



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE ORELLANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE PRUEBA DE  
JARRAS PARA EL LABORATORIO DE LA ESPOCH - SEDE  
ORELLANA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORAS:** ERAZO SOLANO ANGÉLICA NATALY

SELA TUCUPI ANDREA LEONELA

**DIRECTORA:** ING. GREYS CAROLINA HERRERA MORALES

EL Coca – Ecuador

2023

© 2023, **Angélica Nataly Erazo Solano & Andrea Leonela Sela Tucupi**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, Angélica Nataly Erazo Solano & Andrea Leonela Sela Tucupi, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 31 de mayo de 2023



**Angélica Nataly Erazo Solano**

**100343361-0**



**Andrea Leonela Sela Tucupi**

**220036218-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE ORELLANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS PARA EL LABORATORIO DE LA ESPOCH - SEDE ORELLANA**”, realizado por las señoritas: **ANGÉLICA NATALY ERAZO SOLANO Y ANDREA LEONELA SELA TUCUPI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Tannia Jazmín Vargas Tierras Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	31-05-2023
Ing. Greys Carolina Herrera Morales Mgtr. <b>DIRECTOR(A) DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	31-05-2023
Ing. Marcos Patricio Barahona Morales Mg. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR</b>	 _____	31-05-2023

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de integración curricular lo dedico con todo el cariño del mundo a mi familia, mis hijos Isaac, Nahía y Maykel que son mi motor y fuerza cada día, a mis padres y hermanos por cada una de sus palabras de aliento y en especial a mi amado esposo Ricardo Mendieta, por acompañarme durante todo el tiempo de mi formación profesional, creyendo y confiando siempre en mí, brindándome apoyo moral, amor y comprensión en los momentos donde quise desistir, siempre fueron el impulso que necesitaba para seguir luchando por cumplir este anhelado sueño, con todos ustedes festejo este grandioso logro.

Angélica

Dedico el presente trabajo de tesis a Dios y a mi familia que me han apoyado en todo momento con amor, comprensión y paciencia. Este logro también es de ustedes, mis padres amados que día a día trabajan arduamente para brindarnos lo mejor a mis hermanos y a mí. Una dedicatoria muy especial a mi hermana Delcy Sela que es mi fuente de inspiración para ser mejor cada día. A los amigos que conocí durante estos años de estudio, dentro y fuera de la institución con quienes compartí maravillosos momentos de risas y anécdotas. A todos quienes creyeron en mí y en mis sueños, muchas gracias.

Andrea

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de crecer en el ámbito profesional, a los docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana quienes siempre estuvieron prestos a solventar las dudas que surgieron a lo largo del desarrollo del tema de titulación, a mis familiares quienes colaboraron en cada uno de los procesos de construcción, a mi amiga y compañera de tesis con quien he venido compartiendo alegrías y tristezas desde el primer día de clases hasta llegar a la meta final y extender un agradecimiento especial a mi tutora de tesis Greys Herrera quien confió en mis capacidades y supo dar la guía necesaria para culminar con éxito este trabajo.

Angélica

A Dios por darme la oportunidad de despertar cada día, con salud y energía para luchar por tan anhelado sueño de ser una profesional. A mi papá, Holger Sela por apoyarme siempre y darme ánimos para continuar a lo largo de mi vida estudiantil. Asimismo, agradezco a mi mamá, padrastro, hermanos y amigos por su apoyo incondicional en esta etapa de superación y progreso en mi vida. A la Ing. Greys Herrera tutora de tesis que nos guio con sus conocimientos en el trabajo de integración curricular. Y finalmente a mi amiga y compañera de tesis, con quien compartí experiencias buenas y malas durante toda nuestra formación académica, para al final compartir la satisfacción de lograr este sueño juntas.

Andrea

## INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xx
ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPITULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Justificación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.1. Objetivo general.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>4</b>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Contaminación del agua .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Calidad del agua cruda.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1. Parámetros de la calidad de agua cruda .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1.1. Características físicas.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1.2. Características químicas.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Procesos de tratamientos de agua.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.1. Coagulación y floculación .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.2. Coagulación.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2.1. Tipos de coagulantes y floculantes .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2.2. Elección del coagulante .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.3. Floculación.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.4. Tanque de coagulación/floculación.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.5. Factores que influyen en la coagulación y floculación .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.6. Remoción .....</b>	<b>14</b>

<b>2.4. Prueba de jarras</b> .....	15
<b>2.4.1. Etapas del equipo de prueba de jarras</b> .....	16
2.4.1.1. <i>Mezcla rápida</i> .....	16
2.4.1.2. <i>Mezcla lenta</i> .....	16
2.4.1.3. <i>Reposo</i> .....	16
<b>2.5. Descripción del equipo de jarras</b> .....	16
<b>2.5.1. Agitador mecánico</b> .....	17
2.5.1.1. <i>Tipos de agitadores</i> .....	17
2.5.2. <i>Sistema de dosificación</i> .....	18
2.5.3. <i>Iluminador de flóculos</i> .....	18
2.5.4. <i>Vasos del equipo</i> .....	19
<b>2.6. Parámetros de diseño</b> .....	19
<b>2.6.1. Dimensionamiento del sistema de agitación</b> .....	19
2.6.1.1. <i>Semejanzas geométricas estandarizadas</i> .....	19
2.6.1.2. <i>Aplicación de fórmulas</i> .....	21
<b>2.7. AutoCAD</b> .....	25
2.7.1. <i>Funciones de AutoCAD</i> .....	25
<b>2.8. Sistema eléctrico</b> .....	25
2.8.1. <i>Placa arduino nano</i> .....	25
2.8.2. <i>Motor paso a paso</i> .....	25
2.8.3. <i>La pantalla OLED (Organic Light Emitting Diode)</i> .....	26
2.8.4. <i>Controlador de Motor</i> .....	26
<b>2.9. Marco legal</b> .....	26
2.9.1. <i>Constitución del Ecuador</i> .....	26
2.9.2. <i>Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)</i> .....	27
2.9.3. <i>Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108</i> .....	27
2.9.4. <i>Norma Técnica Colombiana (NTC) 3903</i> .....	28

### CAPITULO III

<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	29
<b>3.1. Tipo de investigación</b> .....	30
<b>3.2. Diseño del equipo</b> .....	30
3.2.1. <i>Jarras prediseñadas</i> .....	30
3.2.2. <i>Cálculos del sistema de agitación</i> .....	30
3.2.2.1. <i>Datos de entrada</i> .....	30

3.2.2.2. Dimensiones generales.....	31
3.2.3. Tamaño del equipo de prueba de jarras .....	35
3.2.4. Sistema eléctrico .....	35
3.3. Construcción del equipo de prueba de jarras.....	36
3.3.1. Etapa 1 .....	37
3.3.2. Etapa 2 .....	38
3.3.3. Etapa 3 .....	40
3.4. Pruebas preliminares del equipo .....	43
3.4.1. Agua de captación (cruda) .....	43
3.4.2. Selección del punto para el muestreo puntual .....	44
3.4.3. Parámetros fisicoquímicos de la calidad de agua .....	44
3.4.4. Método experimental .....	45
3.4.4.1. Medición pH.....	45
3.4.4.2. Medición de la conductividad .....	45
3.4.4.3. Medición de los TDS .....	46
3.4.4.4. Medición de la turbiedad por medio del turbidímetro .....	46
3.4.4.5. Prueba de jarras.....	46

#### CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	48
4.1. Parámetros físicos del equipo.....	48
4.2. Construcción del equipo .....	50
4.3. Pruebas preliminares .....	51
4.3.1. Condiciones iniciales del agua del río Payamino .....	51
4.3.2. Condiciones del agua del río Payamino postratamiento .....	52

#### CAPÍTULO V

CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Principales contaminantes del agua.....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Sulfatos de aluminio .....	11
<b>Tabla 2-3:</b> Sales de Hierro .....	11
<b>Tabla 2-4:</b> Características de los floculantes.....	12
<b>Tabla 2-5:</b> Especies vegetales con característica de coagulantes.....	13
<b>Tabla 2-6:</b> Factores que influyen en el proceso de coagulación – floculación .....	14
<b>Tabla 2-7:</b> Semejanzas Geométricas .....	20
<b>Tabla 2-8:</b> Número de Reynolds para líquidos dentro de un recipiente agitado .....	23
<b>Tabla 2-9:</b> Densidad y viscosidad del agua a diferentes temperaturas.....	23
<b>Tabla 2-10:</b> Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.....	27
<b>Tabla 2-11:</b> Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano.....	27
<b>Tabla 2-12:</b> Rango de pH del agua para consumo humano.....	28
<b>Tabla 3-1:</b> Datos de entrada para el diseño de un agitador de tipo palas planas .....	30
<b>Tabla 3-2:</b> Dimensiones del agitador por semejanzas geométricas estandarizadas .....	31
<b>Tabla 3-3:</b> Construcción de la estructura sólida.....	37
<b>Tabla 3-4:</b> Construcción de los agitadores .....	38
<b>Tabla 3-5:</b> Construcción del sistema mecánico.....	39
<b>Tabla 3-6:</b> Construcción del sistema eléctrico .....	40
<b>Tabla 3-7:</b> Costos de materiales .....	41
<b>Tabla 3-8:</b> Costos de fabricación .....	42
<b>Tabla 3-9:</b> Costos de montaje.....	42
<b>Tabla 3-10:</b> Costos emergentes .....	43
<b>Tabla 3-11:</b> Resumen de costos .....	43
<b>Tabla 4-1:</b> Parámetros de diseño del sistema de agitación.....	48
<b>Tabla 4-2:</b> Condiciones iniciales del agua del rio Payamino .....	51
<b>Tabla 4-3:</b> Condiciones del agua del rio Payamino postratamiento.....	53

## ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

<b>Ilustración 2-1:</b> Tamaño de las partículas.....	10
<b>Ilustración 2-2:</b> Principales tipos de agitadores.....	18
<b>Ilustración 2-3:</b> Base iluminada.....	19
<b>Ilustración 2-4:</b> Vaso precipitado de 2000ml .....	19
<b>Ilustración 2-5:</b> Semejanzas geométricas del sistema de agitación de tipo turbina.....	20
<b>Ilustración 2-6:</b> Correlación de potencia .....	24
<b>Ilustración 2-7:</b> Diagrama de flujo de la metodología de diseño de un equipo de prueba de jarras.....	29
<b>Ilustración 3-1:</b> Sistema de agitación de paleta plana.. .....	31
<b>Ilustración 3-2:</b> Diagrama del sistema eléctrico de un equipo de prueba de jarras. ....	36
<b>Ilustración 3-3:</b> Estructura sólida de acero inoxidable para el equipo de prueba de jarras.....	38
<b>Ilustración 3-4:</b> Sistema mecánico del equipo de prueba de jarras.....	40
<b>Ilustración 3-5:</b> Sistema eléctrico del equipo de prueba de jarras. ....	41
<b>Ilustración 3-6:</b> Mapa del punto de toma de muestra de agua.....	44
<b>Ilustración 4-1:</b> Estructura sólida del equipo de prueba de jarras.....	49
<b>Ilustración 4-2:</b> Diseño del sistema de agitación de paleta plana .....	49
<b>Ilustración 4-3:</b> Diseño de polea doble dentada .....	50
<b>Ilustración 4-4:</b> Diseño del sistema de agitación de paleta plana.....	50
<b>Ilustración 4-5:</b> Equipo de prueba de jarras.....	51

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A. CORTE DE LÁMINAS DE ACERO INOXIDABLE**

**ANEXO B. MEDICIÓN DE BASE PARA RODAMIENTOS**

**ANEXO C. MEDICIÓN DEL AGITADOR TIPO PALETA**

**ANEXO D. LIJADO DE ABERTURA DEL EJE**

**ANEXO E. MEDICIÓN DEL TOPE DE PALETAS**

**ANEXO F. ENSAMBLAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO**

**ANEXO G. TOMA DE MUESTRAS DE AGUA**

**ANEXO H. TOMA DEL PUNTO CON GPS**

**ANEXO I. TIQUETADO DE LA MUESTRA AGUA**

**ANEXO J. MUESTRAS ALMACENADAS**

**ANEXO K. ANÁLISIS CON EL PHMETRO**

**ANEXO L. ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD**

**ANEXO M. ANÁLISIS DE TDS**

**ANEXO N. ANÁLISIS DE TURBIDEZ**

**ANEXO O. MODELO DE ETIQUETA DE LA MUESTRA AGUA**

**ANEXO P. MODELO DE LA HOJA DE CUSTODIA**

**ANEXO Q. MEDICIÓN DEL PESO DEL COAGULANTE**

**ANEXO R. DOSIFICACIÓN MANUAL**

**ANEXO S. MUESTRAS DE AGUA ETIQUETADA**

**ANEXO T. EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS CON MUESTRAS DE AGUA**

**ANEXO U. MUESTRAS DE AGUAS TRATADAS EN EL EQUIPO**

**ANEXO V. PLANO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO**

**ANEXO W. VISTAS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO**

**ANEXO X. SECCIONES DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO**

## RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tuvo como objetivo detallar los parámetros de diseño y pasos en los que consistió la construcción del equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de agua, que representa los procesos de coagulación, floculación y reposo de una planta potabilizadora de agua a nivel de laboratorio. Se analizaron dos metodologías para el diseño del sistema de agitación que fueron estandarizaciones geométricas y resolución de fórmulas, siendo aplicado el método de resolución de fórmulas por la obtención de valores adecuados para que el sistema cumpla la función de homogenizar sustancias. Para el diseño del equipo se empleó el software AutoCAD obteniendo una perspectiva de la estructura en 3D y un esquema plano del sistema de agitación que en base a los cálculos se tuvo un diámetro de paleta de 9 cm y de ancho de 3 cm cuyo brazo posee una longitud de 14,17 cm caracterizado este último por ser ensamblado por material de acero inoxidable debido a su contacto directo con el agua garantizando la vida útil del equipo. Además, se realizó pruebas preliminares del equipo probando su funcionalidad a velocidades altas como 200 rpm y bajas de 25 rpm. Se concluye que el equipo construido ayuda a cumplir los procesos mencionados con anterioridad, sin embargo, para optimizarlos se debe considerar el coagulante y tiempo aplicado para cada ensayo de jarras. Se recomienda el desarrollo de mejoras para el equipo como el diseño de programación de velocidades y sistema de dosificación combinando conocimientos de otras carreras

**Palabras clave:** <COAGULACIÓN>, <FLOCULACIÓN>, <MEZCLA RÁPIDA>, <MEZCLA LENTA>, <PRUEBA DE JARRAS>, <AGITACIÓN>.



Cristian Tenelando. S  
28-06-2023.

**1260-DBRA-UPT-2023**

## **ABSTRACT**

The present research of curricular integration was as aimed to detail the design parameters and steps involved in the construction of jar test equipment for water treatability, which represents the coagulation, flocculation and settling processes of a drinking water treatment plant at laboratory level. Two methodologies were analyzed for design of the stirring system, which were geometric standardization and formula resolution, with the formula resolution method being applied to obtain suitable values for the system to fulfil the function of homogenizing substances. For the design of equipment, AutoCAD software was used to obtain a 3D perspective of the structure and a flat diagram of stirring system which, based on calculations, had a paddle diameter of 9 cm. and a width of 3 cm, arm of which has a length of 14.17 cm, latter characterized by being assembled with stainless steel material due to its direct contact with the water, guaranteeing useful life of the equipment. In addition, preliminary tests were carried out on equipment, testing its functionality at high speeds such as 200 rpm and low speeds of 25 rpm. It is concluded that the equipment built helps to fulfil processes mentioned above, however, to optimize them, coagulant and time applied for each jar test must be considered. It is recommended the development of improvements for the equipment such as design of speed programming and dosing system combining knowledge from other careers.

Keywords: <COAGULATION>, <FLOCCULATION>, <FAST MIXING>, <SLOW MIXING>, <JAR TESTING>, <STIRRING>.

**Translated by:**

A handwritten signature in blue ink, reading "Zoila Victoria Herrera Andrade", is written over a horizontal line.

Lic. Zoila Victoria Herrera Andrade Mgs.

**DOCENTE-SEDE ORELLANA ESPOCH**

**1260-DBRA-UPT-2023**

## INTRODUCCIÓN

En el mundo, las primeras agrupaciones humanas se establecieron cerca de riberas y ríos, facilitando el desarrollo e implementación de sistemas agrícolas y ganaderos, avances que influyeron de forma positiva en el crecimiento exponencial de los pueblos (Giraldo, 2013, pp.356-372). Las diversas actividades antropogénicas como la agricultura, ganadería, industria petrolera y comercio generan desechos tóxicos que en la mayoría de los casos son sometidos a un ineficiente tratamiento para ser reintegrados a la naturaleza causando la modificación de los flujos y calidad del agua de los principales ríos del planeta. Además, Toledo (2002, p.11) manifiesta que el aumento demográfico a nivel mundial en los últimos años ha generado que la mayoría de los recursos hídricos se encuentren escasos, amenazados y en peligro.

Actualmente, los países de América centran sus estudios e investigaciones en el desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales domésticas, residuos líquidos provenientes de efluentes industriales y escurrimientos agrícolas, ya que podrían ser una alternativa efectiva de agua para determinados usos (IANAS y UNESCO, 2015: p.25). Por otra parte, el agua para consumo humano exige el cumplimiento de múltiples parámetros de calidad de agua para poder servir y satisfacer las necesidades de los seres vivos, siendo la turbiedad uno de los parámetros de control que se mide para agua residual o potabilizada (Santana, 2022, p. 8).

Por lo antes expuesto, surge la prueba de jarras como un modelo predictivo en la tratabilidad del agua, también considerado un elemento de control del proceso de coagulación, cuyos precursores de este equipo son G. W. Fuller, J. Cairol y E. Theirault (Suárez y Trujillo, 2011: pp.15-17). Se presume que en los años de 1918 a 1921 se realizó el primer ensayo de prueba de jarras en la Universidad de California por W. L. Langelier y con el aporte de varios investigadores de cada época se ha ido mejorando estos equipos con sistemas sofisticados que poseen de cuatro o seis vasos de precipitación con una capacidad de 1 a 3 litros, en los cuales se agrega diferentes dosis de coagulante para luego ser agitados de forma rápida y luego lenta donde se observan la formación de flóculos en el tiempo de reposo de cada recipiente (Jiménez y Medina, 2017: p.24).

En el Ecuador se emplea este equipo como principal instrumento para simular la dosis de insumos químicos, para la remoción de sólidos suspendidos y así dar paso a los siguientes procesos establecidos en las plantas de tratamiento de aguas (Fúquene y Yate, 2018: p.1). Tal es el caso, de la investigación sobre la “Optimización de los procesos de coagulación-floculación en la planta de potabilización perteneciente al cantón Cañar” donde Iglesias (2018, p.69) demostró que para establecer el tipo de coagulante se debe basar en los valores iniciales del pH y alcalinidad de

muestras de agua, por otra parte, para dosificar el coagulante se toma en cuenta el color y turbiedad inicial.

La provincia de Orellana es atravesada por majestuosos ríos como el río Coca, Payamino, Napo y otros que han sido afectados por las actividades extractivas, domésticas y comerciales de la zona, estas han influenciado en el cambio de coloración de sus aguas, debido a la erosión de sus riberas y continua contaminación que estas generan. Asimismo, la parroquia Francisco de Orellana cuenta con la presencia de los ríos antes mencionados y dos de ellos son las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para la ciudad. Sin embargo, estos recursos hídricos contaminados afectan a la salud de los seres vivos y altera el funcionamiento de los ecosistemas. Dichas afectaciones se pueden evidenciar en las comunidades del sector que viven cerca de fuentes hídricas y consumen estas aguas sin ningún tipo de tratamiento.

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado es importante que el laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) Sede Orellana cuente con un equipo de prueba de jarras, el mismo que aporte en la formación de profesionales complementando los conocimientos teóricos adquiridos a lo largo de la carrera, también servirá como un instrumento experimental para futuras investigaciones, además este equipo estará a disposición de la ciudadanía orellanense y las instituciones que requieran realizar pruebas para tratabilidad de agua potable.

# CAPITULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

En la parroquia Francisco de Orellana la principal fuente de captación de agua para las plantas de tratamiento de agua potable es el río Payamino, debido a que existen precipitaciones abundantes en ciertas épocas del año, se deberían ejecutar distintos ensayos de jarras, donde un experto determine la dosis ideal de coagulantes previo al proceso de tratamiento en las plantas de agua (Osuna y Velásquez, 2017: p.30). En este sentido, los ensayos de jarras son la base fundamental dentro de los procesos de coagulación/floculación puesto que si son realizados de forma ineficiente afectarán directamente a los demás procesos de la planta, generando agua de mala calidad y pérdidas económicas (Izquierdo Flores, 2015: p.17).

Con fundamento en lo antes mencionado, es de primordial importancia que la ESPOCH Sede Orellana, cuente en sus laboratorios con el equipo de prueba de jarras, el mismo que servirá como una herramienta fundamental para la formación integral de ingenieros ambientales. De esta forma, el equipo será un instrumento didáctico que influya en el desarrollo de habilidades, destrezas y conocimientos sobre estudios de tratabilidad de agua, además aportará como instrumento experimental de futuras investigaciones que contribuyan a mejorar la calidad de agua de la cabecera cantonal de la zona, utilizando la infraestructura de la Unidad de Educación Superior.

### 1.2. Justificación

El equipo de prueba de jarras es una herramienta esencial que simula los procesos unitarios de coagulación / floculación a nivel de laboratorio, permitiendo alcanzar el ajuste del pH en cada muestra hasta llegar a los valores en los que la floculación alcanza mejores resultados, mismo que depende del reactivo a emplear (Leogon, 2018). Por ello, la implementación de este equipo en el laboratorio de la ESPOCH Sede Orellana es necesaria para que los estudiantes de las distintas carreras que oferta la institución realicen sus prácticas y experimentaciones con respecto a la tratabilidad del agua, de esta forma se logrará mejor comprensión del aprendizaje teórico.

Actualmente, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana no cuenta con laboratorios totalmente abastecidos tecnológicamente para complementar la educación práctica en la formación integral del Ingeniero Ambiental. Por este motivo, se pretende construir un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de aguas donde el estudiante desarrollará las habilidades,

conocimientos y destrezas obtenidas como parte de la formación teórico-práctico. Así, el diseño y construcción de un equipo de jarras funcional beneficiará a los estudiantes universitarios de la ESPOCH Sede Orellana y población Orellanense que requieran realizar ensayos de jarras de muestras de agua.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Diseñar y construir un equipo de prueba de jarras como herramienta experimental para el laboratorio de la ESPOCH-Sede Orellana.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Diseñar un equipo de prueba de jarras funcional mediante el uso de AutoCAD para su posterior construcción con materiales resistentes que aseguren su durabilidad.
- Construir el equipo de pruebas de jarras para las futuras prácticas de los técnicos de laboratorio y estudiantes de la institución.
- Evaluar la funcionalidad del equipo de prueba de jarras mediante pruebas preliminares.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Contaminación del agua

La contaminación del agua se origina de forma natural y por actividades del desarrollo humano, siendo el resultado de este último, el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales, ganaderas y agrícolas en los ríos (García et al., 2021: p.116). La contaminación humana es constante por la excesiva demanda de agua dulce debido a la industrialización, urbanización, pero sobre todo por la sobrepoblación que genera el incremento de producción y consumo de recursos (Parafieniuk, 2021, p.9).

Actualmente, según la fundación AQUAE (2021) señala que es difícil encontrar fuentes naturales sin alteraciones en sus componentes porque han sido afectados por varios factores, entre los principales destacan los fertilizantes, fármacos y antibióticos, microorganismos patógenos, compuestos de origen orgánico, sustancias radioactivas, nitratos y fosfatos, tal como se representa en la tabla 2-1.

**Tabla 2-1:** Principales contaminantes del agua

<b>Contaminantes</b>	<b>Descripción</b>
Fertilizantes	Son utilizados en la agricultura para eliminar plagas que perjudiquen los cultivos.
Fármacos y antibióticos	Sustancias que llegan al agua por medio de los excrementos, por arrojar medicamentos en los retretes y el uso de fármacos para tratar enfermedades de animales.
Microorganismos patógenos	Proviene de los desechos fecales que con la presencia de antibióticos en el agua fortalece a estos microorganismos.
Compuestos de origen orgánico	Sustancias como el petróleo, la gasolina, plásticos, disolventes y detergentes. Poseen estructuras moleculares complejas, por lo que los microorganismos no los pueden degradar.
Sustancias radioactivas	Presencia en el agua de isótopos radiactivos solubles en ella. Las fuentes de radiación pueden ser diversas como accidentes o fugas en plantas nucleares, vertidos ilegales de residuos radiactivos o por contaminación natural.

---

Nitratos y fosfatos      Sustancias solubles en agua que son nutrientes esenciales para los organismos fotosintéticos que en grandes concentraciones crean problemas de eutrofización.

---

**Fuente:** (AQUAE, 2021)

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

Todos estos contaminantes llegan a las fuentes hídricas por la escorrentía superficial y filtración en el suelo, además de la influencia de factores climáticos como el aumento de la temperatura que alteran el equilibrio natural de los ecosistemas acuáticos. A partir de esto, Nasamues (2021, p.1) manifiesta que el Ecuador busca el cumplimiento de los derechos de la naturaleza establecidos en la constitución 2008 mediante la implementación de reglamentos, normas, códigos y leyes ambientales vigentes para la sostenibilidad de los recursos hídricos del país.

## **2.2. Calidad del agua cruda**

El término calidad hace referencia a las características y beneficios que tiene el agua para responder a diferentes usos, en los sectores industriales, comerciales, recreativos y consumo (Pradana y García, 2019: pp.14-17). El agua cruda o bruta posee microorganismos y materia orgánica e inorgánica que influye en sus características como el sabor, color, temperatura, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, potencial de hidrógenos y turbidez del agua, basados en su origen y entorno (Pérez, 1981, p.2-29).

Según Vásquez (2021, pp.7-8) el recurso agua es un medio esencial para el desarrollo de la vida, el cual proviene de aguas subterráneas, manantiales y aguas superficiales que se pueden captar para abastecer a una población. Por ello, el agua cruda de fuentes y reservas naturales debe pasar por un proceso de potabilización para que sus parámetros físicos, químicos y biológicos sean aceptables para el consumo humano (Martínez et al., 2020: pp.16-17).

### **2.2.1. Parámetros de la calidad de agua cruda**

El agua para abastecimiento de una localidad debe pasar por un tratamiento estricto, con la finalidad de cumplir con los indicadores de calidad de cada país, proceso que inicia con un punto de captación de las aguas para luego ingresar a la planta potabilizadora que tiene como prioridad obtener agua de calidad para consumo (Lucas, 2022, p.15). Sin embargo, es esencial conocer las diferentes características del agua cruda para mejorar sus parámetros mediante varios procesos unitarios que están en función de las propiedades de las aguas captadas como de las aguas tratadas resultantes.

### 2.2.1.1. Características físicas

Estas características son apreciadas por los sentidos y se observan a simple vista, porque brindan estética al agua (Ojeda et al., 2022: pp. 52-53), sin embargo, existen otras características que deben ser valoradas con equipos de laboratorio, considerando como principales las siguientes:

- *Turbiedad*

El agua pierde transparencia por partículas en suspensión como arcilla, lodo y coloides, debido a sedimentos que provienen de la erosión de riberas y crecimiento de algas. Esta característica se mide en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT) e influye en otras propiedades físicas del agua como el color y la temperatura (Tenesaca, 2021, pp. 70-73).

- *Color*

Esta característica está correlacionada a la turbiedad que se origina por descomposición de la materia orgánica y la presencia de compuestos metálicos. De igual manera, en la coloración de las aguas intervienen factores como el pH, temperatura, tiempo de contacto y materia disponible (Pérez, 1981, pp.2-29).

En el agua cruda se puede realizar dos medidas de color: real y aparente (Jiménez y Medina, 2017: p.7). El color real es causado por la presencia de sólidos disueltos que se mide cuando la muestra ha sido filtrada (Ibáñez y Noguera, 2019: pp.39-40). En cambio, el color aparente es generado por la presencia de sólidos suspendidos y disueltos que se miden directamente en la muestra (Falconí y Vines, 2019: p.12).

- *Olor y Sabor*

El agua cruda posee una variedad de compuestos orgánicos que a su vez genera olores sensibles al sentido del olfato, por esto, las propiedades de olor y sabor son señales de rechazo para su uso. En cambio, el sabor varía acorde a sus condiciones en la naturaleza, como es ácido, salado, dulce y amargo (Tenesaca, 2021, pp. 70-73).

- *Temperatura*

Según Tenesaca (2021, pp. 70-73) este parámetro es de 20° C en estado natural que contribuye en el retardo y aceleración de diferentes actividades como la absorción de oxígeno, precipitación de compuestos y actividad biológica, además Barreiro (2019, p.27) afirma que actúa de forma indirecta en los procesos de mezcla, floculación y sedimentación.

- *Sólidos suspendidos*

Este parámetro es un indicador de la calidad de agua, en el cual sus partículas son apreciadas a simple vista, de tamaño variable y se encuentran suspendidos en el agua por su poco peso. Los sólidos en suspensión pueden ser: sedimentables caracterizados por ser grueso y pesado a diferencia de los no sedimentables que son más finos y ligeros, esta característica influenciara en la velocidad de decantación de los sólidos (Pallarés, 2016, pp.9-10).

- *Sólidos disueltos*

Está formado por compuestos inorgánicos como calcio, potasio, sodio y bicarbonatos, además de moléculas orgánicas e iones, se relaciona con la conductividad del agua ya que un aumento de los iones aumenta la capacidad conductiva (Cano, 2015, p.18). Se caracterizan por atravesar un filtro con un tamaño de 0,45 µm, estos sólidos provienen de fuentes naturales y por actividades antrópicas que contienen químicos que le atribuyen el color, olor, sabor y la toxicidad del agua (Ruiz, 2018, pp. 10-11).

#### 2.2.1.2. *Características químicas*

El agua tiene varios elementos de la tabla periódica como parte de su composición, además de otros elementos generados por las actividades antropogénicas que en exceso pueden causar daños a la salud humana, debido a esto, el agua cruda debe ser sometida a un tratamiento con fines de salubridad (Ojeda et al., 2022: pp. 52-53), teniendo como principales características las siguientes:

- *Potencial de hidrógeno (pH)*

Esta medida proporciona datos de la acidez y alcalinidad del agua por medio los iones de hidrógeno, encontrando a las aguas crudas en un rango 4 a 9 (Rincón, 2016, pp.8-11). Esta variación de pH en los cuerpos de agua se debe a las actividades antrópicas por la excesiva cantidad de bases a causa de compuestos de bicarbonatos y carbonatos (Tenesaca, 2021, pp. 70-73).

- *Oxígeno disuelto (OD)*

Es un indicador para medir el nivel de contaminación del agua, considerando el nivel más alto como el más adecuado para el progreso de los organismos acuáticos mientras que el más bajo es menos apto para el desarrollo de la vida (Rincón, 2016, pp.8-11).

- *Demanda química de oxígeno (DQO)*

Constituye la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia presente en el agua, además permite cuantificar la materia orgánica para definir el grado de impurezas o contaminación del agua a someter en un tratamiento (Rosabal et al., 2012: p.16).

- *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)*

Este parámetro se utiliza para medir la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en el equilibrio de la materia orgánica biodegradable como resultado de la oxidación bioquímica aerobia (Rincón, 2016, pp.8-11).

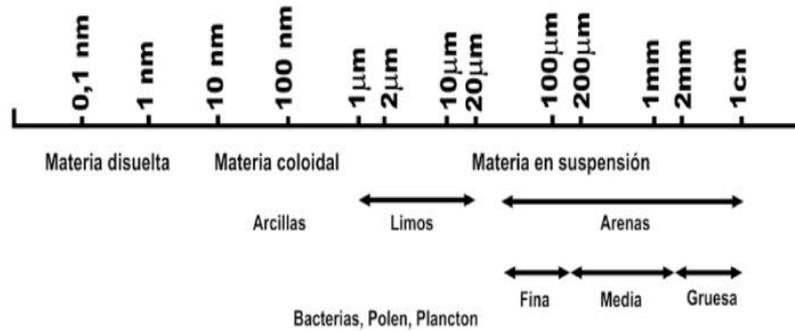
### **2.3. Procesos de tratamientos de agua**

En este apartado se describe el proceso de coagulación, floculación y sedimentación para disminuir la turbiedad y sólidos del agua cruda en el tratamiento primario, para luego dar paso a los demás procesos unitarios de una planta de tratamiento de agua potable (Pallarés, 2016, p.5).

#### **2.3.1. Coagulación y floculación**

Proceso por el cual las partículas presentes en el agua se juntan para formar pequeñas masas llamadas flocs, que facilita la remoción de la turbiedad, color, bacterias, virus, algas y sustancias causantes del mal olor y sabor (Chulluncuy, 2011, pp. 153-170). Las impurezas disueltas en el agua se manifiestan de tres formas diferentes (Pradana y García, 2019: pp.328-336), tal como se representa en la Ilustración 2-1:

- Materia en suspensión:  $> 5\mu\text{m}$
- Coloides:  $10\text{ nm} - 5\mu\text{m}$
- Materia disuelta:  $< 10\text{ nm}$



**Ilustración 2-1:** Tamaño de las partículas

Realizado por: (Pradana y García, 2019: pp.328-336)

Según Pradana y García (2019: pp.328-336) señala que una partícula coloidal en el agua existe en estado disperso, pero se mantiene en suspensión debido a su tamaño pequeño, hidratación y carga eléctrica de las partículas.

### 2.3.2. Coagulación

Es el proceso en el que se introduce insumos químicos en el agua, que sean capaz de neutralizar la carga de los coloides, durante una mezcla rápida e intensa que permita dispersar el coagulante para su posterior precipitación de partículas (Vara et al., 2017: pp. 451-460). Lorenzo (2006, pp.10-17) indica que este proceso consta de 3 etapas que son:

1. Hidrólisis del coagulante y disminución de la estabilidad de los sólidos suspendidos en los cuerpos de agua.
2. Precipitación y aparición de compuestos polimerizados.
3. Adsorción de compuestos coloides presente en el agua.

#### 2.3.2.1. Tipos de coagulantes y floculantes

Murillo, Galvis y Pacheco (2020: pp. 15-17) manifiesta en su “Manual Técnico para la Elaboración de Coagulantes/Floculantes a partir de Productos Naturales” que en el proceso de clarificación de agua se adiciona insumos, que son clasificados como: inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y naturales.

##### a) Coagulantes y floculantes inorgánicos

Coagulantes metálicos que se emplean para tratar agua cruda en las plantas de tratamiento son:

- Sales de aluminio

Kingsley (2019, pp.105-127) manifiesta que estas sales contribuyen a la formación de floc sutilmente pesados, siendo el más utilizado el sulfato de aluminio (alumbre), en donde se debe considerar un pH óptimo para la coagulación entre 5 y 8 aproximadamente. En base a la investigación realizada por (González, 2021, pp. 2-9) sobre la “Tratabilidad de Agua”, menciona que el sulfato de aluminio se presenta de tres formas diferentes, tal como se representa en la tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Sulfatos de aluminio

<b>Formas</b>	<b>Descripción</b>
Blanco	Es más costoso debido a que es libre de hierro.
Amarillo	Se produce mediante la reacción del ácido sulfúrico comercial con la bauxita pulverizada.
Negro	Mezcla homogénea de sulfato de aluminio (blanco o amarillo) con 2 a 5% de carbón activo, empleado para control del sabor y del olor. La coagulación con hidróxido de aluminio $Al(OH)_3$ se realiza en la zona de pH entre 5,0 y 8,0 por la reacción del sulfato con la alcalinidad natural o cuando se añade al agua.

**Fuente:** González, 2021, pp. 2-9

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

- Sales de hierro

Componen un floc más pesado y por ende tendrá más velocidad de asentamiento a diferencia de las sales de aluminio, entre los más aprovechados están en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Sales de Hierro

<b>Sales de Hierro</b>	<b>Descripción</b>
Cloruro férrico $FeCl_3$	Disponible comercialmente de forma líquida, cristalina y anhidra, se caracterizan por ser corrosivas por lo que deben ser almacenadas en recipientes de acero.
Sulfato ferroso $FeSO_4$	Disponible en polvo, de color verdoso y muy soluble, contiene aproximadamente un 20% de hierro para su almacenamiento y reacciona con la alcalinidad natural o añadida.
Sulfato férrico $Fe(SO_4)_3$	Se presenta en forma líquida y seco, utilizado para eliminar el color con pH altos y bajos. .

**Fuente:** (Kingsley, 2019, pp.105-127)

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

## b) Coagulantes y floculantes de polímeros orgánicos sintéticos

Sustancias orgánicas sintetizadas de la naturaleza, caracterizado por su elevado peso molecular y carga neta (Huerta, 2022). Los floculantes o polímeros presentan características diferentes representados en la tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Características de los floculantes

<b>Tipo de floculante</b>	<b>Característica</b>
Minerales	La sílice actividad cuya preparación es delicada.
Orgánicos naturales	Polímeros extraídos de animales o vegetales.
Orgánicos de síntesis	Macromoléculas de gran cadena y con alto peso molecular, se clasifican según el carácter iónico de los polímeros en catiónicos (carga positiva), aniónicos (carga negativa) y no iónicos (carga neutra).

**Fuente:** Huerta, 2022; (Cano, 2015, pp.21-23).

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

## c) Coagulantes y floculantes naturales

Según Murillo y otros autores (2020, pp.15-17) manifiestan que los coagulantes y floculantes naturales son una alternativa de baja toxicidad para el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, obteniéndose estos productos de las reacciones bioquímicas de animales y plantas. De igual manera, Poveda (2022, p.16) afirma que a este grupo de coagulantes pertenecen los compuestos bioactivos como las proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides caracterizados por su capacidad de alterar las partículas coloidales.

- Coagulantes de origen animal

El quitosano es un producto derivado del exoesqueleto de caracoles y cangrejos, que puede actuar como coagulante y floculante en el tratamiento de agua.

- Coagulantes de origen vegetal

Se extraen los coagulantes y floculantes de las hojas, raíces, flores y semillas de las plantas de diferentes especies, siendo las más utilizadas las que se representa en la tabla 2-5.

**Tabla 2-5:** Especies vegetales con característica de coagulantes

<b>Especie vegetales</b>	<b>Característica</b>
Cactus o tuna ( <i>Opuntia ficus-indica</i> )	Los tallos son planos, ovales y de color verde medio; el mucílago de la planta sea empleado en el proceso de clarificación de agua obteniendo un porcentaje de reducción de turbidez del 83%.
Piñón de Tempate ( <i>Jatropha curcas</i> )	Las semillas de las plantas reciben un tratamiento previo para ser utilizado como coagulante, teniendo mayor efectividad en aguas con pH ácido con la reducción del 86% de sólidos suspendidos.
Moringa ( <i>Moringa oleífera</i> )	Posee una proteína catiónica hidrosoluble que desestabiliza las partículas contenidas en el agua.

**Fuente:** (Murillo et al., 2020)

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

#### 2.3.2.2. Elección del coagulante

Se realiza mediante la prueba de jarras en el laboratorio para lo cual se debe tener en cuenta diverso factores del agua, como es su naturaleza, variación y criterios de calidad, uso del agua tratada, tratamiento a aplicar después de la coagulación y grado de pureza del reactivo (Cano, 2015, pp.21-23).

#### 2.3.3. Floculación

La floculación es un proceso complementario de la coagulación, en el cual se aglomeran las partículas mediante la agitación lenta que permite formar partículas de mayor tamaño y peso denominados flóculos (Choque, 2021, pp.19-20). En esta etapa del tratamiento de agua intervienen los floculantes que mejoran los resultados de la coagulación.

#### 2.3.4. Tanque de coagulación/floculación

El tanque se caracteriza por la agitación para la mezcla total y homogénea del producto en el agua para así obtener un rendimiento favorable al facilitar el contacto y la colisión de las partículas (Pallarés, 2016, pp.29-50). La coagulación consiste en una mezcla rápida para desestabilizar las partículas coloidales con la ayuda de un coagulante en un tiempo corto mientras que la floculación es estimulada por una agitación lenta para evitar romper los flóculos ya formados, considerando que el tiempo de floculación permite la formación de flóculos para ser eliminados de forma eficiente en el proceso de sedimentación (Vara et al., 2017: pp. 451-460).

### 2.3.5. Factores que influyen en la coagulación y floculación

En este apartado se resumen los factores a considerar para replicar el proceso de coagulación y floculación a pequeña escala, tal como se evidencia en la tabla 2-6.

**Tabla 2-6:** Factores que influyen en el proceso de coagulación – floculación

Características	Descripción
Características de coagulante	El tipo y la dosis del coagulante.
Características del agua	El pH, la concentración de partículas coloidales, la concentración de carbono orgánico total (COT), el color, los aniones y cationes en solución, la temperatura y la preoxidación del agua.
Características del mezclado	El tiempo y gradiente de la agitación del agua, equipo de mezclado.
Características de las partículas	El potencial Z, el tamaño, la movilidad pericinética (debida al movimiento browniano) y ortocinética (gradiente de velocidad) y la capacidad de flotar.

Fuente: (Charapaqui, 2019, p. 11)

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

### 2.3.6. Remoción

Es parte del proceso de clarificación utilizado en una planta de tratamiento de agua, que consiste en la remoción de partículas con un peso mayor al líquido a tratar, por acción de la gravedad (Ibáñez y Noguera, 2019: p.20). De acuerdo con Pallarés (2016, pp.29-50) las partículas en suspensión sedimentan en función de sus propiedades, concentración e interacción de las partículas, por lo que se tiene cuatro tipos de sedimentación:

- Partículas discretas

Sedimentan partículas con baja concentración de sólidos sin cambiar sus características y de forma individual.

- Partículas floculentas

Sedimentan partículas al unirse con otras partículas para aumentar su masa, cambiando sus características para sedimentar a mayor velocidad.

- Retardada

Suspensión de concentración intermedia donde las partículas tienden a mantener varias fases o zonas según sea el avance de la precipitación de las partículas.

- Compresión

Sedimentación de partículas concentradas hasta formar una estructura que, por la compresión de esta, sedimenta.

#### **2.4. Prueba de jarras**

Es un método usado a nivel de laboratorio para determinar la dosis óptima de coagulantes / floculantes necesarios en un proceso de tratamiento de aguas, la misma que se lleva a cabo en tres distintas fases que son mezcla rápida, mezcla lenta y por último el reposo (Chele, 2019: p.20). Este procedimiento simula el proceso de coagulación y floculación que permiten la remoción de los coloides en suspensión y materia orgánica, que son los factores que influyen en la turbidez, olor y sabor del agua (Suárez y Trujillo, 2011: p.18).

Lorenzo (2006, pp. 10-17) expresa que en el mercado existe una gran variedad de equipos para pruebas de jarras, pero toda su versatilidad debe radicar en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (rpm). Entre los parámetros químicos e hidráulicos que influyen en este proceso encontramos:

- pH.
- Temperatura.
- Concentración de coagulante.
- Secuencia de aplicación de las sustancias químicas.
- Grado de agitación.
- Tiempo de sedimentación.
- Turbidez.

El parámetro de mayor relevancia en la solubilidad del coagulante en la mezcla es el pH, dado a que se puede obtener una coagulación óptima cuando los valores de este son bajos, ayudando a

disminuir la turbiedad y facilitando también la formación de flóculos (Domínguez, 2010: pp.16-24). Por otra parte, la determinación de la dosis ideal de coagulante juega un rol fundamental en el proceso de tratamiento de aguas, debido a que una concentración adecuada aporta en la desestabilización de las partículas suspendidas, reduciendo de esta manera las fuerzas de separación que existen entre ellas y así se logra la formación de flocs (Recalde, 2010: p.17).

#### **2.4.1. Etapas del equipo de prueba de jarras**

De acuerdo con Poveda (2022, pp.12-13) el equipo de prueba de jarras tiene como principal función la remoción de impurezas presentes en el agua para llegar a la clarificación de la misma, esto se logra a través de 3 etapas fundamentales que son:

##### **2.4.1.1. Mezcla rápida**

Esta es la primera etapa del proceso de coagulación/floculación, es aquí donde se dispersa de manera homogénea el coagulante en todo el volumen del fluido a tratar, es recomendable realizarla con un tiempo de retención entre uno a tres minutos, tiempo que se considera suficiente para el proceso de coagulación (Landázuri, 2000: pp.28-29), pero con agitación fuerte la misma que puede ir desde 160 a 300 rpm (Domínguez, 2010: pp.16-24).

##### **2.4.1.2. Mezcla lenta**

La segunda etapa de coagulación/floculación es donde se consigue que las partículas suspendidas se aglutinen y se formen los flocs, esto se logra realizando movimientos lentos (20-40 rpm), con un tiempo de retención que varía entre 10 a 30 minutos dependiendo del agua a tratar y el reactivo utilizado (Landázuri, 2000: pp.28-29), cabe recalcar que al pasar el tiempo se podría elevar la temperatura del agua incidiendo en una floculación más eficiente, pero perjudicar la sedimentación.

##### **2.4.1.3. Reposo**

Es la tercera etapa conocida también como sedimentación, es recomendable que se deje reposar la muestra por un estimado de 30 minutos (Chele, 2019: p.13).

## **2.5. Descripción del equipo de jarras**

Tanto Suárez y Trujillo (2011, p.17) como Pillajo (2019, p.26) y Huixtlaca (2014, p.30) sostienen que existen algunas variaciones en los equipos de jarras, en la mayoría de los casos los equipos

comerciales cuentan con distinto número de paletas de velocidad y variable de rotación. También estos autores exponen que los equipos más conocidos cuentan con los elementos listados a continuación:

- Agitador mecánico con un número de paletas entre 3 a 6, siendo capaces de operar a velocidades variables de 0 a 300 r.p.m.
- Sistema de dosificación.
- Iluminador de flóculos que se encuentra en la base del equipo.
- Vasos de precipitación de 2000 ml de capacidad.

### ***2.5.1. Agitador mecánico***

Esta es la parte más importante del equipo ya que es aquí donde se define la variable con mayor relevancia que es la intensidad de agitación, la misma que se expresada como gradiente de movimiento del agua, para ello se utilizan rotores o paletas accionadas en forma mecánica (Ricaurte, 2016: pp. 34-35), estas son de acero inoxidable y cuentan con un sistema adaptado para levantarlas y permitir el ingreso de los vasos de precipitado.

#### ***2.5.1.1. Tipos de agitadores***

Los agitadores de rodete se dividen en dos clases, los agitadores de corriente paralela al eje del rodete (Flujo axial), y los agitadores de corriente en dirección tangencial o radial (Flujo radial) (Lai et al., 1975: pp. 553-557). Según Salermo (2014, pp. 9-19) los principales tipos de rodetes usados por su eficiencia se muestran en la ilustración 2-2, ya que resuelven hasta el 95% de los problemas de agitación de líquidos son:

- *Hélice*

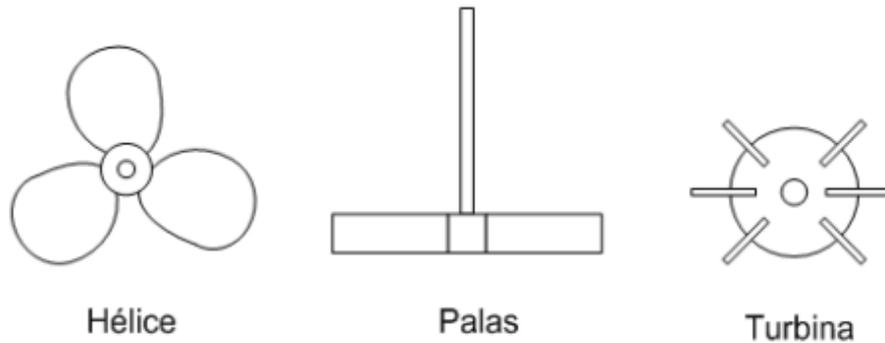
Es un impulsor de tipo axial, tiene la capacidad de trabajar a altas velocidades y son usados en general para líquidos de baja viscosidad, el líquido en flujo que salen del impulsor continúa en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del estanque, la columna del flujo axial genera remolinos provocando mucha turbulencia (Salermo, 2014: pp. 9-13).

- *Palas*

Es el tipo de impulsor que produce un flujo radial que se desplaza hacia las paredes del estanque, su diseño es sencillo y se utiliza para fluidos cuya viscosidad alcanza hasta los 0.11 Pa·s, resultando el más aceptable (Salermo, 2014: pp. 9-13).

- *Turbina*

En este tipo de impulsor se combina el flujo radial con el flujo axial, este acaso se utiliza especialmente para homogeneizar y mejorar la transferencia de calor con las paredes o serpentines dispuestos en el interior del estanque (Castillo, 2013: p.18).



**Ilustración 2-2:** Principales tipos de agitadores

Realizado por: Castillo, 2013

### 2.5.2. *Sistema de dosificación*

El sistema de dosificación es una parte fundamental cuando se requiere realizar pruebas de coagulación, este sistema facilita la adición de coagulantes de una forma rápida en cada vaso o jarra de manera simultánea, en estudios se ha demostrado que la diferencia del tiempo de adición de reactivos puede afectar de una manera significativa a la obtención de resultados (Vargas, 2004: p.7).

### 2.5.3. *Iluminador de flóculos*

El equipo de prueba de jarras debe estar provisto por una base iluminada observada en ilustración 2-3, la misma que es de fundamental importancia para que el investigador pueda apreciar con facilidad los flóculos formados y sedimentados en cada uno de los vasos de precipitación, es importante recalcar que la fuente de luz de la base no debe generar calor ya que esto podría perjudicar la obtención de resultados (Rodríguez, 2008: p. 61).



**Ilustración 2-3:** Base iluminada2

**Realizado por:** Molina y Jácome, 2016

#### ***2.5.4. Vasos del equipo***

Las jarras o vasos de precipitación con las que cuente el equipo de prueba de jarras deben ser de 1000 a 3000 ml de capacidad, ya que si se usa vasos de menor capacidad se dificulta la adición de distintos volúmenes de coagulantes y esto no permitirá la obtención de resultados satisfactorios (Jiménez y Medina, 2017: pp. 44-45).



**Ilustración 2-4:** Vaso precipitado de 2000ml

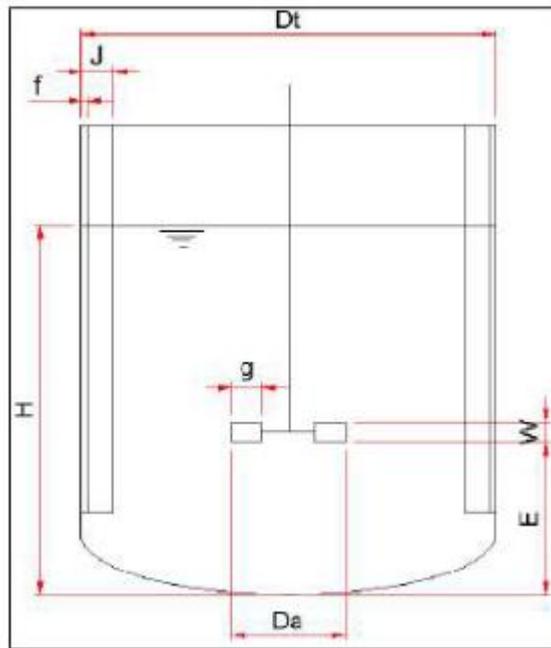
**Realizado por:** Molina y Jácome, 2016

### **2.6. Parámetros de diseño**

#### ***2.6.1. Dimensionamiento del sistema de agitación***

##### ***2.6.1.1. Semejanzas geométricas estandarizadas***

Pallarés (2016, pp.29-50) afirma que es necesario utilizar las semejanzas geométricas estandarizadas para las dimensiones del agitador. En la ilustración 2-5 se representa las variables dimensionales a considerar en un sistema de agitación estándar de tipo turbina.



**Ilustración 2-5:** Semejanzas geométricas del sistema de agitación de tipo turbina

Realizado por: Pallarés, 2016

A continuación, se muestra en la tabla 2-7 las semejanzas geométricas de un sistema de agitación de tipo turbina.

**Tabla 2-7:** Semejanzas Geométricas

Semejanzas Geométricas		
$H/D_t = 1$	$D_a/D_t = 0,33$	$E/D_t = 0,33$
$W/D_a = 0,2$	$g/D_a = 0,25$	$J/D_t = 0,1$
$f/D_t = 0,02$		

Fuente: Pallarés, 2016

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

Donde:

$D_t$  = Diámetro del tanque

$H$  = Altura del líquido

$D_a$  = Diámetro del agitador

$g$  = Largo de las paletas en el agitador de turbina

$J$  = Ancho del deflector

$E$  = Distancia del fondo del tanque hasta la paleta

$W$  = Ancho de las aspas de la turbina

$f$  = Espacio entre placa y el estanque

### 2.6.1.2. Aplicación de fórmulas

Sin embargo, se puede obtener los valores para el diseño del agitador por la aplicación de fórmulas empleadas en el diseño de agitadores para la mezcla de fluidos de mayor o menor densidad.

#### *Diámetro de la paleta*

Suárez y Trujillo (2011, p.18) manifiestan que el diámetro de la paleta es el espacio horizontal que tendrá el rodete para poder realizar la agitación, se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$d = \frac{2}{3} \theta t \quad \textbf{Ecuación 1}$$

Donde:

$d$  = Diámetro de la paleta

$\theta t$  = Diámetro total de la jarra

Además, Castillo (2013, p.14) expresa que la longitud total de un rodete de palas comprende entre el 50 y el 80 % del diámetro interior del estanque y la anchura de la pala es de 1/6 a 1/10 de su longitud.

#### *Ancho de la paleta*

Mide la distancia vertical del agitador ubicado en la parte baja del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$W_p = \frac{D_t}{5} \quad \textbf{Ecuación 2}$$

Donde:

$W_p$  = Ancho del agitador

$D_t$  = Diámetro total del tanque.

#### *Distancia del fondo del tanque hasta la base de la paleta*

Mide la distancia vertical que tendrá el impulsor desde el fondo del tanque medido hacia arriba, se calcula con la siguiente fórmula:

$$H_{ft} = \frac{1}{3} D_{tc} \quad \textbf{Ecuación 3}$$

Donde:

$H_{ft}$  = Altura del agitador con respecto al fondo del tanque.

$D_{tc}$  = Diámetro del tanque de coagulación.

#### *Longitud del brazo del agitador*

Como plantea Ocles (2019, pp.73-78) para medir la longitud total del brazo del agitador que ocupará en el tanque, se calcula en base a la siguiente fórmula:

$$H_i = H_{tc} - H_{ft} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$H_i$  = Longitud total del brazo del agitador.

$H_{tc}$  = Altura del tanque de coagulación.

$H_{ft}$  = Altura del agitador con respecto al fondo del tanque.

#### *Altura y volumen del líquido*

De la misma manera, para evitar el derrame del líquido se debe determinar la altura máxima a la que debe llegar el líquido, la misma que se calcula aplicando una ecuación determinada para el uso de jarras preelaboradas (Suárez y Trujillo 2011: p.18) .

$$h = \frac{V}{\pi(r)^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

h = Altura del líquido

V = Volumen del tanque

r = Radio de la jarra

De acuerdo con, García et al. (2020) propone el cálculo del volumen del cilindro para obtener el volumen del tanque mediante la ecuación 6.

$$V = \frac{\pi * D_t^2 * H}{4} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

V = Volumen del cilindro.

D = Diámetro del tanque.

$H$  = Altura del líquido

$\pi = 3,14$

*Potencia consumida por el agitador*

Castillo (2013, pp34-38) indica que es importante conocer la potencia consumida por el agitador mediante el cálculo de números adimensionales que se describen a continuación:

- *Número de Reynolds*

Mide el comportamiento del fluido dentro del recipiente agitado (Ocles, 2019: pp. 73-78), mediante los valores de la tabla 2-8 después de calcular con la siguiente fórmula:

$$N_{Re} = \frac{(D_t^2 * N * \rho)}{\mu} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$N_{Re}$  = Número de Reynolds, adimensional.

$d$  = Diámetro de la paleta.

$N$  = Número de revoluciones por segundo.

$\rho$  = Densidad del fluido.

$\mu$  = Viscosidad del fluido.

**Tabla 2-8:** Número de Reynolds para líquidos dentro de un recipiente agitado

Régimen	Valor
Laminar	$N_{Re} < 10$
Transición	$10 < N_{Re} < 10^4$
Turbulento	$N_{Re} > 10^4$

Fuente:(Navarro et al., 2015: pp.117-119)

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

Asimismo, se debe utilizar tablas de la densidad y viscosidad del agua en función de la temperatura, misma que se representa en la tabla 2-9.

**Tabla 2-9:** Densidad y viscosidad del agua a diferentes temperaturas

Temperatura	Densidad del agua	Viscosidad dinámica del agua
°C	$Kg/m^3$	$Kg/(m * s)$

20	998,29	0,001003
23	997,62	0,000933
26	996,86	0,000871
29	996,02	0,000815

Fuente:(Dulhoste, 2012, p. 2)

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

- *Potencia del agitador*

Permite determinar la potencia para mover el agitador, aplicando la siguiente fórmula:

$$N_p = \frac{P}{(\rho * N^3 * D_a^5)} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$P$  = Potencia.

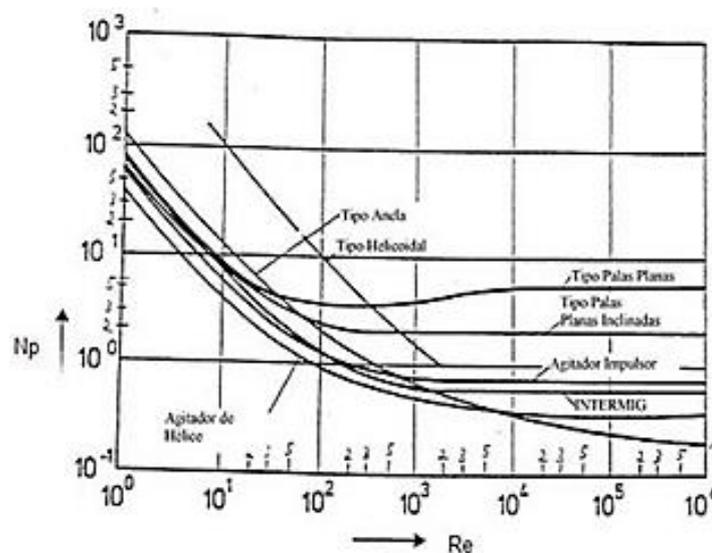
$D_a$  = Diámetro del tanque.

$N$  = Número de potencia.

$\rho$  = Densidad del fluido

$\mu$  = Viscosidad del fluido

Sin embargo, Ricaurte (2016, pp.24-39) afirma que para determinar la potencia del agitador se debe encontrar primero el número de potencia utilizando una gráfica experimental que se refleja en la ilustración 2-6 conocida como correlación de potencia que se han obtenido en investigaciones anteriores.



**Ilustración 2-6:** Correlación de potencia

Realizado por: (Acuña, 2010)

## **2.7. AutoCAD**

Es un software que permite la creación, edición y diseño a nivel profesional, siendo el más conocido entre los programas de diseño asistidos por computadora, es usado usualmente por un gran número de usuarios ya que cuenta con una serie de características muy avanzadas, pero a la vez sencillas, estas características lo hacen muy utilizado por arquitectos, diseñadores industriales e ingenieros (Autodesk, 2021).

### **2.7.1. Funciones de AutoCAD**

Este software permite diseñar planos detallados de una planta, vivienda, instalación eléctrica, diseño de interiores debido a su variedad de herramientas básicas como el menú de dibujo, edición y anotación, también posee funciones avanzadas como es el modelado de sólidos, mallas y superficies para diseños en 2D y 3D que proyecta modelos más realistas (Autodesk, 2021). Entre las principales funciones de este software, Esneca (2019) describe las siguientes:

- Acceso a comandos y menú contextuales.
- Extracción de vista de un sólido tridimensional.
- Transparencia de los objetos particulares.
- Filtrar objetos según sus propiedades.
- Maximiza la productividad con aplicaciones complementarias.

## **2.8. Sistema eléctrico**

### **2.8.1. Placa arduino nano**

Un Arduino Nano es una placa compacta que tiene gran capacidad de manejo de periféricos y con la misma velocidad en su microcontrolador, es la mejor opción al momento de desarrollar proyectos en los cuales se requiera trabajar en espacios reducidos, pero cuenta con una gran cantidad de posibilidades al ser compatible con todo tipo de componentes electrónicos (Arduino Nano, 2021).

### **2.8.2. Motor paso a paso**

Es un dispositivo electromecánico usado en dispositivos donde se necesita efectuar una variación de velocidades, también permite la transformación de un impulso eléctrico en movimientos angulares, estos motores tienen como principal característica que se pueden mover paso a paso a

la vez por cada pulso que se le aplique, permitiendo moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador (Malo, 2011: pp. 12-40).

### ***2.8.3. La pantalla OLED (Organic Light Emitting Diode)***

Está diseñada para imprimir datos con una alta calidad y un amplio ángulo de visión, su velocidad de reacción rápida, y su protocolo de comunicación permite receptor datos directos de las placas Arduino (Nacimba y Román, 2020).

### ***2.8.4. Controlador de motor***

El TB6600 es un tipo de controlador profesional de fácil uso, para motores paso a paso, tiene la ventaja de ser muy compatible con microcontroladores como el Arduino y soportar voltajes de entrada variables (Campos, 2020: pp. 1-2).

## **2.9. Marco legal**

### ***2.9.1. Constitución del Ecuador***

Como plantea la Constitución Nacional del Ecuador con el Registro Oficial 449 del 20 de octubre de 2008, que ha sido modificado el 25 de enero de 2021 donde estipula que:

*Art. 12.- “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”* (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.13).

*Art. 14.- “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”* (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.14).

*Art. 314.- “El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley”* (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.158).

*Art. 318.- “El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la*

*existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua”*  
(Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.160).

De ese modo, se evidencia la protección al recurso agua y su accesibilidad para diferentes usos según el cumplimiento de los parámetros de calidad, siendo la base fundamental para el desarrollo de la vida y la sociedad.

### **2.9.2. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)**

En el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 referente a la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso Agua (2017) establece en la Tabla 1, los criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico representados en la tabla 2-10 teniendo en cuenta los más esenciales para la investigación que son:

**Tabla 2-10:** Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Criterio de calidad</b>
Turbidez	UTN	100,0
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	6-9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	<2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	<4

Fuente: (TULSMA, 2017, p10)

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

### **2.9.3. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108**

La norma técnica ecuatoriana INEN 1108 “Agua para Consumo Humano, Requisitos” - Sexta revisión 2020-04, establece en la Tabla 1 los requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano que se representa en la tabla 2-11:

**Tabla 2-11:** Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
Turbidez	UTN	5
Color aparente	Pt-Co	15

Fuente: (NTE INEN 1108, 2020, p.2)

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

De igual manera en esta norma técnica ecuatoriana se establece en el Anexo B, Tabla B.1. los rangos de pH del agua para consumo humano que es representado en la tabla 2-12:

**Tabla 2-12:** Rango de pH del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Rango
pH	-	6.5-8.0

Fuente:(NTE INEN 1108, 2020, p.5)

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

#### **2.9.4. Norma Técnica Colombiana (NTC) 3903**

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente para que responda en todo momento a las necesidades actuales. La NTC 3903 es una adopción modificada de la norma ASTM D2035:08 Standard Practice for Coagulation - Flocculation Jar Test Water en la cual se han realizado algunas modificaciones por las necesidades de las industrias de dicho país (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2010), siendo de gran importancia las siguientes:

*Numeral 1.1. “Se modifica el objeto de la norma indicando que el ensayo busca determinar la dosis óptima de reactivo químico a utilizar”.*

*Numeral 4. “Se agregan las variables de tiempo y agitación a considerar durante la ejecución del ensayo”.*

*Numeral 5.3. “Se agrega indicando que otro uso de la norma es la determinar los parámetros de diseño para los procesos de coagulación y floculación”.*

*Numeral 7.1. “Se modifica el rango la velocidad del agitador de “20 r/min a 150 r/min” al rango de “20 r/min a 500 r/min” como un valor de referencia y se agrega que todas las paletas de agitación deben girar a las mismas revoluciones y una nota aclarando como se debe determinar el rango de velocidad del equipo a seleccionar”.*

*Numeral 7.2. “Se agregan los recipientes de tipo cuadrado y materiales recomendados”.*

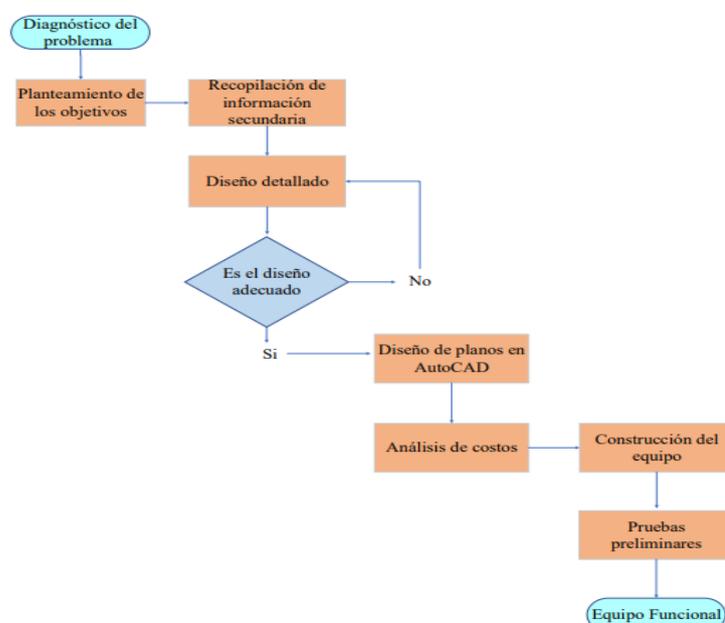
## CAPITULO III

### 3. Metodología

En el presente trabajo de integración curricular se realizó el diseño de un equipo de prueba de jarras mismo que fue construido con materiales resistente para su perdurabilidad, además que ayude a la realización de prácticas de laboratorio para determinar la dosis ideal de coagulante en la tratabilidad de aguas. Permitiendo complementar la formación técnica de los estudiantes de las diferentes cátedras de las carreras de la ESPOCH sede Orellana, pero sobre todo en la carrera de Ingeniería Ambiental.

Para esto, se aplicó una metodología de cumplimiento de los objetivos planteados, la misma que inició con la búsqueda de información secundaria relacionada a los procesos de coagulación / floculación, criterios de calidad de agua para consumo humano, agitadores mecánicos, sistema eléctrico y estructura sólida del equipo. De la misma forma, se determinó el diseño detallado de cada componente del equipo en base a documentos anteriormente revisados. Luego se realizó el diseño específico en AutoCAD con las dimensiones adecuadas previo a cálculos, para su posterior análisis de costo en la construcción y finalmente se sometió al equipo a pruebas preliminares para constatar su funcionalidad.

A continuación, se muestra en la (Ilustración 3-1) el diagrama de flujo de la metodología empleada para la construcción del equipo de prueba de jarras:



**Ilustración 3-1:** Diagrama de flujo de la metodología de diseño de un equipo de prueba de jarras.

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

### 3.1. Tipo de investigación

De acuerdo con Hernández (2014, p.92) se aplicó una investigación bibliográfica, descriptiva y de campo con la finalidad de identificar las variables que intervienen en los procesos de coagulación / floculación que ocurren en una planta de tratamiento de agua potable, pero a nivel de laboratorio. Además, se aplicó una investigación en campo para realizar el muestreo del agua cruda del río Payamino con el fin de analizar los parámetros principales de esta fuente de abastecimiento hídrico de la ciudad de El Coca.

### 3.2. Diseño del equipo

Los requerimientos de diseño se basan en la Norma Técnica Colombiana 3903 ratificada en el año 2010 misma que es una modificación de la norma ASTM D2035:08 Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test Water (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación 2010).

#### 3.1.1. Jarras prediseñadas

Se utilizó vasos precipitados de la marca Boeco Germany de 2000 ml elaborado en vidrio borosilicato 3.3 para la resistencia a temperaturas altas y la agitación de líquidos. Los 4 vasos precipitados se adquirieron de la Distribuidora de Equipos y Reactivos Médicos para Laboratorio Clínico con código BOE-5010663.

#### 3.1.2. Cálculos del sistema de agitación

##### 3.2.2.1. Datos de entrada

Para lograr una agitación rápida y homogénea del agua cruda e insumo químico se desarrolló el diseño de un agitador en función de los siguientes datos indicados en la tabla 3-1 con las dimensiones generales de la jarra prediseñada

**Tabla 3-1:** Datos de entrada para el diseño de un agitador de tipo palas planas

Datos	Descripción
Fluido	Solución de coagulante orgánico y agua cruda
Diámetro de la jarra	13 cm
Altura de la jarra	18.5 cm
Fondo	Plano

Fuente: Elaboración propia

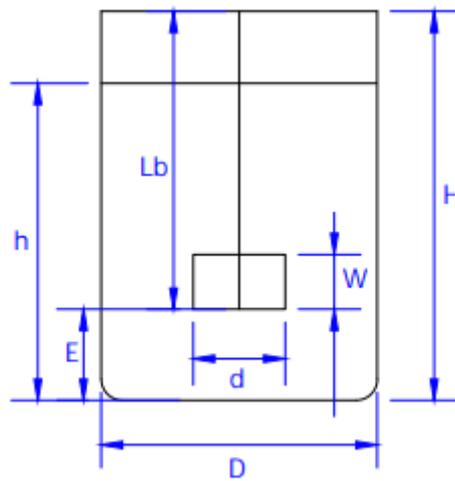
Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

### 3.2.2.2. Dimensiones generales

Se seleccionó un agitador de tipo turbina de palas rectas que gira sobre su eje vertical generando desde el centro de la jarra un flujo radial y tangencial del fluido a velocidades bajas o moderadas que promueve la homogenización de los fluidos (Ricaurte, 2016: pp. 24-39).

#### a) Semejanzas geométricas estandarizadas

Según Ricaurte (2016, pp.24-39) para determinar las dimensiones del agitador es necesario utilizar las semejanzas geométricas estandarizadas que relacionan las medidas generales del tanque con la paleta. A continuación, se presenta en la ilustración 3-2 un diagrama del sistema de agitación de tipo paleta plana.



**Ilustración 3-2:** Sistema de agitación de paleta plana

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

Considerando el análisis del diagrama se consigue calcular las dimensiones generales del agitador que se encuentran en la tabla 3-1:

**Tabla 3-1:** Dimensiones del agitador por semejanzas geométricas estandarizadas

Altura del líquido	Diámetro del impulsor	Distancia del fondo de la base del impulsor
$H/D_t = 1$	$D_a/D_t = 0,33$	$E/D_t = 0,33$
$H = 1 * D_t$	$D_a = 0,33 * D_t$	$E = 0,33 * D_t$
$H = 1 * 13 \text{ cm}$	$D_a = 0,33 * 13 \text{ cm}$	$E = 0,33 * 13 \text{ cm}$
$H = 13 \text{ cm}$	$D_a = 4,29 \text{ cm}$	$E = 4,29 \text{ cm}$
	<b>Largo de la paleta</b>	<b>Ancho de la paleta</b>

$g/D_a = 0,25$	$W/D_a = 0,2$
$g = 0,25 * D_a$	$W = 0,2 * D_a$
$g = 0,25 * 4.29 \text{ cm}$	$W = 0,2 * 4,29 \text{ cm}$
$g = 1.07 \text{ cm}$	$W = 0,86 \text{ cm}$

**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

Para obtener la longitud de la paleta plana se suma el valor  $D_a + g$  que es 5,36 cm y del ancho es 0,86 cm. Asimismo, en el cálculo de la longitud del brazo del agitador se realiza una diferencia entre la altura del tanque con la distancia del fondo del tanque hasta la paleta que es el valor de E de las semejanzas geométricas estandarizadas, aplicando la ecuación 4 de la cual se obtuvo lo siguiente:

$$H_i = H_{tc} - H_{ft}$$

$$H_i = 18.5\text{cm} - 4.29\text{cm}$$

$$H_i = 14,21\text{cm}$$

$$H_i = 0,1421 \text{ m}$$

#### b) Aplicación de fórmulas

De igual manera, se aplicó las fórmulas para el diseño del sistema de agitación como son:

- Cálculo del diámetro de la paleta

Para el cálculo del diámetro de la paleta en el sistema de agitación se emplea la ecuación 1 utilizado por Suárez y Trujillo (2011: p.18) en el “Diseño y Construcción de un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de aguas residuales”.

$$d = \frac{2}{3} \theta t$$

$$d = \frac{2}{3} (13\text{cm})$$

$$d = 8,66 \text{ cm}$$

$$d = 9 \text{ cm}$$

$$d = 0,09 \text{ m}$$

- Cálculo del ancho de la paleta

De la ecuación 2 se obtuvo:

$$W_p = \frac{D_t}{5}$$

$$W_p = \frac{13}{5} \text{ cm}$$

$$W_p = 2,6 \text{ cm}$$

$$W_p = 3 \text{ cm}$$

$$W_p = 0,03 \text{ m}$$

- Cálculo de la distancia del fondo del tanque hasta la base del agitador

De la ecuación 3 se obtuvo:

$$H_{ft} = \frac{1}{3} D_{tc}$$

$$H_{ft} = \frac{1}{3} (13 \text{ cm})$$

$$H_{ft} = 4,33 \text{ cm}$$

$$H_{ft} = 0,0433 \text{ m}$$

- Longitud del brazo del agitador

De la ecuación 4 se obtuvo:

$$H_i = H_{tc} - H_{ft}$$

$$H_i = 18,5 \text{ cm} - 4,33 \text{ cm}$$

$$H_i = 14,17 \text{ cm}$$

$$H_i = 0,1417 \text{ m}$$

- Cálculo de la altura del agua

De la ecuación 5 se obtuvo:

$$h = \frac{V}{\pi(r)^2}$$

$$h = \frac{2000 \text{ cm}^3}{\pi(6,5)^2}$$

$$h = 15,07 \text{ cm}$$

$$h = 0,1507 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del agua

De la ecuación 6 se obtuvo:

$$V = \frac{\pi * D_t^2 H}{4}$$

$$V = \frac{3,14 * (0,13 \text{ m})^2 * 0,1507 \text{ m}}{4}$$

$$V = \frac{7,9970 * 10^{-3} \text{ m}}{4}$$

$$V = 1,999 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V = 1,99 \text{ L}$$

*Potencia consumida por el agitador*

- Cálculo del número de Reynolds

El número de Reynolds se lo calculó mediante la ecuación 7, utilizando la densidad del agua y viscosidad dinámica del fluido de acuerdo con la temperatura promedio de 26 ° C de Francisco de Orellana, siendo la densidad a aplicar de 996,86 kg/m<sup>3</sup> y la viscosidad dinámica del fluido expresados en la tabla 7-2 para lo cual se obtuvo:

$$N_{Re} = \frac{(D_t^2 * N * \rho)}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{(0,09 \text{ m})^2 * (270 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}) * 996,86 \text{ kg/m}^3}{0,000871 \text{ kg/(m * s)}}$$

$$N_{Re} = 41717,04$$

$$N_{Re} = 4,17 * 10^4$$

$N_{Re} > 10^4$  es flujo turbulento

- Cálculo de la potencia requerida del agitador

A partir de la ilustración 6-2 de correlaciones de potencia en función del número de Reynolds tomando en cuenta la curva de tipo palas plana, se obtuvo un Número de Potencia ( $N_p$ ) de 4. De la ecuación 8 se tiene:

$$N_p = \frac{P}{(\rho * N^3 * D_a^5)}$$

$$P = N_p * (\rho * N^3 * D_a^5)$$

$$P = 4 * (996,86 \text{ kg/m}^3 * (4,5 \text{ rev/s})^3 * (0,09 \text{ m})^5)$$

$$P = 2,15 w$$

$$P = 0,002 hp$$

### **3.1.3. *Tamaño del equipo de prueba de jarras***

Se realizó con referencia a las fichas técnicas de equipos de pruebas de jarras comerciales de la empresa de equipos de laboratorio GAMMALAB (2019) que se basan en la norma ASTM D2035:08. Para la estructura sólida se estableció una longitud de 85 cm, altura de 27 cm y ancho de 25 cm, considerando las medidas del vaso precipitado BOECO cuyos diámetros estándar son de altura 18,50 cm y de diámetro 13 cm para lo cual se tiene una distancia de 2 cm entre vasos.

### **3.1.4. *Sistema eléctrico***

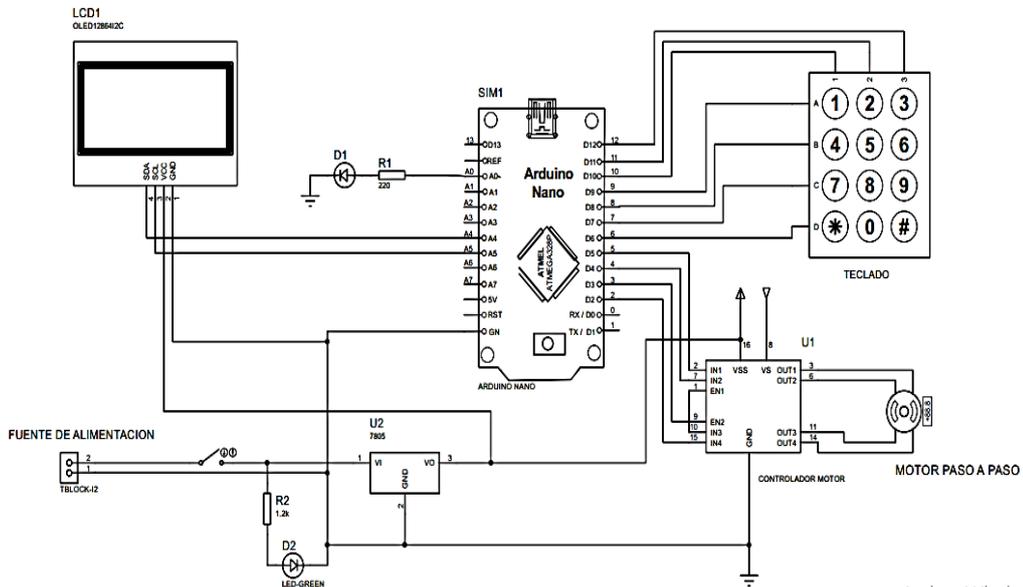
Torres (2017, pp.40-43) plantea que los dispositivos electrónicos deben interaccionar entre subsistemas por esta razón se utilizó un microprocesador de arduino nano que se caracteriza por trabajar en espacios pequeños además de su eficiencia al seguir instrucciones para el funcionamiento del equipo. Este microprocesador se complementó con un módulo de Shield Extinción Adaptador arduino nano con borneras para aumentar la seguridad del sistema ya que mejoró las conexiones del arduino nano con los actuadores y sensores (Malo, 2011: pp.12-40).

También se adquirió un teclado matricial para el ingreso de las revoluciones por minuto mismo que se conectó al microprocesador y se pudo visualizar en la pantalla oled. En cambio, para la alimentación eléctrica del equipo se empleó una fuente de poder de 12v a 10 A, la cual se encarga de transformar la corriente alterna a corriente directa considerando el voltaje y corriente más adecuada para el desarrollo de los dispositivos electrónicos.

En cuanto al control del sentido de giro y velocidad del motor paso a paso se empleó el controlador Driver Nema 23 Tb6600, debido a que el Arduino no subministra la corriente necesaria al motor, razón por la cual, fue necesario el uso del controlador.

Por otra parte, en la base del equipo de prueba de jarras se adaptó un sistema de iluminación, el cual cuenta con cuatro focos de Luz LED Blanca (ojos de buey) considerados como adecuados ya que tienen características como facilidad de instalación, tamaños reducidos, bajo peso y como fundamental es una fuente de calor muy baja (Light-tec, 2021, p. 2), característica importante en la fase de floculación.

Por último, en la ilustración 3-3 se muestra el diagrama del sistema eléctrico que se aplicó en las conexiones del equipo de prueba de jarras.



**Ilustración 3-3:** Diagrama del sistema eléctrico de un equipo de prueba de jarras.

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

### 3.1.5. Sistema mecánico

Según lo menciona (Ramírez, 1990: p. 11) el motor paso a paso es el mecanismo más adecuado para el uso en técnicas de control automático digital, por ello entre los dispositivos mecánicos necesarios para el funcionamiento del equipo de prueba de jarras encontramos el motor paso a paso que cumplió con la fusión alineación y velocidad exactas de los rodets. Además, se elaboraron piezas entre las cuales se encuentran poleas dentadas de tracción y bocines de acero inoxidable, estas piezas fueron adaptadas a rodamientos y a la estructura metálica del equipo.

### 3.2. Construcción del equipo de prueba de jarras

Para la construcción del equipo se siguió la metodología Arias (2007, pp. 106-114) donde detalla el proceso de construcción del equipo en distintas etapas, después del diseño se seleccionó los materiales para la construcción, asimismo se resaltó dos puntos importantes para su construcción como son:

- Personal técnico. - Se recurre a personal con experiencia y conocimientos en fabricación de piezas metálicas, sistemas eléctricos, el uso correcto de herramientas para evitar accidentes.

- Herramientas, equipos e insumos. - Son los equipos, herramientas e insumos que se utilizaron para ensamblar todos los componentes del equipo.

### 3.2.1. Etapa 1

Consistió en la elaboración de la estructura sólida del equipo, la cual está conformada por láminas de acero inoxidable en donde se realizaron los cortes de cada uno de los trazos respectivos a cada una de las partes del equipo, mismos que fueron doblados acorde al tamaño y forma especificados en el diseño realizado en AutoCAD.

En la tabla 3-3 se detalla los pasos y herramientas/equipos/ insumos utilizados en esta etapa.

**Tabla 3-3:** Construcción de la estructura sólida

N°	Pasos	Herramienta/Equipo/Insumos
1	Señalar en la lámina de acero inoxidable las medidas de la estructura	Tiza industrial
2	Cortar a medida las láminas	Amoladora
3	Pulir los bordes	Pulidora
4	Realizar un doblado de 1 cm a los lados para fijar a otras láminas	Dobladora
5	Puntear los dos soportes en la base del equipo	Soldadora
6	Rayar la tapa inferior, superior y de un soporte en su parte interna para taladrar agujero	Tiza industrial
7	Taladrar los agujeros seleccionados para desmontar el equipo para mantenimiento del equipo	Taladro
8	Unir las láminas cortadas	Soldadora y Taladro
9	Pintar	Compresor

**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

La ilustración 3-4 representa el ensamble de la estructura de acero para la funcionalidad del equipo de prueba de jarras.



**Ilustración 3-4:** Estructura sólida de acero inoxidable para el equipo de prueba de jarras.

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

### 3.2.2. Etapa 2

En esta etapa se desarrolló el sistema de agitación del equipo con la ayuda de los cálculos realizados con anterioridad, con material de acero inoxidable porque va a tener contacto directo agua. En la tabla 3-4 se detalla los pasos y herramientas/ equipos/ insumos utilizados en esta etapa.

**Tabla 3-4:** Construcción de los agitadores

N°	Pasos	Herramienta/Equipo/Insumos
1	Cortar los ejes de acero inoxidable	Amoladora
2	Pulir los bordes	Pulidora
3	Realizar una abertura vertical de 2 cm en el centro del eje	Sierra de hierro
4	Rayar la parte inferior del eje para taladrar agujero	Marcador
5	Taladrar los agujeros seleccionados para tornillos de acero	Taladro
6	Cortar 4 platinas según las medidas diseñadas	Amoladora

7	Rayar la parte superior de las platinas para taladrar agujero	Taladro
8	Unir el eje y la platina cortadas	Destornillador estrella

**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

A su vez, se ensambló el sistema mecánico, en donde cada una de las piezas elaboradas se las ubicó junto con los rodamientos en los orificios destinados para las paletas en la estructura sólida, las piezas en conjunto formaron un sistema de poleas que se alineó al motor paso a paso y se ajustaron a las paletas por medio de la correa de banda dentada, cumpliendo de esta manera la función de enviar fuerza al sistema de transmisión que movió las 4 aspas del equipo a la misma velocidad y tiempo. En la tabla 3-5 se detalla los pasos y herramientas/equipos/insumos utilizados en esta etapa.

**Tabla 3-5:** Construcción del sistema mecánico

N°	Pasos	Herramienta/Equipo/Insumos
1	Elaboración de poleas	Torno y fresadora
2	Adquisición de rodamientos	Distribuidor comercial
3	Adaptación de madera con orificios para rodamientos	Sierra y taladro
4	Adquisición de correas de bandas dentadas	Electrostore
5	Medición de correa dentada	Marcador
6	Elaboración de un bocín	Torno
7	Alineación y fijación del mecanismo con pernos de acero inoxidable	Flexómetro y llave número 10

**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022



**Ilustración 3-5:** Sistema mecánico del equipo de prueba de jarras.

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

### 3.2.3. Etapa 3

Aquí se elaboró el sistema eléctrico con la asesoría técnica especializada para la correcta conexión de cada componente electrónico, luego se procedió a implantarlo en la estructura sólida para su posterior programación con el fin de cumplir con los tiempos y velocidades especificadas anteriormente.

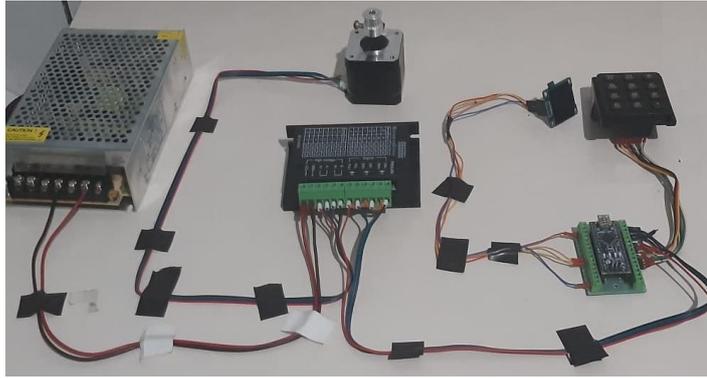
En la tabla 3-6 se detalla los pasos y herramientas/equipos utilizados en esta etapa.

**Tabla 3-6:** Construcción del sistema eléctrico

N°	Pasos
1	Se realizó las conexiones del cableado del motor paso a paso, controlador del motor a la extensión del adaptador arduino nano con borneras, este último se conectó a otra placa de Arduino nano con entrada para cable USB que permitió programar los tiempos y velocidades del equipo.
2	Se instaló la pantalla oled y el teclado matricial mismo que fue conectado a la placa arduino nano
4	Las luces de la base del equipo se conectaron a la placa arduino nano, además se agregó un interruptor para su encendido
5	Se añadió un interruptor de encendido y apagado del equipo
6	Se probó el equipo a una velocidad alta y baja para comprobar el funcionamiento del equipo.

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022



**Ilustración 3-6:** Sistema eléctrico del equipo de prueba de jarras.

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

### 3.2.4. Análisis de costos de construcción

Se realiza un análisis de costo de materiales, fabricación y montaje del equipo de prueba de jarras diseñado.

**Tabla 3-7:** Costos de materiales

N°	Material	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Shield Extensión Adaptador Arduino Nano con Borneras	1	\$ 4,00	\$ 4,00
2	Arduino Nano V3.0 ATMEGA 328 FTDI + Cable USB	1	\$ 14,00	\$ 14,00
3	Controlador para motor paso a paso TB6600 5 <sup>a</sup>	1	\$ 23,00	\$ 23,00
4	Motor a pasos PAP 200 pasos 5V 0,82A 2,4KG.CM NEMA 17 42HB34F	1	\$ 18,00	\$ 18,00
5	Pernos de ¼ por 1 pulg.	4	\$ 0,30	\$ 1,20
6	Metro de correa banda dentada GT2 6mm	3	\$ 3,50	\$ 10,50
7	Teclado Matricial 4*3 (negro)	1	\$ 5,00	\$ 5,00
8	Pantalla Lcd Oled 12c de 128*64 y 1.3	1	\$ 8,00	\$ 8,00
9	Fuente de poder 220/110V a 12V 10 <sup>a</sup>	1	\$ 18,00	\$ 18,00

10	Cinta Termoretractil Termoencogible 3mm	1	\$ 0,75	\$ 0,75
11	Interruptor Switch 2 Pin 20mmx15mm	2	\$ 0,60	\$ 1,20
12	Luz LED Blanca (Ojos de Buey)	4	\$ 4,50	\$ 18,00
13	Tornillo de acero inoxidable	14	\$ 0,75	\$ 10,50
14	Tuerca 2 mm de acero Inoxidable	14	\$ 0,18	\$ 2,52
15	Rodamiento	4	\$ 5,00	\$ 20,00
16	Broca P/ metal cobalto	1	\$ 4,00	\$ 4,00
17	Pega tanque transparente	1	\$ 6,00	\$ 6,00
18	Pernos hexagonales R.G. acero inoxidable	4	\$ 0,25	\$ 1,00
19	Tuerca 6 mm inoxidable	4	\$ 0,15	\$ 0,60
20	Tuerca mariposa	4	\$ 0,25	\$ 1,00
21	Rodela plana inoxidable	4	\$ 0,15	\$ 0,60
22	Rodela de presión	4	\$ 0,15	\$ 0,60
23	Disco de corte	3	\$ 1,50	\$ 4,50
24	Pernos de ¼ por 1 pulg	4	\$ 0,50	\$ 2,00
25	Pintura blanca esmalte 1L	1	\$ 4,00	\$ 4,00
26	Coagulante orgánico	1	\$ 10,00	\$ 10,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 188,97</b>

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

**Tabla 3-8:** Costos de fabricación

N°	Operación	Subtotal
1	Corte en planchas	30
2	Torno	170
3	Soldadura	20
4	Esmerilado	10
5	Pintura	10
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 240,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

**Tabla 3-9:** Costos de montaje

N°	Personal	Cantidad	Costo
----	----------	----------	-------

			<b>Total</b>
1	Eléctrico	1	400
2	Mecánico	1	150
3	Herrero	1	160
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 710,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

**Tabla 3-10:** Costos emergentes

<b>N°</b>	<b>Personal</b>	<b>Costo Total</b>
1	Transporte	40
2	Insumos varios (pintura, soldadura, etc.)	80
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 120,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

**Tabla 3-11:** Resumen de costos

<b>N°</b>	<b>Personal</b>	<b>Valor</b>
1	Costos directos de materiales	\$ 188,97
2	Costos de fabricación	\$ 240,00
3	Costos de montaje	\$ 710,00
4	Costos emergentes	\$ 120,00
4	Costos de Diseño	\$ 200,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 1458,97</b>

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

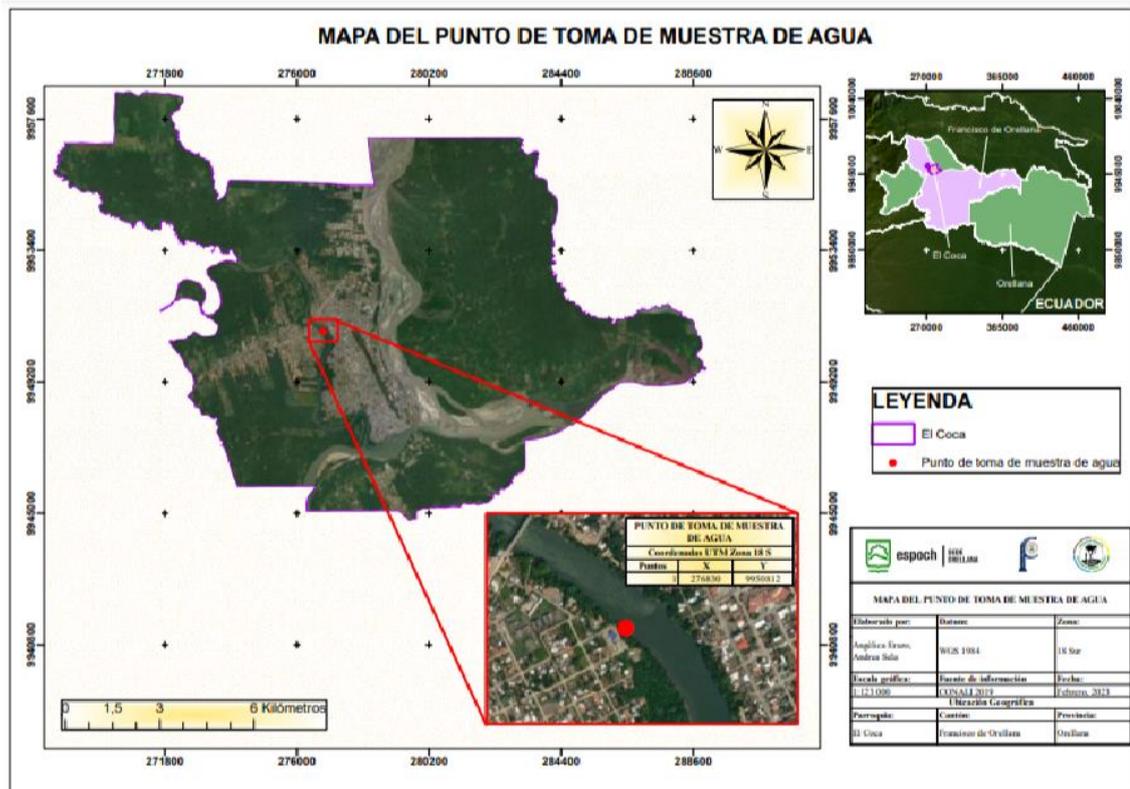
### 3.3. Pruebas preliminares del equipo

#### 3.3.1. Agua de captación (cruda)

Se recolectó muestras de agua del río Payamino que es la fuente de captación para la planta potabilizadora de agua ubicada en el sector “Nuevo Coca”, la misma que abastece de suministro de agua potable a ciertos barrios de la ciudad de Francisco de Orellana (Coca).

### 3.3.2. Selección del punto para el muestreo puntual

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176 CALIDAD DEL AGUA, MUESTREO Y TÉCNICAS DE MUESTREO (2013, pp.4-10) recomienda un muestreo puntual para estimar si la calidad de agua cumple o no con los límites de calidad para agua de consumo humano, por esta razón el punto exacto de muestreo fue la captación de agua de la planta potabilizadora de agua del sector “Nuevo Coca” con coordenadas del punto x 276830; y 9950812, tal como se observa en la ilustración 3-7.



**Ilustración 3-7:** Mapa del punto de toma de muestra de agua

**Realizado por:** Eraso, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

### 3.3.3. Parámetros fisicoquímicos de la calidad de agua

Para la medición de parámetros físico – químicos del agua, basamos la toma de muestras en la NTE INEN 2176 (2013, pp.4-10), por medio de la cual se realizó la toma de muestras representativas de agua del río Payamino, para esto se siguió un protocolo de toma, etiquetado, empaque y transporte de muestras, asegurando que no sufran alteraciones en los parámetros.

Pasos para la toma de muestras

1. Se recogieron 1000 ml de agua, sumergiendo el recipiente esterilizado en sentido contrario de la corriente.
2. Se tomó el punto de ubicación con el GPS.
3. Se procedió al registro fotográfico respectivo.
4. Se etiquetó las muestras con la información básica de la persona que la tomó, hora, fecha y coordenadas.
5. Para mantener el buen estado de las muestras, se tapó y colocó los frascos en un cooler para su posterior transporte al laboratorio.
6. Se verificó que las tapas de los recipientes se encuentren bien aseguradas para evitar posibles derrames al momento de transportar las muestras.
7. Se llenó el formato de acta de custodia de muestras.

#### ***3.3.4. Método experimental***

Posterior a la toma de muestras en el punto de captación de la Planta de Agua Potable del sector Nuevo Coca, se trasladó las muestras al laboratorio de la ESPOCH campus norte y los análisis se realizaron en menos de 24 horas, donde se determinó los valores iniciales de pH, turbiedad, TDS y conductividad tanto antes como después del tratamiento con el coagulante orgánico. Para el análisis de cada parámetro se realizó lo siguiente:

##### ***3.3.4.1. Medición pH***

El pH se determinó por medio del pHmetro siguiendo los siguientes pasos:

1. Se retiro el bulbo la solución de almacenamiento.
2. Se procedió a limpiar el electrodo con agua destilada.
3. Se verificó que el pHmetro se encuentre calibrado usando soluciones buffer de pH neutro (7) y un pH menor (4).
4. Introducimos el bulbo en la muestra de agua y procedemos a registrar la lectura del pHmetro.

##### ***3.3.4.2. Medición de la conductividad***

La conductividad se determinó con el conductímetro siguiendo los siguientes pasos:

- Se calibró el equipo pasando el electrodo por una solución buffer.
- Limpiamos el electrodo con agua destilada.
- Introducimos el electrodo en la muestra y registramos la lectura.

#### *3.3.4.3. Medición de los TDS*

El conductímetro también permitió medir la concentración total de sólidos disueltos mediante los siguientes pasos:

- Partiendo de la medición anterior, limpiamos el electrodo con agua destilada.
- Se programa el equipo para medir los TDS.
- Introducimos el electrodo en la muestra y registramos la lectura.

#### *3.3.4.4. Medición de la turbiedad por medio del turbidímetro*

El turbidímetro mide las partículas suspendidas en un líquido, conocida como turbiedad que se midió con los siguiendo los siguientes pasos:

- Se procedió a calibrar el equipo, con los estándares que se eligió dependiendo de la turbidez de la muestra.
- Limpiamos la celda con agua destilada.
- Se acondicionó la celda con agua obtenida de la misma muestra en tres ocasiones.
- Se llenó la celda con la muestra.
- Limpiamos el exterior de la celda con una toalla limpia.
- Se colocó la celda dentro del equipo y se tomó la lectura.

#### *3.3.4.5. Prueba de jarras*

Se realizó pruebas de jarras para comprobar la funcionalidad del equipo en el laboratorio del campus norte de la ESPOCH sede Orellana. Después de haber realizado los análisis iniciales de las muestras de agua del río Payamino se preparó la solución del coagulante inorgánico utilizado en la Planta Potabilizadora de Agua de Francisco de Orellana empleando la metodología de Pérez (2017; pp. 10-16), donde se pesó 1g de policloruro de aluminio (polvo) en la balanza analítica, luego se mezcló con 100 ml de agua destilada en un vaso precipitado de 250 ml con la finalidad de agitarlo por 1 minuto de forma manual con una varilla de vidrio para la homogenización de la solución.

El equipo de prueba de jarras construido posee espacio para cuatro vasos precipitados de 2 L cada uno que trabaja a una velocidad rápida de 270 rpm durante 1 minuto y una velocidad lenta de 25

rpm durante 15 minutos, además el equipo se puede programar a diferentes velocidades en la fase rápida y lenta según los tiempos que considere el investigador.

Para los ensayos se añadió 1,99 L de agua cruda del Rio Payamino en cada vaso de precipitación que luego se ubicaron debajo de cada agitador plano para así encender el equipo por 1 minuto a 200 rpm, rápidamente se adiciona las diferentes dosis de la solución de coagulante al 1% previamente preparado, usando 5, 10, 15 y 20 ml para conseguir el rompimiento de enlaces entre partículas coloidales formando los flóculos. Después de la mezcla rápida se programa una agitación lenta de 15 minutos a 25 rpm y por último se dejó reposar la mezcla durante 30 minutos para luego realizar nuevos análisis del agua tratada en el equipo.

## CAPITULO IV

### 4. Análisis e interpretación de los resultados

#### 4.1. Parámetros físicos del equipo

Como se observa en la tabla 4-1 los valores obtenidos para la construcción del sistema de agitación empleando estandarizaciones geométricas no son los más adecuados debido a que son medidas que no asegurarían el cumplimiento de la función designada. Por esta razón, se ha optado por la aplicación de fórmulas que dan como resultados valores aptos para el sistema a emplear en el equipo.

**Tabla 4-1:** Parámetros de diseño del sistema de agitación

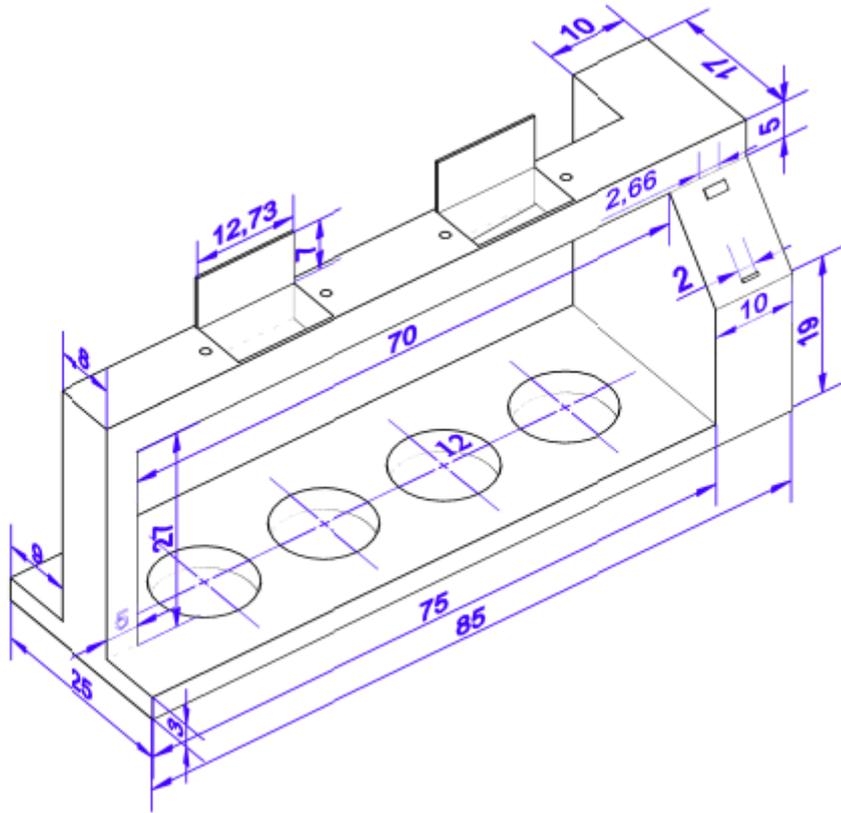
Datos	Estandarizaciones geométricas	Fórmulas
Diámetro de la paleta	5,36 cm	9 cm
Ancho de la paleta	0,86 cm	3 cm
Distancia del fondo del tanque hasta la base del agitador	4,29 cm	4,33 cm
Longitud del brazo del agitador	14,21 cm	14,17 cm
Altura del líquido	13 cm	15,07 cm

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

En base a las dimensiones obtenidas por resolución de fórmulas se calculó una potencia de 0,002 hp para cada uno de los 4 agitadores del sistema, dado el caso, se seleccionó un motor paso a paso que abastece las revoluciones programadas en el equipo desde la más rápida a la más lenta.

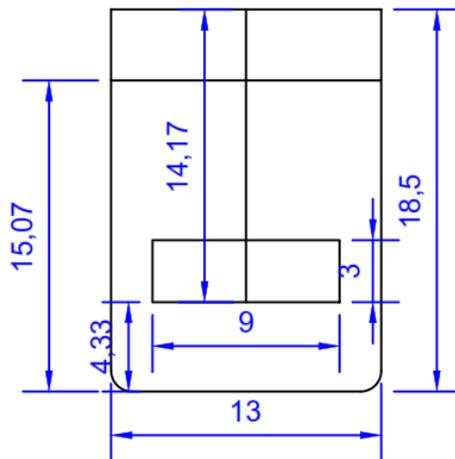
#### 4.1.1. Dimensiones del equipo de prueba de jarras

Previamente realizados los cálculos del sistema de agitación y revisada información bibliográfica sobre equipos comerciales de pruebas de jarras se procede al diseño de la estructura de soporte del equipo de prueba de jarras y los agitadores, tal como se observa en la ilustración 4-1 y 4-2.



**Ilustración 4-1:** Estructura sólida del equipo de prueba de jarras.

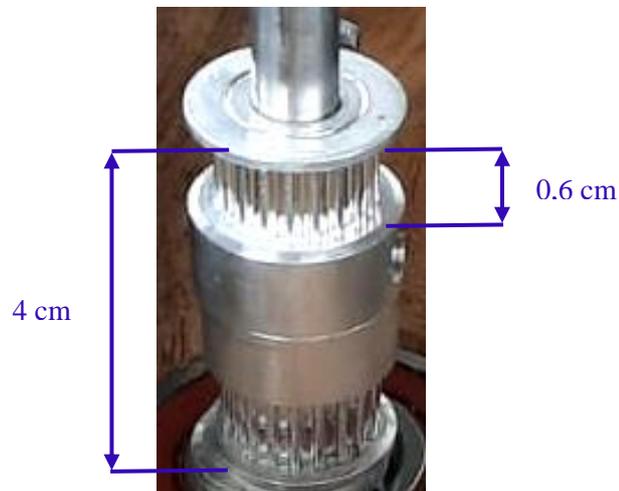
Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.



**Ilustración 4-2.** Diseño del sistema de agitación de paleta plana

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

De igual manera, se realizó el diseño y elaboración de un bocín de polea doble dentada para el sistema mecánico en el cual se acopla las bandas dentadas de 6mm que permite la movilidad de los agitadores, representado en la ilustración 4-3 y 4-4.



**Ilustración 4-3.** Diseño de polea doble dentada

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.



**Ilustración 4-4.** Diseño del sistema de agitación de paleta plana

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

## 4.2. Construcción del equipo

El equipo construido posee materiales de gran resistencia como el acero inoxidable para la estructura sólida, en la tapa superior se adaptaron 4 acoples elaborados en aluminio que posee en el centro un orificio de 6 mm de diámetro en los cuales se encaja el eje del agitador, otorgándole estabilidad al momento de la rotación de los mismos. Asimismo, el sistema de agitación fue construido con un diseño sencillo, de bajo costo en mantenimiento para la vida útil del equipo

De igual importancia, en el sistema eléctrico del equipo se ensamblaron sofisticados dispositivos electrónicos como la placa Arduino Nano que fue programada con lenguaje de programación, el mismo que permite al usuario ingresar los datos al microprocesador y observarlos en la pantalla. Además, la pantalla utilizada fue de tipo Organic Light-Emitting Diode OLED que posee materiales orgánicos que permiten la emisión de luz y colores más vivos al ser conectados a una fuente eléctrica. En cuanto al teclado matricial 4\*4 utilizado se caracteriza por ser resistente al agua y polvo.

Por lo mencionado, se acondicionó parte de la estructura metálica de forma desmontable para facilitar el mantenimiento interno del equipo garantizando su durabilidad. En la ilustración 4-5 se observa el equipo completamente ensamblado para posteriores pruebas.



**Ilustración 4-5.** Equipo de prueba de jarras  
Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022.

### 4.3. Pruebas preliminares

#### 4.3.1. Condiciones iniciales del agua del río Payamino

Concluida la construcción del equipo con las dimensiones previamente calculadas, se procedió a realizar la tratabilidad de muestras de agua del río Payamino, las cuales sirvieron para demostrar la funcionalidad del equipo.

A continuación, en la tabla 4-2 se presenta los datos obtenidos del análisis de laboratorio de la muestra de agua del punto de captación del río Payamino.

**Tabla 4-2:** Condiciones iniciales del agua del río Payamino

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidades de pH	6.97
Turbidez	NTU	30.9

<b>Sólidos disueltos totales (TDS)</b>	mg/L	33.6
<b>Conductividad</b>	μS	53.3

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

#### 4.3.2. Condiciones del agua del río Payamino postratamiento

Se somete las muestras de agua cruda a un tratamiento con policloruro de aluminio a diferentes concentraciones en disolución, en donde se obtuvieron los resultados detallados en la tabla 4-4.

**Tabla 4-4: Condiciones del agua del río Payamino postratamiento**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR POR CONCENTRACIÓN			
		5ml	10ml	15ml	20ml
<b>Dosis de solución del coagulante</b>					
<b>Potencial de hidrógeno (pH)</b>	Unidades de pH	6.25	6.16	5.8	5.52
<b>Turbidez</b>	NTU	0.69	21.8	22.1	20.7
<b>Sólidos disueltos totales (TDS)</b>	mg/L	35.8	42.6	50.8	62.9
<b>Conductividad</b>	μS	56.9	68	80.3	99.5

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

Los análisis realizados después del tratamiento en el equipo de prueba de jarras demostraron que la dosis óptima de coagulante de policloruro de aluminio es de 5 ml al 1%, con esta concentración se valoró el parámetro indicador de control que es la turbidez evidenciando la disminución de forma significativa desde 30,9 a 0,69 NTU siendo un valor considerado como aceptable en aguas de consumo humano según la norma INEN 1108. Por otra parte, se resalta que el análisis de la DQO y DBO<sub>5</sub> son parámetros de la calidad de agua enfatizados en muchos estudios sin embargo en el proyecto técnico solo se consideró la turbidez como para parámetro de control con el cual se verificó la funcionalidad del equipo

Para finalizar, se realizó un Instructivo Técnico de uso del Equipo de Prueba de Jarra para el laboratorio de la Epoch sede Orellana en el cual se detalla el procedimiento de inspección para los sistemas del equipo, su limpieza adecuada, la frecuencia con la que se deben cambiar piezas y accesorios en caso de ser necesario para el correcto funcionamiento del equipo.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

El diseño planteado tuvo fundamento en artículos científicos, proyectos previamente realizados sobre el sistema de agitación, donde las medidas del brazo agitador se calcularon por dos metodologías. El dimensionamiento por estandarizaciones geométricas nos proporcionó valores bajos para la longitud y ancho de la paleta por esta razón para su diseño se consideró la aplicación de fórmulas obteniendo una longitud de 9 cm y 3 cm de ancho considerándose a este un tamaño adecuado para la homogenización de los fluidos.

Se construyó un equipo de prueba de jarras para tratar 1,9 L de agua cruda por cada vaso precipitado BOECO que contine en equipo, haciendo posible la tratabilidad de una muestra representativa de agua. Además, se utilizó el acero inoxidable por su resistencia a la corrosión para la estructura de soporte mismo que fue ensamblado con suelda de acero. De igual manera, se realizó un instructivo técnico de uso del equipo de prueba de jarras para la operación óptima del equipo, mantenimiento previo y se añadió un ejemplo práctico de cómo realizar análisis en el equipo.

A partir de los resultados de los análisis de prueba realizados se comprueba que la turbidez ha disminuido considerablemente a 0.69 NTU, encontrándose dentro de lo establecido en la norma INEC 1108 siendo apto para continuar con los siguientes procesos de potabilización de agua. Con esta prueba se comprobó y se garantiza que el grado de agitación rápida es adecuada para la desestabilización de las partículas coloidales continuo a la agitación lenta que permitió la formación de flocs. Este tipo de análisis depende del coagulante y tiempos establecidos para cada prueba en base a la investigación a realizar y el criterio del investigador.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda tomar como punto de partida el diseño del sistema mecánico para disminuir errores, ya que este sistema se rediseñó varias veces hasta alcanzar los objetivos propuestos para su funcionalidad.

Realizar una inspección visual del equipo y su respectivo mantenimiento según sea necesario. Asimismo, se debe verificar las condiciones de los dispositivos electrónicos expuestos al contacto como son la base iluminada, la pantalla OLED y el teclado para su durabilidad en el equipo.

Incentivar al desarrollo de proyectos futuros en el equipo como el acoplamiento de un sistema automático para los agitadores, programación de velocidades más altas y un sistema de dosificación para el equipo que mejoraría la obtención de resultados en los ensayos realizados.

Es recomendable utilizar algunas modificaciones de la Norma Técnica Colombiana 3903, pero se ha conservado disposiciones de normas anteriores a la misma para optimizar los procesos de coagulación / floculación a nivel de laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACUÑA TORRES, Reinhardt.** *Principios Básicos del Diseño de Biorreactores* [blog]. Estados Unidos de América: Biotecnología Práctica – Biotecnología Práctica y Aplicada, 2010. [Consulta: 30 octubre 2022]. Disponible en: <https://bioreactorcrc.wordpress.com/>

**AQUAE FUNDACIÓN.** *Los 8 principales contaminantes del agua* [blog]. España: La fundación del Agua, 2021. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/los-residuos-que-mas-contaminan-el-agua/>

**ARDUINO NANO.** *Todo lo que necesitas saber sobre esta placa de desarrollo* [blog]. España: Hardware libre, 2021. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.hwlibre.com/arduino-nano/?utm\\_source=dlvr.it&utm\\_medium=twitter](https://www.hwlibre.com/arduino-nano/?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter)

**ARIAS ESPÍN, Willian Danilo.** Diseño y construcción de un equipo para colado en molde permanente [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. (Quito-Ecuador). 2007. pp. 106-114. [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/599>

**AUTODESK.** *Software AutoCAD* [blog]. México: Autodesk, 2021. [Consulta: 30 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.autodesk.mx/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

**BARREIRO VINCES, Jesús David.** Caracterización Físicoquímica del Agua de la Planta Potabilizadora Guarumo, Cantón Santa Ana Provincia de Manabí [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura. (Manabí-Ecuador). 2019. p. 27. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2203>

**CAMPOS, José.** *TB6600 Controlador de Motor Paso A Paso* [blog]. España: SCRIBD, 2020. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/578331621/TB6600-controlador-de-motor-paso-a-paso>

**CANO MARÍN, Carlos Andrés.** Evaluación de un Tratamiento de Floculación-Flotación ara el Agua Residual Generada en el Procesamiento de Subproductos Avícolas [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Libre, Facultad de Ingeniería. (Bogotá-Colombia). 2015. pp. 18-23. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7965?show=full>

**CASTILLO URIBE, Vladimir.** Diseño y Cálculo de un agitador de Fluido [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de la Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica. (Concepción-Chile). 2013. pp. 14-38. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo\\_Uribe\\_Vladimir.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf)

**CHARAPAQUI ANCCASI, Juan.** Dosificación de Coagulantes y Floculantes para la Remoción de Sedimentos del agua en el Embalse Cuchoquesera, Ayacucho [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional Agraria “La Molina”, Escuela de Postgrado en Ingeniería de Recursos de Agua y Tierra. (Lima-Perú). 2029. p. 11. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4158>

**CHELE BALDANO, Yajaira Maribel.** Determinación de la dosis del coagulante sulfato de aluminio tipo A para el tratamiento de agua potable y alcantarillado del cantón Sucúa [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ciencias Químicas. (Macas-Ecuador). 2019. pp. 13-20. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/13199>

**CHOQUE QUISPE, Yudith.** Extracción de Coagulantes de Cactáceas por Liofilización para el Tratamiento de Agua de Consumo Humano [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Andina del Cusco. (Cusco-Perú). 2021. pp.19-20. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4525>

**CHULLUNCUY CAMACHO, Nadia Cristina.** “Tratamiento de agua para consumo humano”. *Ingeniería Industrial* [en línea], 2011, (Perú) (29), pp. 153-170. [Consulta: 24 octubre 2022]. ISSN 1025-9929. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495008>

**CONDE MACÍAS, Tatiana Carolina; & DOMÍNGUEZ REYES, Juan Andrés.** Evaluación de la eficiencia coagulante-floculante de la cáscara de cacao (CCN-51) y yuca (*Manihot esculenta*) en agua superficial: Río Tenguel [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. (Guayaquil-Ecuador). 2021. pp. 53-58. [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/57968>

**CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.** [en línea]. 2008. Disponible en: <https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2021/02/Constitucionultimodif25enero2021.pdf>

**DOMÍNGUEZ AMOROCHO, María Fernanda.** Optimización de la Coagulación-Floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la Sede Recreacional Campoalegre-Cajasan [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Pontificia Bolivariana,

Facultad de Ingeniería Ambiental, Escuela de Ingenieras y Administración. (Bucaramanga-Colombia) 2010. pp. 16-24. [Consulta: 26 octubre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/848>

**DULHOSTE, Jean.** Propiedades de los fluidos. Mecánica de fluidos [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería. (Cuyo-Argentina) 2012. p. 2. [Consulta: 30 octubre 2022]. Disponible en: <https://ingenieria.uncuyo.edu.ar/catedras/tablas-mdf2012.pdf>

**ESNECA BUSINESS SCHOOL.** *¿Qué es AutoCAD y para qué sirve?* [blog]. España: Esneca Business School, 2019. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.esneca.com/blog/que-es-autocad/>

**FALCONÍ CALDERÓN, Andrés Eloy; & VINCES MIELES, Jacinto Fernando.** Polielectrolito catiónico de Moringa (*Moringa oleifera*) en la remoción de sólidos suspendidos totales en aguas residuales de la ESPAM-MFL [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. (Calceta-Colombia). 2019. p. 12. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/986>

**FÚQUENE, Diana Marcela; & YATE, Andrea Viviana.** “Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales”. *Revista ECAPMA Working Paper* [en línea], 2018, (Colombia) 2(1), p. 1. [Consulta: 22 octubre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2771>

**GAMMALAB.** *Fichas Técnicas* [blog]. México:Gammalab, 2019 [Consulta: 14 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.gammalabcolombia.com/hojas-de-datos>

**GARCÍA GONZÁLEZ, J.; OSORIO ORTEGA, M. A.; SAQUICELA ROJAS, R. A.; & CADME, M. L.** “Water quality index determination in rivers of Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador”. *Revista Ingeniería del Agua* [en línea], 2021, (Ecuador) 25(2), p. 116. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 1134-2196. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>

**GARCÍA, Marilín; CRUZ, Yunaisys; GANDÓN, José; & GONZÁLEZ Guido.** “Diseño de un reactor enchaquetado con agitación mecánica para el tratamiento de aceite vegetal usado”. *Scielo* [en línea], 2020, 40 (3), p.662. [Consulta: 30 octubre 2022]. ISSN 2224-6185. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852020000300658&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852020000300658&script=sci_arttext&tlng=pt)

**GIRALDO ISAZA, Fabio.** “El agua y el desarrollo humano”. *Derecho y Realidad* [en línea], 2013, 2(21), pp. 356-372. [Consulta: 22 octubre 2022]. ISSN 1692-3936. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/16923936.v2.n21.2013.4851>

**GONZÁLEZ OSORIO, Anyela Yaneth.** *Pruebas de tratabilidad* [blog]. Colombia: Laboratorio e Ingenierías de Colombia S.A.S. 2021. pp. 2-9. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/525704355/Pruebas-de-Tatrabilidad>

**HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto.** *Metodología de la investigación sexta edición.* 6ª ed. México D.F-México. Mc Graw Hill / Interamericana Editores, 2014, p.92.

**HUERTA CALLEJA, Kassandra.** *Importancia de los floculantes en procesos industriales* [blog]. México: Contyquim, 2022. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://contyquim.com/blog/importancia-de-los-floculantes-en-procesos-industriales>

**HUIXTLACA QUINTANA, René.** Correlación de parámetros químicos en plantas de tratamiento de agua operando con clorhidróxido de aluminio [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería. (Puebla-México). 2014. p. 30. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/5267>

**IBÁÑEZ GÓMEZ, Natalia; & NOGUERA HERRERA, Luis Felipe.** Aplicación del proceso de coagulación mejorada para la remoción de atrazina utilizando como coagulante hidroxiclورو de aluminio [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente. (Santiago de Cali-Colombia). 2019. pp. 20-40. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/17810>

**IGLESIAS ORDÓÑEZ, María Lorena.** Optimización de los procesos de coagulación – floculación en la planta de potabilización perteneciente al cantón Cañar [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas. (Cuenca-Ecuador). 2018. p. 69. [Consulta: 22 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30444>

**INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** [en línea]. 2010. Disponible en: <https://es.slideshare.net/oscardaza10/ntc3903-test-de-jarraspdf>

**Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS) y UNESCO Office Montevideo and Regional Bureau for Science in Latin America and the Caribbean.** “Urban Water

Challenges in the Americas. A perspective from the Academies of Sciences”. *Academia Mexicana de Ciencias* [en línea], 2015, (México), p. 25. [Consulta: 12 noviembre 2022]. ISBN 978 607 8379 12 5. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245202>

**IZQUIERDO FLORES, Abdón Mauricio.** Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de agua de la Central Termoeléctrica “El Descanso” [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad de Cuenca. (Cuenca-Ecuador). 2015. p. 17. [Consulta: 22 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23008>

**JIMÉNEZ ANDRANGO, Tatiana Carolina; & MEDINA DE LA TORRE, Jéssica Tatiana.** Influencia de la dilución del sulfato de aluminio en la eficiencia de la coagulación en la potabilización del agua [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. (Quito-Ecuador). 2017. pp.7-45. [Consulta: 22 octubre 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18678>

**KINGSLEY, Iwuozor.** “Prospects and Challenges of Using Coagulation-Flocculation method in the treatment of Effluents”. *Advanced Journal of Chemistry-Section A* [en línea], 2019, 2(2), pp. 105-127. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/331167512>

**LAI, Ruey; HUDSON, H. E.; & SINGLE, J. E.** “Velocity Gradient Calibration of Jar-Test Equipment”. *American Water Works Association* [en línea], 1975, 67 (10), pp. 553-557. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/41267756>

**LANDÁZURI ARTEAGA, Roberto.** Optimización del proceso de coagulación y floculación en el sistema de tratamiento de aguas residuales de una planta textil [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería Ambiental. (Quito-Ecuador). 2000. pp. 28-29 [Consulta: 27 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2298>

**LEOGON, José.** *Prueba de Jarras en el tratamiento de aguas* [blog]. España: Steemit, 2018. [Consulta: 22 octubre 2022]. Disponible en: <https://steemit.com/stem-espanol/@joseleogon/prueba-de-jarras-en-el-tratamiento-de-aguas>

**LIGHT-TEC.** *Ojo de Buey Empotrable 6 watts* [blog]. Colombia: Light-tec, 2021. [Consulta: 28 noviembre 2022]. Disponible en: [www.light-tec.com.gt](http://www.light-tec.com.gt)

**LORENZO, Yaniris.** “Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación”. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* [en línea], 2006, (Cuba) 40 (2), pp. 10-17. ISSN: 0138-6204. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>

**LUCAS PUYCAN, Hebert Camilo.** Caracterización de los Contaminantes en el Agua y los Riesgos sobre la Población de la Residencial San Francisco, Distrito de Huanchaco -Trujillo [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. (Lima-Perú). 2022. p. 15. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/101797>

**MALO, Laura.** Control de un motor paso a paso [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Zaragoza, Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial Zaragoza. (Zaragoza-España). 2011. pp. 12-40. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/5655/files/TAZ-PFC-2011-107.pdf>

**MARTÍNEZ ORJUELA, Mónica Rocío; MENDOZA CORONADO, Julián Yamid; MEDRANO SOLÍS, Beatriz Eugenia; GÓMEZ TORRES, Luisa Marina; & ZAFRA MEJÍA, Carlos Alfonso.** “Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal”. *Revista UIS Ingenierías* [en línea], 2020, Colombia (19) 1, pp. 16-17. [Consulta: 23 octubre 2022]. ISSN 2145-8456. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>

**MOLINA, J.; & JÁCOME, A.** *Ensayo de Coagulación / Floculación (Jar-Test)* [blog]. 2016. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/22592297-Ensayo-de-coagulacion-floculacion-jar-test.html>

**MURILLO MONTOYA, Sergio Adrián; GALVIS, Gloria Matilde; & PACHECO GONZÁLES, Sebastián Isaac.** *Manual Técnico para la Elaboración de Coagulantes / Floculantes a partir de Productos Naturales* [en línea]. Caldas, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), 2020, pp. 15-17. ISBN 978-958-15-0561-6. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11404/6813>

**NACIMBA COELLO, Daniel Oswaldo; & ROMÁN SOLÓRZANO, Luis David.** 2020. Implementación de un módulo interactivo para radio frecuencia, IoT, modulación, conexión a ethernet y acceso por control RFID [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos. (Quito-Ecuador). 2020. pp. 9-11.

[Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en:  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21038/1/CD%2010554.pdf>

**NASAMUES MORILLO, Jessica Lizbeth.** Metodologías para Evaluar Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ecuador [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental. (Riobamba-Ecuador). 2021. p. 1. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7659>

**NAVARRO OSPINO, Jorge Iván; CASTRILLON VELASQUEZ, Alberto; & ARDILA MONTOYA, Andrés David.** Optimización de un sistema agitador tipo vertical de paletas planas inclinadas para mezcla de abono orgánico aplicado en el sector agroindustrial [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Institución Universitaria Pascual Bravo, Facultad de Ingeniería Mecánica. (Medellín-Colombia). 2015. pp. 117-119. [Consulta: 30 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.pascualbravo.edu.co/handle/pascualbravo/99>

**NTE INEN 1108 Sexta revisión.** *Agua para consumo Humano- Tabla 1: Requisitos Físicos y Químicos del agua para Consumo Humano.* 2020.

**NTE INEN 2176:2013.** *Calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo.* 2013.

**OCLES MORALES, Jessica Liliana.** Rediseño del Sistema de Tratamiento de aguas Residuales para la recuperación de cromo y oxidación de sulfuros en la curtiembre pieles Puma de la ciudad de Ambato [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. (Riobamba-Ecuador). 2019. pp. 73-78. [Consulta: 30 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/13097>

**OJEDA NOLIVOS, José Fernando; ASQUI AGUAYO, Diego Paúl; & RECALDE CORTEZ, Karen Dayana.** Evaluación del sistema de conducción de agua cruda de la Regional “Santa Gertrudis” y sistema de tratamiento y distribución de agua potable de la Comunidad Chaupiloma [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas. (Quito-Ecuador.) 2022. pp. 52-53. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/25770>

**OSUNA MORENO, Mónica; & VELÁSQUEZ SÁNCHEZ, Javier.** Diseño y construcción de un prototipo de clarificador de manto de lodos [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad Católica de Colombia. (Bogotá-Colombia). 2017. p. 30. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/14481>

**PALLARÉS BOSQUE, Cristina.** Diseño y dimensionamiento de la línea de agua de una PTAR procedente de un matadero porcino [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Jaume I, Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales. (Castellón-España). 2016. pp. 29-50. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10234/165304>

**PARAFIENIUK, Sergio Ariel.** Relevamiento y Control de Calidad de Aguas para Consumo Humano de la Población de la Provincia de Misiones y su Relación con Consultas de Diarrea Aguda [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. (Posadas-Argentina). 2021. p. 9. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12219/3028>

**PÉREZ PARRA, Jorge Arturo.** Manual de tratamiento de aguas [en línea]. (Documento de Trabajo) Universidad Nacional de Colombia. (Medellín-Colombia). 1981. pp.2-29. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2056>

**PÉREZ GONZALEZ, Larissa.** Reporte de Laboratorio, prueba de jarra [en línea]. (Documento de Trabajo) Universidad Nacional de Ingeniería. (Managua-Nicaragua). 2017. pp.10-16. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/lariperez39/report-de-laboratorio-7-prueba-de-jarra>

**PILLAJO CORREA, Roberto Carlos.** Evaluación del Sistema de Floculación de la Planta de Tratamiento “Paluguillo” [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica Salesiana. (Quito-Ecuador). 2022. p.26. [Consulta: 27 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23873>

**POVEDA OCAÑA, Rebeca Abigail.** Obtención de Coagulantes/ Floculantes Orgánicos a partir de Extractos Naturales y Evaluación de su Potencial como Coadyuvante en el Proceso de Tratamiento de Agua [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. (Ambato-Ecuador). 2022. pp. 12-16. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34289>

**PRADANA PÉREZ, Juan Ángel; & GARCÍA, Javier.** *Criterios de calidad y gestión del agua potable* [en línea]. Madrid: UNED-Universidad Nacional de Educación a Distancia. 2019. pp. 14-17. ISBN 9788436274912. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/111749?page=14>

**PRADANA PÉREZ, Juan Ángel; & GARCÍA, Javier.** *Criterios de calidad y gestión del agua potable* [en línea]. Madrid: UNED-Universidad Nacional de Educación a Distancia. 2019. pp.

328-336. ISBN 9788436274912. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/111749?page=328>.

**RAMÍREZ, Luis.** *El motor paso a paso: Descripción, Modelación, Simulación* [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica. (Quito-Ecuador) 1990. p.11. [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11484/1/T395.pdf>

**RECALDE GIL, María Angelica.** Determinación de los parámetros de influencia en el proceso del agua de la quebrada Guamal para su potencial uso industrial por la empresa Americana de Curtidos LTDA y CÍA C.S.A [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, Escuela de Química. (Pereria-Colombia). 2010. p.17. [Consulta: 26 octubre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/2056>

**RICAUARTE FREIRE, Luis Eduardo.** Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. (Guayaquil-Ecuador). 2016. pp. 24-39. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/36620>

**RINCÓN SILVA, Nelson Giovanny.** “Evaluación de parámetros fisico-químicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque”. *Tecnogestión: Una mirada al ambiente* [en línea], 2016, (Colombia) 16, pp. 8-11. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/12123/12695>

**RODRÍGUEZ, Carlos.** Uso y Control del Proceso de Coagulación en Plantas de Tratamiento de Agua Potable. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil. (Sucre-Colombia). 2008. p.61. [Consulta: 30 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/298/628.162R696.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

**ROSABAL CABONELL, Y.; CHANG HUERTA, L.; PÉREZ ABALLE, N.; & MORALES LEÓN, J. A.** “Evaluación de la demanda química de oxígeno en aguas de la provincia de Granma, Cuba”. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* [en línea], 2012, (Cuba) 8(1), p. 16. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/197/133>

**RUIZ ROMÁN, Katherine Lisbeth.** Validación de Métodos de ensayo para determinación de pH, Conductividad, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendedos y Sólidos Disueltos en aguas en el Laboratorio Ambiental Environovalab [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química. (Quito-Ecuador). 2018. pp. 10-11. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15362>

**SALERMO PIÑA, José Manuel.** Diseño del agitador del Tanque de la Instalación semi-industrial de Hidrotransporte del ISMM de Moa [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería. (Holguín-Cuba). 2014. pp. 9-19. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uho.edu.cu/jspui/handle/uho/6452>

**SANTANA CARDONA, Laura María.** Optimización del uso de ayudantes de coagulación para la tratabilidad del agua en el municipio de Apartadó [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental. (Medellín-Colombia). 2022. p. 8. [Consulta: 22 octubre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10495/28721>

**SUÁREZ OQUENDO, Víctor Eduardo; & TRUJILLO VILLA, Diego Fernando.** Diseño y Construcción de un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de Aguas Residuales [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. (Riobamba, Ecuador). 2011. pp. 15-18. [Consulta: 26 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/684>

**TENESACA RIVERA, Oscar Andrés.** Diseño de Planta de Tratamiento Para Agua Cruda Del Rio “Casacay”, en la Ciudadela “La Esperanza”, Parroquia “Casacay” [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura. (Manabí, Ecuador). 2022. pp. 70-73. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3417>

**TOLEDO, Alejandro.** “El agua en México y el mundo”. *Gaceta Ecológica* [en línea], 2002, México (64), p. 11. El paradigma actual del agua: Ecológica y Socialmente Insostenible, p. 11. [Consulta: 22 octubre 2022]. ISSN 1405-2849. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906402>

**TORRES JAYA, Milton Israel,** 2017. Diseño e implementación del sistema eléctrico para un prototipo de vehículo basado en la normativa formula SAE. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica de Salesiana, Facultad de Ingeniería Mecánica. (Cuenca-

Ecuador). 2017. pp. 40-43. [Consulta: 20 noviembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14642>

**TULSMA.** *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente - Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.* 2017.

**VARA, Saritha, SRINIVAS, Namuduri y SRIKANTH, Vuppala.** “Analysis and optimization of coagulation and flocculation process”. *Applied Water Science* [en línea], 2017, 7(1), pp. 451-460. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0262-y>

**VARGAS, Lidia de.** *Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades* [blog]. México: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS, 2004. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: [https://nanopdf.com/download/criterios-para-la-seleccion-de-los-procesos-y-de-los\\_pdf#](https://nanopdf.com/download/criterios-para-la-seleccion-de-los-procesos-y-de-los_pdf#)

**VÁSQUEZ FARFÁN, Miguel Ángel.** Mejoramiento y ampliación del sistema de abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en la Microcuenca de Qochacmayo, Distrito Quiquijana, Provincia Quispicanchi [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil. (Lima-Perú). 2021. pp. 7-8. [Consulta: 23 octubre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/76119>



Cristian Tenelando.S  
28-06-2023.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A. CORTE DE LÁMINAS DE ACERO INOXIDABLE**



### **ANEXOS B. MEDICIÓN DE BASE PARA RODAMIENTOS**



### **ANEXO C. MEDICIÓN DEL AGITADOR TIPO PALETA**



#### **ANEXO D. LIJADO DE ABERTURA DEL EJE**



#### **ANEXO E. MEDICIÓN DEL TOPE DE PALETAS**



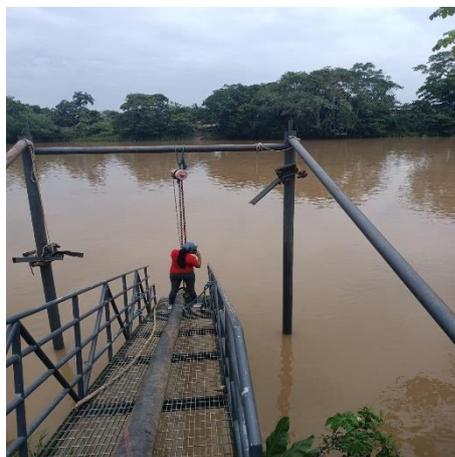
#### **ANEXO F. ENSAMBLAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO**



**ANEXO G. TOMA DE MUESTRAS DE AGUA**



**ANEXO H. TOMA DEL PUNTO CON GPS**



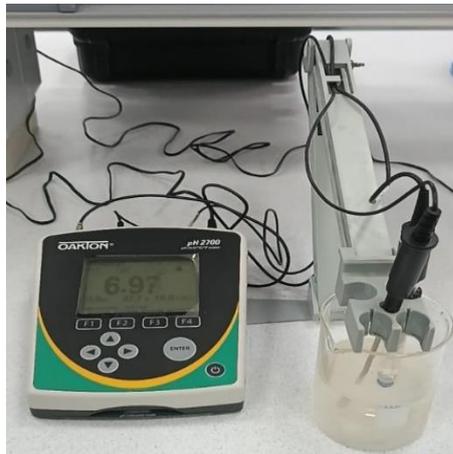
**ANEXO I. ETIQUETADO DE LA MUESTRA AGUA**



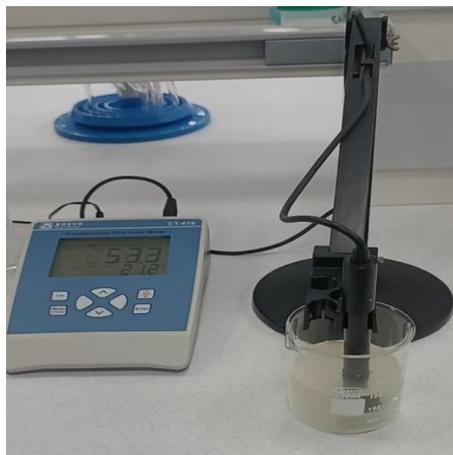
## ANEXO J. MUESTRAS ALMACENADAS



## ANEXO K. ANÁLISIS CON EL PHMETRO



## ANEXO L. ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD



**ANEXO M. ANÁLISIS DE TDS**



**ANEXO N. ANÁLISIS DE TURBIDEZ**



**ANEXO O. MODELO DE ETIQUETA DE LA MUESTRA AGUA**

	<b>ETIQUETA PARA MUESTREO DE AGUA</b>		
	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		
N° DE MUESTRA:			
LUGAR:			
RESPONSABLE:			
TIPO DE MUESTRA:	PUNTUAL <input type="checkbox"/>	COMPUESTO <input type="checkbox"/>	
FECHA:		HORA:	
COORDENADAS:			
OBSERVACIONES:			

## ANEXO P. MODELO DE LA HOJA DE CUSTODIA

	<b>FORMATO DE CAMPO – CADENA DE CUSTODIA</b>	Versión 1
		FECHA EDICIÓN 16-02-2023

DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD QUE DA ORIGEN LA RECOLECCIÓN DE EVIDENCIAS Y CADENA DE CUSTODIA

--

PROTOCOLO DE CAMPO

CADENA DE CUSTODIA

INFORMACION				CONDICIONES DE LA MUESTRA				
Realizado por				Condiciones climáticas	Soleado <input type="checkbox"/>	Nublado <input type="checkbox"/>	Lluvioso <input type="checkbox"/>	T° <input type="checkbox"/>
Localización				PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA				
Fecha				H2SO4 <input type="checkbox"/>	HNO2 <input type="checkbox"/>	Refrigeración <input type="checkbox"/>		
Teléfono								
Coordenadas del sitio	X	Y	Z					
IDENT DE LA MUESTRA	FECHA	HORA	MATRIZ					

	<b>FORMATO DE CAMPO – CADENA DE CUSTODIA</b>	Versión 1
		FECHA EDICIÓN 16-02-2023

Muestra:

<b>Cantidad</b> (Número de muestras)		<b>Unidad de medida del hallazgo</b> (hojas, archivos, litros, gramos, etc.)	
---	--	---	--

SITIO O LUGAR DEL HALLAZGO DEL ELEMENTO MATERIA DE PRUEBA O EVIDENCIA FÍSICA

<b>Descripción</b> (Dirección, ubicación)		<b>Nombres, apellidos y documento de identificación de quién encontró la evidencia</b>	
--	--	--	--

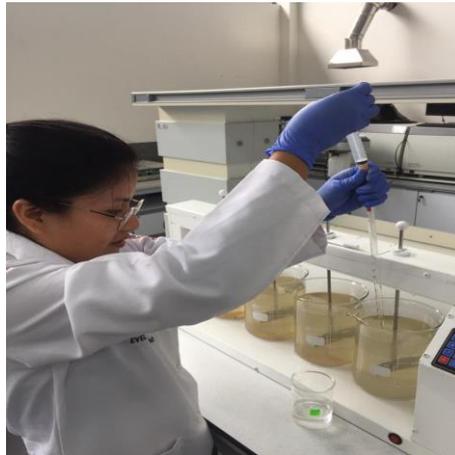
RECEPCIÓN DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO (DATOS DE LA PERSONA RESPONSABLE)

Nombres y apellidos	Documento de identificación	de	Área o dependencia a la que pertenece	Cargo	Firma

## ANEXO Q. MEDICIÓN DEL PESO DEL COAGULANTE



## ANEXO R. DOSIFICACIÓN MANUAL



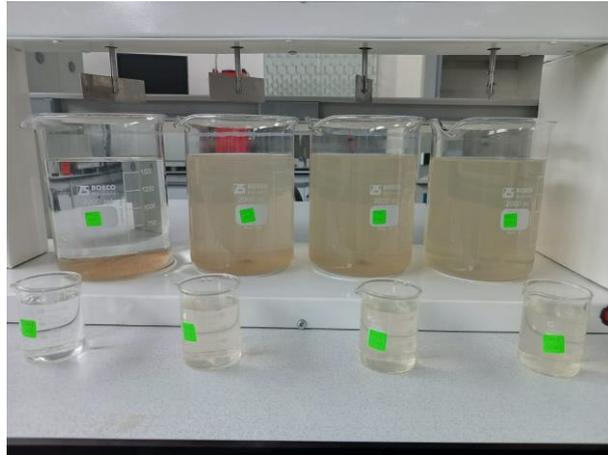
## ANEXO S. MUESTRAS DE AGUA ETIQUETADA



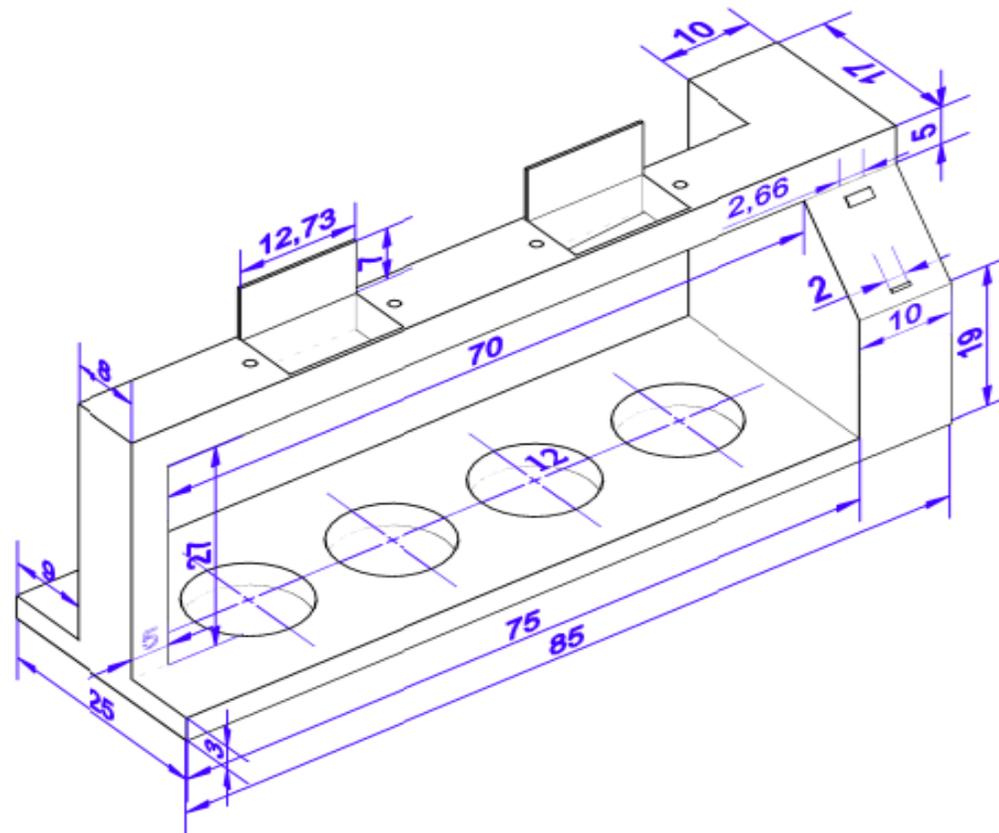
## ANEXO T. EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS CON MUESTRAS DE AGUA



## ANEXO U. MUESTRAS DE AGUAS TRATADAS EN EL EQUIPO

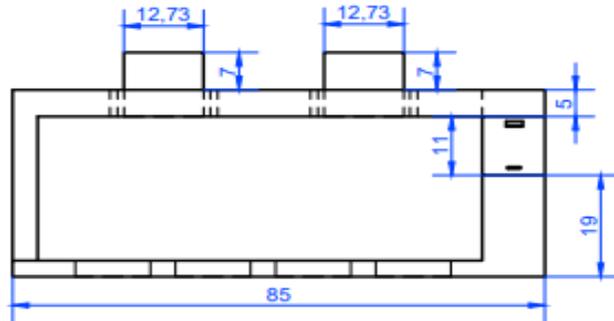


**ANEXO V. PLANO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO**

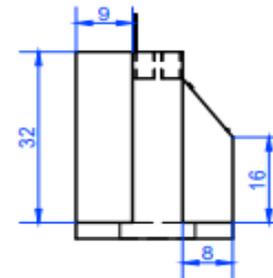


UNIDADES: cm	AUTORES: Erazo Angélica y Sela Andrea	 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE ORELLANA FACULTAD DE CIENCIAS	
	REVISADO: Ing. Greys Herrera		
	FECHA: Octubre 2022		
ESCALA: 1:1	<b>PLANO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS</b>		N° DE PLANO 1/3

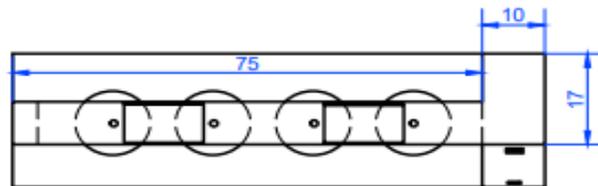
**ANEXO W. VISTAS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO**



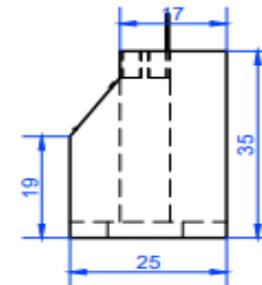
Vista Frontal



Vista Lateral Izquierda



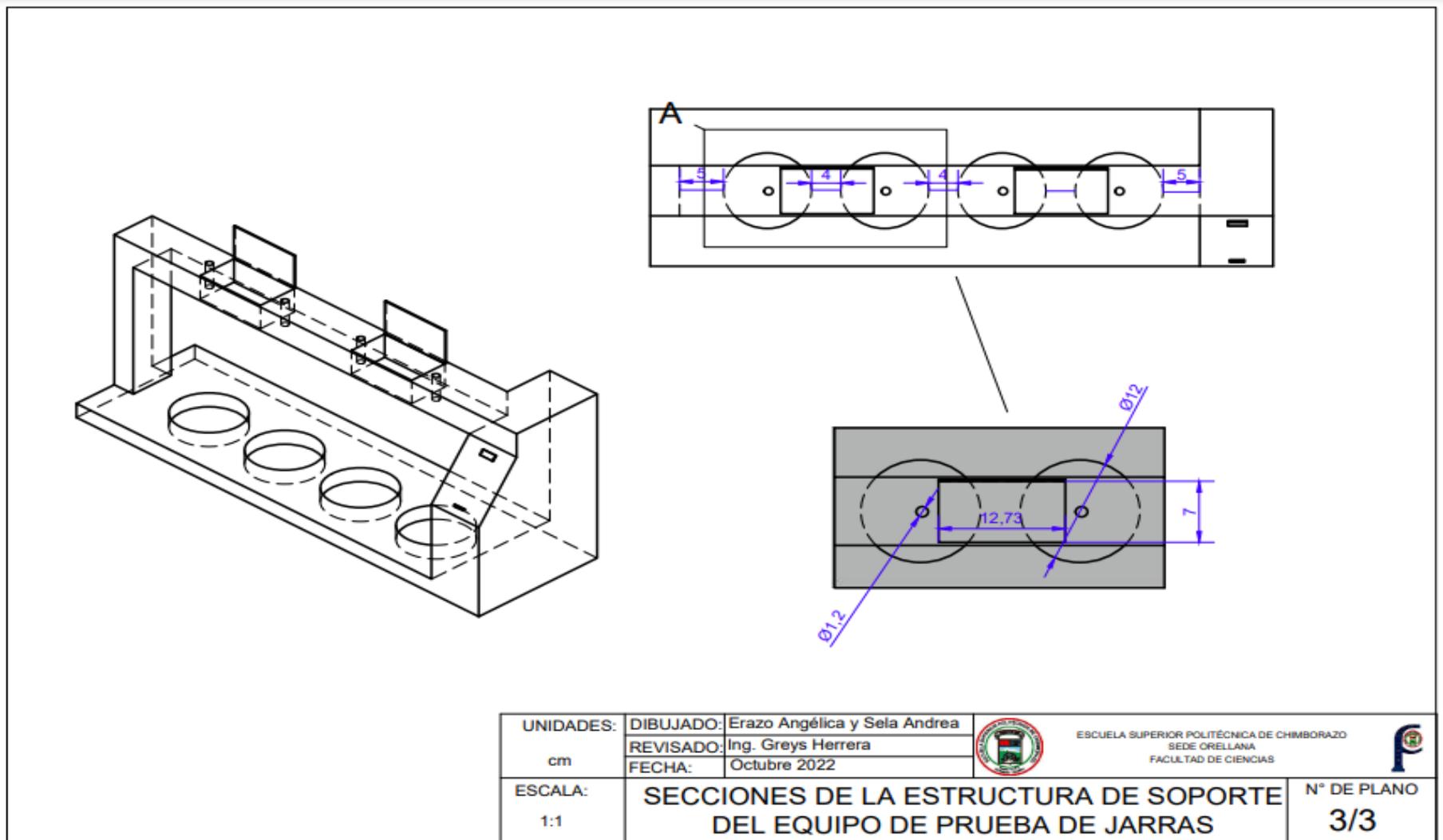
Vista Superior



Vista Lateral Derecha

UNIDADES: cm	AUTORES: Erazo Angélica y Sela Andrea	 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE ORELLANA FACULTAD DE CIENCIAS	
	REVISADO: Ing. Greys Herrera		
	FECHA: Octubre 2022		
ESCALA: 1:1	<b>VISTAS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS</b>		N° DE PLANO <b>2/3</b>

**ANEXO X. SECCIONES DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO**



UNIDADES: cm	DIBUJADO: REVISADO: FECHA:	Erazo Angélica y Sela Andrea Ing. Greys Herrera Octubre 2022	 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE ORELLANA FACULTAD DE CIENCIAS	
ESCALA: 1:1	<b>SECCIONES DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS</b>			

# LABESPOCH



## INSTRUCTIVO TÉCNICO DE USO DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS



**1. OBJETIVO**

Establecer los pasos para el uso adecuado, mantenimiento preventivo, que garantice el correcto funcionamiento del equipo empleado en los ensayos de prueba de jarras.

**2. ALCANCE**

El presente instructivo técnico aplica para todo el personal que use o de mantenimiento al equipo de prueba de jarras.

**3. DEFINICIONES**

N. A

**4. RESPONSABLE**

**TÉCNICO DE LABORATORIO:** Implementar, instruir y hacer seguimiento al instructivo para prolongar la vida útil del equipo.

**OPERARIO DE MANTENIMIENTO:** Realizar inspección y reparaciones menores al equipo utilizado y/o coordinar la operación de mantenimiento preventivo de los equipos.



## 5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

### 5.1. Especificaciones técnicas

continuación, se detalla en la tabla 1 las características principales del equipo de prueba de jarras para el laboratorio de la ESPOCH sede Orellana

**Tabla 1:** Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas	Descripción
Velocidades variables	10-270 rpm
Pantalla	Lcd Oled Azul 128*64
Ciclos programables	22
Teclado	Matricial 4*4 arduino
Lámpara de base	Luz LED Blanco 7w 12 cm
Dimensiones (cm)	85 Largo * 27 Altura * 25 Ancho
Requerimiento eléctrico	110 o 120 vol

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022

### 5.2. Programación del equipo

Cuando se conecta el equipo por primera vez, se realiza una prueba de inicio a una velocidad lenta de 25rpm por un tiempo de 1 min.

Encienda el equipo con el interruptor inferior ubicado en la parte derecha

La pantalla mostrará el logo institucional por unos segundos:



Luego, se refleja lo siguiente: Ingreso de tiempo y velocidad.

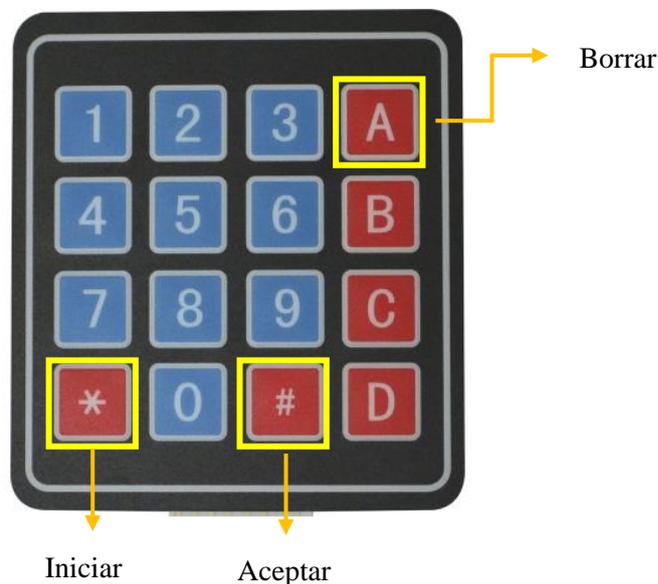


Después, se coloca los vasos precipitados de 2 L debajo de cada agitador

Por último, se introduce de forma manual los agitadores en cada vaso y se asegura para comenzar los procesos de mezcla.

### Pasos para programar el equipo

1. Digite las velocidades desde 10 hasta 270rpm, según la necesidad.
2. Para aceptar oprima la tecla #.
3. Digite el tiempo requerido para este proceso entre 1 y 60 min.
4. Para aceptar oprima la tecla #.
5. Para iniciar oprima la tecla \*.



6. Para continuar con la prueba lenta se repite los pasos del 1 al 5.
7. Al finalizar el tiempo se detendrá la agitación por que se ha cumplido con el ciclo programado.
8. Se retira los agitadores de forma manual.
9. Se deja reposar las muestras según requiera el investigador en su estudio.



## 6. PRÁCTICA EN EL EQUIPO

El ensayo de jarras tiene como objetivo fundamental determinar la dosis óptima de coagulante / floculante a emplear en el agua para optimizar los procesos de coagulación y floculación. Los insumos químicos se aplican a diferentes dosis, una vez finalizado el proceso de reposo en el equipo se escoge la muestra que posea menor turbiedad y flocs de gran tamaño. A continuación, se presenta una pequeña práctica para utilizar el equipo de prueba de jarras.

### Equipo, material y sustancia

- Equipo de prueba de jarras
- Solución del coagulante
- Vasos precipitados de 2 L
- Pipetas
- Equipo requerido para análisis de pH, turbiedad, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales

### Procedimiento de la prueba de jarras

1. Se toma muestra de agua de un río, lago u otro.
2. Se realiza análisis de pH, turbiedad, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales.
3. Realizar la solución del coagulante en caso de ser necesario.
4. Medir las cantidades de coagulante (definido) para dosis de 5, 10, 15, 20 y 30 ppm.
5. Realizar la mezcla rápida, programando el equipo a 270 rpm y adicionar el coagulante, mantener esa velocidad por 1 min.
6. Realizar la mezcla lenta, programando el equipo a 25 rpm por un lapso de 15 min.
7. Suspender la agitación y dejar en reposo por 30 min.
8. Anotar los tiempos que duran las muestras en sedimentarse.
9. Tomar alícuotas de 10ml de la muestra no sedimentada y sedimentada para medir el pH y la temperatura.
10. Anotar los resultados.
11. Seleccionar la dosis óptima que es aquella con menor turbiedad.

	<b>INSTRUCTIVO TÉCNICO DE USO DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS</b>	VERSIÓN: 001
		FECHA DE EMISIÓN: 2023/02/20
		PÁGINA: 6/9

## 7. MANTENIMIENTO GENERAL

El equipo de prueba de jarras requiere de un mantenimiento periódico dirigido a la estructura sólida del equipo y el agitador tipo paleta.

### **Procedimiento general de mantenimiento de la estructura sólida del equipo**

1. Examinar el exterior del equipo para evaluar su condición física general. Verificar la limpieza de la pantalla, teclado y cubiertas del equipo.
2. Revisar el cable de conexión del equipo. Verificar su estado para su posterior uso.
3. Inspeccionar el estado de la pintura del equipo.

### **Mantenimiento básico del agitador tipo paleta**

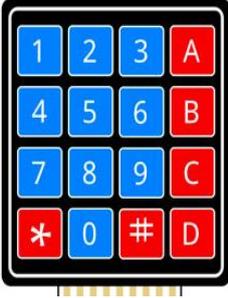
1. Limpie con un paño húmedo los ejes y las paletas después de cada uso para evitar la acumulación de residuos o manchas a futuro.
2. Verificar el estado de los brazos de los agitadores paleta plana. Examinar el sistema mecánico de montaje y fijación del agitador.
3. En el sistema mecánico se debe colocar grasa cada 60 días a los rodamientos para lo cual se retira la tapa superior del equipo. De igual manera, se revisa las bandas del sistema que deben cambiarse según de forma semestral según su uso.
5. Efectuar una prueba del agitador a una velocidad lenta en un tiempo corto.

### **Accesorios y piezas de cambio**

A continuación, se detalla en la tabla 2 los accesorios y piezas de cambio del equipo de prueba de jarras para el laboratorio de la ESPOCH sede Orellana.



Tabla 2: Accesorios y piezas de cambio

Accesorio/piezas	Gráfica
Vasos de precipitado BOECO de 2000 ml en vidrio	
Pantalla Lcd Oled Azul 128*64	
Teclado Matricial 4*4 arduino	
Luz LED Blanco 7w 12 cm (Ojos de Buey)	



---

Banda dentada GT2 6 MM impresora  
3D



---

Doble polea dentada



---

**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022



### 8. REGISTRO DE ENSAYOS DE JARRAS

El modelo de hoja de registro de valores obtenidos en la prueba de jarras se basa en la NTC 3903 el cual consta de la siguiente información:

**Tabla 3:** Registro de ensayo de jarras

<b>Muestra:</b> _____ <b>pH:</b> _____ <b>Turbidez:</b> _____ <b>Fecha:</b> _____						
<b>Ubicación:</b> _____ <b>Color:</b> _____ <b>Temperatura:</b> _____ <b>Tamaño de muestra:</b> _____ ml						
Productos químicos mg/l	Número de jarras					
	1	2	3	4	5	6
Velocidad de la mezcla instantánea rpm						
Tiempo de mezcla instantánea min						
Velocidad de la mezcla lenta rpm						
Tiempo de mezcla lenta min						
Temperatura						
pH						
Conductividad						
Turbidez						
Sólidos disueltos totales						

**Fuente:** (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación 2010).

**Realizado por:** Erazo, Angelica; Sela, Andrea, 2022



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 07 / 2023

<b>INFORMACIÓN DE LAS AUTORAS</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Angélica Nataly Erazo Solano Andrea Leonela Sela Tucupi
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



Cristian Tenelando. S  
28-06-2023.

1260-DBRA-UPT-2023