



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA LA PARROQUIA VINCHOA, CANTÓN  
GUARANDA, PROVINCIA BOLIVAR”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

**Previo a la obtención del título de:**

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: JOSELYN BELÉN CAMINOS ALARCÓN**

**TUTOR: ING. HANNÍBAL BRITO PhD**

**Riobamba - Ecuador**

**2018**

**©2018, Joselyn Belén Caminos Alarcón**

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 presente trabajo técnico “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA VINCHOA, CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA BOLIVAR**” de responsabilidad de la señorita Joselyn Belén Caminos Alarcón, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Hannibal Brito	.....	.....
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>		
Ing. Rafaela Viteri	.....	.....
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Joselyn Belén Caminos Alarcón, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 28 de Febrero del 2018

“Yo, Joselyn Belén Caminos Alarcón, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

---

JOSELYN BELÉN CAMINOS ALARCÓN

## DEDICATORIA

*A mi abuelita Teresa de Jesús y mi tío Fabián Alarcón, quienes me amaron incondicionalmente y desde el cielo estarán orgullosos por el logro alcanzado.*

*A mi madre Marcia Alarcón, por su dedicación, esfuerzo y ejemplo durante toda mi vida académica, por su valiosa presencia en cada momento, por su apoyo, ánimo y abrazos cuando más lo necesitaba.*

*A mis hermanos Vladimir y Cristian Caminos, por ser mi fuente de inspiración y superación, por cuidarme, aconsejarme y defenderme de todo peligro.*

*Joselyn*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la oportunidad de ver cristalizado mi esfuerzo y así alegrar el corazón de mi madre y hermanos.

A mis familiares y amigos quienes con amor y palabras de aliento me motivaron.

Al Ingeniero Cristian Flores, por desinteresadamente invertir su tiempo y guiarme con su conocimiento.

Al Ingeniero Hanníbal Brito e Ingeniera Rafaela Viteri por su disponibilidad, preocupación y ayuda en mi trabajo de titulación.

A la Empresa Municipal de Agua potable y alcantarillado de Guaranda EMAPA-G y Dpto. de Obras Públicas, por la apertura, acogida y entrega de información.

Joselyn

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO I.....	1
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Identificación del problema .....	1
1.2. Justificación del proyecto .....	2
CAPÍTULO II .....	3
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
2.1. General .....	3
2.2. Específicos .....	3
CAPÍTULO III.....	4
3. ESTUDIO TÉCNICO .....	4
3.1. Ingeniería de proyecto .....	4
3.1.1. Aguas residuales.....	4
3.1.2. Muestreo de aguas residuales .....	6
3.1.3. Normativa Ambiental .....	6
3.1.4. Tratamiento de aguas residuales .....	8
3.1.5. Sistema de tratamiento de aguas residuales .....	8
3.1.6. Rendimiento del proceso de depuración .....	36
3.2. Parte experimental.....	37
3.2.1. Diagnóstico del área de estudio .....	37
3.2.2. Metodología .....	38
3.3. Datos experimentales.....	45
3.3.1. Datos del diagnóstico .....	45
3.3.2. Dimensionamiento de la planta de tratamiento para aguas residuales.....	49
3.4. Resultados .....	63
3.4.1. Resultados de la caracterización de las aguas residuales .....	63

3.4.2.	Resultados del dimensionamiento de las unidades físicas de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	65
3.5.	Propuesta .....	69
3.5.1.	Rendimiento del proceso de depuración a nivel de laboratorio.....	70
3.5.2.	Rendimiento del proceso de depuración a nivel de planta .....	73
3.5.3.	Verificación del cumplimiento con la Normativa Ambiental .....	77
3.6.	Presupuesto .....	77
3.6.1.	Presupuesto de la planta de tratamiento .....	77
3.6.2.	Presupuesto de productos químicos .....	79
3.6.3.	Análisis económico .....	79
3.7.	Análisis y discusión de resultados .....	80
	CONCLUSIONES .....	83
	RECOMENDACIONES .....	84
	BIBLIOGRAFÍA.....	85
	ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. ....	39
<b>Tabla 2-3</b> Límites de la parroquia Vinchoa.....	54
<b>Tabla 3-3</b> Valores pluviométricos mensuales (mm) .....	54
<b>Tabla 4-3</b> Descarga existente.....	55
<b>Tabla 5-3</b> Caudal promedio existente. ....	56
<b>Tabla 6-3</b> Caudal promedio de descarga proyectado a 30 años .....	56
<b>Tabla 7-3</b> Materiales y equipos para muestreo de agua residual .....	56
<b>Tabla 8-3.</b> Materiales y equipos para caracterizar el agua residual .....	38
<b>Tabla 9-3</b> Índice de biodegradabilidad relación DQO/DBO. ....	42
<b>Tabla 10-3</b> Tipo de biodegradabilidad .....	42
<b>Tabla 11-3</b> Prueba de Jarras con Cloruro Férrico al 10% .....	59
<b>Tabla 12-3</b> Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio, Polielectrolito y cal. ....	59
<b>Tabla 13-3</b> Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio, Polielectrolito y cal a diferentes dosificaciones. ....	44
<b>Tabla 14-3</b> Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio, Polielectrolito y cal. ....	44
<b>Tabla 15-3</b> Prueba de Jarras con Policloruro de Aluminio y Polielectrolito. ....	44
<b>Tabla 16-3</b> Prueba de Jarras con Policloruro de Aluminio y Polielectrolito a diferente dosificación. ....	44
<b>Tabla 17-3</b> Prueba de Jarras con Policloruro de Aluminio y Polielectrolito disminuyendo la dosificación .....	45
<b>Tabla 18-3</b> Caudal promedio descarga existente. ....	60
<b>Tabla 19-3</b> Caudal descarga proyectado a 30 años .....	46
<b>Tabla 20-3</b> Datos para el diseño del canal .....	61
<b>Tabla 21-3</b> Coeficiente de rugosidad de Manning. ....	46
<b>Tabla 22-3</b> Datos para el cálculo de rejillas de limpieza manuales .....	46
<b>Tabla 23-3</b> Valores de Rischmer .....	63
<b>Tabla 24-3</b> Propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas. ....	47
<b>Tabla 25-3</b> Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.....	47
<b>Tabla 26-3</b> Datos para el diseño de desarenadores de diferente tipo.....	48
<b>Tabla 27-3</b> Datos para el cálculo de la dosificación de químicos.....	64
<b>Tabla 28-3</b> Datos para el diseño del sedimentador de alta tasa. ....	49
<b>Tabla 29-3</b> Datos para el cálculo de la dosificación de Hipoclorito de Sodio .....	66
<b>Tabla 30-3</b> Datos para el diseño de lechos de secado .....	66
<b>Tabla 31-3</b> Tiempo requerido para la digestión de lodos .....	68

<b>Tabla 32-3</b> Resultados en los ensayos de laboratorio. ....	67
<b>Tabla 33-3</b> Resultados en las rejillas manuales .....	67
<b>Tabla 34-3</b> Resultados del canal de llegada .....	68
<b>Tabla 35-3</b> Resultados del desarenador de flujo horizontal .....	69
<b>Tabla 36-3</b> Resultados de la rápida tipo escalera .....	69
<b>Tabla 37-3</b> Resultados del sedimentador de alta tasa .....	84
<b>Tabla 38-3</b> Resultados del tanque de cloración .....	84
<b>Tabla 39-3</b> Resultados del lecho de secado.....	85
<b>Tabla 40-3</b> Resultados de productos químicos.....	85
<b>Tabla 41-3</b> Rendimiento de depuración a nivel de laboratorio.....	87
<b>Tabla 42-3</b> Rendimiento de depuración de las rejillas.....	90
<b>Tabla 43-3</b> Rendimiento de depuración del desarenador.....	90
<b>Tabla44-3</b> Rendimiento de depuración de la rápida tipo escalera.....	91
<b>Tabla 45-3</b> Rendimiento de depuración del canal de floculación.....	92
<b>Tabla 46-3</b> Rendimiento de depuración del sedimentador de alta tasa.....	92
<b>Tabla 47-3</b> Rendimiento de depuración del tanque de cloración.....	93
<b>Tabla 48-3</b> Resultados del agua tratada.....	93
<b>Tabla 49-3</b> Presupuesto de obra.....	94
<b>Tabla 59-3</b> Presupuesto de productos químicos.....	95
<b>Tabla 51-3</b> Estimación de costos anuales y enfermedades sin proyecto.....	96
<b>Tabla 52-3</b> Estimación de costos anuales y enfermedades con proyecto.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-3</b> Ubicación geográfica de la parroquia Vinchoa .....	9
<b>Figura 2-3</b> Rejas de limpieza manual. ....	18
<b>Figura 3-3</b> Canal rectangular .....	22
<b>Figura 4-3</b> Esquema de un desarenador. ....	26
<b>Figura 5-3</b> Esquema de un una rápida tipo escalera... ..	39

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Plan de muestreo

**ANEXO B:** Caracterización del agua residual

**ANEXO C:** Tratabilidad del agua residual

**ANEXO D:** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

**ANEXO E:** Caracterización del agua residual

**ANEXO F:** Validación del agua residual

## INDICE DE ABREVIATURAS

<b>A</b>	Área de la sección transversal del canal
<b>Ab</b>	Área entre barras
<b>Ac</b>	Área total del tanque de cloración
<b>Ac.a</b>	Área superficial de la cámara de quietamiento del desarenador
<b>Al</b>	Área libre del paso de agua
<b>At</b>	Área transversal del desarenador
<b>As</b>	Área superficial del desarenador
<b>b</b>	Base del canal
<b>Btd</b>	Ancho del desarenador
<b>Bls</b>	Ancho de cada lecho de secado
<b>Cs</b>	Carga superficial del sedimentador de alta tasa
<b>Cd</b>	Coefficiente de arrastre del desarenador
<b>C</b>	Carga de sólidos suspendidos en el efluente <b>DBO</b> Demanda Bioquímica de Oxígeno
<b>dp</b>	Espaciamiento de las placas del sedimentador de alta tasa
<b>Dtc</b>	Diámetro del tanque de cloración <b>DQO</b> Demanda Química de Oxígeno
<b>ep</b>	Espesor de las placas del sedimentador de alta tasa
<b>H</b>	Altura total del canal <b>h</b> Altura del canal
<b>ha</b>	Altura máxima del agua en el canal
<b>Hc</b>	Altura del tanque de cloración
<b>hc</b>	Pérdida de carga en las rejillas
<b>Hls</b>	Profundidad del lecho de secado
<b>Hp</b>	Altura de las placas del sedimentador de alta tasa
<b>Hr</b>	Altura del desarenador
<b>H'</b>	Altura en la zona de lodos del desarenador <b>Hv</b> Lámina sobre la cresta del vertedero del desarenador <b>h1</b> Altura del tirante del canal
<b>L'</b>	Longitud de transición en el desarenador
<b>Lb</b>	Longitud de la barra
<b>Lc.a</b>	Longitud de la cámara de quietamiento del desarenador
<b>Lc</b>	Longitud del canal
<b>Lcr</b>	Longitud relativa en la longitud de transición
<b>Lg</b>	Longitud de transición al ingreso del desarenador
<b>Lp</b>	Longitud de la primera placa en la zona de lodos del desarenador

<b>Lps</b>	Longitud de la placa de salida en la zona de lodos del desarenador
<b>Lr</b>	Longitud relativa del sedimentador
<b>Ls</b>	Longitud del sedimentador
<b>Lsc</b>	Longitud de cada lecho de secado
<b>L.sum</b>	Longitud sumergida de la barra
<b>Np</b>	Número de placas por módulo del sedimentador de alta tasa
<b>Msd</b>	Masa de lodo de desecho
<b>Oc</b>	Ángulo central de divergencia del desarenador
<b>Pa</b>	Población actual
<b>Pt.c.a</b>	Profundidad total de la cámara de quietamiento
<b>Q</b>	Caudal de diseño
<b>RH</b>	Radio hidráulico
<b>Re</b>	Número de Reynolds
<b>Rc</b>	Radio del tanque de cloración
<b>T</b>	Temperatura de funcionamiento (°C)
<b>Thr</b>	Tiempo de retención
<b>Trh1</b>	Tiempo de retención en las placas del sedimentador
<b>Trh2</b>	Tiempo de retención en el sedimentador
<b>V</b>	Volumen del canal de limpieza de la zona de lodos del desarenador
<b>v</b>	Velocidad de aproximación en la rejillas
<b>Vc</b>	Volumen del tanque de cloración
<b>Vc.a</b>	Volumen de la cámara de quietamiento del desarenador
<b>Vel</b>	Volumen de lodos a extraerse
<b>Vh</b>	Velocidad transversal del desarenador
<b>Vld</b>	Volumen de lodos digeridos
<b>Vls</b>	Volumen de cada lecho de secado
<b>vm</b>	Velocidad media del canal de entrada
<b>vo</b>	Velocidad promedio entre las placas del sedimentador de alta tasa
<b>vs</b>	Volumen de sedimentación en régimen de transición
<b>Vsc</b>	Carga hidráulica del desarenador
<b>vsc</b>	Velocidad crítica de sedimentación
<b>vsd</b>	Volumen del sedimentador
<b>vr</b>	Volumen del desarenador
<b>Vv</b>	Velocidad sobre el vertedero de salida de la zona de lodos del desarenador

## RESUMEN

El presente proyecto técnico tiene como objetivo el Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia Vinchoa, Cantón Guaranda, provincia Bolívar, cuyo caudal de diseño es 9,79 L/s, mediante caracterizaciones del agua residual se determinó que los parámetros: Coliformes fecales (11000 UFC/100mL), DBO<sub>5</sub> (1860 mg/L), DQO (3210 mg/L), Fósforo total (65,5 mg/L), Hierro total (15,4 mg/L), Manganeso total (2,60 mg/L), Nitrógeno total Kjeldahl (200 mg/L), Sólidos Suspendidos Totales (630 mg/L), Sólidos totales (2580 mg/L) y Tensoactivos (1,35 mg/L) no cumplen con lo establecido en el Acuerdo Ministerial N°. 097-A. Tabla 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE de la Reforma del TULSMA. Calculando la relación entre Demanda Bioquímica y Demanda Química de Oxígeno se obtuvo el valor del índice de biodegradabilidad el cual es 1,73 lo que indica que la materia orgánica es moderadamente biodegradable optando por un tratamiento físico - químico debido a los resultados obtenidos en el laboratorio. Al realizar pruebas de tratabilidad se seleccionaron los siguientes químicos: Policloruro de Aluminio (PAC-P25A) 2mL/L, Polielectrolito (POLY-A) 0,25mL/L e Hipoclorito de Sodio 6,3mL/L, con los cuales los resultados finalizada la tratabilidad fueron: Coliformes fecales 700 UFC/100mL, DBO 38 mg/L, DQO 139 mg/L, Fósforo total 5,1 mg/L, Hierro total 0,06 mg/L, Manganeso total 0,099 mg/L, Solidos Suspendidos Totales 12 mg/L, y Tensoactivos 0,3mg/L mismos que cumplen con la norma vigente para ser descargados libremente al cuerpo hídrico. Como conclusión se diseñaron los siguientes procesos: canal de entrada, rejillas, desarenador de flujo horizontal , rápida tipo escalera, sedimentador de alta tasa , tanque de cloración y lecho de secado con un rendimiento promedio de la planta de tratamiento del 86% cumpliendo de manera efectiva con la normativa ambiental.

Se recomienda trasladar los lodos deshidratados a un relleno sanitario como disposición final.

**Palabras claves:** < INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>; <BIODEGRADABILIDAD>; <CARACTERIZACIÓN>; <TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO>; <DEPURACIÓN>;<RENDIMIENTO>

## ABSTRACT

The present technical project aims the design of a wastewater treatment system for the Vinchoa parish, Guaranda canton Bolívar province, whose design flow is 9,79 L/s, by means of characterizations of wastewater, it determined ,that parameters: Fecal coliforms (11000 mg /L), BOD<sub>5</sub> (1860 mg /L), DQO<sub>5</sub> (3210 mg /L), Total phosphorus (65,5 mg /L), Total iron (15,4 mg /L), Total manganese (2,60 mg) /L), Kjeldahl Total Nitrogen (200 mg /L), Total Suspended Solids (630 mg/L), Total Solids (2580 mg/L) and Surfactants (1,35 mg/L) do not comply with the provision of Ministerial Agreement No. 097 -A. Table 9. LIMITS OF DISCHARGE TO A SWEETWATER BODY, reform of the TULSMA. Calculating the relationship between Biochemical Demand and Chemical Oxygen Demand the value of the biodegradability index obtained, that is 1,73, which indicates that the organic matter is moderately biodegradable, opting for a physical-chemical treatment due to the results obtained in the laboratory. When carrying out treatability tests, the following chemicals selected: Aluminum Polychloride (PAC-P25A) 2 mL/L, Polyelectrolyte (POLY-A) 0, 25 mL/L and Sodium Hypochlorite 6, 3 mL/L. The ended results after the treatability were: Fecal coliforms 700 NMP / 100 mL, BOD 38 mg/L, COD 139 mg / L, Total phosphorus 5, 1 mg/mL, Total iron 0, 06 mg/mL, Total manganese 0,099 mg/mL, Solids Total Suspended 12 mg/L, and Surfactants 0, 3 mg/L, the same ones which comply with the current regulations to be freely discharged to the water body. In conclusion, the following processes were designed: inlet channel, grids, horizontal flow desander, quick stair type, the sediments of high rate, chlorination tank and drying bed with an average performance of the 86% fulfilling effective way with environmental regulations. The research paper recommends transferring the dehydrated sludges to a sanitary landfill as final disposal.

**Keywords:** <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <WASTEWATER TREATMENT PLANT>; <BIODEGRADABILITY>; <CHARACTERIZATION>; <PHYSICAL-CHEMICAL TREATMENT>; <DEPURATION>; <PERFORMANCE>.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1. Identificación del problema

La parroquia Vinchoa se encuentra ubicada en La Provincia Bolívar, Cantón Guaranda y gracias a datos proporcionados por la (Memoria Técnica de la parroquia Vinchoa, 2013) se conoce que la parroquia posee alcantarillado sanitario conectado a tubería de 500mm de PVC corrugado que favorece a un 15% de su población, el 67% están constituidos por ramales terciarios que se conducen desde el interior de las viviendas hasta fosas sépticas y finalmente el 18% utilizan letrinas; el Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Guaranda actualmente realiza estudios para que toda la población de Vinchoa cuente con alcantarillado sanitario y de la misma manera existe interés primordial por dar disposición final a las aguas residuales que poseen niveles extremadamente altos de contaminación y son descargadas sin previo tratamiento al Río Guaranda, ya que este inconveniente ha ocasionado que durante varios años exista una indiscriminada contaminación del cuerpo receptor por la presencia de fuertes olores provenientes de la degradación de materia orgánica, repercutiendo en enfermedades epidemiológicas que conllevan al incremento de gastos por salud de la población ubicada en zonas aledañas bajo el río ya que el ganado suele beber agua del sitio y luego los moradores se alimentan de su carne contaminada, deteriorando la calidad de vida de la parroquia; este problema también altera las características del ambiente ya que la excesiva carga contaminante de Nitrógeno y Fósforo provoca eutrofización alterando la cadena trófica, reduciendo el oxígeno del agua y generando toxinas letales para plantas y animales terminando con la contaminación total del río.

El sistema de conducción de las aguas residuales tiene una longitud de 12 Km, en su trayecto existen tanques rompe presión donde se presencia la acumulación de residuos que en épocas de invierno tienden a rebosar debido que no existe un tratamiento previo para la decantación de estos, esta es otra razón para dar solución a este problema.

## **1.2. Justificación del proyecto**

El 70% de los ríos en el país presentan estados críticos ya que las descargas de aguas residuales se realizan sin previo saneamiento siendo un impacto negativo sobre el ambiente y ocasionando problemas a la salud humana que podrían tener desenlaces fatales, por ello, es de gran importancia dar solución a este problema con el fin de disminuir los contaminantes que se descargan al recurso hídrico.

Por lo expuesto se diseña un sistema de tratamiento de aguas residuales que espera reducir las cargas contaminantes y todos los parámetros que no cumplan con el Acuerdo Ministerial N°. 097A. Tabla 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE de la Reforma del

TULSMA; el cual beneficiará a los pobladores de la parroquia al tener la seguridad de que el agua utilizada para los sectores agrícolas, ganaderos y demás se encontrará dentro de los estándares establecidos; para llevar a cabo este proyecto se contó con la colaboración de la Junta de aguas de Vinchoa, la Ilustre Municipalidad del Cantón Guaranda y la Empresa de Agua potable y alcantarillado de Guaranda EMAPA-G quienes han facilitado información crucial para alcanzar los objetivos propuestos.

## **CAPÍTULO II**

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

#### **2.1. General**

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la Parroquia Vinchoa, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar.

#### **2.2. Específicos**

- Caracterizar física, química y microbiológicamente el agua residual bajo el Acuerdo Ministerial N°. 097-A. Tabla 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE de la Reforma del TULSMA.
- Realizar pruebas de tratabilidad para que los parámetros fuera de norma cumplan con el Acuerdo Ministerial N°. 097-A. Tabla 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE de la Reforma del TULSMA.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales con la identificación de las variables de proceso.
- Validar el diseño propuesto con la caracterización física, química y microbiológica del agua tratada.
- Proponer la disposición final de los lodos generados en la planta.
- Establecer la factibilidad técnica y económica del proyecto.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1. Ingeniería de proyecto

##### 3.1.1. Aguas residuales

Es la combinación de los residuos líquidos o aguas portadoras de residuos, procedentes de residencias como instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse eventualmente aguas subterráneas, superficiales y pluviales que son conducidas a cuerpos de agua receptores o a un terreno (Metcalf & Eddy, 1995).

##### 3.1.1.1. Características de las aguas residuales

Es de vital importancia la caracterización de las aguas residuales ya que permite conocer el grado de contaminación que éstas ocasionan así se pueden clasificar en: físicas, químicas y biológicas.

- a) **Características físicas:** Las características físicas más significativas en el agua residual son:
- **Sólidos disueltos:** Constituidos por sales presentes en el agua que no pueden separarse del líquido mediante medios físicos y son detectables cuando el agua inicia su proceso de evaporación o midiendo la conductividad ya que se encuentran en forma de cationes y aniones pudiendo conducir la corriente eléctrica. (Crites, 2000)
  - **Sólidos en suspensión:** Causantes de la turbidez del agua, se encuentran en forma de coloides o partículas finas y pueden separarse del agua con menor dificultad. (Crites, 2000)
  - **Sólidos sedimentables:** Son partículas que por la fuerza de gravedad se depositan en el fondo de un recipiente, es la materia que no permanece en suspensión. (Crites, 2000)
  - **Sólidos totales:** Es la suma de los sólidos en suspensión y los sólidos disueltos. (Crites, 2000)
  - **Color:** Por su composición química pueden presentarse amarillentas, blanquecinas, o rojizas; sin embargo no se pueden establecer relaciones claras entre el color y la contaminación del agua. (Metcalf & Eddy, 1995)

- **Temperatura:** Al aumentar la temperatura la solubilidad de gases como el Oxígeno disminuye y generalmente aumenta la de las sales, acelera la putrefacción debido al aumento de la velocidad del metabolismo de los microorganismos. (Metcalf & Eddy, 1995)
  - **Conductividad:** Se usan valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos ya que el agua posee iones en disolución, por ende la conductividad es mayor a la cantidad y características de esos electrolitos. (Metcalf & Eddy, 1995)
- b) Características químicas:** Hace referencia al contenido de materia orgánica e inorgánica, los gases presentes en el agua y la medición de contenido orgánico.
- **Materia orgánica:** Los compuestos orgánicos se forman por combinaciones de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y en algunas ocasiones Nitrógeno; los principales grupos orgánicos presentes en el agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites y la urea principal constituyente de la orina quienes complican los tratamientos de aguas debido a la extrema lentitud para la descomposición de dichos compuestos. (Metcalf & Eddy, 1995)
  - **Materia inorgánica:** La cantidad de materia inorgánica aumenta naturalmente en el proceso de evaporación ya que parte del agua superficial se elimina dejando sustancias inorgánicas con concentraciones elevadas por lo que es conveniente examinar la naturaleza de algunos de ellos, como los cloruros que proceden de la disolución de los suelos, rocas y pueden incorporarse a la descarga de una comunidad debido a que están presentes en las aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales; otros elementos indispensables de estudiar son: el Nitrógeno que se presenta en el medio como Nitrógeno Orgánico, Amoníaco, Nitrito y Nitrito y el Fósforo principales nutrientes para el crecimiento protista y de plantas (Metcalf & Eddy, 1995)
  - **Gases presentes en el agua:** Con frecuencia en guas brutas se encuentran gases como: Nitrógeno, Oxígeno y Dióxido de Carbono que comúnmente están presentes en la atmósfera; también incluyen el Ácido Sulfhídrico, Amoníaco y Metano, que son producto de la descomposición de materia orgánica presente en las aguas residuales. (ROJAS, 2002)
  - **Medición de contenido orgánico:** Los métodos más importantes para determinar contenido orgánico en altas concentraciones son: demanda bioquímica de Oxígeno DBO y demanda química de Oxígeno DQO.
    - **Demanda bioquímica de oxígeno:** Está relacionado al oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica y gracias a este ensayo se puede medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y poder cumplir las limitaciones a las que están sujetos los vertidos.

(ROJAS, 2002)

- **Demanda química de oxígeno:** En aguas residuales suele ser mayor el valor de DQO con respecto al DBO ya que existe un mayor número de compuestos que son oxidados químicamente en relación a los que se oxidan de manera biológica, este ensayo es de gran utilidad ya que sus resultados se presentan en 3 horas y una vez establecida la relación con el DBO su medición puede emplearse para controlar plantas de tratamiento. (ROJAS, 2002)
- c) **Características biológicas :** En aguas residuales se encuentran microorganismos, organismos patógenos y organismos que indican contaminación, todos ellos procedentes de desechos humanos como también de la misma naturaleza, a veces son difíciles de aislar e identificar por ello se utiliza como indicadores coliformes ya que su presencia es fácil de comprobar, considerando que la presencia de coliformes puede ser indicativo de organismos patógenos y su ausencia de que las aguas no pueden causar enfermedad alguna. (ROJAS, 2002)

### **3.1.2. Muestreo de aguas residuales**

El muestreo consiste en extraer una cantidad representativa de una gran masa de agua con el fin de determinar sus características físicas, químicas y microbiológicas, es de suma importancia tomar las debidas precauciones para conservar la muestra y no experimente modificaciones en sus propiedades. Las muestras se clasifican en:

- ✓ **Simple:** Son aquellas con composición constante, de preferencia son utilizadas para analizar cloro residual, pH, alcalinidad, acidez, grasas y aceites.
- ✓ **Compuestas:** Proviene de la mezcla de varias muestras simples recogidas en el mismo lugar pero en tiempos diferentes, la mezcla se realiza en proporción directa al caudal aforado en cada instante del muestreo, son de preferencia ya que al ser un promedio de la masa del agua total aseguran su representatividad.

### **3.1.3. Normativa Ambiental**

El agua al ser manipulada acumula sustancias suspendidas, disueltas o emulsionadas, mismas que impiden su reutilización a menos que experimenten algún tipo de tratamiento, para ello existen normativas ambientales que establecen límites para que puedan ser descargadas libremente a cuerpos receptores como lo son: ríos, lagunas, etc.

El Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 en su objetivo 3:

Garantiza el derecho a las actuales y futuras generaciones de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, respetando los recursos naturales: agua, aire, suelo y

biodiversidad, de tal manera que en caso de ser contaminados se los regenerará con el fin de mantener los procesos de evolución natural.

Basándose en este concepto a continuación se presenta la Norma Ambiental aplicada durante el desarrollo de éste trabajo: Acuerdo Ministerial N°. 097-A. Tabla 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE de la Reforma del TULSMA

**Tabla 1-3** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máx. permisible</b>
Aceites y Grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/mL	30,0
Alkil mercurio		mg/mL	No detectable
Aluminio	Al	mg/mL	5,0
Arsénico total	As	mg/mL	0,1
Bario	Ba	mg/mL	2,0
Boto total	B	mg/mL	2,0
Cadmio	Cd	mg/mL	0,02
Cianuro total	CN	mg/mL	0,1
Cinc	Zn	mg/mL	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/mL	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/mL	0,1
Cloruros	Cl	mg/mL	1000
Cobre	Cu	mg/mL	1,0
Cobalto	Co	mg/mL	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100mL	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/mL	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+3</sup>	mg/mL	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/mL	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/mL	200
Estaño	Sn	mg/mL	5,0
Fluoruros	F	mg/mL	5,0
Fósforo total	P	mg/mL	10,0
Hierro total	Fe	mg/mL	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/mL	20,0
Manganeso total	Mn	mg/mL	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/mL	0,005
Níquel	Ni	mg/mL	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/mL	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/mL	50,0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/mL	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/mL	0,1
Plata	Ag	mg/mL	0,1
Plomo	Pb	mg/mL	0,2

Potencial Hidrógeno	pH		6 - 9
Selenio	Se	mg/mL	0,1
Sólidos Suspendidos totales	SST	mg/mL	130
Sólidos totales	ST	mg/mL	1600
Sulfatos	(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	mg/mL	1000
Sulfuros	S <sub>2</sub>	mg/mL	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/mL	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/mL	1,0

FUENTE: (MAE, 2015)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.1.4. Tratamiento de aguas residuales

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden ser eliminados por procesos físicos, químicos y/o biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios.

- ✓ **Operaciones físicas unitarias:** Son aquellas donde la acción de las fuerzas físicas predominan, entre las cuales se encuentran: desbaste, mezcla, floculación, sedimentación, flotación y filtración.
- ✓ **Procesos químicos unitarios:** Son aquellos donde la eliminación o transformación de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias a ciertas reacciones químicas, estos son: precipitación química, adsorción y desinfección.
- ✓ **Procesos biológicos unitarios:** Son aquellos donde la eliminación se lleva a cabo gracias a la actividad biológica, su principal aplicación es en la eliminación de sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual.

### 3.1.5. Sistema de tratamiento de aguas residuales

Los procesos y operaciones unitarias se combinan y complementan para dar lugar a diversos niveles de tratamiento de aguas, para ello es indispensable establecer el nivel de eliminación de contaminantes necesario antes de verter las aguas residuales al medio ambiente.

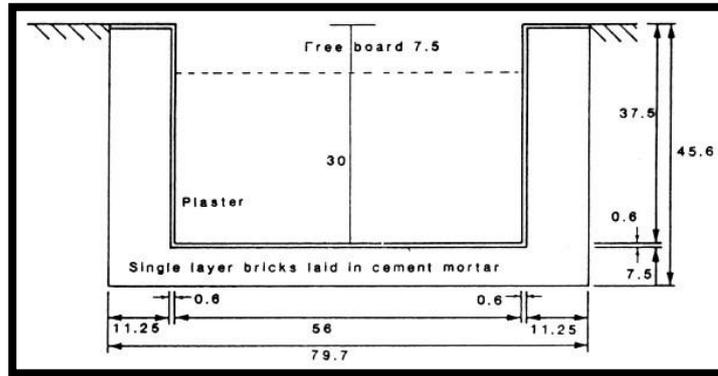
La capacidad y eficiencia del sistema de tratamiento a aplicar está en función de su diseño.

#### 3.1.5.1. Canal de entrada

El canal es una estructura abierta que cumple la función de transportar fluidos. Pueden ser de 2 tipos:

- Canales naturales: De manera natural se presentan en la tierra como arroyos, ríos, entre otros.
- Canales artificiales: Son aquellos construidos por el hombre, son revestidos con roca, concreto, entre otros materiales.

➤ **Diseño de un canal artificial**



**Figura 3.3:** Canal rectangular  
Fuente: (RAS, 2000)

- **Radio hidráulico para un canal rectangular (RH):** Estará en función del ancho y alto del canal y se lo expresa de la siguiente manera:

$$RH = \frac{b * h}{b + (2h)}$$

**Ecuación 1**

**Datos:**

**RH:** = Radio hidráulico (m)

**b:** Base del canal (m). (Tabla 20.3)

**h:** Altura del canal (m). (Tabla 20.3)

- **Velocidad media del canal (vm):** Se determinará por medio de la fórmula de Manning:

$$vm = \frac{1}{n} * RH^2 * S^{\frac{1}{2}}$$

**Ecuación 2**

**Datos:**

**vm:** Velocidad media del canal (m/s)

**RH:** = Radio hidráulico(m)

**S:** Pendiente canal rectangular revestido de hormigón. (Tabla 20.3)

**n:** Coeficiente de Manning. (Tabla 21.3)

- **Área de la sección transversal del canal (A):** Se encuentra en relación con el caudal de diseño y la velocidad media del canal

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

### Ecuación 3

**Datos:**

**A:** Área de la sección transversal del canal ( $m^2$ )

**vm:** Velocidad media del canal ( $m/s$ )

**Q:** Caudal de diseño ( $m^3/s$ ). (Tabla 19.3)

- **Altura máxima del agua en el canal (h):** Es la altura a la que el agua llegará en el canal en condiciones críticas.

$$A = b * h$$

$$A = 2h * h$$

$$A = 2h^2$$

$$h = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

### Ecuación 4

**Datos:**

**h:** Altura máxima del agua ( $m$ )

**A:** Área del canal ( $m^2$ )

- **Altura total del canal (H):** Es la sumatoria de la altura del agua en el canal y una altura de seguridad que generalmente es un valor propuesto.

$$H = h + hs$$

### Ecuación 5

**Datos:**

**H:** Altura total del canal ( $m$ )

**h:** Altura máxima del agua ( $m$ )

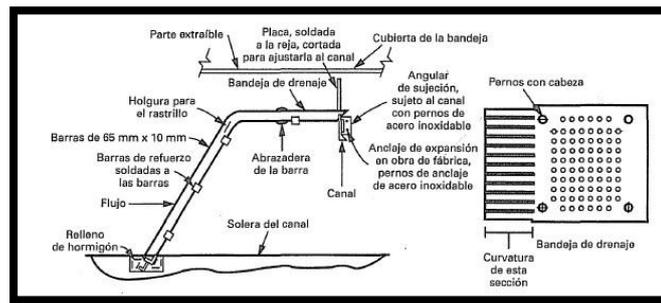
**hs:** Altura de seguridad

#### 3.1.5.2. Cribado

Los elementos separadores pueden estar constituidos por alambres, barras, varillas, rejillas o placas perforadas de cualquier forma, las rejillas son uno de los primeros métodos utilizados para la eliminación de sólidos de mayor tamaño en aguas residuales, son utilizadas como instalaciones

protectoras ya que algunos sólidos puede interferir en equipos de la planta como bombas, válvulas, filtros y por lo tanto afecta la eficiencia de la misma. (Ferrer, y otros, 2005)

### ➤ Diseño de rejillas manuales



**Figura 1.3:** Rejas de limpieza manual.

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

- **Área libre del paso de agua ( $A_l$ ):** Indica el flujo que pasará por el canal, recomendable que este flujo tenga una velocidad no menor a 0,5 m/s debido a que así se detienen materiales de gran tamaño.

$$A_l = \left( \frac{Q}{v} \right)$$

**Ecuación 6**

**Datos:**

$A_l$ : Área libre ( $m^2$ )

$Q$ : Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ ) (Tabla 19.3)

$v$ : Velocidad aproximación ( $\frac{m}{s}$ ) (Tabla 22.3)

- **Área entre barras ( $A_b$ ):** Es el espacio que permite el ingreso de partículas pequeñas hacia el sistema de tratamiento.

$$A_b = \left( \frac{A_l * (W + e)}{W} \right)$$

**Ecuación 7**

**Datos:**

$A_b$ : Área entre barras ( $m^2$ )

$A_l$ : Área libre ( $m^2$ )

$W$ : Separación entre barras ( $m$ ). (Tabla 22.3)

$e$ : Ancho máximo de las barras ( $m$ ). (Tabla 22.3)

- **Altura del tirante del canal ( $h_1$ ):** Indica la altura del agua dentro del canal.

$$h_1 = \left(\frac{Ab}{b}\right)$$

11

### Ecuación 8

**Datos:**

**$h_1$ :** Altura del tirante del canal m ( $m$ )

**$A_b$ :** Área entre barras ( $m^2$ )

**$b$ :** Base del canal (m). (*Tabla 20.3*)

- **Altura del tirante de construcción ( $h_T$ ):** Es la sumatoria de la altura de seguridad y la altura de concreto con la cual el canal va a ser construido.

$$h_T = h_1 + h_s$$

### Ecuación 9

**Datos:**

**$h_T$ :** Altura del tirante de construcción ( $m$ )

**$h_1$ :** Altura del tirante del canal ( $m$ )

**$h_s$ :** Altura de seguridad ( $m$ )

- **Longitud de barras ( $L_b$ ):** La longitud de las barras no debe exceder para facilitar su limpieza.

$$L_b = \frac{h_T}{\text{sen}\theta}$$

### Ecuación 10

**Datos:**

**$L_b$ :** Longitud de barra ( $m$ )

**$h_T$ :** Altura del tirante de construcción ( $m$ )

**$\theta$ :** Pendiente en relación a la vertical. (*Tabla 22.3*)

- **Número de barrillas ( $N_b$ ):** Por cuestiones de mantenimiento es recomendable instalar más de 2 barras.

$$N_b = \frac{b}{\varepsilon + S}$$

### Ecuación 11

**Datos:**

**$N_b$ :** Número de barras

**$b$ :** Base del canal propuesta por estructuras de conducción del agua (m)

12

**S:** Separación entre las barras (m). (*Tabla 21.3*)

**$\varepsilon$ :** Espesor de las barras(m)

- **Longitud sumergida de la barra ( $L_{sumg}$ ):** Es la longitud que la varilla estará sumergida en el agua y depende del ancho del canal y el caudal de diseño.

$$L_{sumg} = \frac{Q}{v * b}$$

**Ecuación 12**

**Datos:**

**$L_{sumg}$ :** Longitud sumergida de la barra (m)

**$Q$ :** Caudal de diseño  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

**$v$ :** Velocidad aproximación  $\left(\frac{m}{s}\right)$  (*Tabla 21.3*)

**$b$ :** Base del canal (m). (*Tabla 20.3*)

- **Pérdida de carga ( $hc$ ):** Depende principalmente de la frecuencia de limpieza y del material de desecho que contiene el agua a tratar, razón por la cual está en función de la forma de las barras y de la altura o energía de velocidad del flujo entre las mismas.

No se permiten pérdidas de cargas mayores a 75 cm.

$$hc = \beta * \left(\frac{\varepsilon}{W}\right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{v^2}{2g}\right) * \text{sen}\phi$$

**Ecuación 13**

**Datos:**

**$hc$ :** Pérdida de carga

**$W$ :** Separación entre barra(m)

**$\varepsilon$ :** Espesor máximo de las barra(m) 0,01 m.

**$v^2/2g$ :** Carga de velocidad antes de la reja (m)

**$\text{sen}\phi$ :** Ángulo de inclinación separación entre barra(60 °)

**$\beta$ :** Factor dependiente de la forma de la barra. (*Tabla 23.3*)

### 3.1.5.3. Desarenador de flujo horizontal

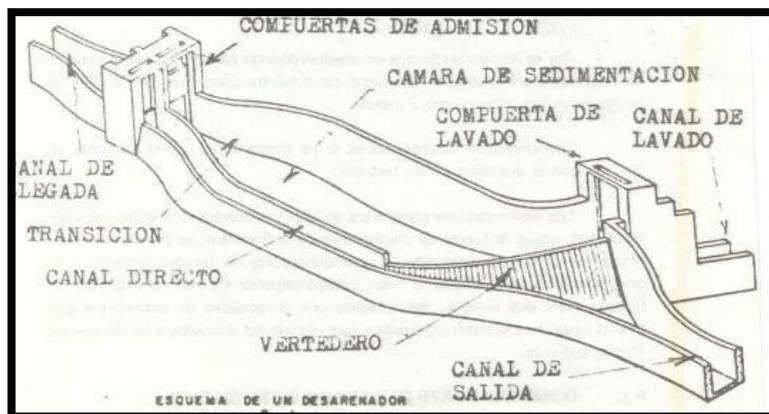
Los materiales retenidos en los desarenadores se caracterizan por ser partículas discretas no putrescibles como grava, arena; los desarenadores de flujo horizontal se diseñan de tal manera que bajo condiciones adversas las partículas de arena más ligeras alcancen el fondo del canal antes de la salida, en este tipo de desarenadores el agua circula a través del elemento en dirección

horizontal y la velocidad de circulación se controla por la propia geometría de la unidad, se deben dimensionar al menos 2 unidades para su mantenimiento. (Ferrer, y otros, 2005)

Los desarenadores para cumplir con su función constan de las siguientes partes:

- Cámara de aquietamiento: Su función es la reducción de la velocidad del agua de tal manera que ingresa en condiciones controladas. (Krochin, 1986)
- Transición de entrada: Une el canal con el desarenador de la cual depende la eficiencia del desarenador ya que asegura una distribución uniforme de velocidades, por esto la transición debe tener un ángulo de divergencia no mayor a 12°. (Krochin, 1986)
- Cámara de sedimentación: Donde las partículas sólidas caen al fondo debido a la disminución de la velocidad producida por el aumento de sección, su forma generalmente es rectangular o trapezoidal, al final de la cámara se construye un vertedero sobre el cual pasa el agua limpia, mientras más pequeña es la velocidad de paso sobre el vertedero menos turbulencia causa y menos materiales en suspensión arrastra. (Krochin, 1986)
- Compuerta de lavado: Los materiales depositados en el fondo se desalojan por este componente, para facilitar el movimiento de las arenas generalmente se usa una pendiente del 2 al 6%, el incremento de profundidad obtenido por efecto de esta gradiente no se incluye en el calado del cálculo, sino que el volumen adicional obtenido se lo toma como depósito para las arenas sedimentadas. (Krochin, 1986).

#### ➤ Diseño del desarenador de flujo horizontal



**Figura 4.3:** Esquema de un desarenador.

Fuente: (Krochin, 1986)

- **Volumen de la cámara de aquietamiento ( $V_{c.a}$ ):** Es la cantidad de agua que disminuirá su velocidad para posteriormente pasar a la zona de sedimentación, se recomienda que el tiempo de retención en esta zona sea de 30 segundos.

$$V_{c.a} = \frac{Q}{Trh}$$

#### Ecuación 14

**Datos:**

$V_{c.a}$ : Volumen de la cámara de quietamiento ( $m^3$ )

$Q$ : Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

$Trh$ : Tiempo de retención (s)

- **Área superficial de la cámara de quietamiento ( $A_{c.a}$ ):** Es la relación entre el caudal de diseño y la velocidad de ascenso.

$$A_{c.a} = \frac{Q}{v_a}$$

#### Ecuación 15

**Datos:**

$A_{c.a}$ : Área superficial de la cámara de quietamiento ( $m^2$ )

$Q$ : Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

$v_a$ : Velocidad de ascenso ( $\frac{m}{s}$ )

- **Longitud y ancho superficial de la cámara de quietamiento ( $L_{c.a}$ ):** El ancho, largo y área de la cámara de quietamiento tienden a una igualdad.

$$B_{c.a} = L_{c.a} = \sqrt{A_{c.a}}$$

#### Ecuación 16

**Datos:**

$L_{c.a}$ : Longitud y ancho superficial de la cámara de quietamiento (m)

$A_{c.a}$ : Área superficial de la cámara de quietamiento ( $m^2$ )

- **Profundidad útil de la cámara de quietamiento ( $P_{t.c.a}$ ):** Representa la altura de la cámara de quietamiento en función de un factor de seguridad no mayor al 10%.

$$P_{t.c.a} = P_{c.a} * f$$

#### Ecuación 17

**Datos:**

$P_{t.c.a}$ : Profundidad total de la cámara de quietamiento (m)

$P_{c.a}$ : Profundidad útil de la cámara de quietamiento (m)

$f$ : Factor seguridad (%)

- **Ángulo central de divergencia de la transición cámara de aquietamiento – desarenador ( $O_c$ ):** Es el ángulo por el cual la zona de aquietamiento da paso a la zona de sedimentación.

$$O_c = 2 * \theta$$

**Ecuación 18**

**Datos:**

**$O_c$ :** Ángulo central de divergencia de la transición cámara de aquietamiento – desarenador  **$\theta$ :** Ángulo de divergencia. (Krochin, 1986)

- **Velocidad de sedimentación en régimen laminar zona de Stokes ( $v_s$ ):** La fórmula de Stokes es utilizada para arena fina como material particulado por lo que se deberá utilizar sus diámetros de partículas para el cálculo de la velocidad de sedimentación. Si el número de Reynolds es  $\leq 1$  la partícula se encuentra en régimen laminar perteneciente a la Ley de Stockes.

$$v_s = \frac{g}{18} \frac{(\rho_s - \rho_L) d^2}{\mu}$$

**Ecuación 19**

**Datos:**

**$v_s$ :** Velocidad de sedimentación  $\left(\frac{cm}{s}\right)$

**$g$ :** Gravedad 981  $\left(\frac{cm}{s^2}\right)$

**$\rho_s$ :** Densidad relativa de la arena (adimensional)

**$\rho_L$ :** Densidad relativa del agua (adimensional)

**$d$ :** Diámetro de las partículas a remover (cm). (**Tabla 25.3**)

**$\mu$ :** Viscosidad cinemática del agua  $\left(\frac{cm^2}{s}\right)$  (**Tabla 24.3**)

- **Número de Reynolds ( $Re$ ):** Con esta ecuación se identifica si el agua se encuentra en régimen laminar, de transición o turbulento de acuerdo al material particulado que conlleva.

$$Re = \frac{v_s * d}{\mu}$$

**Ecuación 20**

**Datos:**

**$Re$ :** Número de Reynolds (adimensional)

**$v_s$ :** Velocidad de sedimentación  $\left(\frac{cm}{s}\right)$

**d:** Diámetro de las partículas a remover (cm).

**$\mu$ :** Viscosidad cinemática del agua  $\left(\frac{cm^2}{s}\right)$  (Tabla 24.3)

- **Velocidad de sedimentación en régimen de transición zona de Allen ( $v_s$ ):** La fórmula de Allen es utilizada para arena gruesa, si el número de Reynolds es  $\geq 1$  la partícula se encuentra en régimen de transición respondiendo a la Ley de Allen.

$$v_s = 0,22 * \left( \frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} * g \right)^{\frac{2}{3}} * \left( \frac{d}{\left( \frac{\mu}{\rho_L} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

**Ecuación 21**

**Datos:**

**$v_s$ :** Velocidad de sedimentación  $\left(\frac{cm}{s}\right)$

**$g$ :** Gravedad 981  $\left(\frac{cm}{s^2}\right)$

**$\rho_s$ :** Densidad relativa de la arena (adimensional)

**$\rho_L$ :** Densidad relativa del agua a 20°C (adimensional)

**$d$ :** Diámetro de las partículas a remover (cm)

**$\mu$ :** Viscosidad cinemática del agua  $\left(\frac{cm^2}{s}\right)$  (Tabla 24.3)

- **Coefficiente de arrastre ( $C_d$ ):** Es la resistencia que tiene la partícula en el agua.

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$$

**Ecuación 22**

**Datos:**

**$C_d$ :** Coeficiente de arrastre

**$Re$ :** Número de Reynolds (adimensional)

- **Velocidad de arrastre de la partícula ( $V_{ap}$ ):** Depende de la forma de la partícula y de la fricción de la superficie

$$V_{ap} = 125 * ((\rho_s - \rho_L) * (d))^{1/2}$$

**Ecuación 23**

**Datos:**

**$V_{ap}$ :** Velocidad de arrastre de la partícula

**$\rho_s$ :** Densidad relativa de la arena (adimensional); 2.65. (Metcalf & Eddy, 1995)

**$\rho_L$ :** Densidad relativa del agua a 20°C (adimensional)

**d:** Diámetro de las partículas a remover (cm); 0.02 cm (Metcalf & Eddy, 1995)

- **Cálculo del volumen del desarenador ( $V_r$ ):** Es la zona donde las partículas no putrescibles como la grava y arena sedimentarán por acción de su peso y la fuerza de gravedad.

$$V_r = Q * Trh$$

**Ecuación 24**

**Datos:**

**$V_r$ :** Volumen del desarenador ( $m^3$ )

**$Q$ :** Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

**$Trh$ :** Tiempo de retención hidráulica

- **Área superficial del desarenador ( $A_s$ ):** Se encuentra en relación con el volumen y la altura del desarenador.

$$A_s = \frac{V_r}{H}$$

**Ecuación 25**

**Datos:**

**$A_s$ :** Área superficial del desarenador ( $m^2$ )

**$V$ :** Volumen del desarenador ( $m^3$ )

**$H$ :** Altura del desarenador. (*Tabla 26.3*)

- **Carga hidráulica en el desarenador ( $V_{sc}$ ):** Se calcula como la relación entre el caudal de diseño y el área superficial del desarenador

$$V_{sc} = \frac{Q}{A_s}$$

**Ecuación 26**

**Datos:**

**$V_{sc}$ :** Carga hidráulica en el desarenador ( $\frac{m}{s}$ )

**$Q$ :** Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

**$A_s$ :** Área superficial del desarenador ( $m^2$ )

- **Ancho del desarenador ( $B$ ):** Se recomienda una relación: largo-ancho= 4

$$\frac{l}{a} = 4 ; l = 4a$$

Entonces:

$$a = B ; L = 4B$$

$$As = b * h$$

$$B = \sqrt{\frac{As}{4}}$$

$$B^2 = \frac{As}{4}$$

**Ecuación 27**

**Datos:**

**B:** Ancho del desarenador (m)

**As:** Área superficial del desarenador (m<sup>2</sup>)

- **Ancho total del desarenador (Btd):** Es la sumatoria entre el ancho de los 2 desarenadores y el muro de separación entre los mismos.

$$Btd = (2 * B) + e$$

**Ecuación 28**

**Datos:**

**Btd:** Ancho total del desarenador (m)

**B:** Ancho del desarenador (m)

**e:** Espesor de muro intermedio entre desarenadores

- **Largo del desarenador (L):** Por geometría es la relación entre el área superficial y el ancho de cada desarenador

$$L = \frac{As}{B}$$

**Ecuación 29**

**Datos:**

**L:** Largo del desarenador (m)

**B:** Ancho del desarenador (m)

**As:** Área superficial del desarenador (m<sup>2</sup>)

- **Área transversal del desarenador (At):** Indica el área de la superficie perpendicularmente a su eje más largo.

$$At = B * H$$

**Ecuación 30**

**Datos:**

**At:** Área transversal del desarenador. (m<sup>2</sup>)

**B:** Ancho del desarenador (m)

**H:** Altura del desarenador. (m). (Tabla 26.3)

- **Velocidad transversal del desarenador (Vh):** Está relacionada con el caudal de diseño y el área transversal.

$$Vh = \frac{Q}{At}$$

**Ecuación 31**

**Datos:**

**Vh:** Velocidad transversal del desarenador (m/s)

**Q:** Caudal de diseño  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

**At:** Área transversal del desarenador (m<sup>2</sup>)

- **Longitud de transición al ingreso del desarenador (Lg):** Es la longitud que existe entre la cámara de quietamiento y la zona de sedimentación.

$$h = B + \frac{e}{2} - \frac{b}{2} = \frac{2B + e - b}{2}$$
$$Tg\theta = \frac{h}{lg} = \frac{2B + e - b}{2 * lg}$$
$$Lg = \frac{(2B + e - b)}{2 * Tg\theta}$$

**Ecuación 32**

**Datos:**

**Lg:** Longitud de transición al ingreso del desarenador. (m)

**B:** Ancho del desarenador (m)

**e:** Espesor de muro intermedio entre desarenadores

**b:** Ancho del canal de entrada (m)

- **Altura de la zona de lodos ( $H'$ ):** Es la zona donde la arena sedimentada se depositará para posteriormente ser extraída con una centrífuga de lodos hacia un lecho de secado.

$$H' = L' * PI$$

**Ecuación 33**

**Datos:**

$H'$ : Altura de la zona de lodos. (m)

$L'$ : Longitud de la primera placa. (m) del desarenador (m)

$PI$ : Pendiente de lodos. (Krochin, 1986)

- **Longitud de la placa de salida ( $L''$ )**

$$L'' = \frac{2}{3} * L$$

**Ecuación 34**

**Datos:**

$L''$ : Longitud de la placa de salida. (m)

$L'$ : Longitud de la primera placa. (m)

$L$ : Largo del desarenador (m)

- **Pendiente de la placa de salida ( $X''$ ):** Es la inclinación por donde los lodos se depositarán en el fondo del desarenador.

$$X'' = \frac{H'}{L''} * 100\%$$

**Ecuación 35**

**Datos:**

$X''$ : Pendiente de la placa de salida. (m)

$H'$ : Altura de la zona de lodos. (m)

$L''$ : Longitud de la placa de salida. (m)

- **Volumen del canal de limpieza en la zona de lodos ( $V'$ ):** Es la zona donde los operadores darán mantenimiento al desarenador.

$$V' = Vr * 0,1$$

**Ecuación 36**

**Datos:**

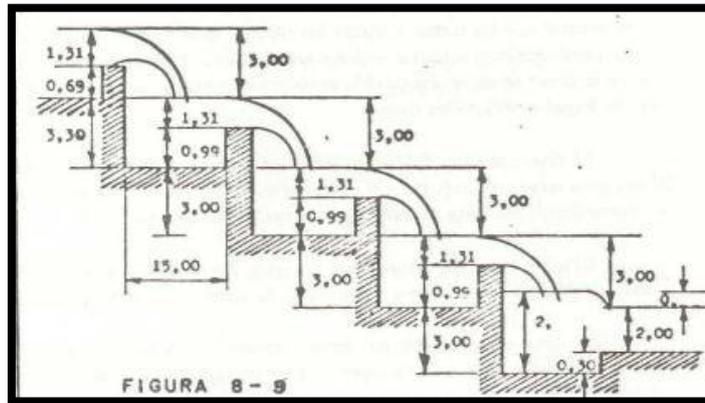
$V'$ : Volumen del canal de limpieza en la zona de lodos. (m<sup>3</sup>)

$Vr$ : Volumen del desarenador (m<sup>3</sup>)

### 3.1.5.4. Rápida tipo escalera (dosificación)

Son cajones disipadores de energía donde el agua cae al primer cajón disipando energía mediante la formación de un resalto hidráulico antes de pasar al siguiente, además funciona bien con los caudales intermedios hasta llegar al caudal para el cual ha sido diseñada, es utilizada para caudales menores a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . (Krochin, 1986)

#### ➤ Diseño de una rápida tipo escalera



**Figura 5.3:** Esquema de un una rápida tipo escalera.

Fuente: (Krochin, 1986)

- **Caudal unitario ( $qu$ ):** Es el caudal por unidad de anchura de una sección recta sobre una vertical dada.

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

**Ecuación 37**

**Datos:**

**$qu$ :** Caudal unitario ( $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ )

**$Q$ :** Caudal de diseño ( $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ )

**$b$ :** Ancho del canal (m)

- **Calado crítico ( $Yc$ ):** Es aquel que permite trasegar un cierto caudal con energía específica mínima.

$$Yc = \sqrt[3]{\frac{qu^2}{g}}$$

**Ecuación 38**

**Datos:**

**$Yc$ :** Calado crítico (m)

**qu:** Caudal unitario (m<sup>3</sup>/s\*m)

**g:** Gravedad (m<sup>2</sup>/s)

- **Relación Yc/h:** Se utiliza esta ecuación para el flujo escalón por escalón.

$$\frac{Yc}{h} = 0,89 - 0,4 \frac{h}{l}$$

**Ecuación 39**

**Datos:**

**Yc/h:** Relación para el flujo escalón por escalón **h/l:**

Pendiente natural del terreno.

- **Peralte del escalón (h):** Es la cara vertical del escalón, su altura es la distancia vertical entre los escalones.

$$h = \frac{Yc}{Yc/h}$$

**Ecuación 40**

**Datos:**

**h:** Peralte del escalón (m)

**Yc:** Calado crítico (m)

- **Peralte del escalón óptimo (hopt):** Es la distancia vertical óptima entre los escalones.

$$hopt = h. asumido * Yc$$

**Ecuación 41**

**Datos:**

**hopt:** Peralte del escalón óptimo (m)

**h. asumido:** 0,3 (Matos 2000)

**Yc:** Calado crítico (m)

- **Longitud del escalón (l):** Es la distancia total del escalón.

$$l = \frac{h. asumido}{h/l}$$

**Ecuación 42**

**Datos:**

**l:** Longitud del escalón (m)

**asumido:** 0,3 (Matos 2000)

$h/l$ : Pendiente natural del terreno

- **Relación ( $h/l$ )**

$$\frac{h}{l} = \frac{h. \text{ asumido}}{l. \text{ asumido}}$$

**Ecuación 43**

**Datos:**

**$h. \text{ asumido}$** : 0,3 (Matos 2000)

**$l. \text{ asumido}$** : 1 m (Matos 2000)

- **Ángulo entre escalones ( $\alpha$ )**: Es la proporción entre huellas y contrahuellas determinando así el ángulo entre escalones.

$$\alpha = \text{Tan}^{-1}(h/l)$$

**Ecuación 44**

**Datos:**

**$\alpha$** : Ángulo entre escalones

**$h/l$** : Relación peralte y longitud del escalón.

- **Número de contrahuellas**: Es la altura entre peldaños.

$$\# \text{ de contrahuellas} = \frac{\Delta \text{ cotas}}{h. \text{ asumido}}$$

**Ecuación 45**

**Datos:**

**$\Delta \text{ cotas}$** : Diferencia de cotas del terreno (m)

**$h. \text{ asumido}$** : 0,3 (Matos 2000)

- **Número de huellas**: Es la superficie horizontal del escalón, el ancho es la distancia horizontal entre peraltes.

$$\# \text{ de huellas} = \# \text{ de contrahuellas} - 1$$

**Ecuación 46**

- **Altura desarrollada ( $H_d$ )**: Representa la altura total a la cual la rápida tipo escalera aireará el agua, es la altura de piso a piso.

$$Hd = \#de\ contrahuellas * h.\ asumido$$

**Ecuación 47**

**Datos:**

**Hd:** Altura desarrollada (m)

**h. asumido:** 0,3 (Matos 2000)

- **Longitud desarrollada (Ld):** Serie de escalones que se extienden de piso a piso, de un piso a un descanso intermedio o plataforma.

$$Ld = \#de\ huellas * l.\ asumido$$

**Ecuación 48**

**Datos:**

**Ld:** Longitud desarrollada (m)

**l. asumido:** 1 m (Matos 2000)

- **Longitud recorrida (Lr):** Es la longitud total que el agua recorre durante el proceso de aireación.

$$Lr = \sqrt{Hd^2 + Ld^2}$$

**Ecuación 49**

**Datos:**

**Lr:** Longitud recorrida (m)

**Hd:** Altura desarrollada (m)

**Ld:** Longitud desarrollada (m)

- **Calado en la orilla del escalón (Yb):** Indica la altura al inicio del escalón.

$$Yb = 0,715 * Yc$$

**Ecuación 50**

**Datos:**

**Yb:** Calado en la orilla del escalón (m)

**Yc:** Calado crítico (m)

- **Longitud de caída (Lc):** Es la longitud donde el agua forma un resalto hidráulico utilizado para la mezcla de los productos químicos.

$$Lc = 4,30 * h. asumido * \frac{h^{0,81}}{l}$$

Ecuación 51

**Datos:**

**Lc:** Longitud de caída (m)

**h. asumido:** 0,3 (Matos 2000)

**h/l:** Relación peralte y longitud del escalón.

- **Profundidad del flujo en el escalón (Yp):** Conocida también como la altura a la cual llega el agua en cada escalón.

$$Yp = h. asumido * \frac{h^{0,66}}{l}$$

Ecuación 52

**Datos:**

**Yp:** Profundidad del flujo en el escalón (m)

**h. asumido:** 0,3 (Matos 2000)

**h/l:** Relación peralte y longitud del escalón

- **Energía al inicio del dissipador (E1):** Es la energía producida al inicio del resalto hidráulico.

$$E1 = \frac{2}{3} * Yc + Hd$$

Ecuación 53

**Datos:**

**E1:** Energía al inicio del dissipador (m)

**Yc:** Calado crítico (m)

**Hd:** Altura desarrollada (m)

- **Energía disipada (ΔE):** Es la energía producida en su totalidad luego del resalto hidráulico.

$$\Delta E = Hd - Yc$$

Ecuación 54

**Datos:**

**ΔE:** Energía disipada (m)

**Yc:** Calado crítico (m)

**Hd:** Altura desarrollada (m)

- **Dosificación de PAC- P25A:** Es la cantidad de la solución de Policloruro de Aluminio que a nivel de planta se dosificará de acuerdo al caudal de diseño.

$$\text{Dosis de PAC} - \text{P25A} = \frac{Q. \text{diario} * D. \text{PAC}}{V. j}$$

**Ecuación 55 Datos:**

**V.j:** Volumen utilizado para tratabilidad (L). (*Tabla 27.3*)

**Q. diario:** Caudal diario (L/día). (*Tabla 27.3*)

**D.PAC-P25A:** Dosis óptima para la tratabilidad (mL). (*Tabla 27.3*)

- **Cálculo de la dosificación de POLY-A:** Es la cantidad de la solución de Polielectrolito que a nivel de planta se dosificará de acuerdo al caudal de diseño.

$$\text{Dosis de POLY} - \text{A} = \frac{Q. \text{diario} * D. \text{POLY} - \text{A}}{V. j}$$

**Ecuación 56**

**Datos:**

**V.j:** Volumen utilizado para tratabilidad (L). (*Tabla 27.3*)

**Q. diario:** Caudal diario (L/día)

**D.POLY-A:** Dosis óptima para la tratabilidad (mL). (*Tabla 27.3*)

#### 3.1.5.5 Sedimentador de alta tasa

Los sedimentadores de alta tasa tienen alta eficiencia y poseen tiempos de retención cortos, son menos profundos que los sedimentadores convencionales. (Romero, 2004)

##### ➤ Diseño del sedimentador de alta tasa

- **Área del sedimentador (As):** Es el espacio que se encuentra encerrado entre los límites del sedimentador.

$$As = Ls * bs$$

**Ecuación 57**

**Datos:**

**As:** Área del sedimentador ( $m^2$ )

**Ls:** Longitud del sedimentador (m)

**bs:** Ancho del sedimentador (m)

- **Carga superficial (Cs):** La carga superficial se basa en el principio: La velocidad del flujo de agua es menor a la velocidad de sedimentación de sólidos.

$$Cs = \frac{Q}{As}$$

**Ecuación 58**

**Datos:**

**Cs:** Carga superficial del sedimentador  $\left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día}\right)$

**Q:** Caudal de diseño  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

**As:** Área del sedimentador ( $m^2$ )

- **Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas (vo):** Se refiere a la velocidad con la cual el fluido atravesará las placas.

$$vo = \frac{Q}{As * Sen \theta}$$

**Ecuación 59**

**Datos:**

**vo:** Velocidad promedio del flujo entre placas inclinadas (m/s)

**Q:** Caudal de diseño  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

**As:** Área del sedimentador ( $m^2$ )

**$\theta$ :** Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa. (**Tabla 28.3**)

- **Longitud relativa del sedimentador (Lr):** Se recomienda mantener la relación entre largo, ancho y profundidad, la longitud de la zona de sedimentación se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$Lr = \frac{L}{dp}$$

**Ecuación 60**

**Datos:**

**Lr:** Longitud relativa del sedimentador (m)

**L:** Longitud recorrida a través de la placa (m)

**dp:** Espaciamiento de las placas (m)

- **Número de Reynolds (Ne):** Permite conocer si el agua que se encuentra en el interior del sedimentador permanece en flujo laminar, transición o turbulento, es necesario que el agua llegue a flujo laminar para que las partículas puedan sedimentar.

$$Re = \frac{vo * dp}{v}$$

**Ecuación 61**

**Datos:**

**Re:** Número de Reynolds

**vo:** Velocidad promedio del flujo entre placas inclinadas (m/s)

**dp:** Espaciamiento de las placas (m)

**v:** Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

- **Longitud de transición (L'):** Es la longitud intermedia que diferencia una zona de otra geoméricamente.

$$L' = 0,013 * Re$$

**Ecuación 62**

**Datos:**

**L':** Longitud de transición (m)

**Re:** Número de Reynolds

- **Longitud relativa corregida en la longitud de transición (Lcr):**

$$Lcr = Lr - L'$$

**Ecuación 63**

**Datos:**

**Lcr:** Longitud relativa corregida en la longitud de transición (m)

**Lr:** Longitud relativa del sedimentador (m)

**L':** Longitud de transición (m)

- **Velocidad crítica de sedimentación (vsc):** Es la velocidad mínima a la cual las partículas empiezan a asentarse del flujo en el que se encuentran presentes hacia un depósito estacionario a lo largo de la pendiente del conducto.

$$vsc = \frac{Sc * vo}{Sen \theta + (Lcr * Cos\theta)}$$

**Ecuación 64**

**Datos:**

$v_{sc}$ : Velocidad crítica de sedimentación  $\frac{m^2}{s}$

$v_o$ : Velocidad promedio del flujo entre placas inclinadas (m/s)

$\theta$ : Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa. (Tabla 28.3)

$Sc$ : Parámetro característico para sedimentadores de placas paralelas. (Tabla 28.3)

- **Tiempo de retención en las placas ( $Trp$ ):** Es el tiempo que el agua y las partículas sedimentables chocan las paredes de las placas para luego decantar.

$$Trp = \frac{L}{v_o}$$

**Ecuación 65**

**Datos:**

$Trp$ : Tiempo de retención en las placas (min)

$L$ : Longitud recorrida a través de la placa (m)

$v_o$ : Velocidad promedio del flujo entre placas inclinadas (m/s)

- **Tiempo de retención en el tanque ( $Trs$ ):** Se define como el tiempo que el agua permanece en el tanque de sedimentación cumpliendo su función antes del proceso posterior.

$$Trs = \frac{As * Hs}{Q}$$

**Ecuación 66**

**Datos:**

$Trs$ : Tiempo de retención en el tanque de sedimentación (min)

$As$ : Área del sedimentador ( $m^2$ )

$Hs$ : Altura del sedimentador (m)

$Q$ : Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

- **Número de placas por módulo ( $Np$ ):** A continuación, se determina el número de placas considerando el espesor y separación de las mismas.

$$Np = \frac{(L * Sen\theta) + ds}{ds + ep}$$

**Ecuación 67**

**Datos:**

$Np$ : Número de placas por módulo

$L$ : Longitud recorrida a través de la placa (m)

$\theta$ : Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa. (Tabla 28.3)

**ds**: Separación entre placas (m). (*Tabla 28.3*)

**ep**: Espesor de las placas (m)

- **Volumen del sedimentador (*Vsd*)**: De este parámetro depende la sedimentación de las partículas ya que su longitud y condiciones de flujo deben ser adecuados para la sedimentación de las partículas.

$$Vsd = Ls * bs * Hs$$

**Ecuación 68**

**Datos:**

**Vsd**: Volumen del sedimentador ( $m^3$ )

**Ls**: Longitud del sedimentador (m)

**bs**: Ancho del sedimentador (m)

**Hs**: Altura del sedimentador (m)

- **Altura de las placas (*Hp*)**: Es la altura a nivel del fondo del sedimentador a la cual inclinadamente las placas se situarán.

$$Hp = L * Sen\theta$$

**Ecuación 69**

**Datos:**

**Hp**: Altura de las placas (m)

**L**: Longitud recorrida a través de la placa (m)

**$\theta$** : Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa. (*Tabla 28.3*)

#### 3.1.5.6 Desinfección

Los hipocloritos sódicos se emplean para plantas pequeñas por su simplicidad y seguridad con el fin de destruir mayoritariamente las bacterias patógenas, los factores que influyen en la eficacia del cloro son: eficacia germicida del cloro, importancia de la mezcla inicial, tiempo de contacto, características del agua residual y características de los microorganismos. (Metcalf & Eddy, 1995)

##### ➤ **Diseño del tanque de cloración**

- **Volumen del tanque de desinfección (*Vc*)**: La capacidad del tanque dependerá de su forma, al ser circular se descartan los llamados “espacios muertos” en los cuales el químico utilizado para desinfectar el agua se estacaría disminuyendo el rendimiento de depuración.

$$Vc = Q * Trh$$

**Ecuación 70**

**Datos:**

**Vc:** Volumen del tanque de desinfección. (m<sup>3</sup>)

**Q:** Caudal de diseño  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

**Trh:** Tiempo de retención hidráulica.

- **Diámetro del tanque de desinfección (Dtc):** Se expresa como la recta que pasa por el centro del tanque y termina en ambas direcciones.

$$Dtc = \sqrt[3]{\frac{Vc}{0,3926}}$$

**Ecuación 71**

**Datos:**

**Dtc:** Diámetro del tanque de desinfección. (m)

**Vc:** Volumen del tanque de desinfección. (m<sup>3</sup>)

- **Radio del tanque de desinfección (rc):** Se expresa como la mitad del diámetro del tanque de cloración.

$$rc = \frac{Dtc}{2}$$

**Ecuación 72**

**Datos:**

**rc:** Radio del tanque de desinfección. (m)

**Dtc:** Diámetro del tanque de desinfección. (m)

- **Área del tanque de desinfección (Ac):**

$$Ac = \pi * rc^2$$

**Ecuación 73**

**Datos:**

**Ac:** Área del tanque de desinfección. (m)

**rc:** Radio del tanque de desinfección. (m)

- **Altura del tanque de desinfección (Hc):** Es la relación entre el volumen y el área del tanque de cloración.

$$Hc = \frac{Vc}{Ac}$$

**Datos:****Hc:** Altura del tanque de desinfección. (m)**Vc:** Volumen del tanque de desinfección. (m<sup>3</sup>)**Ac:** Área del tanque de desinfección. (m)

- **Dosificación de Hipoclorito de Sodio:** Es la cantidad de la solución de Hipoclorito de Sodio que a nivel de planta se dosificará de acuerdo al volumen del tanque de cloración.

$$V. \text{ consumiendo NaClO} = \frac{V. \text{ tanque Cl} * D. \text{ NaClO}}{V. j}$$

Ecuación 75

**Datos:****V.j:** Volumen utilizado para tratabilidad (L). (*Tabla 29.3*)**V. tanque Cl:** Volumen del tanque de cloración (m<sup>3</sup>).**D.NaClO:** Dosis óptima para la tratabilidad (mL). (*Tabla 29.3*)

- **Concentración de Hipoclorito de Sodio:** Es la concentración de Hipoclorito de Sodio que se utilizará para la desinfección del agua.

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$

Ecuación 76

**Datos:****C<sub>2</sub>:** Concentración final de Hipoclorito de Sodio (ppm)**C<sub>1</sub>:** Concentración inicial de Hipoclorito de Sodio (ppm): (10%)**V<sub>2</sub>:** Volumen consumido de la solución patrón para el tratamiento (mL). (*Tabla 29.3*)**V<sub>1</sub>:** Volumen consumido de la solución patrón (mL) para cada litro de agua tratada. (*Tabla 29.3*)*3.1.5.7 Lecho de secado*

Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados, lo cual resulta ideal para pequeñas comunidades y pueden ser utilizados para acondicionamiento de suelos o ser trasladados a rellenos sanitarios. (CEPIS, 2005).

En los lechos de secado los lodos se deshidratan de forma natural mediante 2 mecanismos: percolación del agua a través del lecho y evaporación del agua; comúnmente los lechos de secado son rectangulares con o sin un sistema mecánico de eliminación de fango y con o sin tejado o cubierta tipo invernadero. (Ferrer, y otros, 2005)

➤ **Diseño del lecho de secado**

- **Carga de sólidos suspendidos en el efluente (C):**

$$C = Q * SS$$

**Ecuación 77**

**Datos:**

**C:** Carga de sólidos  $\left(\frac{kg}{día}\right)$

**Q:** Caudal  $\left(\frac{L}{s}\right)$

**SS:** Sólidos suspendidos  $\left(\frac{mg}{L}\right)$  (Tabla 32.3)

- **Masa de sólidos (Mld):**

$$Mld = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

**Ecuación 78**

**Datos:**

**Mld:** Masa de sólidos  $\left(\frac{kg}{día}\right)$

**C:** Carga de sólidos  $\left(\frac{kg}{día}\right)$

- **Volumen de lodos digeridos (Vld):** El porcentaje de lodos se refiere a los sólidos que se encuentran presentes en el lodo y su valor varía entre el 8 y 12%

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodos} \left(\frac{\%Sólidos}{100\%}\right)}$$

**Ecuación 79**

**Datos:**

**Vld:** Volumen de lodos digeridos  $\left(\frac{L}{día}\right)$

**Msd:** Masa de sólidos  $\left(\frac{kg}{día}\right)$

**$\rho_{lodos}$ :** Densidad del lodo. (Tabla 30.3)

**% Sólidos:** Sólidos contenidos en el lodo. (Tabla 30.3)

- **Volumen de lodos a extraerse (Vel):** El tiempo de digestión varía según la temperatura de la zona donde vaya a implementarse la planta de tratamiento.

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

Ecuación 80

**Datos:**

**Vel:** Volumen de lodos a extraerse. ( $m^3$ )

**Vld:** Volumen de lodos digeridos ( $\frac{L}{día}$ )

**Td:** Tiempo requerido para la digestión. (*Tabla 31.3*)

- **Área del lecho de secado (Als):**

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Ecuación 81

**Datos:**

**Als:** Área del lecho de secado. ( $m^2$ )

**Vel:** Volumen de lodos a extraerse. ( $m^3$ )

**Ha:** Profundidad del lecho de secado. (*Tabla 30.3*)

- **Área particular de cada lecho de secado (Ai):**

$$Ai = \frac{Als}{N^{\circ} \text{ Lechos}}$$

Ecuación 82

**Datos:**

**Ai:** Área particular de cada lecho de secado. ( $m^2$ )

**Als:** Área del lecho de secado. ( $m^2$ )

- **Longitud de los lechos de secado (Lsc):** El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS /OPS recomienda asumir para el ancho del lecho valores entre 2 a 6 m.

$$Lsc = \frac{Ai}{bs}$$

Ecuación 83

**Datos:**

**Lsc:** Longitud de los lechos de secado. ( $m$ )

**Ai:** Área particular de cada lecho de secado. ( $m^2$ )

**bs:** Ancho del lecho de secado. ( $m$ ). (*Tabla 30.3*)

- **Volumen de cada lecho de secado (Vls):**

$$Vls = Lsc * bs * Ha$$

**Ecuación 84**

**Datos:**

**Vls:** Volumen de cada lecho de secado. ( $m^3$ )

**Lsc:** Longitud de los lechos de secado. ( $m$ )

**bs:** Ancho del lecho de secado ( $m$ ). (*Tabla 30.3*)

**Ha:** Profundidad del lecho de secado. (*Tabla 30.3*)

**3.1.6. Rendimiento del proceso de depuración**

El rendimiento de depuración es un parámetro que permite por medio de cálculos determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta y la concentración final de los parámetros que están fuera de norma. El rendimiento se expresa en porcentaje y se calcula con las siguientes ecuaciones:

- **Rendimiento de depuración a nivel de laboratorio:**

$$\%Remoción = \frac{So - Se}{So} * 100$$

**Ecuación 85**

**Datos:**

**So:** Concentración en el afluente ( $mg/L$ ). (*Tabla 32.3*)

**Se:** Concentración en el efluente ( $mg/L$ )

- **Rendimiento de depuración a nivel de planta:**

$$Se = So * \frac{Rendimiento\ teórico}{100} - So$$

**Ecuación 86**

**Datos:**

**So:** Concentración en el afluente ( $mg/L$ ). (*Tabla 32.3*)

**Se:** Concentración en el efluente ( $mg/L$ )

### 3.2. Parte experimental

#### 3.2.1. Diagnóstico del área de estudio

El siguiente proyecto técnico se realizó en la Parroquia Vinchoa, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar

##### 3.2.1.1. Ubicación y extensión

La parroquia Vinchoa cuenta con una extensión de 364,20 Ha y una altitud de 2880 m.s.n.m y está ubicada a 2.3 Km y 10 minutos del cantón Guaranda, sus coordenadas UTM son: 17M, 725229 al Norte y 9821781 al Oeste.

**Tabla 2-3** Límites de la parroquia Vinchoa.

PUNTOS CARDINALES	LÍMITE
Norte	Parroquia Guaranda
Sur	Parroquia San Simón
Este	Provincia Chimborazo
Oeste	Parroquias Julio F. Moreno y Santa Fe

FUENTE: (Memoria Técnica de la parroquia Vinchoa, 2013)  
Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.



**Figura 2 .3** Ubicación geográfica de la parroquia Vinchoa.

Fuente: (Memoria Técnica de la parroquia Vinchoa, 2013)

##### 3.2.1.2. Climatología

Según publicaciones de los anuarios meteorológicos emitidos por el INAMHI el clima varía desde los páramos muy fríos: 4°C - 7°C hasta clima subtropical cálido 18°C – 24°C y se encuentra regulado por la corriente fría de Humboldt y la corriente del Niño la cual inicia en Diciembre habiendo 2 estaciones climatológicas: invierno y verano. (Memoria Técnica de la parroquia Vinchoa, 2013).

### 3.2.1.3. Meteorología

Se cuenta con los registros proporcionados por el INAMHI de la estación meteorológica Laguacoto (M1107) donde se da a conocer que la precipitación anual es 902.5 mm; entre Octubre y Abril llueve cerca del 92.22% del total anual y la precipitación máxima en 24 horas es de 25.0 mm en Noviembre, teniendo una precipitación pluvial que varía entre 0 y 206,5 mm anuales. (INAMHI, 2017)

**Tabla 3-3** Valores pluviométricos mensuales (mm).

MES	PRECIPITACIÓN
Enero	206,5
Febrero	166,3
Marzo	108,9
Abril	106,6
Mayo	30,8
Junio	20,8
Julio	0
Agosto	2,7
Septiembre	15,9
Octubre	101,6
Noviembre	99,1
Diciembre	43,3
Total anual	902,5

FUENTE: (INAMHI, 2017)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.2.1.4. Hidrología

Los deshielos del Chimborazo, páramos y escorrentías de montañas proveen el mayor caudal hídrico al cantón Guaranda; el Río Chimbo constituye su principal recurso hídrico el cual se forma a través de 2 afluentes principales: Río Salinas y Río Guaranda y en las estribaciones de la cordillera Occidental de los Andes y en su trayecto recibe las aguas de riachuelos y quebradas que descienden del sector. (Memoria Técnica de la parroquia Vinchoa, 2013)

## 3.2.2. Metodología

### 3.2.2.1. Determinación del caudal

El departamento de Obras Públicas de la Municipalidad de Guaranda ha facilitado el “*Estudio definitivo de mejoramiento y ampliación del sistema de alcantarillado sanitario, con*

*participación social para la parroquia Vinchoa*” efectuado en el 2013 y proyectado a 30 años en el cual presentan datos de población actual y futura, así como la dotación de agua y caudal que transportará el alcantarillado sanitario, el cual se utilizó como caudal de diseño para iniciar los cálculos de ingeniería en el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

La información es la siguiente:

**Tabla 4-3** Descarga existe

FECHA	DESCARGA	UBICACIÓN
14/02/2014	El Peñón	Descarga al río Guaranda, sector Camal Municipal

FUENTE: Dpto. Obras públicas, Municipalidad de Guaranda, 2017.

**Tabla 5-3** Caudal promedio descarga existente

SITIO DESCARGA	CAUDAL (L/S)	OBSERVACIONES
El Peñón	0,250	Varias horas en el día

FUENTE: Dpto. Obras públicas, Municipalidad de Guaranda, 2017.

**Tabla 6-3** Caudal promedio descarga proyectado a 30 años.

Áreas (ha)		Población		Dotación 160 (l/hab*día)		Infiltración (l/s)		Aguas ilícitas = 80.00		Q. Diseño (l/s)
Parcial	Acum	Parcial	Acum	M	Aguas servidas	Parcial	Acum	Parcial (L/s)	Acum (L/h/d)	
0,66	29,05	25	1104	4	Parcial   Acum	0,05	2,35	0,02	1,02	<b>9,79</b>

FUENTE: Dpto. Obras públicas, Municipalidad de Guaranda, 2017

### 3.2.2.2. Método de muestreo

Para iniciar con el muestreo se prepararon botellas de 6 litros, las cuales se rotularon con horarios pico (7:00 am, 13:00pm, 19:00pm), día y lugar de recolección, se homogenizaron los envases y se formaron muestras compuestas mezclando los volúmenes de cada sub-muestra, se conservaron en una nevera de manera vertical con el fin de minimizar el potencial de volatilización y retardar la acción biológica durante su transporte al laboratorio para sus análisis.

A continuación, se detalla el procedimiento basado en la Norma Técnica.

**Tabla 7-3** Materiales y equipos para muestreo de agua residual.

NORMATIVA	MATERIALES	PROCEDIMIENTO
-----------	------------	---------------

<p>Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo, manejo y conservación de muestras se procedió al muestreo del agua residual para su posterior análisis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GPS</li> <li>- Recipientes de vidrio</li> <li>- Esfero</li> <li>- Libreta de anotaciones</li> <li>- Cronómetro</li> <li>- Mandil</li> <li>- Guantes</li> <li>- Botas de caucho</li> <li>- Mascarilla</li> <li>- Balde graduado</li> <li>- Cámara fotográfica</li> <li>- Recipientes de polipropileno para muestras con fin microbiológico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lavar los recipientes con el fin de minimizar la contaminación.</li> <li>- Los recipientes de vidrio se lavarán con agua y detergente, seguido de un enjuague con agua destilada o desionizada.</li> <li>- Los recipientes que contienen las muestras deben estar marcados de una manera clara y permanente con fecha, hora y nombre de la persona que muestreó</li> <li>- Llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra; así se evita la interacción de Dióxido de Carbono y la variación del pH y el Hierro tiende a oxidarse menos.</li> <li>- Las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectó.</li> <li>- Durante el transporte al laboratorio las muestras</li> </ul>
		<p>deben guardarse en ambiente fresco y protegidas de la luz.</p>

Fuente: (NTE-INEN, 2013)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.2.2.3. Caracterización de las aguas residuales

Para realizar la caracterización física, química y microbiológica del agua residual se procedió a llevar las muestras al Laboratorio de Calidad del Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo donde se realizó la tratabilidad y la validación final para la disposición del agua tratada al cuerpo hídrico.

A continuación, se presentan los requerimientos de materiales y equipos para efectuar la caracterización del agua residual.

**Tabla 8-3** Materiales y equipos para caracterizar el agua residual.

PARÁMETROS	EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
Aceites y grasas	Rotavapor Estufa Balanza analítica	Balón de separación Erlenmeyer Pinza Soporte	Hexano
Cobre	Espectrofotómetro HACH DR2800	Cubeta cuadrada de una pulgada Pipeta	CuVer 1

Coliformes fecales	Estufa Refrigerador	Cajas Petri Pinza	Tubos inoculados
Conductividad	Conductímetro	Vaso de precipitación	----- --
Cromo hexavalente	Espectrofotómetro HACH DR2800	Cubeta cuadrada de una pulgada Pipeta	ChromaVer 3
DBO	Digestor de DBO	Botellas Wheaton Pila ----- Corcho	Sulfato de Manganeso Azida Sódica Ácido Sulfúrico
DQO	Thermoreactor Espectrofotómetro HACH DR2800	Tubos de ensayo Pinzas Cubeta cuadrada de una pulgada	Vial HACH (CAT 2125925)
Fósforo total	Espectrofotómetro HACH DR2800	Cubeta cuadrada de una pulgada Pipeta	PhosVer 3
Hierro total	Espectrofotómetro HACH DR2800	Cubeta cuadrada de una pulgada Pipeta	Hierro FerroVer
Manganeso total	Espectrofotómetro HACH DR2800	Cubeta cuadrada de una pulgada Pipeta	Ácido Ascórbico Cianuro Alcalino PAN 0,1%
Nitrógeno Amoniacal	Espectrofotómetro HACH DR2800	Cubeta cuadrada de una pulgada	Agua desionizada Salicilato de Amoníaco
		Pipeta	Cianuro de Amoníaco
Nitrógeno total Kjendal	Thermoreactor DRB200 Espectrofotómetro HACH DR2800	Cubeta cuadrada de una pulgada Pipeta Tubos de ensayo Dediles	Persulfato de Nitrógeno Tubos de digestión de Hidróxido de Nitrógeno total RA Agua desionizada Reactivos A, B, C-NT
Potencial Hidrógeno	Conductímetro	Vasos de precipitación Papel absorbente	Solución de KCl 3M Buffer pH 4
Sólidos totales	Baño María Estufa Desecador Balanza analítica	Caja Petri	-----
Sólidos sedimentables	-----	Probeta Cono Imhoff Varilla de agitación	-----
Sólidos totales disueltos	Conductímetro	Vasos de precipitación	-----
Sulfatos	Espectrofotómetro HACH DR2800	Cubeta cuadrada de una pulgada Pipeta	SulfaVer
Zinc	Espectrofotómetro HACH DR2800	Cubeta cuadrada de una pulgada Pipeta	ZincoVer 5 Ciclohexanona

Fuente: (APHA, 2005)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.2.2.4. 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. (Cisterna&Peña, 2015)

**Tabla 9-3** Índice de biodegradabilidad relación DQO/DBO.

PARÁMETRO	VALOR	RELACIÓN
DQO	3210	DQO/DBO <sub>5</sub>
DBO <sub>5</sub>	1860	1,73

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018

**Tabla 10-3** Tipo de biodegradabilidad

$\frac{DQO}{DBO_5}$	TIPO DE BIODEGRADABILIDAD	TIPO DE TRATAMIENTO
<1.5	Muy biodegradable	Materia orgánica muy degradable requiere tratamiento biológico.
1.5<x<10	Biodegradable	Materia orgánica moderadamente biodegradable, permite cuestionar la selección de un tratamiento físico-químico o biológico.
10<	Poco biodegradable	Materia orgánica poco degradable, es un hecho que será viable un tratamiento físico-químico.

FUENTE: Cisterna & Peña, 2015.

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

Con los resultados de la caracterización de la muestra compuesta se determinó el índice de biodegradabilidad dando como resultado un valor de 1,73 el cual se encuentra en el rango donde la materia es biodegradable y me permite elegir un tratamiento físico-químico o biológico, optando por el tratamiento físico químico por los buenos resultados obtenidos en el laboratorio.

### 3.2.2.5. Tratabilidad

La prueba de jarras se realizó con el equipo Flocc – Tester ET 730 en el cual se colocaron vasos de precipitación de 1 litro con agua residual, donde se dosificaron diferentes químicos (coagulantes y floculantes) a distintas concentraciones para encontrar la dosis óptima y el químico que proporcione mayor porcentaje de remoción.

A continuación, se muestran las pruebas realizadas:

**Tabla 11-3** Prueba de Jarras con Cloruro Férrico al 10%

Químico	Concentración ppm	Dosificación (mL)	Turbiedad NTU	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
Cloruro Férrico	100000	10	20,7	657,8	595,2

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

Al determinar DQO y DBO los resultados son favorables ya que disminuyó la carga contaminante considerablemente, sin embargo es necesario utilizar otros químicos para que el agua cumpla con la norma.

**Tabla 12-3** Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio, Polielectrolito y cal.

Químico	Concentración ppm	Dosificación (mL)	Turbiedad NTU	DQO mg/L
Sulfato de Aluminio + Polielectrolito + Cal	50000 500 -----	10 1,0 2 gramos	31,3	567

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

La combinación de Sulfato de Aluminio, Polielectrolito y cal no generan suficiente remoción de lodos.

**Tabla 13-3** Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio, Polielectrolito y cal a diferentes dosificaciones.

Químico	Concentración ppm	Dosificación (mL)	Turbiedad NTU	pH
Sulfato de Aluminio + Polielectrolito + Cal	50000 500 -----	15 1,0 2,5 gramos	3,9	11,14

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

Al aumentar la dosificación de Sulfato de Aluminio y cal se observa que la formación de flocs es compacta, sin embargo, el potencial Hidrógeno aumenta sobrepasando el rango (6-9) establecido en la norma.

**Tabla 14-3** Prueba de Jarras con Sulfato de Aluminio, Polielectrolito y cal.

Químico	Concentración ppm	Dosificación (mL)	Turbiedad NTU	pH
Policloruro de Aluminio + Polielectrolito + Cal	100000 500 -----	5 1,0 2 gramos	14,4	11,18

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

Al añadir cal al agua residual modifica el valor de pH razón por la cual se decidió no utilizarla a pesar de ayudar a la compactación de los flocs.

**Tabla 15-3** Prueba de Jarras con Policloruro de Aluminio y Polielectrolito.

Químico	Concentración ppm	Dosificación (mL)	Turbiedad NTU	pH
Policloruro de Aluminio(PAC)	100000	4	0,20	6,45
+ Polielectrolito	500	0,5		

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

La claridad del agua mejoró con relación a otras pruebas pero el valor de turbiedad (0,20 NTU) indica una depuración extremadamente alta ya que se la compara con la norma (NTE-INEN-2200, 2017) utilizada para agua purificada donde como máximo permite un valor de 1 NTU, concluyendo que se debe reducir la dosificación.

**Tabla 16-3** Prueba de Jarras con PAC y Polielectrolito a diferente dosificación.

Químico	Concentración ppm	Dosificación (mL)	Turbiedad NTU	pH
Policloruro de Aluminio(PAC)	100000	3	1,506	7,12
+ Polielectrolito	500	0,5		

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

Ya que el valor de turbiedad sigue siendo bajo se procede a disminuir nuevamente la dosificación con la finalidad de reducir costos.

**Tabla 17-3** Prueba de Jarras con PAC y Polielectrolito disminuyendo la dosificación.

Químico	Concentración Ppm	Dosificación (mL)	Turbiedad NTU	pH	DQO (mg/L)
Policloruro de Aluminio(PAC)	100000	2	2,40	7,10	139
+ Polielectrolito	500	0,25			

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

Al analizar los parámetros DQO, DBO y pH se encontraron dentro de los límites permisibles así que la dosis óptima fue: 2mL de Policloruro de Aluminio al 10% (10g de PAC aforado a 100mL

de agua destilada) y 0,25mL de Polielectrolito al 0,05% (0,05g de Polielectrolito aforado a 100mL de agua destilada), estas proporciones se dosificaron en 1L de agua residual; para la eliminación de patógenos se ha dosificado 6,3 mL de una solución patrón de 1mL de Hipoclorito de Sodio aforado a 100mL de agua destilada.

### 3.3. Datos experimentales

#### 3.3.1. Datos del diagnóstico

**Tabla 18-3** Caudal promedio descarga existente

SITIO DESCARGA	CAUDAL (L/S)	OBSERVACIONES
El Peñón	0,250	Varias horas en el día

FUENTE: Dpto. Obras públicas, Municipalidad de Guaranda, 2017.

**Tabla 19-3** Caudal descarga proyectado a 30 años

Áreas (ha)		Población		Dotación 160 (l/hab*día)		Infiltración (l/s)		Aguas ilícitas = 80.00		Q. Diseño (l/s)
Parcial	Acum	Parcial	Acum	M	Aguas servidas	Parcial	Acum	Parcial (L/s)	Acum (L/h/d)	
0,66	29,05	25	1104	4	Parcial Acum	0,05	2,35	0,02	1,02	<b>9,79</b>

FUENTE: Dpto. Obras públicas, Municipalidad de Guaranda, 2017.

#### 3.3.2 Datos para el dimensionamiento de las unidades físicas de la planta de tratamiento

##### 3.3.1.1. Canal de llegada

**Tabla 20-3** Datos para el diseño del canal.

PARÁMETRO	ABREVIATURA	UNIDAD	DATOS
Caudal de diseño	Q. diseño	$m^3/s$	0,01
Longitud del canal	L	m	5
Base del canal	B	m	0,25
Altura del canal	H	m	0,45
Material del canal	-	-	Hormigón
Pendiente del canal	S	%	0,5

Fuente: Normas Ecuatorianas para estudio y Diseño de Sistema de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 21-3** Coeficiente de rugosidad de Manning

CANALES REVESTIDOS	N
Asbesto cemento	0,010
Cemento mortero (Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas)	0,013
Cemento pulido	0,011
Concreto áspero	0,016
Concreto liso	0,012

Mampostería	0,015
Piedra	0,025
Piedra sobre mortero	0,035
Membrana de plástico sumergida	20,027

FUENTE: (RAS, 2000)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.3.1.2. Rejillas manuales

**Tabla 22-3** Datos para el cálculo de rejillas de limpieza manual y mecánica.

CARACTERÍSTICAS (TAMAÑO DE BARRA)	UNIDAD	LIMPIEZA MANUAL
Anchura	mm	5 – 15
Profundidad	mm	25 – 37,5
Separación entre barras	mm	25 – 50
Pendiente en relación a la vertical	Grados	25 – 60
Velocidad de aproximación	m/s	0,3 – 0,6
Perdida de carga admisible	mm	150

Fuente: (METCALF & EDDY, 1995)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 23-3** Valores Rischmer de  $\beta$

TIPO DE BARRA	B
Rectangular	2,42
Rectangular con cara aguas arriba semicircular	1,83
Circular	1,79
Rectangular con cara aguas arriba y abajo semicircular	1,67

Fuente: (Ferrer, y otros, 2005 pág. 10)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.3.1.3. Desarenador de flujo horizontal

**Tabla 24-3** Propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas.

TEMPERATURA (T) °C	DENSIDAD	VISCOSIDAD DINÁMICA	VISCOSIDAD CINEMÁTICA	TENSIÓN
0	999.8	1.781	1.785	0.0756
5	1000.0	1.518	1.519	0.0749
10	999.7	1.307	1.306	0.0742
15	999.1	1.139	1.140	0.0735
20	998.2	1.002	1.003	0.0728
25	997.0	0.890	0.893	0.0720
30	995.7	0.798	0.800	0.0710

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 25-3** Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación

Material	Límite de las partículas (cm)	Número de Reynolds	$v_s$	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10000	100	Turbulento	$v_s = 1,82\sqrt{dg \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.060 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1000 600 180 27 17 10 4 2	10 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$v_s = 0,22 * \left(\frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} * g\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{d}{\left(\frac{\mu}{\rho_L}\right)^{\frac{1}{3}}}\right)$ Allen
	0.010 0.008 0.006	0.8 0.5 0.24	0.8 0.6 0.4		
Arena Fina	0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.3 0.2 0.13 0.06 0.01	Laminar	$v_s = \frac{g(\rho_s - \rho_L)d^2}{18\mu}$ Stokes
			5		

Fuente: (RAS, 2000)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 26-3** Datos para el cálculo de desarenadores de diferente tipo

PARÁMETRO	DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL	DESARENADOR AIREADO	DESARENADOR TIPO VÓRTICE
Profundidad (m)	2 a 5	2 a 5	2.5 a 5
Longitud (m)	-----	8 a 20	-----
Ancho (m)	-----	2.5 a 7	-----
Relación Largo – Ancho	2.5:1 a 5:1	3:1 a 5:1	-----
Relación Ancho - Profundidad	1:1 a 5:1	1:1 a 5:1	-----
Cámara superior	-----	-----	1 a 7

Fuente: (RAS, 2000)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.3.1.4. Rápida tipo escalera –Dosificación

**Tabla 27-3** Datos para el cálculo de la dosificación de químicos.

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen tratabilidad	L	1
Caudal diario	L/día	864000
Dosis de PAC-P25A	mL	2
Dosis de POLY-A	mL	0,25

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.3.1.5. Sedimentador de alta tasa

**Tabla 28-3** Datos para el cálculo del sedimentador de alta tasa

PARÁMETRO	RANGO
Parámetro para sedimentador de placas paralelas (característica crítica de funcionamiento) (Sc)	1
Separación entre placas (ds) (cm)	5-8
Tiempo de retención (min)	< 15
Angulo de inclinación	60 °
Carga superficial (Cs) (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	60 – 300
Número de Reynolds	< 500

FUENTE: (Romero, 2004)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.3.1.6. Tanque de cloración

**Tabla 29-3** Datos para el cálculo de la dosificación de Hipoclorito de Sodio.

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen tratabilidad	L	1
Volumen del tanque	m <sup>3</sup>	18
Dosis de NaClO	mL	6,3
Concentración inicial	ppm	10%

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.3.1.7. Lecho de secado

**Tabla 30-3** Datos para el diseño de lechos de secado.

PARÁMETRO	RANGO	UNIDAD
Profundidad total útil	40 - 60	Cm
Ancho	3 -6	M
Medio de drenaje	0,30 de espesor	M
Densidad del lodo	1,04	kg/L
% Sólidos contenidos en el lodo	8 - 12	%

Porcentaje de sólidos presentes en el lodo	8 - 12	%
* Diámetro de tuberías de drenaje	No menor de 100	Mm
* Pendiente	No menor a 1	%
* Canales laterales de alimentación	2,5 - 3	
* Medio de transporte	Capa de 15	Cm
* Arena	0,3 - 1,3	Mm
* Grava (espesor)	51 - 200	Mm

Fuente: (CEPIS, 2005) \*Fuente: (RAS, 2000)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 31-3** Tiempo requerido para la digestión de lodos.

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE DIGESTIÓN (DÍAS)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: (CEPIS, 2005)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.3.2. Dimensionamiento de la planta de tratamiento para aguas residuales

A continuación, se detallan los cálculos de diseño de la planta de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la red de alcantarillado sanitario.

#### 3.3.2.1. Cálculo del canal de llegada

- *Cálculo de radio hidráulico para un canal rectangular, reemplazando la Ecuación 1:*

$$RH = \frac{(0,25 * 0,45) m^2}{0,25 + 2(0,45)m}$$

$$RH = 0,09 m$$

- *Cálculo de la velocidad media del canal, reemplazando la Ecuación 2:*

$$vm = \frac{1}{0,013} * (0,09)^{\frac{2}{3}} * (0,0005)^{\frac{1}{2}}$$

$$vm = 1,09 \frac{m}{s}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal del canal, reemplazando la Ecuación 3:*

$$A = \frac{0,01 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{1,09 \left(\frac{m}{s}\right)}$$

$$A = 0,009m^2$$

- **Cálculo de la altura máxima del agua en el canal, reemplazando la Ecuación 4:**

$$h = \sqrt{\frac{0,007}{2}}$$

$$h = 0,06m$$

- **Cálculo de la altura total del canal, reemplazando la Ecuación 5:**

$$H = 0,06 + 0,7$$

$$H = 0,76 m$$

### 3.3.2.2. Cálculo de rejillas manuales

- **Cálculo del área libre del paso de agua, reemplazando la Ecuación 6:**

$$Al = \left( \frac{0,01 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{0,3 \left(\frac{m}{s}\right)} \right)$$

$$Al = 0,033 m^2$$

- **Cálculo del área entre barras, reemplazando la Ecuación 7:**

$$Ab = \left( \frac{0,033 m^2 (0,05 m + 0,015m)}{0,05m} \right)$$

$$Ab = 0,043m^2$$

- **Cálculo de la altura del tirante del canal, reemplazando la Ecuación 8:**

$$h1 = \frac{0,043 m}{0,25 m}$$

$$h1 = 0,17m$$

- **Cálculo de la altura del tirante de construcción, reemplazando la Ecuación 9:**

$$h_T = 0,17m + 0,5m$$

$$h_T = 0,67 m$$

- **Cálculo de la longitud de barras, reemplazando la Ecuación 10:**

$$Lb = \frac{0,67m}{\text{sen}(60)}$$

$$Lb = 0,77 m$$

- **Cálculo del número de barrillas, reemplazando la Ecuación 11:**

$$Nb = \frac{0,25}{0,01 + 0,05}$$

$$Nb = 4.16 \cong 5 \text{ barras}$$

- **Cálculo de la longitud sumergida de la barra, reemplazando la Ecuación 12:**

$$L. \text{ sum.g} = \frac{0,01 \left( \frac{m^3}{s} \right)}{0,3 \left( \frac{m}{s} \right) * 0,25 m}$$

$$L. \text{ sum.g} = 0,13m$$

- **Cálculo de pérdida de carga, reemplazando la Ecuación 13:**

$$hc = 2,42 * \left( \frac{0,01}{0,05} \right)^{\frac{4}{3}} * \left( \frac{0,6^2}{2(9,8)} \right) * \text{sen } 60^\circ$$

$$hc = 0,005 m < 0,15 \text{ Es admisible}$$

### 3.3.2.3. Cálculo de desarenador de flujo horizontal

- **Cálculo del volumen de la cámara de quietamiento, reemplazando la Ecuación 14:**

$$V_{c.a} = \frac{0,01 \left( \frac{m^3}{s} \right)}{30 s}$$

$$V_{c.a} = 0,00033 m^3$$

- **Área superficial de la cámara de quietamiento, reemplazando la Ecuación 15:**

$$A_{c.a} = \frac{0,01 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{0,050 \left(\frac{m}{s}\right)}$$

$$A_{c.a} = 0,2 \text{ m}^2$$

- *Longitud y ancho superficial de la cámara de quietamiento, reemplazando la Ecuación 16:*

$$B_{c.a} = L_{c.a} = \sqrt{0,2m^2}$$

$$B_{c.a} = L_{c.a} = 0,45 \text{ m}$$

- *Cálculo de la profundidad útil de la cámara de quietamiento, reemplazando la Ecuación 17:*

$$P_{t.c.a} = 1 \text{ m} * 0,1$$

$$P_{t.c.a} = 1,1 \text{ m}$$

- *Cálculo del ángulo central de divergencia de la transición cámara de quietamiento - desarenador, reemplazando la Ecuación 18:*

$$O_c = 2 * 12,5$$

$$O_c = 25^\circ$$

- *Cálculo de la velocidad de sedimentación en régimen laminar zona de Stokes, reemplazando la Ecuación 19:*

$$v_s = \frac{\frac{981 \left(\frac{cm}{s^2}\right)}{18} (2,65 - 1) (0,02 \text{ cm})^2}{0,01146 \left(\frac{cm^2}{s}\right)}$$

$$v_s = 3,13 \left(\frac{cm}{s}\right)$$

$$v_s = 0,031 \left(\frac{m}{s}\right)$$

- *Cálculo del número de Reynolds, reemplazando la Ecuación 20:*

$$Re = \frac{3,13 \left(\frac{cm}{s}\right) * 0,02 \text{ cm}}{0,01007 \left(\frac{cm^2}{s}\right)}$$

$$Re = 5,48$$

- **Cálculo de la velocidad de sedimentación en régimen de transición zona de Allen, reemplazando la Ecuación 21:**

$$v_s = 0,22 * \left( \frac{2,65 - 1}{1} * 981 \left( \frac{cm}{s^2} \right) \right)^{\frac{2}{3}} * \left( \frac{0,02 \text{ cm}}{\left( \frac{0,01146 \left( \frac{cm^2}{s} \right)}{1} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

$$v_s = 2,52 \left( \frac{cm}{s} \right)$$

$$v_s = 0,025 \left( \frac{m}{s} \right)$$

- **Cálculo del número de Reynolds, reemplazando la Ecuación 20:**

$$Re = \frac{2,52 \left( \frac{cm}{s} \right) * 0,02 \text{ cm}}{0,01146 \left( \frac{cm^2}{s} \right)}$$

$$Re = 4,40$$

- **Cálculo del coeficiente de arrastre, reemplazando la Ecuación 22:**

$$Cd = \frac{24}{4,40} + \frac{3}{\sqrt{4,40}} + 0,34$$

$$Cd = 7,22$$

- **Cálculo de la velocidad de arrastre de la partícula, reemplazando la Ecuación 23:**

$$V_{ap} = 125 * ((2,65 - 1) * (0,02))^{1/2}$$

$$V_{ap} = 22,71 \left( \frac{cm}{s} \right)$$

$$V_{ap} = 0,23 \left( \frac{m}{s} \right)$$

- **Cálculo del volumen del desarenador, reemplazando la Ecuación 24:**

$$V_r = 0,01 \left( \frac{m^3}{s} \right) * 1800s$$

$$V_r = 36(m^3)$$

- **Cálculo del área superficial del desarenador, reemplazando la Ecuación 25:**

$$A_s = \frac{36 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$$

$$A_s = 12 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de la carga hidráulica en el desarenador, reemplazando la Ecuación 26:**

$$V_{sc} = \frac{0,01 \left( \frac{m^3}{s} \right)}{12 m^2}$$
$$V_{sc} = 0,0008 \left( \frac{m}{s} \right)$$

- **Cálculo del ancho del desarenador, reemplazando la Ecuación 27:**

$$B = \sqrt{\frac{12 m^2}{4}}$$
$$B = 1,73 m$$

- **Cálculo del ancho total del desarenador, reemplazando la Ecuación 28:**

$$B_{td} = (2 * 1,73) + 0,20$$
$$B_{td} = 3,66 m$$

- **Cálculo del largo del desarenador, reemplazando la Ecuación 29:**

$$L = \frac{12 m^2}{1,73 m}$$
$$L = 6,93 m$$

- **Cálculo del área transversal del desarenador, reemplazando la Ecuación 30:**

$$A_t = 1,73 m * 3 m$$
$$A_t = 5,19 m^2$$

- **Cálculo de la velocidad transversal del desarenador, reemplazando la Ecuación 31:**

$$V_h = \frac{0,01 \frac{m^3}{s}}{5,19 m^2}$$
$$V_h = 0,0019 m/s$$

- **Cálculo de la longitud de transición al ingreso del desarenador, reemplazando la Ecuación 32:**

$$Lg = \frac{(2 * 1,73 \text{ m} + 0,20\text{m} - 0,25 \text{ m})}{2 * Tg(12^\circ)}$$

$$Lg = 8,02 \text{ m}$$

- **Cálculo de la longitud de la primera placa, reemplazando la Ecuación 33:**

$$L' = \frac{1}{3} * 6,93 \text{ m}$$

$$L' = 2,31 \text{ m}$$

- **Cálculo de la pendiente de la placa de salida, reemplazando la Ecuación 34:**

$$X'' = \frac{0,231}{4,62} * 100\%$$

$$X'' = 5\%$$

- **Cálculo del volumen del canal de limpieza en la zona de lodos, reemplazando la Ecuación 35:**

$$V' = 36 \text{ m}^3 * 0,1$$

$$V' = 3,6 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la velocidad sobre el vertedero de salida, reemplazando la Ecuación 36:**

$$Vv = \frac{0,01 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{0,022 \text{ m} * 1,73\text{m}}$$

$$Vv = 0,26 \text{ m/s}$$

#### 3.3.2.4. Cálculo de la rápida tipo escalera

- **Cálculo del caudal unitario, reemplazando la Ecuación 37:**

$$qu = \frac{0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,25 \text{ m}}$$

$$qu = 0,04 \frac{\text{m}^3}{\text{s} * \text{m}}$$

- **Cálculo del calado crítico, reemplazando la Ecuación 38:**

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{(0,04 \frac{m^3}{s * m})^2}{9,8 \frac{m^2}{s}}}$$

$$Y_c = 0,055 \text{ m}$$

- *Cálculo de la relación  $Y_c/h$  para flujo escalón por escalón, reemplazando la Ecuación 39:*

$$\frac{Y_c}{h} = 0,89 - 0,4 * 1,65$$

$$\frac{Y_c}{h} = 0,23$$

- *Cálculo del peralte del escalón, reemplazando la Ecuación 40:*

$$h = \frac{0,055 \text{ m}}{0,23}$$

$$h = 0,24 \text{ m}$$

- *Cálculo del peralte del escalón óptimo, reemplazando la Ecuación 41:*

$$h_{opt} = 0,3 * 0,055 \text{ m}$$

$$h_{opt} = 0,017 \text{ m}$$

- *Cálculo de la longitud del escalón, reemplazando la Ecuación 42:*

$$l = \frac{0,3}{1,65}$$

$$l = 0,18 \text{ m}$$

- *Cálculo de la relación  $h/l$ , reemplazando la Ecuación 43:*

$$\frac{h}{l} = \frac{0,3}{1 \text{ m}}$$

$$\frac{h}{l} = 0,3 \text{ m}$$

- *Cálculo del ángulo entre escalones, reemplazando la Ecuación 44:*

$$\alpha = \text{Tan}^{-1}(0,3)$$

$$\alpha = 16,69$$

- **Número de contrahuellas, reemplazando la Ecuación 45:**

$$\# \text{ de contrahuellas} = \frac{0,9 \text{ m}}{0,3 \text{ m}}$$

$$\# \text{ de contrahuellas} = 3$$

- **Número de huellas, reemplazando la Ecuación 46:**

$$\# \text{ de huellas} = 3 - 1$$

$$\# \text{ de huellas} = 2$$

- **Altura desarrollada, reemplazando la Ecuación 47:**

$$Hd = 3 * 0,3m$$

$$Hd = 0,9 \text{ m}$$

- **Longitud desarrollada, reemplazando la Ecuación 48:**

$$Ld = 2 * 1 \text{ m}$$

$$Ld = 2 \text{ m}$$

- **Longitud recorrida, reemplazando la Ecuación 49:**

$$Lr = \sqrt{(0,9m)^2 + (2m)^2}$$

$$Lr = 2,19 \text{ m}$$

- **Cálculo del calado en la orilla del escalón, reemplazando la Ecuación 50:**

$$Yb = 0,715 * 0,055 \text{ m}$$

$$Yb = 0,04 \text{ m}$$

- **Cálculo de la longitud de caída, reemplazando la Ecuación 51:**

$$Lc = 4,30 * 0,3m * (0,3)^{0,81}$$

$$Lc = 0,49 \text{ m}$$

- **Cálculo de la profundidad del flujo en el escalón, reemplazando la Ecuación 52:**

$$Yp = 0,3 \text{ m} * (0,3)^{0,66}$$

$$Yp = 0,14 \text{ m}$$

$$Lc = 0,49 \text{ m}$$

- **Cálculo de la energía al inicio del dissipador, reemplazando la Ecuación 53:**

$$E1 = \frac{2}{3} * 0,055 \text{ m} + 0,9 \text{ m}$$

$$E1 = 0,94 \text{ m}$$

- **Cálculo de la energía disipada, reemplazando la Ecuación 54:**

$$\Delta E = 0,9 \text{ m} - 0,055 \text{ m}$$

$$\Delta E = 0,85 \text{ m}$$

- **Cálculo de la altura de la pared, reemplazando la Ecuación 55:**

$$hp = 0,14 \text{ m} + 0,2$$

$$hp = 0,34 \text{ m}$$

- **Cálculo de la dosificación de PAC- P25A, reemplazando la Ecuación 56:**

$$\text{Dosis de PAC - P25A} = \frac{864000 \text{ L/día} * 2 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

$$\text{Dosis de PAC - P25A} = 1728000 \text{ mL/día}$$

$$\text{Dosis de PAC - P25A} = \frac{1728000 \text{ mL}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$$

$$\text{Dosis de PAC - P25A} = 1728 \text{ L/día}$$

La cantidad en gramos de PAC- P25A puro será:

$$\text{Masa PAC - P25A} = \frac{10 \text{ g} * 1728 \text{ L/día}}{\text{L}}$$

$$\text{Masa PAC - P25A} = 17280 \frac{\text{g}}{\text{día}} \text{ tratamiento}$$

- **Cálculo de la dosificación de POLY-A, reemplazando la Ecuación 57:**

$$\text{Dosis de POLY - A} = \frac{864000 \text{ L/día} * 0,25 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

$$\text{Dosis de POLY - A} = 216000 \text{ mL/día}$$

$$\text{Dosis de POLY - A} = \frac{216000 \text{ mL}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$$

$$\text{Dosis de POLY - A} = 216 \text{ L/día}$$

La cantidad en gramos de POLY-A puro será:

$$\text{Masa POLY - A} = \frac{0,5 \text{ g} * 216 \text{ L/día}}{\text{L}}$$

$$\text{Masa POLY - A} = 108 \frac{\text{g}}{\text{día}} \text{ tratamiento}$$

### 3.3.2.5. Cálculo del sedimentador de alta tasa

- **Cálculo del área del sedimentador, reemplazando la Ecuación 58:**

$$A_s = 4 \text{ m} * 2 \text{ m}$$

$$A_s = 8 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de la carga superficial, reemplazando la Ecuación 59:**

$$C_s = \frac{864 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{8 \text{ m}^2}$$

$$C_s = 108 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}} \right) < (60 - 300) \text{ si cumple}$$

- **Cálculo de la velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas, reemplazando la Ecuación 60:**

$$v_o = \frac{0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{8 \text{ m}^2 * \text{Sen} (60^\circ)}$$

$$v_o = 0,0014 \text{ m/s}$$

- **Cálculo de la longitud relativa del sedimentador, reemplazando la Ecuación 61:**

$$L_r = \frac{1 \text{ m}}{0,13 \text{ m}}$$

$$L_r = 7,69 \text{ m}$$

- **Cálculo del Número de Reynolds, reemplazando la Ecuación 62:**

$$Re = \frac{0,0014 \text{ m/s} * 0,13 \text{ m}}{0,000001146 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Re = 163,73 < 500 \text{ si cumple}$$

- **Cálculo de la longitud de transición, reemplazando la Ecuación 63:**

$$L' = 0,013 * 163,73$$

$$L' = 2,13 \text{ m}$$

- **Cálculo de la longitud relativa corregida en la longitud de transición, reemplazando la Ecuación 64:**

$$Lcr = 7,69 \text{ m} - 2,13 \text{ m}$$

$$Lcr = 5,56 \text{ m}$$

- **Cálculo de la velocidad crítica de sedimentación, reemplazando la Ecuación 65:**

$$v_{sc} = \frac{1 * 0,0014 \text{ m/s}}{\text{Sen } 60 + (5,56 * \text{Cos}60)}$$

$$v_{sc} = 0,0003839 \text{ m/s}$$

- **Cálculo del tiempo de retención en las placas, reemplazando la Ecuación 66:**

$$Trp = \frac{1\text{m}}{0,0014\text{m/s}}$$

$$Trp = 714,29 \text{ s} = 11,90 \text{ min}$$

- **Cálculo del tiempo de retención en el tanque, reemplazando la Ecuación 67:**

$$Trs = \frac{8\text{m}^2 * 2\text{m}}{0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$Trs = 1600 \text{ s} = 26,6 \text{ min}$$

- **Cálculo del número de placas por módulo, reemplazando la Ecuación 68:**

$$Np = \frac{(1\text{m} * \text{Sen}60) + 0,13\text{m}}{0,13\text{m} + 0,01\text{m}}$$

$$N = 7,11$$

- **Cálculo del volumen del sedimentador, reemplazando la Ecuación 69:**

$$V_{sd} = 5,56m * 2m * 2m$$

$$V_{sd} = 22,24 m^3$$

- **Cálculo de la altura de las placas, reemplazando la Ecuación 70:**

$$H_p = 1m * \text{Sen}60$$

$$H_p = 0,86m$$

### 3.3.2.6. Cálculo del tanque de cloración

- **Cálculo del volumen del tanque de desinfección, reemplazando la Ecuación 71:**

$$V_c = 0,01 \left( \frac{m^3}{s} \right) * 1800 s$$

$$V_c = 18 m^3$$

- **Cálculo del diámetro del tanque de desinfección, reemplazando la Ecuación 72:**

$$D_{tc} = \sqrt[3]{\frac{18 m^3}{0,3926}}$$

$$D_{tc} = 3,6 m$$

- **Cálculo del radio del tanque de desinfección, reemplazando la Ecuación 73:**

$$r_c = \frac{3,6 m}{2}$$

$$r_c = 1,79 m$$

- **Cálculo del área del tanque de desinfección, reemplazando la Ecuación 74:**

$$A_c = \pi * (1,79m)^2$$

$$A_c = 10,06 m^2$$

- **Cálculo de la altura del tanque de desinfección, reemplazando la Ecuación 75:**

$$H_c = \frac{18m^3}{10,06m^2}$$

$$H_c = 1,8 m$$

- **Dosificación de Hipoclorito de Sodio, reemplazando la Ecuación 76:**

$$V. \text{consumido NaClO} = \frac{18000 \text{ L} * 6,3 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

$$V. \text{consumido NaClO} = 113400 \text{ mL}$$

➤ **Concentración de Hipoclorito de Sodio, reemplazando la Ecuación 77:**

$$C_2 = \frac{(100000 \text{ ppm} * 6,3 \text{ mL})}{113400 \text{ mL}}$$

$$C_2 = 555,55 \text{ ppm}$$

$$C_{op} = C_2 * Q. \text{diseño}$$

$$C_{op} = 555,55 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 864000 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$C_{op} = 864555,55 \text{ mg/día}$$

$$C_{op} = 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

### 3.3.2.7. Cálculo del lecho de secado

➤ **Cálculo de la carga de sólidos suspendidos en el efluente, reemplazando la Ecuación 77:**

$$C = 10 \left( \frac{\text{L}}{\text{S}} \right) * 630 \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$C = 6300 \left( \frac{\text{mg}}{\text{s}} \right) * \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} * \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} * \frac{86400\text{s}}{1\text{h}}$$

$$C = 544,32 \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)$$

➤ **Cálculo de la masa de sólidos, reemplazando la Ecuación 78:**

$$Mld = \left( 0,5 * 0,7 * 0,5 * 544,32 \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) \right) + \left( 0,5 * 0,3 * 544,32 \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) \right)$$

$$Msd = 176,90 \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)$$

➤ **Cálculo del volumen de lodos digeridos, reemplazando la Ecuación 79:**

$$Vld = \frac{176,90 \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)}{1,04 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \left( \frac{12\%}{100\%} \right)}$$

$$Vld = 1417,46 \left( \frac{\text{L}}{\text{día}} \right)$$

$$Vld = 1,42 \left( \frac{m^3}{día} \right)$$

- *Cálculo del volumen de lodos a extraerse, reemplazando la Ecuación 80:*

$$Vel = \frac{1417,46 \left( \frac{L}{día} \right) * 55 \text{ días}}{1000}$$

$$Vel = 77,96 \text{ m}^3$$

- *Cálculo del área del lecho de secado, reemplazando la Ecuación 81:*

$$Als = \frac{77,96 \text{ m}^3}{2 \text{ m}}$$

$$Als = 38,98 \text{ m}^2$$

- *Cálculo del área particular de cada lecho de secado, reemplazando la Ecuación 82:*

$$Ai = \frac{38,98 \text{ m}^2}{2}$$

$$Ai = 19,49 \text{ m}^2$$

- *Cálculo de la longitud de los lechos de secado, reemplazando la Ecuación 83:*

$$Lsc = \frac{19,49 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}$$

$$Lsc = 6,5 \text{ m}$$

- *Cálculo del volumen de cada lecho de secado, reemplazando la Ecuación 84:*

$$Vls = 6,5 \text{ m} * 3 \text{ m} * 2 \text{ m}$$

$$Vsc = 39 \text{ m}^3$$

### 3.4. Resultados

#### 3.4.1. Resultados de la caracterización de las aguas residuales

**Tabla 32-3** Resultados en los ensayos de laboratorio.

PARÁMETRO	EXP.	UNIDAD	LIM.MA X	VALOR	MÉTODO
Conductividad	-----	ms/cm	----- -	1230	2510-B

Color	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20	3280	
pH	-----	-----	6-9	7,29	APHA/AWWA/Standard Method N°4500 - H <sup>+</sup> B
Turbiedad	-----	NTU	-----	690	APHA/AWWA/Standard Method N°2130 - B
Salinidad	-----		-----	0,6	Potenciometrica
Aceites y grasas	Sus. Solubles en Hexano	mg/L	30,0	14	APHA/AWWA/Standard Method N°5520 - B
Cinc	Zn	mg/L	5,0	2,9	APHA/AWWA/Standard Method N°3500 - Zn-F
Cobre	Cu	mg/L	1,0	0,2	8506 HACH
Coliformes fecales	NMP	UFC/100ml	2000	11000	Microfiltración
Cromo Hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,5	Menor a 0,1	8023 HACH
Demanda bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	100	1860	APHA/AWWA/Standard Method N° 5210 - B
Demanda química de Oxígeno	DQO	mg/L	200	3210	APHA/AWWA/Standard Method N° 5220 - C
Fósforo total	P	mg/L	10,0	65,6	APHA/AWWA/Standard Method N°4500 - PO <sub>4</sub> - B
Hierro total	Fe	mg/L	10,0	15,4	APHA/AWWA/Standard Method N°3500 - Fe
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0	2,66	APHA/AWWA/Standard Method N°3500 - Mn-D
Materia flotante	Visibles	-----	Ausencia	Presencia	
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/L	30,0	7,5	APHA/AWWA/Standard Method N°4500 NO <sub>3</sub> - C
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/L	50,0	200	APHA/AWWA/Standard Method N°4500 - C
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	130	630	APHA/AWWA/Standard Method N°2540 - C
Sólidos totales	ST	mg/L	1600	2580	APHA/AWWA/Standard Method N°2540 - B

Sólidos sedimentables	S.Sed	mg/L	----- -	50	APHA/AWWA/Standard Method N°2540 - F
Sólidos disueltos	Sd	mg/L	----- -	600	APHA/AWWA/Standard Method N°2540 - C
Sulfatos	(SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup>	mg/L	1000	330	APHA/AWWA/Standard Method N°4500 - (SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup>
Temperatura	T	°C	Condición natural +- 3	19,8	Potenciometrica
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	-----	0,5	1,35	STANDARD METHODS 5540-C

FUENTE: (MAE, 2015)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

Los parámetros fuera de norma son: Coliformes fecales, DBO, DQO, Fósforo total, Hierro total, Manganeso total, Nitrógeno total Kjeldahl, Sólidos suspendidos totales, Sólidos totales y Tensoactivos; los mismos que se encuentran en color verde.

### 3.4.2. Resultados del dimensionamiento de las unidades físicas de la planta de tratamiento de aguas residuales

**Tabla 33-3** Resultados de rejillas manuales

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	$Q$	0,01	$m^3/s$
Velocidad de aproximación	$v$	0,3	$m/s$
Separación entre barras	$W$	0,05	$m$
Ancho máximo de las barras	$e$	0,015	$m$
Espesor de las barras	$\epsilon$	0,01	$m$
Forma de la barra	$\beta$	2,42	Adimensional
Área libre del paso de agua	$Al$	0,033	$m^2$
Área entre barras	$Ab$	0,043	$m^2$
Pendiente	$\theta$	60	Grados
Longitud de barra	$Lb$	0,69	$m$
Número de barras	$Nb$	8	Unidades
Longitud sumergida de la barra	$L.sumg$	0,078	$m$
Pérdida de carga	$hc$	0,005	$m$

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 34-3** Resultados del canal de entrada

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Base del canal	$b$	0,25	$m$
Altura del canal	$h$	0,45	$m$
Longitud del canal	$Lc$	5	$m$

Pendiente del canal	$S$	0,5	%
Coefficiente de Manning (Hormigón)	$n$	0,013	Adimensional
Radio hidráulico	$RH$	0,15	$m$
Velocidad media del canal	$vm$	1,50	$m/s$
Área de la sección transversal del canal	$A$	0,007	$m^2$
Altura del tirante del canal	$h1$	0,010	$m$
Altura del tirante de construcción	$hT$	0,60	$m$
Altura máxima del agua en el canal	$ha$	0,06	$m$
Altura total del canal	$H$	0,76	$m$

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 35-3** Resultados del desarenador de flujo horizontal

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<b>Cámara de aquietamiento</b>			
Volumen	$V_{c.a}$	0,00033	$m^3$
Tiempo de retención	$Trh$	30	$s$
Área superficial	$Ac.a$	0,2	$m^2$
Longitud y ancho superficial	$Lc.a-Bc.a$	0,45	$m$
Profundidad total	$Pt.c.a$	<b>1,1</b>	$m$
Ángulo central de divergencia	$Oc$	25	<i>grados</i>
<b>Zona de sedimentación</b>			
Longitud de transición al ingreso del desarenador	$Lg$	2,95	$m$
Velocidad de sedimentación en régimen de transición	$vs$	0,025	$m/s$
Número de Reynolds	$Re$	4,40	<i>adimensional</i>
Coefficiente de arrastre	$Cd$	7,22	<i>adimensional</i>
Velocidad de arrastre de la partícula	$Vap$	0,23	<i>adimensional</i>
Volumen del desarenador	$Vr$	36	$m^3$
Altura del desarenador	$Hr$	3	$m$
Ancho del desarenador	$Btd$	3,76	$m$
Largo del desarenador	$Lr$	6,93	$m$
Área transversal de desarenador	$At$	5,19	$m^2$
Área superficial de desarenador	$As$	12	$m^2$
Carga hidráulica	$Vsc$	0,0008	$m/s$
Velocidad transversal	$Vh$	0,0019	$m/s$
<b>Zona de lodos</b>			
Longitud de la primera placa	$Lp$	2,31	$m$
Pendiente	$Pl$	0,1	%
Altura	$H'$	0,231	$m$
Longitud de la placa de salida	$Lps$	4,62	$m$
Pendiente de la placa de salida	$X''$	5	%
Volumen del canal de limpieza	$V^$	3,6	$m^3$
Lámina sobre la cresta del vertedero	$Hv$	0,022	$m$
Velocidad sobre el vertedero de salida	$Vv$	0,26	$m/s$

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 36-3** Resultados de la rápida tipo escalera.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Diferencia de cotas	$\Delta$ cotas	0,9	M
Pendiente del terreno	l/h	1,65	
Caudal unitario	qu	0,04	m <sup>3</sup> /s*m
Calado Critico	Yc	0,055	M
Peralte del escalón	h	0,24	M
Peralte del escalón óptimo	H opt	0,017	M
Longitud del escalón	l	0,18	M
Ángulo entre escalones	$\alpha$	16,69	°
Número de contrahuellas	#contrahuellas	3	Adimensional
Número de huellas	#huellas	2	Adimensional
Altura desarrollada	Hd	0,9	m
Longitud desarrollada	Ld	2	m
Longitud recorrida	Lr	2,19	m
Calado en la orilla del escalón	Yb	0,04	m
Longitud de caída	Lc	0,49	m
Profundidad del flujo en el escalón	Yp	0,14	m
Energía al inicio del disipador	E1	0,94	m
Energía disipada	$\Delta E$	0,85	m
Energía al pie del disipador	E2	0,09	m

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 37-3** Resultados del sedimentador de alta tasa

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Longitud del sedimentador	<i>Ls</i>	4	<i>m</i>
Ancho del sedimentador	<i>bs</i>	2	<i>m</i>
Altura del sedimentador	<i>Hs</i>	2	<i>m</i>
Ángulo de inclinación	$\theta s$	60	grados
Espaciamiento de las placas	<i>dp</i>	0,13	<i>m</i>
Espesor de las placas	<i>ep</i>	0,01	<i>m</i>
Área del sedimentador	<i>As</i>	8	<i>m</i> <sup>2</sup>
Carga superficial	<i>Cs</i>	108	<i>m</i> <sup>3</sup> / <i>m</i> <sup>2</sup> * <i>d</i>
Velocidad promedio entre placas	<i>vo</i>	0,014	<i>m/s</i>
Longitud relativa del sedimentador	<i>Lr</i>	7,69	<i>m</i>
Número de Reynolds	<i>Re</i>	163,73	adimensional
Longitud de transición	<i>L'</i>	2,13	<i>m</i>
Longitud relativa en la longitud d transición	<i>Lcr</i>	5,56	<i>m</i>
Velocidad crítica de sedimentación	<i>vsc</i>	0,00038	<i>m/s</i>
Tiempo de retención en las placas	<i>Trh1</i>	11,90	<i>minutos</i>
Tiempo de retención en el tanque	<i>Trh2</i>	26,6	<i>minutos</i>
Número de placas por módulo	<i>Np</i>	7	unidades
Volumen del sedimentador	<i>Vsd</i>	16	<i>m</i> <sup>3</sup>
Altura de las placas	<i>Hp</i>	0,86	<i>m</i>

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 38-3** Resultados del tanque de cloración

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Volumen	<i>Vc</i>	18	<i>m<sup>3</sup></i>
Tiempo de retención	<i>Trh</i>	30	<i>minutos</i>
Diámetro	<i>Dtc</i>	3,6	<i>m</i>
Radio	<i>rc</i>	1,79	<i>m</i>
Área total	<i>Ac</i>	10,06	<i>m<sup>2</sup></i>
Altura	<i>Hc</i>	1,8	<i>m</i>

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 39-3** Resultados del lecho de secado

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Volumen	<i>Vls</i>	39	<i>m<sup>3</sup></i>
Longitud	<i>Lsc</i>	6,5	<i>m</i>
Ancho	<i>Bls</i>	3	<i>m</i>
Profundidad	<i>Hls</i>	2	<i>m</i>
Área de cada lecho	<i>Ai</i>	19,49	<i>m<sup>2</sup></i>
Carga de sólidos suspendidos en el efluente	<i>C</i>	544,32	<i>kg/día</i>
Masa de lodo de desecho	<i>Msd</i>	176,90	<i>kg/día</i>
Volumen de lodos digeridos	<i>Vld</i>	1,47	<i>m<sup>3</sup>/día</i>
Volumen de lodos a extraerse	<i>Vel</i>	77,96	<i>m<sup>3</sup></i>
Número de lechos	<i>N<sup>o</sup></i>	2	<i>unidades</i>

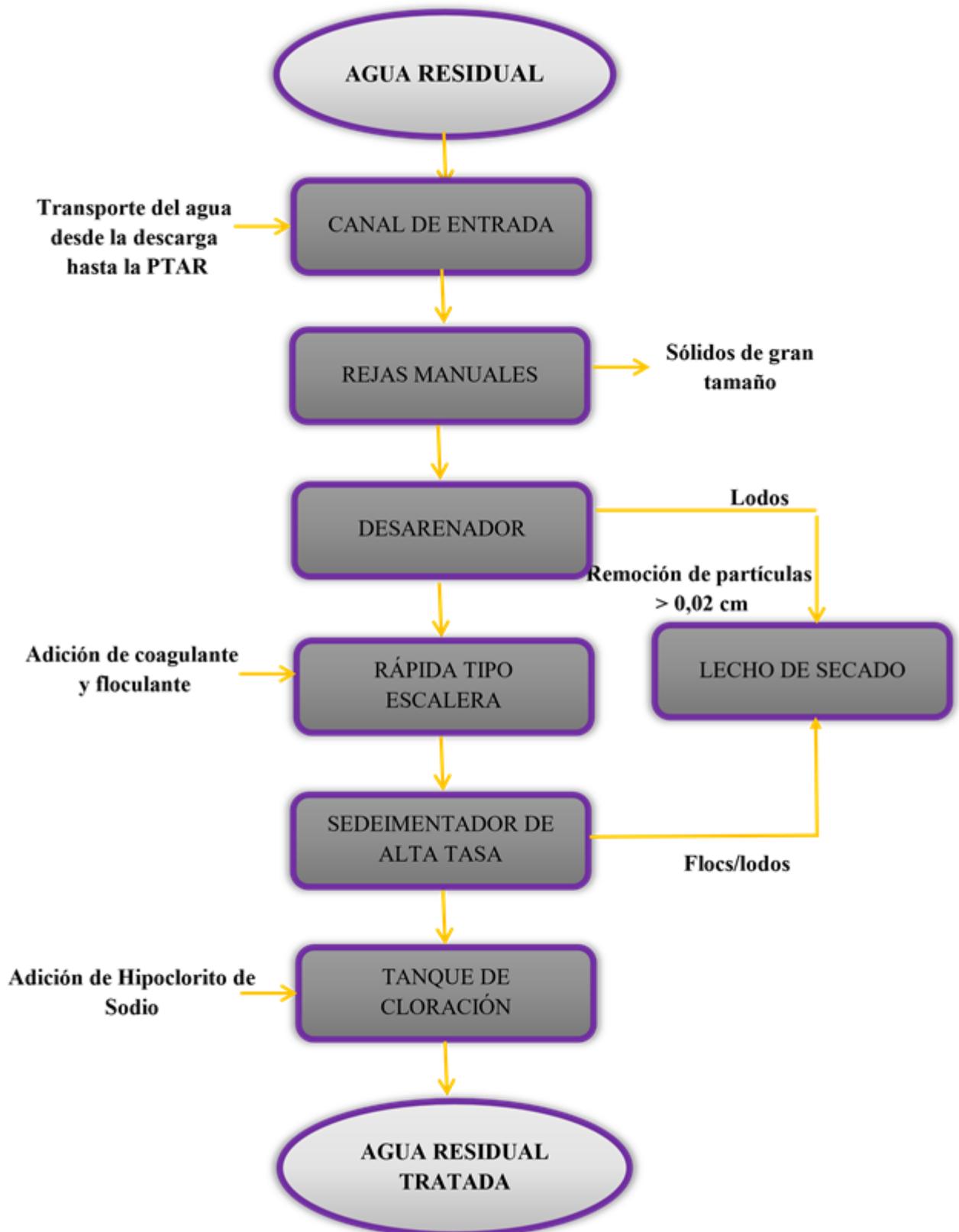
Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

**Tabla 40-3** Resultados de productos químicos

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DOSIFICACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO</b>	<b>DOSIFICACIÓN A NIVEL DE PLANTA</b>
PAC P-25 <sup>a</sup>	2mL/L	1728 L/día
POLY-A	0,25mL/L	216 L/día
Hipoclorito de Sodio	6,3 mL/L	5443,2 L/día

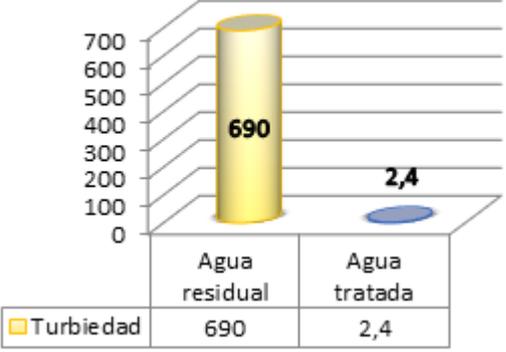
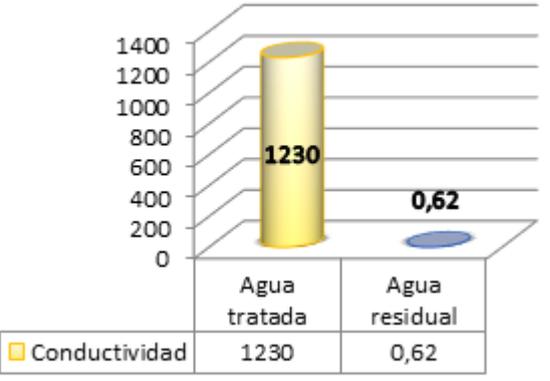
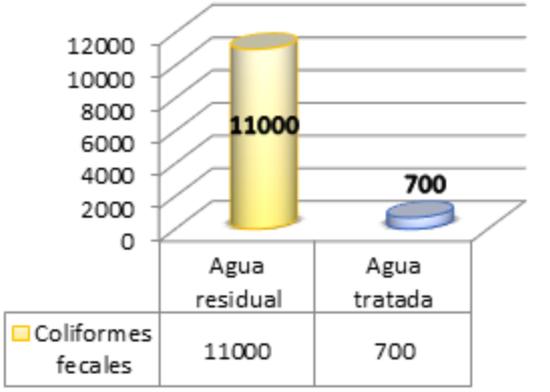
Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

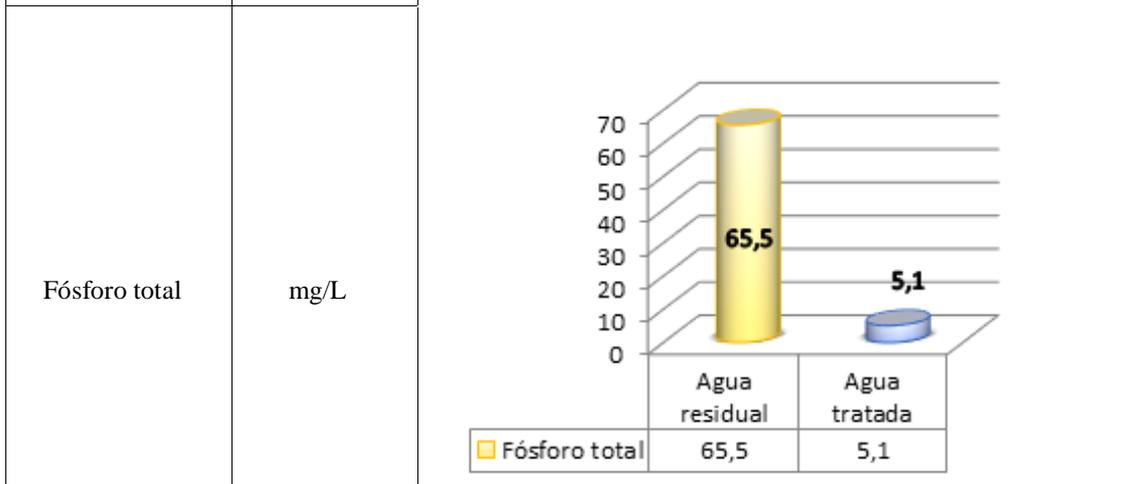
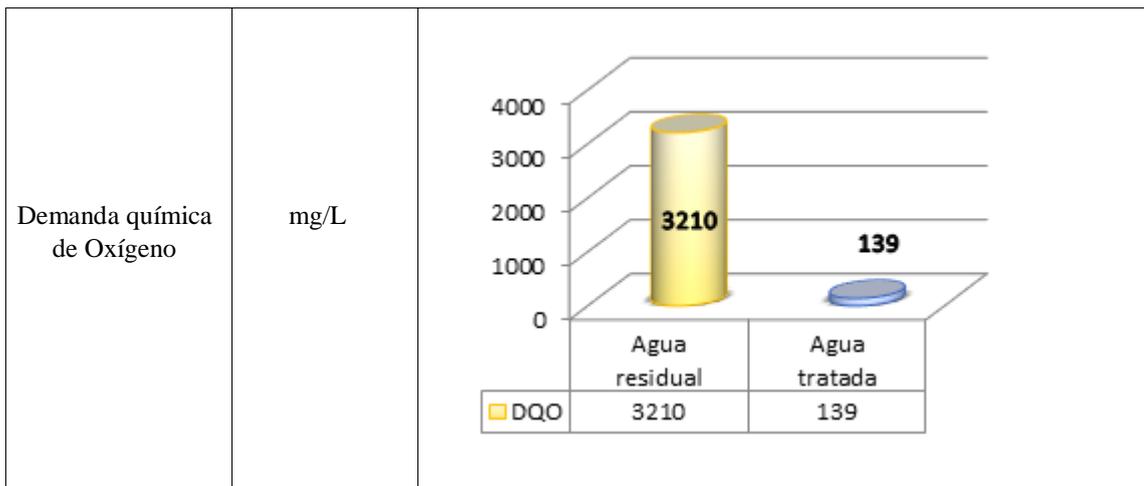
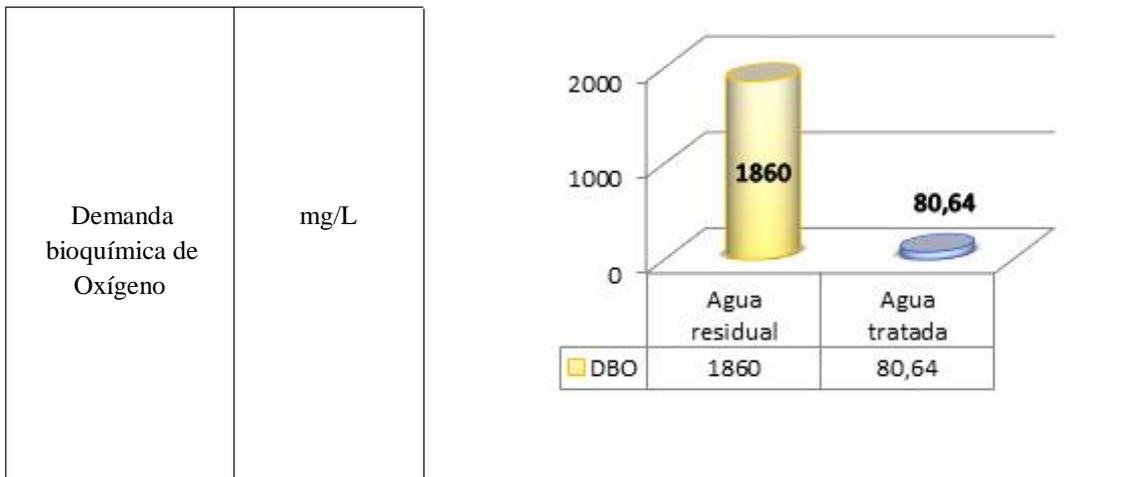
### 3.5. Propuesta

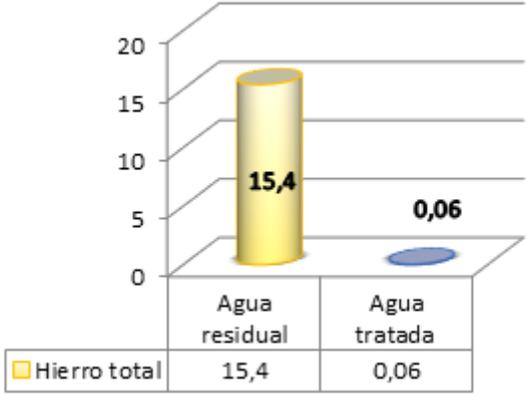
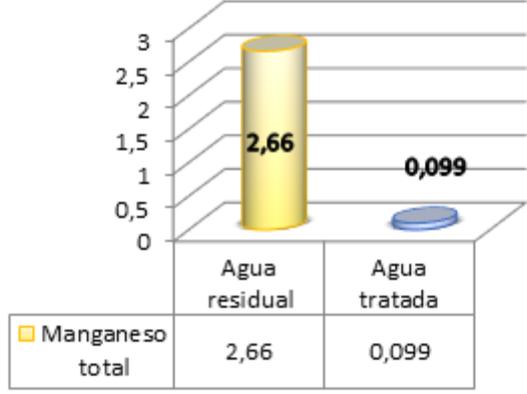
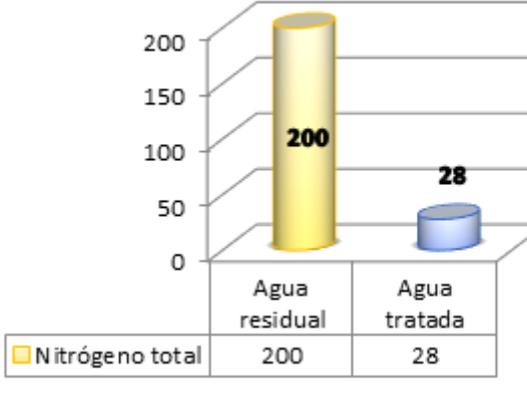
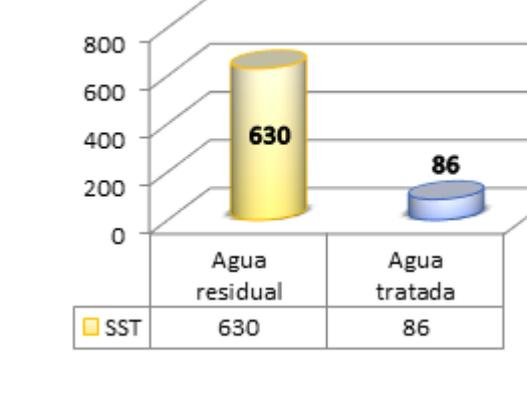


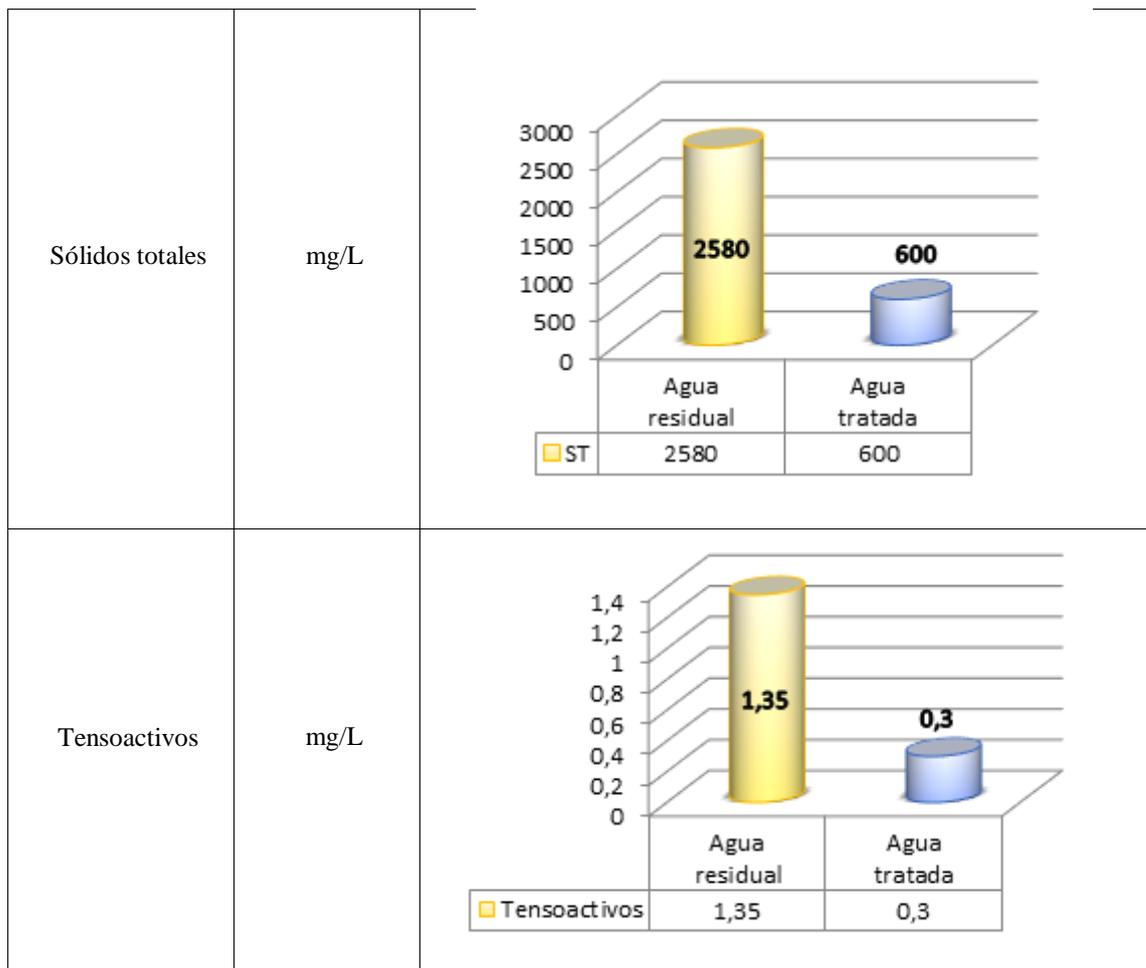
3.5.1. Rendimiento del proceso de depuración a nivel de laboratorio

Tabla 41-3 Rendimiento de depuración a nivel de laboratorio.

PARÁMETRO	UNIDAD	PORCENTAJE DE REMOCIÓN			
Turbiedad	mg/L	 <table border="1"> <tr> <td>Turbiedad</td> <td>690</td> <td>2,4</td> </tr> </table>	Turbiedad	690	2,4
Turbiedad	690	2,4			
Conductividad	m g/L	 <table border="1"> <tr> <td>Conductividad</td> <td>1230</td> <td>0,62</td> </tr> </table>	Conductividad	1230	0,62
Conductividad	1230	0,62			
Coliformes Fecales	UFC/100mL	 <table border="1"> <tr> <td>Coliformes fecales</td> <td>11000</td> <td>700</td> </tr> </table>	Coliformes fecales	11000	700
Coliformes fecales	11000	700			



Hierro total	mg/L	 <table border="1" data-bbox="730 568 1203 613"> <tr> <td></td> <td>Agua residual</td> <td>Agua tratada</td> </tr> <tr> <td>■ Hierro total</td> <td>15,4</td> <td>0,06</td> </tr> </table>		Agua residual	Agua tratada	■ Hierro total	15,4	0,06
	Agua residual	Agua tratada						
■ Hierro total	15,4	0,06						
Manganeso total	mg/L	 <table border="1" data-bbox="730 1014 1203 1095"> <tr> <td></td> <td>Agua residual</td> <td>Agua tratada</td> </tr> <tr> <td>■ Manganeso total</td> <td>2,66</td> <td>0,099</td> </tr> </table>		Agua residual	Agua tratada	■ Manganeso total	2,66	0,099
	Agua residual	Agua tratada						
■ Manganeso total	2,66	0,099						
Nitrógeno total Kjendal	mg/L	 <table border="1" data-bbox="730 1518 1203 1576"> <tr> <td></td> <td>Agua residual</td> <td>Agua tratada</td> </tr> <tr> <td>■ Nitrógeno total</td> <td>200</td> <td>28</td> </tr> </table>		Agua residual	Agua tratada	■ Nitrógeno total	200	28
	Agua residual	Agua tratada						
■ Nitrógeno total	200	28						
Sólidos suspendidos totales	mg/L	 <table border="1" data-bbox="730 1957 1203 2047"> <tr> <td></td> <td>Agua residual</td> <td>Agua tratada</td> </tr> <tr> <td>■ SST</td> <td>630</td> <td>86</td> </tr> </table>		Agua residual	Agua tratada	■ SST	630	86
	Agua residual	Agua tratada						
■ SST	630	86						



Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.5.2. Rendimiento del proceso de depuración a nivel de planta

Para calcular el rendimiento de depuración que se efectuará en la planta es necesario tomar en cuenta los parámetros que se encuentran fuera del límite permisible en la Norma Ambiental, los mismos que se encuentran en la (*Tabla 32.3*)

- El proceso de cribado remueve teóricamente alrededor del 5 al 15% de Sólidos suspendidos, para los demás parámetros la remoción es despreciable. (Romero, 2004)

*Reemplazando la Ecuación 87 se tiene:*

$$Se = \left( 630 \text{ mg/mL} * \frac{15}{100} \right) - 630 \text{ mg/mL}$$

$$Se = 535,3 \text{ mg/L}$$

**Tabla 42-3** Rendimiento de depuración de las rejillas.

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción Teórica	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Coliformes fecales	11000 UFC/100mL	-	11000 UFC/100mL
DBO <sub>5</sub>	1860 mg/L	-	1860 mg/L
DQO	3210 mg/L	-	3210 mg/L
Fósforo Total	65,5 mg/L	-	65,5 mg/L
Hierro Total	15,4 mg/L	-	15,4 mg/L
Manganeso Total	2,66 mg/L	-	2,66 mg/L
Nitrógeno Total Kjendal	200 mg/L	-	200 mg/L
Sólidos suspendidos	630 mg/L	15%	535,3 mg/L
Tensoactivos	1,35 mg/L	-	1,35 mg/L

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

- El proceso de desarenado remueve teóricamente alrededor del 40 al 60% de Sólidos suspendidos del 30 al 50% de DQO y DBO<sub>5</sub>, para los demás parámetros la remoción es despreciable. (Romero, 2004)

*Reemplazando la Ecuación 87 se tiene:*

$$Se = \left( 535,3 \text{ mg/mL} * \frac{60}{100} \right) - 535,3 \text{ mg/mL}$$

$$Se = 214,32 \text{ mg/L}$$

**Tabla 43-3** Rendimiento de depuración del desarenador.

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción Teórica	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Coliformes fecales	11000 UFC/100mL	-	11000 UFC/100mL
DBO <sub>5</sub>	1860 mg/L	40%	1116 mg/L
DQO	3210 mg/L	40%	1926 mg/L
Fósforo Total	65,5 mg/L	-	65,5 mg/L
Hierro Total	15,4 mg/L	-	15,4 mg/L
Manganeso Total	2,66 mg/L	-	2,66 mg/L
Nitrógeno Total Kjendal	200 mg/L	-	200 mg/L
Sólidos suspendidos	535,3 mg/L	60%	214,32 mg/L
Tensoactivos	1,35 mg/L	-	1,35 mg/L

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

- La rápida tipo escalera airea el agua por lo que ayuda en la oxidación de los metales y materia orgánica removiendo teóricamente alrededor del 30 al 50% de DQO y DBO<sub>5</sub>, del 50 al 70% de Hierro, Fósforo y Manganeso y Nitrógeno, para los demás parámetros la remoción es despreciable. (Romero, 2004)

*Reemplazando la Ecuación 87 se tiene:*

$$Se = \left( 1116 \text{ mg/mL} * \frac{30}{100} \right) - 1116 \text{ mg/mL}$$

$$Se = 781,2 \text{ mg/L}$$

**Tabla 44-3** Rendimiento de depuración de la rápida tipo escalera.

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción Teórica	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Coliformes fecales	11000 UFC/100mL	-	11000 UFC/100mL
DBO <sub>5</sub>	1116 mg/L	30%	781,2 mg/L
DQO	1926 mg/L	30%	1348 mg/L
Fósforo Total	65,5 mg/L	50%	32,75 mg/L
Hierro Total	15,4 mg/L	70%	4,62 mg/L
Manganeso Total	2,66 mg/L	70%	0,79 mg/L
Nitrógeno Total Kjendal	200 mg/L	30%	140 mg/L
Sólidos suspendidos	535,3 mg/L	-	214,32 mg/L
Tensoactivos	1,35 mg/L	-	1,35 mg/L

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

- Una vez dosificados los químicos en la rápida tipo escalera los mismos se mezclarán por completo en el canal de floculación el mismo que removerá teóricamente alrededor del 40 al 60% de DQO y DBO<sub>5</sub>, Hierro, Fósforo, Manganeso y Nitrógeno y Tensoactivos del 30 al 40% para los demás parámetros la remoción es despreciable. (Romero, 2004)

*Reemplazando la Ecuación 87 se tiene:*

$$Se = \left( 781,2 \text{ mg/mL} * \frac{60}{100} \right) - 781,2 \text{ mg/mL}$$

$$Se = 312,48 \text{ mg/L}$$

**Tabla 45-3** Rendimiento de depuración del canal de floculación.

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción Teórica	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Coliformes fecales	11000 UFC/100mL	-	11000 UFC/100mL
DBO <sub>5</sub>	781,2 mg/L	60%	312,48 mg/L
DQO	1348 mg/L	60%	539,2 mg/L
Fósforo Total	32,75 mg/L	50%	16,3 mg/L
Hierro Total	4,62 mg/L	50%	2,31 mg/L
Manganeso Total	0,79 mg/L	50%	0,39 mg/L
Nitrógeno Total Kjendal	140 mg/L	40%	84 mg/L
Sólidos suspendidos	214,32 mg/L	70%	64,3 mg/L
Tensoactivos	1,35 mg/L	40%	0,81 mg/L

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

- En el sedimentador de alta tasa decantarán los flocs formados y teóricamente removerá alrededor del 60 al 80% de DQO y DBO<sub>5</sub>, Hierro, Fósforo, Manganeseo, Nitrógeno, Tensoactivos y Sólidos suspendidos, para Coliformes fecales la remoción es despreciable. (Romero, 2004)

*Reemplazando la Ecuación 87 se tiene:*

$$Se = \left( 312,48 \text{ mg/mL} * \frac{74}{100} \right) - 312,48 \text{ mg/mL}$$

$$Se = 81,24 \text{ mg/L}$$

**Tabla 46-3** Rendimiento de depuración del sedimentador de alta tasa.

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción Teórica	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Coliformes fecales	11000 UFC/100mL	-	11000 UFC/100mL
DBO <sub>5</sub>	312,48 mg/L	74%	81,2 mg/L
DQO	539, 2 mg/L	74%	140,19 mg/L
Fósforo Total	16,3 mg/L	80%	5,1 mg/L
Hierro Total	2,31 mg/L	80%	0,46 mg/L
Manganeseo Total	0,39 mg/L	75%	0,09 mg/L
Nitrógeno Total Kjendal	84 mg/L	65%	28 mg/L
Sólidos suspendidos	64,3 mg/L	83%	12 mg/L
Tensoactivos	0,81 mg/L	65%	0,3 mg/L

**Realizado por:** Caminos Joselyn, 2018.

- Debido a que los Coliformes fecales no se han removido durante todo el tratamiento es necesario dosificar Hipoclorito de Sodio, el mismo que a su vez es un oxidante fuerte culminando con el tratamiento del agua, removerá teóricamente el 93% de patógenos y 85% de Hierro Total (Romero, 2004)

*Reemplazando la Ecuación 87 se tiene:*

$$Se = \left( 11000 \text{ UFC/100mL} * \frac{93}{100} \right) - 11000 \text{ UFC/100mL}$$

$$Se = 700 \text{ mg/L}$$

**Tabla 47-3** Rendimiento de depuración del tanque de cloración.

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción Teórica	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Coliformes fecales	11000 UFC/100mL	93%	700 UFC/100mL
DBO <sub>5</sub>	312,48 mg/L	-	81,2 mg/L
DQO	539, 2 mg/L	-	140,19 mg/L
Fósforo Total	16,3 mg/L		5,1 mg/L
Hierro Total	0,46 mg/L	85%	0,06 mg/L
Manganeseo Total	0,39 mg/L	-	0,09 mg/L

Nitrógeno Kjendal	Total	84 mg/L	-	28 mg/L
Sólidos suspendidos		64,3 mg/L	-	12 mg/L
Tensoactivos		0,81 mg/L	-	0,3 mg/L

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

De esta manera el rendimiento total de la planta de tratamiento es del 86%.

### 3.5.3. Verificación del cumplimiento con la Normativa Ambiental

A continuación se presenta en la siguiente tabla de valores una comparación de la concentración inicial obtenida a través de los análisis de laboratorio de los parámetros anteriores, con la concentración final obtenida en la Planta de tratamiento de agua residual propuesta.

**Tabla 48-3** Resultados del agua tratada.

Parámetro	Unidad	Lim. Max.	Conc. inicial	Conc. final	Cumplimiento
Coliformes fecales	UFC/100mL	2000	11000	700	Si cumple
Demanda bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	1860	80,54	Si cumple
Demanda química de Oxígeno	mg/L	200	3210	139	Si cumple
Fósforo total	mg/L	10,0	65,6	5,1	Si cumple
Hierro total	mg/L	10,0	15,4	0,06	Si cumple
Manganeso total	mg/L	2,0	2,66	0,099	Si cumple
Nitrógeno total Kjendahl	mg/L	50,0	200	28	Si cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/L	130	630	12	Si cumple
Sólidos totales	mg/L	1600	2580	725	Si cumple
Tensoactivos	mg/L	0,5	1,35	0,3	Si cumple

FUENTE: (MAE, 2015)

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

## 3.6. Presupuesto

### 3.6.1. Presupuesto de la planta de tratamiento

**Tabla 49-3** Presupuesto de obra

PRESUPUESTO DE OBRA						
PROYECTO	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS					
UBICACIÓN	VINCHOA - CANTON GUARANDA - PROVINCIA DE BOLIVAR					
PROYECTISTA	JOSELYN CAMINOS					
FECHA	21/03/2018					
ITEM	DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	
	RUBRO	ITEM			UNITARIO	TOTAL
I	CANAL DE INGRESO					
		Excavación manual	M3	1,91	7,94	15,17

		Encofrado lateral	M2	4,50	13,81	<b>62,15</b>
		Hormigón simple	M3	1,35	144,76	<b>195,43</b>
		Desalojo de escombros	M3	1,91	12,62	<b>24,10</b>
		Enlucido	M2	4,50	10,01	<b>45,05</b>
<b>II</b>	<b>DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL</b>					
		Excavación manual	M3	141,67	7,94	<b>1124,86</b>
		Desalojo de escombros	M3	141,67	12,62	<b>1787,88</b>
		Encofrado de muros	M2	119,44	41,55	<b>4962,73</b>
		Hormigón simple	M3	23,49	144,76	<b>3400,41</b>
		Enlucido	M2	132,94	10,01	<b>1330,73</b>
<b>III</b>	<b>RAPIDA TIPO ESCALERA</b>					
		Excavación manual	M3	0,81	7,94	<b>6,43</b>
		Desalojo de escombros	M3	0,81	12,62	<b>10,22</b>
		Encofrado lateral	M2	1,80	13,81	<b>24,86</b>
		Hormigón simple	M3	0,70	144,76	<b>101,33</b>
		Enlucido	M2	3,51	10,01	<b>35,14</b>
<b>IV</b>	<b>CANAL DE FLOCULACIÓN</b>					
		Excavación manual	M3	14,19	7,94	<b>112,67</b>
		Desalojo de escombros	M3	14,19	12,62	<b>179,08</b>
		Encofrado lateral	M2	1,62	13,80	<b>22,36</b>
		Hormigón simple	M3	3,94	144,76	<b>570,35</b>
		Enlucido	M2	19,71	10,01	<b>197,30</b>
<b>V</b>	<b>SEDIMENTADOR DE ALTA TASA</b>					
		Excavación manual	M3	25,34	7,94	<b>201,20</b>
		Desalojo de escombros	M3	25,34	12,62	<b>319,79</b>
		Encofrado de muros	M2	24,00	41,55	<b>997,20</b>
		Hormigón simple	M3	7,23	144,76	<b>1046,61</b>
		Enlucido	M2	24,00	10,01	<b>240,24</b>
<b>VI</b>	<b>CANAL DE SALIDA Y TUBERÍA PVC Ø 200 mm</b>					
		Excavación manual	M3	0,24	7,94	<b>1,91</b>
		Tubería PVC Ø 200 mm	M	2,70	24,34	<b>65,72</b>
<b>VII</b>	<b>TANQUE DE CLORACIÓN</b>					
		Excavación manual	M3	16,08	7,94	<b>127,68</b>
		Desalojo de escombros	M3	16,08	12,62	<b>202,93</b>
		Encofrado circular	M2	12,21	58,60	<b>715,51</b>
		Hormigón simple	M3	4,70	144,76	<b>680,37</b>
		Enlucido	M2	23,51	10,01	<b>235,34</b>
<b>VIII</b>	<b>LECHO DE SECADO</b>					
		Excavación manual	M3	103,22	7,94	<b>819,57</b>
		Desalojo de escombros	M3	103,22	12,62	<b>1302,64</b>

		Encofrado de muros	M2	76,00	41,55	<b>3157,80</b>
		Hormigón simple	M3	24,58	144,76	<b>3558,20</b>
		Enlucido	M2	122,92	10,01	<b>1230,43</b>
		Grava para filtros	M3	11,70	16,81	<b>196,68</b>
<b>IX</b>	<b>VÁLVULAS - ACCESORIOS Y TUBERÍA</b>					
		Tubería PVC Ø 75 mm	M	29,60	5,21	<b>154,22</b>
		Válvula de compuerta r.w ø 3"	U	3,00	433,06	<b>1299,18</b>
		Válvula de compuerta r.w ø 4"	U	1,00	820,24	<b>820,24</b>
		Bomba centrífuga de lodos	U	1,00	790,90	<b>790,90</b>
		Rejilla	U	1,00	44,24	<b>44,24</b>
		Planta floculante	U	1,00	2268,36	<b>2268,36</b>
		Dosificador de cloro	U	1,00	401,09	<b>401,09</b>
<b>TOTAL</b>						<b>35086,25</b>
<b>SON:</b>	<b>TREINTA Y CINCO MIL OCHENTA Y SEIS DOLARES 25/100</b>					

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.6.2. Presupuesto de productos químicos

**Tabla 50.3** Presupuesto de productos químicos

<b>QUÍMICOS</b>	<b>VALOR (día)</b>	<b>VALOR (año)</b>
PAC- P25A	15,55 \$/día	5675,75 \$/mes
POLY-A	0,59 \$/día	215,35 \$/mes
Hipoclorito de Sodio	0,021 \$/día	7,67 \$/mes
<b>SUBTOTAL</b>		<b>5898,77</b>
<b>IMPREVISTOS (10%)</b>		<b>589,877</b>
<b>TOTAL</b>		<b>6487,87 \$/año</b>

Realizado por: Caminos Joselyn, 2018.

### 3.6.3. Análisis económico

El indicador denominado aporte, sirve para conocer como el proyecto aporta al erario nacional, a la riqueza nacional, o al sector en términos porcentuales.

#### **Aporte del proyecto en relación al PIB**

$$\text{Aporte} = \text{Valor del proyecto} * 100 / \text{PIB}$$

$$\text{Aporte} = 35086 * 100 / 104021000000$$

$$\text{Aporte} = 0,000034\%$$

- Comparación de escenarios de beneficios de la salud.

Las principales enfermedades asociadas a la población en contacto con las aguas residuales, según el Ministerio de Salud Pública (MSP, 2018); así como el costo promedio del tratamiento de cada enfermedad, se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 51.3** Estimación de casos anuales y costos de enfermedades asociadas, sin proyecto.

Enfermedad	Población Proyectada año 2017	Tasa de enfermedad (%)	No. Casos	Costo Unitario promedio de tratamiento (USD)	Costo total (USD)
Enfermedades diarreicas	7392	4,369	322,96	15	4844,35
Shigelosis	7392	12,84	949,13	30	28473,98
Amebiasis	7392	59,4	4390,85	25	109771,20
<b>TOTAL</b>					147820,41

**Fuente:** Ministerio de salud Pública, 2017.

**Realizado por:** Caminos Joselyn, 2108.

**Tabla 52.3** Estimación de casos anuales y costos de enfermedades asociadas, con proyecto

Enfermedad	Población Proyectada año 2017	Tasa de enfermedad (%)	No. Casos	Costo Unitario promedio de tratamiento (USD)	Costo total (USD)
Enfermedades diarreicas	7392	4,369	322,96	15	4844,35
Shigelosis	7392	6,42	474,57	30	14236,99
Amebiasis	7392	29,7	2195,42	25	54885,60
<b>TOTAL</b>					78697,82

**Fuente:** Ministerio de salud Pública, 2017.

**Realizado por:** Caminos Joselyn, 2108.

El beneficio de la salud se obtiene de la diferencia del costo total de las enfermedades asociadas sin proyecto en relación a la reducción de las mismas con proyecto.

$$\text{Beneficio} = \$ 147820,41 - \$ 78697,82$$

$$\text{Beneficio} = \$ 69122,59$$

### 3.7. Análisis y discusión de resultados

Mediante la caracterización física, química y microbiológica del agua residual inicial realizada en el laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias con la utilización de técnicas y métodos APHA se encontraron los parámetros que no cumplen con el Acuerdo Ministerial N°. 097-A. Tabla 9.

LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE de la Reforma del TULSMA, los mismos que fueron los siguientes: Coliformes fecales (11000 UFC/100ml), DBO<sub>5</sub> (1860 mg/L), DQO (3210 mg/L), Fósforo total (65,5 mg/L), Hierro total (15,4 mg/L), Manganeso (2,66 mg/L), Nitrógeno total (200 mg/L), Sólidos suspendidos totales (630 mg/L), Sólidos totales (2580 mg/L) y tensoactivos (1,35 mg/L); una vez determinados los valores de los parámetros que se encontraban fuera de Norma después de la caracterización se procedió a relacionar los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO con el fin de determinar si el tratamiento a efectuarse debe ser físico- químico o biológico, dando un resultado de 1,73 el cual se encuentra en el rango donde la materia es biodegradable y permite elegir cualquiera de los 2 tratamientos antes mencionados, llegando a la conclusión de que el agua para tratarse necesita un tratamiento físico químico por los buenos resultados obtenidos a nivel de laboratorio, por lo tanto se utilizaron diferentes soluciones de coagulantes y floculantes como: Sulfato de Aluminio, Policloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Cal y Polielectrolito, los mismos que fueron dosificados a diferentes concentraciones hasta llegar a obtener que: 2mL/L de Policloruro de Aluminio, 0,25ml/L de Polielectrolito y 6,3 mL/L de Hipoclorito de Sodio aportan con la estabilidad del pH, disminución de la turbiedad y eliminación de patógenos presentes; una vez finalizada la tratabilidad para demostrar que el método elegido es el más aplicativo se realizó la caracterización química del agua tratada obteniendo los siguientes valores que corresponden a los porcentajes de remoción: Turbiedad 99,65%, Conductividad 99,95%, Coliformes fecales 93,64%, DBO 95,67%, DQO 95,66%, Fósforo total 92,21%, Hierro total 99,61%, Manganeso total 96,28%, Nitrógeno total Kjendal 86%, Sólidos suspendidos totales 86,34%, Sólidos totales 76,74%, Tensoactivos 77,7%; cumpliendo con la Norma vigente; después del análisis final se procedió con el diseño de la planta de tratamiento de agua residuales con la aplicación de cálculos de ingeniería, el mismo que estará conformado por: canal de entrada, rejillas, desarenador de flujo horizontal, rápida tipo escalera, sedimentador de alta tasa, tanque de cloración y lechos de secado, se validó el diseño con un porcentaje de cumplimiento de remoción de contaminantes del 86% en planta y también se ha propuesto que los lodos provenientes del desarenador y sedimentador serán destinados a 2 lechos de secado y una vez deshidratados se deben trasladar a un relleno sanitario como disposición final.

Finalmente el proyecto está valorado en \$35086,25 y es totalmente factible ya que la Municipalidad cuenta con el presupuesto y el espacio físico para la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, además mediante evaluación social se determinó que tendrá un aporte en relación al PIB del 0,000060% y según el MSP (2018) la población tiene gastos por salud de 147820,41\$/año por enfermedades epidemiológicas por el contacto con aguas residuales realizando un reajuste con la implementación de la PTAR se obtiene un valor de \$78697,82 en gastos por salud obteniendo un beneficio de \$69122,59/año, por lo que la incorporación de un sistema de saneamiento muestra un valor positivo obteniendo beneficios tangibles, y sobre todo el bienestar de los humanos y protección al medio ambiente.



## CONCLUSIONES

- Mediante caracterización del agua residual se identificó que no cumplen con la Norma vigente los siguientes parámetros: Coliformes fecales (11000 UFC/100mL), Demanda bioquímica de Oxígeno (1860 mg/L), Demanda química de Oxígeno (3210 mg/L), Fósforo total (65,5 mg/L), Hierro total (15,4 mg/L), Manganeso total (2,66 mg/L), Nitrógeno total Kjeldahl (200 mg/L), Sólidos suspendidos totales (630 mg/L), Sólidos totales (2580 mg/L) y Tensoactivos (1,35 mg/L)
- El agua cumple con los límites permisibles para su descarga mediante tratamiento físico – químico con la adición de: Policloruro de Aluminio (PAC-P25A) 2 mL/L, Polielectrolito (POLY-A) 0,25mL/L y 6,3 mL/L de Hipoclorito de Sodio.
- Las variables de diseño identificadas son: caudal (9,79 L/s), población futura (1104 habitantes) para una vida útil de 30 años, el proceso de depuración de la planta de tratamiento está compuesto por: canal de llegada con rejillas, 2 desarenadores de flujo horizontal, rápida tipo escalera, sedimentador de alta tasa, tanque de cloración y 2 lechos de secado.
- La eficiencia de depuración de la planta de tratamiento diseñada permite remover alrededor de: Coliformes fecales 93,64%, DBO 95,67%, DQO 95,66%, Fósforo total 92,21%, Hierro total 99,61%, Manganeso total 96,28%, Nitrógeno total Kjendal 86%, Sólidos suspendidos totales 86,34%, Sólidos totales 76,74%, Tensoactivos 77,7%.

## RECOMENDACIONES

- Proporcionar a los operadores el equipo necesario para manejo de químicos y medidas de seguridad debido al riesgo para la salud que puede ocasionar este trabajo.
- Con frecuencia caracterizar el agua que ingresa y sale de la planta de tratamiento para verificar el funcionamiento de la misma.
- Para cualquier modificación en el tratamiento se sugiere realizar ensayos de laboratorio o estudios en planta piloto y en el caso que no sea posible, se aconseja adoptar criterios de diseño conservadores
- Las rejillas deben colocarse aguas arriba de las estaciones de bombeo o de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse por el material grueso que trae el agua residual sin tratar.
- Al seleccionar rejillas manuales su limpieza se debe realizar cuando presente el 50% de colmatación para evitar la obstrucción del paso del agua hacia el sistema de tratamiento.
- Los lodos generados en la planta se deshidratarán en 2 lechos de secado y posteriormente serán trasladados a un relleno sanitario.
- El proyecto es factible ya que la Municipalidad cuenta con el espacio y el presupuesto para la incorporación de sistema de tratamiento que minimice los impactos ambientales y reduzca los costos por salud de los moradores del sector.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Allende, A.** *Manual de tratamiento de aguas residuales*. Segunda . La Habana : Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, 1994.

**APHA.** *Standard Methods for the examination of water and waste water*. 2005.

**CEPIS.** Guía para el diseño de tanques septicos, lechos de secado y lagunas de estabilización. [En línea] 2005. [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053\\_Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lag/Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lagunas\\_estabilizaci%C3%B3n.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf).

**Cisterna&Peña.** *Manual para el tratamiento de aguas residuales* . 2015..

**Crites, Tchobanoglous.** *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Santafe de Bogota, Colombia : McGraw-Hill Interamericana, S.A, 2000.

**Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología . INAMHI. Instituto Nacional de Metereología e Hidrología . 2017.**

**Ecuador. Ministerio del Ambiente. MAE.** *Límites permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce*. Quito : s.n., 2015.

**Ferrer, Jose y Seco, Aurora.** *Tratamientos físicos y químicos de aguas residuales*. Valencia : Universidad Tecnica de Valencia, 2005.

**Frank, Cabanilla.** Medición de fluido en canales abiertos con vertedero. [En línea] 10 de Septiembre de 2015. [Citado el: 11 de Julio de 2017.] <http://documents.mx/documents/medicion-de-fluidos-en-canales-abiertos-convertederos-corregidodocx.html>.

**Krochin, Sviatoslav.** *Diseño hidráulico*. s.l. : escuela Politecnica Nacional, 1986

**Metcalf & Eddy.** *Ingenieria de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilizacion*. España : McGraw - Hill, 1995.

**NTE-INEN. 2013.** Agua. Calida del agua. Muestreo, manejo y conservación de muestras. [En línea] 2013. <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2169-1.pdf>.

**NTE-INEN-2200. 2017.** Norma técnica Ecuatoiriana para agua purificada. [En línea] 2017. [Citado el: Jueves de Enero de 2018.]  
[http://apps.normalizacion.gob.ec/filesserver/2017/nte\\_inen\\_2200-2.pdf](http://apps.normalizacion.gob.ec/filesserver/2017/nte_inen_2200-2.pdf).

**RAS, Norma. 2000.** Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento: Tratamiento de Aguas. [En línea] 2000. [Citado el: 12 de Julio de 2017.]  
[http://cra.gov.co/apcafiles/37383832666265633962316339623934/7.\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://cra.gov.co/apcafiles/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf).

**ROJAS, R.** *Sistema de tratamiento de aguas residuales: Gestion integral de tratamiento de aguas residuales.* Lima-Perú : CEPIS/OPS-OMS, 2002.

**Ecuador. Secretaria Nacional del Agua. Senagua.** Norma de diseño para para sistemas de abastecimiento de agua potable, dispisición de excretas y residuos líquidos en el área rural . *Senagua.* [En línea] 2016. [Citado el: Miercoles de Enero de 2018.]  
<file:///E:/%C2%A0/Senagua.pdf>.

**TULSMA.** Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce. *TULSMA.* Quito, Pichincha, ecuador : s.n., Miercoles de Noviembre de 2015.

**VAZQUEZ & VALDEZ** *Ingeniería de los sistemas de Tratamiento y Disposición de aguas residuales* . Segunda. México D.F : Fundación ICA, 2003.

## ANEXOS

### ANEXO A: PLAN DE MUESTREO



a.



b.



c.



d.

<p><b>NOTAS:</b></p> <p>Materiales</p> <p>a) Descarga de la parroquia</p> <p>b) Medición de caudal</p> <p>c) Recolección de muestra</p> <p>d) Muestra compuesta</p>	<p style="text-align: center;"><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: 1px solid orange; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></td> <td style="padding: 2px;">CERTIFICADO</td> <td style="border: 1px solid orange; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></td> <td style="padding: 2px;">POR ELIMINAR</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid orange; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></td> <td style="padding: 2px;">APROBADO</td> <td style="border: 1px solid orange; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></td> <td style="padding: 2px;">POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid orange; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></td> <td style="padding: 2px;">POR CALIFICAR</td> <td style="background-color: black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></td> <td style="padding: 2px;">POR INFORMACION</td> </tr> </table>		CERTIFICADO		POR ELIMINAR		APROBADO		POR APROBAR		POR CALIFICAR		POR INFORMACION	<p><b>ESPOCH</b></p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p>  <p>CAMINOS JOSELYN</p>	<p style="text-align: center;"><b>PLAN DE MUESTREO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">LÁMINA</th> <th style="width: 33%;">ESCALA</th> <th style="width: 33%;">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1:1</td> <td style="text-align: center;">20/02/0218</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	20/02/0218
	CERTIFICADO		POR ELIMINAR																		
	APROBADO		POR APROBAR																		
	POR CALIFICAR		POR INFORMACION																		
LÁMINA	ESCALA	FECHA																			
1	1:1	20/02/0218																			

## ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

e.



f.



h.



g.



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  CAMINOS JOSELYN	PLAN DE MUESTREO																							
a) Sólidos sedimentables b) Aceites y grasas c) DBO d) Sólidos totales	<table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>POR ELIMINAR</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td></td> <td>POR CALIFICAR</td> <td></td> <td>POR INFORMACION</td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/>	POR ELIMINAR	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	APROBADO	<input checked="" type="checkbox"/>	POR APROBAR		POR CALIFICAR		POR INFORMACION	<table border="1"> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1:1</td> <td>20/02/2018</td> </tr> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	2	1:1	20/02/2018	
<input type="checkbox"/>	POR ELIMINAR	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO																							
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>																								
<input type="checkbox"/>	APROBADO	<input checked="" type="checkbox"/>	POR APROBAR																							
	POR CALIFICAR		POR INFORMACION																							
LÁMINA	ESCALA	FECHA																								
2	1:1	20/02/2018																								

## ANEXO C: TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL

i.



j.



k.



l.



**NOTAS:**

- e) Químicos utilizados
- f) Test de jarras
- g) Remociones a diferentes concentraciones
- h) Lodos secados

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA**

- CERTIFICADO
- POR ELIMINAR
- APROBADO
- POR APROBAR
- POR CALIFICAR
- POR INFORMACION

**ESPOCH**  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

CAMINOS JOSELYN

**PLAN DE MUESTREO**

LÁMINA	ESCALA	FECHA
3	1:1	20/02/2018

## ANEXO D: LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máx. permisible
Aceites y Grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/mL	30,0
Alkil mercurio		mg/mL	No detectable
Aluminio	Al	mg/mL	5,0
Arsénico total	As	mg/mL	0,1
Bario	Ba	mg/mL	2,0
Boto total	B	mg/mL	2,0
Cadmio	Cd	mg/mL	0,02
Cianuro total	CN Zn	mg/mL	0,1
Cinc		mg/mL	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/mL	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/mL	0,1
Cloruros	Cl	mg/mL	1000
Cobre	Cu	mg/mL	1,0
Cobalto	Co	mg/mL	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100mL	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/mL	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+3</sup>	mg/mL	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/mL	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/mL	200
Estaño	Sn	mg/mL	5,0
Fluoruros	F	mg/mL	5,0
Fósforo total	P	mg/mL	10,0
Hierro total	Fe	mg/mL	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/mL	20,0
Manganeso total	Mn	mg/mL	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/mL	0,005
Níquel	Ni	mg/mL	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/mL	30,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/mL	50,0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/mL	0,05
Plata	Ag	mg/mL	0,1
Plomo	Pb	mg/mL	0,2
Potencial Hidrógeno	pH		6 - 9
Selenio	Se	mg/mL	0,1
Sólidos Suspendidos totales	SST	mg/mL	130
Sólidos totales	ST	mg/mL	1600
Sulfatos	(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	mg/mL	1000
Sulfuros	S <sub>2</sub>	mg/mL	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/mL	0,5

## ANEXO E: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

### FACULTAD DE CIENCIAS - LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Joselyn Belén Caminos Alarcón

Fecha de Análisis: 5 de Octubre del 2017

Tipo de muestras: Aguas residuales domésticas TRATADA

Localidad: Parroquia Vinchoa - Cantón Guaranda

#### TRABAJO DE TESIS DE GRADO

#### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7,29
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-----	1 230,0
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	690
Salinidad		Potenciométrica	-----	0,6
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	3 210
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	1 860
N- Amoniacal	mg/L	4500-NO3 C	30,0	7,5
N- Orgánico total	mg/L	4500-NO3 C	50,0	200
Manganeso	mg/L	3500-Mn-D	2,0	2,66
Sulfatos	mg/L	4500 SO <sub>4</sub> -E	1000	330
Hierro	mg/L	3500-Fe-D	10,0	15,4
Fosforo	mg/L	4500- P-D	10,0	65,5
Cobre	mg/L	8506 HACH	1,0	0,2
Zinc	mg/L	3500-Zn-F	5,0	2,9
Cromo VI	mg/L	8023 HACH	0,5	< 0,1
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C	-----	600
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-F	-----	50
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	130	630
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1600	2580
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	30,0	14
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	micro filtración	2000	110 000

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



## ANEXO F: VALIDACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

### FACULTAD DE CIENCIAS - LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Joselyn Belén Caminos Alarcón

Fecha de Análisis: 9 de Noviembre del 2017

Tipo de muestras: Aguas residuales domésticas – Caracterización final.

Localidad: Parroquia Vinchoa - Cantón Guaranda

#### TRABAJO DE TESIS DE GRADO

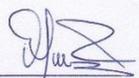
#### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7,18
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	2,4
Conductividad	µSiems/cm	2510-B	-----	600
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	139
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	80,54
N- Orgánico total	mg/L	4500-NO3 C	50,0	28
Manganeso	mg/L	3500-Mn-D	2,0	0,0099
Hierro	mg/L	3500-Fe-D	10,0	0,06
Fosforo	mg/L	4500- P-D	10,0	5,1
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C	-----	600
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-F	-----	50
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	130	86
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1600	756
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	30,0	14
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	micro filtración	2000	700

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



