afluente de la planta de tratamiento de agua residual*. La Paz.
- COMERCIO, E. (20 de Marzo de 2020). Sin el servicio regular de agua, la cuarentena se complica.
- Comisión Nacional del Agua. (2012). *Diseño de plantas potabilizadoras de tecnología simplificada*. México DF: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua. (s.f.). *Diseño de plantas potabilizadoras de tecnología simplificada*. México DF: © Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2013). *Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada*.

Consejo del Sistema Veracruzano del Agua. (2004). *Guía metodológica para el cálculo de tarifas por la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Veracruz.

CPCCS, C. d. (2016). *Rendición de Cuentas*. Obtenido de Rendición de Cuentas:  
<https://informes.cpcacs.gob.ec/ReportesConsejo/Pages/ReportViewer.aspx?%2fReportes2017%2fInstitutosdeEducacion&Codigo=2913&anio=2016>

CPCCS, C. d. (2017). *Rendición de Cuentas*. Obtenido de Rendición de Cuentas:  
<https://informes.cpcacs.gob.ec/ReportesConsejo/Pages/ReportViewer.aspx?%2fReportes2017%2fInstitutosdeEducacion&Codigo=5963&anio=2017>

CPCCS, C. d. (2018). *Rendición de Cuentas*. Obtenido de Rendición de Cuentas:  
[http://transparencia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2019/04/InformeRendicionCuentas2018\\_ESPE.pdf](http://transparencia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2019/04/InformeRendicionCuentas2018_ESPE.pdf)

CPCCS, C. d. (2019). *Rendición de Cuentas*. Obtenido de Rendición de Cuentas:  
<https://informes.cpcacs.gob.ec/ReportesConsejo/Pages/ReportViewer.aspx?%2fReportesNuevos%2fInstitutosdeEducacion&Codigo=9463&anio=2019>

EPMAPS. (2009). Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q. En *Introducción, definiciones y referenciación*. (págs. 4-14). Quito.: V&M Gráficas.

Española, R. A. (2021). *Diccionario de la lengua española*. Obtenido de <https://dle.rae.es>

ESPE. (2017). *Ley de Transparencia*. Obtenido de Ley de Transparencia:  
<http://transparencia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2018/01/MATRIZ-LOTAIP-DICIEMBRE-31122017.pdf>

ESPE, U. d. (2016). *Ley de Transparencia*. Obtenido de Ley de Transparencia:

<http://transparencia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2016/02/c-Remuneracion-Mensual-por-Puesto-Noviembre-2016.pdf>

ESPE, U. d. (2018). *Ley de Transparencia*. Obtenido de Ley de Transparencia:

[http://transparencia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2019/01/Literal\\_c\\_RemuneracionMensualPorPuestoDiciembre2018.pdf](http://transparencia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2019/01/Literal_c_RemuneracionMensualPorPuestoDiciembre2018.pdf)

ESPE, U. d. (2020). *Ley de Transparencia*. Obtenido de [https://www.espe.edu.ec/wp-](https://www.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2020/12/Literal_c_RemuneracionMensualdiciembre2020.pdf)

[content/uploads/2020/12/Literal\\_c\\_RemuneracionMensualdiciembre2020.pdf](https://www.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2020/12/Literal_c_RemuneracionMensualdiciembre2020.pdf)

ESPE, U. d. (2020). *Rendición de Cuentas*. Obtenido de Rendición de Cuentas:

<https://www.espe.edu.ec/rendicion-de-cuentas-2020/>

GAD Municipal Rumiñahui. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Sangolquí.

GADMUR. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial Cantón Rumiñahui 2012-2025*. Sangolquí.

Gonzalez, Zaumudio, & Corzo. (2013). Vertedero lateral, soluciones teóricas verificadas experimentalmente y validadas con base en el análisis dimensional. *Tecnura*, 123.

IEE. (2013). *INSTITUTO DE ESTUDIOS ECUATORIANOS*. Obtenido de

<https://www.iee.org.ec/>

INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de

<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>

INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE; 176. (2006). Código Ecuatoriano De La Construcción.

C.E.C. Normas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De

- Aguas Residuales Para. Recuperado el 22 de Febrero de 2021, de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5 Parte\\_9-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5_Parte_9-1.pdf)
- Juan Pablo Méndez, F. S. (2002). *Desinfección del Agua*. Lima: EPA.
- Méndez, S. (Enero de 2011). *Diseño del Alcantarillado Sanitario y Pluvial y Tratamiento de*.  
Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/608/5/98100.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *AM 097-A*.
- MWH Water Treatment. (2012). *Principles and Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2014). NTE INEN 1108. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*,  
10.
- ONU. (2015). *OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE*. Recuperado el 01 de Marzo de  
2021, de Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el  
saneamiento para todos: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- SamiaA.A., J. (1990.). *Effectiveness of traditional flocculants as primary coagulants and  
coagulant aids for the treatment of tropical raw water with more than a thousand-fold  
fluctuation in turbidity*.
- SANITRON. (Septiembre de 2019). *Sanitron*. Obtenido de Sanitron:  
<https://sanitron.ec/ablandadores-de-agua/>
- SENAGUA. (2016). *Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento*. Quito.
- SIISE. (2010). *Sistema integrado de indicadores sociales del Ecuador*. Obtenido de  
<https://searchworks.stanford.edu/view/4680496>

Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias e Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (I.E.O.S.). (s.f.). *Normas tentativas para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable y sistemas de alcantarillado urbanos y rurales*. Quito.

Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias, & Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias. (s.f.). *Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitarias*.

Vargas, I. L. (2016). *Mezcla Rápida*.

Yactayo, I. V. (2016). *Sedimentación*.

Yaniris, L. A. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. La Habana.: ICIDCA.

## Anexos