



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

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA  
DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA EL  
ROSARIO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: CHRISTIAN VLADIMIR CÓRDOVA SÁNCHEZ**

**TUTORA: ING. RAFAELA VITERI**

RIOBAMBA-ECUADOR

2018

© 2018. **Christian Vladimir Córdova Sánchez**

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 de Trabajo de titulación certifica que: el Trabajo de titulación Tipo: Proyecto técnico: **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA EL ROSARIO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”** de responsabilidad del señor Christian Vladimir Córdova Sánchez ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Rafaela Viteri

.....

.....

**DIRECTORA DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Camilo Haro

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Yo, Christian Vladimir Córdova Sánchez, 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, 20 de Marzo del 2018

---

**Christian Vladimir Córdova Sánchez**

**180431598-2**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico primeramente a mis padres Martha y Eduardo que fueron el pilar fundamental para la culminación de mi carrera inculcándome valores como esfuerzo, respeto, perseverancia y constancia además de su apoyo constante durante toda mi vida.

A mis hermanos David, Stefano y familia en general que día a día me brindaban el ánimo necesario y los valores morales para conllevar la responsabilidad de llevar mi vida adelante.

A mis amigos y amigas formados en la carrera de Ingeniería química.

## **AGRADECIMIENTO**

Extender un cordial y afectuoso agradecimiento a mis Padres y Familia en general por brindarnos el apoyo moral y económico para hacer realidad nuestro sueño de forjar una carrera profesional.

A nuestra querida Escuela Superior Politécnica de Chimborazo la cual nos abrió sus puertas para formarnos como profesionales con valores éticos y morales.

Al GAD Municipal del cantón Guano por abrir las puertas a este proyecto Técnico y de igual forma al Ing. Hernán Quinzo por la atención y la ayudada brindada durante el tiempo de desarrollo del proyecto.

A la Ing. Rafaela Viteri y al Ing. Camilo Haro que encaminaron el desarrollo del presente trabajo de titulación con su constante contribución y asesoría académica para la culminación de este proyecto.

A cada uno de los maestros que a lo largo de nuestra carrera académica nos supieron compartir sus valiosos conocimientos y que forjaron en nosotros personas responsables en busca de éxito.

A cada uno de mis amigos que a través del tiempo nos han brindado su apoyo y consejo incondicional

**Christian**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xiv
SUMMARY .....	xv

## CAPITULO I.

<b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Identificación del Problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto .....	1
1.3 Línea base del Proyecto .....	3
1.3.1 <i>Condiciones de la zona de investigación .....</i>	<i>3</i>
1.3.2 <i>Inspección y reconocimiento del lugar de investigación. ....</i>	<i>3</i>
1.3.3 <i>Situación poblacional de la parroquia El Rosario.....</i>	<i>4</i>
1.4 Beneficiarios directos e indirectos .....	5
1.4.1 <i>Directos.....</i>	<i>5</i>
1.4.2 <i>Indirectos.....</i>	<i>5</i>

## CAPITULO II

<b>2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>6</b>
2.1 Objetivo General.....	6
2.2 Objetivos Específicos .....	6

## CAPÍTULO III.

<b>3. ESTUDIO TÉCNICO .....</b>	<b>7</b>
3.1 Localización del proyecto .....	7
3.1.1 <i>Localización Geográfica .....</i>	<i>7</i>
3.1.2 <i>Clima de la Zona .....</i>	<i>8</i>
3.1.3 <i>Condiciones geográficas de la zona.....</i>	<i>8</i>
3.1.4 <i>Hidrología.....</i>	<i>9</i>
3.2 Ingeniería del proyecto .....	10
3.2.1 <i>Terminología.....</i>	<i>10</i>

3.2.1.1	<i>Aguas residuales</i> .....	10
3.2.1.2	<i>Clasificación del agua residual.</i> .....	10
3.2.1.3	<i>Composición</i> .....	11
3.2.1.4	<i>Parámetros de aguas residuales</i> .....	11
3.2.1.5	<i>Contaminación orgánica en el agua Residual</i> .....	13
3.2.1.6	<i>Coliformes</i> .....	13
3.2.1.7	<i>pH</i> .....	13
3.2.1.8	<i>Turbidez.</i> .....	14
3.2.1.9	<i>Color.</i> .....	14
3.2.1.10	<i>Sólidos totales.</i> .....	14
3.2.1.11	<i>Conductividad.</i> .....	14
3.2.1.12	<i>Nitrógeno total.</i> .....	14
3.2.1.13	<i>Fósforo total</i> .....	15
3.2.1.14	<i>Sulfatos</i> .....	15
3.2.1.15	<i>Tratamientos de Agua residuales</i> .....	15
<b>3.2.2</b>	<b><i>Métodos y técnicas</i></b> .....	<b>16</b>
3.2.2.1	<i>Métodos</i> .....	16
3.2.2.2	<i>Técnicas y Normas</i> .....	18
<b>3.2.3</b>	<b><i>Método de muestreo para la caracterización de aguas residuales provenientes de la parroquia El Rosario</i></b> .....	<b>19</b>
<b>3.2.4</b>	<b><i>Determinación de caudal.</i></b> .....	<b>19</b>
<b>3.2.5</b>	<b><i>Caracterización física, química y microbiológica del agua residual</i></b> .....	<b>21</b>
3.2.5.1	<i>Parámetros caracterizados</i> .....	21
<b>3.2.6</b>	<b><i>Parámetros de tratabilidad</i></b> .....	<b>22</b>
3.2.6.1	<i>Índice de Biodegradabilidad</i> .....	22
<b>3.2.7</b>	<b><i>Pruebas de tratabilidad</i></b> .....	<b>24</b>
3.2.7.1	<i>Simulación de un desarenador aireado</i> .....	24
3.2.7.2	<i>Simulación del proceso de coagulación-floculación (Test de jarras).</i> .....	25
3.2.7.3	<i>Simulación de un proceso de desinfección. (Cloración)</i> .....	28
3.2.7.4	<i>Resultados de la tratabilidad</i> .....	29
<b>3.2.8</b>	<b><i>Determinación de las variables de diseño de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales</i></b> .....	<b>30</b>
3.2.8.1	<i>Determinación de la población futura</i> .....	30
3.2.8.2	<i>Determinación de caudales</i> .....	32
3.2.8.3	<i>Cribado</i> .....	35
3.2.8.4	<i>Cálculo del canal de entrada para la planta de tratamiento</i> .....	42
3.2.8.5	<i>Dimensionamiento de un Vertedero rectangular</i> .....	45



3.2.8.6	<i>Dimensionamiento del Desarenador</i> .....	49
3.2.8.7	<i>Canal Parshall</i> .....	58
3.2.8.8	<i>Floculador hidráulico horizontal</i> .....	69
3.2.8.9	<i>Sedimentador</i> .....	81
3.2.8.10	<i>Dimensionamiento del tanque de desinfección</i> .....	89
3.2.8.11	<i>Dimensionamiento del Lecho de secado</i> .....	93
3.2.8.12	<i>Resultados</i> .....	99
<b>3.3</b>	<b>Proceso de producción</b> .....	<b>104</b>
<b>3.4</b>	<b>Requerimientos de tecnología</b> .....	<b>105</b>
3.4.1	<i>Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición de caudal de aguas residuales</i> .....	105
3.4.2	<i>Requerimiento de equipos y métodos para caracterización físico- químico y microbiológico del agua residual</i> .....	106
<b>3.5</b>	<b>Análisis económico de la planta de tratamiento de agua residual</b> .....	<b>108</b>
<b>3.6</b>	<b>Porcentaje de remoción</b> .....	<b>114</b>
<b>3.7</b>	<b>Cronograma del proyecto</b> .....	<b>115</b>
<b>3.8</b>	<b>Análisis</b> .....	<b>116</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>119</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>121</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>pp.</b>
Figura 1-1 Punto de intersección.....	3
Figura 2-1 Alcantarilla sin la tapa correspondiente. ....	4
Figura 1-3 Ubicación geográfica de la parroquia El Rosario.....	8
Figura 2-3 Microcuenca del Río Guano y ubicación hidrográfica.....	9
Figura 3-3 Aireación de aguas residuales. ....	25
Figura 4-3 Cloración de agua residual tratada. ....	28
Figura 5-3 Accesorios para el proceso de cribado. ....	36
Figura 6-3 Rejillas de limpieza manual y limpieza mecánica.....	37
Figura 7-3 Formas de las rejillas.....	41
Figura 8-3 Vertedero de tipo rectangular.....	46
Figura 9-3 Desarenador aireado.....	50
Figura 10-3 Partes de un desarenador.....	50
Figura 11-3 Grafico canal Parshall.....	59
Figura 12-3 Floculadores Hidráulicos.....	70
Figura 13-3 Lecho de secado de lodos.....	93

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pp.</b>
<b>Gráfico 1-3:</b> Diagrama del proceso.....	104
<b>Gráfico 2-3:</b> Cronograma del proyecto .....	115

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3	Población de urbanizaciones en la parroquia El Rosario.....	4
Tabla 2-3	Ubicación geográfica de la parroquia el Rosario.....	7
Tabla 3-3	Hidrología de la parroquia El Rosario.....	9
Tabla 4-3	Principales parámetros del agua residual.....	12
Tabla 5-3	Principales tratamientos para aguas residuales.....	15
Tabla 6-3	Parámetros, técnicas y métodos utilizados en el laboratorio de aguas de la ESPOCH .....	18
Tabla 7-3	Días de muestreo y horario de toma de muestras.....	19
Tabla 8-3	Aforo de caudal del agua residual.....	20
Tabla 9-3	Caracterización del agua residual en el laboratorio de calidad del agua y CESTTA. .....	21
Tabla 10-3	Relación entre los parámetros DBO <sub>5</sub> y DQO.....	22
Tabla 11-3	Biodegradabilidad de la muestra.....	23
Tabla 12-3	Tratabilidad con Test de Jarras.....	26
Tabla 13-3	Resultados de la tratabilidad con el proceso de Aireación y Test de Jarras.....	27
Tabla 14-3	Resultados de la tratabilidad con el proceso de desinfección.....	29
Tabla 15-3	Caracterización del agua residual después de la tratabilidad y porcentaje de remoción.....	29
Tabla 16-3	Características de diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual.....	36
Tabla 17-3	Criterios de diseño para rejillas.....	38
Tabla 18-3	Coeficiente de pérdida en función de la forma de las rejillas.....	40
Tabla 19-3	Capacidad de conducción de los canales revestidos.....	42
Tabla 20-3	Coeficiente de rugosidad de Manning.....	43
Tabla 21-3	Borde libre de un canal.....	45
Tabla 22-3	Criterios de diseño en función de la geometría del desarenadores.....	51
Tabla 23-3	Ancho de la canaleta en el canal Parshall.....	59
Tabla 24-3	Valores de k y n, según el tamaño de W.....	60
Tabla 25-3	Dimensiones de la canaleta Parshall.....	61
Tabla 26-3	Criterios de diseño para un floculador hidráulico de flujo horizontal.....	70
Tabla 27-3	Dimensiones específicas para cada tipo de pantalla.....	70
Tabla 28-3	Número de intensidad.....	71
Tabla 29-3	Criterios de diseño para un sedimentador.....	82
Tabla 30-3	Propiedades de los lodos.....	95
Tabla 31-3	Tiempo necesario para la digestión del lodo.....	96
Tabla 32-3	Dimensiones de digestión del Lodo.....	97

Tabla 33-3	Resultados de la determinación de la población.....	99
Tabla 34-3	Resultados de las determinaciones de caudales.....	99
Tabla 35-3	Resultados del dimensionamiento del sistema de cribado.....	99
Tabla 36-3	Resultados para el canal de entrada.....	100
Tabla 37-3	Resultados del vertedero rectangular.....	100
Tabla 38-3	Resultados del desarenador aireado.....	101
Tabla 39-3	Resultados del canal Parshall.....	102
Tabla 40-3	Resultados del dimensionamiento del Floculador hidráulico horizontal.....	102
Tabla 41-3	Resultados del dimensionamiento del sedimentador.....	103
Tabla 42-3	Resultado del dimensionamiento del tanque de desinfección.....	104
Tabla 43-3	Resultados para el dimensionamiento del lecho de secado.....	105
Tabla 44-3	Materiales y equipos para medición del caudal.....	105
Tabla 45-3	Materiales utilizados en el muestreo de agua residual.....	105
Tabla 46-3	Materiales, Equipos y Reactivos para la caracterización del Agua Residual.....	106
Tabla 47-3	Métodos para la caracterización del agua residual.....	107
Tabla 48-3	Análisis económico de la planta de Tratamiento de aguas residuales.....	108
Tabla 49-3	Determinación del % remoción del agua residual tratada.....	114

## RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento para la depuración de aguas residuales en la parroquia El Rosario, cantón Guano, con la finalidad de cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A Reformativo del Texto Unificado de Legislación Secundaria, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015 TABLA 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. La composición de los efluentes se vuelve variable debido a las actividades diarias de las personas, se realizó un muestreo compuesto para obtener una muestra representativa del efluente que no presente alteraciones; la caracterización físico-química y microbiología permitió identificar los parámetros que se encontraban fuera de rango según la Norma de Calidad del Agua son: DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrógeno Amoniacal, Sólidos Suspendidos, Coliformes Fecales y Coliformes Totales. Se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad, primero se simuló un desarenador aireado para la disminución de materia orgánica disuelta y partículas suspendidas, posteriormente se realizó la simulación una floculación con el Test de jarras, donde se utilizó Policloruro de Aluminio (PAC) al 10% y polielectrolito al 5%, finalmente se optó por utilizar Hipoclorito de Sodio para la eliminación de patógenos. Al identificar las variables de diseño, se dimensionaron los equipos acorde a los tratamientos físico-químicos del agua residual, los cuales son: Canal de entrada, Sistema de rejillas o Cribado, Vertedero rectangular, Desarenador aireado, Canal Parshall, Floculador hidráulico horizontal, Sedimentador de alta tasa, Tanque de desinfección y un Lecho de secado. El diseño seleccionado fue validado con los resultados de la caracterización final del agua tratada y los porcentajes promedio de remoción de los parámetros: DBO<sub>5</sub> 99,25%, DQO 99,02 %, Turbiedad 97,8%, Sólidos suspendidos 96,52%, Coliformes fecales con una remoción del 99,99%. Se recomienda implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales para evitar la contaminación del Río Guano.

**PALABRAS CLAVE:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, < PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES >, <DESARENADOR AIREDO>, <TEST DE JARRAS>, <DESINFECCIÓN>, <FLOCULADOR>, <SEDIMENTADOR>, <EL ROSARIO (PARROQUIA)>, <GUANO (CANTÓN)>

## SUMMARY

A treatment system was designed for the purification of wastewater in the Rosario parish, Guano canton, with the purpose of complying with the maximum permissible limits established in the Ministerial Agreement 097- A the Secondary Unified Text on Subsidiary Legislation, published in the Official record N0 387 From November 4, 2015 TABLE 9, Limits of discharge to a body of fresh water. The composition of the effluents becomes variable due to the daily activities of the people, a composite sampling was carried out to obtain a representative sample of the effluent that does not present alterations; the physicochemical characterization and microbiology allowed to identify the parameters that were out of range according to the Water Quality Standard are: DBO5, DQO, Ammoniacal Nitrogen, Suspended Solids, Fecal Coliforms and Total Coliforms. The treatability tests were carried out, first an unaerated grit trap was simulated for the reduction of dissolved organic matter and suspended particles, then a flocculation simulation was carried out with the Jar test, where Aluminum Polychloride (PAC) 10 ° C. % and 5% polyelectrolyte were used. Finally chosen to use Sodium Hypochlorite for the elimination of pathogens. When identifying the design variables, the equipment was sized according to the physicochemical treatments of the wastewater, which are: Inlet channel, grid system or screening, rectangular waste, aerated air, Parshall channel, horizontal hydraulic flocculator, high settler rate, disinfection tank and a drying bed. The selected design was validated with the results of the final characterization of the water treated and the average percentage of removal of the parameters: DBO5, 99.25%, DQO 99.02% Turbidity 97.8%, Solids suspended 96.52%, fecal coliforms with a 99.99% removal. It is recommended to implement the wastewater treatment system to avoid contamination of Rio Guano.

KEYWORDS: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <WASTEWATER TREATMENT PLANT>, <UNAERATED GRIT TRAP >, <JAR TEST>, <DISINFECTION>, <FLOCCULATOR>, <SEDIMENTADOR>, <EL ROSARIO (PARISH)>, < GUANO (CANTON)>

## **CAPITULO I.**

### **1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Identificación del Problema**

El Gobierno Autónomo Descentralizado de la Municipalidad del Cantón Guano es el encargado de brindar los servicios de agua potable y alcantarillado, dentro de su jurisdicción en el cantón Guano, Parroquia El Rosario. Según los datos proporcionados por el Censo poblacional (INEC, 2010) señala que la población de esta zona es de 5602 habitantes aproximadamente, cabe recalcar que acuerdo a la tasa de crecimiento poblacional y a la proyección al 2017, la población actual del sector sería de 6280 habitantes aproximadamente. (GADC Guano, 2014), por lo cual debido al aumento de la población este sector ha sufrido un aumento de efluentes provenientes de alcantarillados de las viviendas de dicha zona.

La Parroquia El Rosario se encuentra en el límite entre el cantón Guano y Riobamba, donde las aguas residuales que se producen dentro de esta zona, se dirigen directamente hacia un colector que desembocará en sistema de alcantarillado público del cantón Riobamba, lo que ocasiona una sobrecarga del mismo.

La inexistencia de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en la zona, producen una sobrecarga del sistema de alcantarillado del cantón Riobamba, el cual se encuentra fuera de los límites jurisdiccionales del cantón Guano, siendo de entera responsabilidad del GAD Municipal del cantón Guano y del GAD parroquial de El Rosario, el saneamiento ambiental de la parroquia en mención; por lo que la implementación de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) permitiría reducir la contaminación sobre los cuerpos de agua aledaños a la parroquia, y la sobrecarga al sistema de alcantarillado de Riobamba.

#### **1.2 Justificación del proyecto**

El agua es un elemento importante en el desarrollo de una población, de gran significado para la vida, principalmente para el ser humano y las diferente especies que habitan en los diferentes cuerpos hídricos, (Ferrer, 2011), es el elemento con más volumen presente en el planeta y



definitivo para los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que rigen nuestro ambiente, además posee un sinfín de usos principalmente de tipo consuntivo y no consuntivo, entre los usos más importantes tenemos, consumo, transporte, producción de electricidad, etc.; haciendo énfasis en las aguas generadas que pueden ser tratadas y reutilizadas, mejorando la calidad de vida y economizando este recurso. (Ferrer, 2011)

Se debe tener presente que la generación de aguas servidas no es lo único que podría perjudicar a un determinado poblado, también está el tratamiento que se les dé a las mismas una vez que han sido recolectadas. (Ramalho, 2003)

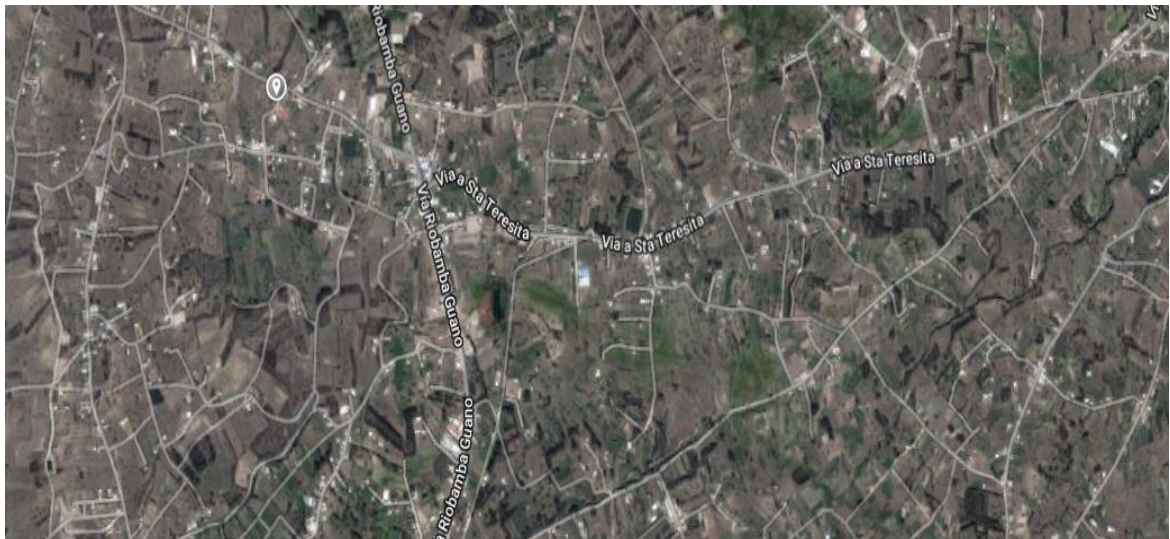
Cada población necesita vivir en un ambiente sano y libre de contaminantes, el cual garantice su buen desarrollo. Por lo tanto es deber de todos organismos públicos la conservación del ambiente, por este motivo el GAD municipal del cantón Guano conjuntamente con el GAD parroquial de El Rosario se han visto en la necesidad de mejorar la calidad de la vida de sus habitantes, por lo que en los últimos años se ha implementado un sistema de alcantarillado que permitirá la captación de las aguas residuales provenientes de dicha parroquia, ampliándose así la cobertura a barrios y comunidades que no cuentan con dicho sistema, brindando además condiciones de saneamiento adecuado para los pobladores. El avance generado en cuanto a materia sanitaria ha sido evidente, pero no es suficiente debido a que las aguas residuales generadas en el sector no cuentan con sistema de tratamiento adecuado antecedente a la descarga en el Río Guano. En base a lo anteriormente mencionado, la Municipalidad del Cantón Guano se ha visto en la necesidad de implantar una planta de tratamiento para la depuración de agua residual para de esta manera disminuir la contaminación, además de garantizar la salud de los habitantes y evitar la presencia de patógenos recurrentes en el agua residual de origen doméstico y finalmente realizar una correcta disposición del agua tratada al río.

En el presente proyecto se planteó una alternativa para la tratabilidad de las aguas residuales generadas en esta parroquia, que consistió en el diseño de una planta de tratamiento que contará con procesos primarios, secundarios y terciarios, rigiéndose a los límites máximos permitidos que se encuentran en la legislación ambiental vigente, fundamentándose en la normativa de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua. Del ACUERDO MINISTERIAL 097-A REFORMATARIO DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015 TABLA 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

### 1.3 Línea base del Proyecto

#### 1.3.1 Condiciones de la zona de investigación

Para la realización del siguiente proyecto técnico se realizó un recorrido previo por las comunidades y barrios que comprenden la Parroquia El Rosario, donde se evidenció que dicha parroquia no cuenta con un adecuado sistema de saneamiento de aguas servidas las cuales se dirigen al sistema de alcantarillado del cantón Riobamba, por lo que mediante datos geográficos proporcionados por el GAD municipal de Guano se estableció el lugar más apropiado para realizar la toma de muestras y las correspondientes mediciones de caudal., esto se lo realizó directamente del alcantarillado tomando en cuenta el punto de intersección del sistema de alcantarillado con el colector principal.



**Figura 1-1** Punto de intersección.

Fuente: Google Maps, (2017)

#### 1.3.2 Inspección y reconocimiento del lugar de investigación.

Al realizar el reconocimiento previo del lugar de investigación se realizó un recorrido a lo largo de las comunidades y barrios que comprenden la parroquia El Rosario, en el cual se evidenció la falta de mantenimiento del sistema de alcantarillado, debido que en algunas zonas, los puntos de control se encontraban sin sus correspondientes tapas, lo cual genera riesgos para la población y vehículos que circulan en dichas zona, además de contribuir a la contaminación las aguas residuales, lo que puede generar atascamientos en el sistema de alcantarillado y un posible taponamiento en la planta a implementar, por la presencia de piedras, tierra fundas y demás tipo de basura en el sistema de alcantarillado.



**Figura 2-1** Alcantarilla sin la tapa correspondiente.  
Realizado por: Christian Córdova 2018

### 1.3.3 Situación poblacional de la parroquia El Rosario

Al realizar el reconocimiento previo del lugar de investigación se observó y constató que existen conjuntos habitacionales y urbanizaciones que se encuentran en proceso de construcción, por lo que la población en este sector se incrementaría en un número superior a de la población actual establecida por el censo poblacional. Considerando que las urbanizaciones comiencen a desarrollarse en los próximos años, y según los datos proporcionados por el GADC Guano, la población se incrementaría en función del número de lotes y en función de la cantidad de población por cada lote de terreno tal como se observa a continuación.

**Tabla 1-3** Población de urbanizaciones en la parroquia El Rosario.

URBANIZACIÓN	# LOTES	POBLACION FUTURA
<b>Ciudad Balboa</b>	257	257
<b>G.N. Geovanny Naranjo</b>	193	579
<b>Chimborazo</b>	1000	3000
<b>Padres de niños prematuros</b>	716	2148
<b>Ingenieros Civiles</b>	47	141
<b>Techo para todos</b>	139	417
<b>Caminos del Sol</b>	231	693
<b>Los Andes</b>	344	1032

<b>Prados del Norte</b>	213	639
<b>San Juaneños</b>	200	600
<b>San Nicolás Trujillo</b>	63	189
<b>Diócesis de Riobamba</b>	130	390
<b>Mundo Esperanza</b>	220	660
<b>TOTAL</b>		10745

**Fuente:** (Datos de censos e información del GADC Guano)

**Realizado por:** Christian Córdova, 2018

## **1.4 Beneficiarios directos e indirectos**

### ***1.4.1 Directos***

El beneficiario directo del presente proyecto será la parroquia El Rosario, debido a que en este sector se realizará la implementación del sistema de tratamiento planteado.

### ***1.4.2 Indirectos***

Los beneficiarios indirectos del proyecto técnico serán los habitantes del cantón Riobamba y el GAD municipal de Riobamba, debido a que mediante la realización del presente proyecto se reduciría la sobrecarga al sistema de alcantarillado existente en dicho cantón.

## **CAPITULO II**

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

#### **2.1 Objetivo General**

- Diseñar una planta de tratamiento para la depuración de aguas residuales en la parroquia El Rosario, cantón Guano, provincia de Chimborazo.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar el agua residual proveniente de la parroquia El Rosario mediante ensayos de laboratorio.
- Identificar los contaminantes del agua residual mediante la caracterización de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual a tratar en base a la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del ACUERDO MINISTERIAL 097-A REFORMATARIO EL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015 TABLA 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Realizar las pruebas de tratabilidad para disminuir los contaminantes en parámetros ya identificados.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el respectivo dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales según los resultados obtenidos en la caracterización del efluente.
- Validar el diseño de ingeniería del sistema de tratamiento por medio de una simulación en estado estacionario de la planta a implementar, y el análisis de la factibilidad técnica y económica del mismo.

## CAPÍTULO III.

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1 Localización del proyecto

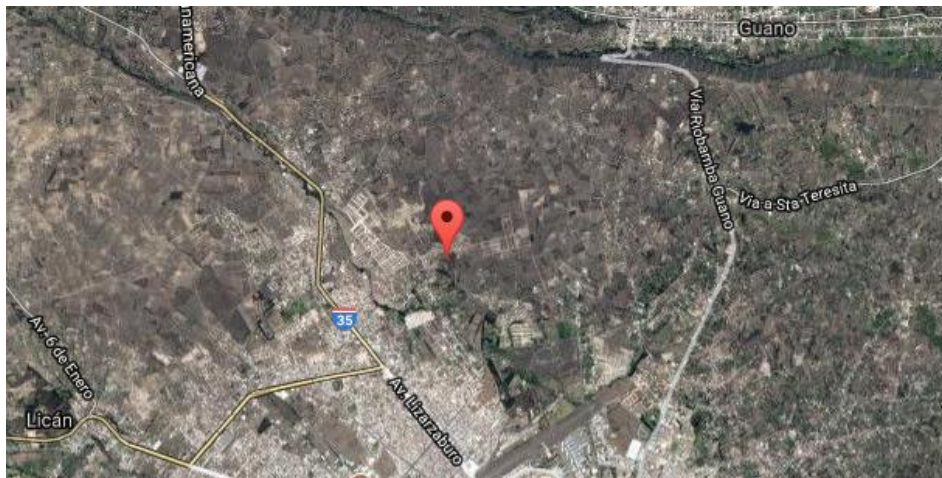
##### 3.1.1 Localización Geográfica

El presente proyecto técnico se efectuó en la parroquia El Rosario, perteneciente al cantón Guano provincia de Chimborazo, siendo el GAD municipal el encargado de garantizar la cobertura de servicios básicos tales como agua potable, alcantarillado y saneamiento. Dentro de la jurisdicción de dicha parroquia se encuentran barrios como: 20 de Diciembre, El Rosario, Olte San Francisco, La Dolorosa, La Inmaculada, Langos panamericana, San Pedro de las Habras, Oltes San Pedro, Langos San Alfonso, Langos 11 de Noviembre, Rosario los Elenes; las comunidades: Langos San Andrés, Langos La Paz, Nuestra Señora del Cisne, El Carmen, El Rosal, La Colina, Langos Chico, Langos San Miguel, San Gabriel del Aeropuerto; y las urbanizaciones: Ciudad de Balboa, G. N. Geovanny Naranjo, Chimborazo, Padres de niños prematuros, Ingenieros Civiles, Techo para todos, Caminos del Sol, Los Andes, Prados del Norte, San Juaneños, San Nicolás Trujillo, Diócesis de Riobamba, Mundo de Esperanza.

**Tabla 2-3** Ubicación geográfica de la parroquia el Rosario.

<b>CONTINENTE</b>	América
<b>PAIS</b>	Ecuador
<b>PROVINCIA</b>	Chimborazo
<b>CANTON</b>	Guano
<b>RANGO ALTITUDINAL</b>	Oscila entre 2600 m.s.n.m. a 2920 m.s.n.m.
<b>Coordenadas</b>	Longitud: -78,667 Latitud: -1,63333

**Fuente:** Plan de Desarrollo Territorial de la parroquia El Rosario  
**Realizado por:** Córdova Christian 2018



**Figura 1-3** Ubicación geográfica de la parroquia El Rosario

Fuente: Plan de Desarrollo Territorial de la Parroquia El Rosario

### **3.1.2** *Clima de la Zona*

La parroquia El Rosario cuenta con un clima variado de días soleados, nublados y lluviosos que corresponde al ecuatorial meso térmico semihúmedo. El periodo en el cual se presenta las precipitaciones más importantes, está comprendido entre los meses de Febrero a Mayo y de Octubre a Diciembre con una precipitación anual de 500 a 2000 mm aproximadamente, donde las temperaturas fluctúan entre los 12 y 20°C promedio. (Guano, 2014)

### **3.1.3** *Condiciones geográficas de la zona*

La zona presenta una superficie ondulada con pequeñas elevaciones, numerosas quebradas con laderas que tienen pendientes que varían entre el 0 y 15%. En general, los suelos son de formación volcánica-arenosos degradados, de muy baja productividad agropecuaria; además presenta vegetación de tipo arbustiva de tipo matorral seco montano, bosques introducidos de eucalipto y monocultivo de baja densidad. (Guano, 2014)

### 3.1.4 Hidrología

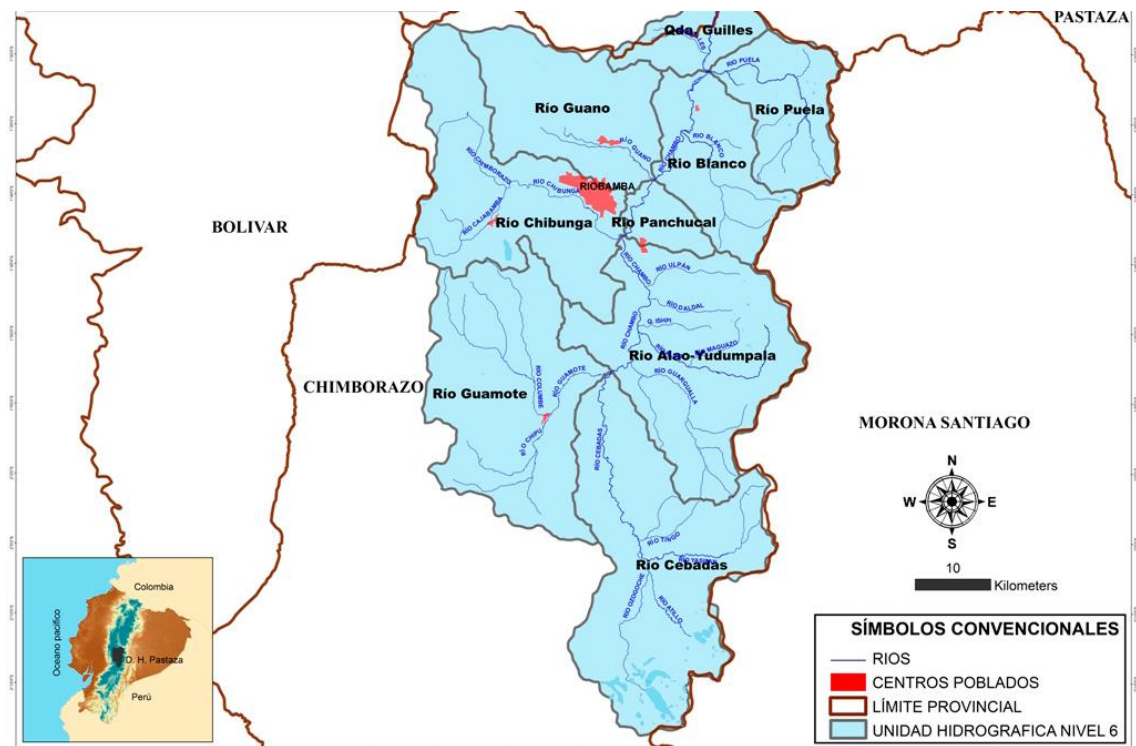
La Microcuenca del Río Guano se encuentra ubicada en el cantón Guano, Provincia de Chimborazo; perteneciente a la Subcuenca del Río Chambo y a la Cuenca del Río Pastaza, tiene un recorrido aproximado de 18,8 Km, que se origina principalmente por las aportaciones provenientes de las quebradas: Cascajal, Chuquipogio, Las Abras, Puluchaca, Patulú, Igualata y Asaco, generando un sistema de drenaje déndrico. La Microcuenca del Río Guano se encuentra al noroeste del cantón y al oeste del Río Pastaza. (Senagua, 2010)

**Tabla 3-3** Hidrología de la parroquia El Rosario.

Cuenca	Subcuenca	Microcuenca
Río Pastaza	Río Chambo	Río Guano

Fuente: SENAGUA 2010

Realizado por: Christian Córdova 2018



**Figura 2-3** Microcuenca del Río Guano y ubicación hidrográfica

Fuente: División hidrográfica SENAGUA 2010



## **3.2 Ingeniería del proyecto**

### **3.2.1 Terminología**

#### *3.2.1.1 Aguas residuales*

Se puede definir a las aguas residuales como la mezcla de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, las cuales pueden proceder tanto del sector doméstico, instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales, a las que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales, las cuales causan la disminución de la calidad del agua, además si no son tratadas adecuadamente generará graves problemas de contaminación. (Metcalf & Eddy, 1995)

Las aguas residuales generadas en las comunidades y municipios deben ser conducidas, en última instancia a cuerpos receptores o al mismo terreno, por tal motivo dichas deben ser tratadas adecuadamente para que puedan de retornar la a naturaleza. Por lo mencionado anteriormente es de suma importancia la creación e implementación de sistemas de depuración, tratamiento y desalojo de aguas residuales, con la finalidad de remover los contaminantes ya sean por procesos de tipo físico, físico-químico o microbiológico antes de su desalojo a un cuerpo hídrico y de esta manera cumplir con la normativa ambiental vigente.

#### *3.2.1.2 Clasificación del agua residual.*

Según las fuentes de descargas se pueden clasificar en:

- a) Agua Residual de origen Doméstico: mezcla de desechos líquidos de uso doméstico evacuados y de residencias. (AC 097, 2015)
- b) Agua Residual municipal: son los residuos líquidos provenientes de locales públicos, educacionales, comerciales de una ciudad o población, que son transportados por medio un alcantarillado hacia una planta de tratamiento. (AC 097, 2015)
- c) Agua Residual Industriales: las aguas residuales provenientes de los residuos generados por operaciones o procesos industriales. (AC 097, 2015)

En función de su composición:

- d) Aguas Negras: son aguas residuales que provienen de los inodoros y transportan excrementos humanos y orina, contienen gran cantidad de sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes. (Romero Rojas, 2002)
- e) Aguas grises: se define como aguas residuales a aquellas que son producidas en tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de contaminantes como: tensoactivos, DQO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales (Romero Rojas, 2002, p. 17)
- f) Aguas blanca: estas aguas provienen de drenajes o de escorrentía superficial, cuya principal característica es generar grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación. La contaminación de este tipo de aguas se produce cuando el agua atraviesa la atmósfera, o por el lavado de superficies y terrenos. (Hernández, 2006)

#### *3.2.1.3 Composición*

Las aguas residuales provenientes de zonas residenciales y de servicios que se generan principalmente por el consumo y actividades diarias del ser humano, están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión, las mismas que pueden estar mezcladas con aguas residuales de tipo industriales y escorrentía pluvial, las cuales aportan con elevadas concentraciones de sólidos orgánicos e inorgánicos presentes en suspensión, disueltos o a su vez en las superficies de terrenos que la lavando las aguas de escorrentía. (Metcalf & Eddy, 1995)

#### *3.2.1.4 Parámetros de aguas residuales*

Tomando en cuenta que las características de las aguas residuales son únicos dependiendo de su lugar de procedencia, podemos clasificar los parámetros de dichas aguas en químicos, físicos y biológicos.

**Tabla 4-3** Principales parámetros del agua residual.

<b>Parámetros Biológicos</b>	
Coliformes Fecales	Presentan bacterias facultativas, gram negativas anaeróbicas y aeróbicas entre otras
Fecales	Están formadas principalmente por <i>Escherichia coli</i> y algunas especies de <i>Klesbiella</i>
<b>Parámetros Químicos</b>	
pH	Indica si el agua presenta características ácidas o básicas.
<b>Componentes Orgánicos</b>	
Tensoactivos	Disminuyen la tensión superficial del agua produciendo espuma, además interfieren en la absorción y disolución de oxígeno en el agua aumentando los valores de DBO <sub>5</sub> y DQO
Aceites y Grasas	Interfiere en los principales procesos biológicos que ocurren en el agua.
Carbohidratos	Se presentan en forma de fibras, celulosa, almidones, azúcares entre otros compuestos orgánicos biodegradables
<b>Componentes inorgánicos</b>	
Fosfatos	Favorece la formación de algas.
Nitrógeno	Contribuye a la eutrofización, presente en forma de nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico
<b>Parámetros Físicos</b>	
Conductividad	Capacidad que presenta el agua para conducir la electricidad debido a la presencia de sales disueltas e iones
Temperatura	Influye en reacciones químicas importantes
Turbiedad	Presencia de sólidos en suspensión e impurezas en el agua que se oponen al paso de la luz
Sólidos sedimentables	Partículas granulares con tendencia a sedimentarse.
Sólidos suspendidos	Partículas de baja densidad o peso específico que tienden a quedar suspendidos en el agua.
Sólidos disueltos	Se encuentran disueltos en el agua en forma de sales o gases
Sólidos totales	Sumatoria de sólidos disueltos y suspendidos
<b>Características Organolépticas</b>	
Color	Muestra cuan contaminada está el agua.
Olor y sabor	Son producidos por la presencia de compuestos inorgánicos y orgánicos

Fuente: (Peña, 2015)

Realizado por: Christian Córdova 2018

### 3.2.1.5 Contaminación orgánica en el agua Residual

La contaminación de las aguas residuales se puede valorar por medio de los parámetros de DQO Y DBO<sub>5</sub> que son un indicativo de la carga de contaminantes de origen orgánico.

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

Se considera como la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos no fotosintéticos para degradar la materia biodegradable presente en un efluente, entre estos tenemos: proteínas, carbohidratos, grasa, aceites y productos químicos orgánicos biodegradables. Es importante comparar el DBO<sub>5</sub> de los efluentes y fluentes de un planta de agua residual para evaluar la efectividad de las mismas en estabilizar las sustancias orgánicas. (Osorio, 2015)

- *Demanda química de oxígeno (DQO)*

La demanda química de oxígeno DQO, corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación di-cromato o permanganato, en medio ácido. (Ramalho, 2003). Este parámetro es un indicador de materiales degradables y no biodegradables, los mismos que miden la cantidad de materia orgánica en el agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla.

### 3.2.1.6 Coliformes

Son microorganismos benéficos y patógenos, los cuales ayudan a la degradación de la materia orgánica presente en el agua, o a su vez pueden causar enfermedades entéricas tales como la fiebre tifoidea, disentería, cólera, entre otras. (Ramalho, 2013)

### 3.2.1.7 pH.

Indica la concentración del ion hidrógeno presente en el agua. La cantidad de ion hidrogeno que contengan las aguas residuales, indicarán las condiciones a las cuales se encuentra y a qué tipo de tratamiento químico es susceptible; tal es el caso de la desinfección, la cual únicamente ocurre en valores de pH entre 6.5 y 8. (Romero, 2000)

#### *3.2.1.8 Turbidez.*

Propiedad óptica del agua la cual genera que la luz se absorba o disperse en lugar de ser transmitida a través de sí. La turbidez en el agua puede ser causada por un sinnúmero de materiales en suspensión, entre los cuales tenemos coloides, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos o microorganismos. (Romero, 2002)

#### *3.2.1.9 Color.*

En general, el termino color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra a medirlo junto con el pH. Normalmente la intensidad del color depende del pH, pudiendo aumentar con el incremento del pH. (Romero, 2002)

#### *3.2.1.10 Sólidos totales.*

La determinación de sólidos totales permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que lleva una muestra de agua, la cual se seca a temperaturas de entre 103 – 105 °C, además de la naturaleza de las mismas que puede ser orgánica e inorgánica. (Romero, 2002)

#### *3.2.1.11 Conductividad.*

Es una expresión numérica que representa la habilidad del agua para transportar una corriente eléctrica, esta depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas presente en la misma y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo que, cualquier cambio que sufra la concentración de sólidos disueltos, implicará un cambio en la conductividad. (Romero, 2002)

#### *3.2.1.12 Nitrógeno total.*

Corresponde a compuestos de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos que se encuentran disueltos en el agua o formando estructuras bioquímicas. El nitrógeno facilita el crecimiento de algas y de plantas acuáticas, lo que genera en el agua procesos de eutrofización y por lo tanto la concentración de O<sub>2</sub> disminuye. (Romero, 2002)

### 3.2.1.13 Fósforo total

El fósforo, como el nitrógeno es un elemento fundamental para el crecimiento de los microorganismos. En las aguas residuales el fósforo se puede encontrar en sus tres formas más comunes las cuales son: ortofosfatos solubles, polifosfatos inorgánicos y fosfatos orgánicos como  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{HPO}_4^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , el ortofosfato soluble es la forma más fácilmente asimilable por los microorganismos y se utiliza principalmente como un parámetro de control en los procesos biológicos para la eliminación de fosforo. (Romero.2002)

### 3.2.1.14 Sulfatos.

Los sulfatos se encuentran en las aguas naturales en un amplio rango de concentraciones, principalmente se presentan como sales orgánicas. Los sulfatos pueden originarse en aguas que atraviesan terrenos ricos en yesos o pueden presentarse en aguas residuales industriales. El efecto perjudicial con producen grandes concentraciones de sulfatos se debe a la formación de una sal conocida como cáncer del cemento la cual destruye irreversiblemente el hormigón, además de producir corrosión en los sistemas de alcantarillado. (Metcalf & Eddy, 1995)

### 3.2.1.15 Tratamientos de Agua residuales

Existen diferentes tipos de tratamiento de aguas residuales, los cuales dependen principalmente de parámetro o contaminante que se desee eliminar, entre los tratamientos más utilizados tenemos:

**Tabla 5-3** Principales tratamientos para aguas residuales.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	TIPO DE PROCESO
<b>Preliminar</b>	Estos tratamientos tienen como objetivo la eliminación de materiales de gran tamaño para así evitar problemas en los equipos o procesos posteriores.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tamices</li><li>- Desbrozo</li><li>- Rejas o cribado</li></ul>
<b>Primario</b>	Estos procesos son utilizados principalmente para la remoción de aceites y grasas, sólidos en	<ul style="list-style-type: none"><li>- Trampas de grasa</li><li>- Sedimentación</li><li>- Homogenización</li><li>- Flotación</li></ul>

	suspensión y de materia orgánica.	- Neutralización
<b>Secundario</b>	Es estos tratamientos se efectúa el mayor porcentaje de remoción de contaminantes, además aporta con oxígeno para la estabilización de ciertas reacciones químicas y bioquímicas. También se encargan de eliminar sólidos en suspensión, sólidos disueltos, y la remoción de características físicas, químicas y organolépticas, y compuestos orgánicos biodegradables	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lodos activos</li> <li>- Aireación prolongada</li> <li>- Estabilización por contacto</li> <li>- Aeración por fases</li> <li>- Lagunaje con aeración</li> <li>- Estabilización por lagunaje</li> <li>- Filtros biológicos</li> <li>- tratamientos anaerobios</li> <li>- Discos Biológicos</li> <li>- Filtros Sumergidos</li> </ul>
<b>Terciario</b>	Este tipo de tratamientos se utilizan para la eliminación de microorganismo y otros compuestos tóxicos que no hayan sido removidos en los tratamientos anteriores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Micro tamizado</li> <li>- Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas)</li> <li>- Adsorción (carbón activado)</li> <li>- Intercambio iónico</li> <li>- Ósmosis inversa</li> <li>- Precipitación y coagulación</li> <li>- Electrodialisis</li> <li>- Cloración y ozonización</li> </ul> <p>Procesos de reducción de Nutrientes</p>

**Fuente:** (Ramalho, 1998, p. 9)

**Realizado por:** Christian Córdova 2018

### 3.2.2 *Métodos y técnicas*

#### 3.2.2.1 *Métodos*

Para la ejecución del presente proyecto técnico se consideraron tres tipos de métodos: Deductivo, Inductivo y Experimental; los cuales permitirán recabar datos necesarios para el correcto diseño

y dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales que se ajuste a los requerimientos de la parroquia El Rosario del cantón Guano.

#### **a) Método Deductivo**

El método deductivo consiste en ir de lo general a lo particular, mediante el uso de argumentos y silogismos, en este método se utiliza la lógica para llegar a conclusiones a partir de determinadas premisas. (Zarzar, 2015) Para este proyecto en particular, se toma en cuenta dos ejemplos tangibles tales como la caracterización de aguas residuales y la inspección de campo realizado en el lugar de trabajo, estas variables sirvieron en el diseño de planta de tratamiento y en la correcta elección del método apropiado a aplicar para la depuración de dichas aguas.

#### **b) Método Inductivo**

El método inductivo consiste en ir de lo particular a lo general, a partir de la conservación de los hechos se pueden crear leyes mediante la generalización del comportamiento observado. (Zarzar, 2015) Mediante este método se busca solucionar un problema en específico, en este caso a través de cálculos de ingeniería se obtiene el dimensionamiento de las diferentes unidades de procesos que se contemplarán en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales.

#### **c) Método Experimental**

El método experimental consiste en la experimentación directa sobre el objeto de estudio, con el fin de comprobar la veracidad o falsedad de determinadas hipótesis previamente establecidas. (Zarzar, 2015). Este método se sustenta principalmente en la utilización de materiales, equipos e instrumentos para la obtención de datos como caudal, población, parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua residual proveniente de las descargas de la parroquia El Rosario, así como también en la realización de pruebas de tratabilidad de dichas aguas, las mismas que se realizaron en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA).



### 3.2.2.2 Técnicas y Normas

Los diferentes procesos que se llevaron a cabo tanto en la caracterización como en la simulación de las pruebas de tratabilidad del agua poseen un criterio, el cual se encuentra en el manual de procedimientos del Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y del CESTTA, tal como se observa en la tabla 6-3.

**Tabla 6-3** Parámetros, técnicas y métodos utilizados en el laboratorio de aguas de la ESPOCH

Parámetro	Técnica	Método
*Ph	ph-metro	4500-B
*Turbiedad	Turbidímetro	2130-B
*Conductividad	Conductivímetro	2510-B
*Color	Espectrofotómetro	HACH 125
*Nitrógeno total	Destilación	Método Kjeldahl
*Sulfatos	Espectrofotómetro	HACH 685
*Fosfatos	Espectrofotómetro	HACH 10127
***DBO <sub>5</sub>	Medidor DBO	5210-B
***DQO	Espectrofotómetro	5220-C
*Sólidos Totales Disueltos	Conductivímetro	2540-D
*Cromo	Espectrofotómetro	HACH 8024
*Hierro	Espectrofotómetro	HACH 8008
***Coliformes Fecales	Conteo de UFC	microfiltración

\* Métodos normados utilizados en el laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH, APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*Métodos normalizados utilizados en el laboratorio de Servicios Ambientales para el Análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21 edición y métodos HACH adaptados del STANDARD Methods 21° edición.

\*\*\*Métodos normalizados utilizados en el CESTTA para el análisis de aguas residuales STANDARD METHODS 21 edición y métodos HACH adaptados del STANDARD Methods 21° edición.

**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua, ESPOCH.

**Realizado por:** Christian Córdova, 2018

Para la determinación de los límites máximos permisibles con los que el agua debe ser descargada de la planta de tratamiento, se utilizó la normativa ambiental basada en el ACUERDO MINISTERIAL 097-A REFORMATARIO EL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015 TABLA 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

### 3.2.3 Método de muestreo para la caracterización de aguas residuales provenientes de la parroquia El Rosario.

La técnica utilizada para el correcto muestreo se basa en la norma NTE: INEN 2176:2013, la cual establece una guía adecuada sobre los métodos de muestreo y la obtención de datos necesarios para la caracterización de aguas tanto residual, natural o contaminado.

En el presente proyecto se realizó un muestreo compuesto para efectuar la caracterización del agua residual, este muestreo consiste en tomar diferentes muestras en las horas pico de generación de aguas residuales, posteriormente fueron homogenizadas con el fin de obtener una muestra representativa que no presente anomalías al momento de realizar los análisis físico-químicos y microbiológicos en el laboratorio, así como para minimizar los costos de los análisis. El muestreo realizado se puede observar la tabla 7-3

**Tabla 7-3** Días de muestreo y horario de toma de muestras.

DIA	HORARIO	NUMERO DE MUESTRAS SIMPLES	NUMERO DE MUESTRAS COMPUESTAS
LUNES	7:30	3	1
	12:30		
	17:30		
MIERCOLES	7:30	3	1
	12:30		
	17:30		
JUEVES	7:30	3	1
	12:30		
	17:30		
VIERNES	7:30	3	1
	12:30		
	17:30		
TOTAL DE MUESTRAS		12	4

Realizado por: Christian Córdova, 2018

### 3.2.4 Determinación de caudal.

La determinación del caudal se lo realizó mediante el método volumétrico, el cual consiste en determinar el tiempo que se demora en llenarse un recipiente de volumen conocido, para lo cual se utilizó un contenedor plástico con una capacidad de 20 litros y con la ayuda de un cronómetro

se calcula el tiempo de aforo. Para dicho procedimiento se tomó en consideración las horas pico en las cuales existe una mayor generación de aguas residuales. El caudal se determinó en el horario de 06h30 hasta las 19h00. A continuación se muestran los datos de caudal obtenidos por el método volumétrico, véase Tabla 8-3.

**Tabla 8-3** Aforo de caudal del agua residual.

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
<b>6:30</b>	10,23	3,02	3,1	3,4	10,1
<b>7:00</b>	9,87	10,26	10,5	10,06	10,19
<b>7:30</b>	9,5	10,34	10,7	10,26	10,1
<b>8:00</b>	10,12	10,38	10,41	10,49	10,42
<b>8:30</b>	9,93	10,31	10,5	10,17	10,24
<b>9:00</b>	9,86	10,29	10,4	10,41	10,19
<b>9:30</b>	8,75	9,85	9,95	10,1	9,91
<b>10:00</b>	8,26	9,92	9,94	9,89	9,89
<b>10:30</b>	8,12	10,1	9,85	9,96	9,8
<b>11:00</b>	8,91	9,85	8,86	9,86	9,88
<b>11:30</b>	8,92	9,93	8,87	9,98	9,84
<b>12:00</b>	10,26	9,97	9,89	10,18	10,15
<b>12:30</b>	10,33	10,25	10,31	10,38	10,26
<b>13:00</b>	10,45	10,28	10,27	10,29	10,42
<b>13:30</b>	9,35	10,38	10,14	10,46	10,49
<b>14:00</b>	10,25	10,18	10,27	10,43	10,38
<b>14:30</b>	10,01	10,28	10,16	10,02	10,09
<b>15:00</b>	10,05	9,99	9,82	9,91	9,86
<b>15:30</b>	9,95	9,79	9,91	9,94	9,88
<b>16:00</b>	9,86	8,86	9,87	9,72	9,93
<b>16:30</b>	9,9	8,94	9,98	9,84	9,94
<b>17:00</b>	10,01	9,01	9,96	9,86	9,91
<b>17:30</b>	9,95	8,98	9,9	9,88	9,89
<b>18:00</b>	10,26	9,29	10,33	10,18	10,39
<b>18:30</b>	10,35	10,21	10,31	10,24	10,27
<b>19:00</b>	10,26	10,35	10,41	10,36	10,15
<b>Promedio (l/s)</b>	<b>9,36</b>	<b>9,65</b>	<b>9,79</b>	<b>9,86</b>	<b>10,10</b>
<b>Caudal promedio (l/s)</b>	<b>9,75</b>				

Realizado por: Christian Córdova 2018

### 3.2.5 Caracterización física, química y microbiológica del agua residual.

Una vez obtenidas las muestras compuestas, se procedió a trasladarlas al Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA) y al Laboratorio de Calidad del Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con la finalidad de efectuar la caracterización física, química y microbiológica al agua residual de acuerdo a los criterios establecidos en la tabla 6-3; misma que contribuyó para el reconocimiento de los parámetros que se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente.

#### 3.2.5.1 Parámetros caracterizados

Los parámetros analizados para establecer el estado actual del agua a tratar fueron; pH, conductividad, turbiedad, DQO, DBO<sub>5</sub>, Aceites y grasas, Nitrógeno Amoniacal, Sólidos Suspendidos, Sólidos Sedimentables, Coliformes Fecales y Coliformes totales, obteniéndose los siguientes resultados, véase la tabla 9-3 a continuación:

**Tabla 9-3** Caracterización del agua residual en el laboratorio de calidad del agua y CESTTA.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio	Límites máximos permisibles
*pH	[H <sup>+</sup> ]	7.5	7.2	7.6	7.3	7.4	6,1-9
*Turbiedad	FTU-NTU	225	230	196	189	210	----
*Conductividad	uS/cm	660	685	693	682	680	----
**DQO	mg /L	366	605	775	720	617	200
**DBO <sub>5</sub>	mg /L	190	320	370	350	308	100
**Aceites y grasas	mg/L	1.9	1.8	2.2	2	2.1	30
**Nitrógeno amoniacal	mg/L	36	34	33	30	33.25	30,0
**Sólidos suspendidos	mg/L	392	268	294	436	347.5	130
**Sólidos sedimentables	mg/L	2.5	3	3	5	3.38	-----
**Coliformes fecales	NPM/100mL	460000	11000	7900	630000	277225	2000

<b>Coliformes totales</b>	UFC/100mL	700000	14000	12000	840000	391500	----
-------------------------------	-----------	--------	-------	-------	--------	--------	------

\* Análisis realizados en el laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH

\*\* Análisis realizados en el CESTTA

**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua, ESPOCH, CESTTA

**Realizado por:** Christian Córdova, 2018

Como podemos observar, según los análisis realizados a las diferentes muestras de aguas residuales, son siete los parámetros cuyos valores se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente, tales como DQO, DBO<sub>5</sub>, nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos, coliformes fecales y coliformes totales.

### 3.2.6 Parámetros de tratabilidad.

#### 3.2.6.1 Índice de Biodegradabilidad

El índice de biodegradabilidad es un parámetro que relaciona tanto la DBO<sub>5</sub> y la DQO para la obtención del tipo de tratabilidad y biodegradabilidad que posea una muestra de agua problema, las mismas que pueden ser muy biodegradable, biodegradable y poco biodegradable. A partir de este resultado se puede seleccionar el tipo de tratabilidad, para garantizar la depuración de la misma tal como se indica en la tabla 10-3 a continuación.

**Tabla 10-3** Relación entre los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO.

$DBO_5/DQO$	<0,2	0,2-0,5	>0,5
<b>TIPO DE BIODEGRADABILIDAD</b>	Poco Biodegradable	Biodegradable	Muy biodegradable
<b>TIPO DE TRATAMIENTO</b>	Representan graves limitaciones a tratamientos biológicos, por lo cual un tratamiento físico sería más apropiado.	Muestran un tratamiento biológico susceptible, por lo que la materia orgánica es biodegradada de una manera moderada debido a que los microorganismos deben acondicionarse a las aguas residuales. Esto dependerá del manejo de las variables de diseño y las condiciones a las cuales se vaya a trabajar, también se le pueden dar un tratamiento físico.	Indica que una descomposición biológica ocurre de manera rápida, presentan buena eficiencia en tratamientos biológicos.

**Fuente:** (Eddy, 1995)

**Realizado por:** Christian Córdova 2018

La determinación del índice de biodegradabilidad se lo realizó a partir de la siguiente ecuación.

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

Los resultados de la caracterización de la muestra de agua residual de la parroquia El Rosario que son mostrados en la tabla 9-3, permitió la determinación del índice de biodegradabilidad para cada una de las muestras analizadas tal como se observa en la tabla 11-3 a continuación.

**Tabla 11-3** Biodegradabilidad de la muestra.

Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio	Límites máximos permisibles
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	366	605	775	720	617	100,0
DBO <sub>5</sub>	mg/L	190	320	370	350	308	200,0
<b>Índice de biodegradabilidad</b>		0,51	0,52	0,47	0,48	0,495	

**Fuente:** Caracterización de aguas residuales

**Realizado por:** Christian Córdova, 2018

Mediante la determinación del índice de biodegradabilidad de las muestras de agua residual se obtuvo un valor promedio de **0,495** a una temperatura aproximada de 18°C, lo que indica que existe una presencia significativa de materia orgánica en la cual se podría aplicar un tratamiento de tipo físico-químico o un proceso biológico. (Eddy, 1995)

En el presente estudio se optó por un proceso físico-químico con el cual se garantizará una buena eficiencia en la depuración de los parámetros antes citados, debido a los costos de implementación de un sistema biológico y teniendo en cuenta que la población se incrementará en un futuro debido al desarrollo de urbanizaciones que pueden contribuir con una mayor cantidad de agua residual, la cual generaría una mayor carga orgánica y representaría una reducción en la relación **DBO<sub>5</sub>/DQO**, debido a que por ser sectores residenciales de clase media alta, la calidad del agua tiende a variar, esto se debe a que podría existir una mayor concentración de tensoactivos, aceites y grasas, y no se cuente con los garantías para realizar un proceso biológico. (Ferrer y Seco, 2005)

### **3.2.7 Pruebas de tratabilidad**

#### *3.2.7.1 Simulación de un desarenador aireado*

Los desarenadores aireados son unidades que se utilizan principalmente en el pre-tratamiento de aguas residuales, cuyo objetivo primordial es la eliminación de partículas de un tamaño mayor a 0,20 mm, contribuyendo además con la disminución de sólidos sedimentables y la DBO<sub>5</sub>, mediante el contacto íntimo del agua con el aire. La velocidad de difusión del aire y la forma del tanque gobiernan la velocidad de sedimentación de las partículas, además depende también del tamaño y peso específico de las mismas. Este proceso también puede ser utilizado con el fin de eliminar las grasas emulsionadas, además de contribuir al aumento de la concentración de oxígeno en el agua, lo cual ayudará a que disminuyan los valores de DQO Y DBO<sub>5</sub>. (Ferrer y Seco, 2005)

La aireación es un proceso en el cual se garantiza el contacto íntimo del agua con el aire, para garantizar un proceso apropiado de oxigenación, que permita la remoción de sustancias volátiles o la oxidación de materiales o sustancias biodegradables, modificando las concentraciones de dichas sustancias que se encuentran presentes en el agua. (Ramalho, 2003)

El proceso de aireación consistió en la dosificación de oxígeno en el agua para garantizar un proceso de oxidación de la materia orgánica presente, debido a la presencia de mayor concentración de oxígeno disuelto que permitirá la mineralización de ciertas sustancias tales como nitrógeno amoniacal en nitrato y también la oxidación de ciertos elementos tales como hierro y manganeso, y la reducción de olores y sabores. (Roldan, 2003)

Para las pruebas de tratabilidad se realizó la implementación de un tanque receptor de agua, que junto con un sistema de aireación continua simuló un proceso de desarenador aireado que ayudará en la oxidación, tiempo de retención y permitirá la deposición de ciertas partículas. El contenedor estuvo compuesto por un compresor y un difusor, que generan micro-burbujas, permitiendo el incremento de la solubilidad de oxígeno en el agua. Dicho proceso se lo realizó por un determinado periodo, observándose una disminución de la turbiedad además de la sedimentación de sólidos en suspensión.



**Figura 3-3** Aireación de aguas residuales.  
**Realizado por:** Christian Córdova 2018

Al finalizar el tratamiento de aireación se obtuvo la remoción de algunos parámetros importantes tales como: DQO, DBO<sub>5</sub>, sólidos en suspensión y conductividad, por lo cual se evidenció una disminución considerable en sus valores, demostrando así la eficiencia práctica y teórica de este tratamiento, además se produjo la oxidación del nitrógeno amoniacal en nitratos mediante el ciclo del nitrógeno, produciéndose la mineralización y remoción del mismo.

#### 3.2.7.2 Simulación del proceso de coagulación-floculación (*Test de jarras*).

El segundo procedimiento realizado para las pruebas de tratabilidad es un proceso de coagulación-floculación que consiste en la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible, además este proceso ayudó en la remoción de turbiedad orgánica o inorgánica, color verdadero y aparente, eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos, y la eliminación de sustancias productoras de sabor y olor. (Carlos, 1995, p. 115)

Para desarrollar el test de jarras se trabajó con 3 muestras compuestas donde la turbiedad oscilaba en un rango de 40 y 94.2 NTU, además se utilizó tres tipos de coagulantes Sulfato de Aluminio, Al<sub>2</sub>(SO<sub>3</sub>) · 14H<sub>2</sub>O, Cloruro Férrico FeCl<sub>3</sub> y Policloruro de Aluminio PAC. Durante la coagulación se adicionó además una solución de polielectrolito que permite generar una mayor estabilidad del



floc formado. La dosificación de estos coagulantes se efectuó a diferentes concentraciones hasta encontrar el más eficiente.

Para realizar este test se utilizaron cinco vasos de precipitación de 1000 ml, donde se colocaron un litro de agua residual en cada vaso, posteriormente se adicionaron 1, 2, 3, 4, 5 ml de la solución de cada coagulante en los diferentes contenedores respectivamente. A cada vaso se añadió 0,5 ml de polielectrolito con una concentración de 5%, lo cual ayudó a la formación de un floc de mejor calidad.

Finalmente las muestras fueron sometidas a un proceso de agitación durante 5 min a 100 rpm, simulando el efecto de mezclado que se produce en una planta. El agua coagulada se deja en reposo durante un periodo de 30 minutos, tiempo en el cual decantan los lodos generados en dicho proceso. Una vez concluida la prueba se procedió a determinar la dosis óptima del coagulante en función de la cantidad de floc generado y de la disminución de la turbiedad, tal como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 12-3** Tratabilidad con Test de Jarras

<b>Turbiedad inicial 42.2 NTU, rango de pH inicial=7.68</b>						
	<b>Conc Auxiliar (mL/L)</b>	<b>pH</b>	<b>Dosificación (mL)</b>	<b>Dosis Aux (mL)</b>	<b>Turbiedad Final (NTU)</b>	<b>% Remoción</b>
<b>Sulfato de Aluminio 10%</b>	0.50	7,69	1	0,5	39,32	6,82%
	0.50	7,43	2	0,5	35,06	16,91%
	0.50	7,11	3	0,5	31,29	25,85%
	0.50	6,94	4	0,5	25,40	39,81%
	0.50	6,81	5	0,5	20,32	51,84%
<b>Turbiedad inicial 39,7 NTU, rango de pH inicial=7.68</b>						
<b>Cloruro Férrico 10%</b>	0,50	7,73	1	0,5	21,5	45,84%
	0.50	7,52	2	0,5	16,59	58,2%
	0.50	7,32	3	0,5	15,3	62,5%
	0.50	7,16	4	0,5	14	64,7%
	0.50	7,02	5	0,5	12,9	67,5%
<b>Turbiedad inicial 39,7 NTU, rango de pH inicial=8,19</b>						
<b>Policloruro de aluminio(PAC) 10%</b>	0.50	8,02	1	0,5	22,6	43,07%
	0.50	7,96	2	0,5	19,2	51,64%
	0,50	7,82	3	0,5	14,3	63,97%
	0.50	7,75	4	0,5	4,59	88,44%
	0.50	7,62	5	0,5	8,26	79,20%

**Fuente:** Laboratorio de análisis técnico ESPOCH 2017

**Realizado por:** Christian Córdova, 2018

Como se puede observar en la tabla anterior, los resultados obtenidos mediante el uso del Test de Jarras permitió establecer diferencias significativas entre el Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y el Policloruro de Aluminio (PAC), observándose una reducción de los contaminantes dentro de los tratamientos. De los datos recabados el coagulante que presentó mejores resultados fue el PAC con una dosificación de 4 mL del mismo y 0,5 de polielectrolito, lo que produjo una reducción de la turbiedad en aproximadamente un 88,44%, lo cual permitiría que el agua puede ser descargada sin ningún contratiempo en los cuerpos hídricos de acuerdo a la normativa Ambiental vigente.

El finalizar las pruebas de tratabilidad descritas anteriormente se realizó un análisis de los parámetros que se encontraban fuera de norma, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 13-3** Resultados de la tratabilidad con el proceso de Aireación y Test de Jarras.

PARAMETRO	METODO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
<b>pH</b>	STÁNDAR METHODS 4500-B	[H <sup>+</sup> ]	7,6	6,1 - 9
<b>TURBIEDAD</b>	STANDARD METHODS 2130-B	FTU-NTU	4,54	-----
<b>DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)</b>	STANDARD METHODS 5220 - D mod	mg /L	75	200
<b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>)</b>	STANDAR METHODS 5210 - B	mg /L	36	100
<b>COLIFORMES FECALES</b>	STANDARD METHODS 5540 - C mod	NPM/100mL	14000	2000
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	STANDARD METHODS 5540	UFC/100mL	10000	-----

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, ESPOCH

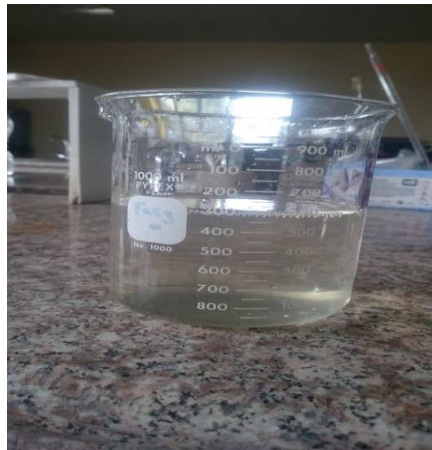
Realizado por: Christian Córdova 2018

Como se puede observar, después de realizar las pruebas de tratabilidad antes mencionadas se evidenció que el pH, la turbiedad, DBO<sub>5</sub> y DQO presentan valores en torno a 7.6, 4.54, 75 y 36 respectivamente; sin embargo, los valores de los coliformes fecales y totales aún son elevados, por lo que es importante realizar un proceso de desinfección para garantizar que el agua sea vertida hacia los efluentes sin que genere problemas de contaminación biológica.

### 3.2.7.3 Simulación de un proceso de desinfección. (Cloración)

La cloración es un tratamiento terciario utilizado con el objetivo de disminuir o eliminar la materia orgánica o bacterias que por procesos físico-químicos no pueden ser tratados, además ayuda a la disminución de turbiedad, DQO, DBO y virus, asegurando una calidad superior del efluente. Este proceso consiste en mantener el agua depurada en un depósito final de distribución con un contenido adecuado de cloro libre para evitar la proliferación de microorganismos con el objetivo de hacerla apta para su reutilización. La cloración del agua residual es el sistema más sencillo y económico para un tratamiento terciario de reutilización de agua para regadío. (Belzona, 2010)

En la simulación utilizada se procedió a dosificar el cloro para la eliminación completa de los parámetros mencionados anteriormente, por lo que se utilizó a nivel de laboratorio un litro de agua previamente tratada en los procesos anteriores en la cual se dosificó una solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 1% donde se agitó y finalmente se deja reposar por un periodo de 30 minutos simulando el tiempo de contacto requerido para la eliminación de los patógenos.



**Figura 4-3** Cloración de agua residual tratada.  
Realizado por: Christian Córdova 2017

Al final del procedimiento se obtiene agua clarificada y la disminución de los parámetros fuera de norma como son coliformes fecales y totales obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 14-3** Resultados de la tratabilidad con el proceso de desinfección.

PARAMETRO	METODO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
COLIFERMES FECALES	STANDARD METHODS 5540 - C mod	NPM/100ml	Ausencia	2000
COLIFOMES TOTALES	STANDARD METHODS 5540	UFC/100ml	Ausencia	-----

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, ESPOCH

Realizado por: Christian Córdova, 2018

Los resultados de desinfección que se muestran en la tabla anterior indican que los coliformes fecal y totales se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la normativa ambiental vigente, observándose una reducción total de dichos parámetros como resultado final. Este será el proceso concluyente de tratabilidad del agua residual, con el cual se evidenció que se logró cumplir con la normativa ambiental

#### 3.2.7.4 Resultados de la tratabilidad

Una vez finalizado el proceso de simulación se realizó una nueva caracterización de las aguas residuales al terminar el proceso, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 15-3** Caracterización del agua residual después de la tratabilidad y porcentaje de remoción.

PARÁMETROS	UNIDADES	Límites máximos permisibles	Agua Residual Caracterizada	Agua residual tratada	% de Remoción
pH	[H <sup>+</sup> ]	6,1-9	7.4	7,66	----
Turbiedad	FTU-NTU	----	210	4,59	97,8%
Conductividad	uS/cm	----	680	226	66,76%
Temperatura	°C	Cond. +- 3	18.6	19,1	

<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg /L	200	617	6	99,02%
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	mg /L	100	308	2,30	99,25%
<b>Nitrógeno Amoniacal (n)</b>	mg/L	30	33,25	4.2	87,1%
<b>Sólidos Suspendidos</b>	mg/L	130	345	12	96,52%
<b>Sólidos Sedimentables</b>	mg/L	1600	2,9	-----	-----
<b>Coliformes Fecales</b>	NPM/100mL	2000	277225	0	100%
<b>Coliformes Totales</b>	UFC/100mL	----	95000	0	99%

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

Realizado por: Christian Córdova 2018

Como se puede observar en la tabla 15-3, se evidenció que al finalizar las pruebas de tratabilidad los parámetros problema se encuentran dentro de los límites máximos de la normativa ambiental vigente, observándose la remoción tanto de los sólidos suspendidos en un 51%, sólidos sedimentables, DQO con 90,76%, DBO<sub>5</sub> con 90,9%, además del nitrógeno amoniacal que se removió en el proceso de aireación debido a la oxidación del mismo con un porcentaje de 87,1%, finalmente se procede a verificar la remoción de coliformes fecales y totales la cual se produjo en el proceso de desinfección en el cual produce la disminución o eliminación de bacterias en un 99,9%.

### **3.2.8 Determinación de las variables de diseño de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales.**

#### **3.2.8.1 Determinación de la población futura**

Para la determinación de la población futura necesaria para el dimensionamiento de la planta de Tratamiento de aguas residuales, se procedió a fijar el tiempo de vida útil del sistema de tratamiento, que de acuerdo a consideraciones realizadas por el GAD cantonal, se estableció un tiempo de vida útil de 20 años, que se encuentra entre los valores establecidos en la norma INEN 005-9-1 (15 a 30 años). (INEN 005-9-1, 1992) En relación a la población actual, se consideró un total de 6280 habitantes, el mismo que fue obtenido a partir de los resultados del censo Poblacional del 2010, en el cual se considera además una tasa de crecimiento poblacional equivalente al 1,73%. A partir de la población al 2017 se realizó la proyección a 20 años, tal como se observa a continuación:

$$P_{fa} = P(1 + rAt)$$

Ecuación 1

**Donde:**

**P** : Población; 5602 habitantes (INEC 2010)

**P<sub>fa</sub>**: Población actual: habitantes

**r** : Índice de crecimiento anual (%); 1,73% (INEC 2010)

**At** : variación del tiempo; 7 años

$$P_{fa} = 5602 * [1 + 0,0173(2017 - 2010)]$$

$$P_{fa} = 5602 * [1 + 0,0173(7)]$$

$$P_{fa} = 6280,4$$

$$P_f = P_{fa}(1 + rt)$$

Ecuación 2

**Donde:**

**P<sub>f</sub>**: Población futura

**P<sub>fa</sub>**: Población actual: 6280 habitantes

**r** : Índice de crecimiento anual (%); 1,73% (INEC 2010)

**t** : Periodo de vida útil; 20 años

$$P_f = P_{fa} * (1 + rt)$$

$$P_f = 6280,4 * [1 + 0,0173 * (2037 - 2017)]$$

$$P_f = 6280,4 * [1 + 0,0173 * (20)]$$

$$P_f = 8453,41 = 8453 \text{ habitantes}$$

Considerando los dos valores tanto de la población residente como de la población futura por urbanización citados en la Tabla 1-3, la población con la cual se trabajará en el diseño de la planta de tratamiento será de **19198 habitantes**, debido a que los procesos de lotización y urbanización contribuirían con un incremento de la población en cerca de 10745 habitantes.

### 3.2.8.2 Determinación de caudales

- **Cálculo del caudal de abastecimiento,  $Q_a$ :**

Para el siguiente cálculo se tomó en cuenta una población 19198 habitantes y la dotación per cápita de agua potable. Para una población comprendida entre los 5000 y 50000 habitantes se consideró de acuerdo a la normativa CO 10.7-601 una dotación promedio entre 100 y 200 L/hab.día, por lo que para el presente estudio, se consideró una población de 19198 habitantes con una dotación de agua per cápita de 150 L/hab.día, además un coeficiente de retorno de 0,75 establecido por EX-IEOS.1993. Finalmente se procedió a calcular el caudal de abastecimiento a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_a = \frac{P_f * Da}{1000 L/m^3}$$

Ecuación 3

**Donde:**

$Q_a$  : Caudal de abastecimiento de agua potable; m<sup>3</sup>/ día

$P_f$  : Población futura; 19198 habitantes

$Da$  : Dotación del agua consumida 150 L/hab.día CO 10.7-601

$$Q_s = \frac{19198hab * 150 L/hab.dia * 0.75}{1000 L/m^3}$$

$$Q_s = 2159,78 m^3/dia$$

• **Cálculo del caudal medio diario,  $Q_{medio}$ :**

El valor de  $k_1$  para el caudal medio diario ( $Q_{medio}$ ) es de 0,8 y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{medio} = k_1 * Q_s$$

Ecuación 4

**Donde:**

$Q_{medio}$  : Caudal medio diario  $m^3/$  día

$k_1$ : Constante del caudal medio diario: 0,8 adimensional (RAS, 2000)

$Q_s$ : Caudal servido;  $2159,78 m^3/$  día

$$Q_{medio} = 0,8 * 2159,78 m^3/$$
 día

$$Q_{medio} = 1727,82 m^3/$$
 día

• **Cálculo del caudal de diseño,  $Q_d$ :**

$$Q_d = \frac{Q_{medio}}{24}$$

Ecuación 5

**Donde:**

$Q_d$ : Caudal de diseño diario;  $m^3/$  día

$Q_{medio}$ : Caudal medio diario;  $1727,82 m^3/$  día

$$Q_d = \frac{1727,82 m^3/$$
 día}{24}

$$Q_d = 71,99 m^3/$$
 h



- Cálculo del caudal mínimo diario,  $Q_{\text{minino}}$ :

$$Q_{\text{minino}} = k_3 * Q_{\text{medio}}$$

Ecuación 6

**Donde:**

$Q_{\text{medio}}$ : Caudal medio diario ( $m^3/\text{dia}$ );  $1727,78 \text{ m}^3/\text{dia}$

$Q_{\text{minino}}$ : Caudal mínimo diario;  $m^3/\text{día}$

$k_3$  Constante para el caudal mínimo diario; 0,3 adimensional (RAS, 2000)

$$Q_{\text{minino}} = 0,3 * 1727,78 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{\text{minino}} = 518,33 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{\text{minino}} = 21,59 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Cálculo del caudal máximo diario,  $Q_{\text{máx}}$ :

$$Q_{\text{máx}} = k_2 * Q_{\text{medio}}$$

Ecuación 7

**Donde:**

$Q_{\text{medio}}$  : Caudal medio diario;  $1151,88 \text{ m}^3/\text{dia}$

$Q_{\text{máx}}$ : Caudal máximo diario;  $m^3/\text{día}$

$k_2$  Constante para el caudal máximo diario; 1,5 adimensional (RAS, 2000)

$$Q_{\text{máx}} = 1,5 * 1727,82 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{\text{máx}} = 2591,73 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{máx}} = 107,98 \text{ m}^3/\text{h}$$

• **Cálculo del caudal punta,  $Q_{punta}$ :**

El caudal punta es una de las variables de diseño más importantes para el diseño de una planta de tratamiento de agua residual, y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Q_{punta} = k_4 * Q_{medio}$$

Ecuación 8

**Donde:**

$Q_{punta}$ : Caudal punta  $m^3$ / día

$Q_{medio}$ : Caudal medio diario  $1727,82 m^3/día$

$k_2$  Constante para calcular el caudal punta; 2 adimensional (RAS, 2000)

$$Q_{punta} = 2 * 1727,82 m^3/día$$

$$Q_{punta} = 3455,64 m^3/día$$

$$Q_{punta} = 143,98 m^3/h$$

$$Q_{punta} = 0,03999 m^3/s$$

$$Q_{punta} = 39,99 \frac{L}{s} \cong 40 L/s$$

### 3.2.8.3 Cribado

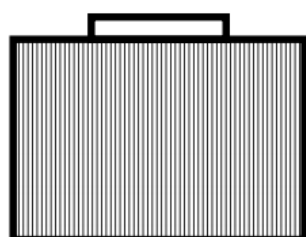
El proceso cribado es una operación donde se utiliza una criba, malla o rejilla, para separar o retener el material grueso sólido que se encuentra suspendido en el agua residual a tratar, pudiendo ser de naturaleza orgánico o inorgánico. En el tratamiento de aguas residuales se utilizan rejillas gruesas, principalmente de barras o varillas de acero, con la finalidad de precautelar el funcionamiento de bombas, válvulas, tuberías y equipos, etc... (ROMERO, 2002, p. 287). Es importante considerar ciertas especificaciones técnicas que vienen detalladas a continuación:

**Tabla 16-3** Características de diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual.

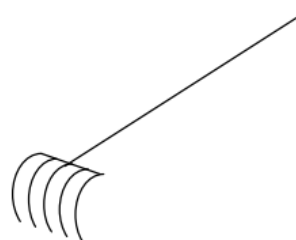
CARACTERÍSTICA	LIMPIEZA MANUAL	LIMPIEZA MECÁNICA
Ancho de las barras	0,5-1,5 cm	0,5-1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5-7,5 cm	2,5-7,5 cm
Velocidad de acercamiento	0,3-0,6 m/s	0,6-1 m/s
Perdida de energía Permisible	15cm	15cm
Abertura o espaciamiento	2,5-5,0 cm	1,5-7,5 cm
Pendiente con la vertical	30°-45°	0°-30°

Fuente: (Eddy, 1995)

Realizado por: Christian Córdova, 2018



Criba o rejillas



Rastrillo de limpieza

**Figura 5-3** Accesorios para el proceso de cribado.

Fuente: Diseño de la planta de agua residuales Betula (SANTANDER)

De acuerdo a la bibliografía antes citada, las rejillas pueden estar dispuestas en ángulos entre 45°-60°, conformadas por barras paralelas separadas a una distancia de 0,5- 5cm, dependiendo de las características de diseño. Las cribas o rejillas cumplen la función de detener partículas de diferentes tamaños incluyendo basura, evitando que ingresen a la planta de tratamiento, pudiendo generar daños en los procesos.

De acuerdo al sistema de limpieza, existen dos tipos de rejillas:

*Rejillas de limpieza manual:* Las rejilla de limpieza manual son ampliamente utilizadas en plantas de tratamiento pequeñas o medianas su función es retener los sólidos de gran tamaño como: palos,

residuos plásticos, basura entre otros, el diseño de la rejilla es inclinado para facilitar el mantenimiento por parte del operarios por medio de rastrillos o de forma manual, finalmente los desechos se depositan a un relleno sanitario o son incinerados. (Romero, 2002)

*Rejillas de limpieza mecánica:* Son utilizados en plantas de tratamiento de gran tamaño y que manejan caudales elevados por la cual cuentan con la presencia de gran cantidad de sólidos que no pueden ser limpiados de forma manual, por eso se utiliza componentes mecánicos para realizar el proceso, el principal problema con las rejillas mecánicas es su elevado costo de construcción. (Romero, 2002)



**Figura 6-3** Rejillas de limpieza manual y limpieza mecánica  
Realizado por. Christian Córdova 2018

### 3.2.8.3.1 *Calculo del sistema de rejillas*

El sistema de rejillas es uno de los principales métodos utilizados para la eliminación de contaminantes de gran tamaño presentes en las aguas residuales. El objetivo primordial de muchas de las primeras plantas de tratamiento era eliminar sólo las materias contaminantes visibles. (Ferrer y Seco, 2005)

Estas instalaciones se pueden clasificar en gruesas y finas. Los sistemas de enrejados gruesos se utilizan principalmente como sistemas de protección, mientras que los sistemas finos se utilizan para eliminar sólidos suspendidos los cuales pueden alcanzar un nivel importante de eliminación. (Ferrer y Seco, 2005)

Para el diseño del sistema de rejillas se consideró los criterios de diseño citados en la Tabla 16-3, además de los criterios que se muestran a continuación.

**Tabla 17-3** Criterios de diseño para rejillas.

PARÁMETRO	RECOMENDADO
Forma de barra	Rectangular
Ancho de barra	5-15
Espesor de barra	10-40
Abertura entre barras	25-50
Inclinación con la vertical	45-60
Velocidad de aproximación	0,45 m/s
Tiempo de retención del canal de aproximación	>3s
Velocidad a través de las barras	< 0,6m/s para caudal promedio y < 0,9 m/s para caudal máximo
Pérdida de carga	0,15

**Fuente:** Adaptado de Reynolds

**Realizado por:** Christian Córdova 2018

• **Cálculo del área libre de las rejillas,  $A_{libre}$ :**

$$A_{libre} = \frac{Q_{punta}}{v}$$

Ecuación 9

**Donde:**

$Q_{punta}$ : Caudal punta;  $0,03999 \text{ m}^3/\text{s}$

$A_{libre}$ : Área libre del paso de agua de las rejillas;  $\text{m}^2$

$v$ : Velocidad de flujo;  $0,60 \text{ m}/\text{s}$  (Valor obtenido en la tabla 16-3)

$$A_{libre} = \frac{0,03999 \text{ m}^3/\text{s}}{0,60 \text{ m}/\text{s}}$$

$$A_{libre} = 0,067 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de la altura del tirante en el canal,  $h_{tc}$ :**

Para el diseño del canal se realizó mediciones de campo para verificar el ancho del canal que fue de 0,8 m, el mismo que recolecta las aguas de los lugares aledaños a la parroquia y que posteriormente se desfogaran hacia el Río Guano, a través de una tubería de concreto. Para la determinación de la altura del tirante es importante considerar el ancho del canal y el área libre del paso de las rejillas.

Finalmente se procedió al calcular la altura del tirante del canal a partir de la siguiente ecuación.

$$h_{tc} = \frac{A_{libre}}{B_c}$$

Ecuación 10

**Donde:**

$A_{libre}$ : Área libre del paso de agua por las rejillas; 0,067 m<sup>2</sup>

$h_{tc}$ : Altura del tirante en el canal; m

$B_c$ : Ancho del canal (m); 0,8 m

$$h_{tc} = \frac{0,067 \text{ m}^2}{0,80 \text{ m}}$$

$$h_{tc} = 0,084 \text{ m}$$

- **Cálculo altura del tirante de construcción,  $h_c$ :**

$$h_c = h_{tc} + h_s$$

Ecuación 11

**Donde:**

$h_c$ : Altura del tirante de construcción; m

$h_{tc}$ : Altura del tirante en el canal; 0,084 m

$h_s$ : Altura de seguridad (m); 0,5 m

$$h_c = 0,084 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$$

$$h_c = 0,58 \text{ m}$$

- Cálculo de longitud de las barras,  $L_{barras}$ :

$$L_{barras} = \frac{h_a}{\text{Sen } \phi}$$

Ecuación 12

**Datos:**

$h_c$ : Altura del tirante de construcción; 0,58 m

$L_{barras}$ : Longitud de las barra (m)

$\phi$ : Ángulo de inclinación de las barra; 45° (Ver Tabla 17-3)

$$L_{barras} = \frac{0,58 \text{ m}}{\text{Sen } 45}$$

$$L_{barras} = 0.82 \text{ m}$$

$$L_{barras} = 0,82 \text{ m}$$

- Cálculo de la pérdida de carga en las barras ( $h_p$ ):

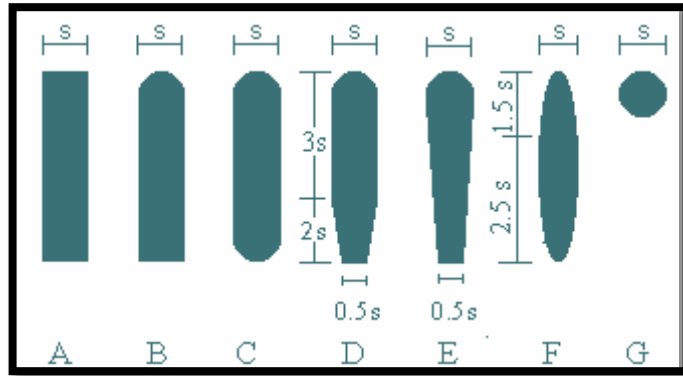
Para la determinación de la pérdida de carga en las barras se utilizó los coeficientes de pérdida, tal como se observa en la Tabla 18-3 a continuación.

**Tabla 18-3** Coeficiente de pérdida en función de la forma de las rejillas.

Sección transversal							
Forma de rejillas	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2,48	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: (RAS, 2000)

Realizado por: Christian Córdova 2018



**Figura 7-3** Formas de las rejillas  
Fuente: (RAS, 2000)

$$h_p = \beta \left( \frac{S_{barras}}{eb} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \text{sen } \phi$$

Ecuación 13

**Datos:**

$\beta$ : Factor de forma de las barras; 2,48 adimensional ver *Tabla 18-3*

$v$ : Velocidad de flujo ( $m/s$ ); 0,60  $m/s$

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ ) = 9,8  $m/s^2$

$\phi$ : Ángulo de inclinación de las barras (grados); 45° ver *Tabla 17-3*

$S_{barras}$  = Separación entre barras: 25 mm, ver *Tabla 17-3*

$eb$  = Espesor de barra: 0,010m ver *Tabla 17-3*

$$h_p = 2,48 \left( \frac{0,025 \text{ m}}{0,010 \text{ m}} \right)^{4/3} \left( \frac{0,60^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} \right) \text{Sen } 45$$

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

- Cálculo del número de barras,  $N_{barras}$ :

$$N_{barras} = \frac{B_c - S_{barras}}{eb + S_{barras}}$$

Ecuación 14

**Dónde**

$N_{barras}$  = Número de barras; m

$eb$  = Espesor de barra: 0,010m ver *Tabla 17-3*

$B_c$  = Ancho del canal (m); 0,8 m



$S_{barras}$  = Separación entre barras: 25 (mm), ver *Tabla 18-3*

$$N_{barras} = \frac{0,80 \text{ m} - 0,025 \text{ m}}{0,010 \text{ m} + 0,025 \text{ m}}$$

$$N_{barras} = 22,14$$

$$N_{barras} = 22 \text{ barras}$$

### 3.2.8.4 Cálculo del canal de entrada para la planta de tratamiento

- **Cálculo del radio hidráulico,  $RH$ :**

**Tabla 19-3** Capacidad de conducción de los canales revestidos

Altura del agua (m)	Anchura del fondo (m)	Pendiente longitudinal (porcentaje)			
		0,05	0,02	0,10	0,15
0,30	0,30	30-40	20-30*	40-60	40-70
0,40	0,50	70-120	40-70	100-160	120-200
0,60	0,80	230-370	140-240	320-530	400-650

Fuente: (RAS, 2000)

Realizado por: Christian Córdova 2018

$$RH = \frac{B_c * h}{B_c + 2h}$$

Ecuación 15

**Donde:**

$RH$ : Radio hidráulico (m)

$B_c$ = Ancho del canal (m); 0,8 m

$h$ : Altura del agua en el canal (m); 0,60 m (ver *Tabla 19-3*)

$$RH = \frac{(0,80 * 0,60) \text{ m}^2}{0,80 \text{ m} + 2(0,60 \text{ m})}$$

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

• **Cálculo de la velocidad media del canal,  $v_{md}$ :**

Para la determinación de la velocidad media del canal se lo calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$v_{md} = \frac{1}{n} RH^{2/3} S^{1/2}$$

Ecuación 16

Para la determinación del coeficiente de rugosidad se determinó el tipo de material con el que está compuesto el canal de recolección de las aguas residuales, tal como se observa en la Tabla 20-3 a continuación.

**Tabla 20-3** Coeficiente de rugosidad de Manning

Canales revestidos	n	1/n
Ladrillos, paredes bien construidas	0,013	76,92
Tablas, con crecimiento de algas/musgos	0,015	66,67
Tablas bastante derechas y sin vegetación	0,013	76,92
Tablas bien cepilladas y firmemente fijadas	0,011	90,91
Membrana de plástico sumergida	0,027	37,04
Ladrillos de mortero de cemento	0,020	50,00
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0,015	66,67
<b>Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas</b>	<b>0,013</b>	<b>76,92</b>
Ladrillos, paredes rugosas	0,015	66,67

Fuente: FAO

Realizado por: Christian Córdova, 2018

**Donde:**

**S:** Pendiente canal rectangular revestido de hormigón; 0,05 % *frente Tabla 19-3*

**n:** Coeficiente de rugosidad de Manning; 0,013 adimensional *frente Tabla 20-3*

**$v_{md}$ :** Velocidad media del canal m/s

**RH:** = Radio hidráulico; 0,24 m

$$v_{md} = \frac{1}{0,013} (0,24m)^{2/3} (0,0005)^{1/2}$$

$$v_{md} = 0,66 \text{ m/s}$$

- Cálculo de área transversal del canal  $A_c$ :

$$A_c = \frac{Q_{punta}}{v_{md}}$$

Ecuación 17

**Donde:**

$A_c$ : Área transversal del canal:  $m^2$

$Q_{punta}$ : Caudal punta;  $0,039 m^3/s$

$v_{md}$ : Velocidad media del canal;  $0,66 m/s$

$$A_c = \frac{0,03999 m^3/s}{0,66 m/s}$$

$$A_c = 0,06 m^2$$

- Cálculo de la altura máxima del agua en el canal,  $h_{Cmax}$ :

$$A_c = B_c * h$$

$$A_c = 2H * H$$

$$A_c = 2H^2$$

$$h_{Cmax} = \sqrt{\frac{A_c}{2}}$$

Ecuación 18

**Donde:**

$h_{Cmax}$ : Altura máxima del agua en el canal (m)

$A_c$ : Área transversal del canal:  $0,06 m^2$

$$h_{Cmax} = \sqrt{\frac{0,06 m^2}{2}}$$

$$h_{Cmax} = 0,17 m$$

• **Cálculo altura total del canal,  $H_{TC}$ :**

**Tabla 21-3** Borde libre de un canal.

Borde libre (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,40	Mayor a 0,50
0,30	Menor a 0,50

Fuente: (Pedro Rodríguez Rubio, 2008)

Realizado por: Christian Córdova 2018

Como tenemos un caudal menor a 0,50 m<sup>3</sup>/s se toma un borde libre de 0,30 m

$$H_{TC} = h_{Cmax} + b_{libre}$$

Ecuación 19

**Donde:**

$h_{Cmax}$ : Altura máxima del agua en el canal; 0,17 m

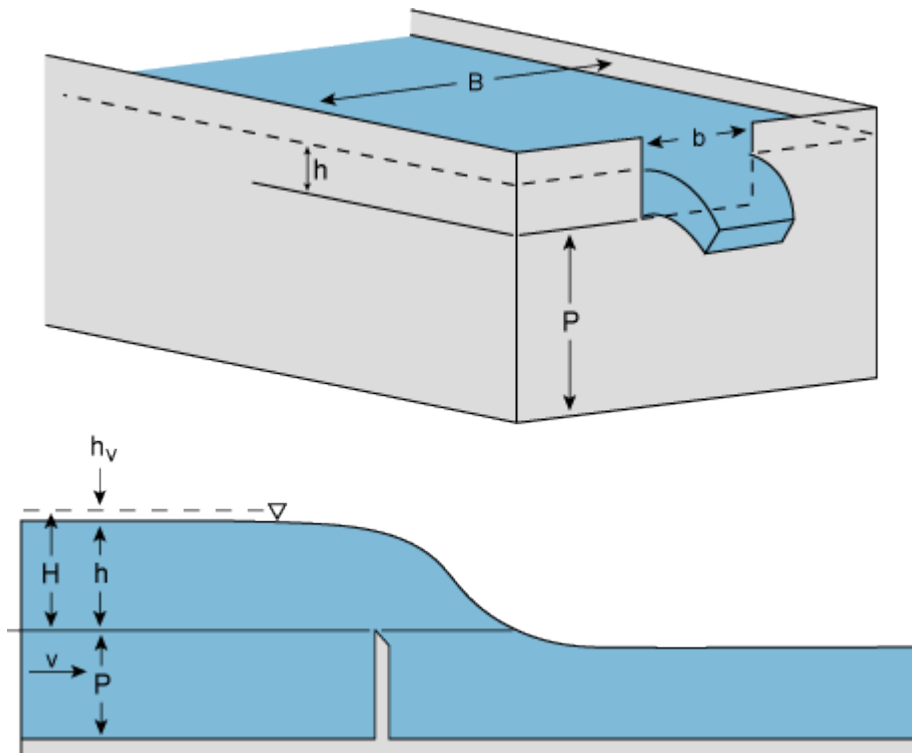
$b_{libre}$ : Borde libre; 0,30m (fuente Tabla 21-3)

$$H_{TC} = (0,17m + 0,30)m$$

$$H_{TC} = 0,47 m$$

### 3.2.8.5 Dimensionamiento de un Vertedero rectangular

Llamamos vertederos rectangulares a las estructuras que se oponen o impiden el paso de un flujo las cuales se caracterizan por forma geométrica regular en sus escotaduras que permite la medición de caudales y por la cual pasa el flujo. Comúnmente existen dos tipos de vertederos los de pared gruesa y delgada. Los de pared delgada se usan regularmente para determinaciones de caudales en el campo los de pared gruesa son usados para cuando existe un exceso de efluente. Existen 3 formas o tipos de vertederos los cuales son triangulares, rectangulares y trapezoides. (Romero Rojas, 2002)



**Figura 8-3** Vertedero de tipo rectangular  
Realizado por. Christian Córdova 2018

### 3.2.8.5.1 Cálculo de las dimensiones del vertedero rectangular

- **Cálculo Altura del canal vertedero,  $p_v$ :**

Se determinó por medio de un análisis de campo el cual consistió en determinar la profundidad (el tirante de agua) se obtuvo 0,135m de profundidad.

$$p_v = fs * H_{la}$$

Ecuación 20

**Donde:**

$p_v$ : Altura del vertedero

$fs$ : Factor de seguridad; 10%

$H_{la}$ : Altura de la lámina del agua; 0,135 m

$$p_v = 1,1(0,135m)$$

$$p_v = 0,148 m \cong 0.15 m$$

- **Cálculo largo del vertedero corregido,  $L_{cvc}$ :**

$$L_{cvc} = fs * L_{cv}$$

Ecuación 21

**Donde:**

$L_{cvc}$ : Largo del canal vertedero corregido; m

$fs$ : Factor de seguridad; 10%

$L_{cv}$ : Largo vertedero (m); 4m

$$L_{cvc} = 1.1(4 m)$$

$$L_{cvc} = 4,4 m$$

- **Cálculo Ancho del canal vertedero,  $B_v$ :**

$$B_v = \frac{Q_{punta}}{1,84H_{la}^{3/2}}$$

Ecuación 22

**Donde:**

$H_{la}$ : Altura de la lámina del agua; 0,135 m

$B_v$ : Ancho del canal vertedero: m

$Q_{punta}$ : Caudal punta:  $0,039 m^3/s$

$$B_v = \frac{0,03999 m^3/s}{1,84(0,135 m)^{3/2}}$$

$$B_v = 0,44 m$$

- Cálculo del caudal al interior del vertedero ( $q_{iv}$ )

$$q_{iv} = \frac{Q_{punta}}{B_v}$$

Ecuación 23

**Donde:**

$q_{iv}$ : Caudal al interior del vertedero  $m^2/s$

$B_v$ : Ancho del canal vertedero: 0,44 m

$Q_{punta}$ : Caudal punta:  $0,039 m^3/s$

$$q_{iv} = \frac{0,03999 m^3/s}{0,44 m}$$

$$q_{iv} = 0,091 m^2/s$$

- Cálculo de la profundidad crítica de flujo ( $p_{cf}$ ):

$$p_{cf} = \left( \frac{q_{iv}^2}{g} \right)^{1/3}$$

Ecuación 24

**Datos:**

$p_{cf}$ : Profundidad crítica de flujo; m

$q_{iv}$ : Caudal al interior del vertedero;  $0,091 m^2/s$

$g$ : Gravedad:  $9,8 m/s^2$

$$p_{cf} = \left( \frac{(0,091 m^2/s)^2}{9,8 m/s^2} \right)^{1/3}$$

$$p_{cf} = 0,095 m$$

- **Cálculo de la longitud del salto en el vertedero ( $L_{sv}$ )**

Se escogió una altura del vertedero de 0,50 m

$$L_{sv} = 4,3 p_{cf}^{0,1} h_v^{0,9}$$

Ecuación 25

**Dónde:**

$L_{sv}$ : Longitud de salto; m

$p_{cf}$ : Profundidad crítica de flujo; 0,095 m

$h_v$ : Altura de la pared del vertedero (0,5 m)

$$L_{sv} = 4,3(0,095 \text{ m})^{0,1}(0,5 \text{ m})^{0,9}$$

$$L_{sv} = 1,82 \text{ m}$$

### 3.2.8.6 Dimensionamiento del Desarenador

Los desarenadores son un tipo tratamiento en aguas residuales, que se usan para la remoción de sólidos inorgánicos tales como arena, grava, partículas u otro material sólido pesado, aprovechando el efecto de la gravedad sobre estos cuerpos, además de otras variables como la velocidad de asentamiento o peso específico. Los desarenadores protegen los otros procesos de la planta de agua residual del desgaste y reducen la formación de depósitos pesado en tuberías, canales y conductos. (Romero Rojas, 2002, p. 293)

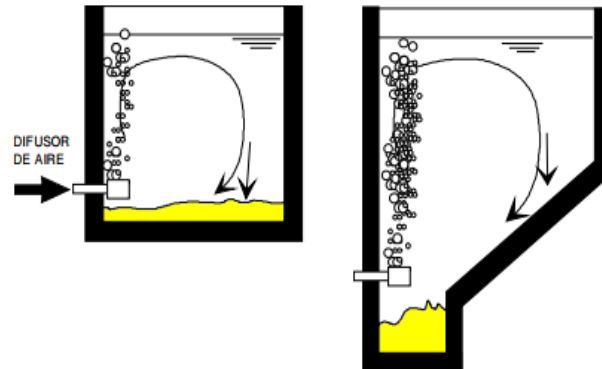
#### **Desarenador aireado**

El desarenador aireado es un sistema que se encarga principalmente de la remoción de partículas arenosas, además favorece la oxidación de ciertos parámetros por medio de la inyección del aire que ingresa, en su mayoría son similares a los tanques de aireación con un flujo en espiral estándar, estos sistemas se los puede utilizar también para la adición de ciertos reactivos químicos, mezclado y floculación previos al tratamiento primario. (Ferrer y Seco, 2005)

Al ingresar el agua residual a la cámara del desarenador, las partículas con mayor volumen tienden a sedimentarse en el fondo a velocidades que dependen del tamaño, peso específico y la velocidad de giro del aire en el interior del tanque. (Ferrer y Seco, 2005) La velocidad de difusión del aire

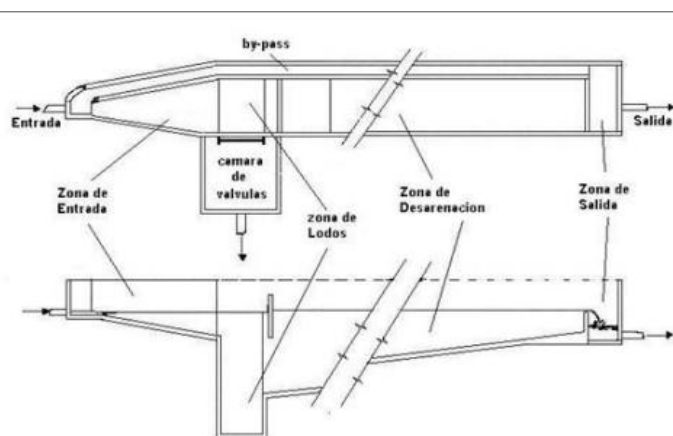


y la forma del tanque gobiernan la velocidad de rotación y por lo tanto el tamaño de partículas, que para un peso específico serán eliminadas, (Ferrer y Seco, 2005)



**Figura 9-3** Desarenador aireado.  
Fuente. Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2012

Los desarenadores se pueden dividir en cuatro zonas o partes:



**Figura 10-3** Partes de un desarenador.  
Fuente: Organización Panamericana de la salud, 2005

- a. **Zona de entrada.-** Tiene como principal función conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo de la unidad, uniformizando a su vez la velocidad. (OPS, 2005)
- b. **Zona de desarenación.-** Es la parte de la estructura donde se realiza el proceso de depósito de las partículas por acción de la gravedad y las corrientes de aire. (OPS, 2005)
- c. **Zona de salida.-** Está conformada por un vertedero de rebose diseñado para mantener una velocidad que no altere el reposo de las partículas sedimentadas. (OPS, 2005)

- d. **Zona de depósito.-** Constituida principalmente por una tolva con una pendiente mínima de 10% que permite el deslizamiento de las partículas sedimentadas hacia el canal de limpieza o de lodos. (OPS, 2005)

Además los desarenadores aireados presentan un sinnúmero de ventajas, entre las más importantes tenemos:

- El agua residual es aireada, lo que proporciona una eliminación adicional de Sólidos sedimentables y la DBO<sub>5</sub>. (Ferrer y Seco, 2005)
- La pérdida de carga a través del desarenador es mínima. (Ferrer y Seco, 2005)
- Se puede eliminar una arena con una baja putrescibilidad orgánica mediante el control de la velocidad de aireación. (Ferrer y Seco, 2005)
- Presenta la misma eficiencia en la eliminación de arenas para un amplio intervalo de caudales. (Ferrer y Seco, 2005)
- Puede ser utilizado para la eliminación de grasas situadas en la superficie, por medio de una placa deflectora en el extremo final del desarenador impidiendo así la salida de las mismas. (Ferrer y Seco, 2005)

### 3.2.8.6.1 Dimensionamiento del desarenador aireado.

Para el diseño de un desarenador aireado se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

**Tabla 22-3** Criterios de diseño en función de la geometría del desarenadores.

Parámetro	Desarenador aireado	Desarenador de flujo horizontal	Desarenador tipo vórtice
Relación Largo – Ancho	3:1 a 5:1	2,5:1 a 5:1	----
Relación Ancho – Profundidad	1:1 a 5:1	1:1 a 5:1	-----
Tiempo de retención	12 a 15	-----	-----
Cámara superior	----	----	1 a 7
Profundidad (m)	2 a 5	2 a 5	2,5 a 5
Longitud (m)	8 a 20	----	----
Ancho (m)	2,5 a 7	----	----

Fuente: (RAS, 2000)

Realizado por: Christian Córdova 2018

### 3.2.8.6.1.1 Cámara de quietamiento

- **Volumen de la cámara de quietamiento,  $V_{ca}$ :**

$$V_{ca} = Q_{punta} * t_r$$

Ecuación 26

**Donde:**

$V_{ca}$ : Volumen de la cámara de quietamiento  $m^3$

$t_r$ : Tiempo de retención; 60 s

$Q_{punta}$ : Caudal punta 0,039  $m^3/s$

$$V_{ca} = 0,03999 \text{ m}^3/s * 60s$$

$$V_{ca} = 2,39 \text{ m}^3 \cong 2,40 \text{ m}^3$$

- **Área de la cámara de quietamiento,  $A_{ca}$ :**

$$A_{ca} = \frac{Q_{punta}}{v_f}$$

Ecuación 27

**Dónde:**

$A_{ca}$ : Área superficial de la cámara de quietamiento;  $m^2$

$v_f$ : Velocidad de flujo de agua; 0,019 m/s *Valor tomado de los principios de diseño de* (Romero Rojas, 2002, p. 294)

$Q_{punta}$ : Caudal punta 0,039  $m^3/s$

$$A_{ca} = \frac{0,03999 \text{ m}^3/s}{0,019 \text{ m/s}}$$

$$A_{ca} = 2,1 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de la longitud y ancho de la cámara de quietamiento,  $L_{Ca}$ :**

$$L_{Ca} = \sqrt{A_{Ca}}$$

Ecuación 28

**Dónde:**

$B_{Ca}$ : Ancho de la cámara de quietamiento; m

$L_{Ca}$ : Longitud y ancho superficial de la cámara de quietamiento; m

$A_{Ca}$ : Área superficial de la cámara de quietamiento; 2,05 m<sup>2</sup>

$$B_{Ca} = L_{Ca} = \sqrt{2,1 \text{ m}^2}$$

$$L_{Ca} = 1,45 \text{ m} \cong 1,5 \text{ m}$$

$$B_{Ca} = 1,45 \text{ m} \cong 1,5 \text{ m}$$

- **Cálculo de la altura de la cámara de quietamiento,  $h_{Ca}$ :**

$$h_{Ca} = P_{Ca} * f$$

Ecuación 29

**Dónde:**

$h_{Ca}$ : Altura de la cámara de quietamiento; m

$f$ : Factor seguridad; 10%

$P_{Ca}$ : Profundidad de la cámara de quietamiento; 2 m fuente (Romero Rojas, 2002, p. 294)

$$h_{Ca} = 2 \text{ m} * 1,10$$

$$h_{Ca} = 2,2 \text{ m}$$

- **Cálculo del volumen del desarenador de tipo aireado  $V_{da}$ :**

Para realizar el cálculo del volumen del desarenador, necesitamos establecer el tiempo de retención hidráulica (véase Tabla 22-3)

$$V_{da} = Q_{punta} * tr$$

Ecuación 30

**Dónde:**

$tr$ : Tiempo de retención hidráulica (s); 14 min (tabla 22-3)

$V_{da}$ : Volumen útil de cada desarenador (m<sup>3</sup>)

$Q_{punta}$ : Caudal de diseño por unidad; 0,03999 m<sup>3</sup>/s

$$V_{da} = 0,03999 \text{ m}^3/\text{s} * 840 \text{ s}$$

$$V_{da} = 33,60 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área del desarenador  $A_d$ :

$$A_d = \frac{V_{da}}{h_d}$$

Ecuación 31

**Dónde:**

$A_d$ : Área del desarenador; m

$V_{da}$ : Volumen útil de cada desarenador; 33,60 m<sup>3</sup>

$h_d$ : Altura del desarenador; 2,5 (fuente Tabla 22-3)

$$A_d = \frac{33,60 \text{ m}^3}{2,5 \text{ m}}$$

$$A_d = 13,44 \text{ m}^2$$

- Cálculo del ancho del desarenador  $B_d$

$$B_d = \sqrt{\frac{A_d}{3}}$$

Ecuación 32

**Dónde:**

$B_s$ : Ancho del desarenador; m

$A_d$ : Área del desarenador; 13,44 m<sup>2</sup>

$$B_d = \sqrt{\frac{13,44 \text{ m}^2}{3}}$$

$$B_d = 2,11 \text{ m}$$

- **Cálculo de la longitud del desarenador,  $L_d$ :**

$$L_d = \frac{A_d}{B_d}$$

Ecuación 33

**Dónde:**

$L_d$ : Longitud del desarenador; m

$A_d$ : Área del desarenador; 13,44  $m^2$

$B_d$ : Ancho del desarenador; 2,11 m

$$L_d = \frac{13,44 \text{ m}^2}{2,11 \text{ m}}$$

$$L_d = 6,36 \text{ m} \cong 6,40 \text{ m}$$

- **Cálculo del área transversal del desarenador,  $A_{Td}$ :**

$$A_{Td} = B_d * h_d$$

Ecuación 34

**Dónde:**

$A_{Td}$ : Área transversal del desarenador;  $m^2$

$h_d$ : Altura del desarenador; 2,5 (*frente Tabla 22-3*)

$B_d$ : Ancho del desarenador; 2,11 m

$$A_{Td} = 2,11 \text{ m} * 2,5 \text{ m}$$

$$A_{Td} = 5,28 \text{ m}^2 \cong 5,30 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de la carga hidráulica en el desarenador  $C_d$ :**

$$C_d = \frac{Q_{punta}}{A_d}$$

Ecuación 35

**Dónde:**

$Q_{punta}$ : Caudal punta por unidad;  $0,03999 \text{ m}^3/\text{s}$

$C_d$ : Carga hidráulica del desarenador:  $\text{cm/s}$

$A_d$ : Área del desarenador;  $13,1 \text{ m}^2$

$$C_d = \frac{0,03999 \text{ m}^3/\text{s}}{13,44 \text{ m}^2}$$

$$C_d = 2,97 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$C_d = 0,29 \text{ cm/s}$$

### 3.2.8.6.1.2 Dimensionamiento de la zona de lodos

- **Longitud de entrada en el fondo del desarenador  $L_{el}$ :**

$$L_{el} = \frac{1}{3} L_d$$

Ecuación 36

**Dónde:**

$L_{el}$ : Longitud de la entrada la zona de lodos;  $\text{m}$

$L_d$ : Longitud del desarenador;  $6,29 \text{ m}$

$$L_{el} = \frac{1}{3} * 6,29 \text{ m}$$

$$L_{el} = 2,09 \text{ m} \cong 2,1 \text{ m}$$

- **Cálculo de la altura de la zona de lodos de la primera placa  $H_{zl}$ :**

Se asumió una pendiente del 10% para esta placa según criterios de diseño

$$H_{zl} = L_{el} * X$$

Ecuación 37

**Dónde:**

$H_{zl}$ : Altura de la zona de lodos de la primera placa (m)

$X$ : Inclinación de la primera placa en el fondo del desarenador (%); 10%

$L_{el}$ : Longitud de la entrada la zona de lodos; 2,09 m

$$H_{zl} = 2,09 \text{ m} * 0,10$$

$$H_{zl} = 0,209 \text{ m} \cong 0,21 \text{ m}$$

- Cálculo de la longitud de la placa de salida en la zona de lodos,  $L_{Sl}$ :

$$L_{Sl} = \frac{2}{3} L_s$$

Ecuación 38

**Dónde:**

$L_{Sl}$ : Longitud de la placa de salida en el desarenador; m

$L_d$ : Longitud del desarenador; 6,29 m

$$L_{Sl} = \frac{2}{3} * 6,29 \text{ m}$$

$$L_{Sl} = 4,19 \text{ m} \cong 4,20 \text{ m}$$

- Cálculo de la inclinación de la segunda placa en el fondo del desarenador  $X'$ :

$$X' = \frac{H_{zl}}{L_{Sl}}$$

Ecuación 39



**Dónde:**

$X'$ : Inclinación de la segunda placa en el fondo del desarenador (%)

$L_{sl}$ : Longitud de la placa de salida en el desarenador; 4,19 m

$H_{zl}$ : Altura de la zona de lodos de la primera placa; 0,209 m

$$X' = \frac{0,209 \text{ m}}{4,19 \text{ m}}$$

$$X' = 0,05$$

$$X' = 5\%$$

- **Cálculo del volumen del canal de limpieza en zona de lodos  $V_L$  :**

$$V_L = V_{da} * L_{\%}$$

Ecuación 40

**Dónde:**

$V_L$ : Volumen de limpieza de la zona de lodos; m<sup>3</sup>

$V_{da}$ : Volumen útil de cada desarenador; 33,60 m<sup>3</sup>

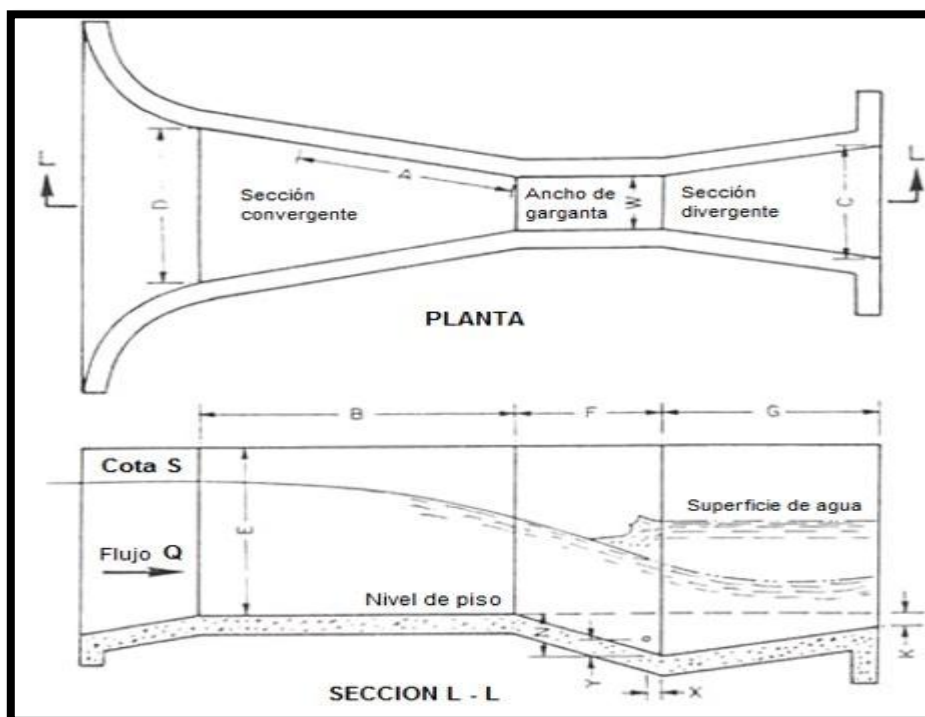
$L_{\%}$ : Porcentaje acumulación de lodos; 10%

$$V_L = 33,60 \text{ m}^3 * 0,10$$

$$V_L = 3,36 \text{ m}^3$$

### 3.2.8.7 Canal Parshall

El canal Parshall es un elemento que es usado para medir caudales en salidas de alcantarillas, aguas residuales y ríos, su funcionamiento se basa en la disminución de la anchura y la presencia de un resalto aumentando la aceleración del flujo, en este elemento se realizara la mezcla rápida del coagulante con el agua residual debido a la turbulencia que se produce a la salida de la misma. Un canal de Parshall tradicional cuenta con cuatro partes principales: Transición de entrada, Sección convergente, Garganta, Sección divergente. (Romero, 2002)



**Figura 11-3** Grafico canal Parshall  
Fuente: FAO

3.2.8.7.1 Dimensionamiento del canal Parshall

- Cálculo del ancho en la garganta del canal Parshall  $B_w$ :

**Tabla 23-3** Ancho de la canaleta en el canal Parshall.

ANCHO $B_w$ (pulgadas)	LIMITES DE CAUDAL (L/s)	
	Q máximo	Q mínimo
1	5,67	0,28
2	14,15	0,57
3	28,31	0,85
6	110,44	1,42
9	252,00	2,58
10	455,90	3,11

Fuente: (ROMERO, 2002)

Realizado por: Christian Córdova 2018

$$B_w = 9 \text{ pulgadas} = 0,229\text{m}$$

- Cálculo de la altura del agua en la sección de medición,  $H_m$ :

**Tabla 24-3** Valores de k y n, según el tamaño de W.

Ancho de la Garganta Parshall (m)	K	n
0,646	3,704	0,646
0,636	1,842	0,636
0,633	1,486	0,633
0,657	1,276	0,657
0,650	0,966	0,650
0,645	0,795	0,645
0,639	0,608	0,639
0,634	0,505	0,634
0,630	0,436	0,630
0,627	0,389	0,627
0,623	0,324	0,623

Fuente: (CEPIS, 2015)

Realizado por: Christian Córdova 2018

$$H_m = k * (Q_{punta})^n$$

Ecuación 41

**Dónde:**

$H_m$ : Altura del agua en la sección de medición; m

$Q_{punta}$ : Caudal de punta; 0,03999 m<sup>3</sup>/s

$k$ : Constante; 1,486 *adimensional* (fuente Tabla 24-3)

$n$ : Constante 0,633 *adimensional* (fuente Tabla 24-3)

$$H_m = 1,486 * (0,03999 \text{ m}^3/\text{s})^{0,633}$$

$$H_m = 0,19 \text{ m}$$

- Cálculo del ancho de entrada en la sección convergente  $B_{WC}$  :

**Tabla 25-3** Dimensiones de la canaleta Parshall.

W	A	B	C	D	E	F	G	K'	N	
Pulg-pie	cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	cm	cm	Cm	cm
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4
9"	22,9	88,0	86,4	39,0	57,5	76,3	30,5	61,0	7,6	11,4
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	45,7	7,6	22,9
1½'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
5'	152,3	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,0	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
8'	244,0	244,0	239,2	174,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
10'	305,0	274,5	427,9	366,0	475,9	475	91,5	183,5	15,3	34,3

Fuente: (CEPIS, 2015)

Realizado por: Christian Córdova 2018

$$B_{WC} = \frac{2}{3}(D - B_W) + B_W$$

Ecuación 42

**Dónde:**

$B_{WC}$ : Ancho entrada sección convergente (m)

$B_W$ : Ancho de la garganta (m); 0,229 m

$D$ : Dimensión de la canaleta; 0,575 m (fuente Tabla 25-3)

$$B_{WC} = \frac{2}{3} * (0,575 - 0,229) + 0,229$$

$$B_{WC} = 0,46 \text{ m}$$

- Cálculo de la velocidad en la sección de medición,  $v_{sm}$ :

$$V_{sm} = \frac{Q_{punta}}{H_m * B_{WC}}$$

Ecuación 43

**Dónde:**

$v_{sm}$ : Velocidad en la sección de medición m/s

$Q_{punta}$ : Caudal de punta; 0,03999 m<sup>3</sup>/s

$H_m$ : Altura del agua en la sección de medición; 0.19 m

$B_{WC}$ : Ancho entrada sección convergente; 0,46 m

$$v_{sm} = \frac{0,03999 \text{ m}^3/\text{s}}{0,19 \text{ m} * 0,46 \text{ m}}$$

$$v_{sm} = 0,46 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la carga hidráulica disponible  $C_{HD}$  :

$$C_{HD} = \frac{v_{sm}^2}{2g} + H_m + N$$

Ecuación 44

**Dónde:**

$C_{HD}$ : Carga hidráulica disponible; m

$N$ : Dimensiones de la canaleta; 0,114 m (*fuentes Tabla 25-3*)

$v_{sm}$ : Velocidad en la sección de medición; 0,46 m/s

$g$ : Gravedad; 9,8 m/s<sup>2</sup>

$H_m$ : Altura del agua en la sección de medición; 0.19 m

$$C_{HD} = \frac{(0,46 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} + 0,19 \text{ m} + 0,114 \text{ m}$$

$$C_{HD} = 0,31 \text{ m}$$

- Cálculo del caudal en la garganta del canal ,  $Q_c$ :

$$Q_c = \frac{Q_{punta}}{B_w}$$

Ecuación 45

**Dónde:**

$Q_c$ : Caudal específico en la garganta de la canaleta ( $m^3/s.m$ )

$B_w$ : Ancho de la garganta (m); 0,229 m

$Q_{punta}$ : Caudal de punta; 0,03999  $m^3/s$

$$Q_c = \frac{0,03999 \text{ m}^3/s}{0,229 \text{ m}}$$

$$Q_c = 0,17 \text{ m}^3/s.m$$

- Cálculo del ángulo de inclinación en canal  $\theta_c$ :

$$\theta_c = \cos^{-1} \left[ -\frac{Q_c * g}{\left(\frac{2g * C_{HD}}{3}\right)^{1,5}} \right]$$

Ecuación 46

**Dónde:**

$\theta_c$ : Angulo de inclinación; grados

$C_{HD}$ : Carga hidráulica; 0,31 m

$Q_c$ : Caudal específico en la garganta de la canaleta; 0,17  $m^3/s.m$

$g$ : Gravedad; 9,8  $m/s^2$

$$\theta_c = \cos^{-1} \left[ -\frac{0,17 \text{ m}^3/s.m * 9,8 \text{ m/s}^2}{\left(\frac{2(9,8 \text{ m/s}^2) * 0,31 \text{ m}}{3}\right)^{1,5}} \right]$$

$$\theta_c = 125,31^\circ$$

- Cálculo de la velocidad antes del resalto,  $v_{ar}$ :

$$v_{ar} = 2 \sqrt{\left(\frac{2C_{HD} * g}{3}\right) * \cos\left(\frac{\theta_c}{3}\right)}$$

Ecuación 47

**Dónde:**

$v_{ar}$ : Velocidad antes del resalto (m/s)

$g$ : Gravedad; 9,8 m/s<sup>2</sup>

$\theta_c$ : Angulo de inclinación; 125,31 °

$C_{HD}$ : Carga hidráulica; 0,31 m

$$v_{ar} = 2 \sqrt{\left(\frac{2(0,31 \text{ m}) * 9,8 \text{ m/s}^2}{3}\right) * \cos\left(\frac{125,31}{3}\right)}$$

$$v_{ar} = 2,12 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la altura de agua antes del resalto,  $h_{ar}$ :

$$h_{ar} = \frac{Q_c}{v_1}$$

Ecuación 48

**Datos:**

$h_{ar}$ : Altura de agua antes del resalto; m

$v_{ar}$ : Velocidad antes del resalto; 2,12 m/s

$Q_c$ : Caudal específico en la garganta de la canaleta; 0,17 m<sup>3</sup>/s.m

$$h_{ar} = \frac{0,17 \text{ m}^3/\text{s.m}}{2,12 \text{ m/s}}$$

$$h_{ar} = 0,08 \text{ m}$$

- **Numero de Froude, F**

Es un número adimensional, el cual relaciona el efecto de las fuerzas de inercia con las fuerzas de gravedad las cuales actúan sobre un fluido.

Resalto; la superficie del agua es bastante lisa, la velocidad es prácticamente uniforme y la pérdida de carga es baja. No se requieren deflectores si el tanque es suficientemente largo,

$$F = \frac{v_{ar}}{(g * h_{ar})^{0,5}}; \quad 3 \geq F \geq 2$$

Ecuación 49

**Dónde:**

**F:** Número de Froude; adimensional

**g:** Gravedad; 9,8 m/s<sup>2</sup>

**h<sub>ar</sub>:** Altura de agua antes del resalto; 0,08 m

**v<sub>ar</sub>:** Velocidad antes del resalto; 2,12 m/s

$$F = \frac{2,12 \text{ m/s}}{(9,8 \text{ m/s}^2 * 0,08 \text{ m})^{0,5}}$$

$$F = 2,72 \cong 3$$

- **Cálculo de la altura después del resalto h<sub>dr</sub>:**

$$h_{dr} = \frac{h_{ar}}{2} * (\sqrt{1 + 8F^2} - 1)$$

Ecuación 50

**Dónde:**

**F:** Número de Froude; adimensional; 3

**h<sub>dr</sub>:** Altura de agua después del resalto; m

**h<sub>ar</sub>:** Altura de agua antes del resalto; 0,08 m

$$h_{dr} = \frac{0,08 \text{ m}}{2} * (\sqrt{1 + 8(3)^2} - 1)$$

$$h_{dr} = 0,33 \text{ m}$$



- Cálculo de la velocidad de resalto del canal  $v_r$ :

$$v_r = \frac{Q_{punta}}{h_{dr} * B_W}$$

Ecuación 51

**Dónde:**

$v_r$ : Velocidad después del resalto m/s

$h_{dr}$ : Altura de agua después del resalto; 0,33 m

$B_W$ : Ancho de la garganta (m); 0,229 m

$Q_{punta}$ : Caudal de punta; 0,03999 m<sup>3</sup>/s

$$v_r = \frac{0,03999 \text{ m}^3/\text{s}}{0,33 \text{ m} * 0,229 \text{ m}}$$

$$v_r = 0,53 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la altura a la salida del canal ,  $h_3$ :

$$h_{sc} = h_{dr} - (n - k)$$

Ecuación 52

**Dónde:**

$h_{sc}$ : Altura a la salida del canal; m

$h_{dr}$ : Altura de agua después del resalto; 0,33 m

$n$ : Dimensiones de la canaleta; 0,114 m (*fuentes tabla 25-3*)

$k$ : Dimensiones de la canaleta; 0,076 m (*fuentes tabla 25-3*)

$$h_{sc} = 0,33 \text{ m} - (0,114 \text{ m} - 0,076 \text{ m})$$

$$h_{sc} = 0,292 \text{ m}$$

- **Cálculo de la velocidad a la salida del canal  $v_{sc}$ :**

$$v_{sc} = \frac{Q_{punta}}{C * h_{sc}}$$

Ecuación 53

**Dónde:**

$v_{sc}$ : Velocidad en la sección de salida (m/s)

$Q_{punta}$ : Caudal de punta; 0,03999 m<sup>3</sup>/s

$h_{sc}$ : Altura a la salida del canal; 0,292 m

$C$ : Dimensiones de la canaleta; 0,39 m (*frente Tabla 25-3*)

$$v_{sc} = \frac{0,03999 \text{ m}^3/\text{s}}{0,39\text{m} * 0,292 \text{ m}}$$

$$v_{sc} = 0,35 \text{ m/s}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga en el resalto,  $h_R$ :**

$$p_{cr} = H_m + K' - h_{sc}$$

Ecuación 54

**Dónde:**

$p_{cr}$ : Pérdida de carga en el resalto; m

$H_m$ : Altura del agua en la sección de medición; 0.19 m

$K'$ : Constantes adimensionales; 0,076 m (*frente Tabla 25-3*)

$h_{sc}$ : Altura a la salida del canal; 0,292 m

$$p_{cr} = 0.19 \text{ m} + 0,076 \text{ m} - 0,292 \text{ m}$$

$$p_{cr} = 0,053 \text{ m}$$

- **Cálculo del tiempo de mezcla  $t_r$ :**

$$t_r = \frac{2G'}{v_r + v_{sc}}$$

Ecuación 55

**Dónde:**

$t_r$ : Tiempo de mezcla en el resalto (s)

$G'$ : Dimensión de la canaleta (m); 0,61 m (*frente Tabla 25-3*)

$v_r$ : Velocidad después del resalto 0,53 m/s

$v_{sc}$ : Velocidad en la sección de salida (m/s) ; 0,35 m/s

$$t_r = \frac{2(0,61 \text{ m})}{0,53 \text{ m/s} + 0,35 \text{ m/s}}$$

$$t_r = 1,38 \text{ s}$$

- **Gradiente de velocidad  $G$ :**

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} * \left(\frac{p_{cr}}{t_r}\right)}$$

Ecuación 56

**Dónde:**

$G$ : Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )

$t_r$ : Tiempo de mezcla; 1,38 s

$\gamma$ : Peso específico ( $kN/m^3$ ); 9,789  $kN/m^3$  (*frente Tabla 22-3*)

$p_{cr}$ : Pérdida de carga en el resalto; 0,053 m

$\mu$ : Viscosidad dinámica ( $N \cdot s/m^2$ );  $1,102 \times 10^{-3} N \cdot s/m^2$  (*frente Tabla 22-3*)

$$G = \sqrt{\frac{9,789 \text{ kN/m}^3}{1,102 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2} * \left(\frac{0,053 \text{ m}}{1,38 \text{ s}}\right)^{0,5}}$$

$$G = 18,46 \text{ s}^{-1}$$

### 3.2.8.8 *Floculador hidráulico horizontal*

La floculación es una operación que consiste en la aglomeración de materia coloidal coagulada y de materia que se encuentra en suspensión y divide por el efecto de la colisión entre las partículas. (Ferrer, Seco, 2005). Esto se produce por la adición de productos químicos que por acción de una lenta agitación produce la formación de flóculos los cuales tienden a sedimentarse. La sedimentación de estas partículas dependen principalmente de la velocidad de agitación la cual se debe realizar con mucho cuidado, debido a que si esta es demasiado fuerte, los esfuerzos cortantes producen la ruptura de los flóculos en partículas más pequeñas y por consiguiente una sedimentación lenta.

#### **Factores que incluyen en la floculación:**

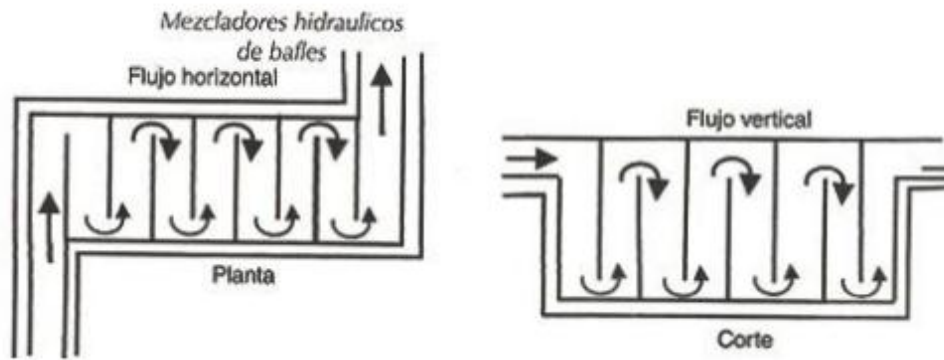
- Naturaleza del agua
- Variaciones del caudal
- Intensidad de la agitación
- Número de compartimentos de la unidad
- Gradiente de velocidad
- pH

Los floculadores pueden clasificarse en:

- **Floculadores mecánicos.**
- **Floculadores hidráulicos.**
- **Floculador hidráulico de flujo vertical.**
- **Floculador hidráulico de flujo horizontal.**

Para el presente proyecto se optó por la utilización de un sistema floculador hidráulico de flujo horizontal, en donde el agua se desplazará en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo un pequeño giro al final de cada uno de ellos. Para plantas pequeñas cuyos caudales no superan los 100 L/s se recomienda el uso y construcción del mismo. (Romero, 2002)

Por consiguiente para el presente sistema de tratabilidad se optó por la utilización de una construcción de asbesto-cemento (A.C), la cual muestra un bajo costo, y además no producirá ningún riesgo de contaminación a las aguas residuales que no sea ácidas o abrasivas. De esta manera, se le da mayor flexibilidad a la unidad reduciendo el área y por consiguiente los costos de construcción. (Romero, 2002)



**Figura 12-3** Floculadores Hidráulicos.

Fuente: (ROMERO, 2002)

### 3.2.8.8.1 Dimensionamiento de un floculador hidráulico horizontal

Para el diseño de un floculador se considera una pérdida de 5% de caudal por la remoción de lodos en el sedimentador que representa una disminución de flujo.

**Tabla 26-3** Criterios de diseño para un floculador hidráulico de flujo horizontal.

Tipo de pantalla	Profundidad	Unidad
<b>Asbesto-Cemento</b>	<b>1,0</b>	<b>m</b>
<b>Madera</b>	1,5-2,0	m

Fuente: (L. Cepeda Vargas)

Realizado por: Christian Córdova 2018

**Tabla 27-3** Dimensiones específicas para cada tipo de pantalla.

Tipo De Pantalla	Coficiente De Fricción Manning	Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)
<b>Asbesto-cemento corrugado</b>	<b>0,030</b>	<b>0,825</b>	<b>2,44</b>	<b>0,006</b>
Asbesto-cemento plana	0,013	1,22	2,44	0,01
Madera	0,012	-	-	-

Fuente: (L. Cepeda Vargas)

Realizado por: Christian Córdova 2018

Para el dimensionamiento del floculador hidráulico de flujo horizontal se optó por utilizar pantallas de Asbesto- cemento corrugado, debido a que ayuda a disminuir la diferencia que existe entre la gradiente de velocidad del canal y las vueltas. Según los criterios de diseño que se muestran en la tabla 27-3, se establece un ancho de la lámina igual a 0,825 m. El ancho de la unidad deberá ser igual a tres veces el ancho de la pantalla corrugada más el espaciamiento entre el extremo de las pantallas y la pared del tanque en el último tramo

**Tabla 28-3** Número de intensidad.

Norma	Gradiente de velocidad	Número de Camp
<b>FAIR</b>	$2 < G < 40s^{-1}$	$5000 < G.T > 50$
<b>CAMP</b>	$20 < G < 40s^{-1}$	
<b>AWWA</b>	$5 < G < 100s^{-1}$	$30000 < G.T > 15000$
<b>BRASIL</b>	$10 < G < 70s^{-1}$	
<b>STENKIST</b>	$G > 40s^{-1}$	
<b>HUDSON</b>		$G.T > 10$

Fuente: (L. Cepeda Vargas)

Realizado por: Christian Córdova 2018

- **Cálculo de área del canal floculador, ( $A_F m^2$ ):**

$$A_F = \frac{Q_p}{v_{sc}}$$

Ecuación 57

**Dónde:**

$v_{sc}$ : Velocidad de flujo a la salida del canal Parshall ( $0,35 \frac{m}{s}$ )

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/s$ );  $0,03999 m^3/s$  factor del 5% por pérdida en la sedimentación

$$A_f = \frac{0,03999 m^3/s}{0,35 \frac{m}{s}}$$

$$A_f = 0,11 m^2$$

- **Cálculo del ancho del canal de floculación, ( $a$ ,  $m$ ):**

$$a = \frac{A_f}{H_u}$$

Ecuación 58

**Dónde:**

$a$ : Ancho del canal de floculación (m)

$A_f$ : Área del floculador( $m^2$ ); 0,11  $m^2$

$H_u$ : Altura del agua en la unidad ( $m$ ); 0,6 m tabla 26-3 considerando un 10% de factor de seguridad

$$a = \frac{0,11 \text{ m}^2}{0,6 \text{ m}}$$

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

- **Cálculo del ancho de las vueltas de floculación,  $d$ :**

$$d = 1,5 * a$$

Ecuación 59

**Dónde:**

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m)

$a$ : Ancho del canal de floculación (m); 0,18

$$d = 1,5 * 0,18 \text{ m}$$

$$d = 0,28 \text{ m}$$

- **Cálculo del ancho del floculador con la ecuación,  $B_f$ :**

$$B_f = 3b_{ac} + d$$

Ecuación 60

**Dónde:**

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,28 m

$b_{ac}$ : Ancho útil de lámina A-C (m); 0,825 m valor de la tabla 27-3

$B_f$ : ancho del floculador (m)

$$B_f = 3(0,825) + 0,28$$

$$B_f = 2,75 \text{ m} \cong 2,8 \text{ m}$$

- **Cálculo de la longitud efectiva del canal,  $L_E$ :**

$$L_E = B_f - d$$

Ecuación 61

**Dónde:**

$L_E$ : Diámetro de la cámara de mezcla (m)

$B_f$ : ancho del floculador(m); 2,75 m

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,15 m

$$L_E = 2,75 \text{ m} - 0,28 \text{ m}$$

$$L_E = 2,47 \text{ m} \cong 2,5 \text{ m}$$

- **Cálculo de la distancia recorrida por el agua  $L_c$**

Se escogió un tiempo mínimo para que ocurra la floculación de 5 minutos, según la norma GOMELLA que establece un rango de entre 10 a 30 minutos, sin embargo especifica que preferentemente se debe tomar valores experimentales.

$$L_c = v * T_r$$

Ecuación 62



**Dónde:**

$v$ : Velocidad de flujo ( $0,34 \frac{m}{s}$ )

$L_c$ : distancia recorrida por el agua( $m$ );

$T_f$ : Tiempo para que ocurra la floculación;  $5 \text{ min}$

$$L_c = 0,35 \frac{m}{s} * 5 \text{ min} * 60s$$

$$L_c = 105 \text{ m}$$

- **Cálculo del número de canales,  $N_c$ :**

$$N_c = \frac{L_c}{B_f}$$

Ecuación 63

**Dónde:**

$N_c$ : Número de canales; unidades

$L_c$ : distancia recorrida por el agua en el floculador( $m$ );  $105 \text{ m}$

$B_f$ : ancho del floculador( $m$ );  $2,75 \text{ m}$

$$N_c = \frac{105 \text{ m}}{2,75 \text{ m}}$$

$$N_c = 39,93 \text{ unidades}$$

$$N_c = 40 \text{ unidades}$$

- **Cálculo de la longitud del floculador,  $L$ :**

$$L = N_c(d + es)$$

Ecuación 64

**Dónde:**

$N_C$ : Número de canales; unidades

$es$ : Espesor del floculador *ver tabla 27-3* 0,006 m

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,28 m

$$L = 40 (0,28 + 0,006)$$

$$L = 11,21 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del floculador,  $V_f$ :

$$V_f = L * B_f * H_u$$

Ecuación 65

**Dónde:**

$B_f$ : ancho del floculador(m); 2,75 m

$H_u$ : Altura del agua en la unidad (m); 0,6 m *tabla 26-3* considerando un 10% de factor de seguridad

$L$ : Longitud del floculador 11,21 m

$$V_f = 11,21 \text{ m} * 2,75 \text{ m} * 0,6 \text{ m}$$

$$V_f = 18,49 \text{ m}^3 \cong 19 \text{ m}^3$$

- Cálculo de la pérdida de carga de las vueltas del floculador,  $h_{c1}$ :

$$h_{c1} = \frac{kv^2(N_C - 1)}{2g}$$

Ecuación 66

**Datos:**

$h_{c1}$ : Pérdida de carga de las vueltas del floculador (m);

$N_C$ : Número de canales; 40 unidades

$v$ : Velocidad de flujo ( $0,35 \frac{m}{s}$ )

$$h_{c1} = \frac{3 * (0,35 \frac{m}{s})^2 (40 - 1)}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{c1} = 0,73 \text{ m}$$

- **Cálculo del perímetro mojado en la sección del tramo,  $P$ :**

$$P = 2H_u + d$$

Ecuación 67

**Dónde:**

$H_u$ : Altura del agua en la unidad (m); 0,6 m tabla 26-3 considerando un 10% de factor de seguridad

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,28 m

$$P = 2 * 0,6 \text{ m} + 0,28 \text{ m}$$

$$P = 1,48 \text{ m}$$

- **Cálculo del radio hidráulico de los canales,  $R_H$ :**

$$R_H = \frac{A_f}{P}$$

Ecuación 68

**Dónde:**

$A_f$ : Área del floculador( $m^2$ ); 0,11  $m^2$

$P$ : Perímetro mojado en la sección del tramo; 1,48 m

$$R_H = \frac{0,11 \text{ m}^2}{1,48 \text{ m}}$$

$$R_H = 0,067 \text{ m} \cong 0,07 \text{ m}$$

- Cálculo de la pérdida de carga en los canales del tramo,  $H_{c2}$ :

$$H_{c2} = \frac{(nv)^2}{R_H^{\frac{4}{3}}} * L_c$$

Ecuación 69

**Dónde:**

$H_{c2}$ : Pérdida de carga en los canales del tramo(m);

$R_H$ : Radio hidráulico de los canales del tramo; 0,067 m

$n$ : Coeficiente de fricción de Manning; 0,03 ver tabla 27-3

$L_c$ : distancia recorrida por el agua(105)

$v$ : Velocidad de flujo (0,35  $\frac{m}{s}$ )

$$H_{c2} = \frac{(0,03 * 0,35 \frac{m}{s})^2}{0,067 m^{\frac{4}{3}}} * 105 m$$

$$H_{c2} = 0,42 m$$

- Cálculo de la pérdida de carga total del tramo con la ecuación,  $H_{cT}$ :

$$H_{cT} = H_{c2} + h_{c1}$$

Ecuación 70

**Dónde:**

$H_{c2}$ : Pérdida de carga en los canales del tramo 0,42 m

$H_{cT}$ : • Pérdida de carga total del tramo (m);

$h_{c1}$ : Pérdida de carga de las vueltas 0,73 m

$$H_{cT} = 0,42 m + 0,73 m$$

$$H_{cT} = 1,15 m$$

- **Gradiente de velocidad,  $G$ :**

$$G = \sqrt{\frac{\rho_f}{u} * \frac{H_{cT}}{T_r}}$$

Ecuación 71

**Dónde:**

$T_r$ : Tiempo para que ocurra la floculación; 5 *mim*

$H_{cT}$ : Pérdida de carga total del tramo 1,73 m

$\rho_f$ : Densidad del fluido a la temperatura de 20°C;  $998 \frac{kg}{m^3}$

$u$ ; Viscosidad del fluido a la temperatura de 20°C;  $0,9463 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s}$

$$G = \sqrt{\frac{998 \frac{kg}{m^3}}{0,9463 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s}} * \frac{1,15 m}{300 s}}$$

$$G = 63,58 s^{-1} \cong 69 s^{-1}$$

El gradiente de velocidad se encuentra dentro de la norma AWWA  $5 < G < 100 s^{-1}$

- **Número de Camp,  $G_T$ :**

$$G_T = G * T_r$$

Ecuación 72

**Datos:**

$T_r$ : Tiempo para que ocurra la floculación; 5 *mim*

$G$ : Gradiente de velocidad;  $63,58 s^{-1}$

$$G_T = 63,58 s^{-1} * 300 s$$

$$G_T = 19074$$

El número de Camp se encuentra dentro de la norma AWWA  $30000 < G.T > 15000$

- **Cálculo de la Dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)**

La dosificación del PAC se realizó por vía húmeda para la tratabilidad del agua residual, adicionándose 4 ml al 10% de concentración de PAC. El cálculo se lo realizó para un caudal de diseño máximo diario de 2591730 L/día, con una turbiedad inicial de 94 NTU y una turbiedad final de 4,59.

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

Ecuación 73

**Donde:**

$C_1$  : Concentración de la solución patrón; ppm

$V_1$ : Volumen de la solución patrón requerido; L

$V_2$ : Volumen de agua residual; L

$$C_2 = \frac{100000 * 0,004}{1}$$

$$C_2 = 400 \text{ ppm}$$

$$C_2 = 400 \text{ mg/L}$$

$$C_2 = 0,4 \text{ g/l}$$

- **Cálculo del volumen de la dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)**

$$P_{PAC} = Q_{punta} * Dosis \text{ PAC}$$

Ecuación 74

$$P_{PAC} = \frac{2591730 \text{ L}}{\text{dia}} * \frac{4 \text{ ml}}{\text{l}}$$

$$P_{PAC} = 10366 \text{ L/dia}$$

- **Cálculo de la cantidad de Policloruro de Aluminio por día**

$$M_{PAC} = P_{PAC} * C_2$$

Ecuación 75

**Donde:**

$M_{PAC}$ : Cantidad de Policloruro de Aluminio por día

$P_{PAC}$ : Volumen de la dosificación de la solución de PAC

$C_2$ : Concentración de PAC óptimo en el test de jarras, en peso

$$M_{PAC} = 10366 \text{ L/día} * 0.4 \text{ g/L}$$

$$M_{PAC} = 4146,4 \text{ g/día}$$

$$M_{PAC} = 4,14 \text{ Kg/día}$$

- **Cálculo del costo de dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)**

$$C_{PAC} = M_{PAC} * PRECIO_{PAC}$$

Ecuación 76

$$C_{PAC} = 4,14 \text{ Kg/día} * 0,75 \text{ dolares/Kg}$$

$$C_{PAC} = 3,11 \text{ dolares/día}$$

$$C_{PAC} = 93,15 \text{ dolares/mes}$$

$$C_{PAC} = 1117,8 \text{ dolares/año}$$

La presentación del PAC viene en 25 kg saco cuyo valor es \$ 0,75/kg

$$T_{PAC} = M_{PAC} * 365$$

$$T_{PAC} = 4,14 \frac{Kg}{día} * 365 \frac{días}{año} * \frac{saco}{25 Kg}$$

$$T_{PAC} = 60,44 \text{ sacos/año} \cong 61 \text{ sacos/año}$$

### 3.2.8.9 Sedimentador.

La sedimentación es una operación unitaria en la cual se elimina la materia suspendida en una fase líquida por decantación, haciendo uso de su mayor densidad con respecto al líquido en el cual se encuentra, es decir por medio de fuerzas gravitatorias. El proceso de sedimentación ha sido y seguirá siendo uno de los más comúnmente utilizados en los sistemas de tratamiento de agua residual y agua dulce. (Ferrer y Seco, 2005)

En el tratamiento de aguas residuales los principales usos de la sedimentación son para la eliminación de arena, sólidos gruesos, sólidos suspendidos y para la decantación de los flocs formados en procesos de floculación. (Ferrer y Seco, 2005)

- **Sedimentación Floculada**

La sedimentación floculada se refiere a las partículas que se encuentran en soluciones relativamente diluidas, las cuales se agregan o van formando flocs durante el proceso de sedimentación. Estas partículas al momento que se van uniendo aumenta su masa y por consiguiente su velocidad de sedimentación también aumenta. (Ferrer y Seco, 2005)

#### 3.2.8.9.1 Dimensionamiento del sedimentador.

Para realizar el dimensionamiento del sedimentador se debe tener en cuenta que el número de Reynolds se debe encontrar en flujo laminar, además que la característica crítica de funcionamiento ( $Sc$ ) es de 1 para laminas paralelas, las cuales tienen una separación de entre 5 a 8 cm y cuentan con un ángulo de inclinación de  $60^\circ$ . (Pérez, 1981)



Además se debe tener en cuenta también los diferentes criterios de diseño que se muestran a continuación.

**Tabla 29-3** Criterios de diseño para un sedimentador.

Características	Valor	
	Típico	Intervalo
Tiempo de retención a caudal punta (h)	0.5	≤ 1
Carga sobre vertedero a caudal punta (m <sup>3</sup> /m.h)	40	40
Calado (m)	3	2.5 – 3.5
Carga superficial a caudal punta (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día)	150	60 – 300
Angulo de inclinación	60°	60°

Fuente: Ferrer y Seco, 2005

Realizado por: Christian Córdova, 2018

- Cálculo del área de sedimentación,  $A_s$ :

$$A_s = \frac{Q_p}{C_s}$$

Ecuación 77

**Donde:**

$A_s$ : Área de sedimentación (m<sup>2</sup>)

$Q_p$ : Caudal punta (m<sup>3</sup>/s). 0.03999

$C_s$ : Carga superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.s);  $2.31 \cdot 10^{-3}$  (ver tabla 29-3)

$$A_s = \frac{0.03999}{2.31 \cdot 10^{-3}}$$

$$A_s = 17,31 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de la velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas ,  $v_o$ :**

$$v_o = \frac{Q_p}{A_s * \sin \theta}$$

Ecuación 78

**Donde:**

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas (cm/s)

$Q_p$ : Caudal punta (m<sup>3</sup>/s); 0.03999

$A_s$ : Área de sedimentación (m<sup>2</sup>); 17,31 m<sup>2</sup>

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación (grados); 60°

$$v_o = \frac{0,03999}{17,31 * \sin 60}$$

$$v_o = 2,66 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$v_o = 0.26 \text{ cm/s}$$

- **Cálculo de la longitud relativa del sedimentador,  $L_r$ :**

$$L_r = \frac{I}{d_p}$$

Ecuación 79

**Donde:**

$L_r$ : Longitud relativa del sedimentador (m)

$I$ : Longitud recorrida a través de la placa (m); 1.20

$d_p$ : Ancho del conducto o espaciamiento entre las placas (m); 0.06 según parámetros de diseño (Pérez, 1981)

$$L_r = \frac{1.20}{0.06}$$

$$L_r = 20 \text{ m}$$

- **Cálculo del número de Reynolds;  $N_{RE}$**

$$N_{RE} = \frac{v_0 * d_p}{\vartheta}$$

Ecuación 80

**Donde:**

$N_{RE}$ : Número de Reynolds (Adimensional)

$v_0$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas (m/s);  $2.667 * 10^{-3}$

$d_p$ : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas (m); 0,06 m

$\vartheta$ : Viscosidad cinemática del agua a 15°C ( $m^2/s$ );  $1.140 * 10^{-6} m^2/s$

$$N_{RE} = \frac{2.667 * 10^{-3} * 0,06}{1,140 * 10^{-6}}$$

$$N_{RE} = 140.37 \text{ Regimen Laminar}$$

- **Cálculo de la longitud de transición,  $L'$ :**

$$L' = 0,013 * N_{RE}$$

Ecuación 81

**Donde:**

$L'$ : Longitud de transición (m)

$N_{RE}$ : Número de Reynolds (Adimensional); 140.37

$$L' = 0,013 * 140.37$$

$$L' = 1.82$$

- Cálculo de la longitud relativa del sedimentador en la longitud de transición,  $L_{cr}$ :

$$L_{cr} = L_r - L'$$

Ecuación 82

**Donde:**

$L_{cr}$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en la longitud de transición

$L_r$ : Longitud relativa del sedimentador; 20

$L'$ : Longitud de transición (m); 1.82

$$L_{cr} = 20 - 1.82$$

$$L_{cr} = 18.18$$

- Cálculo de la velocidad de sedimentación crítica;  $v_{sc}$ :

$$v_{sc} = \frac{S_c * v_0}{\text{sen}\theta + (L_{cr} * \text{cos}\theta)}$$

Ecuación 83

**Donde:**

$v_{sc}$ : Velocidad de sedimentación crítica ( $cm/s$ )

$S_c$ : Característica crítica de funcionamiento para láminas paralelas (Adimensional); 1

$v_0$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas (m/día); 229,82

$L_{cr}$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en la longitud de transición; 18.18

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa (grados);  $60^\circ$

$$V_{sc} = \frac{1 * 229,82}{\text{sen } 60 + (18.18 * \text{cos } 60)}$$

$$V_{sc} = 23,08 \text{ m/día}$$

$$V_{sc} = 0.026 \text{ cm/s}$$

- Cálculo del tiempo de retención en las placas,  $t_{rp}$ :

$$t_{rp} = \frac{I}{v_0}$$

Ecuación 84

**Donde:**

$t_{rp}$ : Tiempo de retención en las placas (min)

$I$ : Longitud recorrida a través de la placa (m); 1.82 m

$v_0$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas ( $m/s$ );  $2.667 * 10^{-3}$

$$t_{rp} = \frac{1,82}{2.667 * 10^{-3}}$$

$$t_{rp} = 682.41 \text{ s}$$

$$t_{rp} = 11.3 \text{ min} \cong 11 \text{ min}$$

- Cálculo del tiempo de retención en el tanque sedimentador,  $T_{RH}$ :

$$T_{RH} = \frac{A_s * H_s}{Q_p}$$

Ecuación 85

**Donde:**

$T_{RH}$ : Tiempo de retención (min)

$A_s$ : Área de sedimentación ( $m^2$ );  $17,31 \text{ m}^2$

$H_s$ : Altura total o calado (m); 3 m (ver tabla 29-3)

$Q_p$ : Caudal de punta ( $m^3/s$ ); 0,03999

$$T_{RH} = \frac{17,31 * 3}{0,03999}$$

$$T_{RH} = 1298,57 \text{ s}$$

$$T_{RH} = 21,64 \text{ min} \cong 22 \text{ min}$$

- **Cálculo del ancho del sedimentador,  $a_s$ :**

$$a_s = \sqrt{\frac{A_s}{2}}$$

Ecuación 86

**Donde:**

$a_s$ : Ancho del sedimentador (m)

$A_s$ : Área del sedimentador ( $m^2$ ); 17,31

$$a_s = \sqrt{\frac{17,31}{2}}$$

$$a_s = 2,9 \text{ m}$$

- **Cálculo de longitud del sedimentador,  $l_s$ :**

$$l_s = a * 2$$

Ecuación 87

**Donde:**

$l_s$ : Longitud del sedimentador (m)

$a$ : Ancho del sedimentador (m); 2,9

$$l_s = 2,9 * 2$$

$$l_s = 5,8 \text{ m}$$

• Cálculo del número de placas por modulo;  $N_p$ :

$$N_p = \frac{(l_s * \text{sen}\theta) + d_s}{d_s + e_p}$$

Ecuación 88

**Donde:**

$N_p$ : Número de placas por modulo (Unidad)

$l_s$ : Longitud del sedimentador (m); 2,9

$d_p$ : Separación entre placas (*según bibliografía*) (m); 0,060 m

$e_p$ : Espesor de las placas (*según bibliografía*) (m); 0,01 m

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa (grados); 60°

$$N_p = \frac{[5,8 * \sin 60] + 0,060}{0,060 + 0,01}$$

$$N_p = 72 \text{ placas}$$

• Cálculo del volumen del sedimentador,  $V_s$ :

$$V_s = l_s * a * h$$

Ecuación 89

**Donde:**

$V_s$ : Volumen del sedimentador ( $m^3$ )

$l_s$ : Longitud del sedimentador (m); 5,8

$a_s$ : Ancho del sedimentador (m); 2,9

$h$ : Altura del sedimentador (m); 3

$$V_s = 5,8 * 2,9 * 3$$

$$V_s = 50,46 m^3$$

• **Cálculo del dimensionamiento de altura:**

$H_{sp}$ : Altura del agua sobre las placas: 0,22m

$H_p$ : Altura de ubicación de las placas:  $(1.200 * \text{sen}(60)) = 1,040\text{m}$

$H_{dp}$ : Altura por debajo de las placas: 1,24m

3.2.8.10 *Dimensionamiento del tanque de desinfección*

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. Las tres clases de organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, virus y quistes amebianos. Las enfermedades típicas transmitidas por aguas residuales son tifus, cólera, paratífus y disentería bacilar, las enfermedades causadas por virus y transmitidas de la misma forma por aguas residuales son la poliomielitis y la hepatitis infecciosa. (Ferrer y Seco, 2005)

Los compuestos derivados de cloro más comúnmente utilizados en las plantas de tratamientos de aguas residuales son:

- *Hipoclorito de sodio*.- este derivado del cloro se presenta en forma líquida altamente corrosiva, la cantidad de cloro en una solución comercial de este tipo se encuentra entre un 1% a 15% en porcentaje en peso de cloro activo.
- *Hipoclorito de calcio*.- es una de las formas en las cuales el cloro se encuentra en estado sólido, este compuesto derivado del cloro es muy soluble en agua y presenta un porcentaje en peso del 65% de cloro activo.
- *Cloro gas*.- como su nombre lo indica se encuentra en estado gaseoso, se aplica mediante un cilindro en el cual se encuentra el gas cloro comprimido a una presión al vacío. La forma de dosificar el cloro gaseoso es por medio de un diafragma de control que inyecta de forma regulada el gas que se evapora en el tanque. (Ferrer y Seco, 2005, p 140)



- **Determinación del volumen del tanque de cloración**

$$v_{tc} = Q_p * T$$

Ecuación 90

**Dónde:**

$Q_p$ : Caudal punta 0,03999 ( $m^3/s$ )

$v_{tc}$ : Volumen del tanque de cloración

$T$ : Tiempo de retención 1800 s

$$v_{tc} = 0,03999 * 1800$$

$$v_{tc} = 71,99 m^3 \cong 72 m^3$$

- **Determinación del área del tanque :**

$$A_{tc} = \frac{v_{tc}}{H_{tc}}$$

Ecuación 91

**Dónde:**

$A_{tc}$ : Área del tanque de cloración ( $m^2$ )

$H_{tc}$ : Altura del tanque 2 m

$v_{tc}$ : Volumen del tanque 71,99 m

$$A_{tc} = \frac{71,99 m^3}{2}$$

$$A_{tc} = 35,99 m^2 \cong 36 m^2$$

- **Determinación de ancho del tanque:**

$$B_{tc} = \frac{A_{tc}}{L_{tc}}$$

Ecuación 92

**Dónde:**

$A_{tc}$ : Área del tanque de cloración 35,99 ( $m^2$ )

$B_{tc}$ : ancho del tanque de cloración m

$L_{tc}$ : Longitud del tanque de cloración 8 m

$$B_{tc} = \frac{36}{8}$$

$$B_{tc} = 4,5 \text{ m}$$

### 3.2.8.10.1 Dosificación del hipoclorito de sodio

- **Cálculo para la dosificación de Hipoclorito de sodio consumida en un día.**

$$D_{NaClO} = 0,012 * Q_p * C$$

Ecuación 93

**Dónde:**

$D_{NaClO}$ : Cantidad de solución de hipoclorito de sodio consumida

$Q_p$ : Caudal punta 3455,64  $m^3$ / día

$C$ : Volumen de la solución de Hipoclorito de sodio 6,3 ml valor sugerido mediante ensayos de laboratorio.

$$D_{NaClO} = 0,012 * 3455,64 * 6,3$$

$$D_{NaClO} = 261,24 \text{ L/día}$$

- **Cálculo del volumen de Hipoclorito de sodio para la preparación de solución madre.**

$$V_{NaClO} = \frac{D_{NaClO} * C_{NaClO}}{V_{sol}}$$

Ecuación 94

**Dónde:**

$V_{NaClO}$ : Volumen de Hipoclorito de sodio

$C_{NaClO}$ : Cantidad de Hipoclorito de sodio a diluir.

$V_{sol}$ : Volumen de la solución.

$$V_{NaClO} = \frac{261,24 * 10}{1000}$$

$$V_{NaClO} = 2,61 \frac{L}{día}$$

- **Cálculo del volumen de agua para la preparación de solución madre.**

$$V_{H2O} = D_{NaClO} - V_{NaClO}$$

Ecuación 95

**Dónde:**

$V_{NaClO}$ : Volumen de agua para preparar solución madre

$$V_{H2O} = 261,24 - 2,61$$

$$V_{H2O} = 258,39 \frac{L}{día}$$

En 258,63 L de agua se van a mezclar con 2,61 L de hipoclorito de sodio para la preparación de la solución madre.

- La solución por goteo se calcula utilizando la siguiente conversión:

$$Goteo = 261,24 \frac{L}{día} * \frac{1000 mL}{1 L} * \frac{1 día}{24 h} * \frac{1 h}{60 min}$$

$$Goteo = 181,4 \text{ ml/min}$$

### 3.2.8.11 Dimensionamiento del Lecho de secado

Uno de los principales problemas en el tratamiento de las aguas residuales está relacionado con el tratamiento y disposición de lodos, este problema radica en concentrar los sólidos por medio de la máxima remoción posible de agua y disminuir su carga orgánica, la cual si no es correctamente tratada periódicamente estos lodos sufren un proceso de descomposición causando malos olores, emisión de gases, y efectos indeseables que son un foco de contaminación para el medio ambiente, por esta razón es importante su tratamiento y disposición. (Ferrer y Seco, 2005) Los lodos de una planta depuradora de agua residual se producen en los procesos como sedimentación, floculación -coagulación entre otros como:

- Lodos generados en la coagulación y sedimentación
- Lodos generados en desarenadores y rejillas
- Lodo primario generados en la sedimentación
- Lodo secundario generados en el tratamiento biológico
- Lodos digeridos generados en el tratamiento primario y secundario separado o mezclado.

(Romero Rojas, 2002, p. 95)

Los lechos de secado se caracterizan por ser sistemas sencillos y de bajo costo, su objetivo es disminuir la cantidad de agua en los lodos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. Esta operación tiene el objetivo de deshidratar el lodo por medio de la evaporación hasta obtener una humedad no mayor del 70 %. Al final del proceso se obtiene un lodo quebradizo de apariencia esponjosa y de fácil remoción, el lodo se retira del lecho y posteriormente debe ser tratado debido a que existe una combinación de lodos orgánicos y químicos, si se desea reutilizarlo.



**Figura 13-3** Lecho de secado de lodos

Fuente: <https://plantasdetratamiento.com.mx/m/gallery/lechos-de-secado/>

### 3.2.8.11.1 Dimensionamiento del lecho de secado

- **Contribución per cápita de los sólidos suspendidos**

La contribución de lodos por parte de la población se puede determinar de acuerdo a datos experimentales de laboratorio como los sólidos suspendidos, y un caudal punta de 2303,76 m<sup>3</sup>/día.

$$110 \frac{mg}{L} * \frac{1}{19198 \text{ habitantes}} * \frac{3955,64 \text{ m}^3}{1 \text{ día}} * \frac{1000L}{\text{m}^3} * \frac{1g}{1000mg} \\ = 22,66 \text{ g}_{SS}/\text{habitantes. día}$$

- **Determinación de la carga en fusión a la contribución de lodos por parte de la población,  $C_{lodos}$ :**

Se determinó la carga de lodos por medio de la siguiente ecuación

$$C_{lodos} = \frac{Pf * Cp}{1000}$$

Ecuación 96

**Dónde:**

$C_{lodos}$ : Carga de sólidos en suspensión; ( $Kg_{SS}/día$ )

$Pf$ : Población futura; 19198 habitantes

$Cp$ : Contribución per cápita; 22,66  $g_{SS}/\text{habitantes. día}$

$$C_{lodos} = \frac{19198 \text{ hab} * 22,66 \text{ g}_{SS}/\text{habitantes. día}}{1000}$$

$$C_{lodos} = 435,02 \text{ Kg}_{SS}/\text{día}$$

- **Determinación de la masa de los lodos,  $m_{lodos}$ :**

$$m_{lodos} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C_{lodos}) + (0,5 * 0,3 * C_{lodos})$$

Ecuación 97

**Dónde:**

$m_{lodos}$ : Masa de sólidos que constituyen los lodos

$C_{lodos}$ : Carga de sólidos en suspensión ( $Kg_{SS}/día$ ); 435,02  $Kg_{SS}/día$

$$m_{lodos} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 435,02 \text{ Kg}_{SS}/día) + (0,5 * 0,3 * 435,02 \text{ Kg}_{SS}/día)$$

$$m_{lodos} = 141,38 \text{ Kg}_{SS}/día$$

- **Determinación del volumen diario de lodos digeridos,  $VD_{lodos}$ :**

$$VD_{lodos} = \frac{m_{lodos}}{\rho_{lodo} \left( \frac{\% \text{ sólidos}}{100} \right)}$$

Ecuación 98

**Dónde:**

$VD_{lodos}$ : Volumen diario de lodos digeridos;  $m^3$

$\rho_l$ : Densidad del lodo; 1,04  $kg/L$  (fuente tabla 30-3)

$m_{lodos}$ : Masa de sólidos que constituyen los lodos; 141,38  $Kg_{SS}/día$

$$VD_{lodos} = \frac{141,38 \text{ Kg}_{SS}/día}{1,04 \text{ kg}/L * \left( \frac{12}{100} \right)}$$

$$VD_{lodos} = 971,01 \text{ kg}/L$$

**Tabla 30-3** Propiedades de los lodos

Característica	Valor
Porcentaje de sólidos en lodos (%)	8-12
Densidad del lodo (Kg/L)	1,04

Fuente: (CEPIS, 2015)

Realizado por: Christian Córdova, 2018

- **Determinación del volumen del lodos en el tanque,  $VT_{lodos}$ :**

**Tabla 31-3** Tiempo necesario para la digestión del lodo.

Tiempo de digestión (días)	Temperatura ( °C )
110	5
76	10
55	15
40	20
30	>25

Fuente: (CEPIS, 2015)

Realizado por: Christian Córdova, 2018

$$VT_{lodos} = \frac{VD_{lodos} * t_{Dlodos}}{1000}$$

Ecuación 99

**Dónde:**

$VT_{lodos}$ : Volumen de lodos en el tanque

$VD_{lodos}$ : Volumen diario de lodos digeridos; m<sup>3</sup>

$t_{Dlodos}$ : Tiempo de digestión lodos; 40 días (fuente Tabla 31-3)

$$VT_{lodos} = \frac{971,01 \text{ kg/L} * 40 \text{ días}}{1000}$$

$$VT_{lodos} = 38,84 \text{ m}^3$$

- **Determinación del área del lecho de secado de lodos ,  $A_{LS}$ :**

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_d}$$

Ecuación 100

**Dónde:**

$A_{LS}$ : Área del lecho de secado; m<sup>2</sup>

$VT_{lodos}$ : Volumen de lodos en el tanque; 38,84 m<sup>3</sup>

$h_{LS}$ : Altura del lecho de sacado(m); 0,8 m

$$A_{LS} = \frac{38,84 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}}$$

$$A_{LS} = 48,55 \text{ m}^2$$

**Tabla 32-3** Dimensiones de digestión del Lodo.

Parámetro	Valor
Altura (m)	Menor 1
Ancho para plantas pequeñas (m)	3-6
Ancho para plantas de gran tamaño (m)	Hasta 10

Fuente: (CEPIS, 2015)

Realizado por: Christian Córdova, 2018

- **Determinación de la longitud de la estructura para el secado,  $L_{LS}$ :**

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{b_{LS}}$$

Ecuación 101

**Dónde:**

$L_{LS}$ : Longitud del lecho de secado

$A_{LS}$  : Área del lecho de secado; 48,55  $\text{m}^2$

$B_{LS}$ : Ancho del lecho de secado ( $m$ ); 6  $m$  (fuente tabla 34-3)

$$L_{LS} = \frac{48,55 \text{ m}^2}{6 \text{ m}}$$

$$L_{LS} = 8,09 \text{ m}$$

- **Determinación del volumen total del lecho de secado para lodos,  $VT_{LS}$ :**

$$VT_{LS} = L_{LS} * B_{LS} * H_{LS}$$

Ecuación 102

**Dónde:**

$VT_{LS}$ : Volumen total lecho de secado,  $\text{m}^3$

$h_{LS}$  : Altura del lecho de sacado; 0,8  $m$

$B_{LS}$ : Ancho del lecho de secado; 6  $m$  (fuente tabla 34-3)

$L_{LS}$ : Longitud del lecho de secado ( $m$ ); 8,09  $m$



$$VT_{LS} = 8,09 \text{ m} * 6 \text{ m} * 0,8\text{m}$$

$$VT_{LS} = 38,84 \text{ m}^3$$

Por cuestiones de diseño y construcción se decidió dividir la zona de secado de lodos en tres lechos de secado de las siguientes dimensiones

$h_{LS}$  : Altura del lecho de sacado; 0,8 m

$B_{LS}$ : Ancho del lecho de secado; 6 m (fuente tabla 34-3)

$L_{LS}$ : Longitud del lecho de secado (m); 8,09 m

- **Determinación del tiempo de desalojo del lodo,  $t_{Dlodos}$ :**

$$t_{Dlodos} = \frac{VT_{LS}}{Q_{punta}}$$

Ecuación 103

**Dónde:**

$t_{Dlodos}$ : Tiempo de desalojo del lodo; horas

$Q_{punta}$ : Caudal punta; 0,039 m<sup>3</sup>/s

$VT_{LS}$ : Volumen total lecho de secado; 38,84 m<sup>3</sup>

$$t_{Dlodos} = \frac{38,84 \text{ m}^3}{0,039 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$t_{Dlodos} = 995,89 \text{ s}$$

$$t_{Dlodos} = 0,27 \text{ h}$$

### 3.2.8.12 Resultados

#### a. Población de la planta de tratamiento

**Tabla 33-3** Resultados de la determinación de la población.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Población futura	$P_f$	19198	Habitantes

Realizado por: Christian Córdova 2018

#### b. Caudal de diseño

**Tabla 34-3** Resultados de las determinaciones de caudales.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal punta	$Q_{punta}$	0,03999	m <sup>3</sup> /s
Caudal medio diario	$Q_{medio}$	1727,82	m <sup>3</sup> /día
Caudal de diseño	$Q_d$	71,99	m <sup>3</sup> /h
Caudal mínimo diario	$Q_{minimo}$	518,33	m <sup>3</sup> /día
Caudal máximo	$Q_{máx}$	2591,73	m <sup>3</sup> /día
Dotación del agua consumida	$Da$	150	L/hab. dia

Realizado por: Christian Córdova 2018

#### c. Cribado

**Tabla 35-3** Resultados del dimensionamiento del sistema de cribado.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Ancho del canal	B	0,80	m
Ángulo de inclinación	$\alpha$	45	°
Espesor de las barras	E	10	mm
Velocidad de flujo	$v$	0,60	m/s
Altura del tirante en el canal	$h_{tc}$	0,084	m
Altura del tirante de construcción	$h_c$	0,58	m

Pérdida de carga	$h_p$	0,005	$m$
Separación entre barras	S	0.025	$m$
Área libre al paso del agua por las rejillas	$A_{libre}$	0,067	$m^2$
Longitud de barras	$L_{barras}$	0,82	$m$
Número de barras	$N_{barras}$	22	Unidades

Realizado por: Christian Córdova 2018

#### d. Canal de entrada

**Tabla 36-3** Resultados para el canal de entrada.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Altura total del canal	$H_{TC}$	0,47	$m$
Altura máxima del agua	$h_{Cmax}$	0,17	$m$
Área de la sección transversal	$A_c$	0,06	$m^2$
Ancho del canal	$B_c$	0,80	$m$
Velocidad media del canal	$v_{md}$	0,66	$m/s$
Radio hidráulico	$RH$	0,24	$m$

Realizado por: Christian Córdova 2018

#### e. Vertedero rectangular

**Tabla 37-3** Resultados del vertedero rectangular.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal al interior del vertedero	$q_{iv}$	0,091	$m^2/s$
Ancho del canal vertedero	$B_v$	0,44	$m$
Longitud de salto	$L_{sv}$	1,82	$m$
Altura de la pared del vertedero	$P$	0,5	$m$
Profundidad crítica de flujo	$p_{cf}$	0,095	$m$
Altura del canal vertedero	$p_v$	0,15	$m$
Largo del canal vertedero corregido	$L_{cvc}$	4.4	$m$

Realizado por: Christian Córdova 2018

f. Tanque desarenador aireado.

**Tabla 38-3** Resultados del desarenador aireado.

Parámetro	Símbolo	Valor	unidad
<b>Caudal punta</b>	$Q_{punta}$	0,039	$m^3/s$
<b>Resultados cámara de quietamiento</b>			
Tiempo de retención	$t_r$	60	s
Longitud	$L_{Ca}$	1,5	m
Área la cámara de quietamiento	$A_{Ca}$	2,1	$m^2$
Ancho de la cámara de quietamiento	$B_{Ca}$	1,5	m
Volumen de la cámara de quietamiento	$V_{Ca}$	2,40	$m^3$
Altura de la cámara de quietamiento	$h_{Ca}$	2,2	m
<b>Desarenador</b>			
Velocidad de arrastre	$v_{as}$	16,09	$cm/s$
Velocidad horizontal	$V_s$	0,75	$cm/s$
Velocidad de sedimentación de las partículas	$v_{sp}$	2,09	$cm/s$
Tiempo de retención hidráulica	$tr$	14	minutos
Carga hidráulica superficial	$C_d$	0,29	$cm/s$
Volumen de cada tanque desarenador	$V_{da}$	33,60	$m^3$
Ancho del desarenador	$B_d$	2,11	m
Longitud del desarenador	$L_d$	6,40	m
Área transversal del desarenador	$A_{Td}$	5,30	$m^2$
Altura del desarenador	$h_d$	2,5	m
Área superficial útil	$A_d$	13,44	$m^2$
<b>Zona de lodos</b>			
Longitud de la placa de salida en el desarenador	$L_{Sl}$	4,20	m
Altura de la zona de lodos de la primera placa	$H_{zl}$	0,21	m
Longitud de la entrada la zona de lodos	$L_{el}$	2,1	m
Inclinación de la primera placa en el fondo del desarenador	X	10	%
Inclinación de la segunda placa en el fondo del desarenador	X'	5	%

Volumen d de limpieza de la zona de lodos	$V_L$	3,40	$m^3$
---	-------	------	-------

Realizado por: Christian Córdova 2018

### g. Canal Parshall

**Tabla 39-3** Resultados del canal Parshall.

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidad
Velocidad del resalto	$v_r$	0,53	m/s
Velocidad en la sección de salida	$v_{sc}$	0,35	m/s
Velocidad de la sección de medición	$V_{sm}$	0,46	$m/s$
Altura del agua en la sección de medición	$H_m$	0,19	$m$
Altura de agua antes del resalto	$h_{ar}$	0,08	$m$
Carga hidráulica disponible	$C_{HD}$	0,31	$m$
Ancho entrada sección convergente	$B_{WC}$	0,46	$m$
Dimensión de la canaleta	N	0,114	$m$
Velocidad antes del resalto	$v_{ar}$	2,12	$m/s$
Ángulo de inclinación	$\theta_c$	125,31	Grados
Altura del agua antes del resalto	$h_{ar}$	0,08	$m$
Altura del agua después del resalto	$h_{dr}$	0,33	$m$
Ancho de la canaleta	$B_W$	0,229	$m$
Número de Froude	$F$	3	-----
Pérdida de carga en el resalto	$p_{cr}$	0,053	$m$
Tiempo de mezcla en el resalto	$t_r$	1,38	$s$
Altura en la sección de salida de la canaleta	$h_{sc}$	0,292	$m$
Gradiente de velocidad	G	18,46	$s^{-1}$

Realizado por: Christian Córdova 2018

### h. Floculador hidráulico horizontal

**Tabla 40-3** Resultados del dimensionamiento del Floculador hidráulico horizontal.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área del canal del floculador	$A_F$	0,11	$m^2$
Ancho del canal de floculación	$a$	0,18	$m$

Ancho de las vueltas de floculación	$d$	0,28	$m$
Distancia recorrida por el agua	$L_c$	105	$m$
Longitud efectiva del canal	$L_E$	2,5	$m$
Ancho del floculador	$B_f$	2,8	$m$
Número de canales	$N_C$	40	unidades
Longitud del floculador	$L$	11,20	$m$
Volumen del floculador	$V_f$	19	$m^3$
Pérdida de carga en las vueltas del floculador	$h_{c1}$	0,73	$m$
Perímetro mojado en la sección del tramo	$p$	1,48	$m$
Radio hidráulico de los canales	$R_H$	0,07	$m$
Pérdida de carga en los canales del tramo	$H_{c2}$	0,42	$m$
Pérdida de carga total del tramo	$H_{cT}$	1,15	$m$
Gradiente de velocidad	$G$	69	$s^{-1}$

Realizado por: Christian Córdova 2018

## i. Sedimentador

**Tabla 41-3** Resultados del dimensionamiento del sedimentador.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área del sedimentador	$A_s$	17,31	$m^2$
Velocidad promedio placas inclinadas	$v_o$	0,26	$cm/s$
Longitud relativa	$l_r$	20	Adimensional
Número de Reynolds	$N_{RE}$	140,37	Adimensional
Longitud de transición	$l'$	1,82	$m$
Longitud relativa en longitud de transición	$l_{cr}$	18,18	$m$
Velocidad de sedimentación crítica	$v_{sc}$	0,026	$cm/s$
Tiempo de retención en la placas	$t_{rp}$	11	min

Tiempo de retención en el tanque	$T_{RH}$	22	min
Anche del sedimentador	$a_s$	2,9	m
Longitud del sedimentador	$l_s$	5,8	m
Número de placas	$N_p$	72	Placas
Volumen del sedimentador	$V_s$	50,5	$m^3$
Altura del agua sobre las placas	$H_{sp}$	0,22	m
Altura de las placas	$H_p$	1,040	m
Altura debajo de las placas	$H_{ap}$	1,24	m

Realizado por: Christian Córdova 2018

#### j. Tanque de desinfección

**Tabla 42-3** Resultado del dimensionamiento del tanque de desinfección.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal punta	$Q_{punta}$	0,039	$m^3/s$
Tiempo de retención	T	1800	s
Volumen del tanque de cloración	$v_{tc}$	72	$m^3$
Área del tanque	$A_{tc}$	26	$m^2$
Ancho del tanque de cloración	$B_{tc}$	4,5	m
Longitud del tanque de cloración	$L_{tc}$	7	m
<b>Dosificación del hipoclorito de sodio</b>			
Cantidad de solución consumida	$D_{NaClO}$	261,24	L/día
Caudal punta	$Q_{punta}$	3955,64	$m^3/día$
Volumen de hipoclorito de sodio	$V_{NaClO}$	2,61	L/día
Volumen de agua para la solución	$V_{H_2O}$	258,39	L/día

Realizado por: Christian Córdova 2018

**k. Lecho de secado para lodos**

**Tabla 43-3** Resultados para el dimensionamiento del lecho de secado.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Contribución per cápita	$C_p$	22,66	$g_{SS}/habitantes.día$
Carga de sólidos en suspensión	$C_{lodos}$	435,02	$Kg_{SS}/día$
Masa de los lodos	$m_{lodos}$	141,38	$Kg_{SS}/día$
Volumen diario de lodos digeridos	$VD_{lodos}$	971,01	$Kg/L$
Volumen de lodos en el tanque	$VT_{lodos}$	38,84	$m^3$
Longitud del lecho de secado	$L_{LS}$	8,1	$m$
Ancho	$B_{LS}$	6	$m$
Altura	$h_{LS}$	0,8	$m$
Área de secado	$A_{LS}$	48,60	$m^2$
Volumen del lecho de sacado	$VT_{LS}$	38,84	$m^3$
Tiempo de desalojo para los lodos	$t_{Dlodos}$	0,27	$h$

**Realizado por:** Christian Córdova 2018



### 3.3 Proceso de producción

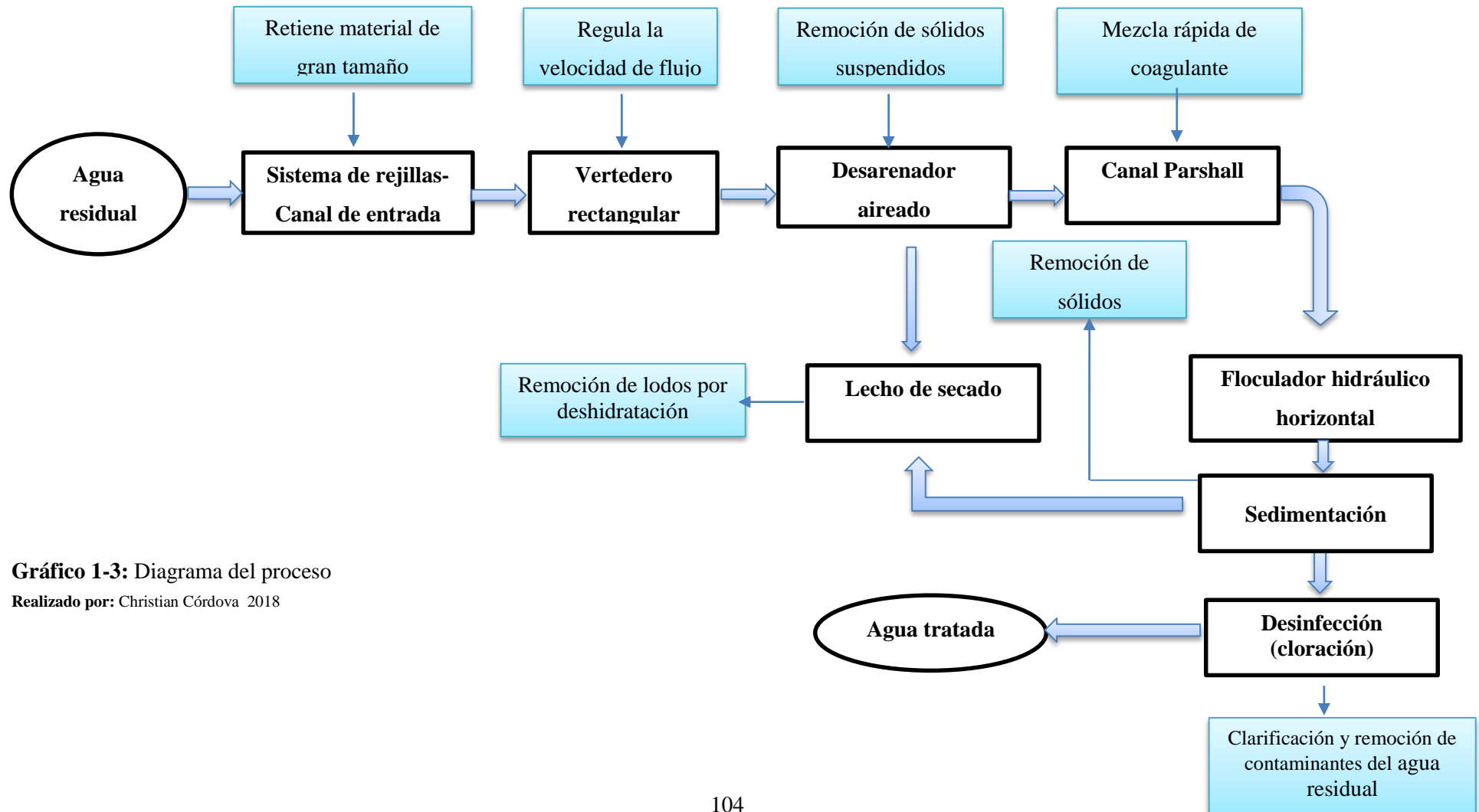


Gráfico 1-3: Diagrama del proceso

Realizado por: Christian Córdova 2018

### 3.4 Requerimientos de tecnología

#### 3.4.1 *Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición de caudal de aguas residuales*

**Tabla 44-3** Materiales y equipos para medición del caudal.

Equipos	Materiales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>pHmetro</b></li> <li>• <b>Termómetro</b></li> <li>• <b>Conductímetro</b></li> <li>• <b>Cámara fotográfica</b></li> <li>• <b>Cronómetro</b></li> <li>• <b>GPS</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Libreta de apuntes</li> <li>• Esfero</li> <li>• flexómetro</li> <li>• Mascarilla</li> <li>• Guantes</li> <li>• Botas de caucho</li> <li>• Balde graduado de 10 litros</li> </ul>

Realizado por: Christian Córdova 2018

**Tabla 45-3** Materiales utilizados en el muestreo de agua residual.

Materiales	Procedimiento	Normativa
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Guantes</b></li> <li>• <b>Recipientes de plásticos</b></li> <li>• <b>Recipientes de vidrio</b></li> <li>• <b>Cooler</b></li> <li>• <b>Mascarilla</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El muestreo de aguas residuales se realiza en el campo tomando una muestra compuesta de 2 litros que debe ser refrigerada para su posterior análisis en laboratorio</li> </ul>	<p>El muestro se realizó según la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.</p>

Realizado por: Christian Córdova 2018

**3.4.2 Requerimiento de equipos y métodos para caracterización físico- químico y microbiológico del agua residual**

**Tabla 46-3** Materiales, Equipos y Reactivos para la caracterización del Agua Residual.

Parámetro	Materiales	Reactivos y equipos
<b>Sólidos sedimentable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vaso 250 ml</li> <li>- Cono Imhoft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- Hexano</li> <li>- Agua destilada</li> </ul>
<b>Sólidos totales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caja Petri</li> <li>- Balanza Analítica</li> <li>- Vasos de precipitación</li> <li>- Estufa y Desecador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> </ul>
<b>Conductividad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vasos de precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- Agua destilada</li> <li>- Conductímetro</li> </ul>
<b>Color</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pipeta</li> <li>- Cubeta de análisis 10 mL</li> <li>- Vasos de precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- HACH DR 2800 (Espectrofotómetro)</li> </ul>
<b>Coliformes fecales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caja Petri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> </ul>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tampones de copa</li> <li>- Termómetro y Embudo</li> <li>- Botella de incubación</li> <li>- Capsula magnética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- Soluciones de tampón de sulfato</li> <li>- Solución de sulfato de magnesio</li> <li>- Solución de cloruro férrico</li> </ul>
<b>DOQ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubo de digestión</li> <li>- Pipeta volumétrica</li> <li>- Viales con reactivos</li> <li>- Gradilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- Capsula magnética</li> <li>- Ftalato Ácido de Potasio (KHP).</li> <li>- Agua destilada</li> </ul>
<b>pH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vaso de precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- Potenciómetro</li> <li>- Agua destilada</li> </ul>

Fuente: (APHA, 2016)

Realizado por: Christian Córdova 2018

**Tabla 47-3** Métodos para la caracterización del agua residual.

Parámetro	Método	Unidad
<b>Nitrógeno total</b>	STANDARD METHODS 4500 -N – B mod	mg/L
<b>Grasas y aceites</b>	EPA 418,1	mg/L
<b>Tensoactivos</b>	STANDARD METHODS 5540 -C mod	mg/L
<b>Fosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)</b>	STANDARD METHODS 4500 -P – E mod	mg/L
<b>Color Aparente</b>	STANDARD METHODS 2120 -C	Upt-co
<b>Sólidos totales</b>	PE-LSA-04	mg/L
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	STANDARD METHODS 2540 -C	mg/L
<b>Sulfatos</b>	STANDARD METHODS 4500 SO4-E	mg/L
<b>Conductividad</b>	PE-LSA-02	μS/cm
<b>pH</b>	Potenciométrico. REF1001/S503.	-----
<b>Temperatura</b>	Conductimétrico/ Potenciométrico. REF1001/S501.	°C
<b>Turbiedad</b>	STANDARD METHODS 2130 -B.	FTU-NTU
<b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>	STANDARD METHODS 5220 -D mod	mg/L
<b>Coliformes fecales</b>	STANDARD METHODS 92201 -C	UFC/100mL
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	STANDARD METHODS 5210 -B	mg/L
<b>Coliformes totales</b>	STANDARD METHODS 92201 -C	UFC/100mL

Fuente: Laboratorio de Servicios ambientales CESSTA

Realizado por: Christian Córdova 2018

### 3.5 Análisis económico de la planta de tratamiento de agua residual

**Tabla 48-3** Análisis económico de la planta de Tratamiento de aguas residuales.

PROYECTO: <b>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA PARROQUIA EL ROSARIO</b>					
UBICACIÓN: EL ROSARIO, CANTON GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO					
Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Valor Total
<b>DESBASTE O REJILLAS</b>					
1	Limpieza y desbroce	m2	22	1	22
2	Adecuación del canal	m2	2,5	8,11	20,27
3	Encofrado recto	m2	2,5	10,84	27,1
4	Compuerta de acero inoxidable	u	1	210,01	210,01
5	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	0,95	110	104,5
6	Malla electro soldada 6mm 15*15 cm	m2	2	7,25	14,5
7	Barras de acero	u	4	9,68	38,72
<b>Costo de la estructura de desbaste</b>					<b>437,10</b>
<b>CANAL CAPTACION</b>					
8	Excavación de suelo sin clasificar	m3	1	2,45	2,45
9	Limpieza y desbroce	m2	0,8	1	0,8
10	nivelación y replanteo	m2	0,8	4,2	3,36
11	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	0,4	110	44
12	Replanto de H.s f'c=180 kg/cm2	m3	1	90	90
13	Rejilla de acero lisa	u	1	40	40
<b>Costo de la estructura del canal de Captación</b>					<b>180,61</b>

VERTEDERO RECTANGULAR					
14	Excavación de suelo sin clasificar	m3	0,5	2,45	1,23
15	Limpieza y desbroce	m2	1,82	1	1,82
16	nivelación y replanteo	m2	2	0,98	1,96
17	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	0,5	110	55
18	Malla electro soldada	m3	5,5	4,5	24,75
<b>Costo de la estructura del vertedero rectangular</b>					<b>84,76</b>
DESARENADOR					
19	Nivelación y replanteo (estructuras)	m2	41,93	0,67	28,09
20	Excavación a máquina	m3	62	2,92	181,04
21	Excavación estructuras manual	m3	2,09	5,64	11,79
22	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	31,93	4,48	143,05
23	Hormigón simple replantillo f'c=180 kg/cm2 e=5cm	m3	2,09	122,16	255,31
24	Malla electrosoldada 15*15*8mm	m2	124	12,56	1557,44
25	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl.encof e=20cm	m3	16,5	197,18	3253,47
26	Tapa metálica tool e= 4 mm 0.70x0.70m incl. candado	u	2,00	80,62	161,64
27	Desalojo de material a maquina	m3	109,02	2,89	315,07
28	Tubería PVC D=160 mm *6m 0.63MPA	ml	4,00	20,76	83,04
29	Compresor (soplante)	u	1,00	1200	1200
30	Difusores de burbuja gruesa*24 (FLYGT)	u	24	100	2400
<b>Costo de la estructura del Desarenador</b>					<b>9589,94</b>
CANAL PARSHALL					
31	Excavación de suelo sin clasificar	m3	14,6	2,45	35,77
32	Limpieza y desbroce	m2	10,22	1	10,22

33	Malla electro soldada 10x10x6mm	m2	14,6	4,75	69,35
34	Nivelación y replanteo	m2	10,22	4,2	42,92
35	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	14,6	110	1606
36	Replanteo de H.s f'c=180 kg/cm2	m3	0,8	90	72
37	Enlucido vertical	m3	9,4	9,45	88,83
38	Punto de medición	u	1	5	5
39	Encofrado de madera	m2	9,4	8	75,2
<b>Costo de la estructura del canal parshall</b>					<b>2005,29</b>
<b>FLOCULADOR HIDRÁULICO HORIZONTAL</b>					
40	Excavación de suelo sin clasificar	m3	77,23	2,45	189,21
41	Encofrado de madera	m2	66,09	8	528,72
42	Malla electro soldada 10x10x6mm	m2	70,05	4,75	332,74
43	Nivelación y replanteo	m2	55,79	4,2	234,31
44	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	13,75	110	1512,5
45	Replanteo de H.s f'c=180 kg/cm2	m3	13,8	90	1242
48	Enlucido vertical	m3	66,09	9,45	624,55
49	Limpieza y desbroce	m2	55,79	1	55,79
<b>Costo de la estructura del floculador Hidráulico horizontal</b>					<b>4719,82</b>
<b>SEDIMENTADOR</b>					
50	Nivelación y replanteo (estructuras)	m2	184,35	0,67	123,51
51	Excavación a máquina	m3	15,72	2,92	45,90
52	Excavación estructuras manual	m3	4,21	5,64	23,75
53	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	111,35	4,48	498,85

54	Hormigón simple replantillo $f_c=180$ kg/cm <sup>2</sup> $e=5$ cm	m3	9,21	122,16	1.125,09
55	Cinta PVC para juntas de Hormigón $a=0.20$ m	ml	37,28	16,00	596.48
56	Malla electrosoldada 15*15*8mmTRASLAPE DE 20CM POR LADO PISO	m2	216,95	12,56	2724.89
57	Malla electrosoldada 15*15*8mmTRASLAPE DE 20CM POR LADO PAREDES	m2	109,96	12,56	1.381.10
58	Malla electrosoldada 15*15*8mmTRASLAPE DE 20CM POR LADO LOSA	m2	124.7	12,56	1566.23
59	Hormigón simple $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> incl.encof (PISO)	m3	17.94	197,18	3537.41
60	Hormigón simple $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> incl.encof (PAREDES)	m3	16.78	197,18	3308.68
61	Tapa metálica tool $e= 4$ mm 0.70x0.70m incl. candado	u	4,00	86,62	346.48
62	Desalojo de material a maquina	m3	44,53	2,89	128.69
63	Tubería PVC $D=160$ mm *6m 0.63MPA	ml	12,00	20,76	249.12
64	Válvula bridada de mariposa gatillo U/E 160 mm incl. Accesorios	u	4,00	214.4	857.6
65	Te PVC E/C 160 mm presión	u	1,00	66,57	66,57
66	Codo 90° PVC E/C $D=160$ mm presión	u	2,00	23.57	47.14
<b>costo de la estructura del sedimentador</b>					<b>16627,49</b>
TANQUE DE DESINFECCION					
67	Nivelacion y replanteo (estructuras)	m2	12,89	0,67	8.63
68	Excavación a máquina	m3	21.34	2,92	62.31
69	Excavación estructuras manual	m3	1,69	5,64	9,53
70	Empedrado en contrapiso $e=20$ cm (piedra de mina)	m2	13,89	4,48	62.22
71	Hormigón simple replantillo $f_c=180$ kg/cm <sup>2</sup> $e=5$ cm	m3	1,69	122,16	206,45



72	Cinta PVC para juntas de Hormigón a=0.20m	ml	23,96	16,00	383,36
73	Malla electrosoldada 15*15*8mm	m2	80,32	12,56	1008,81
74	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl.encof e=15cm	m3	9,13	197,18	1800,25
75	Desalojo de material a maquina	m3	86,24	2,89	249,23
76	Tubería PVC D=160 mm *6m 0.63MPA	ml	17,00	20,76	352,92
77	Válvula bridada de mariposa gatillo U/E 160 mm incl. Accesorios	u	2,00	379,37	758,74
78	Hipoclorito de sodio HTH (para un mes de dosificación según tabla de cálculo)	L	89,7	2,75	246,67
<b>Costo de la estructura del tanque de desinfección</b>					<b>5149,12</b>
<b>LECHOS DE SECADO</b>					
79	Nivelacion y replanteo (estructuras)	m2	81,84	0,67	54,83
80	Excavación a máquina	m3	110,49	2,92	322,63
81	Excavación estructuras manual	m3	4,09	5,64	23,07
82	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	81,84	4,48	366,64
83	Hormigón simple replantillo f'c=180 kg/cm2 e=5cm	m3	4,09	122,16	499,63
84	Cinta PVC para juntas de Hormigón a=0.20m	ml	38,78	16,00	620,48
85	Malla electrosoldada 15*15*8mmTRASLAPE DE 20CM POR LADO (PISO)	m2	49,52	12,56	621,97
86	Malla electrosoldada 15*15*8mmTRASLAPE DE 20CM POR LADO (PAREDES)	m2	58,83	12,56	738,90
87	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl.encof (PISO)	m3	8,36	197,18	1648,42
88	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl.encof (PAREDES)	m3	3,98	197,18	784,77
89	Desalojo de material a maquina	m3	49,49	2,89	143,03

<b>90</b>	Válvula bridada de mariposa gatillo U/E 160 mm incl. Accesorios	u	2,00	379,37	758,74
<b>91</b>	Tubería PVC D=160 mm *6m 0.63MPA	ml	12,00	20,76	249.12
<b>Costo de la estructura del lecho de secado de lodos</b>					<b>6832.23</b>
<b>COSTO TOTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA PARROQUIA EL ROSARIO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO</b>					<b>45626,36</b>

Realizado por: Christian Córdova 2018

### 3.6 Porcentaje de remoción

**Tabla 49-3** Determinación del % remoción del agua residual tratada.

PARÁMETROS	UNIDAD ES	Agua Residual Caracterizada	Agua residual tratada	% de Remoción
<b>pH</b>	[H <sup>+</sup> ]	7.4	7,66	----
<b>TURBIEDAD</b>	FTU- NTU	210	4,59	97,8%
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	uS/cm	680	226	66.76%
<b>TEMPERATURA</b>	°C	18.6	19,1	
<b>DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)</b>	mg /L	617	6	99,02%
<b>DEMANDA BIOQUÍMICA OXIGENO (DBO<sub>5</sub>)</b> DE	mg /L	308	2,30	99,25%
<b>NITRÓGENO AMONICAL (N)</b>	mg/L	32.5	4.2	87,1%
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>	mg/L	345	12	96,52%
<b>SÓLIDOS SEDIMENTABLES</b>	mg/L	2,9	-----	-----
<b>COLIFORMES FECALES</b>	NPM/100 mL	277225	0	99,99%
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	UFC/100 mL	95000	0	99,99%

Realizado por: Christian Córdova 2018

### 3.7 Cronograma del proyecto

ACTIVIDAD	TIEMPO																											
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Caracterización del agua residual			■	■	■	■	■	■																				
Identificación de las variables de diseño para una PTAR					■	■	■	■																				
Análisis de resultados									■	■	■																	
Efectuar los s de ingeniería									■	■	■	■	■															
Validar el diseño propuesto													■	■	■													
Pruebas de tratabilidad															■	■	■											
Determinación de la factibilidad técnica y económica del proyecto																	■	■	■									
Elaboración de borradores											■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Corrección de borradores																			■	■	■							
Redacción del trabajo final											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
Empastado y presentación del trabajo final																					■	■						
Auditoría Académica																						■	■					
Defensa del trabajo																											■	

**Gráfico 2-3:** Cronograma del proyecto

Realizado por: Christian Córdova 2018

### 3.8 Análisis

El agua residual generada por la parroquia El Rosario del cantón Guano provincia de Chimborazo se descarga directamente al Río Guano a través del alcantarillado, la descarga de agua residuales es un factor de contaminación ambiental que afecta directamente a los recursos hídricos por la presencia de cargas de contaminantes, entre los parámetros fuera de norma observados en la Tabla 9-3 se encuentran el DBO(308mg/L), DQO(617mg/L), detergentes, coliformes fecales (277225UFC/100mL), coliformes totales (391500 UFC/100mL) sólidos suspendidos(345mg/L), nitrógeno amoniacal (32,5mg/L) y color aparente(1607UTC-Co) los cuales se presentan como un foco de contaminación y deben ser tratados para su posterior descargar a un cuerpo de agua dulce.

Para el tratamiento de aguas residuales se realizó caracterizaciones físico – químicas y microbiológicas, para esto se procedió a medir el caudal de agua residual a través del método volumétrico durante un periodo de una semana para determinar los horarios de mayor caudal y mayor carga contaminante, para de esta manera obtener una muestra representativa del agua residual, se realizó muestras compuestas tomando en cuenta el caudal obtenido anteriormente, estos resultados nos permitieron realizar una caracterización de las aguas residuales y comparar los parámetros fuera de norma con la normativa ambiental vigente según el ACUERDO MINISTERIAL 097-A, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015 TABLA 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Para la tratabilidad en primer lugar se determinó el índice de biodegradabilidad de la muestra de agua residual el cual tiene un valor de 0,50 a una temperatura aproximada de 18°C ver Tabla 10-3, lo que nos muestra que la relación promedio entre DBO5: DQO es igual a 0,5 indicativo de que a la muestra se le puede dar un tratamiento tanto biológico como físico-químico.

Para el presente estudio se optó por un proceso físico-químico con el cual se garantizará una buena eficiencia en la depuración de los parámetros antes citados, debido a los costos de implementación de un sistema biológico y teniendo en cuenta que la población se incrementará en un futuro debido al desarrollo de urbanizaciones que pueden contribuir con una mayor cantidad de agua residual, la cual generaría una mayor carga orgánica y representaría una reducción en la relación **DBO<sub>5</sub>/DQO**, debido a la variabilidad de la calidad del agua y a que podría existir una mayor concentración de tensoactivos, aceites y grasas, y no se cuente con los garantías para realizar un proceso biológico. (Ferrer y Seco, 2005)

La tratabilidad de los parámetros que se encontraban fuera de norma se efectuó, primero mediante aireación que tiene la función de proporcionar oxígeno para modificar concentraciones de sustancias volátiles contenidas en el agua residual tales como las sustancias biodegradables, simulando un desarenador aireado obteniéndose una remoción de DBO Y DQO del 70% además de la disminución de turbidez, sólidos totales y en suspensión.

A continuación se realizó un tratamiento físico-químico por medio del test de jarras como método para la reducción de parámetros como sólidos en suspensión, sólidos totales, color aparente y turbidez, esto se lo realizó utilizando tres diferentes coagulantes como el Cloruro Férrico, Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio, los cuales tenían una concentración del 10%, además se utilizó polielectrolito a una concentración del 5%, se utilizaron 5 vasos de precipitación en los cuales se encontraban 1 litro de agua residual a tratar, posteriormente se adicionó 1, 2, 3, 4, 5 ml de cada uno de los coagulantes respectivamente en cada uno de los contenedores, además se adicionó 0,5 ml de polielectrolito en cada recipiente, posteriormente se realizó una comparación entre los coagulantes con lo que se evidenció que el coagulante con mejor eficiencia es el PAC con una dosis de 4 ml y 0,5 de polielectrolito, obteniéndose una remoción de turbidez del 88,4%. Al finalizar este proceso de tratabilidad se realizó un nuevo análisis a las aguas residuales, donde se observó que los valores tanto de coliformes fecales y totales seguían fuera de norma, razón por la cual se decidió realizar un proceso de desinfección con una solución 1:100 de hipoclorito de sodio al 10%, a 1 litro de agua tratada en las fases anteriores se adicionó 6,3mL de dicha solución, posteriormente se dejó en reposo por un periodo de 30 minutos, tiempo requerido para la eliminación de patógenos.

Al culminar con las pruebas de tratabilidad se realizó un nuevo análisis del agua tratada en el cual se evidenció la buena eficiencia de este procedimiento, debido a que los parámetros contaminantes de las aguas ya se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la norma ambiental vigente, tal como se observa en la tabla 15-3.

El nitrógeno amoniacal alcanzó un porcentaje de remoción de 87,1 %, debido a dos procesos, primero la oxigenación que se da en el tanque desarenador, donde ocurre la oxidación del nitrógeno amoniacal en nitratos mediante el ciclo del nitrógeno, produciéndose la mineralización y remoción del mismo; y posteriormente en el proceso de coagulación-floculación, donde se produce la desestabilización de la carga orgánica presente en el agua, ocasionando la formación de pequeños flocs que por la acción de la gravedad tienden a sedimentarse. (METCALF & EDDY, 1995)

Los parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO alcanzaron porcentajes de remoción de 99,25 % y 99,02% respectivamente, esta reducción se da por la oxigenación de la muestra, donde la materia orgánica es mineralizada. Otro de los procesos que permiten la reducción de este parámetro es la coagulación-floculación, donde por la adición del policloruro de aluminio, la carga orgánica presente tiende a formar flóculos que precipitarán al fondo del tanque, mejorando así la calidad del agua. (METCALF & EDDY, 1995)

Los coliformes fecales y totales presentan un porcentaje de remoción del 99,99%, lo cual indica que la eliminación de los mismos se produce tanto en la coagulación-floculación, y en la desinfección, y se da principalmente en esta última por la acción desinfectante que presenta el cloro, que al ponerse en contacto con el agua residual, destruye la carga microbiana. (Microlab Industrial , 2015)

El sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia El Rosario está diseñada para un periodo de 20 años de vida útil y una población futura de 19198 habitantes en base a un caudal punta de 0,03999 m<sup>3</sup>/s por medio de estos datos se estableció el dimensionamiento de las siguientes estructuras: un sistema de rejillas(cribado) el cual cuenta con 22 rejillas y una altura del tirante del canal igual a 0.58 m, un canal de entrada con una área de 0,06 m<sup>2</sup>, un vertedero rectangular sin contracciones con un área de 1.94 m<sup>2</sup>, tanque desarenador aireado con un volumen de 33,60 m<sup>3</sup> y una cámara de quietamiento con un volumen de 2,40 m<sup>3</sup>, sistema de mezclado rápido (canal Parshall) el cual cuenta con una sección convergente de 0,46 m, un ancho en la garganta del canal de 0,229 m y una sección divergente igual 0,39 m, Floculador hidráulico horizontal de 19 m<sup>3</sup>, un sedimentador con 50,46 m<sup>3</sup>, un tanque de cloración con un volumen de 72 m<sup>3</sup>, por criterios de diseño y construcción se procedió a dividir el área del lecho de secado con un total volumen de 38,84 m<sup>3</sup> dividió en tres estructuras de secado en base a criterios de diseño y a las características de los lodos obtenidos en el proceso de depuración.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó una planta de tratamiento para la depuración de las aguas residuales en la parroquia El Rosario, cantón Guano, provincia de Chimborazo, dicha planta cuenta con los siguientes procesos: sistema de rejillas o cribado, vertedero rectangular, floculador hidráulico horizontal, sedimentador y finalmente un tanque de desinfección.
- Se realizó la caracterización de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual proveniente de la parroquia El Rosario, mediante métodos analíticos, colorimétricos, espectrofotométricos, los cuales fueron utilizados en ensayos de laboratorio.
- Una vez realizada la caracterización se procedió a determinar los principales contaminantes que presenta el agua residual de la parroquia El Rosario, observándose los siguientes valores, DBO 617mg/L, DQO 308mg/L, Coliformes fecales 277225UFC/100mL, Sólidos suspendidos (345mg/L), Nitrógeno amoniacal (32.5mg/L), Color aparente 1907UTC-Co, coliformes fecales (277225 UFC/100mL) y coliformes totales (381500 UFC/100mL), los cuales se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos en el ACUERDO MINISTERIAL 097-A, publicado en el Registro oficial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015 TABLA 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Se realizaron pruebas de tratabilidad las mismas que consistieron en la simulación de un sistema de aireación, un test de jarras y la simulación de un proceso de desinfección de las aguas, en el proceso se evidenció la remoción de parámetros tales como: DBO<sub>5</sub> 2,30 mg/L obteniéndose una remoción del 99,25%, DQO 6 mg/L con una remoción del 99,02 %, Turbiedad con un valor de 4,59 NTU con una eficiencia de remoción del 97,8%, Sólidos suspendidos con una concentración de 12 mg/L con una remoción 96,52%, Coliformes fecales con una remoción del 99,99%.
- Se efectuó el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia El Rosario a través de cálculos de ingeniería obteniéndose como resultado lo siguiente: un sistema de rejillas (cribado) con 22 rejillas y una altura del tirante del canal igual a 0.58 m, un canal de entrada con una área de 0,06 m<sup>2</sup>, un vertedero rectangular sin contracciones con un área de 1.94 m<sup>2</sup>, tanque desarenador aireado con un volumen de 33,60 m<sup>3</sup> y una cámara de aquietamiento con un volumen de 2,40 m<sup>3</sup>, sistema de mezclado rápido



(canal Parshall) el cual cuenta con una sección convergente de 0,46 m, un ancho en la garganta del canal de 0,229 m y una sección divergente con 0,39m, Floculador hidráulico horizontal de  $19 \text{ m}^3$ , un sedimentador con  $50,46 \text{ m}^3$ , un tanque de desinfección con un volumen de  $72 \text{ m}^3$ , por criterios de diseño y construcción se procedió a dividir el área del lecho de secado con un volumen total de  $38,84 \text{ m}^3$  en tres partes.

- Se determinó que los costos para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales es de 45626,36 dólares aproximadamente, tomando en cuenta las características establecidas en el diseño.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario la implementación de la Planta de Tratamiento de aguas para la parroquia El Rosario, cantón Guano provincia de Chimborazo en cumplimiento a lo establecido en la normativa ambiental vigente
- Realizar análisis físico-químicos y microbiológicos semestralmente de la descarga del agua residual posteriormente a la construcción y puesta en marcha de la Planta de Tratamiento, con el fin de controlar así el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual, dichos análisis deben realizarse en un laboratorio acreditado en el Organismo Ecuatoriana de Acreditación.
- Realizar una simulación o prueba piloto del desarenador aireado para verificar su correcto funcionamiento y eficiencia en la remoción de contaminantes.
- Realizar un estudio de impacto ambiental para las fases de construcción e implementación del proyecto de la planta de tratamiento de agua residual de la parroquia El Rosario para poder definir un plan de manejo ambiental. y cumplir con lo establecido en la normativa.
- La dosificación de coagulante en el canal Parshall debe ser controlada de una manera técnica para tener una buena eficiencia en la unidad y evitar pérdidas económicas, así mismo el floculador debe tener un mantenimiento mensual para evitar la generación de sedimentos que se adhieran en las paredes de las pantallas o canal de asbesto-cemento
- Se debe realizar un mantenimiento mensual de la planta de tratamiento de agua residual en especial en el proceso que generan lodos residuales para evitar la acumulación de los mismos que conllevan un ineficiente funcionamiento del sistema.
- Se recomienda realizar una dosificación técnica en el tanque de desinfección para de esta manera tener una buena eficiencia y evitar pérdidas económicas.
- Los lodos generados en el sistema de tratamiento para la depuración de aguas residuales deben ser caracterizados para posteriormente ser estabilizados y finalmente realizar su deposición a un relleno sanitario.

## BIBLIOGRAFÍA

**Rodrigues. C.** *Operación Y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua.* Santafé de Bogotá - Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 1995, .pp. p. 18

**Cerro. C, Migueli.** *Composición cualitativa de las aguas residuales* [en línea]

[Consulta: 20 de noviembre del 2017].

<http://www.olivacordobesa.es/COMPOSICON%20CUALITATIVA%20AGUAS%20RESIDUALES.pdf>

**Cisterna. O, Pedro & PEÑA, Daisy.** *Determinación de la relación de DBO/DQO en aguas residuales de comunas con poblaciones menores a 25000 habitantes en la VIII región.* [En línea]. Universidad Tec. Fed. Sta. María & Essbio S.A

[Consulta: 20 octubre 2017].

Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>

**Crites, Ron & Tchobanogious, George.** *Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados.* Santa Fé de Bogotá - : McGraw-Hill, 2000. p. 246

**Ecuador., INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS.** Censo de Población y Vivienda en el Ecuador. , Fascículo Provincial de Chimborazo., Quito – Ecuador., 2010. Pp 2-4

**Ferrer, J. y SECO, A.** *Tratamientos físicos y químicos de aguas residuales.* España: Servicios de publicaciones de la Universitat politécnica de Valencia, 2005. Pp 2, 31-37, 44-47, 140-152.

**Hernández Muñoz, Aurelio.** Manual de Depuración de Uralita. España. Paraninfo, 2006 p. 13

**Marrón.** *Planta de Tratamiento por Filtración Lenta: Diseño y Operación y Mantenimiento.* Lima-Peru: ISBN. 1999 pp. 19-25

**Melo García, Laura.** Universitat Politècnica de Valencia. [En línea] 2017. [Consulta: 11 de diciembre 2017]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/65158>.

**Metcalf & Eddy, INC.** *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, vertido y reutilización.* Volumen II. Madrid-España: McGraw-Hill, 1995 pp. 507-577, 521-525.

**Microlab Industrial.** *Aguasresiduales.info.* [En línea] 2015 [Consulta: 22 de 11 de 2017]. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/cloracion-en-los-procesos-de-tratamiento-de-aguas-residuales>.

**NTE INEN 2 169:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.*

**NTE INEN 2 176:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.*

**Organización Panamericana de la salud.** *Guía para el diseño de sedimentadores y desarenadores.* [En línea]. Lima, Perú, 2005 [Consulta: 14 de enero 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

**Pérez, Jorge Arturo.** *Sedimentación. Manual de Tratamiento de Aguas.* Colombia : s.n., 1981.

**Ramalho, R. S.** *Tratamiento de Aguas Residuales.* Quebec, Canada: REVERTÉ, S. A. 1998 pp 25

**RAS,** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000.* Tratamiento de Aguas Residuales. *Sitio web de “Ministerio de Desarrollo Económico”.* [En línea] Noviembre de 2000.

[Consulta: 12 de 11 del 2017.]

Disponible en: [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf).

**Roldán, G.** *Bioindicación de la calidad del Agua en Colombia.* Universidad de Antioquia, Colombia,

**Rojas, R.** *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS/05.158 -OMS. Curso internacional: "Guía para el Diseño De Desarenadores y Sedimentadores,"*. Lima-Perú, 2005 pp. 3-27

**Romero, J.** *Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño.* 2ª ed. Bogotá-Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. Pp 95, 145-293.

**Salazar, L, Jhon. M.** *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la parroquia Simiatug del cantón Guaranda provincia de Bolívar* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Biotecnología Ambiental, 2013, pp. 45-59.

**TULSMA,** *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I. Tabla 9. Acuerdo ministerial 097-A, 2015.*

# ANEXOS

## ANEXO A. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p><b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCII (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p><b>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008</b> <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
--	---	--

**INFORME DE ENSAYO No:** A-398-17  
**ST:** 185-17 ANÁLISIS DE AGUAS  
**Nombre Peticionario:** ING. HERNAN QUINZO CAYAMBE  
**Atn.** Ing. Hernán Quinzo Cayambe  
**Dirección:** Riobamba - Chimborazo

**FECHA:** 09 de Junio del 2017  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2017/05/31 - 07:30  
**FECHA DE MUESTREO:** 2017/05/30 - 15:20  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2017/05/31 - 2017/06/09  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual  
**CÓDIGO CESTTA:** LAB-A 397-17  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** A-1  
**PUNTO DE MUESTREO:** Consultoría para los estudios y diseños definitivos para el colector principal del alcantarillado sanitario para varias comunidades de la parroquia el Rosario, cantón Guano, provincia de Chimborazo"

**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico-Químico-Microbiológico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Daniel Luna  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Grasas y Aceites	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	±30%	70,0
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	366	±8%	500,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	190	±15%	250,0
*Sólidos Sedimentables	PEE/CESTTA/56 Standard Methods No. 2540 F	mL/L	2,5	-	20,0
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	392	±11%	220,0
Nitrógeno Amoniacal	PEE/CESTTA/20 EPA Water Waste No 350.2	mg/L	>2,5	±8%	-
Coliformes Totales	PEE/CESTTA/229 Standard Methods No. 9221B/ 9221C	NMP/100 mL	700000	±20%	-

**ANEXO B. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL**

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p>DEPARTAMENTO : <b>SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de <b>Acreditación Ecuatoriano</b></p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
--	--	--

Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100 mL	460000	±19%	-
--------------------	---	---------------	--------	------	---

**OBSERVACIONES:**

- Muestra transportada en refrigeración.
- Los parámetros marcados con (\*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permitidos en la Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, TULSMA. Libro VI. Anexo I. Solicitado por el cliente.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
Dr. Mauricio Alvarez  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



## ANEXO C. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p><b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	--	--

**INFORME DE ENSAYO No:** A-399-17  
**ST:** 185-17 ANÁLISIS DE AGUAS  
**Nombre Peticionario:** ING. HERNAN QUINZO CAYAMBE  
**Atn.** Ing. Hernán Quinzo Cayambe  
**Dirección:** Riobamba - Chimborazo

**FECHA:** 09 de Junio del 2017  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2017/05/31 - 07:30  
**FECHA DE MUESTREO:** 2017/05/30 - 15:50  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2017/05/31 - 2017/06/09  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual  
**CÓDIGO CESTTA:** LAB-A 398-17  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** A-2  
**PUNTO DE MUESTREO:** Consultoría para los estudios y diseños definitivos para el colector principal del alcantarillado sanitario para varias comunidades de la parroquia el Rosario, cantón Guano, provincia de Chimborazo"  
 PZ CN 17M 9818280/76059  
 Físico-Químico-Microbiológico  
 Daniel Luna  
**ANÁLISIS SOLICITADO:**  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:**  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Grasas y Aceites	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	±30%	70,0
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	605	±7%	500,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	320	±15%	250,0
*Sólidos Sedimentables	PEE/CESTTA/56 Standard Methods No. 2540 F	mL/L	3,0	-	20,0
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	268	±11%	220,0
Nitrógeno Amoniacal	PEE/CESTTA/20 EPA Water Waste No 350.2	mg/L	>2,5	±8%	-
Coliformes Totales	PEE/CESTTA/229 Standard Methods No. 9221B/ 9221C	NMP/100 mL	14000	±19%	-



**ANEXO D. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL**

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p>DEPARTAMENTO : <b>SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3913183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 08-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	--	--

Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100 mL	11000	±19%	
--------------------	---	---------------	-------	------	--

**OBSERVACIONES:**

- Muestra transportada en refrigeración.
- Los parámetros marcados con (\*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permitidos en la Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público. TULSMA. Libro VI. Anexo I. Solicitado por el cliente.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
Dr. Mauricio Alvarez  
RESPONSABLE TÉCNICO



## ANEXO E. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p>DEPARTAMENTO : <b>SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	--	--

<p><b>INFORME DE ENSAYO No:</b> A-400-17</p> <p><b>ST:</b> 185-17 ANÁLISIS DE AGUAS</p> <p><b>Nombre Peticionario:</b> ING. HERNAN QUINZO CAYAMBE</p> <p><b>Atm:</b> Ing. Hernán Quinzo Cayambe</p> <p><b>Dirección:</b> Riobamba - Chimborazo</p> <p><b>FECHA:</b> 09 de Junio del 2017</p> <p><b>NUMERO DE MUESTRAS:</b> 1</p> <p><b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b> 2017/05/31 - 07:30</p> <p><b>FECHA DE MUESTREO:</b> 2017/05/30 - 16:30</p> <p><b>FECHA DE ANALISIS:</b> 2017/05/31 - 2017/06/09</p> <p><b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua Residual</p> <p><b>CÓDIGO CESTTA:</b> LAB-A 399-17</p> <p><b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b> A-3</p> <p><b>PUNTO DE MUESTREO:</b> Consultoría para los estudios y diseños definitivos para el colector principal del alcantarillado sanitario para varias comunidades de la parroquia el Rosario, cantón Guano, provincia de Chimborazo"</p> <p>PZ 20 DIC 17M 9819031/759330</p> <p>Físico-Químico-Microbiológico</p> <p>Daniel Luna</p>	<p><b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> Físico-Químico-Microbiológico</p> <p><b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b> Daniel Luna</p> <p><b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b> T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C</p>
---	--

### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Grasas y Aceites	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	2,20	±28%	70,0
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	775	±7%	500,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	370	±15%	250,0
*Sólidos Sedimentables	PEE/CESTTA/56 Standard Methods No. 2540 F	mL/L	3,0	-	20,0
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	284	±11%	220,0
Nitrógeno Amoniacal	PEE/CESTTA/20 EPA Water Waste No 350.2	mg/L	>2,5	±8%	-
Coliformes Totales	PEE/CESTTA/229 Standard Methods No. 9221B/ 9221C	NMP/100 mL	12000	±19%	-

**ANEXO F. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL**

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p><b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCII (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	---	--

Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100 mL	7900	±20%	
--------------------	---	---------------	------	------	--

**OBSERVACIONES:**

- Muestra transportada en refrigeración.
- Los parámetros marcados con (\*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permitidos en la Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, TULSMA, Libro VI, Anexo I, Solicitado por el cliente.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
Dr. Mauricio Alvarez  
RESPONSABLE TÉCNICO



## ANEXO G. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 05-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	---	--

**INFORME DE ENSAYO No:** A-401-17  
**ST:** 185-17 ANÁLISIS DE AGUAS  
**Nombre Peticionario:** ING. HERNAN QUINZO CAYAMBE  
**Atn.** Ing. Hernán Quinzo Cayambe  
**Dirección:** Riobamba - Chimborazo

**FECHA:** 09 de Junio del 2017  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2017/05/31 - 07:30  
**FECHA DE MUESTREO:** 2017/05/30 - 17:05  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2017/05/31 - 2017/06/09  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual  
**CÓDIGO CESTTA:** LAB-A 400-17  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** A-47  
**PUNTO DE MUESTREO:** Consultoría para los estudios y diseños definitivos para el colector principal del alcantarillado sanitario para varias comunidades de la parroquia el Rosario, cantón Guano, provincia de Chimborazo  
 PZ PNP 17M 981903/759178  
 Físico-Químico-Microbiológico  
 Daniel Luna  
**ANÁLISIS SOLICITADO:**  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:**  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Grasas y Aceites	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	2,00	±30%	70,0
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	720	±7%	500,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	350	±15%	250,0
*Sólidos Sedimentables	PEE/CESTTA/56 Standard Methods No. 2540 F	mL/L	5	-	20,0
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	436	±11%	220,0
Nitrógeno Amoniacal	PEE/CESTTA/20 EPA Water Waste No 350.2	mg/L	>2,5	±8%	-
Coliformes Totales	PEE/CESTTA/229 Standard Methods No. 9221B/ 9221C	NMP/100 mL	840000	±19%	-

# ANEXO H. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL

 <b>CESTTA</b> SGC	<b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b> <b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b> Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano <b>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008</b> <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b>
---	---	---

Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100 mL	630000	±20%	-
--------------------	---	---------------	--------	------	---

### OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeración.
- Los parámetros marcados con (\*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permitidos en la Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, TULSMA, Libro VI, Anexo I. Solicitado por el cliente.

### RESPONSABLE DEL INFORME:

  
Dr. Mauricio Álvarez  
RESPONSABLE TÉCNICO



**ANEXO I. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA TRATADA**



**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**



N° SE: 286-17

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Christian Córdova  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH  
**DIRECCIÓN:** Cda. Juan Montalvo

**INFORME N° 286- 17**  
**N° SE: 286-17**

**TELÉFONO:** 0984187248

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 31 - 10 - 17

**FECHA DE INFORME:** 06 - 11 - 17

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual doméstica tratada, Parroquia El Rosario, Guano

**TIPO DE MUESTRA:**

**IDENTIFICACIÓN:** MA - 516-17

Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**MA - 516-17**

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	128	N/A	31 - 10 - 17
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	12	N/A	31 - 10 - 17
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	672	+/- 6 %	31 - 10 - 17
* DCO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	6	N/A	31 - 10 - 17
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	2,30	N/A	31 - 10 - 17
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 B&C	20,80	N/A	31 - 10 - 17
* Cloro libre residual	mg Cl2/l	STANDARD METHODS 4500 - Cl G	0,20	N/A	31 - 10 - 17
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	< 1 (Ausencia)	N/A	31 - 10 - 17
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	< 1 (Ausencia)	N/A	31 - 10 - 17

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara  
 Benito Mendoza T., Ph.D.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
 TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

## ANEXO A. TOMA DE MUESTRAS

a)



b)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: CORDOVA SANCHEZ CHRISTIAN VLADIMIR	MEDICION DEL CAUDAL		
a) Lugar de toma de muestras	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR		<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>	<b>LÁMINA</b>
b) Muestra previa para análisis			1:1	03/10/2017	1

## ANEXO B. CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA <b>REALIZADO POR:</b> CORDOVA SANCHEZ CHRISTIAN VLADIMIR	“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA EL ROSARIO, CANTON GUANO”												
a) Análisis de DQO b) Análisis de DBO5 c) Fotómetro	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR		ESCALA	FECHA	LÁMINA
		<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO												
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO														
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR														
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR														
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR														
1:1	03/10/2017	1													

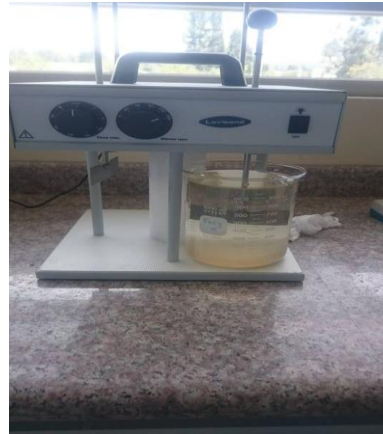


## ANEXO C. TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: CORDOVA SANCHEZ CHRISTIAN VLADIMIR	“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA EL ROSARIO, CANTON GUANO”		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
<b>a)</b> Test de jarras <b>b)</b> Decantación de Agua residuales <b>c)</b> Aeración	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR		1:1	03/10/2017	1

## ANEXO D. TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> <b>REALIZADO POR:</b> CORDOVA SANCHEZ CHRISTIAN VLADIMIR	“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA EL ROSARIO, CANTON GUANO”		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
<b>a)</b> Coliformes con agua sin clorar <b>b)</b> Coliformes con agua clorada <b>c)</b> Agua tratada y clorada vs Agua residual	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR		1:1	03/10/2017	1

