



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

## **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS SANTA CRUZ- SANTIAGO DE PILLARO – AMBATO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar por el grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: VÍCTOR ALFONSO JIMÉNEZ IDROVO**

**TUTOR: ING. MAYRA ZAMBRANO**

Riobamba-Ecuador

2019

**©2019, Víctor Alfonso Jiménez Idrovo**

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El proyecto técnico: “DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS SANTA CRUZ-SANTIAGO DE PILLARO – AMBATO”, de responsabilidad del señor Víctor Alfonso Jiménez Idrovo, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Mayra P. Zambrano Vinuesa <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
M.C. Segundo Hugo Calderón <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

Yo, Víctor Alfonso Jiménez Idrovo soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Víctor Alfonso Jiménez Idrovo

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo les dedico a mis padres, María y Trajano por su apoyo incondicional, para culminar unos de mis sueños.

Gracias a sus consejos, y su apoyo me guiaron a culminar una de mis sueños donde nunca me dejaron que me rinda y llegar a terminar unas de mis metas más importantes en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primero a Dios, a mis padres quienes siempre han sido mi fortaleza a seguir adelante, por estar en las buenas y malas por no dejar que me rinda, por el apoyo que me han dado tanto emocional, como económicamente gracias a ellos logre terminar una de mis metas.

A mis hermanos Jorge y Alexandra gracias a ellos que siempre están ahí para apoyarme incondicional.

A toda mi familia por siempre aconsejarme que luche por lo que me gusta y estar siempre en todo momento.

Agradezco de manera especial a la Ing. Mayra Zambrano y al Ing. Hugo Calderón por brindarme los conocimientos e información necesaria, para culminar mi trabajo de titulación.

Agradezco a Luis y Mónica por abrirme las puertas y permitirme realizar mi trabajo de titulación en su empresa, por ayudarme con la información necesaria para lograr culminar este proyecto.

A mis amigos Erick, Xavier, Diego, Arturo, María Augusta, Dayana, Paola, Nataly, Chane y Betty que formaron parte de mi vida universitaria.

También agradezco a una persona muy especial que me apoyo siempre, que estuvo ahí cuando más le necesitaba.

Gracias de todo corazón.

*Víctor Alfonso*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	xviii
<b>ABSTRACT</b> .....	xix
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1.1. Identificación del problema.....	1
1.2. Justificación del proyecto/propuesta .....	1
1.3. Línea de base del proyecto.....	2
1.3.1. Estado actual de la empresa y su Sistema de Tratamiento de aguas residuales .....	2
1.3.2. Aguas Residuales .....	3
1.3.3 Tratamiento de las Aguas Residuales.....	3
1.3.3.2. Tratamiento Físico. ....	4
1.3.3.3. Tratamiento Químico .....	5
1.4 Beneficiarios directos e indirectos .....	6
1.4.1 Directos .....	6
1.4.2 Indirectos.....	6
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>7</b>
2.1 Objetivos General .....	7
2.2 Objetivos Específicos.....	7
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR</b> .....	<b>8</b>
3.1. Localización del proyecto .....	8
3.2. Ingeniería del proyecto.....	9
3.2.1 Tipo de estudio.....	10
3.2.2. Metodología .....	10
3.2.3. Técnicas .....	11
3.2.3.1. Potencial de Hidrogeno .....	11

3.2.3.2. Turbiedad .....	11
3.2.3.3 Aceites y grasas.....	12
3.2.3.4. Demanda Química De Oxígeno .....	12
3.2.3.5. Demanda Bioquímica De Oxígeno .....	13
3.2.3.6. Nitrógeno amoniacal .....	13
3.2.3.7. Sulfatos.....	14
3.2.3.8. Fosfatos .....	14
3.2.3.9. Sólidos Suspendedos .....	15
3.2.3.10. Sólidos Sedimentables .....	15
3.2.3.11. Sólidos Totales.....	16
3.2.4. Procedimiento a nivel de laboratorio .....	16
3.2.4.1. Medición del caudal del agua residual .....	16
3.2.4.2. Muestreo de agua residual.....	17
3.2.4.3. Cronograma de muestreo .....	18
3.2.4.4. Caracterización inicial del agua residual y análisis.....	18
3.2.4.5. Tratamiento del agua residual .....	19
3.2.4.6. Tratamiento físico .....	20
3.2.4.6.1.Trampa de Grasa .....	20
3.2.4.6.2. Aeración.....	21
3.2.4.7. Tratamiento químico .....	22
3.2.5. Dimensionamiento de los equipos.....	29
3.2.5.1. Cálculo del caudal de diseño.....	29
3.2.5.2. Vertedero de entrada del agua residual .....	30
3.2.5.3. Diseño del sistema atrapa grasas .....	35
3.2.5.4. Cálculo del sistema de transporte de agua residual hacia el tanque de almacenamiento	39
3.2.5.5. Diseño del tanque de aireación .....	55
3.2.5.6. Diseño del equipo de floculación sedimentación.....	67
3.3. Proceso de Producción .....	85
3.3.1. Resultados .....	85



3.3.1.1. Resultados de la caracterización inicial del agua residual .....	85
3.3.2. Validación del proceso.....	86
3.3.3. Operaciones Unitarias en el proceso de tratamiento del agua residual .....	88
3.3.4. Diagrama del proceso.....	89
3.3.5. Distribución y diseño de la planta.....	91
3.3.6. Descripción de las áreas .....	91
3.4. Requerimiento de Tecnología, Equipos y Maquinaria.....	92
3.4.1. Propuesta del diseño de los equipos.....	92
3.5. Análisis Costo/Beneficio del Proyecto.....	96
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>101</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b> STANDARD METHODS *4500 HB (Potencial hidrógeno).....	11
<b>Tabla 2-3:</b> STANDARD METHODS *2130 B (Turbiedad) .....	11
<b>Tabla 3-3:</b> EPA *418,1 (Aceites y Grasas).....	12
<b>Tabla 4-3:</b> STANDARD METHODS *5220 D (Demanda Química de Oxígeno).....	12
<b>Tabla 5-3:</b> STANDARD METHODS *5210 B (Demanda Bioquímica de Oxígeno) .....	13
<b>Tabla 6-3:</b> Método HACH *8155 N-NH <sub>3</sub> (Nitrógeno Amoniacal) .....	13
<b>Tabla 7-3:</b> Método HACH *8051 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (Sulfatos).....	14
<b>Tabla 8-3:</b> Método HACH *8048 PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (Fosfatos).....	14
<b>Tabla 9-3:</b> STANDARD METHODS *2540 D (Sólidos Suspendidos) .....	15
<b>Tabla 10-3:</b> STANDARD METHODS *2540 F (Sólidos Sedimentables) .....	15
<b>Tabla 11-3:</b> STANDARD METHODS *2540 B (Sólidos Totales).....	16
<b>Tabla 12-3:</b> Medición del caudal .....	16
<b>Tabla 13-3:</b> Cronograma de muestreo.....	18
<b>Tabla 14-3:</b> Caracterización inicial del agua residual.....	18
<b>Tabla 15-3:</b> Índice de biodegradabilidad .....	20
<b>Tabla 16-3:</b> Materiales. Equipos, sustancias y reactivos de la prueba de jarra .....	23
<b>Tabla 17-3:</b> Test de jarras adicionando sulfato de Aluminio al 10% .....	23
<b>Tabla 18-3:</b> Test de jarras adicionando Cloruro Férrico al 10% .....	24
<b>Tabla 19-3:</b> Test de jarras adicionando Policloruro de Aluminio al 10% .....	24
<b>Tabla 20-3:</b> Test de jarras con la dosificación de Policloruro De Aluminio al 10%.....	25
<b>Tabla 21-3:</b> Caracterización de los Parámetros mediante el tratamiento químico.....	26
<b>Tabla 22-3:</b> Resultados finales del agua residual después del tratamiento .....	28
<b>Tabla 23-3:</b> Método de la secante para el cálculo del factor de fricción en el diseño del sistema de transporte de fluidos en la planta de tratamiento de agua residual.....	44
<b>Tabla 24-3:</b> Valores de los coeficientes de pérdidas de acuerdo al accesorio para el cálculo de las pérdidas longitudinales.....	45
<b>Tabla 25-3:</b> Caracterización del agua residual producida en la empresa “Santa Cruz” antes del proceso de aeración.....	56
<b>Tabla 26-3:</b> Tamaño de burbuja y eficiencia para cálculo en difusores de acuerdo al régimen de flujo .....	65
<b>Tabla 27-3:</b> Constantes para el cálculo de la potencia del motor en un mezclador de acuerdo al tipo de impulsor .....	75
<b>Tabla 28-3:</b> Resultados obtenidos a la caracterización inicial del agua recupera en la empresa del cantón Santiago de Pillaro.....	86

<b>Tabla 29-3:</b> Resultados de la caracterización final del agua residual tratadas con la tecnología propuesta en la investigación .....	87
<b>Tabla 30-3:</b> Propuesta tecnológica para el vertedero donde ingresa el agua residual a la planta de tratamiento .....	92
<b>Tabla 31-3:</b> Propuesta tecnológica del sistema para atrapar grasas en el pre tratamiento del agua residual .....	93
<b>Tabla 32-3:</b> Propuesta técnica para el tanque de almacenamiento de agua residual .....	93
<b>Tabla 33-3:</b> Propuesta tecnológica para el tanque de aeración del agua residual .....	94
<b>Tabla 34-3:</b> Propuesta tecnológica para el tanque de coagulación-sedimentación para el tratamiento físico-químico del agua residual .....	94
<b>Tabla 35-3:</b> Propuesta tecnológica filtro para el tratamiento final del agua residual .....	95
<b>Tabla 36-3:</b> Propuesta técnica para el tanque espesador de lodos producidos en el tratamiento físico-químico del agua residual .....	96
<b>Tabla 37-3:</b> Adecuación de la zona para la planta. ....	97
<b>Tabla 38-3:</b> Instalación del vertedero y sistema de cribas. ....	97
<b>Tabla 39-3:</b> Instalación del sistema de aireación. ....	98
<b>Tabla 40-3:</b> Instalación del tanque de coagulación – sedimentación. ....	99
<b>Tabla 41-3:</b> Instalación del tanque espesador de lodos. ....	99
<b>Tabla 42-3:</b> Costo de la mano de obra para la construcción e instalación de la planta de tratamiento de agua residual.....	100
<b>Tabla 43-3:</b> Costo total de la obra.....	100

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Mapa Geográfica de la Parroquia San Andrés en el entorno Cantonal. ....	8
<b>Gráfico 2-3:</b> Ubicación geográfica de la Empresa Santa Cruz.....	9
<b>Gráfico 3-3:</b> Dosificación de Pol cloruro de aluminio 10% vs Turbiedad.....	25
<b>Gráfico 4-3:</b> Dosificación de Poli cloruro de aluminio 10% vs pH .....	26
<b>Gráfico 5-3:</b> Vista lateral y superior del vertedero rectangular.....	35
<b>Gráfico 6-3:</b> Vista lateral y superior del sistema para atrapar grasas.....	39
<b>Gráfico 7-3:</b> Diagrama de Moody para el cálculo de la rugosidad relativa .....	44
<b>Gráfico 8-3:</b> Vista lateral y superior del tanque de almacenamiento de agua residual. ....	54
<b>Gráfico 9-3:</b> Vista lateral del tanque de aereación para el tratamiento de agua residual. ....	66
<b>Gráfico 10-3:</b> Vista lateral y superior del tanque de sedimentación-coagulación para el tratamiento de agua residual.....	78
<b>Gráfico 11-3:</b> Vista lateral y superior del filtro para el tratamiento de agua residual.....	85
<b>Gráfico 12-3:</b> Diagrama de proceso para el tratamiento del agua residual producida en la industria láctea “Santa Cruz” .....	90

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1-3:</b> Trampa de Grasa a nivel de laboratorio.....	21
<b>Fotografía 2-3:</b> <b>Proceso</b> de aeración a escala de laboratorio.....	21
<b>Fotografía 3-3:</b> Proceso de sedimentación a escala de laboratorio.....	22
<b>Fotografía 4-3:</b> Proceso de filtración empleando un filtro de arena y grava a nivel de laboratorio .....	28
<b>Fotografía 5-3:</b> <b>Agua</b> residual obtenida posterior a la cloración. ....	28

## INDICE DE ANEXOS

**Anexo A.** Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I Tabla 8.

**Anexo B.** Resultados obtenidos a la caracterización inicial del agua residual.

**Anexo C.** Plano de la planta de tratamiento de agua residual

**Anexo D.** Plano de la propuesta tecnológica para el vertedero rectangular

**Anexo E.** Plano de la propuesta tecnológica para el sistema de cribas

**Anexo F.** Plano de la propuesta tecnológica para el tanque de almacenamiento

**Anexo G.** Plano de la propuesta tecnológica para el tanque de aireación

**Anexo H.** Plano de la propuesta tecnológica para el tanque de floculación – sedimentación

**Anexo I.** Plano de la propuesta tecnológica para el filtro

**Anexo J.** Plano de la propuesta tecnológica para el espesador de lodos

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$V_{ww}$	Volumen de agua residual generada
$V_{Tn}$	Volumen tratado
$Q$	Caudal de diseño
$V$	Volumen
$T$	Tiempo
$C_d$	Coefficiente de descarga
$h_1$	Altura mínima sobre el vertedero
$H$	Carga hidráulica
$B$	Ancho de la cresta
$B$	Ancho del vertedero
$l$	Longitud del vertedero
$Z$	Distancia entre el fondo del canal hasta la cresta
$H_{máx}$	Altura del vertedero
$A_b$	Área para el gasto del vertedero
$A_l$	Área libre del paso
$h_n$	Tirante del agua
$L$	Longitud de las rejas
$\theta$	Ángulo de inclinación de las barras
$e_b$	Espesor de las barras
$N$	Número de barras
$A_{re}$	Área de las rejas
$v_r$	Velocidad de flujo entre las rejas
$v_{ac}$	Velocidad de acercamiento
$h_l$	Pérdidas hidráulicas
$l_{tanque}$	Longitud del tanque de aireación
$V_{tanque}$	Volumen del tanque de aireación
$DBO_{diario}$	Demanda Bioquímica de Oxígeno diario
$V_{diario}$	Volumen diario de agua residual
$C_{aire}$	Cantidad de aire necesaria para la aireación
$C_r$	Cantidad de aire necesaria para remover 1 kg de DBO
$P_h$	Presión hidrostática
$P_{atm}$	Presión atmosférica
$P_a$	Presión absoluta
$P_t$	Presión de trabajo

<b>P</b>	Potencia del motor
<b><math>\eta</math></b>	Eficiencia del compresor
<b><math>v_s</math></b>	Velocidad de sedimentación
<b><math>\mu</math></b>	Viscosidad dinámica
<b><math>A_s</math></b>	Área Superficial
<b><math>L_p</math></b>	Ubicación de la pared difusora
<b><math>v_h</math></b>	Velocidad horizontal de sedimentación
<b><math>V_s</math></b>	Volumen del sedimentador
<b><math>t_r</math></b>	Tiempo de retención
<b><math>d</math></b>	Diámetro de la partícula
<b><math>A_o</math></b>	Área total de los orificios
<b><math>v_o</math></b>	Velocidad de flujo en los orificios
<b><math>a_o</math></b>	Área de cada orificio
<b><math>n_o</math></b>	Número de orificios
<b><math>r_o</math></b>	Radio de cada orificio
<b><math>h</math></b>	Porción de la pantalla difusora con orificios
<b><math>s</math></b>	Separación entre los orificios
<b><math>l_v</math></b>	Longitud del vertedero
<b><math>C_s</math></b>	Carga Superficial
<b><math>y</math></b>	Alto del vertedero
<b><math>D_i</math></b>	Diámetro del impulsor
<b>E</b>	Distancia entre el impulsor y el fondo del tanque
<b><math>h_p</math></b>	Altura del impulsor
<b><math>g</math></b>	Altura de la paleta
<b><math>w</math></b>	Ancho de la paleta
<b><math>N_{Re}</math></b>	Número de Reynolds
<b>N</b>	Velocidad de giros
<b>KT</b>	Constante de acuerdo al número de Reynolds
<b><math>C_l</math></b>	Carga de lodos al espesador
<b><math>C_{lt}</math></b>	Carga de lodos totales al espesador
<b><math>C_{l1}</math></b>	Carga de lodos al espesador por efecto de los sólidos solubles
<b>F</b>	Flujo de lodos al espesador
<b><math>X_l</math></b>	Concentración de lodos de acuerdo al tipo de lodos
<b><math>V_f</math></b>	Volumen de fangos a procesa
<b><math>A_e</math></b>	Área del espesador
<b><math>C_{se}</math></b>	Carga de sólidos al espesador mecánico



$V_e$  Volumen del espesador de lodos  
 $D_e$  Diámetro del espesador de lodos

## RESUMEN

En la presente investigación se planteó diseñar una planta de tratamientos de aguas industriales para la empresa de lácteos “Santa Cruz”, la investigación se realizó en dos locaciones; en el cantón Píllaro y en el laboratorio de calidad de agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ubicada en la ciudad de Riobamba. Para comenzar la investigación fue necesario el muestreo del agua residual, realizando la caracterización inicial de la muestra para determinar el tipo de tratamiento que se realice al agua, con esto se determinó que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos totales y el contenido de grasas fueron los contaminantes principales del agua y estos no cumplen la norma TULSMA LIBRO VI, TABLA 8. Con el fin de determinar el mejor tratamiento se realizó un test de jarras estableciéndose que el mejor coagulante para este tipo de aguas es el Policloruro de Aluminio al 10% en una dosis de 5ml/litro de agua residual de lo cual se obtuvo una turbiedad de 50, pH de 7,38 y color de 184; que cumplen con la norma. De estos resultados se obtuvo los diferentes tratamientos que se le realizaron a escala de laboratorio, los cuales incluyeron una trampa de grasa, un sistema de aireación, un tratamiento físico-químico y filtrado. En el diseño de los equipos el primer paso fue establecer el caudal de diseño, se determinó que el caudal promedio de producción de agua residual de 30.8 L/min; este dato se tomó como base de cálculo para el dimensionamiento del sistema, se concluyó que ningún parámetro estuvo fuera del límite permisible; además la DBO valores de 150 mg/L, DQO valores de 413 mg/L, los sólidos totales valores de 892 mg/L y para el contenido de aceites y grasas valores de 9.6 mg/L.

**Palabras Claves:** <INDUSTRIA LÁCTEA>, <CONTAMINACIÓN AMBIENTAL>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <SEDIMENTACIÓN>, <CARACTERIZACIÓN>, <TEST DE JARRAS>.

## ABSTRACT

In the present investigation it was proposed to design an industrial water treatment plant for the dairy company "Santa Cruz", the research was carried out in two locations; in the Pillaro canton and in the water quality laboratory of the ESPOCH Faculty of Sciences, located in the city of Riobamba. To begin the investigation it was necessary to sample the residual water, carrying out the initial characterization of the sample to determine the type of treatment that is carried out to the water, with this it was determined that the biochemical oxygen demand (BOD), the chemical oxygen demand (COD), the total solids and fat content were the main pollutants of the water and these do not meet the TULSMA BOOK VI, TABLE 8. In order to determine the best treatment, a jar test was carried out, establishing that the best coagulant for this type of water is the 10% aluminum chloride polymer in a dose of 5ml / liter of residual water, of which a turbidity of 50 was obtained, pH of 7.38 and color of 184; that meet the standard. From these results we obtained the different treatments that were performed on a laboratory scale, which included a grease trap, an aeration system, a physical-chemical treatment and filtering. In the design of the equipment the first step was to establish the design flow, it was determined that the average flow of wastewater production of 30.8 L / min; this data was taken as a basis for calculating the system sizing, it was concluded that no parameter was outside the permissible limit; in addition the BOD values of 150 mg / L, QOD values of 413 mg / L, the total solids values of 892 mg / L and for the content of oils and fats values of 9.6 mg / L.

Keywords:

<DAIRY INDUSTRY> <ENVIRONMENTAL POLLUTION> <SEWAGE TREATMENT><SEDIMENTATION><CHARACTERIZATION> < JUGS TEST>

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1. Identificación del problema

La contaminación ambiental es uno de los factores más determinantes en la legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, misma que determina las normativas a seguir por parte del sector industrial en los efluentes originados por sus procesos. Por tal razón es muy importante la determinación de tratamientos de aguas residuales acordes a las necesidades de cada empresa.

El agua residual es un factor de contaminación debido a una serie de procesos industriales, como un servicio de limpieza de los diferentes equipos y procesos.

Por lo cual la empresa de lácteos Santa Cruz no cuenta de una Planta de Tratamientos de Aguas residuales, que no está acorde a la calidad del medio ambiente y el cumplimiento de las normas que se rigen, lo cual esta agua que está contaminada es vertida directamente al alcantarillado municipales lo que ocasiona problemas de salubridad, malos olores y contaminación al ambiente.

### 1.2. Justificación del proyecto/propuesta

El agua es el medio donde se desarrolla una infinidad de ecosistemas que pueden ser fácilmente alteradas por la contaminación inescrupulosa por parte del ser humano. El agua contaminada de la industria de lácteos es la principal fuente de enfermedades y muertes ya que contienen sustancias nocivas y tóxicas, estos efluentes requieren un tratamiento físico, químico y microbiológico.

Para el bienestar de la empresa de LÁCTEOS SANTA CRUZ es lograr la menor contaminación ambiental debe estar dentro del parámetro de la norma publicada el 04/11/2015 del Registro Oficial N°387 del Ministerio Ambiental 097-AANEXO 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

- **DESARROLLO**

➤ *Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado, mediante los siguientes artículos:*

**Artículo 5.2.3.1** “Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas. Las descargas tratadas deben cumplir con los valores establecidos en la Tabla 8.”

**Artículo 5.2.3.2** “Las descargas líquidas provenientes de sistemas de potabilización de agua no deberán disponerse en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea en funcionamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación, en implementación. En cuyo caso se deberá contar con la autorización de la Autoridad Ambiental Nacional o la Autoridad Ambiental Competente que corresponda.”

El presente trabajo de titulación pretende realizar recolección de datos y análisis parámetros físico-químicas mediante el método de muestreo para con esto proponer alternativas para dar solución a la problemática de aguas residuales, generadas por los diferentes procesos de la empresa. Mediante el Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Por lo expuesto se justifica plenamente la realización “DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS SANTA CRUZ” por el bienestar social y fortalecer el manejo de aguas residuales para disminuir la contaminación del medio ambiente en cumplimiento de normativas ambientales.

### **1.3. Línea de base del proyecto**

#### ***1.3.1. Estado actual de la empresa y su Sistema de Tratamiento de aguas residuales***

Las descargas de aguas residuales provenientes de la empresa de lácteos Santa Cruz, no son destinadas a un Sistema de Tratamiento sino hacia el alcantarillado, realizando estas descargas directamente sin previo tratamiento y sin análisis de verificación de los cumplimientos de las características estipuladas en las normas sanitarias que exige el Estado; por tanto esto ocasiona peligros a la salud pública, contaminación al suelo, vegetales y daño en el hábitat para la vida acuática por la acumulación de sólidos.

### ***1.3.2. Aguas Residuales***

Toda población presente, siempre genera residuos, los mismos que pueden ser sólidos o líquidos, hablando de residuos líquidos, es lo que conocemos como aguas residuales o aguas negras, producto del agua descargada de una población, una vez que esta ha sido utilizada para diferentes usos específicos, para las cuales fue empleada. Por lo tanto, podemos establecer que las aguas residuales son; “la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y fluviales”. (Metcalf, 1995)

Según la procedencia de las aguas residuales, estas se clasifican en:

- ❖ ***Aguas Domésticas:*** *Son aquellas aguas que fueron utilizadas con fines higiénicos por el ser humano, como lo es la limpieza, sanitario, ducha, cocina, etc. De tal forma la composición de esta agua residual, estará presente un alto contenido de materia orgánica, grasa y detergentes, entre otros.*
- ❖ ***Aguas Industriales:*** *Estas aguas provienen de diferentes procesos industriales, su composición va a depender básicamente del tipo de industria que la haya utilizado.*
- ❖ ***Aguas Urbanas:*** *Es el volumen total generado dentro de una localidad, en esta clasificación tendremos en cuenta las aguas residuales domésticas, industriales y fluviales, las que se son conducidas dentro del sistema de alcantarillado.*
- ❖ ***Aguas Fluviales:*** *Estas son las aguas procedentes de las lluvias, las mismas que al tocar el suelo arrastran una gran cantidad de residuos sólidos como lo es papel, basura, hojas, tierra, etc. Otra parte de esta agua es drenada por la tierra, la composición de esta agua fluvial, va a depender del contaminante que se encuentre presente.*

### ***1.3.3 Tratamiento de las Aguas Residuales.***

#### ***1.3.3.1 Pre-tratamiento***

Son destinados a preparar las aguas residuales para que puedan recibir un tratamiento subsiguiente y evitar problemas a los equipos mecánicos de la planta, sin obstruir tuberías, averías en válvulas, en bombas y causar depósitos permanentes en tanques. Entre estos procesos tenemos

- ❖ **Desbaste:** Sirve para proteger a la planta de tratamiento, de la posible llegada intempestiva de grandes objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación. Además, nos permite separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos posteriores. (CRITES, 2000)
  
- ❖ **Tamizado:** Consiste en una filtración sobre soporte delgado, y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores. (CRITES, 2000)
  
- ❖ **Desarenado:** El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente. (CRITES, 2000)
  
- ❖ **Desaceitado-desengrasado:** El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores. (CRITES, 2000)
  
- ❖ **Pre aireación:** Es el Control de olores y mejoramiento del comportamiento hidráulico del agua residual. (CRITES, 2000)

#### **1.3.3.2. Tratamiento Físico.**

En esta etapa se elimina de sólidos suspendidos, coloides y materia inorgánica del agua residual, no remueven microorganismos ni material soluble. Entre los procedimientos tenemos:

- ❖ **Enrejados:** *Son utilizados como unidades de protección de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, permite eliminar materias contaminantes visibles. (Ferrer Pole, 2005)*
- ❖ **Homogenización:** *Se utilizan para evitar los problemas de operación causados por las variaciones en la calidad y caudal de entrada a la planta y para mejorar el rendimiento de los distintos procesos. (Ferrer Pole, 2005).*
- ❖ **Sedimentación:** *En la cual se elimina la materia suspendida en una fase líquida por decantación utilizando el hecho de su mayor densidad con respecto al líquido, es decir por fuerzas gravitatorias.*
- ❖ **Flotación:** *Sirve para separar partículas y líquidos de poca densidad de la fase líquida en la que se encuentran. (Ferrer Pole, 2005)*
- ❖ **Filtración:** *Utilizado para la eliminación de partículas que se encuentran normalmente en el agua. El agua pasa a través del medio filtrante, quedando las partículas acumuladas en la superficie del medio. (Ferrer Pole, 2005)*

#### **1.3.3.3. Tratamiento Químico**

Los cambios en la calidad del agua se producen por medio de reacciones químicas, normalmente la adición de productos químicos al agua a tratar.

- ❖ **Precipitación:** *lleva la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación de contaminantes con formación de precipitados. (Metcalf, 1995)*
- ❖ **Adsorción:** *Es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase, por ello se conoce como un fenómeno superficial. (Ferrer Pole, 2005)*
- ❖ **Desinfección:** *Consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. Es un proceso que conduce a la destrucción total de los organismos. (Ferrer Pole, 2005)*
- ❖ **Coagulación:** *La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo o precipitado. La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un*



*producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro y aluminio. (CRITES, 2000)*

#### **1.4 Beneficiarios directos e indirectos**

##### ***1.4.1 Directos***

El beneficiario directo del trabajo de titulación planteado es la empresa de Lácteos SANTA CRUZ. Por ser la institución a la cual va dirigida la investigación.

##### ***1.4.2 Indirectos***

Los beneficiarios indirectos, son los habitantes del sector Cruz pamba y de la parroquia *San Andrés*, como también para el cantón Santiago de Pillarlo con 7444 habitantes, según los datos obtenidos del INEC del último censo.

## **CAPÍTULO II**

### **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1 Objetivos General**

- ❖ Diseñar una planta de tratamientos de aguas industriales para la empresa de lácteos Santa Cruz.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

- ❖ Realizar la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual en base de la Tabla 8 Anexo 1 de Acuerdo Ministerial.
- ❖ Determinar los parámetros que se encuentra fuera de los límites permisibles.
- ❖ Identificar las variables de diseño mediante los distintos métodos de tratabilidad más adecuado de una planta de tratamiento de aguas residual.
- ❖ Desarrollar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residual.
- ❖ Validar el diseño de la planta de tratamiento atreves de la caracterización físico-químico y microbiológica en base a la Tabla 8 del Anexo 1 del Ministerio Ambiental 097-A.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR

#### 3.1. Localización del proyecto

La fábrica de lácteos **SANTA CRUZ** se encuentra ubicado, en la parroquia de San Andrés, es una de las parroquias rurales más antigua del cantón Píllaro, se caracteriza por el máximo cultivo de papas, maíz y pastizales, su clima varía entre los 8° y 13° C promedio.

**Sus Límites son:** Norte: San Miguel de Salcedo separado por el río Huapante o Yanayacu. Este: San José de Poaló. Sur: Píllaro y Presidente Urbina. Oeste: Panzaleo separado por el río Culapachán.

Extensión: 52.12 Km<sup>2</sup> o 5212.66 Ha



**Gráfico 1-3:** Mapa de Ubicación Geográfica de la Parroquia San Andrés en el entorno Cantonal.

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.



**Gráfico 2-3:** Ubicación geográfica de la Empresa Santa Cruz

Fuente: (Google, 2018).

### 3.2. Ingeniería del proyecto

El diseño de una Planta de Tratamiento de aguas residuales presenta una serie de etapas para obtener agua tratada con los parámetros físico-químicas y microbiológicas dentro de los límites permisibles de la norma del **097-AANEXO 1** Del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, publicado en el Registro **Oficial N°387 del 4 noviembre del 2015**. Para el diseño se realizarán distintos métodos de tratabilidad en base métodos de inducción, deducción y experimentales donde se identificarán y se obtendrán variables que permitan su dimensionamiento.

El diseño experimental de este estudio se realizará al tomar las muestras de las aguas residuales industriales, utilizando como métodos la inducción y deducción, ya que es necesario conocer el tipo de contaminantes presentes en las aguas residuales que son descargadas directamente al sistema de alcantarillado público e identificar así cuales se encuentren fuera de norma la cual nos ayudara a determinar el tratamiento más adecuado y que se ajuste a las necesidades del sector.

Para nuestra investigación tenemos una descarga directa del agua residual al sistema de alcantarillado público, realizando toma de caudales y muestreos como método de inducción para ir de lo particular a lo general considerando factores como: observación, registro, análisis y clasificación de hechos con la finalidad tener una muestra promedio para realizar los análisis en el laboratorio del CESTTA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El método deductivo en este estudio nos va a permitir dar solución al problema que genera de los parámetros que se encuentren fuera de la norma establecida en base a la deducción de los resultados de los análisis realizados de las aguas residuales.

La parte experimental es un método de investigación que permitirá recopilar datos experimentales para comparar las mediciones de las variables y controlar cualquier cambio y por esta razón se lo hace antes y después del proceso de tratamiento de aguas residuales para diseñar el sistema de tratamiento más adecuado para la Planta de Lácteos Santa Cruz. Haciendo que los parámetros cumplan con lo establecido con norma del Registro **Oficial N°387 del Ministerio Ambiental 097-AANEXO 1.**

### ***3.2.1 Tipo de estudio***

El proyecto es de tipo técnico experimental, en el cual se lleva a cabo una recopilación y posterior análisis de datos necesarios para establecer los diferentes métodos de estudio.

### ***3.2.2. Metodología***

Para diseñar el Sistema de Tratamiento de las aguas residuales generadas en la planta procesadora Lácteos Santa Cruz, será preciso recoger información acerca del sistema de descarga de aguas residuales de la planta. La planta descarga sus aguas directamente al alcantarillado público, a través de un sistema de tubería.

Obtener el caudal de descarga con el fin de calcular un caudal óptimo y las muestras para la caracterización primaria.

La caracterización físico-química y microbiológica para conocer los parámetros que se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente. Se realizará pruebas de tratabilidad, para conocer el tratamiento adecuado a utilizar.

Con los resultados obtenidos se procederá a realizar los cálculos ingenieriles para dimensionar la planta, al implementar el sistema de tratamiento se obtendrá un agua residual que cumpla con lo establecido en la norma TULSMA tabla 8. Acuerdo Ministerial 097A del 04 de noviembre del 2015 Límites de descarga al sistema de alcantarillado; reduciendo al máximo el daño ambiental y contrariedades a la población.

Validar el diseño a través de la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual, previo a su descarga, para verificar que han bajado los niveles de contaminación en exceso y se encuentren dentro de la norma permisible.

### 3.2.3. Técnicas

Las técnicas a utilizar en la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual a tratar, se encuentran determinadas en el manual de procedimientos técnicos del laboratorio de Calidad de Agua de la facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, los cuales se encuentran basados y detallados en la actual edición y el manual de Análisis de Agua.

Los métodos a utilizar son los siguientes:

#### 3.2.3.1. Potencial de Hidrogeno

**Tabla 1-3:** STANDARD METHODS \*4500 HB (Potencial hidrógeno)

<b>Fundamento</b>	Es la determinación de la actividad de los iones de hidrógeno por medición potencio métrica utilizando un electrodo de hidrógeno estándar y otro de referencia. El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua, varía en un rango de 1 a 14. Si el agua presenta: pH <7 ácida; pH >7 básica; pH =7 neutra.
<b>Equipo</b>	pH-metro.
<b>Materiales</b>	Vasos de precipitación.
<b>Reactivos</b>	-Agua destilada. -Muestra de agua residual doméstica.
<b>Técnica</b>	-Calibrar el equipo. -Lavar el electrodo del pH-metro con agua destilada. -Introducir el electrodo en un vaso de precipitación que contiene la muestra y presionar READ. -Dejar estabilizar la lectura y anotar el valor que se registra en la pantalla.

**Fuente:** (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).

#### 3.2.3.2. Turbiedad

**Tabla 2-3:** STANDARD METHODS \*2130 B (Turbiedad)

<b>Fundamento</b>	Es la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas, con la dispersada por una suspensión patrón de referencia en las mismas condiciones.
<b>Equipo</b>	Turbidímetro.
<b>Materiales</b>	-Celda para turbidímetro. -Vaso de precipitación.
<b>Reactivos</b>	-Agua destilada. -Muestra de agua residual doméstica.
<b>Técnica</b>	-Lavar la celda con agua destilada. -Poner la muestra en la celda y colocar en el equipo.

**Fuente:** (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).

### 3.2.3.3 Aceites y grasas

**Tabla 3-3:** EPA \*418,1 (Aceites y Grasas)

<b>Fundamento</b>	Determina las sustancias extraídas con un disolvente orgánico de una muestra acuosa acidificada.	
<b>Equipo</b>	-Balanza analítica.	-Espectrofotómetro infrarrojo.
<b>Materiales</b>	-Embudo de separación de 250ml. -Jeringa. -Papel filtro. -Probeta de 100 ml.	-Espátula. -Matraz aforado de 100 ml. -Pipeta. -Soporte universal.
<b>Reactivos</b>	-Agua destilada. -Fluorocarbono-113 (disolvente de extracción).	-Ácido clorhídrico. -Muestra de agua residual doméstica.
	-Sulfato de sodio.	
<b>Técnica</b>	<p>-Acidificar 1L de la muestra a pH=2 con 5 ml de ácido clorhídrico.</p> <p>-Transferir la muestra a un embudo de separación y añadir 30 ml del disolvente de extracción.</p> <p>-Agitar durante 2 minutos. Dejar que las capas se separen y eliminar el disolvente de la parte inferior de la muestra.</p> <p>-Filtrar el extracto en un matraz aforado de 100 ml que contiene papel filtro humedecido en disolvente y 1 g de sulfato de sodio.</p> <p>-Tomar 5 mililitros del extracto con una jeringa y poner en una cubeta de cuarzo incorporada al espectrofotómetro de infrarrojo o analizador.</p> <p>-Seleccionar el programa para grasas y aceites. Presionar READ.</p> <p>-Leer los datos que aparecen en la pantalla y registrar.</p>	

**Fuente:** (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).

### 3.2.3.4. Demanda Química De Oxígeno

**Tabla 4-3:** STANDARD METHODS \*5220 D (Demanda Química de Oxígeno)

<b>Fundamento</b>	Este método define la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas.	
<b>Equipo</b>	-Espectrofotómetro.	-Termorreactor.
<b>Materiales</b>	-Gradilla. -Vaso de precipitación. -Paños para limpiar los viales.	-Pipeta. -Viales de 16 mm de diámetro. -Tapas rosca.
<b>Reactivos y Soluciones</b>	-Agua destilada. -Solución patrón de absorbancia.	-Muestra de agua residual doméstica. -Solución patrón ftalato ácido de potasio.
<b>Técnica</b>	<p>-Agitar el vial de la solución patrón y ubicar en la gradilla.</p> <p>-Tomar 2 ml de muestra para verter en el vial.</p> <p>-Tapar y homogenizar el contenido.</p> <p>-Encender el termorreactor a la temperatura de <math>148 \pm 2^\circ\text{C}</math> y colocar el vial durante 2 horas.</p> <p>-Terminada la reacción en el tiempo indicado, dejar enfriar.</p> <p>-Limpiar las paredes externas del vial con agua destilada y secar con un paño seco y limpio.</p> <p>-Seleccionar el método en el espectrofotómetro y calibrar con la solución patrón.</p> <p>-Colocar el vial con la muestra y medir. Leer los resultados y anotar.</p>	

**Fuente:** (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).

### 3.2.3.5. Demanda Bioquímica De Oxígeno

**Tabla 5-3: STANDARD METHODS \*5210 B (Demanda Bioquímica de Oxígeno)**

<b>Fundamento</b>	Determina la cantidad de oxígeno necesario para degradar la materia orgánica de una muestra de agua usando una población microbiana heterogénea, en un periodo de 5 días.	
<b>Equipo</b>	Incubadora de aire controlada termostáticamente a $20 \pm 1$ °C.	
<b>Materiales</b>	-Agitador magnético.	-Balón aforado de 100 ml.
	-Botellas winkler de 300 ml. -Pipeta. -Tapa de sello.	-Cabezales de medición. -Probeta.
<b>Reactivos y Soluciones</b>	-Agua destilada. -Muestra de agua residual doméstica.	-Ampolla de nutrientes. -Escamas de hidróxido de potasio.
<b>Técnica</b>	<p>-En un balón aforado diluir 10ml de la muestra con 100 ml de agua destilada.</p> <p>-Hacer este procedimiento una vez más hasta obtener 200ml de muestra diluida.</p> <p>-Colocar 150 ml de la dilución en la botella winkler y añadir una ampolla de nutrientes e introducir el agitador magnético.</p> <p>-En el tapón colocar una escama de hidróxido de potasio y sellar la botella con el mismo.</p> <p>-Enroscar el cabezal de medición y encender.</p> <p>-Colocar la botella en la incubadora de aire y esperar un periodo de 5 días.</p> <p>-Transcurrido el tiempo indicado tomar la lectura de los datos obtenidos en el cabezal de medición y anotar.</p>	

Fuente: (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).

### 3.2.3.6. Nitrógeno amoniacal

**Tabla 6-3: Método HACH \*8155 N-NH<sub>3</sub> (Nitrógeno Amoniacal)**

<b>Fundamento</b>	Los compuestos amoniacales reaccionan con el salicilato para formar el aminosalicilato 5. Este compuesto se oxida en presencia de un reactivo para obtener una solución final de color verde.	
<b>Equipo</b>	Equipo Hach.	
<b>Materiales</b>	-Celdas de 10 ml. -Vaso de precipitación.	-Paños para limpiar las cubetas. -Tijera.
<b>Reactivos</b>	-Agua destilada. -Sobre de salicilato de amonio (reactivo 1). 2).	-Muestra de agua residual doméstica. -Sobre de cianuro de amonio (reactivo
<b>Técnica</b>	<p>-Seleccionar el programa 385 N en el equipo y pulsar ENTER.</p> <p>-Verter 10 ml de muestra en una celda y 10 ml de agua destilada en otra para preparar el blanco.</p> <p>-Añadir el contenido de un sobre del reactivo 1 en cada celda, y homogenizar durante 30 segundos.</p> <p>-Pulsar SHIF TIMER para programar el temporizador a 3 minutos, como periodo de reacción.</p> <p>-Finalizado el tiempo, agregar el reactivo 2 a cada celda y agitar. Se notará una coloración verde indicativo de la presencia de nitrógeno amoniacal.</p> <p>-Pulsar SHIF TIMER para programar nuevamente el temporizador a 15 minutos, como periodo de reacción.</p> <p>-Terminado el tiempo, colocar el blanco en el equipo y pulsar ZERO para encerrar.</p> <p>-Colocar la celda de la muestra preparada y pulsar READ. Anotar los resultados.</p>	

Fuente: (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).



### 3.2.3.7. Sulfatos

**Tabla 7-3: Método HACH \*8051 SO4<sup>2-</sup>- (Sulfatos)**

<b>Fundamento</b>	Los iones de sulfato en la muestra reaccionan con el bario en el reactivo de sulfato SulfaVer 4 y forman una turbidez de sulfato de bario insoluble. La cantidad de turbidez formada es proporcional a la concentración de sulfato.	
<b>Equipo</b>	Equipo Hach.	
<b>Materiales</b>	-Celdas de 10 ml. -Vaso de precipitación.	-Paños para limpiar las celdas. -Tijera.
<b>Reactivos</b>	-Agua destilada. -Sobre de sul-fa ver 4.	-Muestra de agua residual doméstica.
<b>Técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seleccionar el programa 680 Sulfato en el equipo y pulsar ENTER.</li> <li>-Verter 10 ml de muestra en una celda, añadir el contenido de un sobre de reactivo sul-fa ver 4 y agitar para mezclar. En la presencia de sulfato se observará una turbidez blanca.</li> <li>-Pulsar SHIF TIMER para empezar un periodo de reacción de cinco minutos.</li> <li>-Llene una segunda celda con 10 ml de agua destilada (blanco).</li> <li>-Terminado el tiempo, insertar la celda en el equipo y pulsar ZERO para encerrar. Comienza un tiempo de reacción de 5 minutos.</li> <li>-Finalizado el tiempo indicado, limpiar la celda de la muestra preparada e insertar en el equipo.</li> <li>-Pulsar READ y anotar el resultado.</li> </ul>	

**Fuente:** (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).

### 3.2.3.8. Fosfatos

**Tabla 8-3: Método HACH \*8048 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (Fosfatos)**

<b>Fundamento</b>	El fósforo reacciona con molibdato en un medio ácido para producir un complejo de fosfomolibdato. El ácido ascórbico reduce entonces el complejo, dando un color azul intenso de molibdeno.	
<b>Equipo</b>	Equipo Hach.	
<b>Materiales</b>	-Cubetas de 10 ml. -Tijeras.	-Vaso de precipitación. -Paños para limpiar las cubetas.
<b>Reactivos</b>	-Agua destilada. -Reactivo Phos Ver 3.	-Muestra de agua residual doméstica.
<b>Técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seleccionar el programa 79 PO<sub>4</sub> en el equipo y pulsar ENTER.</li> <li>-Verter 10 ml de muestra en una cubeta, añadir un sobre del reactivo PhosVer 3, y agitar aproximadamente unos 30 segundos.</li> <li>-Pulsar SHIF TIMER para programar el temporizador a 2 min, como periodo de reacción de la sustancia.</li> <li>-Verter 10 ml de agua destilada en otra cubeta (blanco).</li> <li>-Limpiar las cubetas con un paño para eliminar cualquier interferencia que pueda afectar la medición o lectura.</li> <li>-Finalizado el tiempo colocar el blanco en el equipo, pulsar ZERO para encerrar.</li> <li>-Después colocar la cubeta con la muestra y pulsar READ. Anotar los resultados.</li> </ul>	

**Fuente:** (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).

### 3.2.3.9. Sólidos Suspendidos

**Tabla 9-3: STANDARD METHODS \*2540 D (Sólidos Suspendidos)**

<b>Fundamento</b>	Es un método gravimétrico que define la porción de sólidos retenidos en un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se deja secar a 103-105°C. El aumento del peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos.	
<b>Equipo</b>	-Balanza analítica. -Estufa.	-Equipo de filtración al vacío.
<b>Materiales</b>	-Desecador. -Vaso de precipitación.	-Filtro de fibra de vidrio. -Pinza.
<b>Reactivos</b>	Muestra de agua residual doméstica.	
<b>Técnica</b>	<p>-Pesar el filtro, anotar su peso uno y colocar en el equipo de filtración al vacío.</p> <p>-Encender el equipo, verter 100 ml de la muestra y después colocar dentro de la estufa 1 hora.</p> <p>-Transcurrido el tiempo indicado, llevar el filtro al desecador y dejar 30 minutos.</p> <p>-Pesar el filtro y anotar el peso dos. Realizar los cálculos correspondientes con ambos pesos y obtener el resultado.</p>	

Fuente: (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).

### 3.2.3.10. Sólidos Sedimentables

**Tabla 10-3 STANDARD METHODS \*2540 F (Sólidos Sedimentables)**

<b>Fundamento</b>	Define el volumen de sólidos que en un tiempo determinado se sedimentan en el fondo de un recipiente en condiciones estáticas.	
<b>Materiales</b>	-Base para conos Imhoff. -Cronómetro.	-Cono Imhoff.
<b>Reactivos</b>	Muestra de agua residual doméstica.	
<b>Técnica</b>	<p>-Colocar el cono Imhoff en la base para que quede estático y agregar un litro de muestra previamente homogenizada, hasta la marca indicativa.</p> <p>-Dejar sedimentar 45 minutos, transcurrido este tiempo girar suavemente el cono y dejar 15 minutos más.</p> <p>Registrar el volumen.</p>	

Fuente: (Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, 2018).

### 3.2.3.11. Sólidos Totales

**Tabla 11-3: STANDARD METHODS \*2540 B (Sólidos Totales)**

<b>Fundamento</b>	Determina la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103-105°C. El aumento de peso de la cápsula representa los sólidos totales.
<b>Equipo</b>	-Estufa. <span style="float: right;">-Balanza analítica.</span> -Equipo para Baño María.
<b>Materiales</b>	-Caja Petri. <span style="float: right;">-Desecador. -</span> Vaso de precipitación. <span style="float: right;">-Pinza.</span>
<b>Reactivos</b>	-Muestra de agua residual doméstica.
<b>Técnica</b>	-Colocar la caja Petri en la estufa durante 1 hora. -Terminado el tiempo, llevar al desecador y dejar 1 hora. -Pesar y registrar el peso 1. -Homogenizar la muestra y añadir 25 ml en la caja. -Situara la caja en el equipo para secado a baño maría. -Retirar del equipo una vez que se haya secado totalmente. -Llevar nuevamente a la estufa y dejar 1 hora. -Colocar después en el desecador durante otra hora más. -Finalizado el tiempo, pesar y registrar el peso 2. -Realizar los cálculos correspondientes con ambos pesos y obtener el resultado.

Fuente: (APHA, AWWA & WEF, 1992)

### 3.2.4. Procedimiento a nivel de laboratorio

#### 3.2.4.1. Medición del caudal del agua residual

Para lograr la medición del caudal volumétrico, de la empresa se realizó con un balde de 20 litros y un cronometro, lo cual se realizó durante una variación de tiempo de 2 horas y se obtuvo su caudal volumétrico de mayor cantidad y de menos cantidad.

A continuación, en la tabla 12-1 se detalla los días de medición de caudal.

**Tabla 12-3: Medición del caudal**

<b>Horas</b>	<b>Lunes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Viernes</b>	<b>Sábado</b>
<b>Q=L/min</b>				
8:00	32	34	33	37
10:00	31	35	30	30
12:00	34	33	32	28
14:00	30	34	30	29
16:00	30	34	31	30
<b>Promedio</b>	<b>31.4</b>	<b>34</b>	<b>31.2</b>	<b>30.8</b>

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

Para calcular el caudal se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

**Ec. 1-1.**

**Donde:**

**Q**= caudal, L/s

**V**= volumen de llenado, L

**t**= tiempo de llenado, s

Obteniendo una caudal volumétrico de mayor descarga 34 L/min el día miércoles.

#### **3.2.4.2. Muestreo de agua residual**

El tipo de muestreo que se utilizó en la planta fue una muestra compuesta, la cual consiste en una combinación de muestras recogidas de la tubería de descarga a diferentes tiempos que es dirigida hacia al alcantarillado.

Se realizó un muestreo en un intervalo de cada hora durante la jornada de trabajo de la planta, siguiendo la **Norma INEN 2176:1998, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo”**. Lo cual se siguió los siguientes pasos para recolección de muestra:

- ❖ *Seleccionar del punto de monitoreo.*
- ❖ *Esterilizar los frascos toma muestra.*
- ❖ *Tomar la muestra con cuidado, evitando contaminación por otros agentes que no tienen que ver con el agua residual.*
- ❖ *Etiquetar con letra legible y con bolígrafo imborrable las etiquetas de los frascos.*
- ❖ *Si cuenta con equipos para medición de parámetros in situ, calibre el pHmetro, conductímetro siguiendo los procedimientos del equipo fabricante.*
- ❖ *Medir el caudal del efluente, preferiblemente por método volumétrico manual, empleando cronómetro.*
- ❖ *Colocar las muestras dentro de la nevera.*
- ❖ *Realizar los análisis respectivos en el laboratorio*

### 3.2.4.3. Cronograma de muestreo

**Tabla 13-3:** Cronograma de muestreo

Días	Muestra simple	Muestra compuesta	Hora de muestreo	Lugar del muestreo
Lunes	4	2	8:00am-11:00am	Descarga al alcantarillado
Miércoles	4	2	11:00am-14:pm	Descarga al alcantarillado
Viernes	4	2	8:00am-11:00am	Descarga al alcantarillado
Sábado	4	2	11:00am-14:pm	Descarga al alcantarillado
<b>Total de muestras</b>	16	8		

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

Se realizó siguiendo la Norma INEN 2176:1998, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo”.

### 3.2.4.4. Caracterización inicial del agua residual y análisis

Para el diseño del sistema de la planta de tratamiento de aguas residual tomando encuesta los límites en base a la norma TULSMA tabla 8. Acuerdo Ministerial 097A del 04 de noviembre del 2015 Límites de descarga al sistema de alcantarillado.

La caracterización inicial de la muestra de agua se llevó a cabo en el laboratorio de Calidad de Aguas en a la Facultad de Ciencias ESPOCH y en el Laboratorio Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

**Tabla 14-3:** Caracterización inicial del agua residual

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS INICIALES	MÉTODO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE NORMA TULSMA TABLA 8
*pH	-	5.69	PE-LSA-01	6-9
Temperatura	<sup>0</sup> C	18		< 40
Turbiedad	FTU – NTU	9240	STANDARD METHODS 2130 – B	-
Conductividad	ms/cm	1,39	PE-LSA-02	-
Color	Upt-co	9200	STANDARD METHODS 2120 – C	Inapreciable en dilución:1/20
*DBO5	mg/L	8200	STANDARD METHODS 5210 – B	250

<b>*DQO</b>	mg/L	14800	STANDARD METHODS 5220 - D mod	900
<b>Alcanidad</b>	mg/L	500		-
<b>*Detergentes</b>	mg/L	2.5	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2
<b>*Aceites y Grasa</b>	mg/L	4947	EPA 418.1	70
<b>*Sólidos Totales</b>	mg/L	11452	PE-LSA-04	1600
<b>Sólidos De Sedimentables (ml/L)</b>	ml/L	9	STANDARD METHODS 2540 - F	20
<b>Calcio</b>	mg/L	416.70	STANDARD METHODS 3500 Ca- 3111B	-
<b>*Sulfatos</b>	mg/L	700	STANDARD METHODS 4500SO4- E	400
<b>Nitrógenos Totales</b>	mg/L	39	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	60
<b>Cloruros</b>	mg/L	212.7	STANDARD METHODS 4500 - Cl - E	1000
<b>*Fósforos Totales</b>	mg/L	230	STANDARD METHODS 4500 - P - E	15,0
<b>*Coliformes Fecales</b>	UFC/100ml	$6.1 \times 10^6$	STANDARD METHODS 9222 - D	2000

\*Parámetros que se encuentra fuera de la norma

**Fuente:** (Laboratorio de Servicios Ambientales S.A y Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH, 2018)

Mediante la caracterización inicial se pudo observar los parámetros que se encuentra fuera de la norma como son los siguientes:  $DBO_5 = 8200 \text{ mg/L}$ ,  $DQO = 14800 \text{ mg/L}$ , Detergentes=  $2.5 \text{ mg/L}$ , Aceites y Grasas=  $11452 \text{ mg/L}$ , sulfatos=  $700 \text{ mg/L}$ , Fosfatos totales=  $230 \text{ mg/L}$ , Coliformes fecales=  $6.1 \times 10^6 \text{ UFC/100ml}$ , lo cual se deberá realizar los diferentes tipos de tratabilidad para menorar su contaminación del agua residual.

### 3.2.4.5. Tratamiento del agua residual

Para el tratamiento del agua residual de la planta de lácteos santa cruz se adaptó un tratamiento físico químico mediante el índice de biodegradabilidad.

#### 3.2.4.5.1. Índice de biodegradabilidad

Para el proceso de depuración de las aguas residuales es sumamente importante la relación que existe entre la Demanda Química y Demanda Bioquímica de Oxígeno, el resultado de esta

relación proporciona una clara idea de la capacidad que tendrá el agua para ser degradada física, química o biológicamente. (Peña, 2015)

**Tabla 15-3:** Índice de biodegradabilidad

$\frac{DQO}{DBO_5}$	Tipo de biodegradabilidad	Tipo de tratamiento
<1.5	Muy biodegradable	Materia orgánica muy degradable requiere tratamiento biológico
<1.5X<10	Biodegradable	Materia orgánica moderadamente biodegradable, puede ser un tratamiento Físico-químico o Biológico
10<	Poco biodegradable	Materia orgánica poco degradable, requiere de un tratamiento físico-químico.

Fuente: (Cisterna & Peña, 2015).

**Por lo tanto:**

$$\frac{DQO}{DBO_5} = \frac{14800}{8200}$$

**Ec. 2-1.**

$$\frac{DQO}{DBO_5} = 1.8$$

El resultado obtenido de la caracterización inicial de la muestra compuesta se obtuvo un índice de biodegradabilidad de 1.8 lo cual este me permite realizar un tratamiento Físico-químico o biológico.

### **3.2.4.6. Tratamiento físico**

#### **3.2.4.6.1. Trampa de Grasa**

Las trampas de grasa consisten en un sistema mecánico que, mediante una serie de compartimentos especiales en un tanque, separa del agua aquellos residuos sólidos y restos de grasa, evitando que avancen por el sistema de cañería y desagüe. De esta forma se mantiene una circulación fluida sin obstrucciones, impidiendo la acumulación de sustancias indeseadas. Así las aguas vertidas pueden proseguir con seguridad hacia los sistemas de evacuación y tratamiento. (Torres, 2013)

Este tratamiento comienza con una operación de separación de trozos de queso en la parte inferior y la grasa en la parte superior, se realizó a escala de laboratorio lo cual se utilizó un prototipo de trampa de grasa lo cual se pasó lentamente la muestra compuesta.



**Fotografía 1-3:** Trampa de Grasa a nivel de laboratorio

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

#### **3.2.4.6.2. Aeración**

Es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles en ellas. Su función principal, en el tratamiento de aguas residuales, consiste en facilitar oxígeno y mezcla en los procesos de tratamiento biológico aerobios (Rojas, 2012)

El tratamiento de aeración se utilizó para ayudarnos en un 70% la eliminación de la grasa, lo cual nos ayudamos inyectando aire mediante una bomba del vacío en un balde de 20 litros con intervalos de tiempo de 1 hora, este tratamiento de aeración nos ayuda a mejorar nuestro pH.



**Fotografía 2-3:** Proceso de aeración a escala de laboratorio

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.



### **3.2.4.6.3. Sedimentador**

La sedimentación se utiliza para separar las partículas sólidas dispersas en un líquido. La diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el líquido hace que, aunque éste último tenga un movimiento ascendente y las partículas sólidas sedimenten, depositándose en el fondo de donde son eliminadas en forma de lodos. La viscosidad del líquido frena las partículas sólidas, que deben vencer el rozamiento con el líquido en el movimiento de caída. (Galiano, 2000)

Después del tratamiento de aeración se realizó a nivel de laboratorio una sedimentación de larga duración entre 12 y 24 horas lo cual esto nos ayudó a eliminar sedimentos, ocupando en la parte inferior de recipiente, nos ayudó en la claridad del agua residual como en su turbiedad.



**Fotografía 3-3:** Proceso de sedimentación a escala de laboratorio

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

### **3.2.4.7. Tratamiento químico**

#### **3.2.4.7.1. Test de Jarras**

La prueba de jarras se utiliza para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de y tratamiento, especialmente cuando la calidad de agua fluctúa rápidamente. Se puede utilizar también como objetivo de determinar la velocidad de sedimentación para el diseño de tanques. (SANTANA, 2011).

**Tabla 16-3:** Materiales. Equipos, sustancias y reactivos de la prueba de jarra

<b>Materiales y equipos</b>	<b>Reactivos y sustancias</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>Equipo de jaras</i></li> <li>➤ <i>Balón aforado 100ml</i></li> <li>➤ <i>Pipetas de 5ml y 10ml</i></li> <li>➤ <i>Vasos de presipitacion</i></li> <li>➤ <i>Probeta graduada</i></li> <li>➤ <i>pH-metro</i></li> <li>➤ <i>Turbidimetro</i></li> <li>➤ <i>Vasos de 1000ml</i></li> <li>➤ <i>Balanza Analítica</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>Agua destilada</i></li> <li>➤ <i>Coagulante</i></li> <li>▪ <i>Policloruro de aluminio al 10%</i></li> <li>▪ <i>Sulfato de aluminio al 10%</i></li> <li>▪ <i>Cloruro férrico al 10%</i></li> <li>➤ <i>Floculante</i></li> <li>▪ <i>Polielectrolitos al 0.05%</i></li> <li>▪ <i>NaOH 1N</i></li> <li>➤ <i>Agua residual láctea</i></li> </ul>

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

Una vez ya estudiado los diferentes tipos de coagulantes que se utiliza se realizaron las siguientes pruebas:

➤ **Tratamiento De Sulfato De Aluminio**

Se realizó una dosificación optima de 10ml, con una agitación constante de 200rpm por 5 min, fue necesario aumentar su pH con 2ml de NaOH 1N, obteniendo un pH=9 y por último se dejó en reposo de 30min.

**Tabla 17-3:** Test de jarras adicionando sulfato de Aluminio al 10%

<b>Químico</b>	<b>Dosificación</b>	<b>pH</b>	<b>Turbiedad</b>	<b>Conductividad</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Sulfato de aluminio 10% con un pH= 9</b>	10ml	4,92	137	1.95	Gracia al aumentare el pH se dio un mejor tratamiento que con el que contiene un pH=6 se formó un precipitado ideal
<b>Sulfato de aluminio 10% con un pH= 6</b>	10ml	3.73	615	1.95	Mediante el transcurso de reposo más de los 30min se observó que su precipitado comenzó ascender formando dos fases, lo cual no es un tratamiento ideal para el agua residual de lácteos.

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

➤ **Tratamiento Cloruro Férrico**

Una dosificación optima de 10ml de Cloruro Férrico 10%, con una agitación constante de 200rpm por un tiempo de 5 min, fue necesario aumentar su pH con 2ml de NaOH 1N, obteniendo un pH=9 y por último se dejó en reposo de 30min.

**Tabla 18-3:** Test de jarras adicionando Cloruro Férrico al 10%

Químico	Dosificación	pH	Turbiedad	Conductividad	Observaciones
<b>Cloruro férrico 10% con un pH= 9</b>	10ml	7.87	173	1.95	En este tratamiento químico dio una precipitación que mediante el tiempo pasaba se comenzaba a flotar el precipitado lo cual esto no es ideal para el tratamiento de agua residual
<b>Cloruro férrico 10% con un pH= 6</b>	10ml	5.03	1667	1.95	

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

➤ **Tratamiento Policloruro de Aluminio**

Se realizó una dosificación optima de 10ml de Policloruro de Aluminio 10%, con una agitación constante de 200rpm por un tiempo de 5 min, fue necesario aumentar su pH con 2ml de NaOH 1N, obteniendo un pH=9 y por último se dejó en reposo de 30min.

**Tabla 19-3:** Test de jarras adicionando Policloruro de Aluminio al 10%

Químico	Dosificación	pH	Turbiedad	Conductividad	Observaciones
<b>Policloruro de aluminio 10% con un pH= 9</b>	10ml	7.85	60	1.95	En este tratamiento no se dio cambios en ninguno de los diferentes pH obtuvimos un mejor resultado en el pH=9 como en su turbiedad, color y pH.
<b>Policloruro de aluminio 10% con un pH= 6</b>	10ml	6.73	457	1.95	

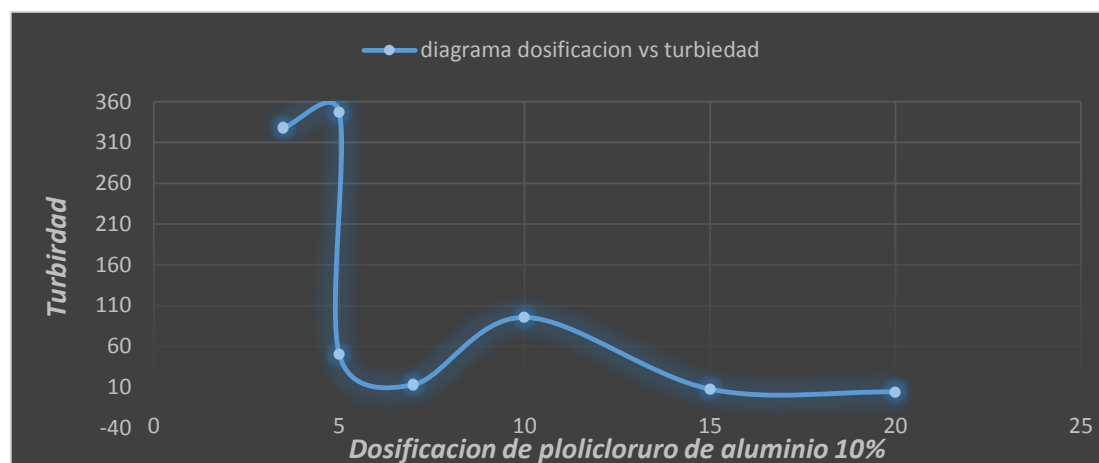
Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

Realizado los tratamientos con los tres coagulantes nos ayudó a determinar que el coagulante más efectivo fue el Poli cloruro de aluminio al 10%, también a que obtuvimos un pH optimo nos ayudó a seleccionar el coagulante correcto. En la siguiente tabla vamos a determinar la dosificación más correcta que se aplicara a las diferentes muestras compuestas que trataremos en nuestro trabajo de titulación.

**Tabla 20-3:** Test de jarras con la dosificación de Policloruro De Aluminio al 10%

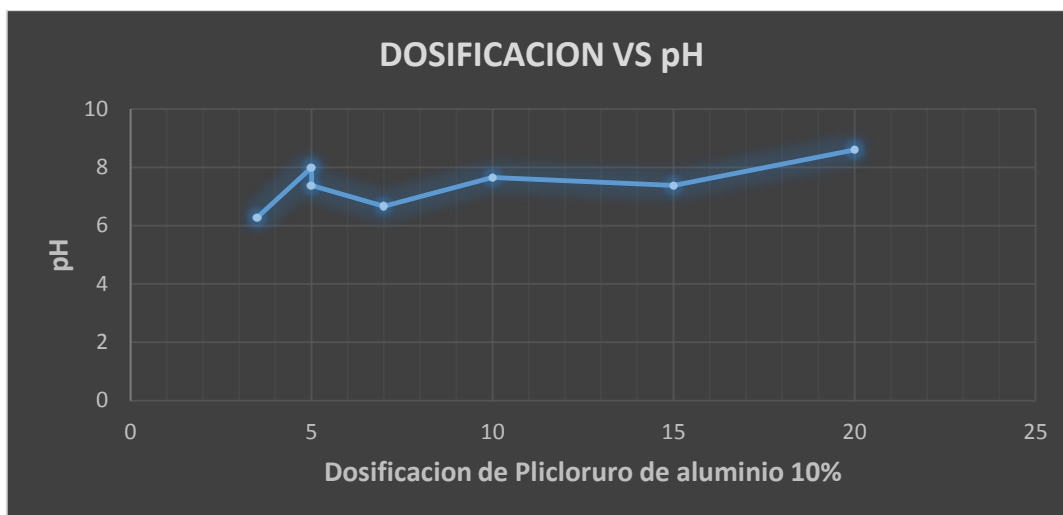
DOSIFICACIÓN (ml)	PPM	NAOH (mL)	TURBIEDAD	pH	COLOR
20	2000	2	4.1	8.60	30
15	1500	2	7.58	7.38	50
10	1000	2	95.6	7.65	654
7	700	2	13	6.67	120
5	500	2	50.1	7.38	184
5 con poli electrólito(0.5ml)	500	2	347	7.99	854

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.



**Gráfico 3-3:** Dosificación de Pol cloruro de aluminio 10% vs Turbiedad

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.



**Grafico 4-3:** Dosificación de Poli cloruró de aluminio 10% vs pH

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

El tratamiento químico realizado a diferentes dosificaciones nos permitió tener una amplia idea de su dosificación óptica mediante sus caracterizaciones básicas como su pH, turbiedad, y color nos ayuda a encontrar su dosificación ideal lo cual es los 5ml de poli cloruró de aluminio 10% lo cual se obtuvo una turbiedad=50, pH= 7,38 y color= 184.

Con los resultados de la tabla 20-1, la dosificación de 5ml, es ideal para el diseño de la planta de tratamientos de agua residual tanto económicamente. Los cuales se indicarán los resultados obtenidos en la siguiente tabla.

**Tabla 21-3:** Caracterización de los Parámetros mediante el tratamiento químico

PARÁMETROS	UNIDADES	TRATAMIENTO QUÍMICO CON 5ml DE POLICLORURÓ DE ALUMINIO AL 10%	MÉTODO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE LA NORMA TULSMA TABLA 8
pH	-	7.58	PE-LSA-01	6-9
Temperatura	<sup>o</sup> C	20		< 40
Turbiedad	FTU – NTU	58	STANDARD METHODS 2130 – B	-
Conductividad	ms/cm	1.5	PE-LSA-02	-
Color	Upt-co	50	STANDARD METHODS 2120 – C	Inapreciable en dilución:1/20
*DBO5	mg/L	500	STANDARD METHODS 5210 – B	250

<b>*DQO</b>	mg/L	1130	STANDARD METHODS 5220 - D mod	900
<b>Alcanidad</b>	mg/L	400		-
<b>Detergentes</b>	mg/L	1.26	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2
<b>*Aceites y Grasa</b>	mg/L	100	EPA 418.1	70
<b>Solidos Totales</b>	mg/L	1600	PE-LSA-04	1600
<b>Solidos De Sedimentables (ml/L)</b>	ml/L	1	STANDARD METHODS 2540 - F	20
<b>Calcio</b>	mg/L	200	STANDARD METHODS 3500 Ca-3111B	-
<b>Sulfatos</b>	mg/L	428	STANDARD METHODS 4500SO4-E	400
<b>Nitrógenos Totales</b>	mg/L	10	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	60
<b>Cloruros</b>	mg/L	150	STANDARD METHODS 4500 - Cl - E	1000
<b>*Fósforos Totales</b>	mg/L	20	STANDARD METHODS 4500 - P - E	15,0
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100ml	15	STANDARD METHODS 9222 - D	2000

\*Parámetros que se encuentra fuera de la norma

**Fuente:** (Laboratorio de Servicios Ambientales S.A y Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH, 2018).

Con tratamiento químico nos ha permitido estar dentro de los parámetros de la norma TULSMA tabla 8. Acuerdo Ministerial 097A del 04 de noviembre del 2015 Límites de descarga al sistema de alcantarillado, pero al mismo tiempo hay parámetros que no están entre los límites de la norma como son: **DQO=1130mg/L**, **DBO5= 500mg/L**, **Aceite y grasas= 100mg/L** y **Fósforos totales= 20mg/L**

### 3.2.4.7.2. Filtración

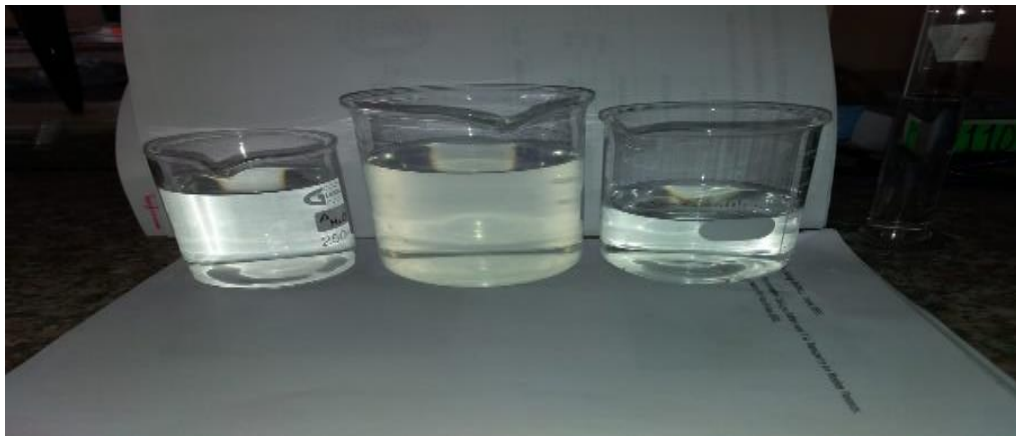
La filtración se puede definir como el proceso por el cual se separa la materia suspendida mediante el paso del agua a través de una capa porosa (generalmente arena) que tiene las partículas en suspensión (Unda, 1969)

El filtro que se construyo fue de arena, grava delgada y grava gruesa lo que esto nos permitió una mejor claridad del agua residual como su turbiedad al mismo tiempo mejorando algunos parámetros.



**Fotografía 4-3:** Proceso de filtración empleando un filtro de arena y grava a nivel de laboratorio  
**Realizado por:** JIMÉNEZ Víctor, 2018.

Después de la filtración se hizo una cloración de 2ml de cloro al 3% x cada litro de agua filtrada lo cual obtuvimos un mejor resultado de la caracterización de los parámetros realizados obtenidos en la siguiente tabla.



**Fotografía 5-3:** Agua residual obtenida posterior a la cloración.  
**Realizado por:** JIMÉNEZ Víctor, 2018.

**Tabla 22-3:** Resultados finales del agua residual después del tratamiento

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADO FINAL	MÉTODO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE LA NORMA TULSMA TABLA 8
pH	-	8.43	4500-H-B	6-9
Temperatura	<sup>0</sup> C	20		< 40
Turbiedad	FTU – NTU	3	STANDARD METHODS 2130 – B	-

<b>Conductividad</b>	ms/cm	1.15	2510-B	-
<b>Color</b>	Upt-co	10	STANDARD METHODS 2120 – C	Inapreciable en dilución: 1/20
<b>DBO5</b>	mg/L	150	STANDARD METHODS 5210 – B	250
<b>DQO</b>	mg/L	413	STANDARD METHODS 5220 - D mod	500
<b>Alcalinidad</b>	mg/L	30		-
<b>Detergentes</b>	mg/L	0.26	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2
<b>Aceites y Grasa</b>	mg/L	9.6	5520-B	70
<b>Solidos Totales</b>	mg/L	892	2540-B	1600
<b>Solidos De Sedimentables (ml/L)</b>	ml/L	<1	STANDARD METHODS 2540 – F	20
<b>Calcio</b>	mg/L	94.70	STANDARD METHODS 2340- C	-
<b>Sulfatos</b>	mg/L	110	STANDARD METHODS 4500SO4-E	400
<b>Nitrógenos Totales</b>	mg/L	1.88	STANDARD METHODS 4500 – C	60
<b>Cloruros</b>	mg/L	99.26	STANDARD METHODS 4500 - Cl – B	1000
<b>Fósforos Totales</b>	mg/L	0.29	STANDARD METHODS 4500 - P – B	15,0
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100ml	0	STANDARD METHODS 9222 – D	2000

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

### 3.2.5. Dimensionamiento de los equipos

#### 3.2.5.1. Cálculo del caudal de diseño

El caudal calculado debe ser multiplicado por un factor de seguridad para evitar fallas por falta de espacio en los equipos para el tratamiento del agua residual, se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$Q_d = Q_c + Q_c * FS$$

**Ec 1-3.**



Donde:

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $m^3 / s$ .

$Q_c$ : Caudal calculado,  $m^3 / s$ .

$$Q_d = 0.00054 + 0.00054 * 1.15$$

$$Q_d = 0.0012 \frac{m^3}{s}$$

### 3.2.5.2. *Vertedero de entrada del agua residual*

El flujo de agua residual desde la empresa hacia la planta de tratamiento de agua se realizará a través de un canal tipo rectangular, el cual permitirá y regulará el paso del flujo, se escoge este tipo de vertedero debido a que es el de más fácil construcción con lo que se reducirá los costos de implementación y construcción de la planta, las condiciones de diseño de este tipo de vertederos se detallan a continuación:

- *Material de construcción: Asbesto*
- *Caudal de diseño: 0.51 l/s.*
- *La altura de la cresta debe ser mayor a 0.15 m.*
- *La longitud de la cresta no debe ser mayor a 0.5 m.*
- *La relación carga/altura debe ser menor a 1.5 m.*
- *Ancho de la cresta:*
- *Altura mínima sobre el vertedero debe ser mayor a 0.06 m. Recopilado de (Metcalf, 2012, pp. 220-230) en el libro de sistemas hidráulicos para el tratamiento de agua residual.*

#### ➤ *Cálculo del coeficiente de descarga*

$$C_v = 0.56 + \frac{0.0087}{h_m^{0.5}}$$

**Ec. 1-3.**

Donde:

$C_v$ : Coeficiente de descarga, adimensional.

$h_m$ : Altura mínima sobre el vertedero, m.

$$C_d = 0.56 + \frac{0.0087}{0.07^{0.5}}$$

$$C_d = 0.6 \text{ adimensional}$$

➤ *Cálculo de la carga hidráulica*

$$C_d = \left( \frac{H}{h_m} \right)^{\frac{3}{2}}$$

**Ec. 2-3.**

Donde:

H: Carga hidráulica, m.

$C_d$ : Coeficiente de descarga, adimensional.

$h_m$ : Altura mínima sobre el vertedero, m.

$$H = \sqrt[3]{C_v} * h_m$$

**Ec. 3-3.**

$$H = \sqrt[3]{0.60} * 0.07$$

$$H = 0.03 \text{ m}$$

➤ *Calculo del ancho de la cresta*

$$Q = \frac{2}{3} C_v * \sqrt{2g} * w * H^{\frac{3}{2}}$$

**Ec. 4-3.**

Donde.

Q: Gasto en el vertedero, m<sup>3</sup>/s.

C<sub>v</sub>: Coeficiente de descarga, adimensional.

g: Fuerza de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

w: Ancho de la cresta, m.

H: Carga hidráulica del vertedero, m.

$$w = \frac{3Q}{C_v * \sqrt{2g} * H^{\frac{3}{2}}}$$

$$w = \frac{3 * 0.0012}{0.6 * \sqrt{2 * 9.8} * 0.03^{\frac{3}{2}}}$$

$$w = 0.26 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de la longitud del vertedero*

$$l_v = 5w$$

**Ec. 5-3**

Donde:

l<sub>v</sub>: Longitud del vertedero, m.

w: Ancho de la cresta, m.

$$l = 5 * 0.26$$

$$l = 1.30 \text{ m}$$

➤ *Cálculo del ancho del vertedero*

$$W = 1.5 w$$

**Ec. 6-3.**

Donde:

W: Ancho del canal, m.

w: Ancho de la cresta, m.

$$B = 1.5 * 0.26$$

$$B = 0.39 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de la distancia del fondo del canal hasta la cresta del vertedero***

$$C_v = 0.605 - \frac{1}{1050w - 3} - \frac{0.008 b}{df}$$

**Ec. 7-3.**

Donde:

$C_v$ : Coeficiente de descarga.

$w$ : Ancho de la cresta, m.

$df$ : Distancia entre el fondo del canal hasta la cresta, m.

$$z = \frac{0.008 b}{0.605 - C_d - \frac{1}{1050b-3}}$$

$$z = \frac{0.605 - 0.60 - \frac{1}{1050*(0.26)-3}}{0.008 * 0.26}$$

$$z = 0.62 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de la altura del vertedero***

$$H_{max} = 1.75w + df$$

**Ec. 8-3.**

Donde:

$H_{max}$ : Altura del vertedero, m.

$w$ : Ancho de la cresta, m.

$df$ : Distancia en relación con el fondo, m.

$$H_{max} = 1.75 * 0.26 + 0.62$$

$$H_{max} = 1.07 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de la velocidad de flujo dentro del vertedero*

$$v = \sqrt{2g(H - df)}$$

**Ec. 9-3.**

Donde:

v: Velocidad de flujo, m/s.

g: Fuerza de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

H: Altura del vertedero, m.

h<sub>1</sub>: Altura mínima sobre el vertedero

$$v = \sqrt{(2 * 9.8 * (1.07 - 0.68))}$$

$$v = 2.76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

➤ *Área para gasto del vertedero*

$$A_g = l_v * W$$

**Ec. 10-3.**

Donde:

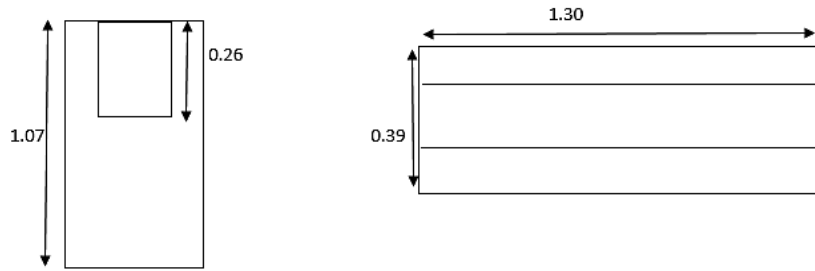
A<sub>g</sub>: Área para el gasto del vertedero, m<sup>2</sup>.

l<sub>v</sub>: Longitud del vertedero, m.

B: Ancho del verterdero, m.

$$A_g = 1.30 * 0.69$$

$$A_b = 0.89 \text{ m}^2$$



**Gráfico 5-3:** Vista lateral y superior del vertedero rectangular.

Realizado por: JIMÉNEZ, Victor. 2019.

### 3.2.5.3. Diseño del sistema atrapa grasas

Las condiciones de diseño para el sistema que atrape las grasas y sólidos gruesos consistirá en un sistema de rejillas con limpieza manual, para las condiciones de diseño se tiene:

Material de las barras: Acero Inoxidable.

Apertura de las rejillas: 18 mm.

Velocidad de aproximación: 3.37 m/s.

Inclinación: 45°.

Dimensión del paso: 25 mm.

Espesor de las barras: 20 mm. Datos recopilados en (Chow, 2012, pp. 110-112) en el diseño de sistemas hidráulicos para el pretratamiento del agua residual.

#### ➤ *Cálculo del área libre del paso*

$$A_p = l_c * w$$

**Ec. 11-3.**

Donde:

$A_p$ : Área libre del paso, m<sup>2</sup>.

$l_c$ : Longitud del canal, m.

$W$ : Ancho del canal, m.

$$A_p = 0.07 * 0.68$$

$$A_p = 0.048 \text{ m}^2$$

➤ **Cálculo del tirante del canal de agua**

$$h_w = \frac{A_p}{w} * Fs$$

**Ec. 12-3.**

Donde:

$h_w$ : Tirante del agua, m.

$A_p$ : Área libre de paso, m<sup>2</sup>.

$w$ : Ancho del canal, m.

$F_s$ : Factor de seguridad para no desbordar el agua; según bibliografía se debe procurar una altura máxima de 20%.

$$h_w = \frac{0.048}{0.39} * 1.2$$

$$h_w = 0.15 \text{ m}$$

➤ **Cálculo de la longitud de las rejas**

$$L = \frac{W + h_w}{\text{sen}\theta}$$

**Ec. 13-3.**

Donde:

$L$ : Longitud de las rejas, m.

$W$ : Ancho del canal, m.

$h_w$ : Tirante de agua, m.

$\theta$ : Angulo de inclinación de las barras, °.

$$L = \frac{0.39 + 0.15}{\text{sen}(45)}$$

$$L = 0.76 \text{ m}$$

➤ **Cálculo del número de barras**

$$n = \frac{w - A_b}{A_b + e_b}$$

**Ec. 14-3.**

Donde:

n: Número de barras, m.

w: Ancho del canal, m.

A<sub>b</sub>: Apertura de las rejillas, m.

e<sub>b</sub>: Espesor de las barras, m.

$$n = \frac{0.39 - 0.0065}{0.0065 + 0.020}$$

$$n = 14.47 \text{ barras} \approx 15 \text{ barras}$$

➤ *Cálculo del área de las rejillas*

$$A_r = n * e_b$$

**Ec. 15-3.**

Donde:

A<sub>r</sub>: Área de las rejillas, m<sup>2</sup>.

n: Número de barras, unidades.

e<sub>b</sub>: Espesor de las barras, m.

$$A_r = 15 * 0.020$$

$$A_r = 0.3 \text{ m}^2$$

➤ *Cálculo de la velocidad de flujo entre las rejillas*

$$v_r = \frac{Q}{A_p - A_r}$$

**Ec. 16-3.**

Donde:

Q: Caudal del lixiviado, m<sup>3</sup>/s.

A<sub>p</sub>: Área libre de paso, m.

A<sub>r</sub>: Área de las rejillas, m.

$$v_r = \frac{0.0012}{0.031 - 0.3}$$



$$v_r = 0.10 \frac{m}{s}$$

➤ *Cálculo de la velocidad de acercamiento*

$$v_{ac} = \frac{Q}{(w - e_b) * h_w}$$

**Ec. 17-3.**

Donde:

Q: Caudal del agua residual, m<sup>3</sup>/s.

h: Ancho del canal, m.

e<sub>b</sub>: Espesor de las barras, m.

h<sub>n</sub>: Tirante de agua, m.

$$v_{ac} = \frac{0.0005}{(0.07 - 0.02) * 2.82}$$

$$v_{ac} = 0.08 \frac{m}{s}$$

➤ *Cálculo de las pérdidas hidráulicas*

$$h_l = 0.07 \left( \frac{v_r^2 - v_{ac}^2}{2g} \right)$$

**Ec. 18-3.**

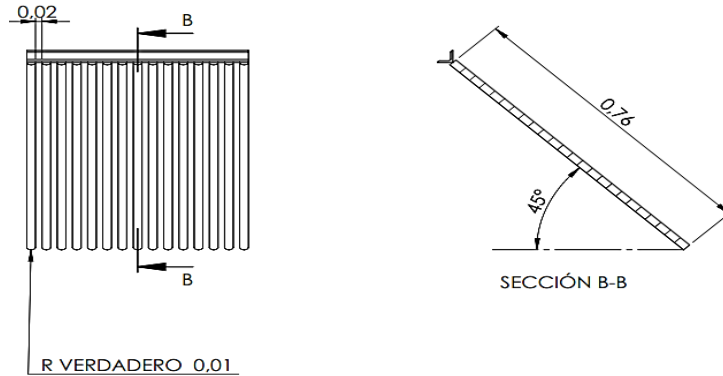
Donde:

v<sub>r</sub>: Velocidad de flujo entre las rejas, m/s.

v<sub>ac</sub>: Velocidad de acercamiento, m/s.

$$h_l = 0.07 \left( \frac{0.1^2 - 0.07^2}{2 * 9.8} \right)$$

$$h_l = 0.001 m$$



**Gráfico 6-3:** Vista lateral y superior del sistema para atrapar grasas.

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2019.

### 3.2.5.4. Cálculo del sistema de transporte de agua residual hacia el tanque de almacenamiento

Es necesario dimensionar el tanque de almacenamiento necesario para la recolección del agua residual, además de dimensionar el sistema de transporte desde el sistema de atrapamiento de grasas hacia el dicho tanque como se muestra a continuación.

#### 3.2.5.4.1. Sistema de tuberías y accesorios

Las condiciones de diseño de las tuberías se mencionan a continuación:

Material de las tuberías: Plástico (PVC).

Velocidad máxima del fluido: 6 m/s para tuberías de plástico.

Distancia longitudinal de la tubería: 3 m.

Altura del tanque: 5 m.

Accesorios: 2 codos de 90°, 2 válvulas de mariposa abierta, 1 válvula check, 2 acoples.

Diámetro nominal: 100 mm.

Densidad del lixiviado: Dado que principalmente es agua con residuos, la densidad será igual a 1200 Kg/m<sup>3</sup> a 9.5°C, temperatura promedio del cantón Santiago de Pillaro.

Viscosidad Dinámica del agua residual:  $1.93 \times 10^{-5} \frac{Kg}{s \cdot m}$ .

Tipo de bomba: Centrifuga. Recopilado de (Crites, 2016, pp. 185-190) en el libro de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

#### ➤ Cálculo de la sección transversal de la tubería

$$Q = v * S_t$$

**Ec. 18-3.**

Donde:

Q: Caudal del agua, m<sup>3</sup>/s

S: Sección transversal, m<sup>2</sup>.

v: Velocidad del fluido, m/s.

$$S_t = \frac{Q}{v}$$

$$S_t = \frac{0.0012}{0.0049}$$

$$S_t = 0.24 \text{ m}^2$$

➤ *Cálculo del radio interno de la tubería*

$$S_t = \pi * r_i^2$$

**Ec. 19-3.**

Donde:

R<sub>i</sub>: Radio interno de la tubería, m.

S: Sección transversal, m<sup>2</sup>.

$$r_i = \sqrt{\frac{S_i}{\pi}}$$

$$r_i = \sqrt{\frac{0.24}{\pi}}$$

$$r_i = 0.27 \text{ m} * \frac{39.37 \text{ inch}}{1 \text{ m}}$$

$$r_i = 11 \text{ inch}$$

➤ *Cálculo de la presión de trabajo*

$$P_t = \frac{c * v}{g}$$

**Ec. 20-3.**

Donde:

c: Celeridad del material, 33.3 kg/m<sup>3</sup> para el caso del tubo PVC.

v: Velocidad de flujo, m/s.

g: Fuerza de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

$$P = \frac{c * v}{g}$$

**Ec. 21-3.**

$$P = \frac{33.3 * 0.0054}{9.8}$$

$$P = 1.88 \text{ Pa}$$

➤ *Cálculo del espesor de la tubería*

$$e_t = \frac{P_t * D_i}{2 * f * L + P}$$

**Ec. 22-3.**

Donde:

P<sub>t</sub>: Presión de trabajo, Pa.

D<sub>i</sub>: Diámetro de la tubería, m.

f: Coeficiente de unión, 1 ya que no existe soldadura.

L: longitud de la tubería, m.

$$e_t = \frac{1.88 * 0.27}{2 * 1 * 5 + 0.01}$$

$$e_t = 0.002 \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$$

$$e = 2 \text{ mm}$$

➤ *Cálculo del diámetro interno de la tubería*

$$D_i = 2 * r_i$$

**Ec. 23-3.**

Donde:

$D_i$ : Diámetro interno de la tubería, m.

$r_i$ : Radio interno de la tubería, m.

$$D_i = 2 * 0.044$$

$$D_i = 0.09 \text{ m}$$

### 3.2.5.4.2. Cálculo de la potencia de la bomba

#### ➤ *Cálculo de la velocidad de trabajo*

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D_i^2}$$

**Ec. 24-3.**

Donde:

$v$ : Velocidad de flujo, m/s.

$Q$ : Caudal volumétrico, m<sup>3</sup>/s.

$D_i$ : Diámetro interno de la tubería, m.

$$v = \frac{4 * 0.0012}{\pi * 0.09^2}$$

$$v = 0.18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### ➤ *Cálculo del número de Reynolds*

$$Re = \frac{v * \rho * D_i}{u}$$

**Ec. 25-3.**

Donde:

v: Velocidad de flujo, m/s.

$\rho$ : Densidad del fluido, Kg/m<sup>3</sup>.

$\mu$ : Viscosidad Dinámica del agua, N.m/s.

$$Re = \frac{0.18 * 1200 * 0.09}{1.93 * 10^{-5}}$$

$$Re = 1055535.5$$

Al ser el número de Reynolds mayor a 4000 el flujo es turbulento.

➤ *Cálculo del factor de fricción*

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\frac{k}{d}}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

**Ec. 26-3.**

Donde:

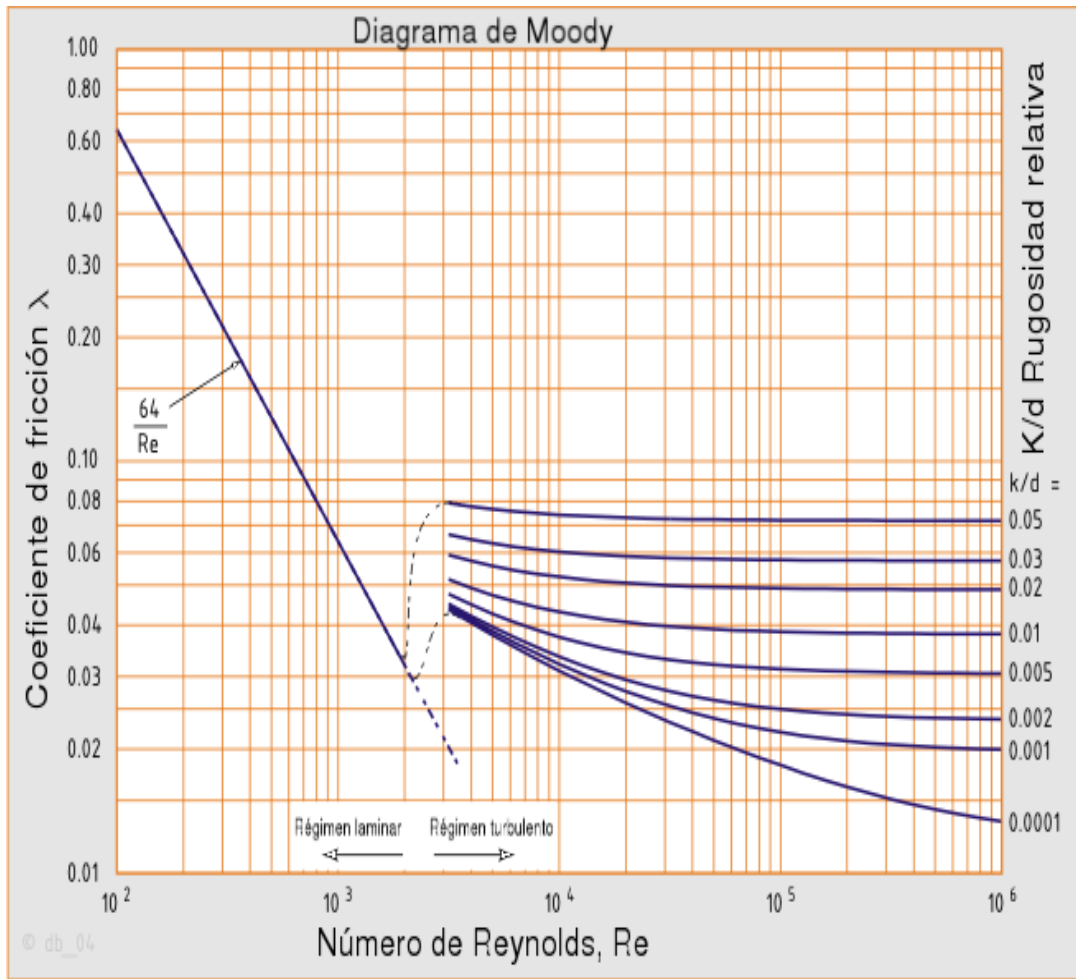
f: Factor de fricción.

$\frac{k}{d}$  = Rugosidad Relativa.

Re: Número de Reynolds.

La rugosidad relativa se obtiene del gráfico 5-3; al conocer que el material de la tubería es PVC se escoge la primera curva, de acuerdo al número de Reynolds igual a 476864.5, el valor de la rugosidad relativa es igual a 0.001, mediante el método de la secante que se reporta en la tabla 3-1 se obtiene el número de fanning.

$$f = \left( \frac{1}{2 \log \left( \frac{\frac{k}{d}}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)} \right)^2$$



**Gráfico 7-3:** Diagrama de Moody para el cálculo de la rugosidad relativa

**Fuente:** (Chow, 2012)

$$f = \left( \frac{1}{-2 \log \left( \frac{0.01}{3.7} + \frac{2.51}{1055535.37 \cdot \sqrt{f}} \right)} \right)^2$$

De acuerdo a las aproximaciones del método de la secante, el valor del factor de fricción es igual a 0.038.

**Tabla 23-3:** Método de la secante para el cálculo del factor de fricción en el diseño del sistema de transporte de fluidos en la planta de tratamiento de agua residual

<b>F</b>	<b>f''</b>
0.015	0.03824934
0.03824934	0.03812068
0.03812068	0.03812105
0.03812105	0.03812105

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2018.

➤ **Cálculo de las pérdidas por fricción con la tubería**

$$h_f = \frac{2v^2 * f * L}{D_i}$$

**Ec. 27-3.**

Donde:

v: Velocidad del fluido, m/s.

f: Factor de fricción.

L: Longitud de la tubería, m.

D<sub>i</sub>: Diámetro interno de la tubería, m.

$$h_f = \frac{2(0.18)^2 * (0.038) * (3)}{0.08}$$

$$h_f = 0.1 \text{ m}$$

➤ **Cálculo de las pérdidas por accesorios**

$$h_l = \frac{K * v^2}{2g}$$

**Ec. 28-3.**

Donde:

k: Constante del accesorio, calculados en la tabla 20-3.

v: velocidad del fluido, m/s.

g: Gravedad, m/s<sup>2</sup>.

**Tabla 24-3:** Valores de los coeficientes de pérdidas de acuerdo al accesorio para el cálculo de las pérdidas longitudinales

Accesorio	Coeficiente de pérdidas por accesorio			
	Re<50	Re<1000	Re<4000	Re>4000
L 90°, Radio corto	16,0	10,0	7,5	0,9
T Estándar en tramo		2,5	0,5	0,4
Bifurcación a la línea	9,3	4,9	1,9	1,5
Válvula de compuerta	24,0	9,9	1,7	1,2
Válvula de Globo tapón.	30,0	20,0	12,0	11,0
Acople	27,0	19,0	14,0	1,30
Válvula Angular	19,0	11,0	8,5	8,0
Válv. de columpio	55,0	17,0	4,5	4,0

**Fuente:** (Clarke, 2012)

\*Accesorios: 2 codos de 90°, dos válvulas de mariposa abierta, 1 válvula check, 2 acoples.



$$h_l = \frac{(2 * 0.9 + 2 * 1.2 + 0.9 + 2 * 1.30) * 0.18^2}{2 * 9.8}$$

$$h_l = 0.01 \text{ m}$$

➤ **Cálculo de las pérdidas totales**

$$h_t = h_f + h_l$$

**Ec. 29-3.**

Donde:

$h_t$ : Pérdidas totales, m.

$h_f$ : Pérdidas por fricción, m.

$h_l$ : Pérdidas longitudinales, m.

$$h_t = 0.1 + 0.01$$

$$h_t = 0.11 \text{ m}$$

➤ **Cálculo de la altura dinámica**

$$H = z_2 - z_1 + \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho * g} \right) + \left( \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 * g_c} \right) + h_t$$

**Ec. 30-3.**

Donde:

$z_2$ : Altura de llegada del fluido, m.

$z_1$ : Altura inicial del fluido, m.

$P_2$ : Presión en el punto de llegada, Pa.

$P_1$ : Presión en el punto inicial, Pa.

$v_2$ : Velocidad del fluido a la llegada, m/s.

$v_1$ : Velocidad inicial del fluido, m/s.

$h_t$ : Pérdidas totales, m.

$g$ : Fuerza de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

De punto de referencia se toma el punto donde se transporta el fluido:

$$H = z_2 + \left( \frac{v_2^2}{2gc} \right) + h_t$$

$$H = 3 + \left( \frac{0.18^2}{2 * 9.8} \right) + 0.11$$

$$H = 3.11 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de la potencia de la bomba*

$$P = \frac{Q * H * \gamma}{\varphi}$$

**Ec. 31-3.**

Donde:

Q: Caudal del fluido, m<sup>3</sup>/s.

H: Altura de carga dinámica de la bomba, m.

$\gamma$ : Peso específico del fluido, Kg/m<sup>3</sup>.

$\varphi$ : Eficiencia, 80% para que el proceso sea viable.

$$P = \frac{0.0012 * 1225 * 3.11}{0.80}$$

$$P = 5.71 \frac{N \cdot m}{s} * \frac{1 \text{ Hp}}{745.69 \frac{N \cdot m}{s}}$$

$$P = 0.07 \approx \frac{1}{4} \text{ Hp}$$

**3.2.5.4.3. Diseño del tanque de almacenamiento del agua residual**

Para lograr que el flujo sea continuo es necesario almacenar el agua residual producida en la empresa, es necesario instalar un tanque de almacenamiento, el material de este tanque será de concreto, para poder procesar el volumen total de agua residual producida, las condiciones de operación serán.

Volumen máximo de agua residual a almacenar: 3.25 m<sup>3</sup> / d.

Altura máxima del líquido: 90%.

Material de construcción: Concreto.

Fondo: Cónico.

Carcasa: Cilíndrica.

Diámetro de la carcasa: 2/3 de la altura.

Altura del fondo: ¼ del diámetro de la carcasa.

Dimensión Nominal de la boquilla: 305 mm. Recopilado de (Chow, 2012, pp. 180-190); en el libro de sistemas hidraulicos para el tratamiento del agua residual.

➤ **Cálculo del radio de la carcasa**

$$V_{\text{cuerpo}} = r^2 * \pi * H_{\text{cuerpo}}$$

Donde:

r: Radio del cuerpo del tanque, m.

H<sub>cuerpo</sub>: Altura del cuerpo del tanque, m.

Para evitar que las aguas residuales se derramen el tanque debe ser sobredimensionado; se dimensiona para que alcance un 10% más en volumen en caso de producir mayor cantidad de agua residual; por lo que el radio del tanque se dimensiona de acuerdo:

$$V_{ww} = r^2 * \pi * h_{\text{cuerpo}}$$

**Ec. 32-3.**

$$V_{ww} = r^2 * \pi * \frac{2}{3}r$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{ww}}{2\pi}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 * 3.25}{2\pi}}$$

$$r = 1.44 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de la altura del cuerpo del tanque***

$$h_{ctanque} = 3r$$

**Ec. 33-3.**

Donde:

$h_{tanque}$ : Altura del tanque, m.

r: Radio de la carcasa, m.

$$h_{tanque} = 3 * (1.44)$$

$$h_{tanque} = 4.30 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de la altura de la cabeza***

$$V_{cuerpo} = \frac{2 * D^2 * \pi * h_{cabeza}}{4}$$

**Ec. 34-3.**

Donde:

$V_{cuerpo}$ : Volumen del cuerpo

D: Diámetro del cuerpo del tanque, m.

$h_{cabeza}$ : Altura de la cabeza.

$$h_{cabeza} = \frac{4 * V_{cuerpo}}{2 * r^2 * \pi}$$

$$h_{cabeza} = \frac{4 * 3.25}{2 * 1.44^2 * 3.1416}$$

$$h_{cabeza} = 0.92 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de la altura del cuerpo del tanque***

$$h_{ctanque} = h_{total} - h_{cabeza}$$

**Ec. 35-3.**

Donde:

$h_{\text{tanque}}$ : Altura del cuerpo del tanque, m.

$h_{\text{total}}$ : Altura del tanque, m.

$h_{\text{cabeza}}$ : Altura de la cabeza.

$$h_{\text{carcaza}} = 4.30 - 0.92$$

$$h_{\text{carcaza}} = 3.37 \text{ m}$$

➤ **Cálculo del espesor del concreto**

$$e_c = \frac{\gamma * h * r}{\sigma_{\text{max}}}$$

**Ec. 36-3.**

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del fluido,  $\text{kg}/\text{cm}^3$ .

$h$ : Altura máxima del fluido, cm.

$r$ : Radio del tanque, cm.

$\sigma_{\text{max}}$ : Tensión máxima admisible por el material,  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$$e_{\text{material}} = \frac{0.001200 * 1065 * 355}{164.47}$$

$$e_{\text{material}} = 2.76 \text{ cm} * \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}}$$

$$e_{\text{material}} = 27.6 \text{ mm}$$

➤ **Cálculo del tiempo de llenado**

$$t_{ll} = \frac{V_w}{Q_d}$$

**Ec. 37-3.**

Donde:

$t_{ll}$ : Tiempo de llenado, s.

$V_w$ : Volumen del tanque,  $m^3$ .

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $m^3/s$ .

$$t_{ll} = \frac{3.25}{0.0012}$$

$$t_{ll} = 2708.33 \text{ s}$$

➤ *Cálculo del área del tanque*

$$A_{ta} = \frac{r_t * h_t}{2}$$

**Ec. 38-3.**

Donde:

$A_t$ : Área del tanque,  $m^2$ .

$r_t$ : Radio del tanque, m.

$h_t$ : Altura del tanque, m.

$$A_{ta} = \frac{1.44 * 4.60}{2}$$

$$A_t = 3.02 \text{ m}^2$$

➤ *Cálculo de la velocidad inicial del fluido*

$$v_o = \frac{Q_d}{A_{ta}}$$

**Ec. 39-3.**

Donde:

$v_o$ : Velocidad inicial en el tanque, m/s.

$A_{ta}$ : Área del tanque,  $m^2$ .

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $m^3/s$ .

$$v_i = \frac{0.0012}{3.02}$$

$$v_i = 3.97 * 10^{-4} \frac{m}{s}$$

➤ *Cálculo de la velocidad de salida del flujo*

$$v_s = \sqrt{2gh}$$

**Ec. 40-3.**

Donde:

$v_s$ : Velocidad de salida del flujo, m/s.

$g$ : Fuerza de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

$h$ : Altura del fluido, m.

$$v_s = \sqrt{2 * 9.8 * 4.60}$$

$$v_s = 9.49 \frac{m}{s}$$

➤ *Cálculo del área de la sección transversal del agujero*

$$A_o v_o = A_1 v_1$$

**Ec. 41-3.**

Donde:

$A_o$ : Área del tanque, m<sup>2</sup>.

$A_1$ : Área del agujero, m<sup>2</sup>.

$v_o$ : Velocidad dentro del tanque del fluido, m/s.

$v_1$ : Velocidad de salida del fluido, m/s.

$$A_2 = \frac{A_1 v_1}{v_2}$$

**Ec. 42-3.**

$$A_2 = \frac{4.17 * 3.97 * 10^{-4}}{9.49}$$

$$A_2 = 1.75 * 10^{-4} m^2$$

➤ **Radio del agujero**

$$A_1 = \pi r_1^2$$

**Ec. 43-3.**

Donde:

$A_1$ : Área del agujero,  $m^2$ .

$r_1$ : Radio del agujero,  $m^2$ .

$$r_1 = \sqrt{\frac{A_1}{\pi}}$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{1.75 * 10^{-4}}{3.1416}}$$

$$r_2 = 0.007 \text{ m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$r_2 = 1 \text{ cm}$$

➤ **Cálculo del tiempo de vaciado**

$$t_v = \sqrt{\left(\frac{r_1^2}{r_o^2} - 1\right) * \frac{2h_t}{g}}$$

**Ec. 44-3.**

Donde:

$r_1$ : Radio del tanque, m.

$r_o$ : Radio del orificio, m.

$h_t$ : Altura del fluido, m.

$g$ : Fuerza de la gravedad,  $m/s^2$ .

$$t = \sqrt{\left(\frac{1.67^2}{0.007^2} - 1\right) * \frac{2 * 4.60}{9.8}}$$



$$t = 38.52 \text{ min}$$

➤ **Cálculo del caudal de salida**

$$Q_s = \frac{V}{t_v}$$

**Ec. 45-3.**

Donde:

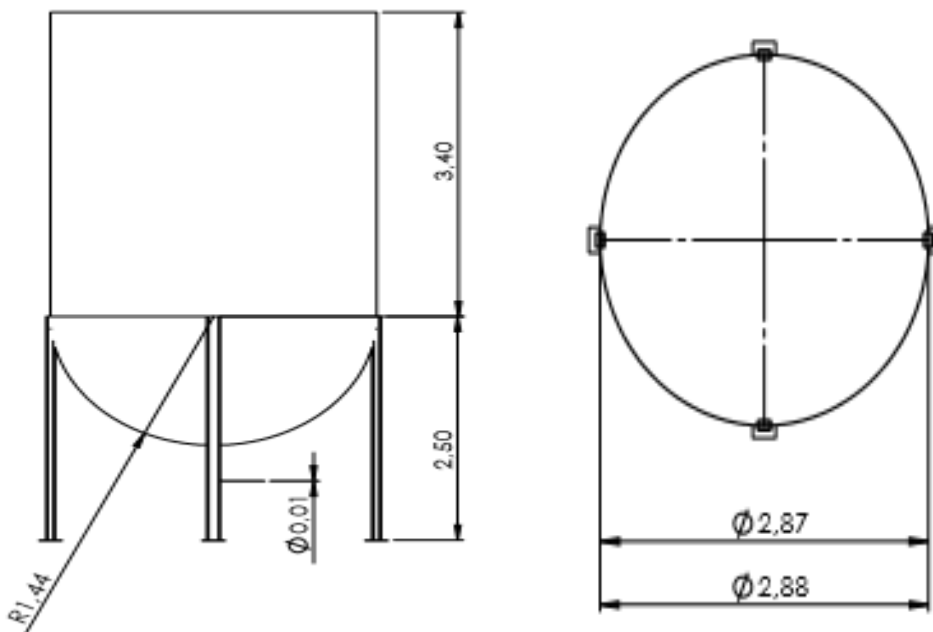
$Q_s$ : Caudal de salida,  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$V$ : Volumen de agua residual,  $\text{m}^3$ .

$t_v$ : Tiempo de vaciado del tanque, s.

$$Q = \frac{3.25}{231.15}$$

$$Q = 0.014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



**Gráfico 8-3:** Vista lateral y superior del tanque de almacenamiento de agua residual.

Realizado por: JIMÉNEZ, Victor. 2019.

### 3.2.5.5. *Diseño del tanque de aireación*

#### ➤ *Condiciones de Operación*

Material de construcción: Concreto.

Caudal de diseño: 0.02 m<sup>3</sup>/s.

Sistema de producción de aire: Difusores con alimentación de un compresor.

Transferencia de aire: Burbuja simple.

Geometría del tanque: Cuadrada.

Diámetro del compresor: 135 cm. Recopilado del autor (Cueto, 2016, pp. 80-85); en el libro de diseño de una planta de tratamiento de agua residual.

#### ➤ *Cálculo de la longitud del tanque de aireación*

$$l_{tanque} = \sqrt[3]{V_{agua} * F_s}$$

**Ec. 46-3.**

Donde:

V<sub>agua</sub>; Volumen de agua residual a tratar, m<sup>3</sup>.

F<sub>s</sub>: Factor de seguridad del tanque, el agua se debe llenar hasta el 90% del tanque con lo que se debe sobredimensionar el tanque en un 10%.

$$l_{tanque} = \sqrt[3]{1.1 * 3}$$

$$l_{tanque} = 1.53 \text{ m}$$

#### ➤ *Cálculo de las dimensiones del sistema difusor*

El dato que permite la determinación de las condiciones del sistema de producción y distribución del aire es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), con este dato se conocerá la cantidad de oxígeno que el tanque debe producir para realizar la eliminación de los contaminantes del agua, a continuación, se muestran las condiciones de diseño para el tanque y en la tabla 3-3, se reporta la caracterización antes del tratamiento del agua residual.

**Tabla 25-3:** Caracterización del agua residual producida en la empresa “Santa Cruz” antes del proceso de aeración

PARÁMETROS	UNIDADES	TRATAMIENTO QUÍMICO CON POLICLORURO DE ALUMINIO AL 10%	MÉTODO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
pH	-	7.58	PE-LSA-01	6-9
Temperatura	<sup>o</sup> C	20		< 40
Turbiedad	FTU – NTU	58	STANDARD METHODS 2130 – B	-
Conductividad	ms/cm	1.5	PE-LSA-02	-
Color	Upt-co	50	STANDARD METHODS 2120 – C	Inapreciable en dilución:1/20
*DBO5	mg/L	500	STANDARD METHODS 5210 – B	250
*DQO	mg/L	1130	STANDARD METHODS 5220 - D mod	900
Alcalinidad	mg/L	400		-
Detergentes	mg/L	1.26	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2
*Aceites y Grasa	mg/L	100	EPA 418.1	70
Solidos Totales	mg/L	1600	PE-LSA-04	1600
Solidos De Sedimentables (ml/L)	ml/L	1	STANDARD METHODS 2540 - F	20
Calcio	mg/L	200	STANDARD METHODS 3500 Ca-3111B	-
Sulfatos	mg/L	428	STANDARD METHODS 4500SO4-E	400
Nitrógenos Totales	mg/L	10	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	60
Cloruros	mg/L	150	STANDARD METHODS 4500 - Cl – E	1000
*Fósforos Totales	mg/L	20	STANDARD METHODS 4500 - P - E	15,0
Coliformes Fecales	UFC/100ml	15	STANDARD METHODS 9222 – D	2000

Fuente: (Laboratorio de Servicios Ambientales S.A y Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH, 2018).

➤ **Cantidad de DBO<sub>5</sub> alimentado diariamente a la planta**

$$DBO_{diario} = \frac{DBO * V_{ww} * 1000}{1 * 10^6}$$

**Ec. 47-3.**

Donde:

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/l.

V<sub>ww</sub>: Volumen diario de agua residual, m<sup>3</sup>.

$$DBO_{diario} = \frac{500 * 3.25 * 1000}{1 * 10^6}$$

$$DBO_{diario} = 1.63 \frac{kg}{dia}$$

➤ **Cantidad de aire necesaria**

$$C_{an} = \frac{DBO_{diario} * C_a}{24 * 60}$$

**Ec. 48-3.**

Donde:

C<sub>an</sub>: Cantidad de aire necesaria, m<sup>3</sup>Aire/min.

DBO: Demanda de oxígeno diaria necesaria en la planta, kg/día.

C<sub>r</sub>: Cantidad de aire necesaria para remover 1 kg de DBO; de acuerdo al autor (Cueto, 2016) ese valor es igual a 154 m<sup>3</sup>.

$$C_{aire} = \frac{1.63 * 154}{24 * 60}$$

$$C_{aire} = 0.17 \frac{m^3}{min}$$

➤ ***Cálculo de la presión hidrostática del agua***

$$P_h = \rho * g * h_t$$

**Ec. 49-3.**

Donde:

$P_h$ : Presión hidrostática del agua, Pa. Recopilado de (Cueto, 2016)

$\rho$ : Densidad del agua, Kg/m<sup>3</sup>.

$g$ : Fuerza de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

$h_t$ : Altura del agua, m.

$$P_h = 1200 * 9.8 * 1.53$$

$$P_h = 18580.5 Pa * \frac{14.7 psi}{101325 Pa}$$

$$P_h = 2.69 psi$$

➤ ***Cálculo de la presión absoluta***

$$P_a = P_h + P_{at}$$

**Ec. 50-3.**

Donde:

$P_a$ : Presión absoluta, psi.

$P_h$ : Presión Hidrostática del agua, psi.

$P_{at}$ : Presión atmosférica, para la presente investigación se toma la presión de 9.5 psi como la presión ambiental. *Recopilado de* (Cueto, 2016)

$$P_a = 2.69 + 14.7$$

$$P_a = 17.39 psi$$

➤ ***Cálculo del aumento de la temperatura del aire en la compresión***

$$\Delta T = \frac{T_e}{\eta} * \left[ \left( \frac{P_o}{P_{at}} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

Donde:

$\Delta T$ : Aumento de temperatura del aire, °C.

$T_e$ : Temperatura ambiental del cantón Santiago de Pillaro, °C.

$P_o$ : Presión absoluta, psi.

$P_{at}$ : Presión atmosférica, psi.

$\eta$ : Eficiencia del compresor, 75% en compresores comerciales.

$$\Delta T = \frac{9.5}{0.75} * \left[ \left( \frac{17.39}{14.7} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$\Delta T = 0.61^\circ C$$

➤ *Cálculo de la temperatura del aire en la compresión*

$$T_c = T_e + \Delta T$$

Ec. 52-3.

Donde:

$T_c$ : Temperatura de compresión, °C.

$\Delta T$ : Aumento de temperatura del aire, °C.

$T_e$ : Temperatura ambiental del cantón Santiago de Pillaro, °C.

$$T_c = 0.61 + 9.5$$

$$T_c = 10.11^\circ C$$

➤ *Cálculo del caudal ajustado a la temperatura de operación*

$$Q_1 = \frac{Q_0 * P_0 * T_1}{P_1 * T_0}$$

Ec. 53-3.

Donde:

$Q_1$ : Caudal de aire ajustado con la temperatura, m<sup>3</sup>/min.

$Q_0$ : Caudal de aire calculado, m<sup>3</sup>/s.

$P_1$ : Presión absoluta, psi.  
 $P_0$ : Presión atmosférica, psi.  
 $T_0$ : temperatura ambiental, °C.  
 $T_1$ : Temperatura ajustada, °C.

$$Q_1 = \frac{0.17 * 17.39 * 9.5}{14.7 * 10.11}$$

$$Q_1 = 0.20 \frac{m^3}{min}$$

➤ *Cálculo de la velocidad de salida del compresor*

$$v = \frac{Q_2}{A_c}$$

**Ec. 54-3.**

Donde:

v: Velocidad de salida del compresor, m/min.

$A_c$ : Área del compresor, m<sup>2</sup>.

$Q_2$ : Caudal ajustado, m<sup>3</sup>/min.

$$v = \frac{Q_2}{2 * \pi * r^2}$$

$$v = \frac{0.20}{2 * \pi * 0.675^2}$$

$$v = 0.07 \frac{m}{min}$$

➤ *Cálculo de la densidad del aire*

$$\rho_a = \frac{1.293}{1 + 0.00367T} \left( \frac{P}{76} \right)$$

**Ec. 55-3.**

Donde:

$\rho_a$ : Densidad del aire, Kg/m<sup>3</sup>.

T: Temperatura del aire, °C.

P: Presión de operación, mm Hg.

$$\rho_a = \frac{1.293}{1 + 0.00367 * (9.83)} \left( \frac{781.92}{76} \right)$$

$$\rho_a = 12.83 \frac{Kg}{m^3}$$

➤ *Cálculo de la viscosidad cinemática del aire*

$$\mu = (170 + 0.504T) * 10^{-2}$$

**Ec. 56-3.**

Donde:

$\mu$ : Viscosidad cinemática del aire, cP.

T: Temperatura del aire de compresión, °C.

$$\mu = (170 + 0.504 * 9.83) * 10^{-2}$$

$$\mu = 1.74 \text{ cP} * \frac{1 \frac{kg}{m \cdot s}}{1000 \text{ cP}}$$

$$\mu = 1.74 * 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}$$

➤ *Cálculo del número de Reynolds*

$$N_{re} = \frac{\rho_a * v * d}{\mu}$$

**Ec. 57-3.**

Donde:

$\rho$ : Densidad del aire, Kg/m<sup>3</sup>.

v: Velocidad del fluido, m/s.

d: Diámetro del compresor, m.

$\mu$ : Viscosidad cinemática del aire,  $\frac{kg}{m \cdot s}$ .



$$N_{re} = \frac{12.83 * 0.07 * 0.135}{1.74 * 10^{-3}}$$

$$N_{re} = 67.17$$

➤ ***Cálculo de la longitud de la tubería***

$$L_t = L_{tn} - 0.25L_{tn}$$

**Ec. 58-3.**

Donde:

$L_t$ : Longitud de la tubería, m.

$L_m$ : Longitud del tanque, m.

$$L_t = 1.01 - 0.25 * 1.01$$

$$L_t = 0.77 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de las pérdidas longitudinales***

$$h_m = \frac{64 * v^2 * L_{tu}}{2 * N_{re} * g * d}$$

**Ec. 59-3.**

Donde:

$h_m$ : Pérdidas longitudinales, m.

$v$ : Velocidad del flujo, m/s.

$L_{tu}$ : Longitud de la tubería, m.

$d$ : Diámetro de la tubería, m.

$N_{re}$ : Número de Reynolds.

$$h_m = \frac{64 * 0.07^2 * 0.77}{2 * 9.8 * 79.63 * 0.135}$$

$$h_m = 0.0015 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de las pérdidas por accesorios***

$$h_f = \frac{k * v^2}{2g}$$

**Ec. 60-3.**

Donde:

H<sub>f</sub>: Pérdidas por accesorios, m.

v: Velocidad del flujo, m/s.

Es necesario instalar dos válvulas de globo para el control de flujo del aire en el tanque, que de acuerdo con el autor (McWhirter, 2015), la constante para este accesorio será igual a 340f.

$$h_f = \frac{340 * 64 * v^2}{2 * N_{re} * g}$$

$$h_f = \frac{340 * 64 * 0.07^2}{2 * 79.36 * 9.8}$$

$$h_f = 0.09 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de las pérdidas totales***

$$h_t = h_m + h_f$$

**Ec. 61-3.**

Donde:

h<sub>t</sub>: Pérdidas totales, m.

h<sub>m</sub>: Pérdidas por accesorios, m.

h<sub>f</sub>: Pérdidas por fricción, m.

$$h_t = 0.005 + 0.09$$

$$h_t = 0.094 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de la presión de trabajo***

$$P_o = 4.83 * \rho h_t v + P_t$$

Donde:

$P_0$ : Presión de trabajo, psi.

$\rho$ : Densidad del aire, Kg/m<sup>3</sup>.

$v$ : Velocidad del flujo, m/s.

$h_t$ : Pérdidas totales, m.

$P_t$ : Presión Absoluta, psi.

$$P_o = 4.83 * 12.83 * 0.02 * 0.07 + 17.39$$

$$P_o = 17.48 \text{ psi}$$

➤ *Cálculo de la potencia del motor*

$$P = \frac{0.22Q_2}{\eta} * [(P_t)^{0.283} - 1]$$

Donde:

$P$ : Potencia del motor, Hp.

$P_t$ : Presión de trabajo, Pa.

$Q$ : Caudal de aire, m<sup>3</sup>/min.

$\eta$ : Eficiencia del compresor, para compresores que existen en el mercado se reportan eficiencias igual a 75%.

$$P = \frac{0.20 * 0.22}{0.75} * [(120550.2142)^{0.283} - 1]$$

$$P = 1.5 \approx 1 \frac{1}{2} \text{ Hp}$$

➤ *Cálculo del diámetro del orificio*

$$d_o = \frac{d_{bu}^3 * g * (\rho_l - \rho_a)}{6 * P_o}$$

Donde:

$d_o$ : Diámetro del orificio, m.

$d_b$ : Diámetro de la burbuja, calculado de acuerdo a la tabla 22-3.

$g$ : Fuerza de la gravedad,  $m/s^2$ .

$\rho_l$ : Densidad del lixiviado,  $Kg/m^3$ .

$\rho_a$ : Densidad del aire,  $Kg/m^3$

$P_o$ : Presión atmosférica,  $N/m^2$ .

**Tabla 26-3:** Tamaño de burbuja y eficiencia para cálculo en difusores de acuerdo al régimen de flujo

Burbujas	Régimen	Eficiencia	Tamaño de Burbuja
Burbuja simple o fina	$0 < N_{re} < 200$	10-30%	2-5 mm
Burbuja intermedia semifina	$200 < N_{re} < 2000$	6-15%	6-10 mm
Burbuja a chorro	$N_{re} > 2000$	4-8%	10 mm

Fuente: (Kister, 2012).

$$d_o = \frac{0.005^3 * 9.8 * (1225 - 12.83)}{6 * 141.204}$$

$$d_o = 0.003 \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$$

$$d_o = 3 \text{ mm}$$

➤ *Cálculo de la frecuencia de formación de las burbujas*

$$f = \frac{6C_a}{\pi * d_{bu}^3}$$

**Ec. 65-3.**

Donde:

$f$ : Frecuencia de formación de burbujas,  $s^{-1}$ .

$d_b$ : Diámetro de la burbuja, m.

$C_a$ : Caudal de aire,  $m^3/s$ .

$$f = \frac{6 * 0.19}{\pi * 0.005^3}$$

$$f = 3766 \text{ s}^{-1}$$

➤ **Calculo del número de orificios**

$$N = \frac{0.7 * D_{tu}}{d_o}$$

**Ec. 63-3.**

Donde:

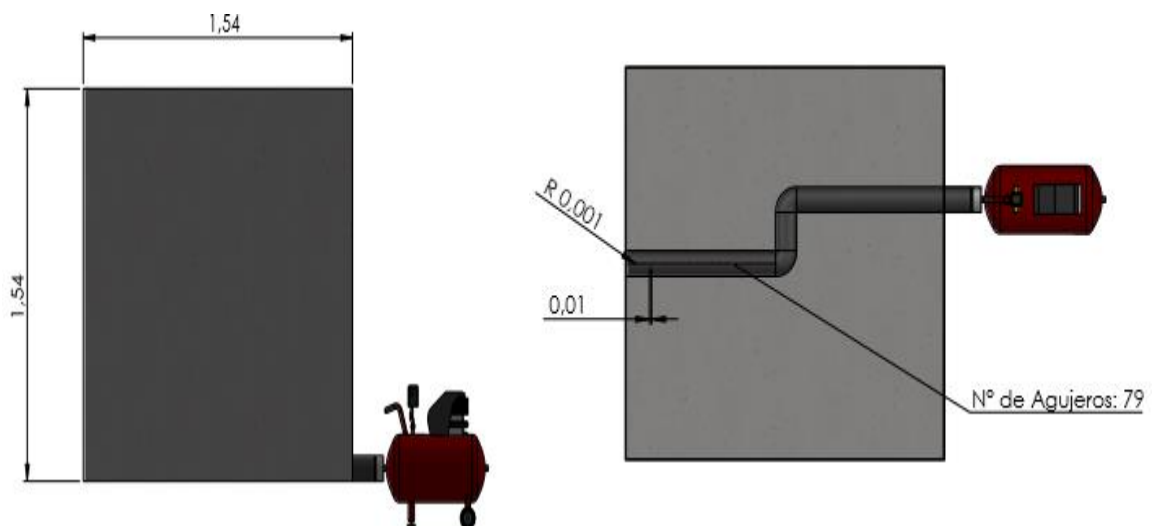
N: Numero de orificios, unidades.

$D_{tu}$ : Diámetro del tubo, m.

$d_o$ : Diámetro del orificio, m.

$$N = \frac{0.7 * 0.3375}{0.003}$$

$$N = 78.75 \approx 79 \text{ agujeros}$$



**Gráfico 9-3:** Vista lateral y superior del tanque de aireación para el tratamiento de agua residual.

Realizado por: JIMÉNEZ, Victor. 2019.

### 3.2.5.6. Diseño del equipo de floculación sedimentación

#### ➤ *Condiciones de operación*

Material de construcción: Concreto.

Numero de cámaras: 2 contiguas, para la coagulación y sedimentación.

Alimentación: Contralada con un canal de Parshal.

Caudal de diseño: 0.06 m<sup>3</sup>/s. Recopilado del libro de hidráulica para tratamiento de aguas residuales (Metcalf, 2012, pp. 158-175).

#### ➤ *Diseño de la cámara de coagulación*

Las condiciones de operación serán:

- a) *Tiempo de retención: Entre 15 a 20 min-< utos.*
- b) *Relación entre el largo y ancho de la cámara (L/B) valores entre 3-6.*
- c) *Relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 20.*
- d) *La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.*
- e) *Tipo de mezclador: Paleta de dos aspas*
- f) *Velocidad de agitación, 100 rpm. Recopilado del libro de hidráulica para tratamiento de aguas residuales (Metcalf, 2012, pp. 158-175).*

#### ➤ *Cálculo del volumen de aditivos químicos*

$$V_a = \text{Dosificación} * V_{ww}$$

**Ec. 64-3.**

Donde:

$V_{ww}$ : Volumen de agua residual, l.

$V_a$ : Volumen de aditivos, l.

$$V_{aditivos} = 0.1 * 3.25$$

$$V_{aditivos} = 0.33 \text{ m}^3$$

➤ ***Cálculo del volumen total a tratar***

$$V_p = V_a + V_{ww}$$

**Ec. 65-3.**

Donde:

$V_p$ : Volumen total para el tratamiento,  $m^3$ .

$V_a$ : Volumen de aditivos,  $m^3$ .

$V_{ww}$ : Volumen a procesar de agua residual,  $m^3$ .

$$V_p = 3.25 + 0.35$$

$$V_p = 3.58 m^3$$

➤ ***Cálculo del volumen del tanque***

$$V_t = V_p * F_s$$

**Ec. 66-3.**

Donde:

$V_t$ : Volumen del tanque,  $m^3$ .

$V_p$ : Volumen de solución a procesar,  $m^3$ .

$F_s$ : Factor de derramamiento, 10% para evitar que se derrame la solución.

$$V_t = 3.58 * 1.1$$

$$V_t = 3.63 m^3$$

➤ ***Cálculo del caudal en la coagulación***

$$Q_c = \frac{V_t}{t}$$

**Ec. 67-3.**

Donde:

$Q_c$ : Caudal de coagulación,  $m^3/s$ .

$V_t$ : Volumen del tanque,  $m^3$ .

t: Tiempo de residencia de la solución, s.

$$Q_c = \frac{3.63}{900}$$

$$Q_c = 0.004 \frac{m^3}{s}$$

➤ *Cálculo del ancho del tanque*

$$V_t = \frac{L * H}{2} * b$$

**Ec. 68-3.**

Donde:

$V_t$ : Volumen del tanque,  $m^3$ .

L: Largo de la cámara de coagulación, m.

H: Altura de la cámara de coagulación, m.

b: Ancho de la cámara de coagulación, m.

Relación entre el largo y ancho de la cámara (L/B) valores entre 3,5.

Relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5

$$\frac{L}{b} = 3.5$$

$$L = 3.5 b$$

$$L = 5 H$$

$$V_{tanque} = \frac{3.5 b * \frac{3.5 b}{5}}{2} * b$$

$$V_{tanque} = \frac{12.5 b^3}{2}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{2V_{tanque}}{12.5}}$$



$$b = \sqrt[3]{\frac{2 * 3.63}{12.5}}$$

$$b = 0.83 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de la longitud del tanque de coagulación*

$$\frac{L}{b} = 3.5$$

**Ec. 69-3.**

Donde:

L: Largo de la cámara de coagulación, m.

b: Ancho de la cámara de coagulación, m.

$$L = 3.5 * b$$

$$L = 3.5 * 0.83$$

$$L = 2.92 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de la altura del tanque de coagulación*

$$\frac{L}{H} = 5$$

**Ec. 70-3.**

Donde:

L: Largo de la cámara de coagulación, m.

H: Altura de la cámara de coagulación, m.

$$H = \frac{L}{5}$$

$$H = \frac{2.92}{5}$$

$$H = 0.60 \text{ m}$$

➤ *Cálculo del área total de orificios*

$$A_o = \frac{Q_o}{v_o}$$

**Ec. 71-3.**

Donde:

A<sub>o</sub>: Área total de los orificios, m<sup>2</sup>.

Q<sub>o</sub>: Caudal de coagulación, m<sup>3</sup>/s.

v<sub>o</sub>: Velocidad de flujo en los orificios, m/s.

$$A_o = \frac{0.05}{0.15}$$

$$A_o = 0.59 \text{ m}^2$$

➤ *Cálculo del área de cada orificio*

$$a_o = \pi * r_o^2$$

**Ec. 72-3.**

Donde:

a<sub>o</sub>: Área de cada orificio, m<sup>2</sup>.

r<sub>o</sub>: Radio de cada orificio, m/s.

$$a_o = \pi * 0.1^2$$

$$a_o = 0.031 \text{ m}^2$$

➤ *Número de orificios*

$$n_o = \frac{A_o}{a_o}$$

**Ec. 73-3.**

Donde:

$n_o$ : Número de orificios, unidades.

$a_o$ : Área de cada orificio,  $m^2$ .

$A_o$ : Área total de los orificios,  $m^2$ .

$$n_o = \frac{0.59}{0.03}$$

$$n_o = 18.98 \approx 19$$

➤ *Separación entre orificios*

$$s_o = \frac{A_t}{n_o}$$

**Ec. 74-3.**

Donde:

$s_o$ : Separación entre orificios, m.

$n_o$ : Número de orificios, unidades.

$A_t$ : Altura del tanque, m.

$$s_o = \frac{0.59}{19}$$

$$s_o = 0.075 \text{ m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$s_o = 7.55 \text{ cm}$$

➤ *Cálculo de las dimensiones de la paleta agitadora*

➤ *Diámetro del impulsor*

$$\frac{D_i}{H} = 0.33$$

**Ec. 75-3.**

Donde:

$D_i$ : Diámetro del impulsor, m.

H: Altura del tanque, m.

$$D_i = 0.33 * H$$

$$D_i = 0.33 * 0.58$$

$$D_i = 0.16 \text{ m}$$

➤ *Distancia entre el impulsor y el fondo del tanque*

$$E = 0.33 * H$$

**Ec. 76-3.**

Donde:

E: Separación entre el fondo del tanque y el impulsor, m.

H: Altura del tanque, m.

$$E = 0.33 * 0.58$$

$$E = 0.16 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de la altura del impulsor*

$$h_p = H - E$$

**Ec. 77-3.**

Donde:

$h_p$ : Altura del impulsor, m.

H: Altura del tanque, m.

E: Separación entre el fondo del tanque y la paleta, m.

$$h_p = 0.60 - 0.16$$

$$h_p = 0.44 \text{ m}$$

➤ *Cálculo del largo de la paleta*

$$\frac{g}{D_i} = 0.25$$

**Ec. 78-3.**

Donde:

g: Altura de la paleta, m.

D<sub>i</sub>: Diámetro del impulsor, m.

$$g = 0.25D_i$$

$$g = 0.25 * 0.16$$

$$g = 0.04 \text{ m}$$

➤ *Cálculo del ancho de la paleta*

$$\frac{w}{D_i} = 0.20$$

**Ec. 79-3.**

Donde:

w: Ancho de la paleta, m.

D<sub>i</sub>: Diámetro del impulsor, m.

$$w = 0.20D_i$$

$$w = 0.20 * 0.20$$

$$w = 0.03 \text{ m}$$

➤ *Cálculo del número de Reynolds*

$$Re = \frac{N * H^2 * \rho}{\mu}$$

**Ec. 80-3.**

Donde:

N: Velocidad de giro, rps.

H: Altura del tanque, m.

$\rho$ : Densidad del agua residual, Kg/m<sup>3</sup>.

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido, Pa.s.

$$Re = \frac{1.66 * 0.58^2 * 1200}{1.93 * 10^{-3}}$$

$$Re = 371564$$

➤ **Cálculo de la potencia del motor**

$$P = \frac{KT * N^3 * D_i^5 * \rho}{\eta}$$

**Ec. 81-3.**

Donde:

P: Potencia del motor, N.m/s.

N: Velocidad de giro, rps.

D<sub>i</sub>: Diámetro del impulsor, m.

$\rho$ : Densidad del lixiviado, Kg/m<sup>3</sup>.

KT: Constante de acuerdo al número de Reynolds, revisar tabla 5-3.

$\eta$ : Eficiencia, para el caso de motores comerciales 75%.

**Tabla 27-3:** Constantes para el cálculo de la potencia del motor en un mezclador de acuerdo al tipo de impulsor

Tipo de impulsor	KL	KT
Hélice paso cuadrado, tres palas	41,0	0,32
Hélice paso de 2, tres palas	43,5	1,00
Turbina, seis palas planas	71,0	6,30
Turbina de ventilador, seis palas	70,0	1,65
Turbina dos palas planas	36,5	1,70

Fuente: (McCABE, 2011)

$$P = \frac{1.70 * 1.66^3 * 0.16^5 * 1200}{0.75}$$

$$P = 1.44 \frac{N \cdot m}{s} * \frac{1 Hp}{745 \frac{N \cdot m}{s}}$$

$$P = 0.01 \approx \frac{1}{4} Hp$$

➤ *Calculo de la velocidad horizontal de sedimentación*

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H}$$

**Ec. 82-3.**

Donde:

$V_h$ : Velocidad horizontal de sedimentación, m/s.

Q: Caudal de sedimentación, m<sup>3</sup>/s.

B: Ancho del sedimentador, m.

H: Altura del sedimentador, m.

$$V_h = \frac{100 * 0.0012}{0.86 * 0.58}$$

$$V_h = 0.24 \frac{m}{s}$$

➤ *Cálculo del periodo de retención*

$$T_r = \frac{V_{ww}}{Q}$$

**Ec. 83-3.**

Donde:

$T_r$ : Tiempo de retención, s.

Q: Caudal de sedimentación, m<sup>3</sup>/s.

$V_{ww}$ : Volumen de agua residual, m<sup>3</sup>.

$$T_r = \frac{3.63}{0.24}$$

$$T_r = 726 \text{ seg} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$T_r = 12.10 \text{ min}$$

➤ *Longitud del vertedero*

$$l_v = \frac{Q}{C_s}$$

**Ec. 84-3.**

Donde:

$l_v$ : Longitud del vertedero, m.

Q: Caudal de sedimentación, m<sup>3</sup>/s.

$C_s$ : Carga Superficial, m<sup>3</sup>/m/s.

$$l_v = \frac{0.0012}{0.165}$$

$$l_v = 0.08 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de la altura del vertedero*

$$y = \left[ \frac{Q}{1376w} \right]^{\frac{2}{3}}$$

**Ec. 85-3.**

Donde:

y: Alto del vertedero, m.

Q: Caudal de salida, m<sup>3</sup>/s.

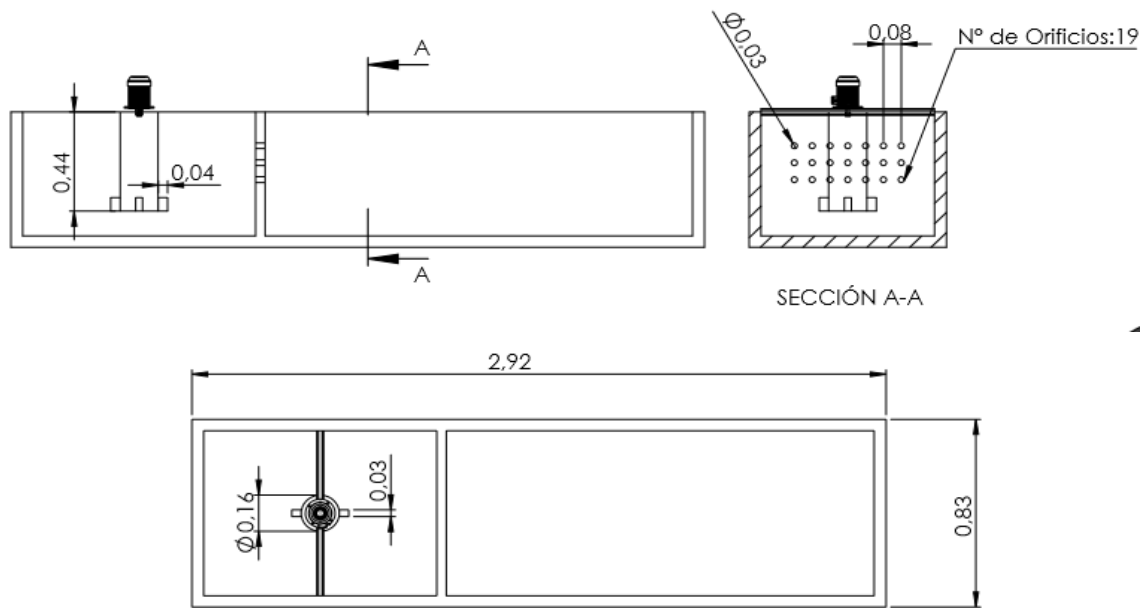
w: Ancho del vertedero, m.

$$y = \left[ \frac{0.0012}{1.376(0.15)} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$y = 0.04 \text{ m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$y = 4 \text{ cm}$$





**Gráfico 10-3:** Vista lateral y superior del tanque de sedimentación-coagulación para el tratamiento de agua residual.

Realizado por: JIMÉNEZ, Victor. 2019.

### 3.2.5.7. Diseño del filtro de graba

#### ➤ *Condiciones de diseño*

Periodo de operación: 24 h

Velocidad de filtración: 2-3 m/h.

Número de filtros: 1.

Disposición del lecho filtrante: Arena gruesa + Arena fina

Tamaño de la graba: Arena gruesa 10-20 mm de diámetro de la partícula y espesor de la capa de 50 mm; arena fina: 2-5 mm de diámetro de la partícula y espesor de la capa de 50 mm. Recopilado del texto de diseño de filtros para el tratamiento de agua (Chow, 2012, pp. 80-85).

#### ➤ *Cálculo del área del filtro*

$$A_s = \frac{Q}{v_f * N}$$

**Ec. 86-3.**

Donde:

$A_s$ : Área superficial del filtro, m<sup>2</sup>.

$Q$ : Caudal de salida de la cámara de sedimentación, m<sup>3</sup>/s.

vf: Velocidad de filtración, m/s.

N: Número de unidades.

$$A_s = \frac{0.0012}{0.008 * 1}$$

$$A_s = 0.15 \text{ m}^2$$

➤ *Cálculo del coeficiente mínimo de costo*

$$K = \frac{2 * N}{N + 1}$$

**Ec. 87-3.**

Donde:

K: Coeficiente mínimo de costo.

N: Número de unidades.

$$K = \frac{2 * 1}{1 + 1}$$

$$K = 1$$

➤ *Cálculo de la longitud del filtro*

$$L = (K * A_s)^{\frac{1}{2}}$$

**Ec. 88-3.**

Donde:

L: Longitud del filtro, m.

A<sub>s</sub>: Área superficial del sedimentador, m<sup>2</sup>.

K: Coeficiente de costo mínimo,

$$L = (1 * 0.15)^{\frac{1}{2}}$$

$$L = 0.80 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de la altura del filtro*

$$H = \frac{2 A_s}{L}$$

**Ec. 89-3.**

Donde:

H: Altura del filtro, m.

L: Longitud del filtro, m.

A<sub>s</sub>: Área Superficial del filtro, m.

$$H = \frac{2 * 0.15}{0.8}$$

$$H = 1.58 \text{ m}$$

➤ *Cálculo del ancho de la altura de la graba gruesa*

$$h_g = 0.3 * H$$

**Ec. 90-3.**

Donde:

h<sub>g</sub>: Altura de la graba, m.

H: Altura del filtro, m.

$$h_g = 0.3 * 1.58$$

$$h_g = 0.47 \text{ m}$$

➤ *Cálculo del ancho de la altura de la graba fina*

$$h_f = 0.55 * H$$

**Ec. 91-3.**

Donde:

H<sub>f</sub>: Altura de la graba fina, m.

H: Altura del filtro, m.

$$h_f = 0.55 * 1.58$$

$$h_f = 1.11 \text{ m}$$

➤ *Diseño del sistema de alimentación del agua*

$$Q_o = \pi r_o^2 * v_o$$

**Ec. 92-3.**

Donde:

Q<sub>o</sub>: Caudal dentro del orificio, m<sup>3</sup>/s.

r<sub>o</sub>: Radio del orificio, m.

v<sub>o</sub>: Velocidad de paso de agua, m/s.

$$Q_o = \pi * 0.03^2 * 0.14$$

$$Q_o = 3.95 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

➤ *Cálculo del número de orificio*

$$n_o = \frac{Q_f}{Q_o}$$

**Ec. 93-3.**

Donde:

n<sub>o</sub>: Número de orificios, m<sup>3</sup>/s.

Q<sub>o</sub>: Caudal dentro del orificio, m<sup>3</sup>/s.

Q<sub>f</sub>: Caudal de filtración, m/s.

$$n_o = \frac{0.005}{3.95 * 10^{-4}}$$

$$n_o = 12 \text{ orificios}$$

➤ *Cálculo de las pérdidas en la graba gruesa*

$$\frac{h_{gg}}{h_g} = \frac{Q_f}{c * d^2} * \frac{60}{T + 10}$$

**Ec. 94-3.**

Donde:

$h_{gg}$ : Pérdidas por efecto de la graba gruesa, m.

$h_g$ : Altura de la graba gruesa, m.

$Q_f$ : Caudal de filtración, m/s.

$T$ : Temperatura del agua, °C.

$c$ : Coeficiente por el tipo de arena, 800 para arena gruesa.

$d$ : Diámetro efectivo de la arena, m.

$$h_{gg} = \left( \frac{0.005}{800 * 0.01^2} * \frac{60}{9.5 + 10} \right) * 1.48 \text{ m}$$

$$h_{gg} = 0.557 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de las pérdidas en la graba fina***

$$h_{gf} = \frac{Q_f * L^2}{4000 * d^{1.67} * h_{gf}}$$

**Ec. 95-3.**

Donde:

$h_{gf}$ : Pérdidas por efecto de la graba fina, m.

$h_g$ : Altura de la graba fina, m.

$Q_f$ : Caudal de filtración, m/s.

$L$ : Longitud del filtro, m.

$d$ : Diámetro de la graba fina, m.

$d$ : Diámetro efectivo de la arena, m.

$$h_{gf} = \frac{0.005 * 2.47^2}{4000 * 0.005^{1.67} * 2.71}$$

$$h_{gf} = 0.020 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de las pérdidas en los orificios***

$$h_o = \frac{Q_o^2}{C_d * A_o^2 * g}$$

**Ec. 96-3.**

Donde:

$H_o$ : Pérdidas en los orificios, m.

$A_o$ : Área de los orificios, m.

$Q_o$ : Caudal en los orificios, m/s.

$C_d$ : Constante de pérdida en los orificios, 0.06.

$g$ : Gravedad, m/s<sup>2</sup>.

$$h_{gf} = \frac{(3.95 * 10^{-4})^2}{0.06 * 3.1416 * 0.003^2 * 9.8}$$

$$h_{gf} = 0.94 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de las pérdidas totales*

$$h_t = h_o + h_{gf} + h_{gg}$$

**Ec. 97-3.**

Donde:

$h_o$ : Pérdidas en los orificios, m.

$h_{gf}$ : Pérdidas por efecto de la graba fina, m.

$h_{gg}$ : Pérdidas por graba gruesa, m.

$$h_{gf} = 0.94 + 0.2 + 0.557$$

$$h_{gf} = 0.671 \text{ m}$$

➤ *Cálculo de la altura dinámica de la bomba*

$$H = z_2 - z_1 + \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho * g} \right) + \left( \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 * g * c} \right) + h_t$$

**Ec. 98-3.**

Donde:

$z_2$ : Altura del filtro, m.

$z_1$ : Altura inicial del fluido, m.

$P_2$ : Presión en el punto de llegada, Pa.

- $P_1$ : Presión en el punto inicial, Pa.  
 $v_2$ : Velocidad de filtrado, m/s.  
 $v_1$ : Velocidad inicial del fluido, m/s.  
 $h_t$ : Pérdidas totales, m.  
 $g$ : Fuerza de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

$$H = z_2 + \left( \frac{v_2^2}{2gc} \right) + h_t$$

$$H = 1.58 + \left( \frac{0.008^2}{2 * 9.8} \right) + 0.671$$

$$H = 2.25 \text{ m}$$

➤ ***Cálculo de la potencia de la bomba***

$$P = \frac{Q * H * \gamma}{\varphi}$$

**Ec. 99-3.**

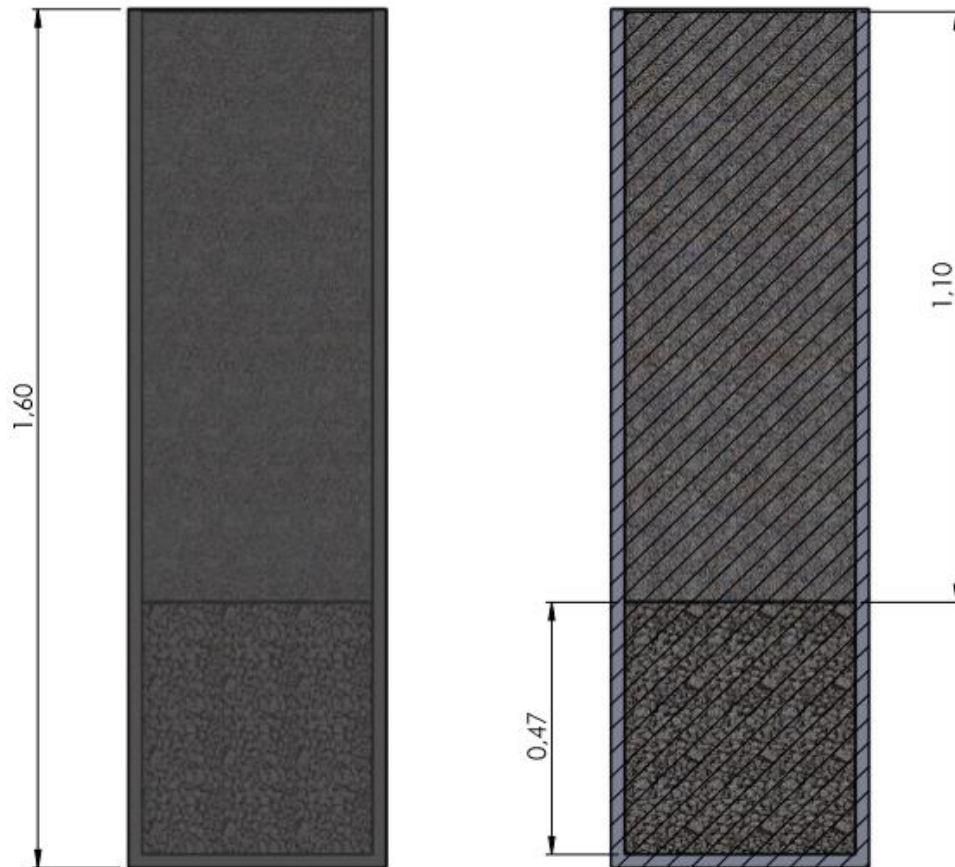
Donde:

- Q: Caudal de filtrado, m<sup>3</sup>/s.  
H: Altura de carga dinámica de la bomba, m.  
 $\gamma$ : Peso específico del fluido, kg/m<sup>3</sup>.  
 $\varphi$ : Eficiencia, 80% para que el proceso sea viable.

$$P = \frac{0.005 * 2.25 * 1200}{0.80}$$

$$P = 180 \frac{N \cdot m}{s} * \frac{1 \text{ Hp}}{745.69 \frac{N \cdot m}{s}}$$

$$P = 0.24 \text{ Hp} \approx \frac{1}{4} \text{ Hp}$$



**Gráfico 11-3:** Vista lateral y superior del filtro para el tratamiento de agua residual.

Realizado por: JIMÉNEZ, Victor. 2019.

### 3.3. Proceso de Producción

#### 3.3.1. Resultados

##### 3.3.1.1. Resultados de la caracterización inicial del agua residual

La caracterización inicial del agua residual, se realizó para saber cuáles son los parámetros que no cumplen con la norma para el control del agua vigente en el TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 8 establecidos en la Norma de descarga al alcantarillado; de acuerdo con esto en la tabla 7-3 se muestran los resultados iniciales del agua; mismos que fueron realizado en el laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ciencias de la ESPOCH.

De los resultados obtenidos, se interpreta que los índices de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, cantidad de sólidos totales y presencia de aceites y grasas, son los que no cumplen con los parámetros de calidad del agua; así como también son los valores más altos reportados, esto nos da un indicativo para determinar que tratamientos se debe realizar al agua residual.



En los resultados reportados en la tabla 6-3; se puede apreciar la alta carga de contaminantes orgánicos presentes en el agua, esto se debe a la naturaleza del agua; ya que el agua es recuperada en una planta láctea, en los procesos de transformación de la leche ya sea en queso, yogurt u otras bebidas lácteas se desecha materia orgánica, misma que se disuelve en el agua como se puede apreciar por los resultados.

**Tabla 28-3:** Resultados obtenidos a la caracterización inicial del agua recuperada en la empresa del cantón Santiago de Pillaro.

PARÁMETROS	UNIDADES	INICIALES	MÉTODO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
*pH	-	5.69	PE-LSA-01	6-9
Temperatura	<sup>0</sup> C	18		< 40
Turbiedad	FTU – NTU	9240	STANDARD METHODS 2130 – B	-
Conductividad	ms/cm	1,39	PE-LSA-02	-
Color	Upt-co	9200	STANDARD METHODS 2120 – C	Inapreciable en dilución:1/20
*DBO5	mg/L	8200	STANDARD METHODS 5210 – B	250
*DQO	mg/L	14800	STANDARD METHODS 5220 - D mod	900
Alcalinidad	mg/L	500		-
*Detergentes	mg/L	2.5	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2
*Aceites y Grasa	mg/L	4947	EPA 418.1	70
*Sólidos Totales	mg/L	11452	PE-LSA-04	1600
Sólidos De Sedimentables (ml/L)	ml/L	9	STANDARD METHODS 2540 - F	20
Calcio	mg/L	416.70	STANDARD METHODS 3500 Ca-3111B	-
*Sulfatos	mg/L	700	STANDARD METHODS 4500SO4-E	400
Nitrógenos Totales	mg/L	39	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	60
Cloruros	mg/L	212.7	STANDARD METHODS 4500 - Cl – E	1000
*Fósforos Totales	mg/L	230	STANDARD METHODS 4500 - P - E	15,0
*Coliformes Fecales	UFC/100ml	6.1x10 <sup>6</sup>	STANDARD METHODS 9222 – D	2000

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2018

### 3.3.2. Validación del proceso

Para la obtención de la validación del sistema de tratamiento del agua residual producida en la empresa “Santa Cruz”; se realizó el tratamiento en los equipos del laboratorio de calidad de agua, en donde se simuló las condiciones de operación propuesta y el volumen necesario del agua, con

esto después del tratamiento se realizó la caracterización final del agua; para ver si cumple o no con los parámetros requeridos por la norma para el control del agua vigente en el TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 8 establecidos en la Norma de descarga al alcantarillado; en la tabla 16-3 se muestran los resultados.

De acuerdo con los parámetros mínimos establecidos por la norma; todos los contaminantes están bajo el rango máximo permitido, con esto después del tratamiento el agua podrá ser depositada en el alcantarillado público, reduciendo los niveles de contaminación de la misma; con esto se afirma que las técnicas empleadas y la propuesta tecnológica será óptima para este tipo de agua y podrá ser implementada en la empresa.

**Tabla 29-3:** Resultados de la caracterización final del agua residual tratadas con la tecnología propuesta en la investigación

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>
<b>pH</b>	-	8.43	4500-H-B	6-9
<b>Temperatura</b>	<sup>o</sup> C	20		< 40
<b>Turbiedad</b>	FTU – NTU	3	STANDARD METHODS 2130 – B	-
<b>Conductividad</b>	ms/cm	1.15	2510-B	-
<b>Color</b>	Upt-co	10	STANDARD METHODS 2120 – C	Inapreciable en dilución:1/20
<b>DBO5</b>	mg/L	150	STANDARD METHODS 5210 – B	250
<b>DQO</b>	mg/L	413	STANDARD METHODS 5220 - D mod	500
<b>Alcalinidad</b>	mg/L	30		-
<b>Detergentes</b>	mg/L	0.26	STANDARD METHODS 5540 - C mod	2
<b>Aceites y Grasa</b>	mg/L	9.6	5520-B	70
<b>Solidos Totales</b>	mg/L	892	2540-B	1600
<b>Solidos De Sedimentables (ml/L)</b>	ml/L	<1	STANDARD METHODS 2540 – F	20
<b>Calcio</b>	mg/L	94.70	STANDARD METHODS 2340-C	-
<b>Sulfatos</b>	mg/L	110	STANDARD METHODS 4500SO4-E	400
<b>Nitrógenos Totales</b>	mg/L	1.88	STANDARD METHODS 4500 – C	60
<b>Cloruros</b>	mg/L	99.26	STANDARD METHODS 4500 - Cl – B	1000
<b>Fósforos Totales</b>	mg/L	0.29	STANDARD METHODS 4500 - P – B	15,0
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100ml	0	STANDARD METHODS 9222 – D	2000

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

### ***3.3.3. Operaciones Unitarias en el proceso de tratamiento del agua residual***

En el marco de realizar los procesos controlando todas sus variables, es necesario establecer las operaciones unitarias realizadas en cada etapa del tratamiento del agua residual, que a continuación se encuentra detallado.

- ***Recepción del agua residual***

Para evitar que se tenga un sobre abastecimiento a la planta, es necesario controlar el flujo que ingresa, esto se realizará con la ayuda de un vertedero rectangular.

- ***Trampa de grasa***

Esta operación unitaria consiste en la separación de lo sólidos de gran tamaño en especial de material graso presente en el agua, la cual se realiza colocando barras de acero que únicamente permitan el paso del agua y no de contaminantes de gran tamaño, estas barras serán limpiadas manualmente ya que sistemas automáticos son muy costosos, las variables que controlaran el proceso son el área de paso, la inclinación y el número de barras.

- ***Transporte y almacenamiento del agua residual***

El transporte del agua residual se realizará con el uso de sistemas de tuberías y bombas, el cual se implementará con el fin de tener el gasto suficiente para procesar toda la cantidad de agua residual producida en la empresa, las variables que serán controladas en este proceso son el diámetro de la tubería, potencia de la bomba, caudal.

- ***Aireación***

En esta operación se da la transferencia de masa entre el agua y el aire, que es inyectado al tanque por medio de un sistema de difusores alimentados por un compresor, con esto se logra aumentar el oxígeno presente en el agua, ayudando a aumentar la biodegradabilidad de los contaminantes, es necesario controlar el flujo de aire y de carga contaminante en el agua.

- ***Coagulación y sedimentación***

Esta operación unitaria se realiza de manera conjunta, ya que es necesario primero adicionar un agente químico (coagulante) el cual reacciona con los contaminantes y produce su separación del agua, a continuación de formado los flóculos es necesarios que precipiten por efecto de la gravedad.

- ***Filtración***

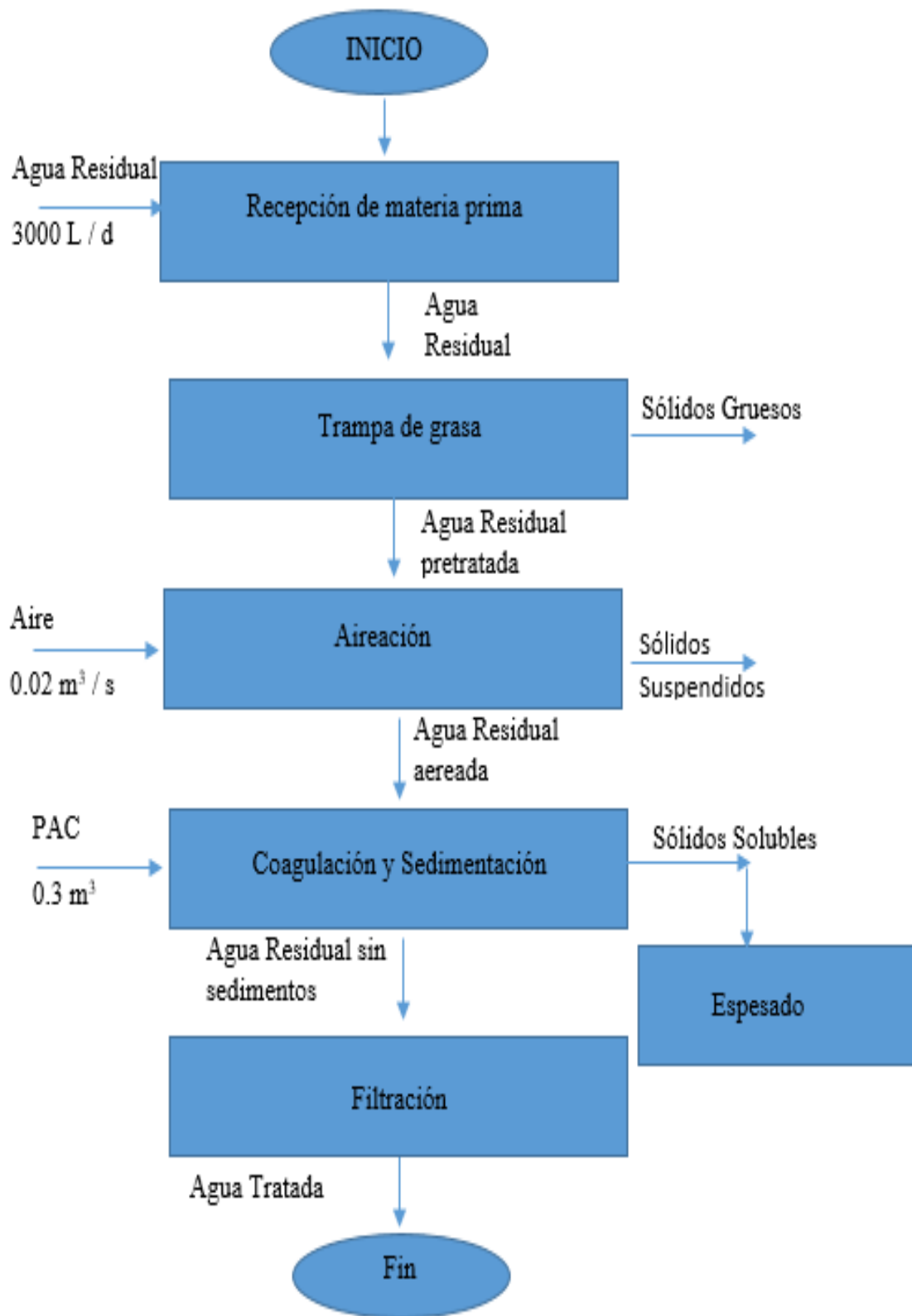
Esta operación unitaria tiene como fin no permitir el paso de contaminantes pequeños que aun puedan estar presentes en el agua, el fundamento de la operación unitaria es pasar el agua por un medio filtrante poroso, las condiciones a controlar son el caudal de agua, la velocidad de filtración y la carga contaminante del agua.

- ***Espesamiento***

El espesamiento es la separación del agua presente en los lodos producidos en el tratamiento físico-químico del agua residual, el lodo se separa del agua por efecto de la densidad.

#### ***3.3.4. Diagrama del proceso***

En la figura 5-3; se muestra el diagrama de flujo para el tratamiento del agua residual, en el cual se parte de la recepción del agua residual hasta la filtración y disposición final.



**Grafico 12-3:** Diagrama de proceso para el tratamiento del agua residual producida en la industria láctea “Santa Cruz”

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

### ***3.3.5. Distribución y diseño de la planta***

El máximo aprovechamiento de los recursos es necesario con el fin de reducir los costos de operación e instalación de la planta, con esto la planta ocupara 100 m<sup>2</sup>; y será necesario que se instale cerca de la industria láctea, con el fin de economizar gasto por transporte de agua; las áreas de la planta se muestran a continuación (revisar anexo 2)

### ***3.3.6. Descripción de las áreas***

- **Área de recepción y almacenamiento del agua:** Estará ubicada contigua al lugar donde se desecha el agua residual de la planta, esta área incluirá un vertedero rectangular, el sistema de atrapamiento de grasa, tuberías de PVC y el tanque de almacenamiento.
- **Área de tratamiento:** Se ubicarán los tanques de aireación, tanque de coagulación-sedimentación, el filtro y el espesador de lodos, estos estarán contiguos de acuerdo a la separación propuesta entre cada equipo; además de que aquí estarán instaladas tuberías de aguas, compresores.
- **Cuarto de máquinas:** En esta zona se ubicarán las bombas necesarias para el transporte de agua residual hacia las distintas áreas de la planta; está área estará ubicada cercana al área de tratamiento.
- **Bodega:** Está será ubicada en la parte posterior de la planta, en esta se almacenarán las sustancias químicas necesarias para el tratamiento del agua, además de que se ubicaran herramientas y aditivos necesarios para el mantenimiento de las máquinas; las cuales deben estar ubicadas en perchas y con la debida rotulación.
- **Área de oficinas:** Esta área se ubicará contigua a la bodega y servirá para la entrada del personal administrativo y de los operarios de la planta, en esta se ubicarán sillas, mesas, computadoras y material de oficina; además de que contará con un bar donde se puedan alimentar las personas que laboran en la planta.

### 3.4. Requerimiento de Tecnología, Equipos y Maquinaria

#### 3.4.1. Propuesta del diseño de los equipos

El procedimiento que se emplea para el tratamiento del agua residual, consiste en un pretratamiento que es una trampa de grasas, acompañado de aireación, un tratamiento físico químico con adición de coagulante y sedimentación; además que se incluye una línea de fangos en donde se espesara los mismos, la propuesta tecnológica de los equipos se detalla en las tablas siguientes.

**Tabla 30-3:** Propuesta tecnológica para el vertedero donde ingresa el agua residual a la planta de tratamiento

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
<b>Vertedero Rectangular</b>		
<b>Condiciones de diseño</b>		
Material de construcción	Asbesto	
Caudal de diseño	0.0012	m <sup>3</sup> / s
La altura de la cresta	0.15	M
La longitud de la cresta	0.10	M
La relación carga/altura	1.5	M
Altura mínima sobre el vertedero	0.06	M
<b>Condiciones Calculadas</b>		
Ancho de la cresta	0.26	M
Longitud del vertedero	1.30	M
Ancho del vertedero	0.15	M
Altura del vertedero	1.07	M
Área para el gasto	0.89	m <sup>2</sup>

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2018.

Para evitar que exista sólidos muy gruesos y presencia de grasas en el agua residual, es necesario incluir un sistema para atrapar las mismas, el cual consistirá en un sistema de cribas, para permitir el paso del agua y no permitir el paso de sólidos gruesos o grandes, la descripción de la propuesta tecnológica para el sistema para atrapar grasas se describe en la tabla 8-3.

**Tabla 31-3:** Propuesta tecnológica del sistema para atrapar grasas en el pre tratamiento del agua residual

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
<b>Atrapamiento de grasa</b>		
<b>Condiciones de diseño</b>		
Material de construcción	Acero Inoxidable	
Apertura de las rejillas	18	Mm
Velocidad de aproximación	3.37	m/s
Inclinación	45	°
Dimensión del paso	25	mm
Espesor de las barras	20	mm
<b>Condiciones Calculadas</b>		
Área libre de paso	0.05	m <sup>2</sup>
Altura del tirante del canal	0.15	m
Longitud de las rejillas	0.76	m
Numero de barras	15	unidades

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2018.

Para asegurarse tener un flujo continuo, desde la recuperación del agua residual hacia la planta de tratamiento de agua es necesario instalar un tanque de almacenamiento el cual estará ubicado antes de la planta; a este se le ubicará a una altura de 3 metros para aumentar el flujo del agua residual y evitar la adquisición de varias bombas para el transporte del fluido, la propuesta tecnológica se muestra a continuación.

**Tabla 32-3:** Propuesta técnica para el tanque de almacenamiento de agua residual

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
<b>Tanque de almacenamiento</b>		
<b>Condiciones de diseño</b>		
Material de construcción	Concreto	
Altura máxima del líquido	90	%
Volumen máximo de agua residual a almacenar	4.50	m <sup>3</sup>
Cabeza	Cónico	
Carcasa	Cilíndrica	
Diámetro de la cuerpo	2/3 de la altura	
Altura de la cabeza	¼ del diámetro de la carcasa	
<b>Condiciones Calculadas</b>		
Radio del cuerpo	1.44	m
Altura del tanque	4.30	m
Altura de la cabeza	0.92	m
Altura del cuerpo	3.37	m
Espesor del material	3	mm
Diámetro del agujero	0.54	cm
Tiempo de vaciado	40.44	min
Tiempo de llenado	38.52	min
Caudal de salida	0.014	m <sup>3</sup> /s

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2018.



Para reducir la carga orgánica contaminante, es necesario instalar un tanque de aireación en el pre tratamiento del agua, el mismo que inyectará aire comprimido por un sistema de difusores, instalados en el fondo del tanque y alimentados por un compresor, la transferencia de masa entre el agua residual y el aire se dará por burbuja simple.

**Tabla 33-3:** Propuesta tecnológica para el tanque de aeración del agua residual

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
<b>Tanque de aeración</b>		
<b>Condiciones de diseño</b>		
Material de construcción	Concreto	
Sistema de producción de aire	Difusores	
Transferencia de aire	Burbuja simple	
Geometría del tanque	Cuadrada	
Diámetro del compresor: 135 cm	100	mm
Caudal de diseño	0.006	m <sup>3</sup> /s
<b>Condiciones Calculadas</b>		
Longitud del tanque	1.53	m
Temperatura del aire	10.11	°C
Caudal de aire	0.17	m <sup>3</sup> /min
Longitud de la tubería	0.77	m
Potencia del motor	1½	Hp
Diámetro del orificio de salida	2	mm
Numero de orificios	79	agujeros

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2018.

El tratamiento físico-químico se realizará mediante una cámara de coagulación-sedimentación; en donde se introducirá el agua residual aireada; el agua entrará a la sección de coagulación en donde se añadirá PAC para la formación de los flóculos y se girará con un motor; contigua a la primera cámara estará la cámara de sedimentación, en donde se precipitará los flóculos formados; el diseño se muestra la tabla 11-3.

**Tabla 34-3:** Propuesta tecnológica para el tanque de coagulación-sedimentación para el tratamiento físico-químico del agua residual

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
<b>Tanque de coagulación-sedimentación</b>		
<b>Condiciones de diseño</b>		
Material de construcción	Concreto	
Alimentación	Contralada con un canal de Parshal.	
Caudal de diseño:	0.0012	m <sup>3</sup> /s
Numero de cámaras:	2	Cámaras
<b>Condiciones Calculadas</b>		
<b>Cámara de coagulación</b>		
Volumen de PAC (policloruro de aluminio)	0.35	m <sup>3</sup>
Volumen del tanque	3.66	m <sup>3</sup>
Ancho del tanque	0.83	m
Longitud del tanque	2.92	m

Altura del tanque	0.60	m
Numero de orificios en la pared difusora	19	orificios
Separación entre orificios	7.54	cm
<b>Paleta agitadora</b>		
Diámetro del impulsor	0.16	m
Distancia entre el fondo del tanque y el impulsor	0.16	m
Altura del impulsor	0.44	m
Largo de la paleta	0.04	m
Ancho de la paleta	0.03	m
Potencia del motor	¼	Hp

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2018.

Es necesario además instalar un filtro de arena y grava, el cual permitirá captar los sólidos que no hayan podido ser retenidos en las etapas anteriores, lo cual asegurará la calidad físico-química del agua, este filtro será de flujo lento para asegurar atrapar las sustancias pequeñas y necesitará instalarse una bomba antes del equipo para permitir el flujo normal del agua desde la tubería hacia el filtro, las condiciones de diseño se muestran a continuación.

**Tabla 35-3:** Propuesta tecnológica filtro para el tratamiento final del agua residual

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
<b>Filtro</b>		
<b>Condiciones de diseño</b>		
Material de las tuberías	Concreto	
Periodo de operación	24	h
Velocidad de filtración	2-3	m/h
Número de filtros	1	unidad
Disposición del lecho filtrante	Arena gruesa + Arena fina	
Tamaño de la graba	Arena gruesa 10-20 mm de diámetro de la partícula y espesor de la capa de 50 mm; arena fina: 2-5 mm de diámetro de la partícula y espesor de la capa de 50 mm	
Caudal necesario	0.0012	m <sup>3</sup> /s
<b>Condiciones Calculadas</b>		
Área del filtro	0.609	m <sup>3</sup>
Costos mínimos	0.15	-
Longitud del filtro	0.80	m
Altura del filtro	1.58	m
Altura de la graba gruesa	0.47	m
Altura de la graba fina	1.10	m
Numero de orificios para la alimentación del agua	21	unidades
Altura dinámica alcanzada por la bomba	11.64	m
Potencia de la bomba	¼	Hp

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2018.

Los lodos producidos por efecto de la coagulación y sedimentación, necesitan ser tratados para disminuir el impacto ambiental generado en la planta de tratamiento de aguas, el primer paso del tratamiento de los lodos será el de espesamiento por gravedad, en donde se eliminará el agua por efecto de la decantación de los sólidos, una vez espesados el lodo será más fácil realizar su deposición final o su tratamiento, el diseño del tanque de espesamiento se muestra en la tabla 36-3.

**Tabla 36-3:** Propuesta técnica para el tanque espesador de lodos producidos en el tratamiento físico-químico del agua residual

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
<b>Tanque espesador de lodos</b>		
<b>Condiciones de diseño</b>		
Material de construcción	Concreto	
Carga de sólidos	90-150	kg SS/m <sup>2</sup> d
Concentración de fango	2-6	%
Carga de sólidos para espesador por gravedad	1.58-1.98	Kg/m <sup>2</sup> -día
Tiempo de retención	24	Horas
Caudal de diseño	0.005	m <sup>3</sup> /s
<b>Condiciones Calculadas</b>		
Carga de lodos al sistema	0.304	kg/día
Flujo de lodos	0.0076	m <sup>3</sup> /día
Volumen de fangos	0.184	m <sup>3</sup>
Diámetro del tanque	0.35	M
Altura del tanque	1.20	M

Realizado por: JIMÉNEZ, Víctor. 2018.

### 3.5. Análisis Costo/Beneficio del Proyecto

La planta láctea deberá realizar la inversión en maquinar, esta consiste en los motores y accesorios necesarios para el funcionamiento normal de los equipos propuesto; para realizar un presupuesto de la necesidad de inversión; se realizó un proforma en el sitio (Abel, 2018); dedicado a la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales; los costos desglosados se reportan en la tabla 37-3.

**Tabla 37-3:** Adecuación de la zona para la planta.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
1001	Replanteo y nivelación de estructuras	m <sup>2</sup>	200,00	9,72	1944,00
1002	Excavación a mano en Suelo sin clasificar, Profundidad entre 0 y 2 m	m <sup>3</sup>	200,00	14,17	2834,00
1003	Replanteo de Piedra, e=20 cm	m <sup>2</sup>	200,00	6,01	1202,00
Subtotal					5980,00

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

**Tabla 38-3:** Instalación del vertedero y sistema de cribas.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D	P. UNITARIO	TOTA L
2001	Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> mas aditivo	m <sup>3</sup>	1,05	166,90	175,25
2002	Sum,-Ins, Malla electrosoldada R257	m <sup>2</sup>	1,20	15,12	18,14
2003	Encofrado Recto, con retiro de cofres para hormigón visto	m <sup>2</sup>	2,84	17,62	50,04
2004	Preparado y pintado de superficie	m <sup>2</sup>	2,84	5,27	14,97
2005	Regleta con flotador	u	1,00	120,34	120,34
2006	Rejilla metálica	m <sup>2</sup>	1,89	177,12	334,76
2007	Sum, Válvula HF D=200 mm	u	2,00	682,84	1365,68
2008	Enlucido 1:2 + Impermeabilizante	m <sup>2</sup>	2,84	17,14	48,68
2009	Colocación Tubería PVC Alcant. D=640 mm	m	4,50	9,53	42,89
2010	Barras metálicas de acero inoxidable	u	9,00	17,12	154,08
Subtotal					2324,83

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018

**Tabla 39-3:** Instalación del sistema de aireación.

ÍTE M	DESCRIPCIÓN	UNIDA D	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTA L
3001	Desbroce y limpieza	m <sup>2</sup>	19,00	0.17	3.23
3002	Replanteo mayor a 1 Ha	m <sup>2</sup>	19,00	10.6	201.4
3003	Excavación mecánica con Tractor	m <sup>3</sup>	4,30	10.51	45.193
3004	Relleno compactado para conformación de plataformas	m <sup>3</sup>	80,00	1.97	157.6
3005	Material de Reposición	m <sup>3</sup>	80,00	1.36	108.8
3006	Sum,-Ins, Geomembrana 1000 micras	m <sup>2</sup>	19,00	1.49	28.31
3007	Cargada de Material a máquina	m <sup>3</sup>	80,00	0.9	72
3008	Transporte de material hasta 5 km	m <sup>3</sup>	80,00	1.8	144
3009	Sum,-Ins, Tubería PVC Desagüe D=50 mm	m	4,00	7.05	28.2
3010	Sum,-Ins, Tubería PVC Desagüe D=110 mm	m	4,00	20.3	81.2
3011	Sum,-Ins, Tee PVC Desagüe D=50 mm	u	2,00	10.53	21.06
3012	Sum, Tapón PVC Desagüe D=110 mm	u	2,00	88.62	177.24
3013	Sum, Reductor PVC Desagüe D=110 x 50 mm	u	2,00	8.55	17.1
3014	Sum,-Ins, Codo PVC Desagüe D=110 mm 90 grad,	u	2,00	1.26	2.52
3015	Sum,-Ins, Codo PVC Desagüe D=50 mm 90 grad,	u	2,00	0.8	1.6
3016	Hormigón Simple 210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	80,00	98.3	7864
3017	Sum,-Ins, Malla electrosoldada R 84	m <sup>2</sup>	4,30	10.21	43.903
3018	Cadenas y columnas de Hormigón armado (0,20 x 0,20) (V6)	m	18,00	15.38	276.84
3019	Cadenas y columnas de Hormigón armado (0,20 x 0,20) (V5)	m	18,00	25.79	464.22
3020	1 motor para compresión de 1/4 Hp	u	1,00	275	275
Subtotal					10013.41
					6

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

**Tabla 40-3:** Instalación del tanque de coagulación – sedimentación.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
4001	Desbroce y limpieza	m <sup>2</sup>	6,00	0,17	1,02
4002	Replanteo mayor a 1 Ha	m <sup>2</sup>	6,00	9,60	57,6
4003	Excavación mecánica con Tractor	m <sup>3</sup>	6,16	1,51	9,3016
4004	Relleno compactado para conformación de plataformas	m <sup>3</sup>	6,16	1,97	12,1352
4005	Material de Reposición	m <sup>3</sup>	6,16	9,36	57,6576
4006	Sum,-Ins, Geomembrana 1000 micras	m <sup>2</sup>	6,60	6,49	42,834
4007	Cargada de Material a máquina	m <sup>3</sup>	6,16	0,90	5,544
4008	Transporte de material hasta 5 km	m <sup>3</sup>	6,16	1,80	11,088
4009	Sum,-Ins, Tee PVC Desagüe D=50 mm	u	2,00	5,52	11,04
4010	Sum,-Ins, Codo PVC Desagüe D=110 mm 90 grad,	u	2,00	12,65	25,3
4011	Sum,-Ins, Codo PVC Desagüe D=50 mm 90 grad,	u	2,00	8,14	16,28
4012	Hormigón Simple 210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	6,16	183,67	1131,4072
4013	Sum,-Ins, Malla electrosoldada R 84	m <sup>2</sup>	6,00	8,21	49,26
4014	Cadenas y columnas de Hormigón armado (0,20 x 0,20) (V6)	m	6,00	16,38	98,28
4015	Cadenas y columnas de Hormigón armado (0,20 x 0,20) (V5)	m	6,00	16,79	100,74
4016	Colocación de una pantalla difusora de Hormigón Simple 210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	5,00	183,67	918,35
4017	1 agitador de acero	u	1,00	400,00	400,00
4018	1 motor eléctrico a 220 V de ¼ Hp	u	1,00	150,00	150,00
Subtotal					3097,85

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

**Tabla 41-3:** Instalación del tanque espesador de lodos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
6001	Desbroce y limpieza	m <sup>2</sup>	20,00	0,17	3,4
6002	Replanteo mayor a 1 Ha	m <sup>2</sup>	20,00	9,60	192
6003	Excavación mecánica con Tractor	m <sup>3</sup>	1,26	1,51	1,9026
6004	Relleno compactado para conformación de plataformas	m <sup>3</sup>	15,87	1,97	31,2639
6005	Material de Reposición	m <sup>3</sup>	15,87	9,36	148,5432
6006	Sum,-Ins, Geomembrana 1000 micras	m <sup>2</sup>	20,00	6,49	129,8
6007	Cargada de Material a máquina	m <sup>3</sup>	15,87	0,90	14,283
6008	Transporte de material hasta 5km	m <sup>3</sup>	15,87	1,80	28,566
6009	Cadenas y columnas de Hormigón armado (0.20 x 0.20) (V6)	m	1,86	16,38	30,4668
6010	Cadenas y columnas de Hormigón armado (0.20 x 0.20) (V5)	m	1,86	16,79	31,2294
Subtotal					611,45

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

**Tabla 42-3:** Costo de la mano de obra para la construcción e instalación de la planta de tratamiento de agua residual.

<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario, \$</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo Total, \$</b>
Operario de maquinaria pesada	500	1	-	500
Ayudante de maquinaria	500	2	-	1000
Albañil (jefe)	650	1	-	650
Albañil (ayudante)	450	3	-	1350
Soldador	300	1	-	300
Chofer	350	2	-	700
<b>Subtotal</b>				4500

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

**Tabla 43-3:** Costo total de la obra.

<b>ÍTEM</b>	<b>VALOR (\$)</b>
Adecuación de las zonas para la planta	5980,00
Vertedero y sistema de cribas	2324,83
Tanque de aeración	10013,41
Tanque de sedimentación – coagulación	3097,85
Tanque de espesamiento de lodos	611,45
Costo de la mano de obra	4500,00
Costo Total	3378,90
Gasto en imprevistos (1%)	299.06
Total de inversión	30205.50

Realizado por: JIMÉNEZ Víctor, 2018.

El monto total que se deberá destinar para la construcción e implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, asciende a \$30205,50; el cual incluye la construcción de los tanques y la adquisición de los motores y accesorios necesarios para el funcionamiento de la planta, este rubro variará de acuerdo al coste de los materiales al momento de la construcción de la planta.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para comenzar la investigación fue necesario la toma de muestras del agua residual producida en la empresa láctea, a continuación se realizó la caracterización inicial de la muestra para determinar el tipo de tratamiento que se realice al agua de acuerdo al tipo de contaminantes presentes, de los resultados se determinó que la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, el contenido de sólidos totales y el contenido de grasas fueron los contaminantes principales del agua y estos no cumplen la norma TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 8; por lo que se hizo evidente el tratamiento del agua residual para reducir su carga contaminante.

El tratamiento que mayor importancia tendrá en la planta, será el de coagulación-sedimentación en donde se reducirá los sólidos y el contenido orgánico que son los mayores contaminantes de la planta, para establecer el mejor coagulante, la dosis óptima y el pH óptimo de tratamiento se realizaron pruebas de jarras en donde se estableció que el mejor coagulante para este tipo de aguas es el PAC al 10% (poli cloruro de aluminio) en una dosis de 5ml/litro de agua residual de lo cual se obtuvo una turbiedad igual a 50, pH igual a 7,38 y color igual a 184; que cumplen con la norma.

Del resultado de la prueba de jarras, se estableció los diferentes tratamientos que se le realizaron a escala de laboratorio al agua residual, los cuales incluyeron una trampa de grasa, un sistema de aireación, un tratamiento físico-químico (coagulación-sedimentación) y filtrada, anotada las variables de proceso, se realizó la caracterización final del agua, la cual reporto que todos los parámetros cumplen con la norma; con estos datos se realizó la propuesta tecnológica para la planta.

El primer paso fue establecer el caudal de diseño, se estudió la producción de agua residual en distintos días de producción de la planta, con esto se determinó que el caudal promedio de producción de agua residual es de 30.8 l/min; este dato se tomó como base de cálculo para el dimensionamiento del sistema.

Para el ejercicio de cálculo, se diseñó el vertedero rectangular donde ingresará el agua residual; cuyas medidas principales fueron el ancho de la cresta igual a 0.03 m, la longitud igual a 0.40 m y la velocidad de fluido igual a 1.44 m/s; para el pre tratamiento se diseñó un sistema para atrapar grasa con cribas metálicas, cuyas dimensiones principales serán 0.64 de longitud de las barras, numero de barras igual a 2 y ángulo de inclinación de 45°.

A continuación, se propuso el pre tratamiento en un tanque de aireación, el cual tendrá forma cuadrática; el aire será alimentado por un compresor de potencia igual a ¼ Hp y las dimensiones del tanque serán 1.03 m de longitud; la sedimentación y coagulación se realizará en un tanque de



dos cámaras, la primera cámara de coagulación con un ancho de 0.58 m y una altura del tanque de 0.40 m; será adicionado 0.1 m<sup>3</sup> de PAC y el sistema girara mediante un impulsor de dos aspas cuya potencia será igual a ¼ Hp.

Para el tratamiento final del agua residual se propone un equipo de filtración que funcionará con grava gruesa a la entrada y grava fina en el medio del lecho filtrante, la altura del tanque será igual a 1.58 metros y estará dotado de una bomba para el paso de agua de potencia igual a ½ Hp, la inversión necesaria para la construcción e implementación de la planta será igual a \$22616, lo que incluye la adquisición de equipos neumáticos, la construcción de los tanques de aireación, sedimentación-coagulación, filtro y espesado de lodos.

## CONCLUSIONES

- La caracterización inicial del agua residual producida en la industria láctea “Santa Cruz” del canto Santiago de Pillaro, para la demanda bioquímica de oxígeno reporto valores iguales a 8200 mg/l, para la demanda química de oxígeno valores iguales a 14800 mg/l, para los sólidos totales valores iguales a 11452 mg/l y para el contenido de aceites y grasas valores iguales a 4947; estos fueron los principales contaminantes que no cumplieron con la norma TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 8.
- El tratamiento óptimo del agua residual se realizó mediante el test de jarras en donde se comparó la adición de diferentes tipos de coagulantes, el mejor fue el PAC con una dosis optima de 5 ml/1000ml de agua residual con lo que se obtuvo una turbiedad igual a 50, pH igual a 7,38 y color igual a 184.
- Verificados los análisis de calidad del agua, para lograr el tratamiento del agua residual se identificaron las siguientes operaciones unitarias: transporte y almacenamiento de fluidos, trampas de grasa, mezcla y homogenizado, sedimentación y filtración; además las variables de proceso que se identificaron fueron: disposición geométrica de los tanques, velocidad de flujo, caudal volumétrico, disposición geométrica de las tuberías, potencia de las bombas, compresores y tiempo de residencia del agua residual.
- Se realizó los cálculos de ingeniería para el diseño del tratamiento del agua residual, en base a las pruebas simuladas en el laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ciencias de la ESPOCH, partiendo del caudal igual a 30.8 l/min, las operaciones realizadas permiten conocer que es necesario que en la planta se instalen: tuberías de PVC, vertedero, bombas, tanque de almacenamiento, tanques de aireación, coagulación-sedimentación y espesamiento de lodos.
- Para validar el proceso de tratamiento del agua, se realizaron las pruebas de calidad de acuerdo a la TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 8, con esto se obtuvo que ningún parámetro estuvo fuera del límite permisible; además la demanda bioquímica de oxígeno reportó valores iguales a 150 mg/l, para la demanda química de oxígeno valores iguales a 413 mg/l, para los sólidos totales valores iguales a 892 mg/l y para el contenido de aceites y grasas valores iguales a 9.6 mg/l

## RECOMENDACIONES

- Una vez instalada la planta controlar todas las variables que se mencionaron para lograr el tratamiento óptimo de la planta, además de que se debe probar diferentes tiempos de residencia para el agua en los equipos en especial en el equipo de sedimentación que es el que más tiempo lleva para disminuir la carga contaminante.
- Se recomienda realizar mensualmente la limpieza de los equipos, por lo general de la rejilla y el atrapa grasa para evitar daños a la planta de agua residual.
- Es necesario dar mantenimiento mensual a los equipos de la planta de agua residual con el fin de evitar problemas a largo plazo.
- Instalar un tanque de cloración; para que el agua recuperada pueda ser clorada; además de esto incentivar a la planta en el aprovechamiento de los residuos sólidos para evitar la contaminación del agua residual que genera una mayor complejidad en los tratamientos con el fin de no generar daños al medio ambiente.
- Controlar que los parámetros sigan cumpliendo semestralmente con la norma vigente de calidad ambiental del Registro **Oficial N°387 del Ministerio Ambiental 097-AANEXO 1** del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

### 3.6. Cronograma del proyecto

ACTIVIDADES	TIEMPO (MES)																									
	1				2				3				4				5				6					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Revisión de la Bibliografía	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
Realización del borrador del Anteproyecto		█	█																							
Revisión del borrador del Anteproyecto			█	█																						
Obtención de Información		█	█	█																						
Corrección de anteproyecto			█	█																						
Presentación y Aprobación del Anteproyecto				█	█	█																				
Muestreo del agua potable y residual de proceso						█	█																			
Caracterización del agua potable y residual de proceso							█	█																		
Identificación de Variables para el diseño								█	█	█																
Calculos de ingeniería								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
Validación del Diseño																			█	█	█	█				
Caracterización final de agua potable y residuales de proceso																			█	█	█	█				
Revisión y Corrección																					█	█	█	█		
Presentación final																								█	█	

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Ambiente, M. d. (14 de Noviembre de 2015).** Registro Oficial. *Texto Unificado de Legislación Ambiental*. Quito.
2. **Clarke Loyal, Robeth Davidson,** *Manual for Process Engineering Calculations*, Segunda Ed, Inglaterra Londres, 1962, pp. 25-115.
3. **CRITES, R.** *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. México, McGraw-Hill Interamericana. 2000, pp. 30-44
4. **E.W. Rice, R.B. Baird, A.D.** *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Ed, New York, 2017, pp. 134-240.
5. **Ferrer Pole, J., &Seco Terrecillas, A.** *Tratamiento de agua Residual. Tratamiento Fisico y Quimico de agua Residual*, Valencia, Univercidad Politecnica de Valencia, 2005, pp. 09-140.
6. **Henry Z. Kister & D. E. Steinmeyer,** *Equipment for Distillation, Gas Absorption,*
7. *Phase Dispersion, and Phase Separation*, tercera Ed, Boston, 2002, pp. 67-90.
8. **John R. McWhirter & Joseph C. Hutter,** *Improved oxygen mass transfer modeling for diffused*, Segunda Ed, España, 1989. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/aic.690350913>
9. **MEJÍA Ana Estefanía,** *Análisis de Porcentaje de Ahorra de Agua Potable en una Lavadora de Vehículos y su Tratamiento*, [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad del Azuay, Facultad de Ciencias. Cuenca, Ecuador. 2016. pp. 27-30. [Consulta: 2018-12-23]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6463/1/12601.pdf>
10. **Metcalf & Eddy, & INC.** *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento Vertido y Reutilización* (tercera edicion ed., Vol. 1). 1995. España: impresos y Revistas, S,A(IMFRESA).
11. **MEZA Anibal Alviz & CUETO FERREIRA David Camilo,** *Diseño de un Sistema de Aireación para una Planta de Lodos Activados*, Universidad de Cartagena, Facultad de Ingenieria, Cartagena Colombia, 2016, pp. 57-87. Disponible en: <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/131/1/DISEÑO%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20AIREACIÓN%20PARA%20UNA%20PLANAT%20DE%20LODOS%20ACTIVADOS%20EN%20ZOFRANCA%20MAMONAL..pdf>
12. **NORMA INEN 2169 (1998) Spanish:** *Agua. Calidad de agua. Muestreo y Conservación de muestras.*
13. **NORMAS INEN 2176 (1998) Spanish:** *Agua. Calidad de agua. Muestreo y Técnicas de muestreo.*
14. **NTE INEN-ISO 10523,** *Calidad del Agua. Determinación del pH*, Primera ed. 2014.

15. **Romero, Jairo.** *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño.* Bogotá Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010, pp. 108-116.
16. **Unda, Francisco.** Filtración. *Ingeniería Sanitaria* .Segunda Ed. Mexico : s.n., 1969, págs. 147-149.
17. **Ven Te Chow,** *Hidráulica de los canales abiertos.* Segunda Ed, Tokio Japon, 2012, pp. 450-560.
18. **Warren L. McCabe & Julian C. Smith & Peter Harriott,** *Operaciones unitarias en Ingeniería Química,* Cuarta Ed. Madrid España, 1963. Disponible en: <https://ingenieriapetroquimicaunefazulia.files.wordpress.com/2011/05/operaciones-unitarias-a.pdf>

## ANEXOS

**Anexo A.** Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I Tabla 8.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Ci nc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr <sup>6+</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Mangane so total	Mn	mg/l	10,0
Me rcuri o (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		8-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendedos Total e s	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Anexo B. Resultados obtenidos a la caracterización inicial del agua residual

# ESPOCH

## LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Víctor Alfonso Jiménez Idrovo

Fecha de Análisis: 20-12-2018

Tipo de muestras: Agua Residual de la empresa de lácteos Santa Cruz

Localidad: Cantón Pillaro – Tungurahua

### Trabajo De Titulación

#### Análisis Químico


Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Ph	Und.	4500-B	6-9	8,43
Conductividad	$\mu$ Siems/cm	2510-B	-	1,15
Turbiedad	UNT	2130-B	-	3
Temperatura	°C		<40	20
Color	Upt-co	2120-c	Inapreciable en dilución 1/20	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	4500-NH3	60	1,88
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	413
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	159
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20	<1
Alcalinidad	mg/L		-	30
Accites y grasas	mg/L	5520.B	70	9,6
Sólidos totales	mg/L	2540-B	1600	892
Calcio	mg/L	2340-C	-	94,70
Sulfatos	mg/L	4500-CO-E	400	110
Cloruros	mg/L	4500-Cl-B	1000	99,26
Fósforos totales	mg/L	4500-P-B	15,0	0,29
Coliformes Fecales	UFC/100mL	9222-D	2000	0

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF

\*\* Norma TULSMA tabla 8. Acuerdo Ministerial 097A del 04 de noviembre del 2015 Límites de descarga al sistema de alcantarillado.

Observaciones:

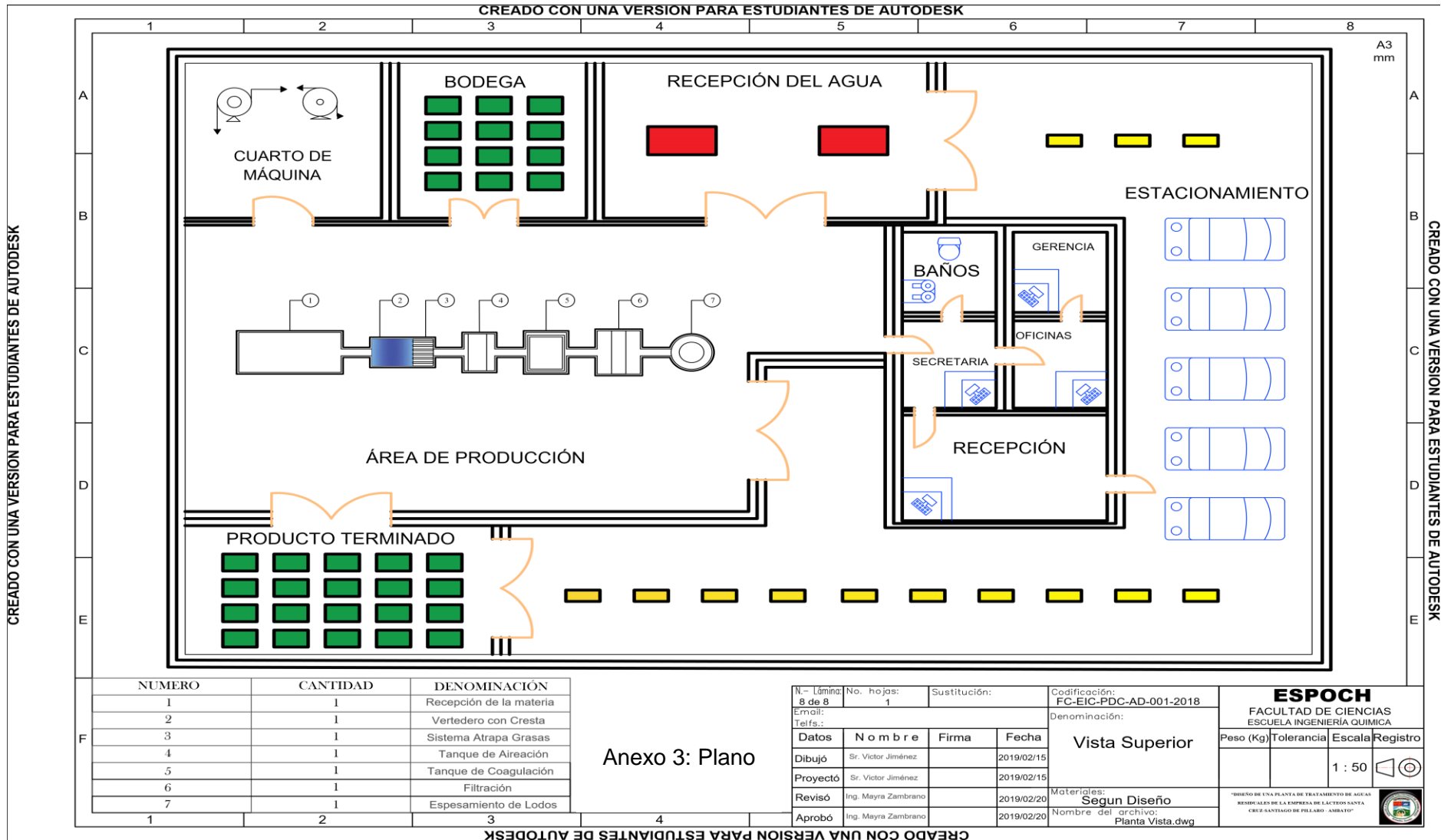
Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

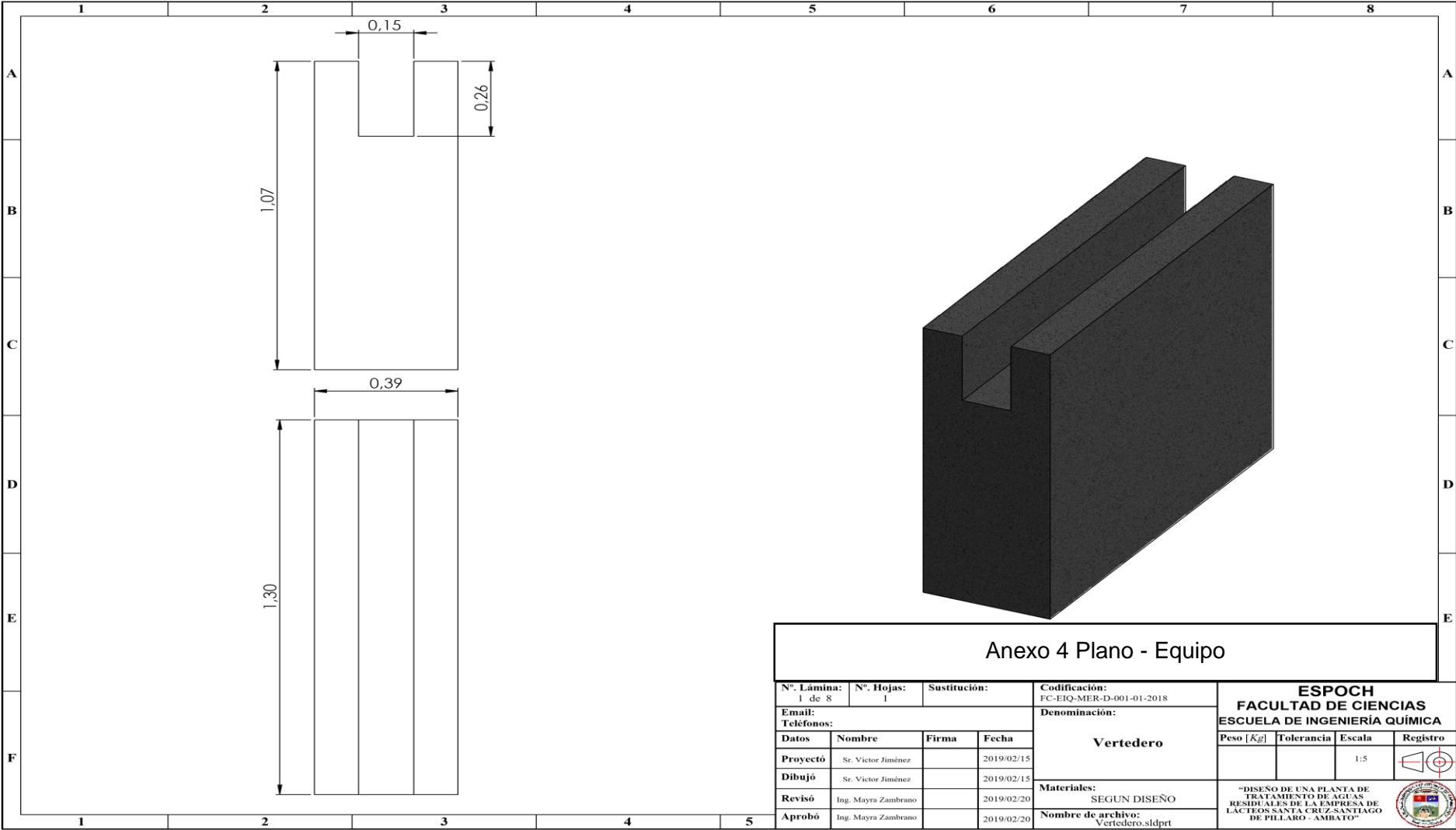




Anexo C. Plano de la planta de tratamiento de agua residual



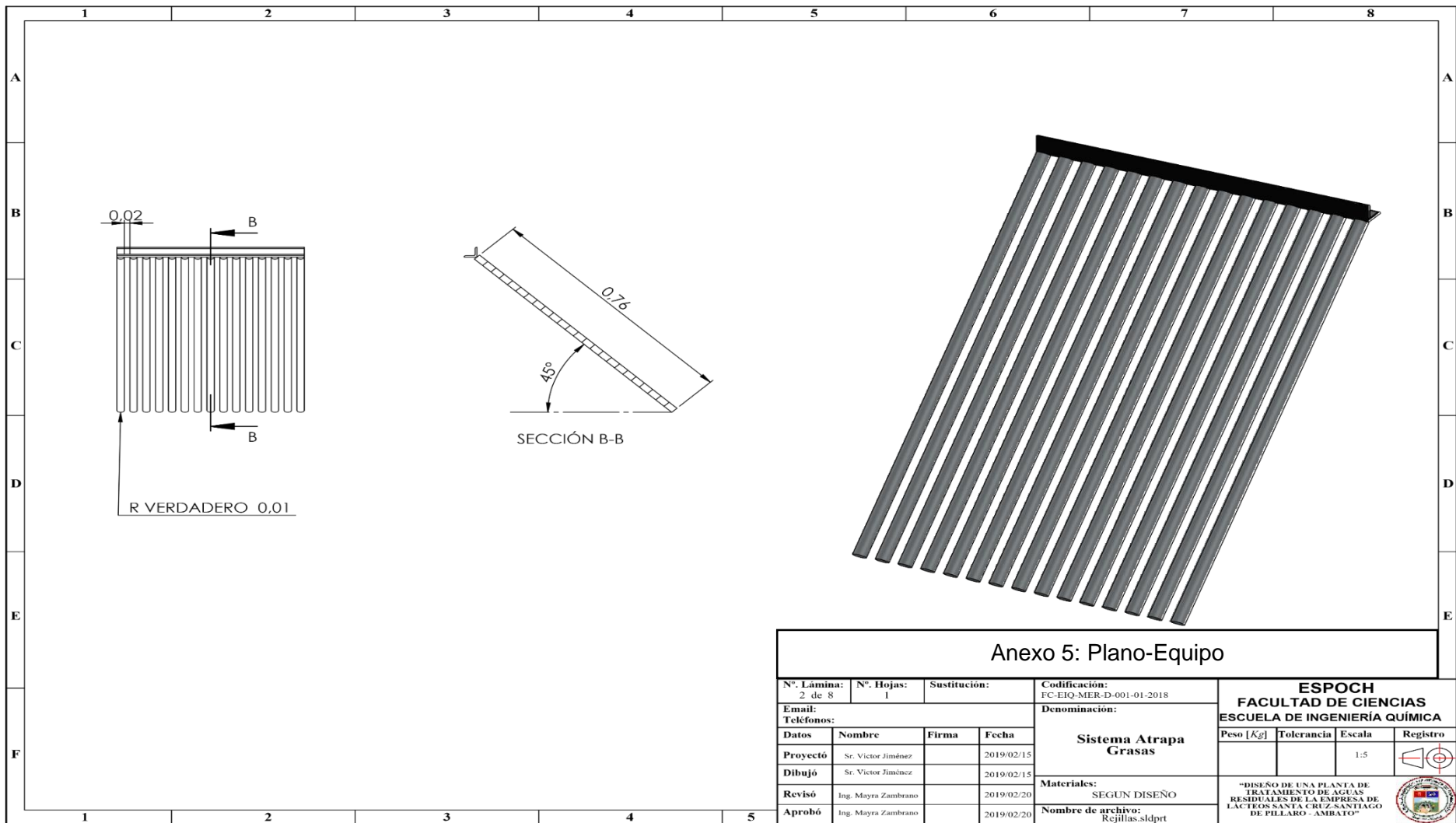
Anexo D. Plano de la propuesta tecnológica para el vertedero rectangular



Anexo 4 Plano - Equipo

N°. Lámina: 1 de 8		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FC-EIQ-MER-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>			
Email:		Teléfonos:		Denominación:		Vertedero					
Proyectó		Sr. Victor Jiménez		Firma		Fecha		1:5			
Dibujó		Sr. Victor Jiménez		Firma		Fecha		Materiales:		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LACTEOS SANTA CRUZ-SANTIAGO DE PILLARO - AMBATO"	
Revisó		Ing. Mayra Zambrano		Firma		Fecha		SEGUN DISEÑO			
Aprobó		Ing. Mayra Zambrano		Firma		Fecha		Nombre de archivo: Vertedero.sldprt			

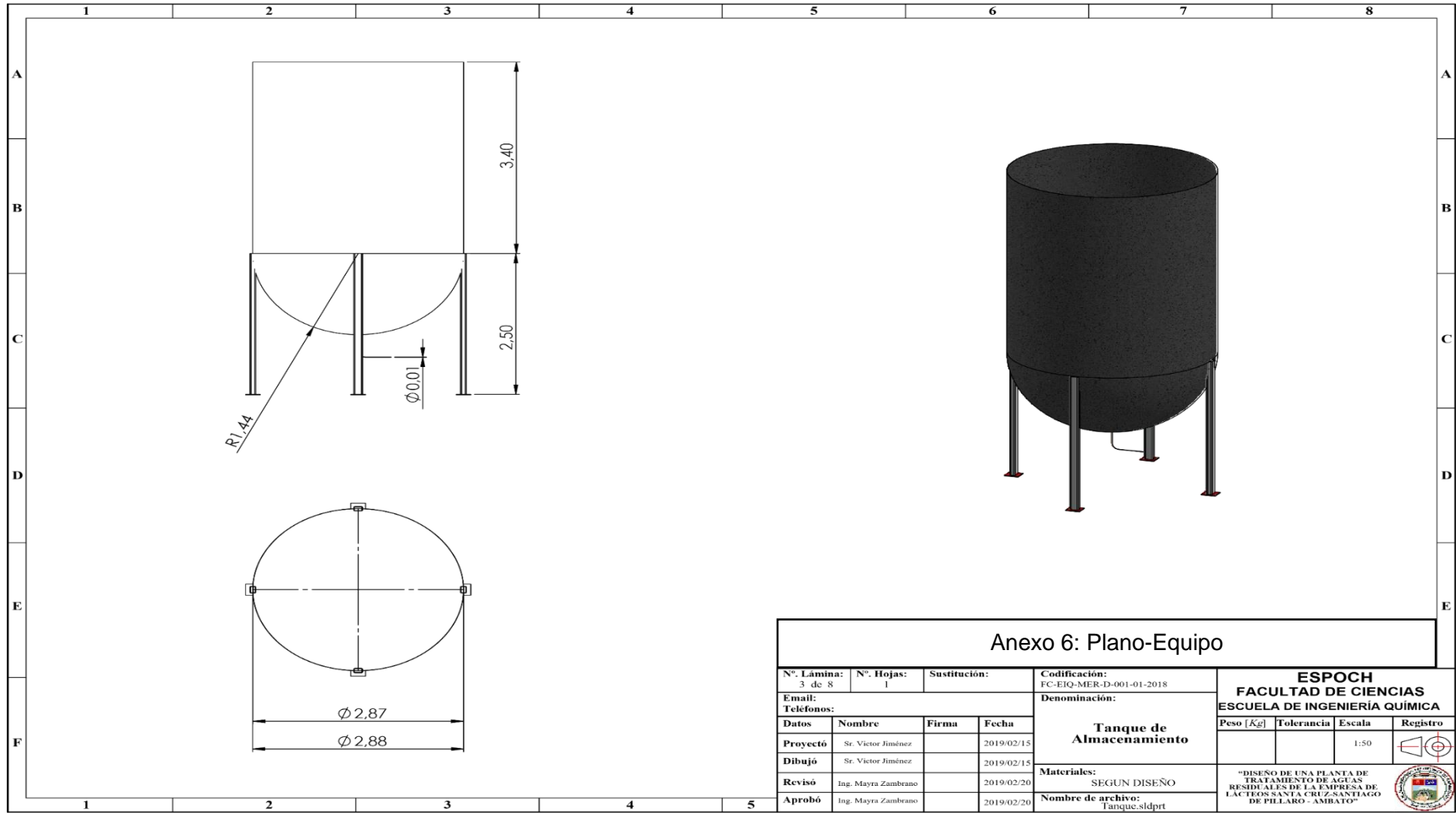
Anexo E. Plano de la propuesta tecnológica para el sistema de cribas



Anexo 5: Plano-Equipo

N°. Lámina: 2 de 8		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FC-EIQ-MER-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>					
Email:		Teléfonos:		Denominación: <b>Sistema Atrapa Grasas</b>		Peso [Kg]						Tolerancia	
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Materiales:</b> SEGUN DISEÑO		<b>Nombre de archivo:</b> Rejillas.sldprt		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LACTEOS SANTA CRUZ-SANTIAGO DE PILLARO- AMBATO"					
<b>Proyectó</b>	Sr. Victor Jiménez		2019/02/15										
<b>Dibujó</b>	Sr. Victor Jiménez		2019/02/15										
<b>Revisó</b>	Ing. Mayra Zambrano		2019/02/20										
<b>Aprobó</b>	Ing. Mayra Zambrano		2019/02/20										

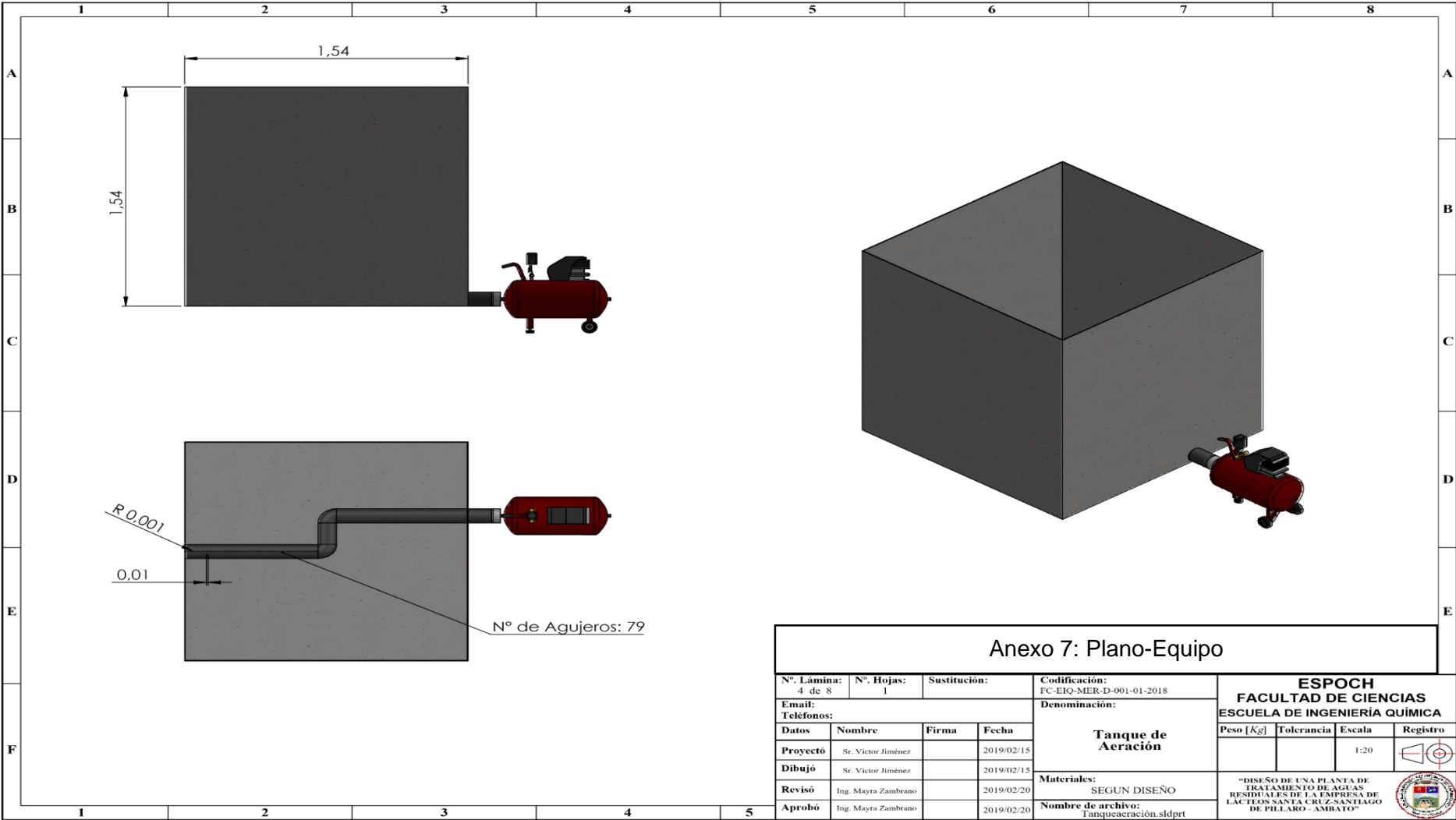
Anexo F. Plano de la propuesta tecnológica para el tanque de almacenamiento



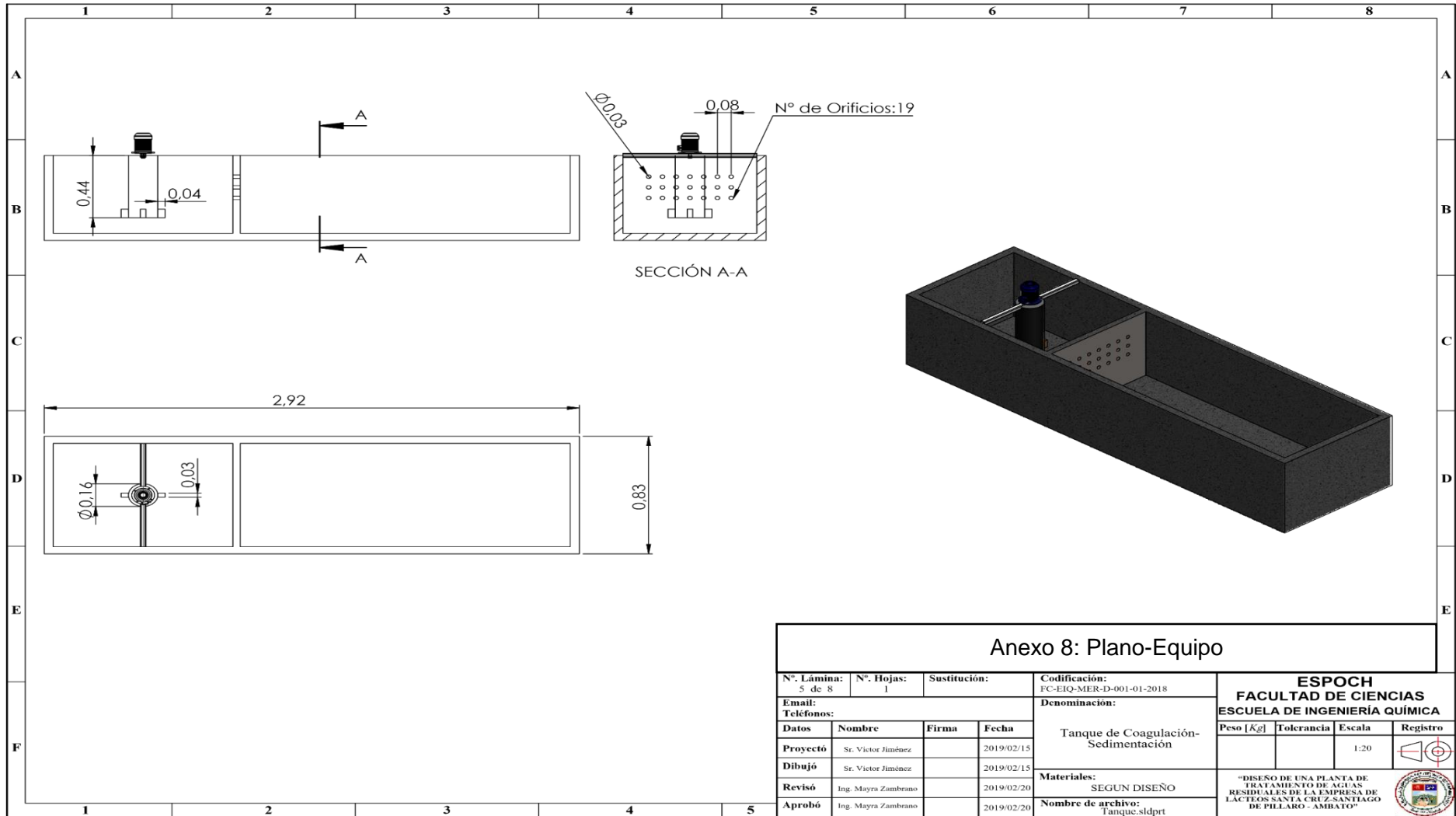
Anexo 6: Plano-Equipo

N°. Lámina: 3 de 8		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FC-EIQ-MER-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>			
Email:		Telefonos:		Denominación:		Tanque de Almacenamiento					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales:		SEGUN DISEÑO		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS SANTA CRUZ-SANTIAGO DE PILLARO- AMBATO"			
Proyectó	Sr. Victor Jiménez		2019/02/15	Nombre de archivo:		Tanque.sldprt					
Dibujó	Sr. Victor Jiménez		2019/02/15	Aprobó		Ing. Mayra Zambrano					
Revisó	Ing. Mayra Zambrano		2019/02/20								
Aprobó	Ing. Mayra Zambrano		2019/02/20								

**Anexo G. Plano de la propuesta tecnológica para el tanque de aireación**



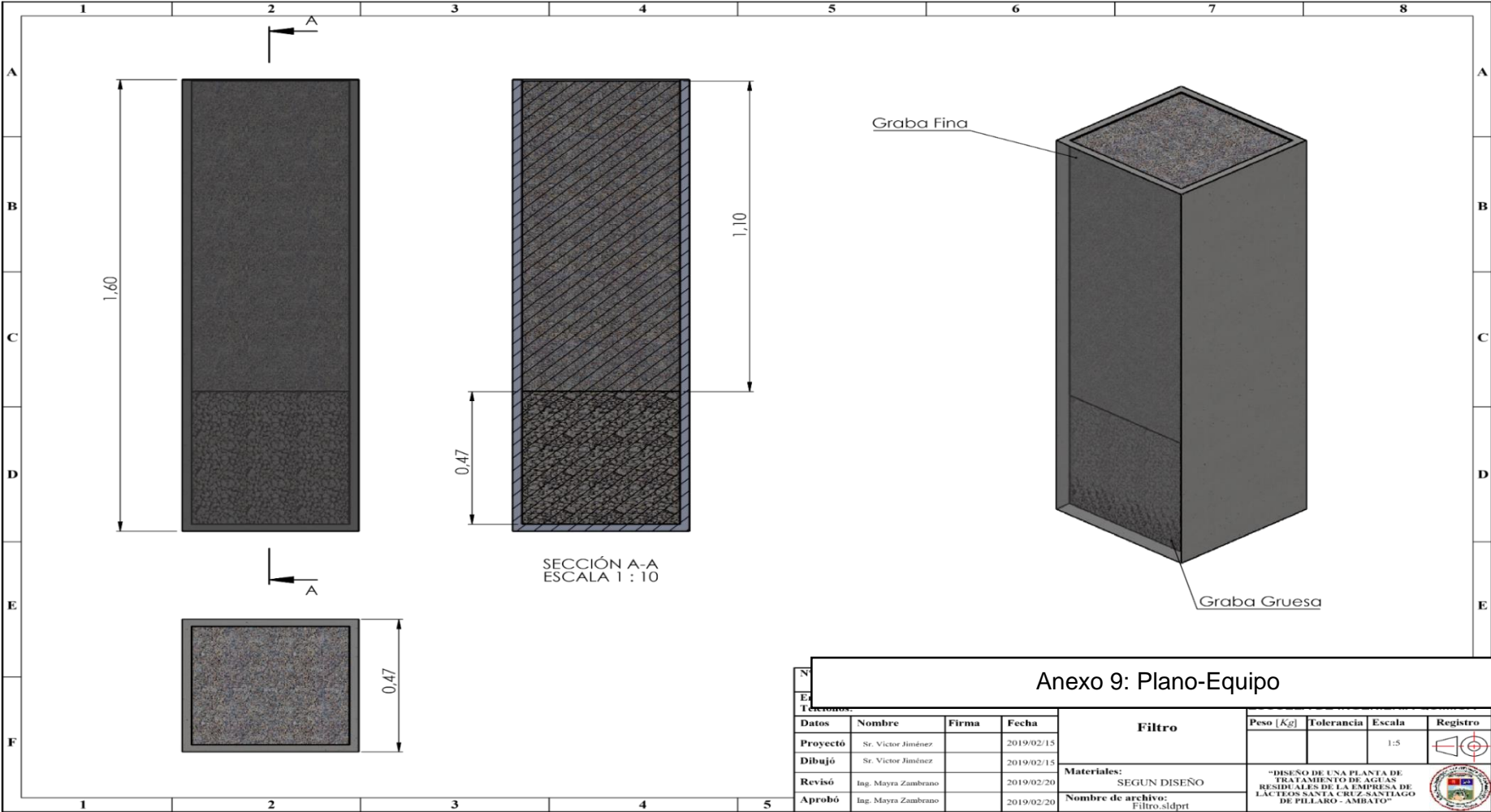
**Anexo H.** Plano de la propuesta tecnológica para el tanque de floculación – sedimentación



**Anexo 8: Plano-Equipo**

N°. Lámina: 5 de 8		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FC-EIQ-MER-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>			
Email:		Teléfonos:		Denominación: Tanque de Coagulación-Sedimentación		Materiales: SEGUN DISEÑO					
Proyectó		Dibujó		Revisó		Aprobó		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LACTEOS SANTA CRUZ-SANTIAGO DE PILLARO - AMBATO"			
Sr. Victor Jiménez		Sr. Victor Jiménez		Ing. Mayra Zambrano		Ing. Mayra Zambrano					
2019/02/15		2019/02/15		2019/02/20		2019/02/20					

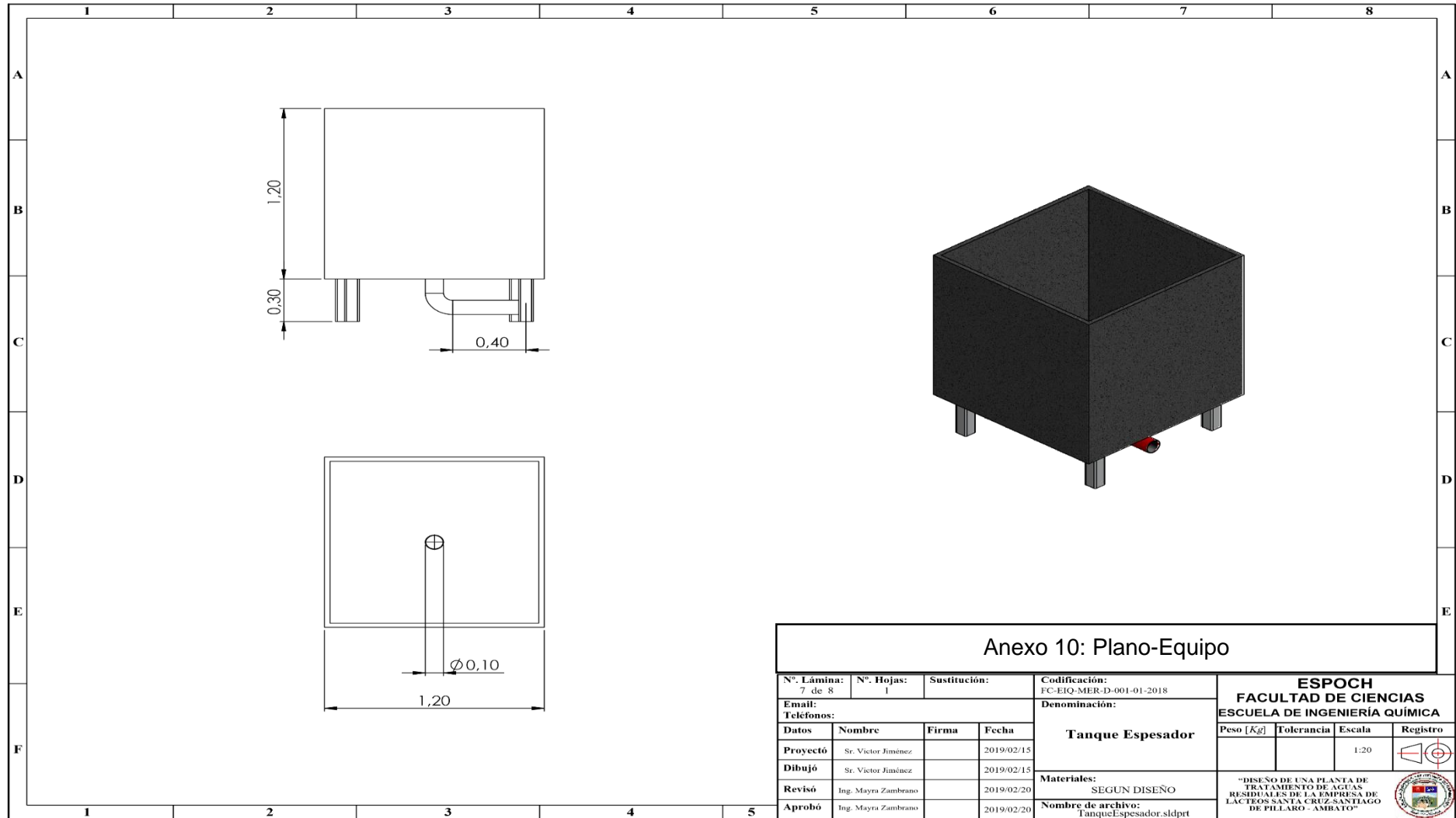
**Anexo I. Plano de la propuesta tecnológica para el filtro**



**Anexo 9: Plano-Equipo**

Datos				Filtro	Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Sr. Victor Jiménez		2019/02/15				1:5	
Dibujó	Sr. Victor Jiménez		2019/02/15	Materiales: SEGUN DISEÑO	"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LACTEOS SANTA CRUZ-SANTIAGO DE PILLARO - AMBATO"			
Revisó	Ing. Mayra Zambrano		2019/02/20					
Aprobó	Ing. Mayra Zambrano		2019/02/20					
Nombre de archivo:				Filtro.sldprt				

Anexo J. Plano de la propuesta tecnológica para el espesador de lodos



Anexo 10: Plano-Equipo

Nº. Lámina: 7 de 8		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FC-EIQ-MER-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>					
Email:		Teléfonos:		Denominación: <b>Tanque Espesador</b>		Peso [Kg]						Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Materiales: SEGUN DISEÑO		"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS SANTA CRUZ-SANTIAGO DE PILLARO- AMBATO"			
Proyectó		Sr. Victor Jiménez				2019/02/15							
Dibujó		Sr. Victor Jiménez				2019/02/15							
Revisó		Ing. Mayra Zambrano				2019/02/20							
Aprobó		Ing. Mayra Zambrano				2019/02/20		Nombre de archivo: TanqueEspesador.sldprt					