



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

“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO REGIONAL YANAHURCO EN EL CANTÓN MOCHA, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: CARLOS ANDRES MUYÓN RIVERA**

**DIRECTOR: ING.MAYRA ZAMBRANO**

RIOBAMBA-ECUADOR

2017

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

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo técnico de **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO REGIONAL YANAHURCO EN EL CANTÓN MOCHA, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”** de responsabilidad del señor Carlos Andrés Muyón Rivera ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

Ing. Mayra Zambrano .....  
**DIRECTORA DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Diego Burbano .....  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

© 2017 Carlos Andrés Muyón Rivera

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.

Yo, Carlos Andrés Muyón Rivera, 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, 08 de Agosto del 2017

---

**Carlos Andrés Muyón Rivera**

**1803747177-7**

## **DEDICATORIA**

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

A mis hermanos Cristian, Anthony, Kevin 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.

**Carlos**

## **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.

A la junta Administradora de Agua potable y alcantarillado regional Yanahurco por abrir las puertas a este proyecto Técnico y de igual forma al Ing. Karina Guanaoluisa por la atención y la ayudada brindada durante el tiempo de desarrollo del proyecto.

A la Ing. Mayra Zambrano y la Ing. Mónica Andrade 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

**Carlos**

## TABLA DE CONTENIDO

	pp
RESUMEN.....	xii
SUMARY.....	xiii
<b>CAPITULO I</b>	
<b>IDIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Identificación del Problema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Justificación del proyecto .....</b>	<b>1</b>
<b>1.3 Línea base del Proyecto .....</b>	<b>2</b>
<i>1.3.1 Condiciones de la zona de investigación .....</i>	<i>2</i>
<i>1.3.2 Tipo de estudio.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.3 Métodos y Técnicas .....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.3.2 Técnicas .....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.4 Determinación del caudal .....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.5 Método de Muestreo .....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.5.1 Caracterización del Agua Residual.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.5.2 Parámetros caracterizados .....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.6 Pruebas de tratabilidad .....</i>	<i>9</i>
<b>1.4 Beneficiarios directos e indirectos .....</b>	<b>18</b>
<i>1.4.1 Directos .....</i>	<i>18</i>
<i>1.4.2 Indirectos .....</i>	<i>18</i>
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Objetivo General .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO III</b>	
<b>3 ESTUDIO TÉCNICO .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Localización del proyecto .....</b>	<b>20</b>
<i>3.1.1 Localización Geográfica .....</i>	<i>20</i>
<i>3.1.3. Clima de la Zona .....</i>	<i>20</i>
<i>3.1.4. Condiciones geográficas de la zona.....</i>	<i>21</i>
<i>3.1.5. Hidrología.....</i>	<i>21</i>
<b>3.2 Ingeniería del proyecto .....</b>	<b>24</b>
<i>3.2.1 Aguas residuales .....</i>	<i>25</i>
<i>3.2.1.1 Clasificación del agua residual según las fuentes de descarga.....</i>	<i>25</i>
<i>3.2.1.2 Composición.....</i>	<i>25</i>
<i>3.2.1.3 Caracterización de aguas residuales .....</i>	<i>26</i>

3.2.1.4	<i>Contaminación orgánica en el agua Residual</i> .....	27
3.2.1.4	<i>Tratamientos de Agua residuales</i> .....	28
<b>3.2.2</b>	<b><i>Determinación de las variables de diseño</i></b> .....	<b>29</b>
3.2.2.1	<i>Determinación de la población futura</i> .....	29
3.2.2.3	<i>Determinación de caudales</i> .....	30
3.2.2.4	<i>Cribado</i> .....	33
3.2.2.5	<i>Calculo del canal de entrada para la planta de tratamiento</i> .....	39
3.2.2.6	<i>Dimensionamiento de un Vertedero rectangular</i> .....	42
3.2.2.4	<i>Dimensionamiento del Desarenador</i> .....	45
3.2.2.4	<i>Canal Parshall</i> .....	58
3.2.2.7	<i>Floculador hidráulico horizontal</i> .....	66
3.2.2.8	<i>Dimensionamiento de un filtro circular de arena ascendente</i> .....	77
3.2.2.9	<i>Dimensionamiento del Lecho de secado</i> .....	84
3.2.2.10	<i>Resultados</i> .....	90
<b>3.3</b>	<b>Proceso de producción</b> .....	<b>95</b>
<b>3.3</b>	<b>Requerimientos de tecnología</b> .....	<b>105</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición de caudal de aguas residuales</i></b> .....	<b>105</b>
<b>3.4.2</b>	<b><i>Requerimiento de equipos y métodos para caracterización</i></b> .....	<b>106</b>
<b>3.4</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>110</b>
<b>3.7</b>	<b>Cronograma del proyecto</b> .....	<b>112</b>
<b>3.8</b>	<b>Análisis</b> .....	<b>113</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>116</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>118</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Aeración de aguas residuales .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2-1 filtración con arena zeolita y grava .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 1-3 Ubicación geográfica de la JAAPARY .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2-3 Microcuenca rio Pachanlica ubicación hidrográfica .	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3-3 Microcuenca rio Pachanlica ubicación cantones .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4-3 Microcuenca rio Pachanlica ciclo hidrológico natural;	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5-3. Accesorios para el proceso de cribado .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6-3. Rejillas de limpieza manual y limpieza mecánica....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-3. Desarenador de flujo horizontal .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9-3. Grafico canal Parshall .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 10-3. Floculadores Hidráulicos.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11-3. Filtro circular ascendente .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12-3. Lecho de secado de lodos .....	¡Error! Marcador no definido.

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pp.</b>
Gráfico 1-1: Diagrama conductividad vs tiempo .....	7
Gráfico 1-3: Formas de las rejillas .....	38
Gráfico 2-3: Vertedero de tipo rectangular .....	43
Gráfico 3-3: Diagrama del proceso .....	104
Gráfico 4-3: Cronograma del proyecto .....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Aforo de caudal de agua residual.....	5
<b>Tabla 2-1</b>	Muestreo de las aguas residuales en el campo.....	6
<b>Tabla 3-1</b>	Caracterización de las aguas residuales en el campo mensual.....	6
<b>Tabla 4-1</b>	Caracterización físico-químico y microbiológico del agua residual JAAPARY .....	8
<b>Tabla 5-1</b>	Biodegradabilidad de la muestra.....	10
<b>Tabla 6-1</b>	Tratabilidad con pruebas de Jarras para remoción de detergentes .....	13
<b>Tabla 7-1</b>	Tratabilidad con pruebas de Jarras para remoción de detergentes .....	13
<b>Tabla 8-1</b>	Tratabilidad con pruebas de Jarras para remoción de detergentes .....	14
<b>Tabla 9-1.</b>	Caracterización después de la tratabilidad.....	16
<b>Tabla 10-1.</b>	Porcentaje de remoción después de la tratabilidad .....	17
<b>Tabla 11-1:</b>	Ubicación Geográficas de JAAPARY.....	20
<b>Tabla 12-1:</b>	Hidrología del sector .....	21
<b>Tabla 1-3:</b>	Principales características del agua residual.....	26
<b>Tabla 2-3:</b>	Relación entre parámetros DBO <sub>5</sub> y DQO .....	27
<b>Tabla 3-3:</b>	Tratamiento para aguas residuales.....	28
<b>Tabla 4-3:</b>	Población y tasa de crecimiento JAAPARY .....	29
<b>Tabla 5-3:</b>	Periodos de vida útil para instalaciones de tratamiento de agua .....	30
<b>Tabla 6-3</b>	Condiciones de diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual .....	34
<b>Tabla 7-3:</b>	Parámetros de diseño para rejillas .....	35
<b>Tabla 8-3:</b>	Coefficiente de pérdida según la forma de las rejillas .....	37
<b>Tabla 9-3</b>	Capacidad de conducción de los canales revestidos .....	39
<b>Tabla 10-3</b>	Coefficiente de rugosidad de Manning .....	40
<b>Tabla 11-3</b>	borde libre de un canal.....	41
<b>Tabla 12-3</b>	Propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas .....	49
<b>Tabla 13-3</b>	Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación .....	49
<b>Tabla 14-3</b>	Geometría de desarenadores .....	52
<b>Tabla 15-3,</b>	Número de Hazen. ....	53
<b>Tabla 16-3</b>	Ancho de la canaleta en el canal parshall .....	59
<b>Tabla 17-3</b>	Valores de k y n, según el tamaño de W.....	59
<b>Tabla 18-3</b>	Dimensiones de la canaleta Parshal .....	60
<b>Tabla 19-3</b>	Criterios de diseño para un floculador hidráulico de flujo horizontal .....	68
<b>Tabla 20-3</b>	Dimensiones específicas para cada tipo de pantalla .....	68
<b>Tabla 21-3</b>	Número de intensidad .....	69

<b>Tabla 22-3</b> Características de las capas para el lecho filtrante.....	80
<b>Tabla 23-3</b> Dimensiones para el sistema de drenaje .....	80
<b>Tabla 24-3</b> Criterios de diseño para tuberías.....	81
<b>Tabla 25-3</b> Propiedades de los lodos.....	87
<b>Tabla 26-3</b> Tiempo necesario para la digestión del lodo.....	87
<b>Tabla 27-3</b> Dimensiones de digestión del Lodo.....	88
<b>Tabla 28-3</b> Resultados de la determinación de la población .....	90
<b>Tabla 29-3</b> Resultados de las determinaciones de caudales .....	90
<b>Tabla 30-3</b> Resultados del dimensionamiento del sistema de cribado .....	90
<b>Tabla 31-3</b> Resultados para el canal de entrada .....	91
<b>Tabla 32-3</b> Resultados de un vertedero rectangular .....	91
<b>Tabla 33-3</b> Resultados del desarenador de flujo horizontal .....	91
<b>Tabla 34-3</b> Resultados del canal Parshall.....	93
<b>Tabla 35-3</b> Resultados del dimensionamiento del Floculador hidráulico horizontal .....	93
<b>Tabla 36-3</b> Resultado del dimensionamiento de filtro lento de arena, grava, zeolita.....	94
<b>Tabla 37-3</b> Resultados para el dimensionamiento del lecho de secado.....	95
<b>Tabla 38-3</b> Materiales y equipos para medición del caudal .....	105
<b>Tabla 40-3</b> Materiales utilizados en el muestreo de agua residual.....	105
<b>Tabla 41-3</b> Materiales, Equipos y Reactivos para la caracterización del Agua Residual .....	106
<b>Tabla 42-3</b> Métodos para la caracterización del agua residual.....	107
<b>Tabla 43-3</b> Análisis económico de la planta de Tratamiento de aguas residuales .....	108
<b>Tabla 44-3</b> Determinación del % remoción del agua residual tratada.....	110

## RESUMEN

Se diseñó una planta de tratamiento de aguas residuales para la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY), con el objetivo de obtener agua tratada disminuyendo los parámetros que se encuentren fuera del límite permisible basándose en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua del ACUERDO MINISTERIAL 097-A para reducir el impacto ambiental en el ecosistema y los medios hídricos, con este fin se realizó la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual procedente de la zona de influencia de la JAAPARY, se identificó los contaminantes más importantes y se realizaron las pruebas de tratabilidad para el diseño respectivo. Como resultados se obtuvo un sistema que consta de los siguientes procesos: un sistema de rejillas con un volumen de  $0,50 m^3$ , tanque desarenador de flujo horizontal para la separación de sólidos sedimentables de  $52,74 m^3$ , un canal Parshall de  $0,20 m^2$ , Floculador hidráulico horizontal donde se realizó un proceso de floculación y coagulación de  $55,41 m^3$ , una área de filtrado en un medio trifásico (grava, zeolita, arena) de  $45,36 m^2$ , y un lecho de secado de lodos con un volumen de  $56,7 m^3$ .

El diseño seleccionado fue validado con los siguientes resultados de remoción: DBO 13 mg/L, DQO 30 mg/L, Color aparente de 690 UTC-Co, Detergentes con una concentración de 0,91 mg/L, Aceites y grasas con una concentración de 10,3 mg/L, Sólidos totales disueltos con una concentración de 10,5 mg/L, Sólidos totales con una concentración de 560 mg/L y Coliformes fecales inapreciables. Se recomienda que la cantidad o fracción de lodos que no es recolectado en el sistema se remueva en el lecho de secado que por el proceso de deshidratación se solidifica para luego pueda utilizarse como compostaje o fertilizante.

**PALABRAS CLAVE:** <INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA>, <PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES> <ACUERDO MINISTERIAL 097-A > <SISTEMA DE REJILLAS > <SEDIMENTADOR HORIZONTAL > <FLOCULADOR> <CANAL DE PARSHALL> < MOCHA (CANTÓN)> <TUNGURAHUA (PROVINCIA)>

## SUMMARY

A wastewater treatment plant was designed for Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarrillado Regional Yanahurco (JAAPARY), with the objective of obtaining treated water by reducing the parameters that are outside the permissible limit based on the environmental quality standard and discharge of effluents to the water resource. According to the MINISTERIAL AGREEMENT 097-A to reduce the environmental impact on the ecosystem and the water resources, with this purpose the physical-chemical and microbiological characterization of the residual water from the zone of influence of the JAAPARY. The most important contaminants were identified and the treatability test were carried for the respective design. As a result, a system consisting of the following processes was obtained: a grid system with a volume of 0.50m<sup>3</sup>, a horizontal flow desander tank for the separation of sedimentable solid of 52.74m<sup>3</sup>, a Parshall channel of 0.20m<sup>2</sup>, horizontal hydraulic flocculator where flocculation and coagulation process of 55.41 m<sup>3</sup>, a filtration area in three phase medium (gravel, zeolite, sand) of 45.36 m<sup>2</sup>, and a sludge drying bed with a volume of 56,7 m<sup>3</sup> were carried out. The selected design was validated with the following removal results: BOD 13 mg/L, OCD 30mg/L, apparent color 690 UTC-co, Detergents with a concentration of 0.91mg/L, oils and fats with a concentration of 10.3 mg/L, total dissolved solids with a concentration of 10.5 mg/L, total solid with a concentration of 560 mg/L and negligible faecal coliforms. It is recommended that the amount or fraction of sludge that is not collected in the system is removed in the drying bed which, through the dehydration process, solidifies and can then be used as composting or fertilizer

**KEYWORDS:** <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <RESIDUAL WATER TREATMENT PLANT> <MINISTERIAL AGREEMENT 097-A > <GRID SYSTEM > <HORIZONTAL SEDIMENTATOR > <FLOCCULATOR> <PARSHALL CHANNEL> <MOCHA (CANTON)> <TUNGURAHUA (PROVINCE)>

## **CAPITULO 1.**

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

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

La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) brinda los servicios de Agua potable y Saneamiento, dentro su jurisdicción en el cantón Mocha de la provincia de Tungurahua y a los 27 sectores rurales de los cantones: Mocha, Tisaleo, Cevallos, Ambato(Huachi Totoras y Montalvo) .En los últimos años ha sufrido el aumento de efluentes proveniente de los alcantarillados de las viviendas de la zona debido al aumento de su población, La información proporcionada por el Censo de Población INEC 2010 señala que la población de la zona de influencia de la JAAPARY es de 37887 habitantes y la población económica activa asciende a 20952. Por lo antes mencionado la situación que vive la JAAPARY en cuanto a infraestructura sanitaria es precaria y existe la necesidad de diseñar una planta de tratamiento de agua residual para evitar contaminación en los alrededores además de afectaciones a la salud de los habitantes y deterioros en el medio ambiente.

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

El agua es un compuesto con características únicas, de gran significado para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan nuestro medio natural. Por lo que es fundamental su cuidado y tratamiento; por esto es necesario aplicar un tipo de tratamiento específico a los efluentes residuales

Toda población tiene derecho a un a vivir en un ambiente sano y libre de contaminantes que garantice su buen desarrollo, es deber de todo organismo público la preservación del ambiente, por este motivo este proyecto es una herramienta para la prevención del daño ambiental que genera el vertido de las aguas residuales generadas por la JAAPARY al rio Pachanlica

La normativa ambiental prohíbe la descarga de aguas servidas o industriales sobre cuerpos hídricos además de exigir el tratamiento de las mismas antes de ser descargadas directamente hacia cuerpos de agua.

La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las autoridades del Agua y agencias de regulación competentes, establecen criterios de calidad y límites permisibles bajo los cuales se deberá regir el proyecto antes mencionado, por lo cual el Ministerio del Ambiente del Ecuador es el ente regulador a nivel nacional del cumplimiento de la normativa ambiental referente a prevención y control ambiental.

En base a lo anteriormente mencionado la JAAPARY requiere del diseño de una planta de tratamiento de agua residual para reducir la contaminación, garantizar la salud de los habitantes, evitar la presencia de patógenos recurrentes en el agua residual de origen doméstico y realizar la correcta disposición del agua tratada al río, el diseño de la planta contará con tratamiento primario, secundario y proceso de desinfección haciendo énfasis en el control de las características químicas, físicas y microbiológicas del agua. Este diseño se elaborara con los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería química, con tecnologías y métodos actuales. Basándose en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Del 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.

### **1. 3 Línea base del Proyecto**

#### ***1.3.1 Condiciones de la zona de investigación***

Para la elaboración del siguiente proyecto técnico se procedió a realizar un recorrido previo por las zonas que comprenden La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) donde se identificó el lugar más apropiado para la toma de muestras y la medición del caudal, en la zona que involucra a la JAAPARY se identificó que no existe un correcto tratamiento de las aguas residuales a pesar de que se cuenta con un sistema completo de alcantarillado, además se pudo observar al momento del recorrido por la zona que existen inconvenientes en la descarga de las aguas residuales, tanto pluviales como domésticas ya que no cumplen con lo establecido en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua del 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 lo cual genera un foco de contaminación en el lugar de descarga.

### ***1.3.2 Tipo de estudio***

El proyecto presenta un estudio del tipo analítico-experimental ya que se da la recolección de datos, con los cuales se desarrolló la determinación de los factores de estudio experimentales y operacionales.

### ***1.3.3 Métodos y Técnicas***

#### ***1.3.3.1 Métodos***

En el presente proyecto técnico se realizó principalmente con el método experimental y tomando en cuenta los métodos deductivos e inductivos para la obtención de datos validos que nos permitan el correcto de diseño de la planta de tratamiento agua residual que sea la más adecuada para los requerimientos de la JAAPARY

#### **a) Método inductivo**

Mediante la aplicación de este método se pudo determinar la cantidad de contaminantes presentes en las aguas residuales generadas en La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) el cual nos ayudó para determinar el un sistema correcto para el tratamiento de las aguas residuales. Esto se llevó a cabo realizando análisis de caracterización obteniendo datos físico-químicos y microbiológicos que determinaron los parámetros fuera de norma y los procesos de tratabilidad para la ejecución del proyecto técnico.

#### **b) Método deductivo**

El método inductivo consiste en la observación del fenómeno o problema a estudiar, generando datos que sirva para la formulación de una hipótesis y llegando a una conclusión para explicar o solucionar dicho fenómeno. Con lo que podemos decir que la JAAPARY no tiene un correcto tratamiento de las aguas producidas por lo cual produce una contaminación ambiental esto plantea un problema que se puede solucionar con el diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

La caracterización de las aguas residuales análisis físicos- químicos y microbiológicos fueron analizados y comparados en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del 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.

### **c) Método experimental**

En el método experimental se recopilamos datos para compararlos con la normativa ambiental vigente este método está sustentado en la utilización de materiales, equipos e instrumentos para la obtención de variables como caudal, población, parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua residual que posteriormente serán validados mediante una tratabilidad en laboratorio este proceso que nos permitirá conocer la factibilidad del diseño de un tratamiento para la depuración del agua residual de la JAPAARY

#### *1.3.3.2 Técnicas*

Para el muestreo de aguas residuales se trabajó con Se basa en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras, mientras que para caracterización físico –químico y microbiológica, se realizaron en base en las normas y técnicas que se encuentran establecidas en el (Estándar Methods for Examination of Water and Wastewater) especificados en el manual de Análisis de Agua, Métodos HACH y conjuntamente con el manual de procedimiento del laboratorio de análisis de aguas de la Facultad de Ciencias perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

#### *1.3.4 Determinación del caudal*

- La determinación del caudal se llevó a mediante el método volumétrico con el uso de un balde de capacidad de 10 litros y un cronometro, tomando en cuenta las horas pico donde se considera que hay mayor volumen de agua residual generada, el caudal se determinó en el horario de 06h30 hasta las 18h00 Los datos de caudal obtenidos por el método volumétrico se muestran en la *tabla 1-1*
- Los datos de caudal se utilizaron para la obtención de una muestra representativa de agua residual.
- Los caudales punta y de diseño se calcularon en base a la población de la zona del proyecto y al consumo de agua diario.

**Tabla 1-1** Aforo de caudal de agua residual

	LUNES	MARTES	MIERCOL ES	JUEVE S	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Hora	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)
6:30	8,32	8,32	8,02	8,05	8,04	8,46	7,68
7:00	8,28	8,47	8,95	8,98	7,98	8,51	7,58
7:30	8,74	7,85	8,11	8,95	8,01	8,53	7,65
8:00	7,61	7,83	8,07	7,9	7,73	7,54	7,75
8:30	7,66	6,82	7,98	7,65	6,7	7,8	7,76
9:00	7,65	7,77	7,75	6,66	7,7	7,68	7,7
9:30	7,6	7,63	7,78	6,65	7,7	8,27	7,73
10:00	7,44	7,58	7,34	7,6	7,59	8,31	7,69
10:30	7,34	7,35	7,31	7,6	7,66	8,28	7,63
11:00	7,41	7,35	7,49	7,59	7,82	8,36	7,68
11:30	7,68	8,07	7,7	6,71	7,88	7,99	7,97
12:00	7,52	8,04	7,68	7,76	7,91	8	8,2
12:30	8,32	8,15	8,05	7,83	7,92	7,84	7,98
13:00	8,27	8,12	8,02	7,86	7,92	7,83	8,01
13:30	8,09	7,75	7,94	7,83	7,88	7,57	7,99
14:00	7,52	7,76	7,95	7,83	7,88	7,65	7,95
14:30	7,62	7,56	7,51	7,65	6,9	7,63	7,88
15:00	7,37	7,57	7,52	6,6	7,6	7,83	7,89
15:30	7,64	7,38	7,52	6,7	7,59	7,86	7,76
16:00	7,54	7,5	7,5	7,65	7,59	7,82	7,78
16:30	7,76	7,61	7,45	6,57	7,62	7,75	7,75
17:00	7,79	7,23	7,46	7,57	7,61	7,8	7,7
17:30	7,8	7,38	7,49	7,69	7,61	7,92	7,73
18:00	7,78	7,42	7,59	7,7	7,71	7,66	7,69
<b>Promedio</b>	7,78	7,69	7,76	7,57	7,69	7,95	7,80
<b>Prom.Aforo diario</b>	7,75						

Realizado por: Carlos Muyón 2017

**1.3.5 Método de Muestreo**

Para el siguiente proyecto se aplicó un muestreo compuesto para la caracterización del agua residual con el objetivo de tener una muestra representativa que no presente anomalías al momento de realizar los análisis físico-químicos y microbiológicos, así como para minimizar los costos de los análisis, el muestreo se realizara en base al caudal promedio donde se recogió una muestra compuesta de dos litros para realizar los análisis en laboratorio, para esto se utilizó la siguiente ecuación.

$$\text{volumen necesario} = \frac{\text{Volumen total de la muestra compuesta}}{\text{Caudal promedio} * \text{número de muestras}}$$

Tabla 2-1 Muestreo de las aguas residuales en el campo

	N° de muestra	Q(L/s)*	ml de muestra
6:30	1	8,46	88,64
7:00	2	8,51	89,16
7:30	3	8,53	89,37
8:00	4	7,54	79,00
8:30	5	7,8	81,72
9:00	6	7,68	80,47
9:30	7	8,27	86,65
10:00	8	8,31	87,07
10:30	9	8,28	86,75
11:00	10	8,36	87,59
11:30	11	7,99	83,71
12:00	12	8	83,82
12:30	13	7,84	82,14
13:00	14	7,83	82,04
13:30	15	7,57	79,31
14:00	16	7,65	80,15
14:30	17	7,63	79,94
15:00	18	7,83	82,04
15:30	19	7,86	82,35
16:00	20	7,82	81,93
16:30	21	7,75	81,20
17:00	22	7,8	81,72
17:30	23	7,92	82,98
18:00	24	7,66	80,26
	<b>Promedio</b>	<b>7,95</b>	88,64

Realizado por: Carlos Muyón 2017

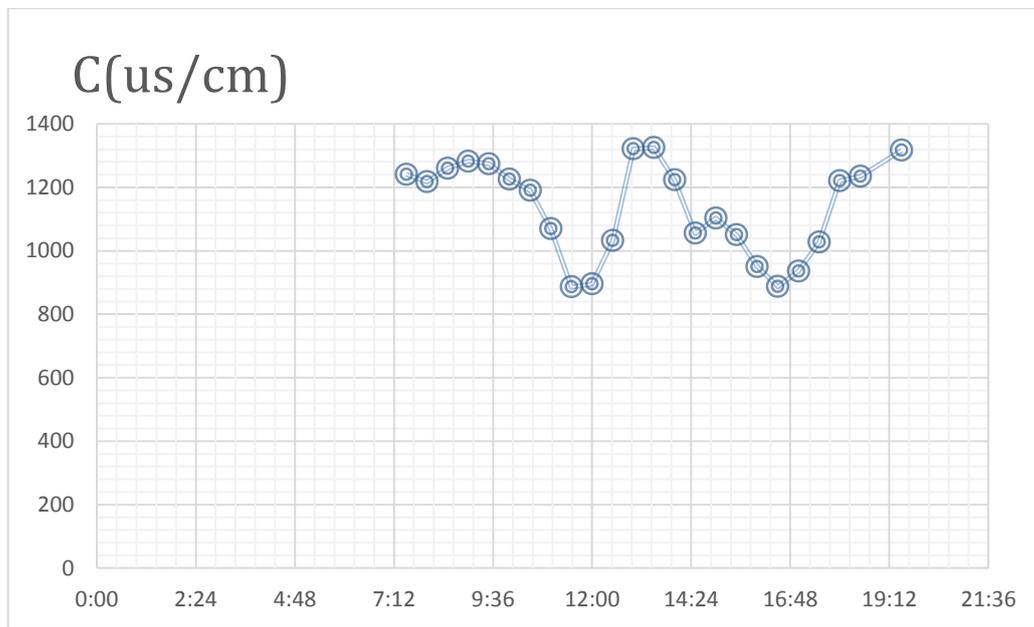
Las muestras se tomaron en las horas picos determinadas por diagramas de conductividad vs tiempo.

Tabla 3-1 Caracterización de las aguas residuales en el campo mensual

t(min)	T(°C)	C(uS/cm)	Ph	Ppm
7:30	16,1	1241	7,39	620
8:00	17,8	1217	7,38	613
8:30	18,2	1260	7,33	634

9:00	18,6	1282	7,38	648
9:30	19	1274	7,5	637
10:00	19,9	1225	7,47	610
10:30	20	1190	7,45	584
11:00	22,6	1070	7,41	528
11:30	21	886	7,25	433
12:00	20,5	895	7,31	440
12:30	21	1032	7,49	529
13:00	21,9	1321	7,44	656
13:30	21	1325	7,3	651
14:00	20,2	1223	7,35	623
14:30	21,3	1055	7,2	536
15:00	21	1103	7,41	589
15:30	22	1050	7,33	576
16:00	20,1	950	7,32	515
16:30	19,8	887	7,28	485
17:00	18,6	936	7,4	496
17:30	18,3	1027	7,3	608
18:00	17,5	1220	7,34	612
18:30	16,5	1235	7,45	635
19:00	16,2	1317	7,4	648

Realizado por: Carlos Muyón 2017



**Gráfico 1-1: Diagrama conductividad vs tiempo**

Realizado por: Carlos Muyón 2017

Como podemos observar en el diagrama conductividad vs tiempo las horas picos de mayor contaminación son de 07H00 – 09H00, 12H00 – 14H00 y 18H00-19H00

### 1.3.5.1 Caracterización del Agua Residual

Previamente a la caracterización se determinó con ayuda de un Turbidímetro parámetros de campo como temperatura, pH, Conductividad y turbidez los cuales se fueron tomados en un intervalo de media hora durante el transcurso del día, con los parámetros ya mencionados se elaboró un diagrama conductividad vs tiempo en el cual se puede observar la horas con mayor carga contaminante.

Para realizar la caracterización de las aguas residuales se efectuó el muestreo compuesto tomando en consideración las horas pico durante la mayor conductividad las horas determinadas fueron 07H00 – 09H00, 12H00 – 14H00 y 18H00 – 19H00 de tal manera que se obtenga una muestra representativa.

El agua residual de muestra compuesta de La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) se caracterizó en el Laboratorio de Control de Calidad del Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

### 1.3.5.2 Parámetros caracterizados

La caracterización físico- químico y microbiológica se realizó mediante la recolección de muestras compuestas de agua residual en un volumen de 2 litros, los parámetros obtenidos sirven para la selección de los procesos de tratabilidad y depuración de las aguas residuales posteriormente se procedió a comparar los parámetros con 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, identificando los parámetros fuera de la normativa ambiental vigente.

**Tabla 4-1** Caracterización físico-químico y microbiológico del agua residual JAAPARY

PARÁMETROS	UNIDADES	Límites máximos permisibles	Agua Residual Caracterizada
pH	[H <sup>+</sup> ]	6,1-9	7.4
TURBIEDAD	FTU-NTU	----	158
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	----	1654

COLOR REAL	UTC-Co	Inapreciable en disolución 1/20	1907
TEMPERATURA	°C	Cond. +- 3	18.6
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg /L	200	978
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5)	mg /L	100	691
TENSOACTIVOS(DETERGENTES)	mg/L	0,5	19,3
ACEITES Y GRASAS	mg/L	30	58
SULFATOS(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	290
CROMO HEXAVALENTE(Cr)	mg/L	0,5	0,2
HIERRO TOTAL (FE)	mg/L	10,0	2,3
FOSFORO TOTAL(P)	mg/L	10,0	6.7
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	50,0	4,92
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	130	560
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	1600	1143
COLIFORMES FECALES	NPM/100mL	2000	37000
COLIFORMES TOTALES	UFC/100mL	----	95000

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2016

Realizado por: Carlos Muyón 2017.

### 1.3.6 Pruebas de tratabilidad

#### 1.3.6.1 Índice de Biodegradabilidad

- *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)*

Es considera la cantidad de oxígeno en una muestra que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica como proteínas, carbohidratos, grasa, aceites y productos químicos orgánicos. Es importante comparar el DBO de los efluentes y fluentes de un planta de agua residual para evaluar la efectividad de las mismas en estabilizar las sustancias orgánicas.

- *Demanda química de oxígeno (DQO)*

Este parámetro es un indicador de materiales degradables y biodegradables mide la cantidad de materia orgánica en el agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla

La Proporción entre el DBO5 (demanda bioquímica de oxígeno en un prueba de 5días) y la DQO son indicador ores de tratamientos a seguir en el agua residuales ya que existe una relación directa entre ambos parámetros

- Un valor de DBO5: DQO de 0,5 o mayor indica que una descomposición biológica ocurre de manera rápida presentan buena eficiencia en tratamientos de tipo físico químicos.
- Proporciones de DBO5: DQO entre 0,2 y 0,5 muestran un tratamiento biológico susceptible por medio de una descomposición lenta debido a que los microorganismos deben aclimatarse a las aguas residuales.
- Proporciones de DBO5: DQO < 0,2 representan graves limitaciones a tratamientos biológicos.

Los resultados de la caracterización de la muestra de agua residual de la JAAARY son mostrados en las tablas 4-1, comparando estos datos podemos decir que los parámetros del agua residual determinados tanto el DBO<sub>5</sub> y el DQO no cumplen con los limites máximo permisibles del 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.

**Tabla 5-1** Biodegradabilidad de la muestra

Parámetro	Unidad	Resultado agua residual	Límites máximos permisibles
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	691	100,0
DQO	mg/L	978	200,0

Fuente: Caracterización de aguas residuales

Realizado por: Carlos Muyón 2017.

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

$$Indice = \frac{691}{978}$$

$$Indice \text{ de biodegradabilidad} = 0,70$$

La determinación del el índice de biodegradabilidad de la muestra de agua residual nos arroja un valor de **0,70** a una temperatura aproximada de 18°C, lo que nos muestra que la relación entre de DBO5: DQO mayor a 0,5 indicativo de una descomposición biológica ocurre de manera rápida y que la muestra presentan buena eficiencia en tratamientos de tipo físico químicos

Con los resultados obtenidos se optó por un tratamiento físico químico que teóricamente debería mostrar una buena eficiencia en la tratabilidad de las aguas residuales procedentes de JAAPARY

#### *1.3.6.2 Aeración*

La aeración es un proceso por el cual se pone en contacto íntimo el agua con el aire su principal función en el tratamiento de aguas residuales es proporcionar oxígeno para modificar concentraciones de sustancias volátiles contenidas en el agua residual tales como las sustancias biodegradables.

En las pruebas de tratabilidad del agua residual que se muestran en las tablas anteriores se determinó que los parámetros iniciales analizadas tanto el DBO<sub>5</sub>, el DQO, aceites y grasas, sólidos en suspensión y color se encuentra fuera de la normativa vigente 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. Así como otros parámetros como la conductividad y al turbiedad que indican valores elevados, por este motivo se decidió realizar la aeración de las aguas residuales para disminuir los valores fueras de norma

En este tratamiento se desarrolló por un medio de un tanque receptor del agua residual posteriormente se efectuó la aeración por medio de una bomba de aire añadiendo un difusor para obtener el efecto de micro burbujas el procedimiento se lo realizo en un periodo de 24 horas donde se pudo observar la clarificación de las aguas residuales además de la sedimentación sólidos en suspensión.

Otras funciones importantes de la aeración en el tratamiento de aguas residuales son la transferencia de oxígeno disuelto, remoción de sustancias volátiles productoras de olores y sabores, remoción de hierro y manganeso y remoción de compuestos orgánicos volátiles



**Figura 1-1** Aeración por microburbujas  
Realizado por: Carlos Muyón 2017

Al final del tratamiento de aeración se obtuvo la remoción de algunos parámetros importantes como son el del DQO DBO5 sólidos totales, sólidos en suspensión, y conductividad en donde se pudo observar una disminución considerable de sus valores demostrando la eficiencia práctica y teórica de este tratamiento

#### **1.3.6.3** *Tratamiento químico con coagulantes*(Test de jarras)

En el segundo procedimiento para las pruebas de tratabilidad se la realizo por medio del proceso de precipitación químicas con coagulantes, En donde se implementó un test de jarras es ampliamente utilizado a nivel de laboratorio para determinar qué tipo de coagulantes son más eficientes para la agua residual a tratar con el fin de establecer la concentración optima de coagulante necesaria para obtener un floc con las mejores características y establecer criterios adecuados para la aplicación de polímeros ayudantes de coagulación.

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas media te la adición de sustancia 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 muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible. (Carlos, 1995, p. 115)

Este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente

- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

Para efectuar el test de jarras se trabajó con cinco muestras compuestas en donde la turbiedad oscilaba entre el rango de 5,9-112,63 NTU, en primer lugar se trabajó con El Sulfato de Aluminio,  $Al_2(SO_3) \cdot 14H_2O$  a una concentración de 5 % y un ayudante poli electrolito al 0,5 % al no mostrar buenas eficiencias de remoción se trabajó con el polímero Policloruro de Aluminio PAC y el auxiliar poli electrolito al 0,5 %, , la dosificación de estos coagulantes se efectuó a diferentes concentraciones hasta encontrar la más eficiente, los datos se muestran en la Tabla 6-1 y Tabla 7-1.

Para realizar el ensayo se utilizó 4 recipientes plásticos de 1L, una jeringa de 10 ml, pHmetro, Turbidímetro y un equipo de test de jarras en el cual se colocó la dosificación de los químicos mediante el uso de una jeringuilla hipodérmica, y el agua residual a tratar, se realizó una mezcla rápida durante 1 min a 160 rpm para simular el efecto de mezclado que está presente en el resalto hidráulico del canal Parshall mediante las paletas del test de jarras, posteriormente se aplicó una mezcla lenta durante 20 minutos a una revolución de 20 rpm lo que permite un contacto por turbulencias de las partículas formándose los flóculos, finalmente se mide la turbidez y el porcentaje de remoción.

**Tabla 6-1** Tratabilidad con pruebas de Jarras para remoción de detergentes

<b>Turbiedad inicial 119.63 NTU, rango de pH inicial=7.11 Sulfato de aluminio 5% (50ppm)</b>					
Conc Auxiliar	pH	Dosificación (mL)	Dosis Aux (mL)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0.50	7,03	1	1	112,3	6,13
0.50	6,92	2	1	91,9	23,18
0.50	6,88	3	1	51,1	57,28
0.50	6,71	4	1	19,1	84,03
0.50	6,64	5	1	6,1	94,90

Fuente: Laboratorio de análisis técnico ESPOCH 2017

Realizado por: Carlos Muyón 2017

**Tabla 7-1** Tratabilidad con pruebas de Jarras para remoción de detergentes

<b>Turbiedad inicial 119.63 NTU, rango de pH inicial=7.11 Sulfato de aluminio 5%</b>					
--	--	--	--	--	--

<b>(50ppm)</b>					
Conc Auxiliar	pH	Dosificación (mL)	Dosis Aux (mL)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0.50	6,76	3	1	50,5	57,79
0.50	6,7	4	1	17,4	85,46
0.50	6,55	4,5	1	14,2	88,13
0.50	6,65	5	1	5,9	95,07
0.50	6,4	6	1	4,9	95,90

Fuente: Laboratorio de análisis técnico JAAPARY 2017

Realizado por: Carlos Muyón 2017

En la tratabilidad con el test de jarras para remoción de detergentes, el uso de sulfato de aluminio como coagulante la dosificación que mostro mejores características de remoción fue con una dosis de 5 ml de sulfato de aluminio al 5% y una dosificación auxiliar de poli electrolito de 1 ml al 0,5 % presentando una reducción de detergentes de 19,3 mg /L a 7,2 mg /L con un eficiencia de remoción de 62,2% ver tabla 6-1 y tabla 7-1.

Como conclusión la tratabilidad con sulfato de aluminio presenta una remoción aceptable pero no cumple con las especificaciones de la norma ambiental vigente por lo cual se decidió realizar nuevamente el test de jarras con Policloruro de aluminio.

**Tabla 8-1** Tratabilidad con pruebas de Jarras para remoción de detergentes

<b>Turbiedad inicial 116.41 NTU, rango de pH inicial=7.07 Policloruro de aluminio(PAC) 5% (50ppm)</b>					
Conc Auxiliar	pH	Dosificación (mL)	Dosis Aux (mL)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0.50	7,2	2	1	17	85,40
0.50	7,35	3	1	14,3	87,71
0.50	7,56	3,5	1	10,7	90,81
0.50	7,55	4	1	5,4	94,85
0.50	7,65	5	1	4,1	96,48
0.50	7,74	6	1	3	97,42

Fuente: Laboratorio de análisis técnico JAAPARY 2017

Realizado por: Carlos Muyón 2017

La tratabilidad con Policloruro de aluminio (PAC) al 5% como coagulante la dosificación que mostro mejores características de remoción fue con una dosis de 4 ml y una dosificación auxiliar de poli electrolito de 1 ml al 0,5 % presentando una reducción de detergentes de 19,3 mg /L a 0,91 mg /L con un eficiencia de remoción de 95,5% ver tabla 8-1, después un tratamiento de filtración en zeolita arena y grava, no cumpliendo con la norma ambiental vigente pero mostrando gran eficiencia en remoción de detergentes en agua residual.

Como conclusión la tratabilidad con Policloruro de aluminio (PAC) y filtración con zeolita arena y grava presenta una eficiencia de remoción alta por lo cual se escogió esta tratabilidad como prueba motor para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual.

#### *1.3.6.4 Filtración por zeolita y grava*

Para el tercer procedimiento en las pruebas de tratabilidad se optó por el procedimiento de filtración a través de medios porosos a nivel de laboratorio

La filtración es una operación utilizada con el objetivo de remover sólidos, materia no sedimentable, turbiedad, fosforo, DQO DBO, metales pesados, virus asegurando una calidad superior del efluente secundario, esta operación consiste en llevar el efluente secundario por las diferentes capas filtrantes de manera que los residuos contaminantes inorgánicos y orgánicos se mantengan en el medio granuloso que pueden ser de diferentes materiales según los parámetros de diseño estos medios filtrantes pueden ser constituidos de arena, grava, zeolita, antracita, granate, carbón activado entre otros

La filtración a nivel laboratorio se realizó en un filtro ascensional de tres medios filtrantes en un envase de polietileno con zeolita-arena-grava el agua a tratar fluyo por el filtro trifásico con el objetivo de depurar el agua y que los contaminantes sean retenidos en medio filtrante, se escogió este procedimiento ya que en los últimos años ha demostrado una buena eficiencia en la eliminación de contaminantes

Las Ventajas observadas al utilizar un filtro dual ascensional son las siguientes:

- La filtración procede de un medio grueso a permite un medio filtrante efectivo con mayor coeficiente de uniformidad
- El tiempo de lavado fue menor porque el tiempo de drenaje es mínimo
- El agua residual después del drenaje mostro buenas características organolépticas
- Se utilizó una malla para retener el medio filtrante en su sitio y añadir fuerza a la filtración



**Figura 2-1** Microcuenca rio Pachanlica ubicación hidrográfica  
Realizado por: Carlos Muyón 2017

Al final del procedimiento se obtiene agua clarificada y la disminución de los parámetros fuera de norma para así cumplir con la normativa ambiental vigente.

#### 1.3.6.5 Resultados de la tratabilidad

Luego de haber efectuado la tratabilidad de las aguas residuales procedentes de la JAAPARY por medio de los procedimientos de aeración y filtración dual se obtuvo los siguientes resultados de remoción como podemos observar en la siguiente tabla

**Tabla 9-1.** Caracterización después de la tratabilidad

PARÁMETROS	UNIDA DES	Límites máximos permisibles	Agua Residual Caracterizada	Agua residual tratada
Ph	[H <sup>+</sup> ]	6,1-9	7.4	7,66
TURBIEDAD	FTU-NTU	----	158	0,67
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	----	1654	690
COLOR REAL	UTC-Co	Inapreciable en disolución 1/20	1907	1,2
TEMPERATURA	°C	Cond. +- 3	18.6	19,1
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg /L	200	978	36
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5)	mg /L	100	691	64
TENSOACTIVOS(DETERGENTES)	mg/L	0,5	19,3	0,91
ACEITES Y GRASAS	mg/L	30	58	10,3
SULFATOS(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	290	----

<b>CROMO HEXAVALENTE(Cr)</b>	mg/L	0,5	0,2	----
<b>HIERRO TOTAL (FE)</b>	mg/L	10,0	2,3	----
<b>FOSFORO TOTAL(P)</b>	mg/L	10,0	6.7	----
<b>NITRÓGENO TOTAL (N)</b>	mg/L	50,0	4,92	----
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</b>	mg/L	130	642	37
<b>SÓLIDOS TOTALES</b>	mg/L	1600	1143	560
<b>COLIFORMES FECALES</b>	NPM/100mL	2000	37000	Imperceptibles<2
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	UFC/100mL	----	95000	----

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

Realizado por: Muyón Carlos 2017

**Tabla 10-1.** Porcentaje de remoción después de la tratabilidad

PARÁMETROS	UNIDADES	Agua Residual Caracterizada	Agua residual tratada	% de Remoción
Ph	[H <sup>+</sup> ]	7.4	7,66	----
TURBIEDAD	FTU-NTU	158	0,67	99%
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	1654	690	58,28%
COLOR REAL	UTC-Co	1907	1,2	99,93%
TEMPERATURA	°C	18.6	19,1	
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg /L	978	36	96,31%
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5)	mg /L	691	64	90.73%
TENSOACTIVOS(DETERGENTES)	mg/L	19,3	0,91	---
ACEITES Y GRASAS	mg/L	58	10,3	----
SULFATOS(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	290	----	----
CROMO HEXAVALENTE(Cr)	mg/L	0,2	----	----
HIERRO TOTAL (FE)	mg/L	2,3	----	----
FOSFORO TOTAL(P)	mg/L	6.7	----	----
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	4,92	----	----
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	642	37	51%
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	1143	560	97,58%
COLIFORMES FECALES	NPM/100mL	37000	Imperceptibles<2	----
COLIFORMES TOTALES	UFC/100mL	95000	----	99%

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

Realizado por: Muyón Carlos 2017

## **1.4 Beneficiarios directos e indirectos**

### ***1.4.1 Directos***

El beneficiario directo del proyecto será La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY), por el motivo de ser la institución a la cual va dirigido este proyecto técnico del diseño de una Planta de Tratamiento de aguas residuales.

### ***1.4.2 Indirectos***

Los beneficiarios indirectos del proyecto técnico son los habitantes de La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY), según La información proporcionada por el Censo de Población INEC 2010 señala que la población de la zona de influencia de la JAAPARY es de 37887 habitantes y la población económica activa asciende a 20952, así como, también beneficiar el medio ambiente.

## **CAPITULO II**

### **2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1. Objetivo General**

- Diseñar una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) para La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) en el Cantón Mocha, provincia de Tungurahua

#### **2.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar 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. Límites de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce, del 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.
- Determinar los parámetros fuera de norma y las variables de diseño de acuerdo con la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del 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.
- Realizar pruebas de tratabilidad y la caracterización físico-química y microbiológica validando el diseño propuesto de acuerdo a la legislación ambiental vigente
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) Yanahurco
- Determinar la factibilidad técnica y económica del sistema de tratamiento de agua residual para la JAAPARY

## CAPÍTULO III.

### 3 ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1 Localización del proyecto

##### 3.1.1 Localización Geográfica

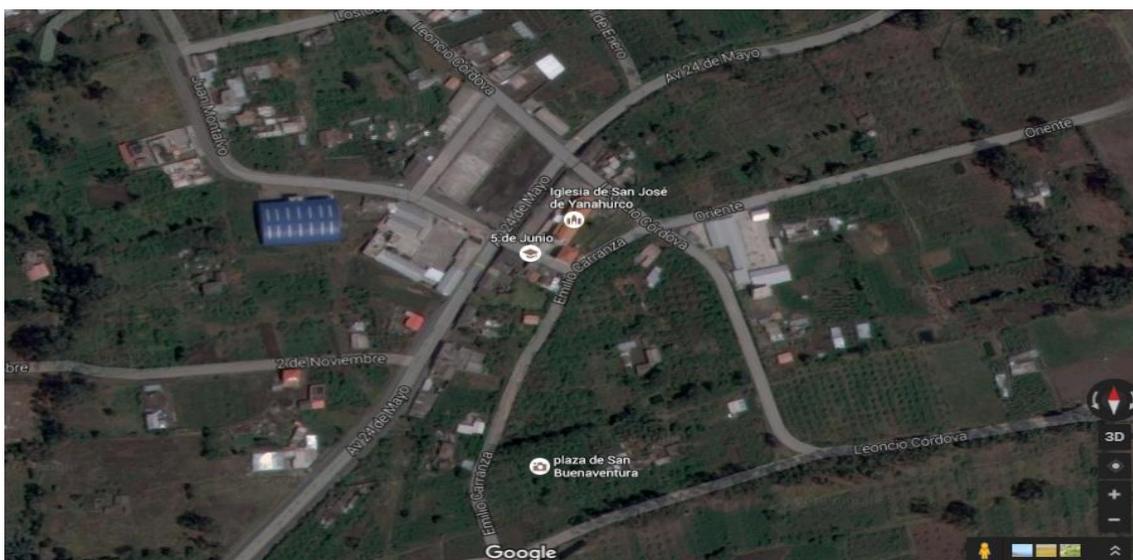
El presente proyecto técnico se efectuó para la La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) brinda los servicios de Agua potable y Saneamiento, dentro su jurisdicción en el cantón Mocha de la provincia de Tungurahua y a los 27 sectores rurales de los cantones: Mocha, Tisaleo, Cevallos, Ambato (Huachi Totoras y Montalvo) abarcando parte de sus territorios.

**Tabla 11-3:** Ubicación Geográficas de JAAPARY

<b>CONTINENTE</b>	América
<b>PAIS</b>	Ecuador
<b>PROVINCIA</b>	Tungurahua
<b>CANTON</b>	Mocha
<b>ALTITUD</b>	3102 m.s.n.m
<b>Coordenadas UTM</b>	17M X 762993 Y 9848521
<b>Coordenadas geográficas</b>	78° 38' 48'' de longitud occidental y a 1°21'14'' de latitud sur.

Realizado por: Muyón Carlos 2017

##### 3.1.3. Clima de la Zona



**Figura 1-3** Ubicación geográfica de la JAAPARY

Fuente: Plan de Desarrollo Territorial de la Parroquia Yanahurco

El clima de la zona de influencia del sistema de agua potable regional Yanahurco, corresponde al ecuatorial meso térmico semihúmedo. El periodo de precipitaciones más importantes, está comprendido entre los meses de febrero a julio, las temperaturas fluctúan entre los 10 y 12°C promedio en las zonas bajas y entre 6 y 8°C en la parte alta.

### 3.1.4. Condiciones geográficas de la zona

La zona presenta numerosas quebradas con laderas que en las partes altas del sistema montañoso tienen pendientes que varían entre el 50 y 70 %, con excepción de pequeñas áreas de terrazas onduladas, con pendientes de entre 3 y 15 %. En general, los suelos son fértiles, de tipo C, D y H, M, A, según clasificación del Programa Nacional de .La superficie cultivada contiene en su gran mayoría suelos de franco arenosos a franco limosos. (ARCA, 2016-2017, p. 15)

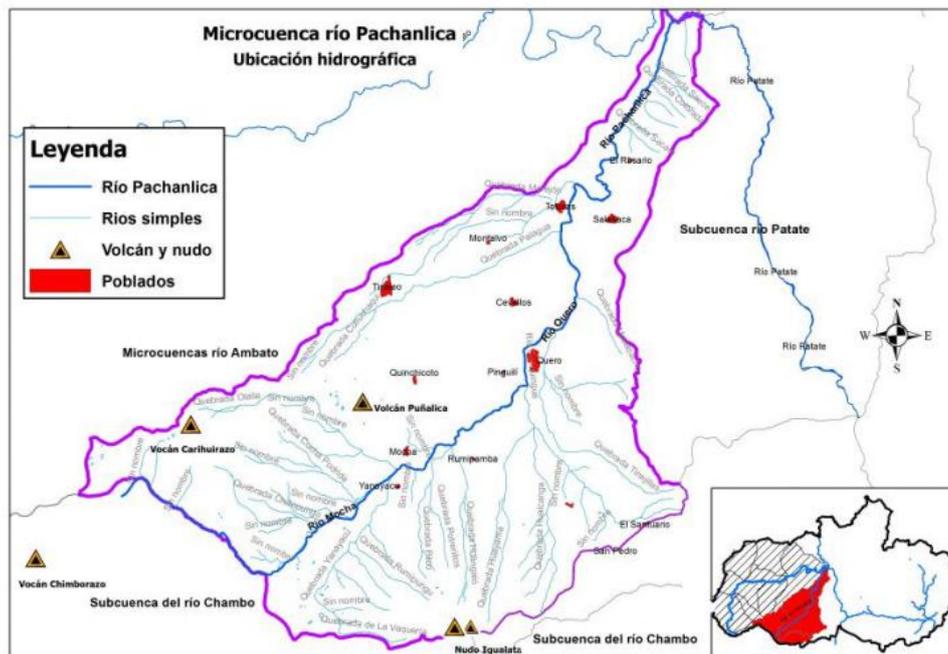
### 3.1.5. Hidrología

**Tabla 12-3:** Hidrología del sector

Microcuenca	Subcuenca	Cuenca
-------------	-----------	--------

rio Pachanlica	Río Ambato	Río Pastaza
----------------	------------	-------------

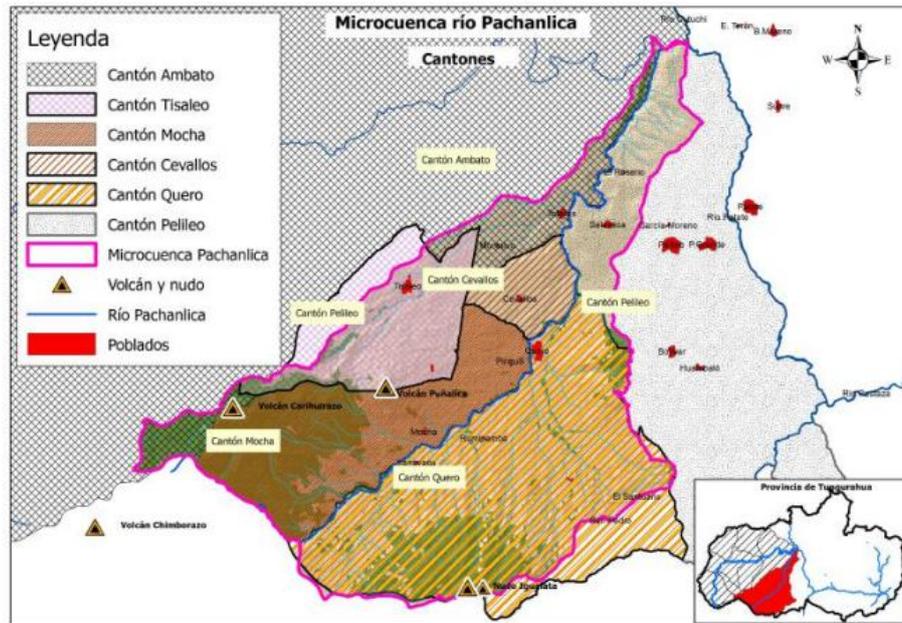
Realizado por: Muyón Carlos 2017



**Figura 2-3** Microcuenca río Pachanlica ubicación hidrográfica  
Fuente: división hidrográfica SEAGUA 2010

La microcuenca del río Pachanlica se encuentra al suroccidente de la subcuenca del río Ambato, en la cordillera Occidental, limita al norte y al oeste con las microcuencas río Ambato, al sur con la subcuenca del río Chambo, al este con las subcuencas de los ríos Patate y Chambo.

Tiene una superficie aproximada de 37.562 ha que representa al 11% del total del territorio de la provincia, está cubierta en un 27% por ecosistemas naturales, el 73% de área agrícola y áreas en proceso de erosión, finalmente casi 1% de la superficie está ocupada por asentamientos humanos (Tungurahua, 2015, p. 74).



**Figura 3-3** Microcuenca río Pachanica ubicación cantones  
 Fuente: INEC 2010



### *3.2.1 Aguas residuales*

Desde el punto de vista de generación de efluentes líquidos podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de sector doméstico, como de instituciones públicas, efluentes industriales y comerciales que causen la disminución de la calidad del agua a la vez su no tratamiento genera graves problemas de contaminación (Eddy, 1995, p. 1)

Las aguas residuales provenientes de comunidades y municipios deben ser conducidas, en última instancia a cuerpos receptores o al mismo terreno por este motivo las aguas residuales tienen que ser tratadas de manera que puedan de retornar la naturaleza, por lo ya dicho es importante la creación e implementación de sistemas de depuración, tratamiento y desalojo de aguas residuales donde sus contaminantes sean removidos por procesos de tipo físico, físico-químico o microbiológico antes de su desalojo en este caso a un cuerpo hídrico y así cumplir con la normativa ambiental vigente.

#### *3.2.1.1 Clasificación del agua residual según las fuentes de descarga*

- a) Agua Residual de origen Doméstico: Los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales o instituciones.
- b) Agua Residual municipal: son los residuos líquidos provenientes de una ciudad o población que son transportados por medio un alcantarillado hacia una planta de tratamiento.
- c) Agua Residual Industriales: las aguas residuales provenientes de los residuos generados por instrucciones industriales
- d) Aguas Negras: son aguas residuales que provienen de los inodoros y transportan excrementos humanos y orina que contienen grandes cantidades de contaminantes.
- 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, fosforo, grasa y coliformes fecales (Romero Rojas, 2002, p. 17)

#### *3.2.1.2 Composición*

Las aguas residuales que provienen de las zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el ser humano y sus actividades diarias, se componen principalmente en un 99,9% de agua potable generada por una planta de tratamiento y un 0,1% generada por la actividad humana que pueden estar mezcladas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial que aportan con sólidos inorgánicos o orgánicos que pueden estar en suspensión, disueltos o en la superficie del agua.

### 3.2.1.3 Caracterización de aguas residuales

Se puede clasificar las características de las aguas residuales en físicas, químicas, biológicas tomando en cuenta que las aguas residuales son únicas en sus características dependiendo la procedencia de estas.

**Tabla 13-3:** Principales características del agua residual

<b>Características Biológicas</b>	
Coliformes Fecales	Se encuentran bacterias facultativas, gran negativas anaeróbicas y aeróbicas entre otras
Fecales	Están compuestas en su gran mayoría por <i>Escherichia coli</i> y algunas especies de <i>Klesbiella</i>
<b>Características Químicas</b>	
pH	Nos indica las condiciones básicas y acidas del medio
<b>Componentes Orgánicos</b>	
Tensoactivos	Disminuyen la tensión superficial del agua producen espuma además de interferir en la absorción y disolución de oxígeno en el agua aumentando parámetros como DBO y DQO
Aceites y Grasas	Interfiere en importantes procesos bilógicos que se realizan en el agua
Carbohidratos	S e encuentran en forma de fibras, celulosa, almidones, azucares entre otros compuestos orgánicos biodegradables
<b>Componentes inorgánicos</b>	
Fosfatos	Contribuye a la formación de algas
Nitrógeno	Contribuye a la eutrofización se encuentra en forma de nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico
<b>Características Físicas</b>	
Conductividad	Es la capacidad del agua para conducir la electricidad por la presencia de sales disueltas e iones
Temperatura	Influye en reacciones químicas importantes
Turbiedad	Es la presencia de impurezas en el agua que se oponen al paso de la luz
Sólidos sedimentables	Material con tendencia a sedimentar
Sólidos suspendidos	Material que tiene tendencia a quedar suspendidos en el agua
Sólidos disueltos	Se encuentran disueltos en el agua en forma

	de sales o gases
Sólidos totales	La sumatoria de solidos disueltos y suspendidos
<b>Características Organolépticas</b>	
Color	Se muestra como una característica de agua contaminada
Olor y sabor	Son producidos por la presencia de compuestos inorgánicos y orgánicos

Fuente: (Peña, 2015)

Realizado por: Carlos Muyón 2017

### 3.2.1.4 Contaminación orgánica en el agua Residual

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

- *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)*

Es considera la cantidad de oxígeno en una muestra que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica es decir los microorganismos utilizan materia orgánica oxidada para obtener energía, compuestos orgánicos como proteínas, carbohidratos, grasa, aceites y productos químicos orgánicos. Es importante comparar el DBO de los efluentes y fluentes de un planta de agua residual para evaluar la efectividad de las mismas en estabilizar las sustancias orgánicas.

- *Demanda química de oxígeno (DQO)*

Este parámetro es un indicador de materiales degradables y biodegradables mide la cantidad de materia orgánica en el agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla La Proporción entre el DBO5 (demanda bioquímica de oxígeno en un prueba de 5dias) y la DQO son indicador ores de tratamientos a seguir en el agua residuales ya que existe una relación directa entre ambos parámetros

Los valores de DQO deben ser mayores que los del DBO5, estos parámetros tiene una relación llamada índice de biodegradabilidad que muestran la factibilidad de los tratamientos frente a diferentes valores de DQO/DBO5 a continuación se muestran la relación entre estos parámetros.

**Tabla 14-3:** Relación entre parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO

$\frac{DQO}{DBO_5}$	TIPO DE BIODEGRADABILIDAD	TIPO DE TRATAMIENTO
>0,5	Muy biodegradable	Indica que una descomposición biológica ocurre de manera rápida presentan buena eficiencia en tratamientos de tipo físico químicos.
		Muestran un tratamiento biológico

0,2-0,5	Biodegradable	susceptible por medio de una descomposición lenta debido a que los microorganismos deben aclimatarse a las aguas residuales. La materia orgánica se biodegrada de una manera moderada por lo cual un buen tratamiento biológico dependerá de del manejo de las variables de diseño.
<0,2	No biodegradable	Representan graves limitaciones a tratamientos biológicos.

Fuente: (Eddy, 1995)

Realizado por: Carlos Muyón 2017

### 3.2.1.4 Tratamientos de Agua residuales

Existen diferentes tipos de tratamiento de aguas dependiendo del contaminante o sustancia que se quiera depurar a continuación se muestra una lista de los tratamientos de agua más utilizados.

**Tabla 15-3:** Tratamiento para aguas residuales

TRATAMIENTO	TIPO DE PROCESO	DESCRIPCIÓN
<b>Tratamiento Preliminar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamices</li> <li>- Desbrozo</li> <li>- Rejas o cribado</li> </ul>	Estos tratamientos eliminan materiales de tamaño considerable para evitar problemas en los equipos o procesos.
<b>Tratamiento Primario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trampas de grasa</li> <li>- Sedimentación</li> <li>- Homogenización</li> <li>- Flotación</li> <li>- Neutralización</li> </ul>	Estos procesos son responsables de la Remoción de aceites y grasas, remoción de sólidos en suspensión y de materia orgánica.
<b>Tratamiento Secundario</b>	<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>	Los tratamientos secundarios efectúa el mayor porcentaje de remoción de contaminantes, Aporta con oxígeno para la estabilización de las reacciones químicas y bioquímicas, Elimina sólidos en suspensión, sólidos disueltos, remoción de características físicas químicas y organolépticas compuestos orgánicos biodegradables
<b>Tratamiento Terciario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Micro tamizado</li> <li>- Filtración (lecho de arena, antracita,</li> </ul>	Los procesos de tratamiento terciario se ocupan en la eliminación de microorganismo y otros

	diatomeas) - Adsorción (carbón activado) - Intercambio iónico - Ósmosis inversa - Precipitación y coagulación - Electrodialisis - Cloración y ozonización - Procesos de reducción de Nutrientes	compuestos tóxicos que no hayan sido removidos en el tratamiento secundario
--	--	---

Fuente: (Ramalho, 1998, p. 9)

Realizado por: Carlos Muyón 2017

### 3.2.2 Determinación de las variables de diseño

#### 3.2.2.1 Determinación de la población futura

Para siguiente planta de Tratamiento de aguas residuales se ha decidido conjuntamente con la La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) un periodo de 20 años de vida útil, según lo estableció por la norma INEN 005-9-1 (1992), que nos da un rango de 15- 30 años de vida útil para las planta de tratamiento de agua residual.

$$Pf = Pfa(1 + rt)$$

Ecuación 1

**Donde:**

**Pf:** Población futura

**Pfa:** Población actual: 20206,75 habitantes

**r :** Índice de crecimiento anual (%); 1,85% (ver tabla 16-1 INEC 2010).

**t :** Periodo de vida útil (años); 20 años ver tabla 17-3

**Tabla 16-3:** Población y tasa de crecimiento JAAPARY

Población y tasa de crecimiento JAAPARY						
	Mocha	Cevallos	Tisaleo	Montalvo	Totoras	total
<b>Población</b>	6777	8163	12137	3912	6898	37887
<b>%población</b>	0,17802	0,215	0,320	0,103	0,1820	100
<b>% Tasa de crecimiento</b>	0,64	1,41	2,38	2,23	2,4	
<b>Media</b>	0,114	0,303	0,762	0,230	0,436	1,85

<b>ponderada Índice de crecimiento</b>						
--	--	--	--	--	--	--

Fuente: INEC, 2010

Realizado por: Carlos Muyón 2017

**Tabla 17-3:** Periodos de vida útil para instalaciones de tratamiento de agua

<b>Instalación</b>	<b>Vida útil, años</b>
<b>Redes de alcantarillado</b>	20-40
<b>Estructura de bombeo</b>	20-40
<b>Equipos de bombeo</b>	10-25
<b>Plantas de tratamiento</b>	
<b>Estructuras</b>	20-40
<b>Equipos</b>	10-20
<b>Conducciones Hidráulicas</b>	20-40

Fuente:( Metcalf & Eddy, 1995.,p 210)

Realizado por: Carlos Muyón 2017

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

Ecuación 2

**Donde:**

**P** : Población; 17890 habitantes (INEC 2010)

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

**r** : Índice de crecimiento anual (%); 1,85% (ver tabla 16-1 INEC 2010).

**At** : variación del tiempo; 7 años

$$P_{fa} = 17890 * [1 + 0,0185(2017 - 2010)]$$

$$P_{fa} = 17890[1 + 0,0185(7)]$$

$$P_{fa} = 20206,75$$

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

$$P_f = 20206,75 * [1 + 0,0185 * (2037 - 2017)]$$

$$P_f = 20206,75 * [1 + 0,0185 * (20)]$$

$$P_f = 27683,25 = 27683 \text{ habitantes}$$

### 3.2.2.3 Determinación de caudales

• **Caudal servido,  $Q_s$ :**

Para el siguiente calculo tomaremos en cuenta una población 27683 habitantes y la dotación de agua diaria consumida de 178 L/hab.día según datos del INEC 2010 además se considera un coeficiente de retorno de 0,7 establecido por EX-IEOS.1993.

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

Ecuación 2

**Donde:**

$Q_s$  : Caudal servido; m<sup>3</sup>/ día

$P_f$  : Población futura; 27683 habitantes

$Da$  : Dotación del agua consumida (L/hab. día); 178 L/hab. día (INEC 2010)

$$Q_s = \frac{27683 \text{ hab} * 178 \text{ L/hab. día} * 0.7}{1000 L/m^3}$$

$$Q_s = 3449,3 \text{ m}^3/\text{día}$$

• **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 3

**Donde:**

$Q_{medio}$  : Caudal medio diario m<sup>3</sup>/ día

$k_1$ : Constante del caudal medio diario: 0,8 adimensional

$Q_s$ : Caudal servido; 3449,3 m<sup>3</sup>/día

$$Q_{medio} = 0,8 * 3449,3 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{medio} = 2759,44 \text{ m}^3/\text{día}$$

• **Caudal de diseño,  $Q_d$ :**

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

Ecuación 4

**Donde:**

$Q_d$ : Caudal de diseño diario; m<sup>3</sup>/ día

$Q_{medio}$ : Caudal medio diario; 2759,44 m<sup>3</sup>/día

$$Q_d = \frac{2759,44 \text{ m}^3/\text{día}}{24}$$

$$Q_d = 114,97 \text{ m}^3/\text{h}$$

• Caudal mínimo diario,  $Q_{minimo}$ :

$$Q_{minimo} = k_3 * Q_{medio}$$

Ecuación 6

**Donde:**

$Q_{medio}$ : Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/día); 2759,44 m<sup>3</sup>/día

$Q_{minimo}$ : Caudal mínimo diario; m<sup>3</sup>/ día

$k_3$  Constante para el caudal mínimo diario; 0,3 adimensional

$$Q_{minimo} = 0,3 * 2759,44 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{minimo} = 827,83 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{minimo} = 34,49 \text{ m}^3/\text{h}$$

• Caudal máximo diario,  $Q_{máx}$ :

$$Q_{máx} = k_2 * Q_{medio}$$

Ecuación 7

**Donde:**

$Q_{medio}$  : Caudal medio diario;  $2759,44 \text{ m}^3/\text{día}$

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

$k_2$  Constante para el caudal máximo diario; 1,5 adimensional

$$Q_{m\acute{a}x} = 1,5 * 2759,44 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 4139,16 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 172,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

• **Caudal punta,  $Q_{punta}$ :**

El caudal punta es una de las variables de diseño más importantes para el cálculo de una planta de tratamiento de agua residual.

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

Ecuación 5

**Donde:**

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

$Q_{medio}$ : Caudal medio diario  $2759,44 \text{ m}^3/\text{día}$

$k_2$  Constante para el caudal punta; 2 adimensional

$$Q_{punta} = 2 * 2759,44 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{punta} = 5518,88 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{punta} = 229,95 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{punta} = 0,063 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{punta} = 63 \text{ L/s}$$

### 3.2.2.4 Cribado

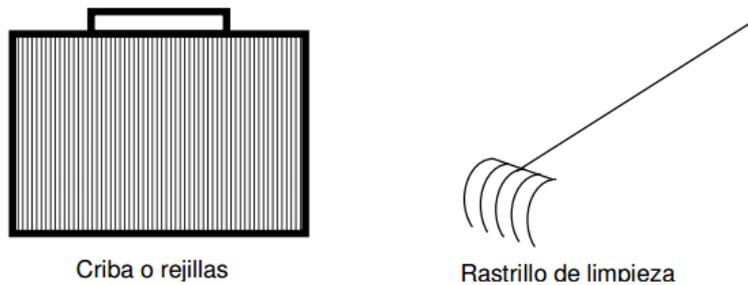
El proceso cribado es una operación que básicamente se utiliza para separar o retener el material grueso sólido de origen orgánico o inorgánico que flotan o están suspendidos en el agua residual, a través del paso de ella por una criba malla o rejilla. En el tratamiento de aguas residuales se usan rejillas gruesas, principalmente de barras o varillas de acero, este tratamiento

es utilizado para precautelar el funcionamiento de bombas, válvulas, tuberías y equipos, etc... (ROMERO, 2002, p. 287)

**Tabla 18-3** Condiciones de diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual

Característica	limpieza mecánica	limpieza manual
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	0,6-1 m/s	0,3-0,6 m/s
Perdida de energía Permisible	15cm	15cm
Abertura o espaciamento	1,5-7,5 cm	2,5-5,0 cm
Pendiente con la vertical	0°-30°	30°-45°

Fuente: (Eddy, 1995)



**Figura 5** Accesorios para el proceso de cribado  
Fuente: Diseño de la planta de agua residuales Betula (SANTANDER)

En concordancia a la bibliografía las rejillas pueden estar dispuestas en agulos entre 45°-60° y estan formadas por barras paralelas separadas por 0,5- 5cm dependiendo de las características de diseño con el motivo de detener diferentes tamaños de partículas incluyendo basura entre a medida que el agua pase a través de este proceso.

De acuerdo a la 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.

*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.



**Figura 6-3** Accesorios para el proceso de cribado  
Realizado por. Carlos Muyón 2017

- **Calculo del sistema de rejillas**
- **Calculo del área libre de las rejillas,  $A_{libre}$ :**

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

Ecuación 6

**Donde:**

$Q_{punta}$ : Caudal punta;  $0,063 \text{ m}^3/\text{s}$

$A_{libre}$ : 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 18-3)

**Tabla 19-3:** Parámetros de diseño para rejillas

Parámetro	Recomendado
Forma de barra	Rectangular
Ancho de barra	5-15
Espesor de barra	25-40
Abertura entre barras	25-50
Inclinación con la vertical	45-600
Velocidad de aproximación	0,45 m/s

<b>Tiempo de retención del canal de aproximación</b>	>3s
<b>Velocidad a través de las barras</b>	< 0,6m/s para caudal promedio y < 0,9 m/s para caudal máximo
<b>Perdida de carga</b>	0,15,

Fuente: Adaptado de Reynolds

Realizado por: Carlos Muyón 2017

$$A_{libre} = \frac{0,063 \text{ m}^3/s}{0,60 \text{ m/s}}$$

$$A_{libre} = 0,106 \text{ m}^2$$

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

Se determinó que el ancho del canal es de 0,8 m, y diámetro interno de 300 mm de la salida del desfogue atreves de una tubería de concreto, datos obtenidos en mediciones de campo.

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

Ecuación 7

**Donde:**

$A_{libre}$ : Área libre del paso de agua por las rejillas; 0,106 m<sup>2</sup>

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

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

$$h_{tc} = \frac{0,106 \text{ m}^2}{0,80 \text{ m}}$$

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

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

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

Ecuación 8

**Donde:**

$h_c$ : Altura del tirante de construcción; m

$h_{tc}$ : Altura del tirante en el canal; 0,133 m

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

$$h_c = 0,133 m + 0,5m$$

$$h_c = 0,633 m$$

- **Calculo de longitud de las barras,  $L_{barras}$ :**

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

Ecuación 9

**Datos:**

$h_c$ : Altura del tirante de construcción; 0,633 m

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

$\phi$ : Ángulo de inclinación de las barra; 45° (Ver Tabla 19-3)

$$L_{barras} = \frac{0,633 m}{\text{Sen } 45}$$

$$L_{barras} = 0.895$$

$$L_{barras} = 0,895m$$

- **Calculo de la perdida de carga en las barras (  $h_p$ ):**

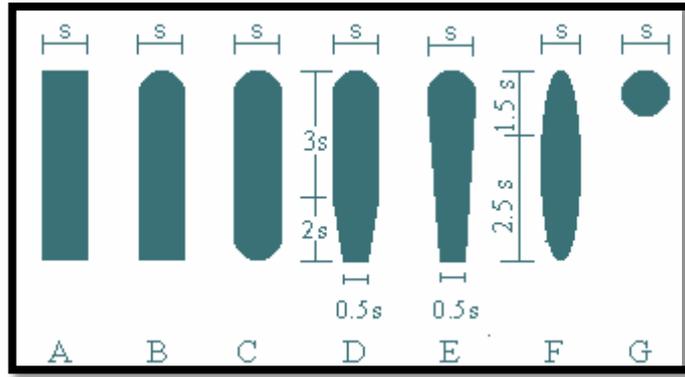
Se utilizaron los datos presentes en la siguiente tabla:

**Tabla 20-3:** Coeficiente de pérdida según 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: Carlos Muyón 2017



**Gráfico 1-3:** Formas de las rejillas

Fuentes (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; 1,79 adimensional ver *Tabla 19-3*

$v$ : 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);  $45^\circ$  ver *Tabla 11-3*

$S_{barras}$  = Separación entre barras: 25 mm, ver *Tabla 19-3*

$eb$  = Espesor de barra: 0,010m ver *Tabla 19-3*

$$h_p = 1,79 \left( \frac{0,025 m}{0,010m} \right)^{4/3} \left( \frac{0,60^2}{2 * 9,8 m/s^2} \right) \text{Sen } 45$$

$$h_p = 0,0036m$$

- **Calculo 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 19-3*

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

$S_{barras}$  = Separación entre barras: 25 (mm), ver Tabla 19-3

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

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

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

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

- Cálculo del radio hidráulico,  $RH$ :

Tabla 21-3 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)

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

Ecuación 10

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 20-3)

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

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

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

Los coeficientes de rugosidad varían según el tipo de material para este proyecto técnico se decidió utilizar Hormigón con paredes lisas.

**Tabla 22-3** Coeficiente de rugosidad de Manning

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

Fuente: ([ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_training/FAO\\_training/general/x6708s/x6708s08.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6708s/x6708s08.htm))

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

Ecuación 11

**Donde:**

**S:** Pendiente canal rectangular revestido de hormigón; 0,05 % *fuentes* Tabla 20-3

**n:** Coeficiente de rugosidad de Manning; 0,013 adimensional *fuentes* Tabla 21-3

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

**$RH$ :** = Radio hidráulico; 0,24 m

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

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

• **Calculo de área transversal del canal  $A_c$ :**

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

Ecuación 12

**Donde:**

**$A_c$ :** Área transversal del canal: m<sup>2</sup>

**$Q_{punta}$ :** Caudal punta; 0,063 m<sup>3</sup>/s

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

$$A_c = \frac{0,063 \text{ m}^3/\text{s}}{0,66 \text{ m/s}}$$

$$A_c = 0,095 \text{ m}^2$$

• **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:  $0,095 \text{ m}^2$

$$h_{Cmax} = \sqrt{\frac{0,095 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h_{Cmax} = 0,218\text{m}$$

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

**Tabla 23-3** 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)

Como tenemos un caudal menor a  $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$  se toma u borde libre de  $0,30 \text{ m}$

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

Ecuación 19

**Donde:**

$h_{Cmax}$ : Altura máxima del agua en el canal;  $0,218\text{m}$

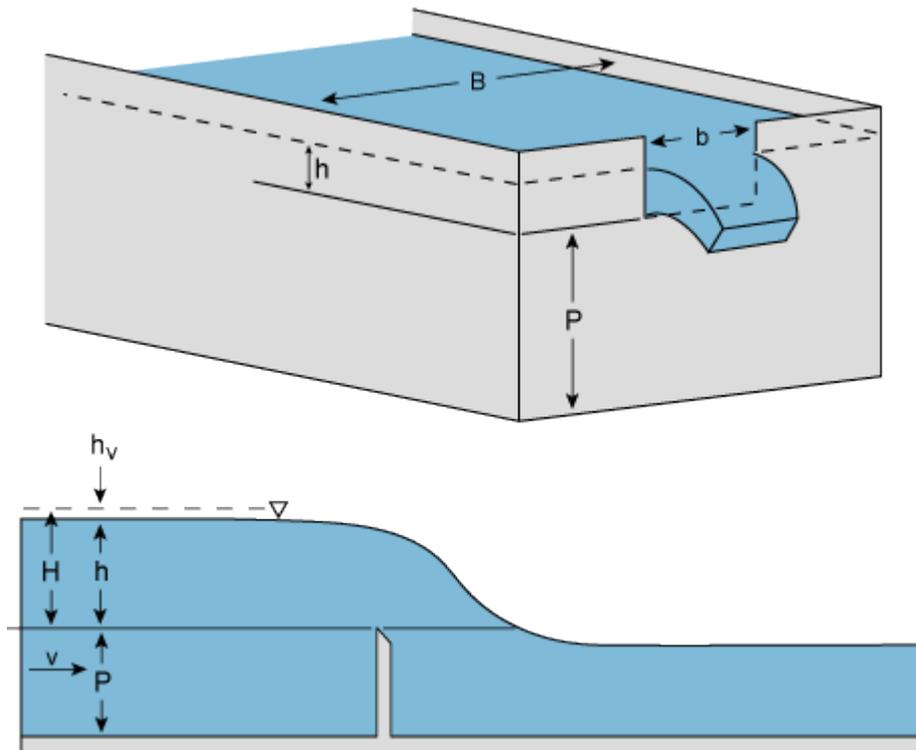
$b_{libre}$ : Borde libre;  $0,30\text{m}$  (*fuente Tabla 23-3*)

$$H_{TC} = (0,218\text{m} + 0,30)\text{m}$$

$$H_{TC} = 0,518 \text{ m}$$

### 3.2.2.6 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.



**Gráfico 2-3:** Vertedero de tipo rectangular

Realizado por. Carlos Muyón 2017

- **Calculo de las dimensiones del vertedero rectangular**
- **Calculo Altura del canal vertedero,  $p_v$ :**

Se determinó por medio de un análisis de campo el tirante de agua obteniendo 0,125m

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

Ecuación 20

**Donde:**

$p_v$ : Altura del vertedero

$fs$ : Factor de seguridad; 10%

$H_{la}$ : Altura de la lámina del agua; 0,125 m

$$p_v = 1,1(0,125\ m)$$

$$p_v = 0,137\ m$$

- **Calculo 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

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

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

- **Calculo 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; 0,125 m

$B_v$ : Ancho del canal vertedero: m

$Q_{punta}$ : Caudal punta:  $0,063 \text{ m}^3/\text{s}$

$$B_v = \frac{0,063 \text{ m}^3/\text{s}}{1,84(0,125 \text{ m})^{3/2}}$$

$$B_v = 0,775 \text{ m}$$

- **Calculo 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  $\text{m}^2/\text{s}$

$B_v$ : Ancho del canal vertedero: 0,775 m

$Q_{punta}$ : Caudal punta:  $0,063 \text{ m}^3/\text{s}$

$$q_{iv} = \frac{0,063 \text{ m}^3/\text{s}}{0,775 \text{ m}}$$

$$q_{iv} = 0,081 \text{ m}^2/\text{s}$$

- **Calculo de la profundidad critica de flujo ( $p_{cf}$ ):**

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

Ecuación 24

**Datos:**

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

$q_{iv}$ : Caudal al interior del vertedero;  $0,081 \text{ m}^2/\text{s}$

$g$ : Gravedad:  $9,8 \text{ m/s}^2$

$$p_{cf} = \left( \frac{(0,081 \text{ m}^2/\text{s})^2}{9,8 \text{ m/s}^2} \right)^{1/3}$$

$$p_{cf} = 0,087 \text{ m}$$

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

Se escogió una altura del vertedero de  $0,50 \text{ m}$

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

Ecuación 25

**Dónde:**

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

$p_{cf}$ : Profundidad crítica de flujo;  $0,087 \text{ m}$

$h_v$ : Altura de la pared del vertedero ( $0,5 \text{ m}$ )

$$L_{sv} = 4,3(0,5 \text{ m})^{0,1}(0,087 \text{ m})^{0,9}$$

$$L_{sv} = 0,445 \text{ m}$$

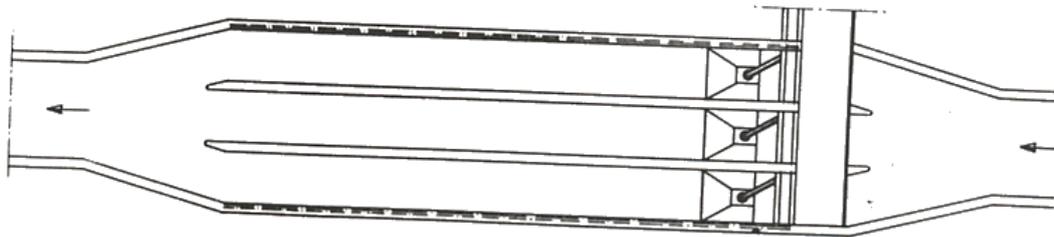
### 3.2.2.4 Dimensionamiento del Desarenador

Los desarenadores son un tipo tratamiento en aguas residuales, que se usan para la remoción de solidos inorgánicos tales como arena, grava, partículas u otro material solido 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 de flujo horizontal**

Se ha seleccionada un desarenador de flujo horizontal debido que los mismos son utilizados para permitir una mayor retención de solidos sedimentales(arena, grava, piedras pequeños objetos) con el fin de que el agua que ingrese a la PTAR mantengan únicamente los sólidos suspendidos que es donde se encuentra la mayor parte de materia orgánica, en la depuración de aguas residuales el agua circula a través en dirección horizontal a una la velocidad horizontal de circulación aproximadamente igual a 30 cm/s en esta velocidad de flujo sucede el transporte de la mayor cantidad de partículas orgánica de agua residual a través de la estructura y permite re suspender el material orgánico sedimentado pero permitiendo la sedimentación del material inorgánico de mayor peso.



**Figura 7-3** Desarenador de flujo horizontal  
Fuente. Romero Rojas, 2002

Para el dimensionamiento de un desarenador horizontal se debe tomar en cuenta los caudales extremos de operación para garantizar la remoción de material orgánico también se debe tomar otras características como el diámetro de las partícula la densidad relativa y la velocidad de asentamiento

- Cantidad de arena

La cantidad de arena varia de lugar en lugar depende de diferentes factores como tipo de alcantarillado características del área tipo de residuos población servida y aproximación con canteras o zonas que produzcan gran arrastre de arena se debe dar un factor de seguridad que asegure los requerimientos de almacenamiento manejo y disposición de arena.

- Disposición de arena

La arena retirada del proceso contiene gran cantidad de material contaminante y material orgánico putrescible los cuales pueden presentar de malos olores y presencia de roedores e insectos por lo que se debe realizar un tratamiento previo del material orgánico y contaminante para su posterior disposición.

### **Zona de entrada y distribución del agua.**

- Cámara de quietamiento:

La cámara de quietamiento es una estructura que tiene la función de controlar las condiciones de entrada del agua para la posterior sedimentación de las partículas de arena, esto se lleva acabado disminuyendo la velocidad de entrada del fluido lo que asegura que el proceso se lleve de manera apropiada

Las variables de diseño en este proceso son velocidad de ascenso del agua dentro de un rango de 0.04 m/s y 0.1 m/s, tiempo de retención en un rango de 30 y 60 segundos. En este caso se escogió un tiempo de retención de 60 segundos para una mayor depuración de sólidos sedimentables

- Estructura de transición.

En esta estructura que asegura que el flujo de agua ocurra de manera moderada o gradual para no perturbar el proceso de decantación de sólidos generalmente el ángulo de divergencia de esta estructura es menor de 30° para evitar disturbios significativos en el transición de agua.

- **Dimensionamiento del tanque desarenador de flujo horizontal**

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

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

Dónde:

Ecuación 26

$V_{ca}$ : Volumen de la cámara de quietamiento m<sup>3</sup>

$t_r$ : Tiempo de retención; 60 s

$Q_{punta}$ : Caudal punta 0,063 m<sup>3</sup>/s

$$V_{ca} = 0,063 \text{ m}^3/\text{s} * 60\text{s}$$

$$V_{ca} = 3,78 \text{ m}^3$$

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

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

Ecuación 27

**Dónde:**

$A_{ca}$ : Área superficial de la cámara de aquietamiento;  $\text{m}^2$

$v_f$ : 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 0,063  $\text{m}^3/\text{s}$

$$A_{ca} = \frac{0,063 \text{ m}^3/\text{s}}{0,019 \text{ m/s}}$$

$$A_{ca} = 3,31 \text{ m}^2$$

- Calculo de la longitud y ancho de la cámara de aquietamiento,  $L_{ca}$ :

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

Ecuación 28

**Dónde:**

$B_{ca}$ : Ancho de la cámara de aquietamiento; m

$L_{ca}$ : Longitud y ancho superficial de la cámara de aquietamiento; m

$A_{ca}$ : Área superficial de la cámara de aquietamiento; 3,31  $\text{m}^2$

$$B_{ca} = L_{ca} = \sqrt{3,31 \text{ m}^2}$$

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

$$B_{ca} = 1,82 \text{ m}$$

- Calculo de la altura de la cámara de aquietamiento,  $h_{ca}$ :

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

**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)

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

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

- Dimensionamiento del sedimentador primario
- Velocidad de sedimentación en régimen laminar  $v_s$ :

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

TEMPERATURA (T) °C	TENSIÓN SUPERFICIAL ( $\sigma$ ) N/m	VISCOSIDAD DINÁMICA ( $\vartheta * 10^6$ ) m <sup>2</sup> /s	DENSIDAD ( $\rho$ ) kg/m <sup>3</sup>	VISCOSIDAD DINÁMICA ( $\mu * 10^3$ ) N. s/m <sup>2</sup>
0	0,0756	1,785	999,8	1,781
5	0,0749	1,519	1000,0	1,518
10	0,0742	1,306	999,7	1,307
15	0,0735	1,140	999,1	1,139
20	0,0728	1,003	998,2	1,002
25	0,0720	0,893	997,0	0,890
30	0,0710	0,800	995,7	0,798

Fuente: (Eddy, 1995)

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

Material	Régimen	Ley Aplicable	Límite de las partículas (cm)	Número de Reynolds	$v_s$
Grava	Turbulento	$v_s = 1,82 \sqrt{dg \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)}$ Newton	>1,0	>10000	100
Arena Gruesa	Transición	$v_s = 0,22 * \left( \frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} * g \right)^{\frac{2}{3}}$ $* \left( \frac{d}{\left( \frac{\mu}{\rho_L} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$ Allen	0,100 0,080 0,060 0,050 0,040 0,030 0,020 0,015	1000 600 180 27 17 10 4 2	10 8,3 6,4 5,3 4,2 3,2 2,1 1,5
			0,010	0,8	0,8

<b>Arena Fina</b>	Laminar	$v_s = \frac{g}{18} \frac{(\rho_s - \rho_L) d^2}{\mu}$ Stokes	0,008	0,5	0,6
			0,006	0,24	0,4
			0,005	1,0	0,3
			0,004	1,0	0,2
			0,003	1,0	0,13
			0,002	1,0	0,06
			0,001	1,0	0,015

Fuente: (RAS, 2000)

$$v_{sp} = \frac{g}{18} * (\rho_s - \rho_L) * D_p^2$$

Ecuación 30

**Dónde:**

$v_{sp}$ : Velocidad de sedimentación de las partículas; cm/s

$D_p$ : Diámetro de las partículas a remover; 0,015 cm (*frente Tabla 25-3, según las características de la arena gruesa encontrada en aguas residuales*)

$\mu$ : Viscosidad cinemática del agua a 20°C; 0,01007 cm<sup>2</sup>/s (*frente Tabla 24-3*)

$g$ : Gravedad ; 981 cm<sup>2</sup>/s

$\rho_s$ : Densidad relativa arena; 2,65 1 adimensional (*frente Tabla 25-3*)

$\rho_a$ : Densidad relativa del agua a 20°C; 1 adimensional (*frente Tabla 25-3*)

$$v_{sp} = \frac{981 \text{ cm}^2/\text{s}^2 (2,65 - 1) (0,015 \text{ cm})^2}{0,01007 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$v_{sp} = 2 \text{ cm/s}$$

- **Calculo del número de Reynolds  $NRe$ :**

$$NRe = \frac{v_{sp} * D_p}{\mu}$$

Ecuación 31

**Dónde:**

$NRe$ : Número de Reynolds; adimensional

$D_p$ : Diámetro de las partículas a remover; 0,015 cm (*frente Tabla 25-3, según las características de la arena gruesa encontrada en aguas residuales*)

$\mu$ : Viscosidad cinemática del agua a 20°C; 0,01007 cm<sup>2</sup>/s (*frente Tabla 24-3*)

$v_{sp}$ : Velocidad de sedimentación de las partículas; 2 cm/s

$$NRe = \frac{2 \text{ cm/s} * 0,015 \text{ cm}}{0,01007 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$NRe = 2,99$$

$$NRe > 1$$

Esto nos indica que el fluido no se encuentra en régimen laminar por lo tanto se procede a aplicar la ley de Stokes en régimen de transición correspondiente a la zona de Allen

- **Velocidad de sedimentación en régimen de transición en la zona de Allen:**

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

Ecuación 32

**Dónde:**

$v_{sp}$ : Velocidad de sedimentación de las partículas; cm/s

$D_p$ : Diámetro de las partículas a remover; 0,015 cm (*frente Tabla 25-3, según las características de la arena gruesa encontrada en aguas residuales*)

$\mu$ : Viscosidad cinemática del agua a 20°C; 0,01007 cm<sup>2</sup>/s (*frente Tabla 24-3*)

$g$ : Gravedad ; 981 cm<sup>2</sup>/s

$\rho_s$ : Densidad relativa arena; 2,65 1 adimensional (*frente Tabla 25-3*)

$\rho_a$ : Densidad relativa del agua a 20°C; 1 adimensional (*frente Tabla 25-3*)

$$v_{sp} = 0,22 * \left( \frac{2,65 - 1}{1} * 981 \text{ cm/s}^2 \right)^{\frac{2}{3}} * \left( \frac{0,015 \text{ cm}}{\left( \frac{0,01007 \text{ cm}^2/\text{s}}{1} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

$$v_{sp} = 2,09 \text{ cm/s}$$

- **Calculo del número de Reynolds en la zona de allen  $NRe$ :**

$$NRe = \frac{v_{sp} * D_P}{\mu}$$

Ecuación 31

**Dónde:**

**NRe:** Número de Reynolds; adimensional

**D<sub>P</sub>:** Diámetro de las partículas a remover; 0,015 cm (*frente Tabla 25-3, según las características de la arena gruesa encontrada en aguas residuales*)

**μ:** Viscosidad cinemática del agua a 20°C; 0,01007 cm<sup>2</sup>/s (*frente Tabla 24-3*)

**v<sub>sp</sub>:** Velocidad de sedimentación de las partículas; 2,09 cm/s

$$NRe = \frac{2,09 \text{ cm/s} * 0,015 \text{ cm}}{0,01007 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$NRe = 5,58$$

El número de Reynolds, se encuentra en la zona de transición que corresponde a la Ley de Allen. (Ver Tabla 25-3)

- **Calculo del tiempo de sedimentación en el sedimentador; ts:**

**Tabla 26-3** Geometría de desarenadores

Parámetro	Desarenador aireado	Desarenador tipo vórtice	Desarenador de flujo horizontal
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
Cámara superior	----	1 a 7	----
Profundidad (m)	2 a 5	2,5 a 5	2 a 5
Longitud (m)	8 a 20	----	----
Ancho (m)	2,5 a 7	----	----

Fuente: (RAS, 2000)

$$ts = \frac{h_d}{V_s}$$

Ecuación 34

**Dónde:**

**ts:** Tiempo de sedimentación ; s

**v<sub>sp</sub>:** Velocidad de sedimentación de las partículas; 2,09 cm/s

**h<sub>d</sub>:** Altura del desarenador; 2,5 (*frente Tabla 26-3*)

$$ts = \frac{2,5 \text{ m}}{20,9 \times 10^{-3} \text{ m/s}}$$

$$ts = 119,61 \text{ s}$$

Esto se validó con datos Experimentalmente donde se obtuvo un tiempo óptimo de sedimentación de 12 min

- **Tiempo de retención hidráulica en el desarenador, tr:**

El número de Hazen nos indica el grado de eficiencia de sedimentación en el desarenador para este sistema de depuración se escogió una eficiencia teórica del 88 %

**Tabla 27-3, Número de Hazen.**

Condiciones	50%	60%	75%	88%
<b>n=1</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
<b>n=2</b>	0,76	----	1,66	2,75
<b>n=3</b>	0,73	----	1,52	2,37
<b>Máximo teórico</b>	0,5	----	0,75	0,88

Fuente: (RAS, 2000)

$$\frac{tr}{ts} = 7$$

$$tr = 7(ts)$$

Ecuación 35

**Dónde:**

$\frac{tr}{ts}$ : Número de Hazen (Adimensional); (fuente Tabla 27-3)

**tr:** Tiempo de retención hidráulica; (min)

**ts:** Tiempo de sedimentación (s); 119,61 s

$$tr = 7(119,61 \text{ s})$$

$$tr = 837,27 \text{ s}$$

$$tr = 13,95 \text{ min}$$

Este valor tiene concuerda con el valor obtenido en la parte experimental del tiempo de sedimentación

- **Calculo del volumen del desarenador de tipo airado  $V_{da}$ :**

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

Ecuación 36

**Dónde:**

**tr:** Tiempo de retención hidráulica (s); 837,27s

$V_{da}$ : Volumen útil de cada desarenador ( $m^3$ )

$Q_{punta}$ : Caudal de diseño por unidad;  $0,063 m^3/s$

$$V_{da} = 0,063 m^3/s * 837,27s$$
$$V_{da} = 52,74 m^3$$

- **Calculo del área del desarenador  $A_d$ :**

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

Ecuación 37

**Dónde:**

$A_d$ : Área del desarenador; m

$V_{da}$ : Volumen útil de cada desarenador;  $52,74 m^3$

$h_d$ : Altura del desarenador;  $2,5$  (fuente Tabla 26-3)

$$A_d = \frac{52,74m^3}{2,5 m}$$

$$A_d = 21,09 m^2$$

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

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

Ecuación 38

**Dónde:**

$Q_{punta}$ : Caudal punta por unidad;  $0,063 m^3/s$

$C_d$ : Carga hidráulica del desarenador: cm/s

$A_d$ : Área del desarenador;  $21,09 m^2$

$$C_d = \frac{0,063 m^3/s}{21,09 m^2}$$

$$C_d = 2,98 \times 10^{-3} m/s$$

$$C_d = 0,29 cm/s$$

La carga superficial es un valor teórico que muestra la velocidad de sedimentación de las partículas, en este caso nos indica que la mayoría de las partículas que tengan un tamaño aproximado a 0,015 cm tendrá una buena eficiencia de sedimentación.

- **Calculo del ancho de sedimentación  $B_s$**

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

Ecuación 39

**Dónde:**

$B_s$ : Ancho de sedimentación; m

$A_d$ : Área del desarenador; 21,09 m<sup>2</sup>

$$B_s = \sqrt{\frac{21,09 \text{ m}^2}{3}}$$

$$B_s = 2,65 \text{ m}$$

- **Calculo de la longitud de sedimentación  $L_s$ :**

$$L_s = \frac{A_d}{B_s}$$

Ecuación 40

**Dónde:**

$L_s$ : Longitud de sedimentación; m

$A_d$ : Área del desarenador; 21,09 m<sup>2</sup>

$B_s$ : Ancho de sedimentación; 2,65 m

$$L_s = \frac{21,09 \text{ m}^2}{2,65 \text{ m}}$$

$$L_s = 7,96 \text{ m}$$

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

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

Ecuación 41

**Dónde:**

$A_{Td}$ : Área transversal del sedimentador; m<sup>2</sup>

$h_d$ : Altura del desarenador; 2,5 (fuente Tabla 26-3)

$B_s$ : Ancho de sedimentación; 2,65 m

$$A_{Td} = 2,65 \text{ m} * 2,5 \text{ m}$$

$$A_{Td} = 6,62 \text{ m}^2$$

- **Calculo de la velocidad de arrastre de las partículas en el sedimentador,  $v_{as}$ :**

$$v_{as} = \sqrt{\frac{8k}{f} * g * (\rho_s - 1) D_p}$$

Ecuación 42

**Dónde:**

$v_{as}$ : Velocidad de arrastre de la partícula cm/s

$g$ : Gravedad ; 981 cm/s<sup>2</sup>

$\rho_s$ : Densidad de la partícula; 2,65 g/cm<sup>3</sup>

$D_p$ : Diámetro de las partículas; 0,015 cm (*frente Tabla 25-3, según las características de la arena gruesa encontrada en aguas residuales*)

$k$ : Factor de forma; 0,04 adimensional para arenas unigranulares no adheribles

$f$ : Factor de fricción; 0,03 para estructuras de cemento

$$v_{as} = \sqrt{\frac{8(0,04)}{0,03} * 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} * (2,65 - 1) 0,015 \text{ cm}}$$

$$v_{as} = 16,09 \text{ cm/s}$$

- **Calculo de la velocidad en el sedimentador,  $V_s$ :**

$$V_s = \frac{Q_{punta}}{A_{Td}}$$

Ecuación 43

**Dónde:**

$V_s$ : Velocidad horizontal de cada tanque desarenador; cm/s

$Q_{punta}$ : Caudal de diseño por unidad; 0,063 m<sup>3</sup>/s

$A_{Td}$ : Área transversal del sedimentador; 6,62 m<sup>2</sup>

$$V_s = \frac{0,063 \text{ m}^3/\text{s}}{6,62 \text{ m}^2}$$

$$V_s = 9,51 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$V_s = 0,95 \text{ cm/s}$$

La  $V_s > v_{as}$  , esta relación asegura que no existirá arrastre de las partículas sedimentadas en otras partes del proceso de depuración de aguas residuales

- **Dimensionamiento de la zona de lodos**
- **Longitud de entrada en el fondo del desarenador  $L_{el}$ :**

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

Ecuación 44

**Dónde:**

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

$L_s$ : Longitud de sedimentación; 7,96 m

$$L_{el} = \frac{1}{3} * 7,96 \text{ m}$$

$$L_{el} = 2,563 \text{ m}$$

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

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

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

Ecuación 46

**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; m

$$H_{zl} = 2,563 \text{ m} * 0,10$$

$$H_{zl} = 0,256 \text{ m}$$

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

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

Ecuación 47

**Dónde:**

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

$L_s$ : Longitud de sedimentación; 7,96 m

$$L_{Sl} = \frac{2}{3} * 7,96 \text{ m}$$

$$L_{Sl} = 5,30 \text{ m}$$

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

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

Ecuación 48

**Dónde:**

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

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

$H_{zl}$ : Altura de la zona de lodos de la primera placa; 0,256 m

$$X' = \frac{0,256 \text{ m}}{5,30 \text{ m}}$$

$$X' = 0,048$$

$$X' = 5\%$$

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

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

Ecuación 49

**Dónde:**

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

$V_{da}$ : Volumen útil de cada desarenador; 52,74m<sup>3</sup>

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

$$V_L = 52,74m^3 * 0,10$$

$$V_L = 5,27 \text{ m}^3$$

#### 3.2.2.4 Canal Parshall

El canal parshall es un elemento que es usado para medir caudales en salidas de alcantarillas, aguas residuales 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.

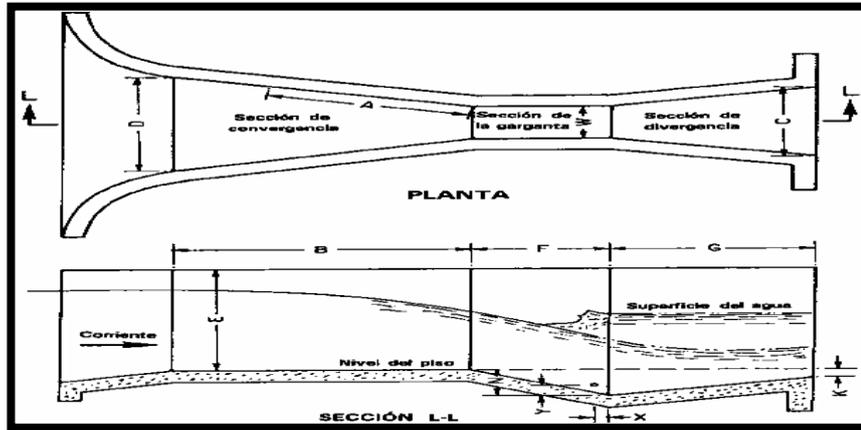


Figura 8-3 Grafico canal Parshall

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s06.htm>

- Dimensionamiento del canal Parshall
- Calculo del ancho en la garganta del canal parshall  $B_W$ :

Tabla 28-3 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)

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

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

Tabla 29-3 Valores de k y n, según el tamaño de W

Ancho de la Garganta Parshall (m)	N	K
0,646	0,646	3,704
0,636	0,636	1,842
0,633	0,633	1,486
0,657	0,657	1,276
0,650	0,650	0,966
0,645	0,645	0,795

0,639	0,639	0,608
0,634	0,634	0,505
0,630	0,630	0,436
0,627	0,627	0,389
0,623	0,623	0,324

Fuente: (CEPIS, 2015)

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

Ecuación 50

**Dónde:**

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

$Q_{punta}$ : Caudal de punta; 0,063 m<sup>3</sup>/s

$k$ : Constante; 1,486 *adimensional* (fuente Tabla 29-3)

$n$ : Constante 0,633 *adimensional* (fuente Tabla 29-3)

$$H_m = 1,486 * (0,063 \text{ m}^3/\text{s})^{0,633}$$

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

- Ancho entrada sección convergente  $B_{WC}$  :

**Tabla 30-3** Dimensiones de la canaleta Parshal

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
1 1/2'	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)

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

Ecuación 51

**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 (*fuentes Tabla 30-3*)

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

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

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

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

Ecuación 52

**Dónde:**

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

$Q_{punta}$ : Caudal de punta; 0,063 m<sup>3</sup>/s

$H_m$ : Altura del agua en la sección de medición; 0,33 m

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

$$v_{sm} = \frac{0,063 \text{ m}^3/\text{s}}{0,33 \text{ m} * 0,46 \text{ m}}$$

$$v_{sm} = 0,41 \text{ m/s}$$

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

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

Ecuación 53

**Dónde:**

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

$N$ : Dimensiones de la canaleta; 0,114 m (*fuentes Tabla 30-3*)

$v_{sm}$ : Velocidad en la sección de medición; 0,41 m/s

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

$H_m$ : Altura del agua en la sección de medición; 0,25 m

$$C_{HD} = \frac{(0,41 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} + 0,25 \text{ m} + 0,114 \text{ m}$$

$$C_{HD} = 0,37 \text{ m}$$

- **Calculo del caudal en la garganta del canal ,  $Q_c$ :**

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

Ecuación 54

**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; 0,063  $m^3/s$

$$Q_c = \frac{0,063 \text{ m}^3/s}{0,229 \text{ m}}$$

$$Q_c = 0,275 \text{ m}^3/s.m$$

- **Calculo 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 55

**Dónde:**

$\theta_c$ : Angulo de inclinación; grados

$C_{HD}$ : Carga hidráulica; 0,37 m

$Q_c$ : Caudal específico en la garganta de la canaleta; 0,275  $m^3/s.m$

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

$$\theta_c = \cos^{-1} \left[ -\frac{0,275 \text{ m}^3/s.m * 9,8 \text{ m/s}^2}{\left(\frac{2(9,8 \text{ m/s}^2) * 0,37 \text{ m}}{3}\right)^{1,5}} \right]$$

$$\theta_c = 135,80^\circ$$

- **Calculo 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 56

**Dónde:**

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

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

**θ<sub>c</sub>:** Angulo de inclinación; 135,80°

**C<sub>HD</sub>:** Carga hidráulica; 0,37 m

$$v_{ar} = 2 \sqrt{\left(\frac{2(0,37 \text{ m}) * 9,8 \text{ m/s}^2}{3}\right) * \cos\left(\frac{135,80^0}{3}\right)}$$

$$v_{ar} = 2,19 \text{ m/s}$$

- **Calculo de la altura de agua antes del resalto, h<sub>ar</sub>:**

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

Ecuación 57

**Datos:**

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

**v<sub>ar</sub>:** Velocidad antes del resalto; 2,19 m/s

**Q<sub>c</sub>:** Caudal específico en la garganta de la canaleta; 0,275 m<sup>3</sup>/s.m

$$h_{ar} = \frac{0,275 \text{ m}^3/\text{s.m}}{2,19 \text{ m/s}}$$

$$h_{ar} = 0,125 \text{ m}$$

- **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 perdida 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 58

**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; 0,125 m

$v_{ar}$ : Velocidad antes del resalto; 2,19 m/s

$$F = \frac{2,19 \text{ m/s}}{(9,8 \text{ m/s}^2 * 0,125 \text{ m})^{0,5}}$$
$$F = 2$$

- **Calculo de la altura después del resalto  $h_{dr}$ :**

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

Ecuación 59

**Dónde:**

**F:** Número de Froude; adimensional; 2

**$h_{dr}$ :** Altura de agua después del resalto; m

**$h_{ar}$ :** Altura de agua antes del resalto; 0,125 m

$$h_{dr} = \frac{0,125 \text{ m}}{2} * (\sqrt{1 + 8(2)^2} - 1)$$

$$h_{dr} = 0,29 \text{ m}$$

- **Calculo de la velocidad de resalto del canal  $v_r$ :**

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

Ecuación 60

**Dónde:**

**$v_r$ :** Velocidad después del resalto m/s

**$h_{dr}$ :** Altura de agua después del resalto; 0,29m

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

**$Q_{punta}$ :** Caudal de punta; 0,063 m<sup>3</sup>/s

$$v_r = \frac{0,063 \text{ m}^3/\text{s}}{0,29 \text{ m} * 0,229 \text{ m}}$$

$$v_r = 0,95 \text{ m/s}$$

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

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

**Dónde:** $h_{sc}$ : Altura a la salida del canal; m $h_{dr}$ : Altura de agua después del resalto; 0,29m $n$ : Dimensiones de la canaleta; 0,114 m (*fuelle tabla 30-3*) $k$ : Dimensiones de la canaleta; 0,076 m (*fuelle tabla 30-3*)

$$h_{sc} = 0,29m - (0,114m - 0,076m)$$

$$h_{sc} = 0,252m$$

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

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

**Dónde:** $v_{sc}$ : Velocidad en la sección de salida (m/s) $Q_{punta}$ : Caudal de punta; 0,063 m<sup>3</sup>/s $h_{sc}$ : Altura a la salida del canal; 0,252 m $C$ : Dimensiones de la canaleta; 0,39 m (*fuelle Tabla 30-3*)

$$v_{sc} = \frac{0,063 \text{ m}^3/\text{s}}{0,39\text{m} * 0,252 \text{ m}}$$

$$v_{sc} = 0,64 \text{ m/s}$$

- **Calculo de la perdida de carga en el resalto,  $h_R$ :**

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

**Dónde:** $p_{cr}$ : Pérdida de carga en el resalto; m $H_m$ : Altura del agua en la sección de medición; 0.25 m $K'$ : Constantes adimensionales; 0,076 m (*fuelle Tabla 30-3*) $h_{sc}$ : Altura a la salida del canal; 0,252 m

$$p_{cr} = 0.25 \text{ m} + 0,076 \text{ m} - 0,252 \text{ m}$$

$$p_{cr} = 0,074 \text{ m}$$

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

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

Ecuación 64

**Dónde:**

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

$G'$ : Dimensión de la canaleta (m); 0,61 m (*fuelle Tabla 30-3*)

$v_r$ : Velocidad después del resalto 0,95 m/s

$v_{sc}$ : Velocidad en la sección de salida (m/s) ; 0,64 m/s

$$t_r = \frac{2(0,61 \text{ m})}{0,95 \text{ m/s} + 0,64 \text{ m/s}}$$

$$t_r = 0,76 \text{ s}$$

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

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

Ecuación 65

**Dónde:**

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

$t_r$ : Tiempo de mezcla; 0,76(s)

$\gamma$ : Peso específico ( $kN/m^3$ ); 9,789  $kN/m^3$  (*fuelle Tabla 24-3*)

$p_{cr}$ : Pérdida de carga en el resalto; 0,074m

$\mu$ : Viscosidad dinámica ( $N.s/m^2$ );  $1,102 \times 10^{-3} N.s/m^2$  (*fuelle Tabla 24-3*)

$$G = \sqrt{\frac{9,789 \text{ kN/m}^3}{1,102 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2} * \left(\frac{0,175 \text{ m}}{0,71 \text{ s}}\right)^{0,5}}$$

$$G = 47,79 s^{-1}$$

### 3.2.2.7 Floculador hidráulico horizontal

La floculación es una operación que consiste en la aglomeración de partículas coaguladas por el efecto de su mayor peso y tamaño que forman flóculos los cuales sedimentan. Esta se produce por la adición de productos químicos que por acción de una lenta agitación produce la formación de flóculos. La velocidad de agitación es un factor importante en este proceso esta debe realizarse con mucho cuidado sí 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

### **Clasificación de los Floculadores**

El objetivo de los Floculadores es proporcionar el movimiento suficiente para el crecimiento de los flóculos y su posterior sedimentación. Los Floculadores se diseñan de acuerdo a la energía utilizada para su agitación.

- **Floculadores mecánicos**

Los Floculadores mecánicos requieren una fuente de energía externa para agitar el fluido. Generalmente se utiliza, paletas, hélices u otros elementos acoplados que es impulsado por una fuerza motriz y así se realice el proceso mencionado.

- **Floculadores hidráulicos**

En los Floculadores hidráulicos, la energía necesaria para la mezcla proviene de la carga de velocidad que trae el fluido. Consiste en tanques provistos de canales, tabiques o pantallas entre los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección del flujo.

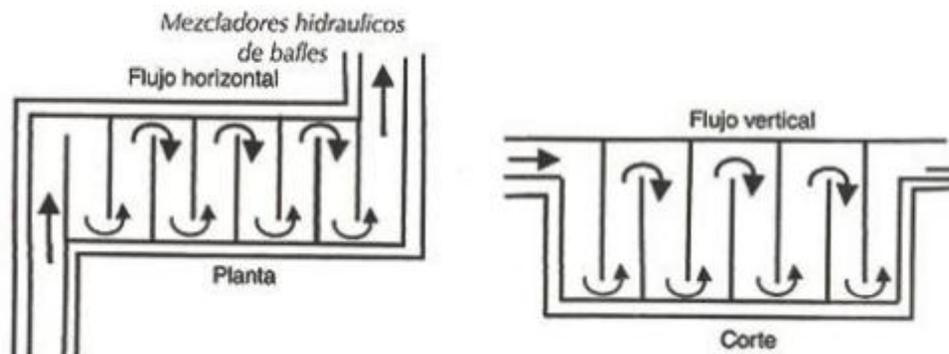
- **Floculador hidráulico de flujo vertical**

El agua va y viene por encima y por debajo de las pantallas que dividen el tanque. Su construcción es preferencial para plantas de dimensiones grandes con una profundidad de 2 a 3m.

- **Floculador hidráulico de flujo horizontal**

El agua se desplaza en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo el giro al final de cada uno, el uso y construcción de este floculador es recomendable para plantas pequeñas con caudales menor a 100 L/s.

Para este sistema de tratamiento se ha optado por la construcción con asbesto-cemento (A.C) que presenta bajo costo, y que no presenta riesgo de contaminación en aguas que no sean acidas o abrasivas. De esta manera, se le da mayor flexibilidad a la unidad reduciendo el área y por consiguiente los costos de construcción.



**Figura 9-3** Floculadores Hidráulicos  
Fuente: (ROMERO, 2002)

- **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 31-3** Criterios de diseño para un floculador hidráulico de flujo horizontal

Tipo de pantalla	Profundidad	Unidad
Asbesto-Cemento	1,0	M
Madera	1,5-2,0	M

Fuente: (L. Cepeda Vargas)

Realizado por: Carlos Muyón 2017

**Tabla 32-3** Dimensiones específicas para cada tipo de pantalla

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

Fuente: (L. Cepeda Vargas)

Realizado por: Carlos Muyón 2017

Se utilizó para las pantalla de A.C corrugado ya que contribuye en disminuir la diferencia de gradiente de velocidad entre el canal y las vueltas, siendo el ancho de las láminas corrugadas es de 0,825m.

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 33-3** Número de intensidad

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

Fuente: (L. Cepeda Vargas)

Realizado por: Carlos Muyón 2017

- **Área del canal floculador, ( $A_F m^2$ ):**

$$A_F = \frac{Q_p}{v}$$

Ecuación 66

**Dónde:**

$v$ : Velocidad de flujo la salida del canal parshall ( $0,15 \frac{m}{s}$ )

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/s$ );  $0,0608 m^3/s$  factor del 5% por pérdida en la sedimentación

$$A_F = \frac{0,0608 m^3/s}{0,15 \frac{m}{s}}$$

$$A_F = 0,405 m^2$$

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

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

**Dónde:**

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

$A_f$ : Área del floculador( $m^2$ );  $0,405m^2$

$H_u$ : Altura del agua en la unidad (m); 1,10 m tabla considerando un 10% de factor de seguridad

$$a = \frac{0,405m^2}{1,10 \text{ m}}$$

$$a = 0,36m$$

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

$$d = 1,5 * a$$

Ecuación 68

**Dónde:**

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

$a$ : Ancho del canal de floculación (m);  $0,36 \text{ m}$

$$d = 1,5 * 0,36 \text{ m}$$

$$d = 0,55m$$

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

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

Ecuación 69

**Dónde:**

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m);  $0,55 \text{ m}$

$b_{ac}$ : Ancho útil de lámina A-C (m);  $0,825 \text{ m}$  valor de la *tabla 33-3*

$B_f$ : ancho del floculador(m)

$$B_f = 3(0,825) + 0,55$$

$$B_f = 3,02m$$

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

$$L_E = B_f - d$$

Ecuación 70

**Dónde:**

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

$B_f$ : ancho del floculador( $m$ ); 3,02  $m$

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación ( $m$ ); 0,55  $m$

$$L_E = 3,02 m - 0,55 m$$

$$L_E = 3,57m$$

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

Se escogió un tiempo mínimo para que ocurra la floculación de 10 minutos según la norma GOMELLA y por los datos experimentales obtenidos en laboratorio.

$$L_c = v * T_r$$

Ecuación 71

**Dónde:**

$v$ : Velocidad de flujo ( $0,60 \frac{m}{s}$ )

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

$T_r$ : Tiempo para que ocurra la floculación; 10  $min$

$$L_c = 0,15 \frac{m}{s} * 10min * 60s$$

$$L_c = 90 m$$

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

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

Ecuación 72

**Dónde:**

$N_c$ : Número de canales; unidades

$L_c$ : distancia recorrida por en el floculador(m); 90 m

$B_f$ : ancho del floculador(m); 3,02 m

$$N_c = \frac{90 \text{ m}}{3,02 \text{ m}}$$

$$N_c = 29,80 \text{ unidades}$$

$$N_c = 30 \text{ unidades}$$

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

Ecuación 73

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

**Dónde:**

$N_c$ : Número de canales; 28 unidades

$es$ : Espesor del floculador(m); *valor obtenido de la tabla 33 – 3*; 0,006 m

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,55 m

$$L = 30 (0,55 + 0,006)$$

$$L = 16,68 \text{ m}$$

- **Calculo del volumen del floculador,  $V_f$ :**

$$V_f = L * B_f * H_u$$

Ecuación 74

**Dónde:**

$B_f$ : ancho del floculador(m); 3,02 m

$H_u$ : Altura del agua en la unidad (m); 1,10 m tabla considerando un 10% de factor de seguridad

$L$ : Longitud del floculador ( m); 16,68 m

$$V_f = 16,68 \text{ m} * 3,02 \text{ m} * 1,10\text{m}$$

$$V_f = 55,41 \text{ m}^3$$

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

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

Ecuación 75

**Datos:**

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

$N_C$ : Número de canales; 30 unidades

$v$ : Velocidad de flujo ( $0,15 \frac{m}{s}$ )

$$h_{c1} = \frac{3 * (0,15 \frac{m}{s})^2 (30 - 1)}{2(\frac{9,8m}{s^2})}$$

$$h_{c1} = 0,099m$$

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

$$P = 2H_u + d$$

Ecuación 76

**Dónde:**

$H_u$ : Altura del agua en la unidad (m); 1,10 m tabla considerando un 10% de factor de seguridad

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m); 0,55 m

$$P = 2 * 1,10m + 0,55 m$$

$$P = 2,75 m$$

- Radio hidráulico de los canales,  $R_H$ :

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

**Dónde:**

$A_f$ : Área del floculador( $m^2$ );  $0,405m^2$

$P$ : Perímetro mojado en la sección del tramo;  $2,75m$

$$R_H = \frac{0,405m^2}{2,75m}$$

$$R_H = 0,15 m$$

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

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

Ecuación 78

**Dónde:**

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

$R_H$ : Radio hidráulico de los canales del tramo;  $0,15m$

$n$ : Coeficiente de fricción de Manning;  $0,03$  ver tabla 32-3

$L_c$ : distancia recorrida por el agua( $m$ );  $90 m$

$v$ : Velocidad de flujo ( $0,15 \frac{m}{s}$ )

$$H_{c2} = \frac{(0,03 * 0,15 \frac{m}{s})^2}{0,15m^{\frac{4}{3}}} * 90 m$$

$$H_{c2} = 0,018m$$

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

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

Ecuación 79

**Dónde:**

$H_{c2}$ : Pérdida de carga en los canales del tramo( $m$ );  $0,018m$

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

$h_{c1}$ : Pérdida de carga de las vueltas; 0,099m

$$H_{cT} = 0,018m + 0,099m$$

$$H_{cT} = 0.117m$$

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

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

Ecuación 80

**Dónde:**

$T_r$ : Tiempo para que ocurra la floculación; 10min

$H_{cT}$ : Pérdida de carga total del tramo; 0,117 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;  $0,9463 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s}$

$$G = \sqrt{\frac{998 \frac{kg}{m^3}}{0,9463 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s}} * \frac{0,117m}{60s}}$$

$$G = 41,92s^{-1}$$

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 81

**Datos:**

$T_r$ : Tiempo para que ocurra la floculación; 10min

$G$  : Gradiente de velocidad;  $48,01s^{-1}$

$$G_T = 41,92s^{-1} * 600s$$

$$G_T = 25155$$

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, la concentración del PAC en el Test de jarra es 4mg/L, nuestro cálculo se realizará para un caudal de diseño máximo 231552L/día con una turbiedad inicial de 116,41 NTU y una turbiedad final de 5.4

$$P2 = \frac{V2 * P1}{V1}$$

**V1** : Volumen de la solución; ml

**V2**: Volumen de la solución requerida; ml

**P1**: Peso PAC inicial (g)

$$P2 = \frac{4ml * 5g}{1000ml}$$

$$P2 = 0,02 \text{ g/L}$$

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

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

$$P_{PAC} = \frac{2620800L}{dia} * \frac{0,02g}{l} * kg/1000g$$

$$P_{PAC} = 52.41 \text{ kg/dia}$$

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

$$CPAC = P_{PAC} * Dosis \text{ PAC}$$

$$CPAC = \frac{52.41Kg}{dia} * 0,75ctv$$

$$CPAC = 39,32 \text{ \$/dia}$$

$$CPAC = 1179.6 \text{ \$/mes}$$

$$CPAC = 14351.8 \text{ \$/año}$$

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

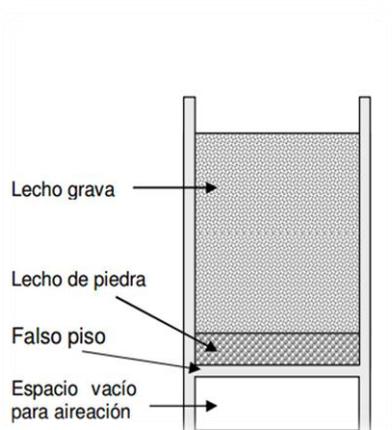
$$C_{PAC} = P_{PAC} * Dosis \text{ PAC}/25Kg$$

$$C_{PAC} = \frac{53,41kg}{dia} * 0,75}{25kg} * 365días$$

$$C_{PAC} = 584,83 \text{ sacos}$$

### 3.2.2.8 Dimensionamiento de un filtro circular de arena ascendente

En el tratamiento de aguas residuales es comúnmente utilizado el proceso de filtración, este proceso consiste en que el agua previamente tratada en tratamiento primario y secundario respectivamente es sometida al medio filtrante es este caso grava y piedra permitiendo que se filtre el agua pero reteniendo los componentes orgánicos en el medio filtrante. El tamaño de las piedras del lecho filtrante está dentro de un rango de 2,5-10 cm de diámetro iniciando con las más pequeñas y luego con las grandes para una mejor eficiencia



**Figura 10-3** Floculadores Hidráulicos

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

Dependiendo de la facilidad y preciso del mercado es posible aplicar gravas plásticas (las cuales se producen por medio del reciclaje) en el lecho filtrante y tiene la ventaja de ser más liviano que otros medios filtrantes y presenta una facilidad en el lavado en caso de saturación o taponamiento

Este tratamiento contribuye con la depuración de nitrógeno, sólidos en suspensión además de mejorar la eficiencia en la remoción de la carga orgánica presente en las aguas residuales para mejorar la eficiencia del proceso se puede hacer al recirculación de la agua filtrada para aumentar la inoculación reduciendo la posibilidad de taponamiento del filtro los malos olores y aumentando la oxigenación del proceso.

- Determinación del área del filtro :

Se procedió a realiza los cálculos de dimensionamiento del filtro con los siguientes datos el caudal de diseño es de  $0,0567 \text{ m}^3/\text{s}$  considerando un 5 % de pérdidas en el proceso de sedimentación y floculación o  $204,12 \text{ m}^3/\text{h}$ , la velocidad de filtración esta de un rango de 1-1,5 m/h

$$A_F = \frac{Q_{punta}}{n_F * v_F}$$

Ecuación 82

**Dónde:**

$Q_{punta}$ : Caudal punta  $204,12 \text{ (m}^3/\text{h)}$

$v_F$ : Velocidad de la filtración:  $1,5 \text{ (m/h)}$ , fuente Tabla 34-3

$n_F$ : Número de filtros:  $3 \text{ (unidades)}$

$$A_F = \frac{204,12 \text{ m}^3/\text{h}}{3 * 1,5 \text{ m/h}}$$

$$A_F = 45,36 \text{ m}^2$$

- Determinación del diámetro del filtro:

$$D_F = \sqrt{\frac{4 * A_F}{\pi}}$$

Ecuación 83

**Dónde:**

$A_F$ : Área del filtro  $(\text{m}^2)$

$$D_F = \sqrt{\frac{4 * 45,36 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_F = 7,6 \text{ m}$$

- Determinación del radio del filtro:

$$r_F = \sqrt{\frac{A_F}{\pi}}$$

Ecuación 84

**Dónde:**

$A_F$ : Área del filtro ( $\text{m}^2$ )

$$r_F = \sqrt{\frac{45,36 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r_F = 3,8 \text{ m}$$

Por cuestiones de diseño y construcción se decidió la división del proceso de filtración de en dos filtros de 1.9 m

- **Determinación de la altura del filtro**

Para la determinación de la altura del filtro se toma en cuenta los medios filtrantes del mismo así como los materiales que se ocupan para conformar las distintas capas del filtro.

$$H_f = f(h_a + h_{b,a} + h_{l,f} + h_g + h_{g,f} + h_{d,f})$$

Ecuación 85

**Dónde:**

$f$ : Factor de seguridad: 10 (%)

$h_a$ : Altura del agua: 0,40 (m), tabla 34-4

$h_g$ : Altura de grava: 0,10 (m), tabla 34-4

$h_{g,f}$ : Altura de arena: 0,10 (m), tabla 34-4

$h_{d,f}$ : Altura para el drenaje en el filtro: 0,15 (m), tabla 34-4

$h_{b,a}$ : Altura del borde libre: 0,20 (m), tabla 34-4

$h_{l,f}$ : Altura del lecho filtrante zeolita: 0,90 (m), tabla 34-4

$$H_f = 1,10 * (0,40 \text{ m} + 0,20 \text{ m} + 0,90 \text{ m} + 0,10 \text{ m} + 0,10 + 0,15 \text{ m})$$

$$H_f = 1,85 \text{ m}$$

**Tabla 34-3** Características de las capas para el lecho filtrante

Características de las capas	Valor
Separación de las losas/ladrillos (cm)	2-3
Ancho de las losas/ladrillos (cm)	10-15
Velocidad de descarga de lavado (m/s)	0,02
Velocidad en el canal de lavado (m/s)	1-1,5
Altura del borde libre (cm)	20-40
Altura del agua sobre la superficie de lecho (cm)	≥ 40
Pendiente del fondo del lecho (%)	≥12,5
<b>Primera capa</b>	
Tamaño (cm)	1,0-1,5
Espesor de la capa (cm)	10
<b>Segunda capa</b>	
Tamaño (cm)	0,5-1
Espesor de la capa (cm)	10
<b>Tercera capa</b>	
Tamaño (mm)	0,3-1,0
Espesor de la capa (cm)	90 mínimo

Fuente: (MARRÓN, 1999)

- Dimensionamiento Sistema de drenaje en el filtro
- Cálculo del número unidades perforadas, ( $N_u$ )

**Tabla 35-3** Dimensiones para el sistema de drenaje

Parámetro	Valor
Separación de los laterales (m)	1-2
Altura entre tubo y fondo del filtro (cm)	3,5
Diámetros de los orificios laterales (mm)	6,5-15,8
Espaciamiento de los orificios de laterales (cm)	7,5-25

Fuente: (Romero Rojas, 2002)

Se determina una separación entre laterales de 2m según criterios de diseño

$$N_u = \frac{2D_F}{L_u}$$

Ecuación 86

**Dónde:**

$N_u$ : Número de unidades; m

$D_F$ : Diámetro del filtro: 7,6 (m)

$L_u$ : Separación entre unidades: 2 (m), Tabla 22-3

$$N_u = \frac{2 * 7,6 (m)}{2 m}$$

$$N_u = 7,6$$

$$N_u = 8 \text{ unidades}$$

- **Área de los orificios laterales**

**Tabla 36-3** Criterios de diseño para tuberías

Parámetro	Valor (m/s)
Velocidad en el efluente	0,9-1,8
Velocidad en el afluente	0,3-12

Fuente: (Romero Rojas, 2002)

$$O_A = \frac{\pi O_d^2}{4}$$

Ecuación 87

**Dónde:**

$O_A$ : Área de los orificios;  $m^2$

$O_d$ : Diámetro del orificio: 0,013 m, fuente Tabla 22-3

$$O_A = \frac{\pi(0,013 \text{ m})^2}{4}$$

$$O_A = 0,00012 \text{ m}^2$$

$$O_A = 1,2 \text{ cm}^2$$

- **Caudal en los orificio del filtro**

$$q_o = O_A * v_o$$

Ecuación 88

**Dónde:**

$q_o$ : Caudal en los orificios del filtro;  $m^3/s$

$v_o$ : Velocidad de mínimo en los orificios: 0,3 (m/s), Tabla 35-3

$O_A$ : Área de los orificios; 1,2  $cm^2$

$$q_o = 0,00012 \text{ m}^2 * 0,3 \text{ m/s}$$

$$q_o = 0,000036 \text{ m}^3/s$$

- **Dimensionamiento del Sistema de lavado de filtro**

- **Determinación del caudal para el lavado**

$$q_{LF} = A_F * v_{LF}$$

Ecuación 89

**Dónde:**

$q_{LF}$ : Caudal para el lavado;  $m^3/s$

$A_F$ : Área del filtro;  $62,09m^2$

$v_{LF}$ : Velocidad de lavado:  $0,02 (m/s)$

$$q_{LF} = 45,36 m^2 * 0,02 m/s$$

$$q_{LF} = 0,90 m^3/s$$

$$q_{LF} = 907 L/s$$

- **Área del canal de lavado**

$$A_{CL} = \frac{q_{LF}}{v_{CD}}$$

Ecuación 90

**Dónde:**

$A_{CL}$ : Área del canal del lavado;  $m^2$

$v_{CD}$ : Velocidad en el canal de descarga:  $1,5 (m/s)$

$q_{LF}$ : Caudal para el lavado;  $0,9 m^3/s$

$$A_{CL} = \frac{0,9 m^3/s}{1,5 m/s}$$

$$A_{CL} = 0,6 m^2$$

- **Ancho del canal de lavado**

$$B_{CL} = \sqrt{A_{CL}}$$

Ecuación 91

**Dónde:**

$B_{CL}$ : Ancho del canal de lavado

$A_{CL}$ : Área del canal de lavado;  $0,6 \text{ m}^2$

$$B_{CL} = \sqrt{0,6 \text{ m}^2}$$

$$B_{CL} = 0,77 \text{ m}$$

- **Altura del canal de lavado**

$$H_{LF} = \frac{A_{CL}}{b_{CL}}$$

Ecuación 92

**Dónde:**

$H_{LF}$ : Altura del canal de lavado

$B_{CL}$ : Ancho del canal de lavado,  $0,77 \text{ m}$

$A_{CL}$ : Área del canal de lavado;  $0,6 \text{ m}^2$

$$H_{LF} = \frac{0,6 \text{ m}^2}{0,77 \text{ m}}$$

$$H_{LF} = 0,78 \text{ m}$$

- **Velocidad óptima del lavado del filtro**

$$v_{OLF} = k_u * k_e$$

Ecuación 93

**Dónde:**

$v_{OLF}$ : Velocidad óptima del lavado del filtro

$k_u$ : Coeficiente de uniformidad: 1,8 adimensional

$k_e$ : Coeficiente de uniformidad: 0,4 ( $mm$ )

$$v_{OLF} = 1,8 * 0,4$$

$$v_{OLF} = 0,72 \text{ m/min}$$

- **Volumen de agua requerida para el lavado del filtro**

$$V_{AF} = A_F * v_{OLF} * t_{LF}$$

Ecuación 94

**Dónde:**

$V_{AF}$ : Volumen de agua requerida para el lavado del filtro;  $\text{m}^3$

$v_{OLF}$ : Velocidad óptima del lavado del filtro; **0,72 m/min**

$t_{LF}$ : Tiempo óptimo de lavado: 15 (min)

$A_F$ : Área del filtro; 45,36 m<sup>2</sup>

$$V_{AF} = 45,36 \text{ m}^2 * 0,72 \text{ m/min} * 15 \text{ min}$$

$$V_{AF} = \mathbf{489,88m^3}$$

### 3.2.2.9 Dimensionamiento del Lecho de secado

Uno de los principales problemas en el tratamiento de las aguas residuales es el 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 contenido orgánico 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 esta razón es importante su tratamiento y disposición Los lodos de una planta depuradora de agua residual se producen en los procesos como sedimentación 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 lo puede utilizar para compostaje acondicionamiento del suelo abono entre otras alternativas para la reutilización de este material.



**Figura 11-3** Lecho de secado de lodos

Fuente: <https://plantasdetratamiento.com.mx/m/gallery/lechos-de-secado/>

- **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 el caudal punta de 7862,4 m<sup>3</sup>/día.

$$110 \frac{mg}{L} * \frac{1}{27683 \text{ habitantes}} * \frac{5443,2 \text{ m}^3}{1 \text{ día}} * \frac{1000L}{\text{m}^3} * \frac{1g}{1000mg} = 19,66 \text{ g}_{SS}/\text{habitantes. día}$$

- **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 95

**Dónde:**

$C_{lodos}$ : Carga de sólidos en suspensión; ( $Kg_{SS}/día$ )

$Pf$ : Población futura; 27683 habitantes

$Cp$ : Contribución per cápita; 19,66  $g_{SS}/habitantes.día$

$$C_{lodos} = \frac{27683 \text{ hab} * 19,66 \text{ g}_{SS}/\text{habitantes.día}}{1000}$$

$$C_{lodos} = 544,32 \text{ Kg}_{SS}/\text{día}$$

- **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 96

**Dónde:**

$m_{lodos}$ : Masa de solidos que constituyen los lodos

$C_{lodos}$  : Carga de sólidos en suspensión ( $Kg_{SS}/día$ ); 544,32  $Kg_{SS}/día$

$$m_{lodos} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 544,32 \text{ Kg}_{SS}/\text{día}) + (0,5 * 0,3 * 544,32 \text{ Kg}_{SS}/\text{día})$$

$$m_{lodos} = 179,90 \text{ Kg}_{SS}/\text{día}$$

- **Determinación del volumen diario de lodos digeridos,  $VD_{lodos}$ :**

$$VD_{lodos} = \frac{m_{lodos}}{\rho_{lodo} \left( \frac{\%sólidos}{100} \right)}$$

Ecuación 97

**Dónde:**

$VD_{lodos}$ : Volumen diario de lodos digeridos;  $m^3$

$\rho_l$ : Densidad del lodo; 1,04  $kg/L$  (fuente tabla 37-3)

$m_{lodos}$ : Masa de solidos que constituyen los lodos; 179,90  $Kg_{SS}/día$

$$VD_{lodos} = \frac{179,90 \text{ Kg}_{SS}/\text{día}}{1,04 \text{ kg}/L * \left( \frac{12}{100} \right)}$$

$$VD_{lodos} = 1417,5 \text{ kg/L}$$

Característica	Valor
Porcentaje de sólidos en lodo (%)	8-12
Densidad del lodo (Kg/L)	1,04

**Tabla 37-3** Propiedades de los lodos

Fuente: (CEPIS, 2015)

- **Determinación del volumen del lodos en el tanque,  $VT_{lodos}$ :**

**Tabla 38-3** 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)

$$VT_{lodos} = \frac{VD_{lodos} * t_{Dlodos}}{1000}$$

Ecuación 98

**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 38-3)

$$VT_{lodos} = \frac{1417,5 \text{ kg/L} * 40 \text{ días}}{1000}$$

$$VT_{lodos} = 56,7 \text{ m}^3$$

- **Determinación del área del lecho de secado de lodos ,  $A_{LS}$ :**

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_d}$$

Ecuación 99

**Dónde:**

$A_{LS}$  : Área del lecho de secado;  $m^2$

$VT_{lodos}$ : Volumen de lodos en el tanque;  $56,7 m^3$

$h_{LS}$  : Altura del lecho de sacado(m);  $0,8 m$

$$A_{LS} = \frac{56,7 m^3}{0,8 m}$$

$$A_{LS} = 70,82 m^2$$

**Tabla 39-3** 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)

- **Determinación de la longitud de la estructura para el secado,  $L_{LS}$ :**

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{b_{LS}}$$

Ecuación 100

**Dónde:**

$L_{LS}$ ; Longitud del lecho de secado

$A_{LS}$  : Área del lecho de secado;  $70,82 m^2$

$B_{LS}$ : Ancho del lecho de secado (m);  $6 m$  (fuente tabla 39-3)

$$L_{LS} = \frac{70,82 m^2}{6 m}$$

$$L_{LS} = 11,81 m$$

- **Determinación del volumen total del lecho de secado para lodos,  $VT_{LS}$ :**

$$VT_{LS} = L_{LS} * B_{LS} * H_s$$

**Dónde:** **$VT_{LS}$** : Volumen total lecho de secado;  $m^3$  **$h_{LS}$**  : Altura del lecho de sacado; 0,8 m **$B_{LS}$** : Ancho del lecho de secado; 6 m (*fuentes tabla 39-3*) **$L_{LS}$** : Longitud del lecho de secado (m); 11,81 m

$$VT_{LS} = 11,81 \text{ m} * 6 \text{ m} * 0,8 \text{ m}$$

$$VT_{LS} = 56,7 \text{ m}^3$$

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 (*fuentes tabla 39-3*) **$L_{LS}$** : Longitud del lecho de secado (m); 3,94 m

- **Determinación del tiempo de desalojo del lodo,  $t_{Dlodos}$ :**

$$t_{Dlodos} = \frac{VT_{LS}}{Q_{punta}}$$

**Dónde:** **$t_{Dlodos}$** : Tiempo de desalojo del lodo; horas **$Q_{punta}$** : Caudal punta;  $0,091 \text{ m}^3/\text{s}$  **$VT_{LS}$** : Volumen total lecho de secado;  $56,7 \text{ m}^3$ 

$$t_{Dlodos} = \frac{56,7 \text{ m}^3}{0,091 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$t_{Dlodos} = 900 \text{ s}$$

$$t_{Dlodos} = 0,25 \text{ h}$$

### 3.2.2.10 Resultados

#### a. Población de la planta de tratamiento

**Tabla 40-3** Resultados de la determinación de la población

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Población futura	$P_f$	27683	Habitantes

Realizado por: Carlos Muyón 2017

#### b. Caudal de diseño

**Tabla 41-3** Resultados de las determinaciones de caudales

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal punta	$Q_{punta}$	0,063	m <sup>3</sup> /s
Caudal medio diario	$Q_{medio}$	2759,44	m <sup>3</sup> /día
Caudal de diseño	$Q_d$	114,97	m <sup>3</sup> /h
Caudal mínimo diario	$Q_{minimo}$	827,83	m <sup>3</sup> /día
Caudal máximo	$Q_{máx}$	4139,16	m <sup>3</sup> /día
Dotación del agua consumida	$Da$	178	L/hab. dia

Realizado por: Carlos Muyón 2017

#### c. Cribado

**Tabla 42-3** 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	$h_{tc}$	0,188	m
Altura del tirante de construcción	$h_c$	0,633	m
Pérdida de carga	$h_p$	0,0036	m

Separación entre barras	$S$	0,025	$m$
Área libre al paso del agua por las rejillas	$A_{libre}$	0,106	$m^2$
Longitud de barras	$L_{barras}$	0,895	$m$
Número de barras	$N_{barras}$	22	Unidades

Realizado por: Carlos Muyón 2017

#### d. Canal de entrada

**Tabla 43-3** Resultados para el canal de entrada

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Altura total del canal	$H_{TC}$	0,518	$m$
Altura máxima del agua	$h_{Cmax}$	0,218	$m$
Área de la sección transversal	$A_c$	0,095	$m^2$
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: Carlos Muyón 2017

#### e. Vertedero rectangular

**Tabla 44-3** Resultados de un vertedero rectangular

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal al interior del vertedero	$q_{iv}$	0,081	$m^2/s$
Ancho del canal vertedero	$B_v$	0,775	$m$
Longitud de salto	$L_{sv}$	0,445	$m$
Altura de la pared del vertedero	$P$	0,5	$m$
Profundidad crítica de flujo	$p_{cf}$	0,087	$m$
Altura del canal vertedero	$p_v$	0,137	$m$
Largo del canal vertedero corregido	$L_{cvc}$	4.4	$m$

Realizado por: Carlos Muyón 2017

#### f. Tanque desarenador de flujo horizontal

**Tabla 45-3** Resultados del desarenador de flujo horizontal

--	--	--	--

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>
<b>Caudal punta</b>	$Q_{punta}$	0.063	$m^3/s$
<b>Resultados cámara de quietamiento</b>			
Tiempo de retención	$t_r$	60	s
Longitud	$L_{Ca}$	1,82	m
Área la cámara de quietamiento	$A_{Ca}$	3,31	$m^2$
Ancho de la cámara de quietamiento	$B_{Ca}$	1,82	m
Volumen de la cámara de quietamiento	$V_{ca}$	3,78	$m^3$
Altura de la cámara de quietamiento	$h_{Ca}$	2,2	$m^2$
<b>Sedimentador primario</b>			
Velocidad de arrastre	$v_{as}$	16,09	$cm/s$
Velocidad horizontal	$V_s$	0,95	$cm/s$
Velocidad de sedimentación de las partículas	$v_{sp}$	2,09	$cm/s$
Tiempo de sedimentación	$ts$	119,61	s
Tiempo de retención hidráulica	$tr$	13,95	minutos
Número de Reynolds	$NRe$	5,58	---
Carga hidráulica superficial	$C_d$	0,29	$cm/s$
Volumen de cada tanque desarenador	$V_{da}$	52,74	$m^3$
Ancho de zona de sedimentación	$B_s$	2,65	m
Longitud de zona de sedimentación	$L_s$	7,96	m
Área transversal del sedimentador	$A_{Td}$	6,62	$m^2$
Altura del desarenador	$h_d$	2,5	m
Área superficial útil	$A_d$	21.09	$m^2$
<b>Zona de lodos</b>			
Longitud de la placa de salida en el desarenador	$L_{St}$	5,30	m
Altura de la zona de lodos de la primera placa	$H_{zl}$	0,256	m
Longitud de la entrada la zona de lodos	$L_{el}$	2,563	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	$V_L$	5,27	$m^3$
---	-------	------	-------

Realizado por: Carlos Muyón 2017

### g. Canal Parshall

**Tabla 46-3** Resultados del canal Parshall

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidad
Velocidad del resalto	$v_r$	0,95	m/s
Velocidad en la sección de salida	$v_{sc}$	0,64	m/s
Velocidad de la sección de medición	$V_{sm}$	0,41	$m/s$
Altura del agua en la sección de medición	$H_m$	0,25	$m$
Altura de agua antes del resalto	$h_{ar}$	0,125	$m$
Carga hidráulica disponible	$C_{HD}$	0,37	$m$
Ancho entrada sección convergente	$B_{WC}$	0,46	$m$
Dimensión de la canaleta	N	0,114	$m$
Velocidad antes del resalto	$v_{ar}$	2,4	$m/s$
Angulo de inclinación	$\theta_c$	135,80	Grados
Altura del agua después del resalto	$h_{dr}$	0,29	$m$
Ancho de la canaleta	$B_W$	0,229	$m$
Numero de Froude	$F$	2	-----
Perdida de carga en el resalto	$p_{cr}$	0,074	$m$
Tiempo de mezcla en el resalto	$t_r$	0,76	$s$
Altura en la sección de salida de la canaleta	$h_{sc}$	0,252	$m$
Gradiente de velocidad	G	47,79	$s^{-1}$

Realizado por: Carlos Muyón 2017

### h. Floculador hidráulico horizontal

**Tabla 47-3** Resultados del dimensionamiento del Floculador hidráulico horizontal

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área del canal del floculador	$A_F$	0,405	$m^2$
Ancho del canal de floculación	$a$	0,36	$m$
Ancho de las vueltas de	$d$	0,55	$m$

floculación			
Distancia recorrida por el agua	$L_C$	90	$m$
Longitud efectiva del canal	$L_E$	3,57	$m$
Ancho del floculador	$B_f$	3,02	$m$
Número de canales	$N_C$	30	unidades
Longitud del floculador	$L$	16,68	$m$
Volumen del floculador	$V_f$	$55,41m^3$	$m^3$

Realizado por: Carlos Muyón 2017

**i. filtro lento**

**Tabla 48-3** Resultado del dimensionamiento de filtro lento de arena, grava, zeolita

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caudal punta	$Q_{punta}$	204,12	$m^3/h$
Número de unidades perforadas	$N_u$	8	Unidades
Caudal en cada orificio	$q_o$	0,000036	$m^3/s$
Caudal de lavado del filtro	$q_{LF}$	0,90	$m^3/s$
Velocidad óptima del lavado de filtro	$v_{OLF}$	0,72	$m/min$
Volumen de agua requerida para el lavado	$V_{AF}$	489,88	$m^3$
Diámetro del filtro	$D_F$	7,6	$m$
Radio del filtro	$r_F$	3,8	$m$
Altura del filtro	$H_f$	1,85	$m$
Velocidad óptima del lavado de filtro	$v_{OLF}$	0,72	$m/min$
Área del filtro	$A_{Filtro}$	$45,36 m^2$	$m$
Área de canal	$A_{CL}$	0,6	$m^2$
Ancho del canal de lavado	$B_{CL}$	0,77	$m$

Realizado por: Carlos Muyón 2017

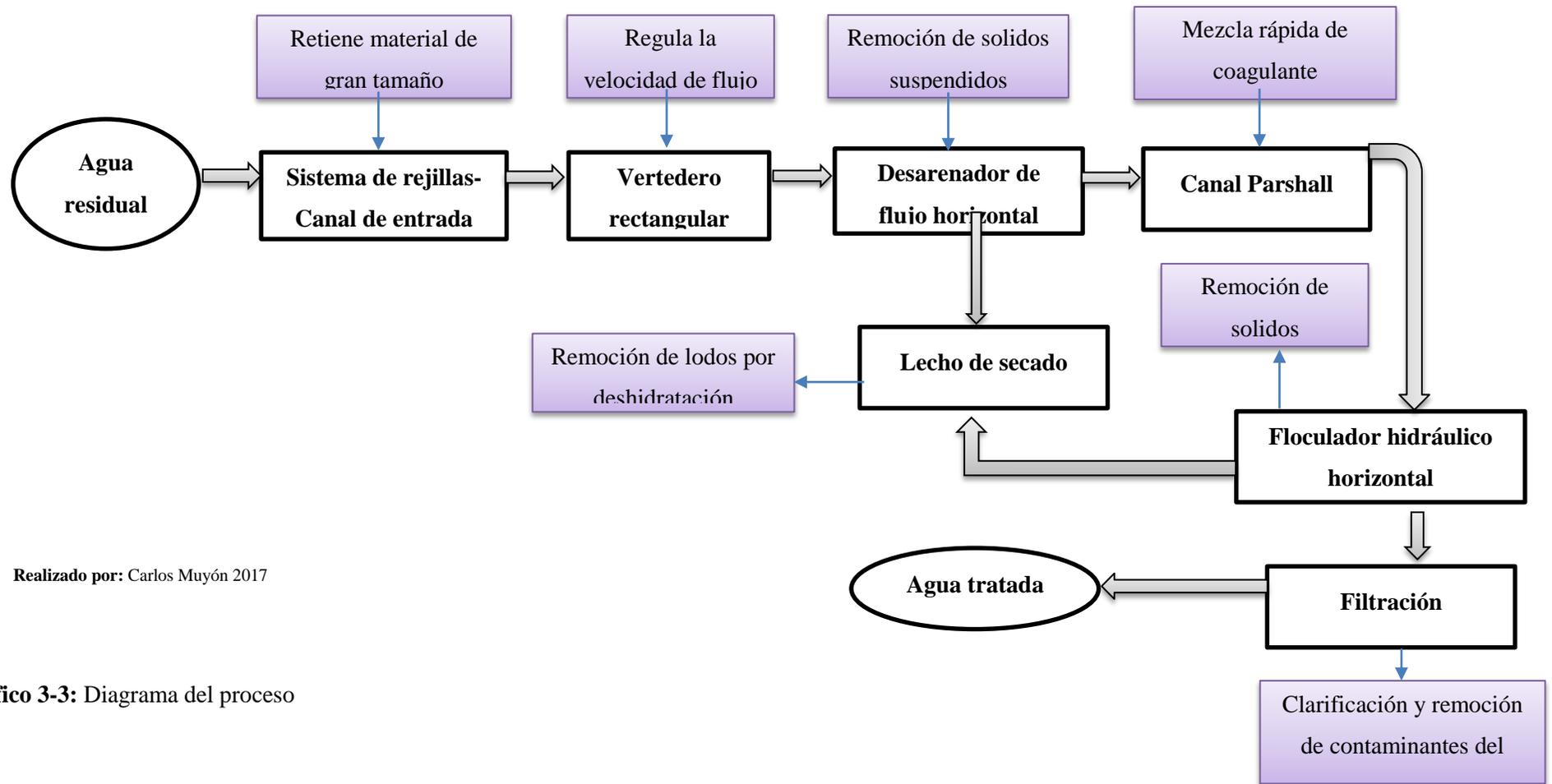
**j. Lecho de secado para lodos**

**Tabla 49-3 Resultados para el dimensionamiento del lecho de secado**

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Contribución per cápita	$C_p$	19,66	$g_{SS}/habitantes.día$
Longitud del lecho de secado	$L_{LS}$	11,81	$m$
Ancho	$B_{LS}$	6	$m$
Altura	$h_{LS}$	0,8	$m$
Área de secado	$A_{LS}$	70,82	$m^2$
Volumen del lecho de sacado	$VT_{LS}$	56,7	$m^3$
Tiempo de desalojo para los lodos	$t_{Dlodos}$	0,25	$h$

Realizado por: Carlos Muyón 2017

**3.3 Proceso de producción**



Realizado por: Carlos Muyón 2017

Gráfico 3-3: Diagrama del proceso

### 3.3 Requerimientos de tecnología

#### 3.4.1 Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición de caudal de aguas residuales

**Tabla 41-3** Materiales y equipos para medición del caudal

<b>Equipos</b>	<b>Materiales</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• pHmetro</li><li>• Termometro</li><li>• Conductimetro</li><li>• Cámara fotográfica</li><li>• Cronómetro</li><li>• GPS</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: Carlos Muyón 2017

**Tabla 50-3** Materiales utilizados en el muestreo de agua residual

<b>Materiales</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Normativa</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Guantes</li><li>• Recipientes de plásticos</li><li>• Recipientes de vidrio</li><li>• Cooler</li><li>• Mascarilla</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>	El muestro se realizó según la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

### 3.4.2 Requerimiento de equipos y métodos para caracterización

**Tabla 51-3** Materiales, Equipos y Reactivos para la caracterización del Agua Residual

Parámetro	Reactivos y equipos	Materiales
Sólidos sedimentable	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- Hexano</li> <li>- Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vaso 250 ml</li> <li>- Cono Imhoff</li> </ul>
Sólidos totales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>-</li> </ul>	<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>
Conductividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- Agua destilada</li> <li>- Conductímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vasos de precipitación</li> </ul>
Color	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- HACH DR 2800 (Espectrofotómetro)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pipeta</li> <li>- Cubeta de análisis 10 mL</li> <li>- Vasos de precipitación</li> </ul>
Sulfatos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HACH DR 2800 (Espectrofotómetro)</li> <li>- Agua destilada</li> <li>- Sulfato AV</li> <li>- Agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pipeta</li> <li>- Cubeta de análisis 10 mL</li> </ul>
Hierro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- HACH DR 2800 (Espectrofotómetro)</li> <li>- Hierro Ferover</li> <li>- Agua destilada</li> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cubeta de análisis 10 mL</li> <li>- Pipeta</li> <li>- Limpiadores Estufa</li> </ul>
Coliformes facales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caja Petri</li> </ul>
DBO5	<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>	<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>
DOQ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua problema (muestra)</li> <li>- Capsula magnética</li> <li>- Ftalato Ácido de Potasio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubo de digestión</li> <li>- Pipeta volumétrica</li> <li>- Viales con reactivos</li> </ul>

	(KHP). - Agua destilada	Gradilla
pH	- Agua problema (muestra) - Potenciómetro - Agua destilada	- Vaso de precipitación

Fuente: (APHA, 2016)

Realizado por: Carlos Muyón 2017}

**Tabla 52-3 Métodos para la caracterización del agua residual**

Parámetro	Unidad	Método
Nitrógeno total	mg/L	STANDARD METHODS 4500 -N – B mod
Grasas y aceites	mg/L	EPA 418,1
Tensoactivos	mg/L	STANDARD METHODS 5540 -C mod
Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	STANDARD METHODS 4500 -P – E mod
Color Aparente	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 -C
Sólidos totales	mg/L	PE-LSA-04
Sólidos suspendidos totales	mg/L	STANDARD METHODS 2540 -C
Sulfatos	mg/L	STANDARD METHODS 4500 SO4-E
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02
pH	-----	Potenciométrico. REF1001/S503.
Temperatura	°C	Conductimétrico/ Potenciométrico. REF1001/S501.
Turbiedad	FTU-NTU	STANDARD METHODS 2130 -B.
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	STANDARD METHODS 5220 -D mod
Coliformes fecales	UFC/100mL	STANDARD METHODS 92201 -C
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	STANDARD METHODS 5210 -B
Coliformes totales	UFC/100mL	STANDARD METHODS 92201 -C

Fuente: Laboratorio de Servicios ambientales UNACH

Realizado por: Carlos Muyón 2017

### 3.4 Análisis económico de la planta de tratamiento de agua residual

**Tabla 53-3** Análisis económico de la planta de Tratamiento de aguas residuales

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO REGIONAL YANAHURCO					
UBICACIÓN: YANAHURCO, CANTÓN MOCHA, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Valor Total
<b>DESBASTE O REJILLAS</b>					
1	Limpieza y desbroce	m2	20	1	20
2	Adecuación del canal	m2	2,5	8,11	20,275
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
Costo de la estructura de desbaste					435,105
<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	Replanteo de H.s f'c=180 kg/cm2	m3	1	90	90
13	Rejilla de acero lisa	u	1	40	40
Costo de la estructura del canal de Captación					180,61
<b>VERTEDERO RECTANGULAR</b>					
14	Excavación de suelo sin clasificar	m3	0,5	2,45	1,225
15	Limpieza y desbroce	m2	1,74	1	1,74
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
Costo de la estructura del vertedero rectangular					84,675
<b>DESARENADOR</b>					
19	Excavación de suelo sin clasificar	m3	76,19	2,45	186,6655
20	Tubería PVC D=110 mm *6m	ml	6	5,51	33,06
21	Malla electro soldada 10x10x6mm	m2	76,19	4,75	361,9025

22	Nivelación y replanteo	m2	57,48	4,2	241,416
23	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	50,35	110	5538,5
24	Replanteo de H.s f'c=180 kg/cm2	m3	5,46	90	491,4
25	Enlucido vertical	m3	57,48	9,45	543,186
26	Encofrado de madera	m2	76,19	8	609,52
27	Codo 90° PVC D=110 mm	u	7	4,7	32,9
Costo de la estructura del Desarenador					8038,55
<b>CANAL PARSHALL</b>					
28	Excavación de suelo sin clasificar	m3	14,6	2,45	35,77
29	Limpieza y desbroce	m2	10,22	1	10,22
30	Malla electro soldada 10x10x6mm	m2	14,6	4,75	69,35
31	Nivelación y replanteo	m2	10,22	4,2	42,924
32	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	14,6	110	1606
33	Replanteo de H.s f'c=180 kg/cm2	m3	0,8	90	72
34	Enlucido vertical	m3	9,4	9,45	88,83
35	Punto de medición	u	1	5	5
36	Encofrado de madera	m2	9,4	8	75,2
Costo de la estructura del canal parshall					2005,294
<b>FLOCULADOR HIDRÁULICO HORIZONTAL</b>					
37	Excavación de suelo sin clasificar	m3	77,23	2,45	189,2135
38	Encofrado de madera	m2	66,09	8	528,72
39	Malla electro soldada 10x10x6mm	m2	70,05	4,75	332,7375
40	Nivelación y replanteo	m2	55,79	4,2	234,318
41	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	13,75	110	1512,5
42	Replanteo de H.s f'c=180 kg/cm2	m3	13,8	90	1242
43	Enlucido vertical	m3	66,09	9,45	624,5505
44	Limpieza y desbroce	m2	55,79	1	55,79
Costo de la estructura del floculador Hidráulico horizontal					4719,8295
<b>FILTRO</b>					
45	Empedrado en contra piso e=20cm (piedra de mina)	m2	4	4,5	18
46	Grava media fina	m3	1	21,78	21,78
47	zeolita (2-3)cm	m3	2,4	20,57	49,368
48	Arena de 30mm	m3	2,4	9	21,6
49	Excavación de suelo sin clasificar	m3	40,4	2,45	98,98

50	Encofrado de madera	m2	60,01	8	480,08
51	Malla electro soldada 10x10x6mm	m2	60,01	4,75	285,0475
52	Nivelación y replanteo	m2	62,09	4,2	260,778
53	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	30,56	110	3361,6
54	Limpieza y desbroce	m2	62,09	1	62,09
55	Enlucido vertical	m3	30,56	9,45	288,792
Costo de la estructura del filtro					4948,1155
<b>LECHO DE SECADO DE LODOS</b>					
56	Excavación de suelo sin clasificar	m3	60,4	2,45	147,98
57	nivelación y replanteo	m2	10,22	4,2	42,924
58	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	18,73	110	2060,3
59	Replantillo de H.s f'c=180 kg/cm2	m3	4,2	90	378
60	Enlucido vertical	m3	4,2	9,45	39,69
Costo de la estructura del lecho de secado de lodos					2668,894
<b>COSTO TOTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO REGIONAL YANAHURCO</b>					<b>23081,073</b>

Realizado por: Carlos Muyón 2017

### 3.6 Porcentaje de remoción

**Tabla 44-3** Determinación del % remoción del agua residual tratada

PARÁMETROS	UNIDADES	Agua Residual Caracterizada	Agua residual tratada		% De
<b>TURBIEDAD</b>	FTU-NTU	158	5,9		
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	uS/cm	1654	690		
<b>COLOR REAL</b>	UTC-Co	1907	1,2		
<b>DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)</b>	mg /L	978	36		
<b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5)</b>	mg /L	691	64		
<b>TENSOACTIVOS(D ETERGENTES)</b>	mg/L	19,3	0,91		
<b>ACEITES Y GRASAS</b>	mg/L	58	10,3		
<b>NITRÓGENO TOTAL (N)</b>	mg/L	4,92	----		

<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</b>	mg/L	642	37		
<b>SÓLIDOS TOTALES</b>	mg/L	1143	560		
<b>COLIFORMES FECALES</b>	NPM/100mL	37000	Imperceptibles<2		

**Realizado**

**por:**

Carlos

Muyón

2017

### 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 cálculos 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 4-3:** Cronograma del proyecto

Realizado por: Carlos Muyón 2017

### 3.8 Análisis

El agua residual generada por la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco “JAAPARY” del cantón Mocha provincia del Tungurahua se descarga directamente al Río Pachanlica microcuenca del río Ambato 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 4-1 se encuentran el DBO(691mg/L), DQO(978mg/L), detergentes (Tensoactivos) (19,3mg/L), aceites y grasas(58mg/L) , coliformes fecales (37000UFC/100mL), solidos suspendidos(424mg/L), solidos totales(1534mg/L) y color aparente(1907UTC-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 del agua residual, 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 carga contaminante. Con el objetivo de 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 determino del el índice de biodegradabilidad de la muestra de agua residual el cual tiene un valor de 0,70 a una temperatura aproximada de 18°C ver tabla 5-1, lo que nos muestra que la relación entre de DBO5: DQO mayor a 0,5 indicativo de una descomposición biológica ocurre de manera rápida motivo por el que se realizó tratamientos de tipo físico químicos.

La tratabilidad de los parámetros fuera de norma se efectuó mediante aeración 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 airado obteniéndose una remoción de DBO Y DQO del 70% además de la disminución de turbidez ,solidos totales y en suspensión y reducción de aceites y grasas, a continuación se realizó un tratamiento físico químico por medio de test de jarras para la reducción de parámetros como sólidos en suspensión, solidos totales, color aparente y detergentes, aplicando al efluente con dosificaciones a diferentes concentraciones de coagulante

primeramente trabajando sulfato de aluminio obteniendo los mejores resultados a una dosificación de 5 ml de sulfato de aluminio al 5% y una dosificación auxiliar de poli electrolito de 1 ml al 0,5 % presentando una reducción de detergentes de 19,3 mg /L a 7,2 mg /L con un eficiencia de remoción de 62,2% este coagulante mostro una buena eficiencia de remoción pero no cumple con las especificaciones de la normativa ambiental vigente. Por lo antes mencionado y al no obtener una remoción suficiente de detergentes con sulfato de aluminio se procedió a trabajar con Policloruro de aluminio (PAC) al 5% como coagulante la dosificación que mostro mejores características de remoción fue con una dosis de 4 ml y una dosificación auxiliar de poli electrolito de 1 ml al 0,5 % presentando una reducción de detergentes de 19,3 mg /L a 0,91 mg /L con un eficiencia de remoción de 95,5% después un tratamiento de filtración nivel laboratorio el mismo que se realizó en un filtro de tres medios filtrantes en un envase de polietileno con zeolita-arena-grava el agua fluyo a través del medio filtrante con el objetivo de depurar los contaminantes existentes en el agua residual, se escogió este procedimiento ya que en los últimos años ha demostrado una buena eficiencia en la depuración de contaminantes no cumpliendo con la norma ambiental vigente pero mostrando gran eficiencia en remoción de detergentes en agua residual los resultados de la tratabilidad se puede observar en la tabla 64-3

En la tratabilidad de una muestra compuesta de agua residual luego de los procesos de aeración, coagulación-floculación y filtración se obtuvieron los siguientes resultados de remoción una turbiedad de 5,9 NTU con una eficiencia de remoción del 96,7 %, un color aparente de 690 UTC-Co con una remoción del 63,82%, DBO5 con un valor de 13 mg/L siendo su límite máximo permisible de 100 mg/L obteniéndose una remoción del 98,12%, DQO con un valor de 30 mg/L siendo su límite máximo permisible 200 mg/L con una remoción del 96,93% , tensoactivos(detergentes) con un valor de 0,91 mg/L siendo el límite máximo permisible de 19,3 mg/L con una remoción del 95,28% obteniendo una excelente remoción pero no cumpliendo con la normativa ambiental vigente, Aceites y grasas con una concentración de 10,3 mg/L siendo el límite permisible 30 mg/L con una remoción 82,4% , Solidos totales suspendidos con una valor de 642 mg/L siendo el límite máximo permisible de 130 mg/L con una remoción 97,52%, solidos totales con un valor de 560 mg/L siendo el límite máximo permisible de 1600 mg/L con una remoción 63,49% , Coliformes fecales con un valor de 37000 UFC/100mL en una remoción al 99%, los valores se muestran en la tabla 64-3.

El sistema de tratamiento de aguas residuales diseñado para la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco “JAAPARY” está diseñada para un periodo de 20 años y una población futura de 27683 habitantes en base a un caudal punta de 0,063 m<sup>3</sup>/s por medio de estos datos se estableció el dimensionamiento de las siguientes estructuras: un sistema de rejillas(cribado) con un volumen correspondiente a 0,50 m<sup>3</sup>, un canal de entrada con una área

de  $0,095 \text{ m}^2$ , un vertedero rectangular sin contracciones con un volumen de  $1,70 \text{ m}^3$ , tanque desarenador de flujo horizontal de  $52,74 \text{ m}^3$ , sistema de mezclado rápido (canal Parshall) de  $0,20 \text{ m}^2$ , Flocculador hidráulico horizontal de  $55,41 \text{ m}^3$ , una área de filtrado en un medio trifásico (grava, zeolita, arena) de  $45,36 \text{ m}^2$  por criterios de diseño y construcción se procedió a dividir la rea de filtrado en dos filtros y un lecho de secado con un total volumen de  $56,7 \text{ m}^3$  dividió en tres estructura de secado en base a criterios de diseño y a las características de los lodos obtenidos en el proceso de depuración.

## CONCLUSIONES

- Se caracterizó las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua residual provenientes de la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) los valores se muestran en la tabla 4-1
- Se determinó que los parámetros que se encuentran fuera de norma en base a lo establecido 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, son DBO 691mg/L, DQO 978mg/L, detergentes (Tensoactivos) 19,3mg/L, Aceites y grasas 58mg/L, Coliformes fecales 37000UFC/100mL, Solidos suspendidos(424mg/L), Solidos totales(1534mg/L) y Color aparente 1907UTC-Co. Las variables determinadas para proceso de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales fueron: un caudal punta de 0,063 m<sup>3</sup>/s, una la población futura estimada 27683 habitantes y una vida útil de 20 años.
- Se realizaron las pruebas de tratabilidad las cuales fueron: aireación, test de jarras mediante el proceso de coagulación-floculación, filtración en medio trifásico de zeolita, arena y grava .El Sistema de Tratamiento de aguas residuales fue validado con los siguientes resultados de remoción: DBO 13 mg/L obteniéndose una remoción del 98,12%, DQO 30 mg/L con una remoción del 96,93%, Color aparente de 690 UTC-Co con una eficiencia de remoción del 96,7 %, Detergentes 0,91 mg/L con una remoción del 95,28%, Aceites y grasas con una concentración de 10,3 mg/L con una remoción 82,4%, Solidos totales disueltos con una concentración de 10,5 mg/L con una remoción 97,52%, Solidos totales con una concentración de 560 mg/L con una remoción 63,49%, Coliformes fecales 2 inapreciable con una remoción del 99%.
- Se efectuaron los cálculos de ingeniería obteniendo una planta de tratamiento de aguas residuales para la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) que consta de los siguientes procesos: un sistema de rejillas(cribado) con un volumen correspondiente a 0,50 m<sup>3</sup>, un canal de entrada con una área de 0,095 m<sup>2</sup>, un vertedero rectangular sin contracciones con una volumen de 1,70 m<sup>3</sup>, tanque desarenador de flujo horizontal de 52,74 m<sup>3</sup>, sistema de mezclado rápido (canal Parshall) de 0.20 m<sup>2</sup>, Floculador hidráulico horizontal de 55,41 m<sup>3</sup>, una área de filtrado en un medio trifásico(grava, zeolita, arena) de 45,36 m<sup>2</sup>,y un lecho de secado con un volumen de 56,7 m<sup>3</sup>

- Se determinó que los costos para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales es de 23081,073 dólares, tomando en cuenta las características establecidas en el diseño.

## **RECOMENDACIONES**

- Es necesario la implementación de la Planta de Tratamiento de aguas para La Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco (JAAPARY) en el Cantón Mocha en cumplimiento a lo establecido de 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 de aguas residuales para controlar el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual en un laboratorio acreditado en el Organismo Ecuatoriana de Acreditación
- Realizar un estudio de impacto ambiental para las fases de construcción e implementación del proyecto de la planta de agua residual de JAAPARY 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 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 el lavado y el cambio de medios filtrantes semestral de la unidad de filtración, para evitar la saturación, manteniendo el buen funcionamiento del sistema.
- Los lodos generados en las unidades de depuración pueden ser deshidratados para ser utilizados en procesos de lombricultura, compostaje o fertilizantes de suelos, previamente estos lodos deben ser caracterizados para conocer sus propiedades físico-químicas y microbiológicas que ayudaran en la elección del proceso más beneficioso.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA 2016-2017. Plan de Mejora de la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco, Mocha: s.n. pp. 10-59**

**CAWST. Centre for Affordable Water and Sanitation Technology: “Manual para el Filtro de Bioarena, Diseño, Construcción, Instalación, Operación y mantenimiento”** [En línea]. Cochabamba-Bolivia, 2008. [Consulta: 20 abril 2017]. Disponible en: [https://www.calvin.edu/academic/engineering/senior-design/SeniorDesign09-10/team02/web/Biosand\\_Manual\\_Spanish.pdf](https://www.calvin.edu/academic/engineering/senior-design/SeniorDesign09-10/team02/web/Biosand_Manual_Spanish.pdf)

**CERRO. C, Miguéli. Composición cualitativa de las aguas residuales** [en línea] [Consulta: 20 abril 2017]. Disponible en: <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 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>

**CRITES, Ron & TCHOBANOIOUS, George. 2000. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados.** Santa Fé de Bogotá : McGraw-Hill, 2000. pp. 246

**ECUADOR., INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS. Censo de Población y Vivienda en el Ecuador. , Fascículo Provincial de Tungurahua., Quito – Ecuador., 2010., pp. 2-4.**

**MARRÓN, 1999. Planta de Tratamiento por Filtración Lenta: Diseño y Operación y Mantenimiento.** Lima-Peru: ISBN.pp. 19-25

**METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, vertido y reutilización.** Volumen II. Madrid-España: McGraw-Hill, 1995, pp. 507-577, 521-525.

**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*

**QUINDIGALLE. Q, Martha. F.** *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en el caserío Topo, parroquia Rio Negro del cantón Baños de agua Santa* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Biotecnología Ambiental. 2013. pp. 112-124.

**RAMALHO, R. S.,** 1998. *Tratamiento de Aguas Residuales.* Quebec, Canada: REVERTÉ, S. A. pp 25

**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

**REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO.** Tratamiento de Aguas Residuales. *Sitio web de "Ministerio de Desarrollo Económico"*. [En línea] Noviembre de 2000. [Consulta: 12 de julio 2017.] Disponible en: <http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7. Tratamiento de aguas residuales.pdf>.

**ROMERO, J.** *Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño.* 2ª ed. Bogotá-Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. . pp. 145-259

**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-2015.** *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I. Tabla 9. Acuerdo ministerial 097-A*

## **ANEXOS**

## ANEXO A. TOMA DE MUESTRAS

a)



b)



c)



### NOTAS

- a) Zona de toma de muestras
- b) Lugar de toma de muestras
- c) Muestra previa para análisis

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 MUYÓN RIVERA CARLOS ANDRÉS

MEDICION DEL CAUDAL

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	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> MUYÓN RIVERA CARLOS ANDRÉS	“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO REGIONAL YANAHURCO		
<b>a) Medio Filtrante</b> <b>b) Filtración</b> <b>c) Agua tratada vs Agua residual</b>	<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
			1:1	11/04/2017	1

## ANEXOS

### ANEXO A. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL



#### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 090-16

#### INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Ing. Karina Guanajuato  
 EMPRESA: JAAPARY  
 DIRECCIÓN: Yanahuco

INFORME Nº 090-16  
 Nº SE: 090-16

TELÉFONO:  
 NÚMERO DE MUESTRAS: 1

FECHA DE RECEPCIÓN: 07 - 12 - 16

FECHA DE INFORME: 14 - 12 - 16

TIPO DE MUESTRA: Agua residual

IDENTIFICACIÓN: MA - 215-16

Planta de Tratamiento

Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 215-16

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UN(%)	FECHA DE ANÁLISIS
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	1654	+/- 3 %	07 - 12 - 16
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	156	N/A	07 - 12 - 16
* Color Aparente	Upt-Co	STANDARD METHODS 2120 - C	1907	N/A	07 - 12 - 16
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 415.1	55	N/A	07 - 12 - 16
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	1534	+/- 5 %	07 - 12 - 16
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - C	1143	N/A	07 - 12 - 16
DOO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	678	N/A	07 - 12 - 16
* DBO5	mg DQl	STANDARD METHODS 5210 - B	891	N/A	07 - 12 - 16
* Fosforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	6.70	N/A	07 - 12 - 16
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO4-E	290	N/A	07 - 12 - 16
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	4.32	N/A	07 - 12 - 16
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	95000	N/A	07 - 12 - 16
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	37000	N/A	07 - 12 - 16

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APWA, APWA, 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.  
 TÉCNICO I.S.A.

\* Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
 \* Los ensayos marcados con (\*) no se realizaron dentro del alcance de acreditación del IAF.  
 \* Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

## ANEXO B. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 044 – 17

#### INFORME DE ANÁLISIS

**NOMBRE:** Sr. Carlos Moyón **INFORME Nº:** 044 – 17  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 044 – 17  
**DIRECCIÓN:** 11 de Noviembre y Línea Férrea **FECHA DE RECEPCIÓN:** 22 – 03 – 17  
**TELÉFONO:** 0895636099 **FECHA DE INFORME:** 24 – 03 – 17

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua Residual Doméstica **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 112-17 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 112-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	19,3	N/A	22 – 03 – 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 R.  
Benito Mendoza T., PhD

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

## ANEXO C. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA TRATADA



## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



N° SE: 066 - 17

### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Sr. Carlos Muyón **INFORME N°:** 066 - 17  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 066 - 17  
**DIRECCIÓN:** 11 de Noviembre y Línea Férrea  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 09 - 05 - 17  
**TELÉFONO:** 0995636099 **FECHA DE INFORME:** 16 - 05 - 17

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **Agua Residual Doméstica, Yanahuros** **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 179-17 **Agua**

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 179-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U/K(+2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0.91	N/A	09 - 05 - 17
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	< 2 (Ausencia)	N/A	09 - 05 - 17
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	30	+/- 10 %	09 - 05 - 17
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	13	N/A	09 - 05 - 17

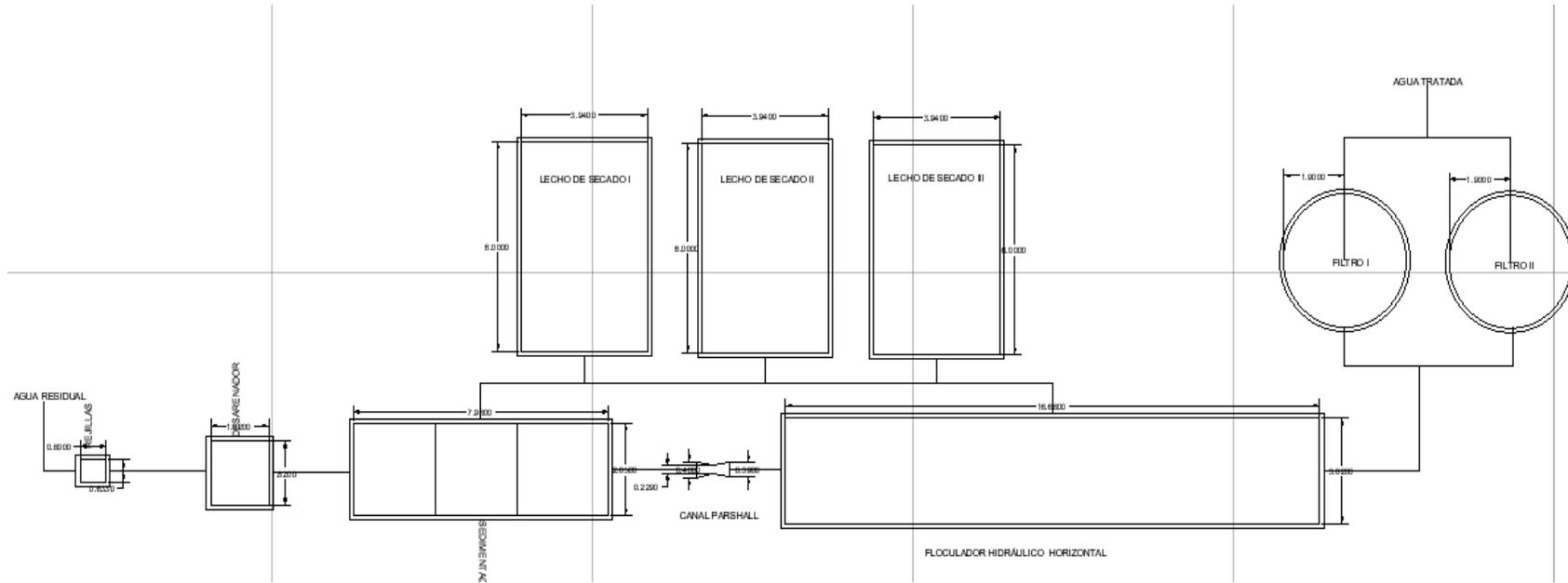
**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Benito Mendoza T., PhD

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

## ANEXO D. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL



### NOTAS

- a) Medio Filtrante
- b) Filtración
- c) Agua tratada vs Agua residual

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

	CERTIFICADO
X	APROBADO
	POR APROBAR
	POR CALIFICAR
	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
**MUYÓN RIVERA CARLOS ANDRÉS**

“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO REGIONAL YANAHURCO

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	1