



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

**RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SALINAS, CANTÓN**

**GUARANDA, PROVINCIA BOLÍVAR”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

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

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: CONSUELO PAMELA VALDIVIESO GAVILANES**

**TUTOR: ING. HUGO CALDERÓN**

**Riobamba – Ecuador**

**2017**

©2017, Consuelo Pamela Valdivieso Gavilanes

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

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

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo técnico de **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SALINAS, CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA BOLÍVAR”** de responsabilidad de la señorita Consuelo Pamela Valdivieso Gavilanes ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

Ing. Segundo Hugo Calderón. ....  
**DIRECTOR DEL TRABAJO**  
**DE TITULACIÓN**

Dr. Gerardo León Chimbolema. ....  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Yo, Consuelo Pamela Valdivieso Gavilanes, 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 autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 8 de Diciembre del 2017

Consuelo Pamela Valdivieso Gavilanes

060484477-9

“Yo, Consuelo Pamela Valdivieso Gavilanes, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

CONSUELO PAMELA VALDIVIESO GAVILANES

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis de grado primero a Dios, a la Virgencita y al niño Jesús, por estar conmigo en cada paso que doy y darme la fortaleza para poder de seguir adelante pese a las dificultades que se presentan en el camino.

A mis padres queridos Gonzalo y Carmen, que con su esfuerzo, su apoyo incondicional y su confianza en mí, guiaron mi camino para cumplir una etapa más en mi vida.

A mis hermanos Mauro y Katty por darme palabras de aliento para no rendirme y por ser un ejemplo de superación.

A mis sobrinas Elizabeth, Ana Paula y Carolina, por ser esa alegría que ilumina mi vida.

Consuelo Pamela Valdivieso Gavilanes

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por sus bendiciones y por guiarme para concluir con esta etapa de mi vida.

A mis padres, hermanos, sobrinas y a toda mi familia por brindarme su apoyo y su cariño incondicional de distinta manera.

A mi abuelita Rosalía Calderón que aunque no se encuentre entre nosotros, me dejó enseñanzas que duraran para siempre y una de ellas fue no rendirse jamás.

A los docentes en especial al Ing. Hugo Calderón, Director de Tesis, al Dr. Gerardo León, Colaborador de Tesis, quienes con sus conocimientos se encargaron de guiarme en el desarrollo de la misma.

A la Ingeniera Mónica Andrade quien ha aportado con sus conocimientos y ha sabido guiarme con paciencia.

A mis amigas y amigos, los cuales han sido parte fundamental en mi vida y aventuras compartidas.

A la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda que me abrió las puertas y me proporciono el aval para realizar el presente proyecto.

Muchas gracias desde el fondo de mi corazón a todos.

Consuelo Pamela Valdivieso Gavilanes

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xv
SUMMARY .....	xvi
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1 Identificación del Problema .....	1
1.3 Línea de base del Proyecto .....	3
1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación.....	3
1.3.2 Hidrología.....	3
1.3.3 Tipo de estudio.....	4
1.3.3 Métodos y Técnicas .....	4
1.3.5 Determinación del caudal de las aguas residuales .....	5
1.3.6 Método de Muestreo .....	8
1.3.7 Pruebas de tratabilidad .....	10
1.4 Beneficiarios directos e indirectos .....	13
1.4.1 Directos.....	13
1.4.2 Indirectos.....	13
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>14</b>
2.1. Objetivo General .....	14
2.2. Objetivos Específicos .....	14
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>3. ESTUDIO TÉCNICO .....</b>	<b>15</b>
3.1 Localización del proyecto .....	15
3.1.1 Localización Geográfica .....	15
3.1.3. Clima de la Zona .....	16
3.1.4. Características geomorfológicas de la zona .....	16
3.2 Ingeniería del proyecto .....	17
3.2.1 Aguas residuales.....	17
3.2.2 Dimensionamiento de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales .....	25
3.3 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Propuesto.....	106

<b>3.4</b>	<b>Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria .....</b>	<b>107</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>107</b>
<b>3.4.2</b>	<b><i>Requerimiento de equipos, métodos para caracterización físico- químico y microbiológico del agua residual. ....</i></b>	<b>107</b>
<b>3.5</b>	<b>Análisis de Costo/beneficio del proyecto .....</b>	<b>109</b>
<b>3.6</b>	<b>Porcentaje de remoción .....</b>	<b>111</b>
<b>3.6.1</b>	<b><i>Porcentaje de remoción obtenido después del tratamiento.....</i></b>	<b>112</b>
<b>3.7</b>	<b><i>Análisis de Resultados.....</i></b>	<b>117</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>120</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>122</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>A</b>	Área
<b>H</b>	Altura
<b>B</b>	Ancho
<b>COT</b>	Carbono orgánico total
<b><math>Q_p</math></b>	Caudal punta
<b><math>Q_{md}</math></b>	Caudal medio diario
<b><math>Q_{servida}</math></b>	Caudal servido
<b><math>n</math></b>	Coefficiente de rugosidad de Manning
<b><math>Conc_{PAC}</math></b>	Concentración de PAC óptimo en la prueba de jarras
<b>C</b>	Carga en función de la contribución per cápita
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>D</b>	Diámetro
<b>D<sub>N-100</sub></b>	Dosificación de chemfloc N-100
<b>D<sub>PAC</sub></b>	Dosificación de policloruro de aluminio (PAC-P25A)
<b>D<sub>PAC Jarras</sub></b>	Dosis óptima de PAC en la prueba de jarras
<b>Dc</b>	Dotación del agua consumida a partir de la medición de caudal
<b>e</b>	Espesor
<b>fcr</b>	Factor capacidad relativa
<b>FLA</b>	Filtro lento de arena
<b>Fp</b>	Factor punta
<b>G</b>	Gradiente de velocidad
<b>g</b>	Gravedad
<b>N<sub>b</sub></b>	Número de barras
<b>N<sub>f</sub></b>	Número de filtros
<b>Re</b>	Número de Reynolds
<b>Pa</b>	Población actual

<b><i>Pf</i></b>	Población futura
<b>RH</b>	Radio hidráulico
<b>SS</b>	Sólidos en suspensión
<b>TULSMA</b>	Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente
<b><i>Trh</i></b>	Tiempo de retención
<b><i>v</i></b>	Velocidad
<b><math>\mu</math></b>	Viscosidad cinemática
<b>Vd</b>	Volumen del digestor
<b><math>V_{TM}</math></b>	Volumen del tanque mezclador en litros
<b><math>V_{P,jarras}</math></b>	Volumen vaso de precipitación prueba de jarras

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Aforo de caudal de agua residual mes de Octubre y Noviembre.....	6
<b>Tabla 2-1</b>	Caracterización físico-químico y microbiológico, agua residual Salinas - Octubre y Noviembre.....	9
<b>Tabla 3-1</b>	Tratabilidad de prueba de jarras con Sulfato de aluminio .....	11
<b>Tabla 4-1</b>	Tratabilidad de pruebas de Jarras con PAC .....	12
<b>Tabla 5-1</b>	Turbiedad y Concentración PAC.....	12
<b>Tabla 1-3</b>	Características Geográficas de la parroquia Salinas .....	15
<b>Tabla 2-3</b>	Contaminantes importantes en las aguas residuales .....	18
<b>Tabla 3-3</b>	Parámetro, Unidad y Método para Caracterización Física del agua .....	21
<b>Tabla 4-3</b>	Parámetro, Unidad y Método para Caracterización Química del agua.....	22
<b>Tabla 5-3</b>	Parámetro, Unidad y Método para Caracterización Microbiológica del agua .....	23
<b>Tabla 6-3</b>	Etapas del Tratamiento de aguas residuales.....	24
<b>Tabla 7-3</b>	Relación entre parámetros DBO <sub>5</sub> Y DQO .....	24
<b>Tabla 8-3</b>	Tabla del coeficiente medio diario.....	27
<b>Tabla 9-3</b>	Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica.....	29
<b>Tabla 10-3</b>	Parámetros de Diseño de Rejillas .....	30
<b>Tabla 11-3</b>	Coeficiente de pérdida para rejillas .....	33
<b>Tabla 12-3</b>	Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos.....	35
<b>Tabla 13-3</b>	Coeficiente de rugosidad de Manning en canales abiertos con revestimiento .....	36
<b>Tabla 14-3</b>	Condiciones para determinar el borde libre de un canal.....	37
<b>Tabla 15-3</b>	Propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas .....	41
<b>Tabla 16-3</b>	Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación .....	41
<b>Tabla 17-3</b>	Geometría recomendada para desarenadores de diferente tipo.....	43
<b>Tabla 18-3</b>	Grado de eficiencia de sedimentación del desarenador, número de Hazen. ....	44
<b>Tabla 19-3</b>	Determinación de W de la canaleta de Parshall en función del caudal.....	54
<b>Tabla 20-3</b>	Valores de K y n, según el tamaño de W .....	54
<b>Tabla 21-3</b>	Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall.....	55
<b>Tabla 22-3</b>	Parámetros de diseño para mezcladores de turbina .....	64
<b>Tabla 23-3</b>	Número de potencia para diferente tipo de impulsores .....	67
<b>Tabla 24.3</b>	Rendimiento de eliminación de solidos suspendidos totales.....	70
<b>Tabla 25.3</b>	Información del peso específico del agua .....	70
<b>Tabla 26-3</b>	Parámetros para el diseño de un sedimentador de flujo horizontal.....	74
<b>Tabla 27-3</b>	Parámetros de diseño de placas planas de asbesto - cemento .....	77
<b>Tabla 28-3</b>	Filtro lento de Arena y Carbón activado.....	81
<b>Tabla 29-3</b>	Filtro lento de Arena y Grava .....	85
<b>Tabla 30-3</b>	Condiciones para el diseño del Filtro lento de Arena .....	88
<b>Tabla 31-3</b>	Tiempo requerido para digestión del lodo .....	91
<b>Tabla 32-3</b>	Determinación caudal punta .....	98
<b>Tabla 33-3</b>	Dimensionamiento del sistema de rejillas.....	98
<b>Tabla 34-3</b>	Dimensionamiento de un canal de entrada .....	99
<b>Tabla 35-3</b>	Dimensionamiento de un tanque desarenador de flujo horizontal .....	99

<b>Tabla 36-3</b>	Dimensionamiento de un canal Parshall .....	101
<b>Tabla 37-3</b>	Dimensionamiento del tanque de Floculación .....	102
<b>Tabla 38-3</b>	Dimensionamiento de un tanque sedimentador .....	103
<b>Tabla 39-3</b>	Dimensionamiento de filtro lento de arena .....	103
<b>Tabla 40-3</b>	Dimensionamiento del lecho de secado .....	104
<b>Tabla 41-3</b>	Resultados del agua residual Salinas- Octubre y Noviembre .....	105
<b>Tabla 42-3</b>	Materiales de muestreo y recolección de información .....	107
<b>Tabla 43-3</b>	Materiales y equipos para medición del caudal .....	107
<b>Tabla 44-3</b>	Materiales, Equipos y Reactivos para los Análisis Físicos del Agua Residual .....	108
<b>Tabla 45-3</b>	Materiales, Equipos y Reactivos para los Análisis Químicos del Agua Residual ..	108
<b>Tabla 46-3</b>	Materiales, Equipos y Reactivos , Análisis Microbiológicos del Agua Residual ...	109
<b>Tabla 47-3</b>	Determinación de los costos del Sistema de Tratamiento de aguas residuales .....	109
<b>Tabla 48-3</b>	Determinación de los costos de dosificación .....	111
<b>Tabla 49-3</b>	Determinación del % remoción de la carga contaminante .....	112
<b>Tabla 50-3</b>	Caracterización física del Color .....	112
<b>Tabla 51-3</b>	Caracterización Física de la Turbiedad .....	113
<b>Tabla 52-3</b>	Caracterización Física de Sólidos Totales Disueltos .....	113
<b>Tabla 53 -3</b>	Caracterización Física de Fosfatos .....	114
<b>Tabla 54-3</b>	Caracterización Física del Hierro Total .....	114
<b>Tabla 55-3</b>	Caracterización Física de Manganeseo .....	115
<b>Tabla 56-3</b>	Caracterización Física del Bario .....	115
<b>Tabla 57-3</b>	Caracterización Química de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	116
<b>Tabla 58-3</b>	Caracterización Química de la Demanda Química de Oxígeno .....	116
<b>Tabla 59-3</b>	Caracterización bacteriológica de coliformes fecales .....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Sistema Hídrico de la Parroquia Salinas .....	4
<b>Figura 1-3:</b>	Ubicación geográfica de la Parroquia de Salinas .....	16
<b>Figura 2-3:</b>	Rejilla Manual .....	29
<b>Figura 4-3:</b>	Diferentes formas de rejillas .....	33
<b>Figura 5-3:</b>	Sistema de rejillas y ángulo de inclinación del sistema .....	34
<b>Figura 6-3:</b>	Canal revestido rectangular.....	38
<b>Figura 7-3:</b>	Desarenador de flujo horizontal.....	53
<b>Figura 8-3:</b>	Canal Parshall .....	63
<b>Figura 9-3:</b>	Tanque mezclador.....	71
<b>Figura 10-3:</b>	Sedimentador de flujo horizontal.....	81
<b>Figura 11-3:</b>	Filtro lento de arena .....	89
<b>Figura 12-3:</b>	Lecho de Secado .....	94
<b>Figura 13-3:</b>	Sistema de Tratamiento.....	106

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Caudal del mes de Octubre.....	7
<b>Gráfico 2-1:</b>	Caudal de mes de Noviembre.....	7
<b>Gráfico 3-1:</b>	Turbiedad vs Concentración.....	13
<b>Gráfico 1-3:</b>	Caracterización física del color .....	112
<b>Gráfico 2-3:</b>	Disminución de Turbiedad .....	113
<b>Gráfico 3-3:</b>	Disminución de Solidos Suspendidos Totales.....	113
<b>Gráfico 4-3:</b>	Disminución de Fosfatos .....	114
<b>Gráfico 5-3:</b>	Disminución de Hierro Total.....	114
<b>Gráfico 6-3:</b>	Disminución de Manganeseo .....	115
<b>Gráfico 7-3:</b>	Disminución de bario .....	115
<b>Gráfico 8-3:</b>	Disminución de DBO <sub>5</sub> .....	116
<b>Gráfico 9-3:</b>	Disminución de DQO.....	116
<b>Gráfico 10-3:</b>	Disminución de los coliformes fecales.....	117

## RESUMEN

Se realizó el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia Salinas del Cantón Guaranda para disminuir la carga contaminante en la descarga del Río Salinas. Se recolectaron muestras compuestas para la realización de la caracterización físico-químico y microbiológica, cuyos resultados fueron: Color 159.99 UTC, Turbiedad 74.14 NTU, Sólidos Disueltos Totales 175.91 mg/L, Fosfatos 11.56 mg/L, Hierro Total 11.53 mg/L, Manganeseo 2.47 mg/L, Bario 2.8 mg/L, Coliformes Fecales 2486.13 NMP/100mL, Demanda Bioquímica de Oxígeno 270.95 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 738.25 mg/L. Siendo estos los parámetros que se encuentran fuera de la Norma TULSMA Registro Oficial, Acuerdo Ministerial N. 387, Tabla 09. Se desarrolló las pruebas de tratabilidad mediante el método de test de jarras y se utilizaron los reactivos de policloruro de aluminio y Chemfloc, para encontrar la dosificación óptima para la tratabilidad del agua residual. Las variables identificadas permitieron realizar el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales que constará de los siguientes procesos: rejillas, canal, desarenador de flujo horizontal, canal de parshall, tanque mezclador, sedimentador de flujo horizontal, filtros de grava y de carbón activado. Se realizó la caracterización final del agua tratada dando los siguientes resultados: Color 1.00 UTC, Turbiedad 0.58 NTU, Sólidos Disueltos Totales 2.89 mg/L, Fosfatos 0.15 mg/L, Hierro Total 0.26 mg/L, Manganeseo 0.12 mg/L, Bario 0.99 mg/L, Coliformes Fecales 2486.13 NMP/100mL, Demanda Bioquímica de Oxígeno < 30 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 4.30 mg/L; que cumple con los parámetros dentro de los límites permisibles del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Registro Oficial, Acuerdo Ministerial N. 387, Tabla 09, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Palabras claves:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES> <AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA><MÉTODO TEST DE JARRA ><LECHO DE SECADO><SALINAS (PARROQUIA) > < GUARANDA (CANTÓN SALINAS)>

## SUMMARY

The design of a sewage treatment system was carried out for Salinas Parish, Guaranda County in order to reduce the polluting charge in the discharge for Salinas River. Some compound samples were collected for the physical-chemical and microbiological characterization, whose results were: Color 159.99 UTC, Turbidity 74.14 NTU, Total Dissolved Solids 175.91 mg/L, Phosphates 11.56 mg/L, Total Iron 11.53 mg/L, Magnesium 2.47 mg/L, Barium 2.8 mg/L, Fecal Coliforms 2486.13 NMP/100mL, Oxygen Biochemical Demand 270.95 mg/L, Oxygen Chemical Demand 738.25 mg/L. These parameters are out of TULSMA Norm Official Register, Ministerial Agreement 378, table 09. Water treatability tests were carried out through the jar test method; in addition, the aluminum polychloride reagents and Chemfloc were used to find the optimal dosage for treating sewage. The variables identified allowed designing the sewage treatment system that will contain the following processes: rack, horizontal flow desander channel, parshall channel, mixer tank, horizontal flow sedimentation tank, gravel and activated carbon filters. The final characterization of treated water was carried out with the following results: Color 1.00 UTC, Turbidity 0.58 NTU, Total Dissolved Solids 2.89 mg/L, Phosphates 0.15 mg/L, Total Iron 0.26 mg/L, Magnesium 0.12 mg/L, Barium 0.99 mg/L, Fecal Coliforms 2486.13 NMP/100mL, Oxygen Biochemical Demand < 30 mg/L, Oxygen Chemical Demand 4.30 mg/L. This accomplishes the parameters under the allowed limits by the Official Register Ministerial Agreement 387, Table 09 regarding to discharge limits into a fresh water source.

Key words: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY> <SEWAGE TREATMENT SYSTEM> <DOMESTIC SEWAGE> <JAR TEST METHOD> <DRYING BED> <SALINAS PARISH> <GUARANDA (SALINAS COUNTY)>

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Identificación del Problema

La Parroquia Salinas está ubicada al noreste de la ciudad de Guaranda, cuenta con una población 7262 habitantes, siendo esta una de las más importantes del cantón, cuenta actualmente con todos los servicios básicos.

En la actualidad el Río Salinas está siendo afectado por el aumento del efluente, debido a las diferentes actividades que realiza la población y también considerando las aguas residuales domésticas, lo que con lleva a un problema ambiental, alterando la composición y las condiciones requeridas para los usos a los que se hubiera destinado en su estado natural. La Parroquia Salinas posee un alcantarillado combinado, es decir, sanitario y pluvial, que recoge todas las aguas que posteriormente son conducidas al Rio Salinas y no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales , lo que permitirá investigar los procesos que ayuden obtener agua tratada que cumpla con la Norma vigente en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, de esta manera reducir los efectos contaminantes que pueden afectar a lugares emblemáticos como la minas de sal y el criadero de truchas existentes en la Parroquia Salinas .

La Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda es responsable de la administración, planificación, diseño, construcción, control, operación y mantenimiento de los sistemas para producción, distribución y comercialización de agua potable; así como de la conducción, regulación y disposición final de las aguas residuales de la ciudad, con el fin de preservar la salud de los habitantes, el en lo ecológico y contribuir el mantenimiento de las fuentes hídricas del cantón Guaranda, por lo cual la empresa ve la necesidad de dar soluciones a estos problemas, con la

finalidad de evitar el deterioro paulatino del ambiente, la vida presente en él y sobre todo la salud de los moradores de la zona, que tienen derecho a vivir en un ambiente sano libre de contaminación de acuerdo a la Constitución Ecuatoriana, los derechos del buen vivir.

## **1.2 Justificación del proyecto**

La Parroquia Salinas presenta problemas de contaminación en el Río Salinas, dicha contaminación es provocada por el agua residual; debido al gran consumo por parte de la sociedad para satisfacer sus necesidades diarias, se genera la descarga de la misma pero con cierto grado de toxicidad según el uso que se le ha dado.

La falta de responsabilidad sobre el tratamiento de las aguas residuales, sumado al desconocimiento de los riesgos toxicológicos de los desechos, solo puede desembocar en el deterioro paulatino del ambiente, la vida presente en él y sobre todo la salud de los moradores de la zona, que tienen derecho a vivir en un ambiente sano libre de contaminación de acuerdo a la Constitución Ecuatoriana Art. 14, del buen vivir.

Sin embargo, no se le ha dado solución a esta problemática, es por ello que se justifica proponer el presente “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SALINAS”, para ayudar a resolver el problema existente al no contar con un sistema de tratamiento, previo a su descarga, para evitar en lo posible la contaminación que causa la descarga directa de las aguas residuales al Río Salinas. Proyecto que beneficiara a toda la población de esta parroquia y zonas aledañas que se encuentran ubicadas en el trayecto del cuerpo receptor, que garantice la eliminación de contaminantes presentes en el agua residual y la exposición a la proliferación de enfermedades sintomatológicas por agentes como virus y bacterias.

El proyecto es viable porque cuenta con el aval de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, la misma que respalda la investigación con recursos económicos, técnicos y humanos. Los resultados esperados son obtener un agua tratada que cumpla con la Normativa vigente en el

TULSMA, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, esto apunta directamente a la relevancia del proyecto, puesto que es de interés social. Brinda su apoyo para las actividades que abarca el proyecto desde la caracterización inicial hasta el diseño integro de la planta.

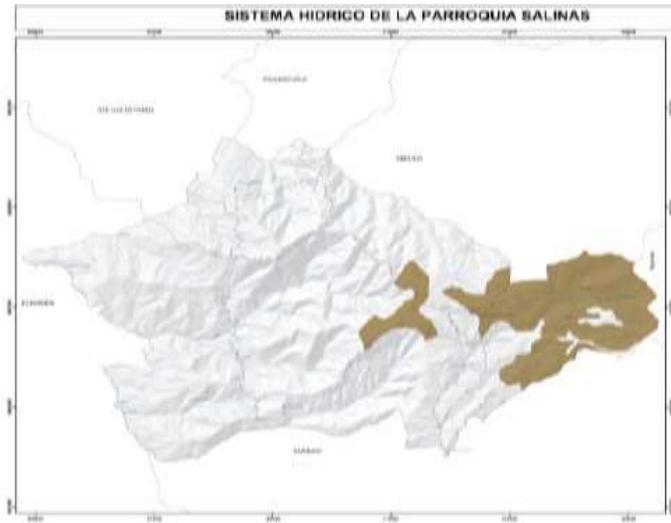
### **1. 3 Línea de base del Proyecto**

#### ***1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación***

Para llevar a cabo este proyecto técnico se realizó varias visitas a la Parroquia Salinas que está ubicada en la Provincia de Bolívar, en el sector noroeste de la ciudad de Guaranda. Se realizó la identificación del lugar de descarga de las aguas residuales que son generadas en dicha parroquia, y se pudo realizar la determinación de los caudales y como también recolección de muestras que serán analizadas en el laboratorio. Se observó las características del terreno que indican erosión, con efectos notorios en la zona del páramo, y moderados en la parte baja. Las autoridades y los habitantes de esta parroquia dieron a conocer que no existe ningún tratamiento para las aguas residuales y que se existe un constate riesgo para las minas de sal y los criaderos de trucha ya que se encuentran cercanos al Río Salinas donde desfogan las aguas residuales .

#### ***1.3.2 Hidrología***

La Parroquia Salinas, dispone de 6996 hectáreas de territorio de la zona alta, donde existen vertientes de agua que forman riachuelos, esteros y ríos que van a desembocar en el Río Guayas. En Salinas, están dos Subcuencas hidrográficas, el Río Babahoyo conformado por las micro cuencas del Suquibi, Limón del Carmen, Oncebi, Chazojuan y el nacimiento de la Subcuenca del Yaguachi por la micro cuenca Salinas, que da lugar a la cuenca alta del Río Guayas.



**Figura 1-1:** Sistema Hídrico de la Parroquia Salinas

**Fuente:** Plan de Desarrollo Territorial de la Parroquia Salinas.

### ***1.3.3 Tipo de estudio***

Para la realización de este proyecto técnico se tomó en cuenta tres tipos de estudios necesarios como son , el observativo, experimental, y el analítico puesto que con la aplicación de estos tipos de estudio nos permitirán conocer los distintos contaminantes presentes en las aguas residuales , que son descargadas a un cuerpo receptor de agua dulce y nos facilitara el estudio y desarrollo del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales .

### ***1.3.3 Métodos y Técnicas***

#### ***1.3.4.1 Métodos***

##### **a) Método inductivo**

Este método alcanza conclusión general que parte de una hipótesis particular. Mediante la aplicación de este método se realizó el estudio, se tomó las muestras de caudal en el punto de descarga , mediante el método volumétrico 3 veces por día en las horas pico , de esta manera se pudo conocer el porcentaje agua contaminada en la Parroquia Salinas , el cual nos va a permitir dar conclusiones claras y concisas para el desarrollo del diseño del sistema. Esto nos permitirá realizar

la caracterización físico-químico, y microbiológico, adquiriendo datos precisos para la elaboración del proyecto técnico.

#### **b) Método deductivo**

Cuando se habla del método deductivo se entiende que las ideas generales pasan ser ideas específicas para llegar a una conclusión que es de tipo particular. Para el diseño de tratamiento de aguas residuales se debe tomar en cuenta los efectos que pueden generar los contaminantes ya sea en la descarga directa al Río Salinas, así como en los sectores aledaños.

Con los resultados de los análisis físicos- químicos y microbiológicos, que tiene como objetivo cumplir los parámetros de la Norma TULSMA, datos que fueron tabulados y analizados para posteriormente diseñar la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### **c) Método experimental**

Este método nos permite llegar a una verdad objetiva, mediante los análisis realizados en el laboratorio con la utilización de equipos e instrumentos adecuados para demostrar la veracidad de los datos obtenidos de la toma de muestras y del tratamiento, análisis físico-químicos y microbiológicos de agua residual.

#### ***1.3.4.2 Técnicas***

Para la realización de este proyecto se utilizaron las técnicas y Normas que están establecidos en el manual de procedimientos técnicos del laboratorio de control de calidad de la E.P – EMAPA-G, ubicados en el Anexo A y Anexo B, fundamentados en el Estándar Methods for Examination of Water and Wastewater especificados en la última edición.

#### ***1.3.5 Determinación del caudal de las aguas residuales***

La medición del caudal se puede realizar por varios métodos, en este caso se utilizó el método volumétrico debido a que el caudal del agua residual que se genera en la Parroquia Salinas no tiene un flujo constante, se siguió los siguientes pasos:

- Primero se realizó el reconocimiento del punto de descarga se procedió a realizar aforaciones directas del agua residual con la ayuda de un balde graduado de 20 litros y un cronómetro con el que se determinó el tiempo de llenado.

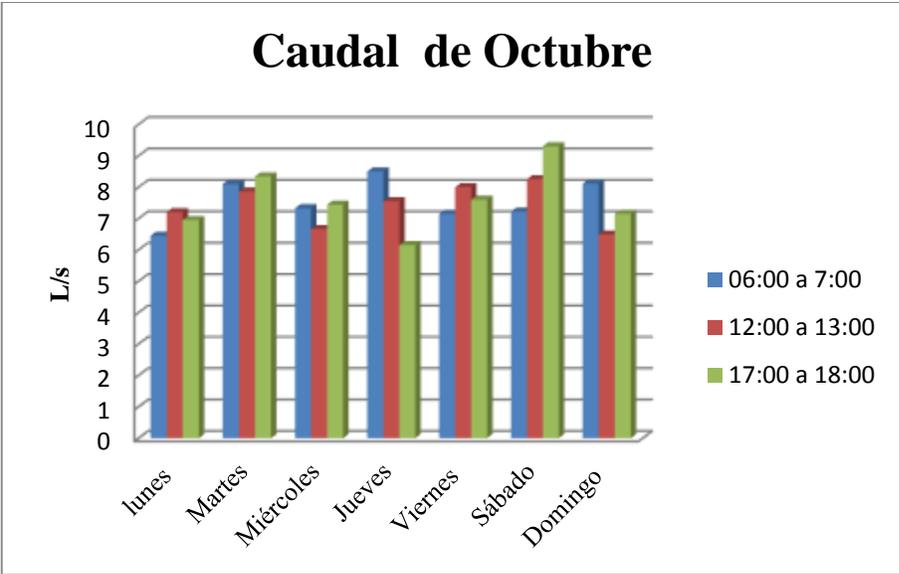
- Cada una de las aforaciones se hicieron en las horas pico, todos los días de la semana donde se considero el mayor volumen de agua residual generada, las horas pico fueron: 06H00 – 07H00, 12H00 – 13H00 y 17H00 – 18H00, en intervalos de 25 minutos, los meses de monitoreo fueron Octubre y Noviembre del 2016.
- Se pudo determinar el caudal promedio a partir de las tabulaciones y consolidaciones. El caudal promedio obtenido será la base para la determinación del caudal punta que será utilizado para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 1-1** Aforo de caudal de agua residual mes de Octubre y Noviembre

OCTUBRE										
Horario	Unidad	Lunes	Martes	Miércoles	Viernes	Jueves	Sábado	Domingo	Promedio	
06:00 a 7:00	L/s	6.45	8.10	7.33	8.50	7.15	7.22	8.11	7.55	
12:00 a 13:00	L/s	7.20	7.86	6.66	7.55	8.00	8.25	6.49	7.43	
17:00 a 18:00	L/s	6.95	8.34	7.44	6.15	7.60	9.30	7.15	7.56	
NOVIEMBRE										
Horario	Unidad	Lunes	Martes	Miércoles	Viernes	Jueves	Sábado	Domingo	Promedio	
06:00 a 7:00	L/s	7.20	7.40	8.15	6.75	8.25	8.20	7.45	7.63	
12:00 a 13:00	L/s	6.90	6.75	7.50	7.15	7.80	7.95	8.60	7.52	
17:00 a 18:00	L/s	7.55	7.80	7.65	6.95	7.90	8.15	7.75	7.69	
TOTAL	L/s									7.56

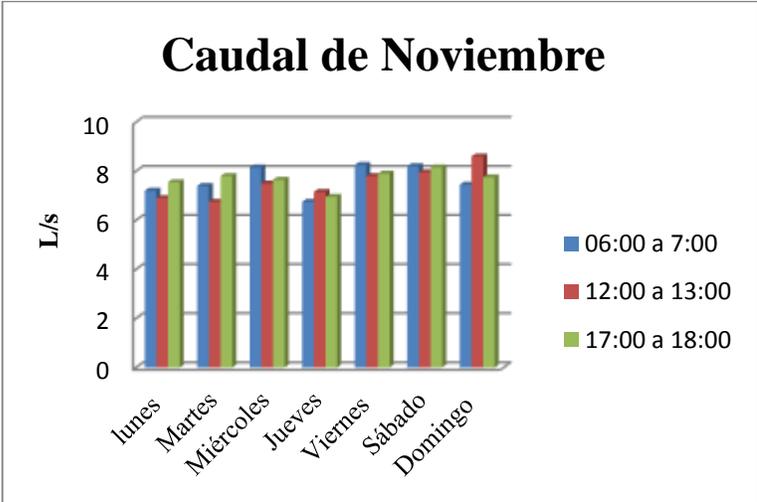
Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

Se registró los valores del caudal del mes de octubre y de esta manera se pudo estimar la variación de caudal de las aguas residuales, teniendo el día sábado como el día que presenta mayor variación debido a que este es un día comercial en la Parroquia Salinas, se observó la tendencia de incremento de caudal, se utilizó el caudal promedio para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.



**Gráfico 1-1:** Caudal del mes de Octubre  
 Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

El caudal semanal acorde al mes de aforo indican que el mes de noviembre presenta un pequeño incremento con respecto al mes de octubre de esta manera se estima la variación de caudal de las aguas residuales, teniendo el día sábado como el día que presenta mayor variación debido a que este es un día comercial en la Parroquia Salinas, se observó la tendencia de incremento de caudal, se utilizó el caudal promedio para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.



**Gráfico 2-1:** Caudal de mes de Noviembre  
 Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

### ***1.3.6 Método de Muestreo***

El muestreo de las aguas residuales es la extracción de una parte representativa del efluente de interés, para de esta manera analizar sus características y determinar sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos. (Metcalf & Eddy, 2005)

Para realizar el análisis del agua residual se tomaron tres muestras simples al día en las horas pico, durante todos los días a la semana durante los meses de Octubre y Noviembre del 2016 en donde se recolectó 21 muestras en la semana, 48 en cada mes y que posteriormente fueron mezcladas para obtener las muestras compuestas.

El muestreo del agua residual se realizó bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:13, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras, técnicas y precauciones que deben ser tomadas en cuenta en la recolección y transporte de las muestras.

Las muestras de agua residual fueron recolectadas en envases estériles y llevadas al Laboratorio del EP. EMAPA-G, en donde se realizó la caracterización y en forma paralela en el CESTTA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

#### ***1.3.6.1 Parámetros analizados***

Con las muestras recolectadas, se realizó la caracterización físico- químico y microbiológica en donde los resultados obtenidos fueron tabulados estadísticamente, y permitieron identificar los parámetros que se encuentran fuera de la Normativa TULSMA, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, para establecer los criterios para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 2 -1** Caracterización físico-químico y microbiológico, agua residual Salinas - Octubre y Noviembre

PARÁMETROS	UNIDAD	PROMEDIO DE OCTUBRE	PROMEDIO DE NOVIEMBRE	PROMEDIO GENERAL	Norma TULSMA Lim.Max.Per
COLOR	UTC	153,28	159,99	156,63	.....
TURBIEDAD	NTU	71,67	74,14	72,90	.....
pH	.....	7,45	7,56	7,50	6. - 9
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	uS/cm	695,32	653,21	674,26	.....
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	249,93	270,15	260,04	1600
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	168,22	183,61	175,91	130
TEMPERATURA	° C	19,67	19,59	19,63	Cond. ± 3
ACEITES Y GRASAS	mg/L	2,84	2,85	2,85	30,00
TENSOACTIVOS	mg/L	0,08	0,10	0,09	0,50
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	24,52	20,06	22,29	50,0
FOSFORO TOTAL	mg/L	11,63	11,49	11,56	10,0
NITROGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	14,71	13,14	13,92	30,0
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	12,25	12,00	12,13	1000
FLUORUROS (F)	mg/L	1,67	1,50	1,58	5,0
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	11,34	11,72	11,53	10,0
MANGANESO TOTAL	mg/L	2,605	2,478	2,54	2,0
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,41	0,39	0,40	0,5
COBRE (Cu)	mg/L	0,25	0,24	0,24	1,0
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	460,00	485,00	472,50	.....
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0,036	0,033	0,03	5,0
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	141,83	137,28	139,55	1000
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,27	0,31	0,29	2,0
COBALTO (Co)	mg/L	0,35	0,32	0,34	0,5
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,009	0,008	0,01	0,2

ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,45	0,50	0,47	5,0
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0,1
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0,1
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2,68	3,01	2,85	2,0
BROMO (Br)	mg/L	0,007	0,008	0,007	.....
BORO (B)	mg/L	1,39	1,40	1,39	2,0
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	0,008	0,008	0,008	.....
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,13	0,18	0,15	.....
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	0,43	0,24	0,34	.....
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4855,50	4116,75	4486,12	2000
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	246,50	295,00	270,75	100
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	580,25	896,25	738,25	200

Fuente: Dirección Técnica – Laboratorio de Control de Calidad E.P.EMAPA-G

### ***1.3.7 Pruebas de tratabilidad***

#### ***1.3.7.1 Índice de Biodegradabilidad***

El índice de biodegradabilidad nos permite conocer si la materia orgánica que se encuentra en el agua residual es biodegradable, o no, puesto que hay sustancias que no lo son o son lentamente biodegradables, por tal razón se realiza la relación DQO/ DBO<sub>5</sub> que nos permitirá seleccionar el método adecuado para el tratamiento de aguas residuales.

#### ***1.3.7.2 Test de Jarras***

Se realizó un test de jarras para determinar las concentraciones óptimas del polímero y del auxiliar, en este caso se aplicó el polímero Policloruro de Aluminio PAC-P25A y el auxiliar anionico chemfloc N-100, considerando dos muestras compuestas en donde la turbiedad oscilaba entre el rango de 71.67 -74.14NTU, la dosificación de estos productos químicos se efectuó a diferentes concentraciones, mismos que se muestran en la Tabla 3-1

Mediante el test jarras se realizó la simulación del resalto hidráulico en el canal Parshall en donde se realizó la mezcla rápida con ayuda del equipo Floc-Tester ET 730, donde se introdujeron

deferentes concentraciones de los reactivos mediante el uso de una jeringuilla hipodérmica, se realizó primero una prueba de tratabilidad de sulfato de aluminio y Chemfloc N-100 donde se obtuvo como resultados el ochenta por ciento de remoción de sólidos con una turbiedad que fue de 72.90 a 14.58 NTU .

**Tabla 3-1** Tratabilidad de prueba de jarras con Sulfato de aluminio

TURBIEDAD 72.90 NTU, (pHo=7.50, pHf=7.34), rpm=200							
Conc chemfloc	Conc Sulfato	Dosis Sulfato(mL)	Dosis chemfloc (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,02	20	10	11,37	7,85	14,58	80,00
0,80	0,02	40	20	13,58	9,91	16,77	77,00
0,80	0,02	60	30	15,92	12,26	18,95	74,00
0,80	0,02	80	40	18,39	14,90	21,14	71,00
0,80	0,03	20	10	21,00	17,85	23,33	68,00
0,80	0,03	40	20	23,73	21,12	25,52	65,00
0,80	0,03	60	30	26,59	24,73	27,70	62,00
0,80	0,03	80	40	29,59	28,70	29,89	59,00
0,80	0,04	20	10	32,72	33,04	32,08	56,00
0,80	0,04	40	20	35,98	37,77	34,26	53,00
0,80	0,04	60	30	39,37	42,91	36,45	50,00
0,80	0,04	80	40	42,89	48,46	38,64	47,00
0,80	0,05	20	10	46,54	54,45	40,82	44,00
0,80	0,05	40	20	50,32	60,89	43,01	41,00
0,80	0,05	60	30	54,24	67,80	45,20	38,00
0,80	0,05	80	40	58,28	75,19	47,39	35,00

**Fuente:** Dirección Técnica – Laboratorio de Control de Calidad E.P.EMAPA-G

**Realizado:** Consuelo Valdivieso. 2017

Posteriormente se realizó un test de jarras con policloruro de aluminio y Chemfloc N-100 y se ejecutó una mezcla lenta aproximadamente de 5 minutos para que se formen y decanten los floculos, teniendo como resultado 99.20 por ciento de remoción en donde al comparar los resultados tanto de la **Tabla 3-1** y de la **Tabla 4-1**, siendo el PAC y Chemfloc N-100 los reactivos que mejoran la calidad del agua de una manera notable y para finalizar se tomó las muestras para realizar los análisis respectivos de cada muestra.

**Tabla 4-1** Tratabilidad de pruebas de Jarras con PAC

TURBIEDAD 72.90 NTU, (pHo=7.50, pHf=7.08), rpm=200							
Conc Chemfloc (g/L)	Conc PAC (g/L)	Dosis PAC (mL)	Dosis Chemfloc (mL)	Tiempo for. Flocc (min)	Tiempo dec. Flocc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,02	10,00	5,00	17,24	11,20	68,94	5,43
0,80	0,02	20,00	10,00	13,54	8,53	61,53	15,60
0,80	0,02	30,00	15,00	10,28	6,27	54,12	25,76
0,80	0,02	40,00	20,00	16,82	9,92	46,71	35,93
0,80	0,03	10,00	5,00	13,36	7,62	39,30	46,09
0,80	0,03	20,00	10,00	10,20	5,61	31,89	56,26
0,80	0,03	30,00	15,00	20,56	10,90	24,48	66,42
0,80	0,03	40,00	20,00	14,00	7,14	17,07	76,58
0,80	0,04	10,00	5,00	12,56	6,15	9,66	86,75
0,80	0,04	20,00	10,00	11,93	5,60	2,25	96,91
<b>0,80</b>	<b>0,04</b>	<b>30,00</b>	<b>15,00</b>	<b>3,61</b>	<b>4,17</b>	<b>0,58</b>	<b>99,20</b>
0,80	0,04	40,00	20,00	5,16	2,22	0,89	98,78
0,80	0,05	10,00	5,00	8,52	3,49	1,20	98,35
0,80	0,05	20,00	10,00	12,68	4,95	1,51	97,93
0,80	0,05	30,00	15,00	17,65	6,53	1,82	97,50
0,80	0,05	40,00	20,00	23,43	8,20	2,13	97,08

Fuente: Dirección Técnica – Laboratorio de Control de Calidad E.P.EMAPA-G

Realizado: Consuelo Valdivieso. 2017

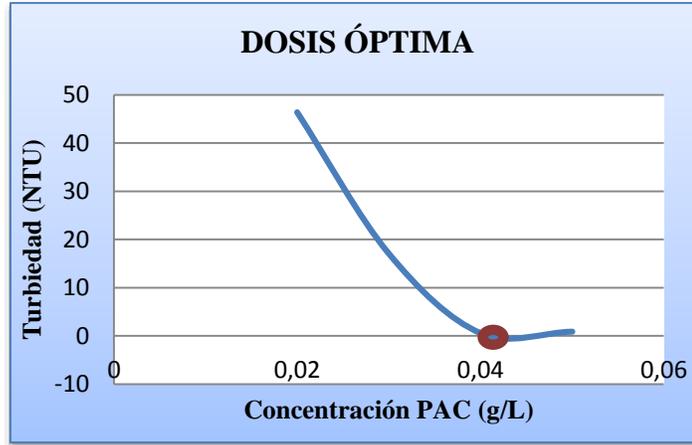
La muestra inicia con una turbiedad de 72.90 NTU, al utilizarse el Policloruro de Aluminio en diferentes concentraciones, se va obteniendo distintos valores de la turbiedad, el resultado que indique una disminución notable de la turbiedad y que se encuentre dentro de la Norma TULSMA, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, corresponderá a la dosificación óptima de PAC.

**Tabla 5-1** Turbiedad y Concentración PAC

Concentración de PAC	Turbiedad
<b>0.02</b>	46.41
<b>0.03</b>	17.07
<b>0.04</b>	0.58
<b>0.05</b>	0.89

Realizado: Consuelo Valdivieso. 2017

Se realizó pruebas de tratabilidad con el método de test jarras donde se determinó la dosificación óptima para la coagulación que es de 0.04g/L de PAC donde la turbiedad del agua tratada disminuyó notablemente de 72.90 NTU a 0.58 NTU, valor que se encuentra dentro de los límites permisibles.



**Gráfico 3-1:** Turbiedad vs Concentración  
Realizado: Consuelo Valdivieso. 2017

#### 1.4 Beneficiarios directos e indirectos

##### 1.4.1 Directos

Con la realización de este proyecto el beneficiario directo del trabajo de titulación planteado es el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Salinas, por ser la institución a la cual va dirigido la investigación técnica del Sistema de Tratamiento de aguas residuales.

##### 1.4.2 Indirectos

Los beneficiarios indirectos del trabajo de titulación son los habitantes de la Parroquia Salinas , ya que según el último censo tenemos una población de 7262 habitantes, así como, la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Guaranda.

## **CAPITULO II**

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

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

- ✚ Diseñar un Sistema de Tratamiento para Aguas Residuales en la Parroquia Salinas, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar.

#### **2.2. Objetivos Específicos**

- ✚ Efectuar la caracterización físico- química y bacteriológicamente en base al TULSMA, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- ✚ Identificar las variables del proceso para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales
- ✚ Dimensionar mediante cálculos de ingeniería el sistema de tratamiento de aguas residuales según los resultados obtenidos en la caracterización del efluente.
- ✚ Validar el diseño propuesto mediante la caracterización del agua residual previa a su disposición final en base a los límites TULSMA, Tabla 9, establecidos en las Normas de descargas.
- ✚ Determinar la factibilidad técnica y el presupuesto referencial del proyecto

## **CAPÍTULO III**

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1 Localización del proyecto

##### 3.1.1 Localización Geográfica

El presente proyecto técnico se efectuó en la Parroquia Salinas, que está ubicada al Noroccidente de la Provincia de Bolívar a 56 Km de la Ciudad de Guaranda, y 75 Km de la Ciudad de Ambato.

**Tabla 1-3** Características Geográficas de la parroquia Salinas

<b>Limites</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Al norte con las parroquias: Facundo Vela, Simiatug, San Luis de Pambil (Provincia de Bolívar).</li><li>• Al sur con el Cantón Guaranda</li><li>• Al este con las provincia de Tungurahua.</li><li>• Al oeste con los cantones: Las Naves y Echeandía.</li></ul>
<b>Rango altitudinal</b>	Oscila 4.200 msnm.
<b>Clima</b>	Varia 7 a 18 °C

**Fuente:** Plan de Desarrollo Territorial de la Parroquia Salinas.

**Realizado por:** Consuelo Valdivieso. 2017



**Figura 1-3:** Ubicación geográfica de la Parroquia de Salinas

**Fuente:** Plan de Desarrollo Territorial de la Parroquia Salinas.

### ***3.1.3. Clima de la Zona***

La Parroquia Salinas, de acuerdo a los pisos altitudinales, dispone de una variedad de climas y microclimas, que va desde el frío hasta el clima subtropical, la temperatura media anual en la zona alta es de 7°C y en la zona baja es de 15°C; las temperaturas más bajas se presentan en la zona alta de Octubre hasta Mayo y la temperatura más alta en la zona baja de Mayo a Septiembre.

### ***3.1.4. Características geomorfológicas de la zona***

La geomorfología indica la erosión del terreno, con efectos notorios en la zona del páramo, y moderados en la parte baja. Cerca de la parroquia se levantan hermosos farallones que son el resultado de procesos eruptivos de miles de años; de la Parroquia Salinas, la mayor parte del territorio está ocupado por bosques intervenidos por pastos, cultivos, también está considerada una parte, para la conservación y protección del medio ambiente, dispone de páramo en la zona alta, remanentes de Bosque y Matorral húmedo.

## 3.2 Ingeniería del proyecto

### 3.2.1 Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades realizadas por los seres humanos y que por su calidad requieren un previo tratamiento, antes de ser vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. (Crites, 2000)

#### 3.2.1.1 Clasificación de las aguas residuales

- a. **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** Proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal, de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes y grasas. (García, 2001)
- b. **Aguas blancas:** Son aquellas aguas que son de procedencia atmosférica como la lluvia, hielo y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración. (García, 2001)
- c. **Aguas residuales industriales:** Son el resultado de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición, depende de las diferentes actividades industriales. (García, 2001)
- d. **Aguas residuales agrícolas:** Procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar en el riego agrícola con o sin un tratamiento previo. (García, 2001)

**Tabla 2-3** Contaminantes importantes en las aguas residuales

CONTAMINANTES	IMPORTANCIA AMBIENTAL	FUENTE
Sólidos suspendidos	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red
Compuestos orgánicos biodegradables	Causan enfermedades transmisibles	Desechos domésticos
Nutrientes	Puede causar eutrofización	Desechos domésticos
Compuestos orgánicos refractarios	Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o cancerígenos	Desechos industriales.
Metales pesados	Son tóxicos, pueden interferir en el tratamiento y reúso del efluente.	Desechos industriales, minería, etc.
Sólidos inorgánicos disueltos	Pueden interferir con el reúso del efluente	Debidos al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2005)

### 3.2.1.2 Medición del caudal de aguas residuales

La medición del caudal que pasa por la sección transversal de un conducto que puede ser: un río, riachuelo, canal, tubería de agua, se conoce como aforo o medición de caudales. Este caudal depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua. (García, 2001)

- a. **Método del correntómetro:** Este método se mide por medio de un instrumento llamado correntómetro la velocidad del agua en un punto dado, para obtener de esta manera la velocidad media de un curso de agua y medir la velocidad en dos, tres o más puntos, a diversas profundidades a lo largo de una vertical y a partir de la superficie del agua. En este método se calcula primero la velocidad para posteriormente determinar el caudal. (Ramalho, 2003)

$$v = a * n + b$$

**Ecuación 1**

**Dónde:**

**v** : Velocidad del agua (m/s)

**a**: El paso real de la hélice (m)

**n:** El número de vueltas de la hélice ( $s^{-1}$ )

**b:** Velocidad de frotamiento (m/s)

- b. **Método del flotador:** En este método no es necesario tener equipos de medición y para este fin se tiene que conocer el área de la sección y la velocidad del agua. Para medición de la velocidad se utiliza un flotador con el que se mide la velocidad del agua de la superficie, utilizándose como flotador cualquier cuerpo pequeño que flote: como un corcho, un pedacito de madera, una botellita lastrada. (Ramalho, 2003)

$$Q = A * v$$

**Ecuación 2**

**Dónde:**

**Q:** Caudal (L/s)

**A:** Área transversal ( $m^2$ )

**v :** Velocidad (m/s)

- c. **Método Volumétrico:** Se emplea por lo general para caudales muy pequeños y se requiere de un recipiente para coleccionar el agua. El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen. (Garcia, 2001)

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

**Ecuación 3**

**Dónde:**

**Q:** Caudal (L/s)

**V:** Volumen (L)

**T :** Tiempo (s)

### **3.2.1.3 Tipo de Muestreo para Agua Residuales:**

**Muestra simple:** La muestra simple nos da las características del agua residual en el momento en que la muestra es tomada. Se usa generalmente cuando el caudal del agua residual es relativamente constante ; el flujo de agua residual es intermitente y las muestras compuesta puede ocultar

condiciones , externas de la aguas residuales como , la temperatura y el pH. El volumen mínimo de una muestra debe estar entre 1 y 2 litros. (Ramalho, 2003)

**Muestra compuestas:** Las muestras compuestas son aquellas formadas por la mezcla de varias muestras simples tomadas en diferentes momentos. Es recomendable que los volúmenes individuales sean de 2 a 4 L. (Ramalho, 2003)

**Muestra integrada:** Está muestra es aquella que está conformada por varias muestras que fueron tomadas al mismo tiempo pero en diferentes puntos de ubicación. (Ramalho, 2003)

### ***3.2.1.4 Características de las Aguas Residuales***

#### ***3.2.1.4.1 Características Físicas***

- ✚ **Color:** Existen varias causas del color de agua como la presencia de ciertos minerales, también depende de la descomposición del agua y puede darse por el contacto del agua con desechos orgánicos.
- ✚ **Conductividad:** Es la capacidad del agua para conducir electricidad, por la presencia de sales disueltas, y un incremento de iones como Ca, Mg, Na, P, etc. (ROMERO, 2008)
- ✚ **Potencial de hidrogeno:** El pH mide la concentración de iones Hidrogenos presentes en una muestra. Al conocer el pH se puede controlar reacciones químicas y la actividad biológica.
- ✚ **Olor:** El olor del agua residual es inofensivo pero indica la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos.
- ✚ **Sólidos totales:** Se dividen en sólidos disueltos y sólidos suspendidos, que resulta después de someter al agua a elevadas temperaturas.
- ✚ **Sólidos disueltos:** Se encuentran el agua en forma de gases o sales.
- ✚ **Sólidos suspendidos:** Se determinan por la diferencia entre sólidos totales y sólidos disueltos, se obtiene para el dimensionamiento de un sistema de tratamiento de agua residual. (Crites, 2000)
- ✚ **Sólidos sedimentables:** Es el material que se sedimenta en el fondo de un recipiente.
- ✚ **Turbiedad:** Indica la presencia de impurezas que se encuentran suspendidas en el agua que dificultan la dispersión de la luz. (Crites, 2000)
- ✚ **Temperatura:** Es un parámetro importante porque puede acelerar las reacciones químicas e influye en la viscosidad y en la cinética del agua. (Crites, 2000)

#### ***3.2.1.4.2 Características Químicas***

- ✚ *Aceites y grasas*: La presencia de aceites y grasas de origen mineral no son biodegradables mientras los aceites y grasas de origen vegetal pueden tener un tratamiento biológico. (Crites, 2000)
- ✚ *Fosforo*: En la mayoría de las aguas residuales hay proliferación de algas cuyo crecimiento es caudado por la presencia de fosforo.
- ✚ *Demanda bioquímica de Oxígeno*: Es un indicador de la concentración de materia orgánica biodegradable, representada por la cantidad de oxígeno requerida para la eliminación de la materia orgánica presente en el agua. (Crites, 2000)
- ✚ *Detergentes*: Son sustancias encargadas de la disminución de la tensión superficial del agua y se caracterizan por producir espuma que es perjudicial para la absorción y disolución del oxígeno en el agua. (Crites, 2000)
- ✚ *Nitrógeno*: Es considerado como un nutriente para el incremento de microorganismos y se encuentra en forma de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitrito

#### 3.2.1.4.3 Características Biológicas

- ✚ *Coliformes fecales*: Son las bacterias Gram negativas aeróbicas y anaeróbicas facultativas, de forma redonda y que no forman esporas.
- ✚ *Fecales*: La mayoría son Escherichia coli y Klesbiella. Estas bacterias soportan altas temperaturas y se reproducen en gran cantidad por condiciones favorables de pH, temperatura, etc. (Crites, 2000)

#### 3.2.1.4.4 Parámetros analizados

Los parámetros con sus respectivos métodos a tomar en cuenta para la caracterización de las muestras de agua residual se especifican a continuación:

**Tabla 3-3** Parámetro, Unidad y Método para Caracterización Física del agua

Parámetro	Unidad	Método
<b>Color</b>	UTC	Colorimétrico. REF1001/S502.
<b>Conductividad</b>	μS/cm	Conductimétrico. REF1001/S501.
<b>Ph</b>	-----	Potenciométrico. REF1001/S503.

<b>Sólidos totales disueltos</b>	mg/L	Conductimétrico. REF1001/S504.
<b>Temperatura</b>	°C	Conductimétrico/ Potenciométrico. REF1001/S501.
<b>Turbiedad</b>	NTU	Nefelométrico. REF1001/S505.

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EP.EMAPA-G

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

**Tabla 4-3** Parámetro, Unidad y Método para Caracterización Química del agua

Parámetro	Unidad	Método
<b>Nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Reducción cadmio). REF1001/S514.
<b>Nitritos (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Diazotación). REF1001/S515.
<b>Fosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Ácido ascórbico). REF1001/S511.
<b>Nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Nesslerización). REF1001/S516.
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Sulfaver 4). REF1001/S517.
<b>Fluoruros (F)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Spands). REF1001/S510.
<b>Hierro total (Fe)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Ferrover). REF1001/S512.
<b>Manganeso (Mn<sup>2+</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (PAN). REF1001/S513.
<b>Cromo Hexavalente (Cr<sup>+6</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (1,5 Dinetilcarbohidacida). REF1001/S508.
<b>Cobre (Cu)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Bicinchoninato) REF1001/S507.
<b>Aluminio (Al<sup>3+</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Aluminón). REF1001/S518.
<b>Cloruros (Cl<sup>-</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Tiocianato mercurico). REF1001/S522.
<b>Níquel (Ni)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (1-2 piridilazo – 2 naftol (PAN)). REF1001/S526.
<b>Cobalto (Co)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (1-2 piridilazo – 2 naftol (PAN)). REF1001/S523.
<b>Plomo (Pb<sup>2+</sup>)</b>	mg/L	Fotométrico (4- piridil-2-azo-resorcina). REF1001/S529.
<b>Zinc (Zn<sup>2+</sup>)</b>	mg/L	Fotométrico (Zinc). REF1001/S531.

<b>Plata (Ag<sup>+</sup>)</b>	mg/L	Fotométrico. REF1001/S528.
<b>Cianuro (CN<sup>-</sup>)</b>	mg/L	Fotométrico. REF1001/S521
<b>Bario (Ba<sup>2+</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico. REF1001/S519.
<b>Bromo (Br)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (DPD). REF1001/S520.
<b>Molibdeno (Mo<sup>6+</sup>)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Ácido mercaptoacético). REF1001/S525.
<b>Cromo total (Cr)</b>	mg/L	Espectrofotométrico (Oxidación alcalina). REF1001/S524.
<b>Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>)</b>	mg/L	Fotométrico (O <sub>2</sub> REF931288)
<b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>	mg/L	Fotométrico (DOO REF985830)
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)</b>	mg/L	Fotométrico (DBO <sub>5</sub> REF985822)

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EP.EMAPA-G

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

**Tabla 5-3** Parámetro, Unidad y Método para Caracterización Microbiológica del agua

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/100mL	Filtración de membrana al vacío. REF1001/S602. Standard Methods No.36013
<b>Coliformes totales</b>	NMP/100mL	Filtración de membrana al vacío. REF1001/S601. Standard Methods No.36002

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EP.EMAPA-G

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

### 3.2.1.5 Tratamiento de aguas residuales.

El tratamiento de las aguas residuales es considerado como el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico que tiene como objetivo la eliminación o reducción de las características no deseables del agua. La finalidad de estas operaciones es obtener el agua con las características adecuadas para el uso que se les vaya a dar. (PTAR, 2015)

#### 3.2.1.2.1 Etapas del Tratamiento

**Tabla 6-3** Etapas del Tratamiento de aguas residuales

<b>ETAPAS DE TRATAMIENTO</b>	
<b>Tratamiento Preliminar</b>	Para este tipo de tratamiento son utilizados las rejillas, los tamices y los micros filtros.
<b>Tratamiento Primario</b>	Este tipo de tratamiento lo que se busca es remover los materiales que son posibles de sedimentar, usando tratamiento físicos o físico-químicos.
<b>Tratamiento Secundario</b>	Se da para eliminar desechos y sustancias que con la sedimentación no se eliminaron y para remover las demandas biológicas de oxígeno
<b>Tratamiento Terciario</b>	Son los procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc.

Fuente: (PTAR, 2015)

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

### 3.2.1.6 Indicadores de contaminación orgánica

La diferencia de la demanda biológica de oxígeno es porque existen compuestos que se oxidan con facilidad. Esta es una de las razones por la cual los valores de la demanda química de oxígeno son generalmente más altos que los de la DBO, que ayuda a establecer una relación directa entre estos parámetros.

**Tabla 7-3** Relación entre parámetros DBO<sub>5</sub> Y DQO

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

Fuente: Cisterna & Peña, 2015

Realizado por: Consuelo Pamela, 2017

$$\frac{DQO}{DBO_5} = \frac{738.25}{270.75}$$

$$\frac{DQO}{DBO_5} = 2.73$$

Al efectuar el índice de biodegradabilidad a la muestra compuesta a una temperatura aproximada de 15°C y obteniendo su promedio, nos da un valor de 2.73 en la relación  $\frac{DQO}{DBO_5}$ , lo que nos indica que los compuestos del efluente son de naturaleza biodegradable (ver Tabla 7-3), valor que permite cuestionar la selección de un tratamiento puede ser tanto físico- químico como biológico, optándose por un tratamiento físico-químico.

### 3.2.2 Dimensionamiento de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales

#### 3.2.2.1 Cálculo de la población futura

Para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, se estimó la vida útil de 15 a 30 años, establecida por la Norma INEN 005-9-1; 92, es por ello, que la Dirección Técnica de la EP.EMAPA-G sugiere el periodo de vida útil de 15 años, es decir, hasta el año 2032.

$$P_f = P_a \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

**Ecuación 4**

**Dónde:**

***P<sub>f</sub>***: Población a futuro

***P<sub>a</sub>***: Población actual: 7262 habitantes

***r***: Índice de crecimiento anual (%); 1.95% (*Índice de crecimiento intercensal determinado en el Censo de Población y Vivienda en la Parroquia Salinas INEC 2010*).

***n***: Proyección de diseño 15 años – Requerimiento de EP- EMAPAG

$$P_f = 7262 \times \left(1 + \frac{1,95}{100}\right)^{15}$$

$$P_f = 9702 \text{ habitantes}$$

#### 1. 3.2.2.2 Cálculo de la dotación del agua consumida a partir de la medición del caudal

Para realizar el cálculo del abastecimiento de agua consumida por la Parroquia de Salinas en (L/hab.día) se realiza la medición promedio del caudal que se realizó durante dos meses, se obtuvo 653.18 m<sup>3</sup>/día .

$$Dc = \frac{Q_{promedio} * 1000 \frac{L}{m^3}}{Pa}$$

**Ecuación 5**

**Datos:**

**Dc** : Dotación del agua consumida a partir de la medición de caudal (L/hab. dia)

**Q<sub>promedio</sub>** : Caudal promedio (m<sup>3</sup>/día); 653.184 m<sup>3</sup> /día

**Pa** : Población actual (hab); 7262 hab

$$Dc = \frac{653.18 \frac{m^3}{dia} * 1000 \frac{L}{m^3}}{7262 \text{ hab}}$$

$$Dc = 89.94 \frac{L}{\text{hab. dia}}$$

### 3.2.2.3 Cálculos del caudal

- **Cálculo del caudal servido, Q<sub>servido</sub>:**

El caudal servido es el aquel que considera la cantidad de agua que después ingresar a los domicilios, regresa al sistema de alcantarillado en forma de aguas servidas y se determina conociendo la población futura para el año 2032 dando 9702 habitantes y se realiza con la siguiente ecuación:

$$Q_{servida} = \frac{Pf * Dc}{1000 \frac{L}{m^3}}$$

**Ecuación 6**

**Datos:**

**Q<sub>servida</sub>** : Caudal servido (m<sup>3</sup>/día)

**Dc** : Dotación del agua consumida a partir de la medición de caudal (L/hab. dia); 89.94 L/hab. dia

**Pf** : Población futura (hab); 9702 hab

$$Q_{servida} = \frac{9702 \text{ hab} * 89.94 \text{ L/hab.dia}}{1000 \text{ L/m}^3}$$

$$Q_s = 872.59 \text{ m}^3/\text{dia}$$

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

Se denomina como el caudal medio en 24 horas obtenido a partir de los datos de todos los meses de muestreo y se emplean para la determinación de la capacidad de una planta de tratamiento y para obtener los caudales de diseño. (Metcalf&Eddy, 1992)

El caudal medio diario ( $Q_{md}$ ) se calcula con valor de  $K_1$  de 0.8 por razones de seguridad y se calcula con la siguiente ecuación:

**Tabla 8-3** Tabla del coeficiente medio diario

Nivel de complejidad	Coeficiente de consumo mínimo diario (K)
<b>Bajo</b>	0.80
<b>Medio</b>	0.80
<b>Medio Alto</b>	0.70
<b>Alto</b>	0.70

Fuente: (Polo, y otros, 2007)

$$Q_{md} = K_1 * Q_{servida}$$

**Ecuación 7**

**Datos:**

$Q_{md}$  : Caudal medio diario ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )

$K_1$ : Coeficiente de consumo diario

$Q_{servida}$ : Caudal servido ( $\text{m}^3/\text{dia}$ );  $872.59 \text{ m}^3/\text{dia}$

$$Q_{md} = 0.8 * 872.59 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{md} = 698.08 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- **Calculo de factor punta**

El factor de punta es la relación entre el consumo máximo horario y el consumo medio diario de la población. Estos factores pueden aplicarse a los caudales medios previstos para el futuro, teniendo en cuenta cualquier situación especial que se pueda presentar. (Metcalf&Eddy, 1992)

$$F_p = 1.15 + \frac{2.575}{Q_{md}^{0.25}}$$

**Ecuación 8**

**Datos:**

$F_p$ : Factor punta (adimensional)

$Q_{md}$ : Caudal medio diario ( $m^3/h$ );  $29.08 m^3/h$

$$F_p = 1.15 + \frac{2.575}{29.08^{0.25}}$$

$$F_p = 2.25$$

- **Cálculo del caudal punta,  $Q_p$ :**

El caudal punta es considerado como el valor máximo del caudal diario y es de interés para el diseño de colectores, desarenadores, tanques de sedimentación, tanques de cloración, y conducciones y canales de una planta de tratamiento. (Metcalf&Eddy, 1992)

El caudal punta ( $Q_p$ ) se ha empleado para el diseño de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales y se calcula mediante la ecuación:

$$Q_p = F_p * Q_{md}$$

**Ecuación 9**

**Datos:**

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/dia$ )

$Q_{md}$ : Caudal medio diario ( $m^3/dia$ );  $698.08 m^3/dia$

$$Q_p = 2.25 * 698.08 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_p = 1570.68 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_p = 65.44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_p = 0.018 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.2.2.4 Sistema de rejillas

El sistema de rejillas, es un pre tratamiento que prepara al agua residual para los posteriores procesos de tratamiento, es utilizado para retirar los sólidos suspendidos que puedan afectar a las siguientes operaciones, eliminando materias flotantes mayores entre 25 y 50 mm con barrotes inclinados para facilitar limpieza manual.



**Figura 2-3:** Rejilla Manual

Fuente: (Galán.P, y otros, 2001)

**Tabla 9-3** Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica

Condiciones	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Anchura	mm	5-15	5-15

Profundidad	<i>mm</i>	25-37.5	25-37.5
Diámetro	Pulgadas	1/2	1/2
Separación entre barras	<i>mm</i>	25-50	15-75
Pendiente en relación a la vertical	<i>Grados</i>	60-45	0-60
Velocidad de aproximación	<i>m/s</i>	0.30-0.60	0.6-1.1
Perdida de carga admisible	<i>mm</i>	150	150

Fuente:( Metcalf & Eddy, Incorporated 2005 pág. 510)

En las plantas de tratamiento pequeñas, se instalan por lo general rejillas de limpieza manual en un canal con una inclinación de 30 a 60° con respecto al plano horizontal, mientras que las rejillas de limpieza mecánica tienen una inclinación de 60 a 90°. Cuando existe una gran acumulación de material en las barras, se da un aumento en el nivel del agua en el canal de llegada; las rejillas deben limpiarse cuando se llega al nivel máximo definido.

#### 3.2.2.4.1 Dimensionamiento del sistema de rejillas

**Tabla 10-3** Parámetros de Diseño de Rejillas

Parámetro	Rango	Rejilla gruesa	Rejilla fina	Unidad
Altura de caja de revisión	1-2	1	2	m
Altura de seguridad	0.50-1	0.50	1	m

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de la Dirección Técnica del EMAPAG 2012 pág. 48

- Área libre del paso de agua,  $A_L$ :

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

**Ecuación 10**

**Datos:**

$A_L$ : Área libre del paso de agua ( $m^2$ )

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/s$ );  $0.018 m^3/s$  (Valor calculado en la Ecuación 9)

$v$ : Velocidad de flujo ( $m/s$ );  $0.60 m/s$  (Valor considerado de la Tabla 9-3)

$$A_L = \frac{0.018 m^3/s}{0.60 m/s}$$

$$A_L = 0.03 m^2$$

- **Altura del tirante en el canal,  $h_{a'}$ :**

Se considera como la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre, es decir la profundidad máxima del agua en el canal.

$$h_{a'} = \frac{A_L}{B}$$

**Ecuación 11**

**Datos**

$h_{a'}$ : Altura del tirante en el canal ( $m$ )

$A_L$ : Área libre del paso de agua ( $m^2$ );  $0.03 m^2$

$B$ : Ancho del canal ( $m$ );  $0.50 m$  (Valor considerado Estructuras de Conducción del Agua pág. Sección 8.3)

$$h_{a'} = \frac{0.03 m^2}{0.50 m}$$

$$h_{a'} = 0.06 m$$

- **Altura del tirante de construcción,  $h_a$ :**

$$h_a = h_{a'} + h_{T1} + h_s$$

## Ecuación 12

### Datos:

$h_a$ : = Altura del tirante en el canal (m)

$h_{T1}$ : Altura de la caja de revisión (m); 1 m (*Valor considerado de la Tabla 10-3*)

$h_s$ : Altura de seguridad (m); 0.5 m (*Valor considerado de la Tabla 10-3*)

$$h_a = 0.06 m + 1m + 0.5m$$

$$h_a = 1.56 m$$

- Longitud de las barras,  $L_b$ :

$$L_b = \frac{h_a}{\text{Sen } \alpha}$$

## Ecuación 13

### Datos:

$L_b$ : Longitud de las barra (m)

$h_a$ : Altura del tirante de construcción (m); 1.56 m

$\alpha$ : Ángulo de inclinación de las barras (grados); 60° (*Valor considerado de la Tabla 9-3*)

$$L_b = \frac{1.56 m}{\text{Sen } 60}$$

$$L_b = 1.80 m$$

- Número de barras,  $N_b$ :

$$N_b = \frac{B}{e + S}$$

## Ecuación 14

### Datos:

$B$ : Ancho del canal (m); 0.50 m (*Valor considerado Estructuras de Conducción del Agua pág. Sección 8.3*)

**S:** Separación entre las barras (m); 0.025 m (*Valor considerado de la Tabla 9-3*)

**e:** Espesor de las barras(m);  $1.27 \times 10^{-2}$  m (*Valor considerado de la Tabla 9-3*)

$$N_b = \frac{0.50 \text{ m}}{1.27 \times 10^{-2} \text{ m} + 0.025 \text{ m}}$$

$$N_b = 13.26 \cong 13 \text{ barras}$$

- **Pérdida de carga, H:**

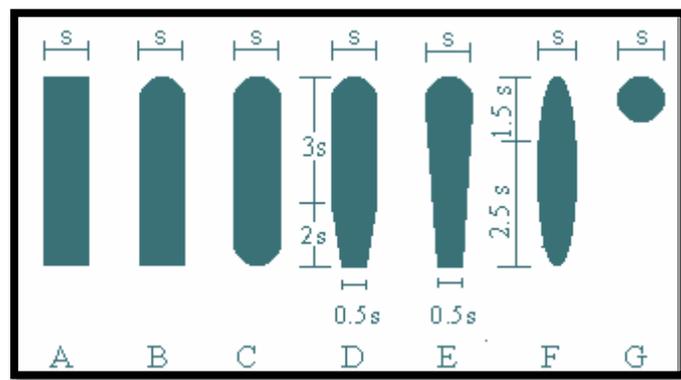
Es la pérdida de presión del fluido por el rozamiento del mismo con el material de la construcción y donde la pérdida de carga no debe ser mayor a 0.15m. (Gimenéz, 2011)

Para el cálculo de pérdida de carga se usan los datos expuesto en el siguiente cuadro:

**Tabla 11-3** Coeficiente de pérdida para rejillas

Sección Transversal							
Forma	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 pág. 51)



**Figura 3-3:** Diferentes formas de rejillas

Fuente: (RAS, 2000 pág. 51)

$$H = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \text{Sen } \alpha$$

**Ecuación 15**

**Datos:**

$\beta$ : Factor dependiente de la forma de barras(adimensional); 1.79 (Valor considerado de la Tabla 11-3)

$S$ : Separación entre las barras (m); 0.025 m (Valor considerado de la Tabla 9-3)

$e$ : Espesor de las barras (m);  $1.27 \times 10^{-2}$  m (Valor considerado de la Tabla 9-3)

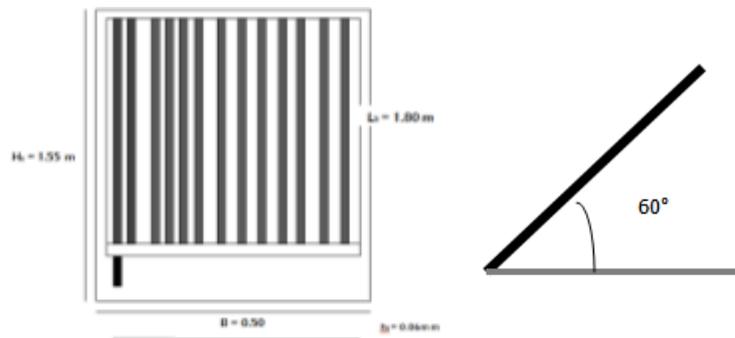
$v$ : Velocidad de flujo ( $m/s$ );  $0.60 m/s$  (Valor considerado de la Tabla 9-3)

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ ) =  $9.8 m/s^2$

$\alpha$ : Ángulo de inclinación de las barras (grados);  $60^\circ$  (Valor considerado de la Tabla 9-3)

$$H = 1.79 \left( \frac{0.025 \text{ m}}{1.27 \times 10^{-2} \text{ m}} \right)^{4/3} \left( \frac{0.60^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2} \right) \text{Sen } 60$$

$$H = 0.070 \text{ m} < 0.15 \text{ m admisibles}^*$$



**Figura 4-3:** Sistema de rejillas y ángulo de inclinación del sistema  
Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

### 3.2.2.5 Canal de entrada

Es un conducto utilizado para dirigir el agua residual desde su descarga hacia el sistema de tratamiento. Los canales a diferencia de las tuberías, son conductos descubiertos que transportan el flujo con ayuda de la gravedad. (ROMERO, 2008)

#### 3.2.2.5.1 Dimensionamiento de un canal

Para el dimensionamiento del canal se utiliza el caudal punta con la pérdida correspondiente que se genera en el sistema de rejillas.

- **Radio hidráulico,  $RH$ :**

Es la relación entre el área de la sección transversal del canal y el perímetro mojado de dicha sección. (Gimenéz, 2011)

**Tabla 12-3** Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos

Anchura del fondo (m)	Altura del agua (m)	Pendiente longitudinal (porcentaje)			
		0.02	0.05	0.10	0.15
0.30	0.30	20-30*	30-40	40-60	40-70
0.50	0.40	40-70	70-120	100-160	120-200
0.80	0.60	140-240	230-370	320-530	400-650

Fuente: (ESTRUCTURAS DE CONDUCCIÓN DEL pág. Sección 8.3)

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

**Ecuación 16**

**Datos:**

**$RH$ :** Radio hidráulico (m)

**$h$ :** Altura máxima del agua en el canal (m); 0.40 m (Valor considerado de la Tabla 12-3 Estructuras de conducción del agua. Sección 8.3)

**$B$ :** Ancho del canal (m); 0.50 m (Valor considerado de la Tabla 12-3 Estructuras de conducción del agua. Sección 8.3)

$$RH = \frac{(0.50 * 0,40) \text{ m}^2}{0.50 \text{ m} + 2(0.40 \text{ m})}$$

$$RH = 0.15m$$

- **Velocidad media del canal,  $v$ :**

La velocidad media es la distancia que recorre el fluido en el canal con respecto al tiempo transcurrido.

**Tabla 13-3** Coeficiente de rugosidad de Manning en canales abiertos con revestimiento

Canales revestidos	1/n	N
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
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

Fuente: (ESTRUCTURAS DE CONDUCCIÓN DEL pág. Sección 8.2)

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

**Ecuación 17**

**Datos:**

$v$ : Velocidad media del canal (m/s)

$RH$ : = Radio hidráulico (m); 0.15 m

$S$ : Pendiente canal rectangular revestido de hormigón (%); 0.05 % (*Valor considerado de la Tabla 12-3*)

$n$ : Coeficiente de rugosidad de Manning para canal rectangular revestido de hormigón (adimensional); 0.013 (*Valor considerado de la Tabla 13-3*)

$$v = \frac{1}{0.013} (0.15m)^{2/3} (0.0005)^{1/2}$$

$$v = 0.49 \text{ m/s}$$

- Área de la sección transversal del canal,  $A$ :

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

**Ecuación 18**

**Datos:**

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

$v$ : Velocidad media del canal ( $m/s$ ); 0.49  $m/s$

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/s$ ); 0.01799  $m^3/s$

$$A = \frac{0.01799 \text{ m}^3/\text{s}}{0.49 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.037 \text{ m}^2$$

- **Altura máxima del agua en el canal,  $A$ :**

Para la dimensión de un canal abierto tenemos  $h=b/2$ , en tanto que,  $b=2h$ , entonces:

$$A = b * h$$

$$A = 2H * H$$

$$A = 2H^2$$

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

**Ecuación 19**

**Datos:**

**$H$ :** Altura máxima del agua en el canal ( $m$ )

**$A$ :** Área del canal ( $m^2$ );  $0.037 \text{ m}^2$

$$h = \sqrt{\frac{0.037 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h = 0.14 \text{ m}$$

- **Altura total del canal,  $H$ :**

Para el cálculo de la altura total se toma en cuenta el borde libre, como nuestro caudal es menor a  $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$  por lo tanto el factor de seguridad es  $0.30 \text{ m}$ .

**Tabla 14-3** Condiciones para determinar el borde libre de un canal

<b>Caudal</b> <b>(<math>m^3/s</math>)</b>	<b>Borde libre</b> <b>(<math>m</math>)</b>

Menor a 0.50	0.30
Mayor a 0.50	0.40

Fuente: (ROMERO, 2008 pág. 5 )

$$H = h + h_s$$

**Ecuación 20**

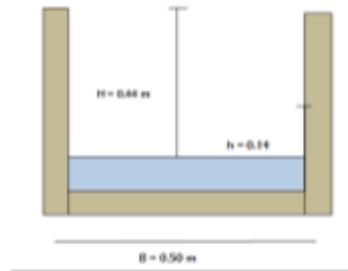
**Datos:**

***h***: Altura máxima del agua en el canal (*m*)

***h<sub>s</sub>***: Factor de seguridad(*m*); 0.30m (*Valor considerado de la Tabla 18-3 5*)

$$H = (0.14 + 0.30)m$$

$$H = 0.44m$$



**Figura 5-3:** Canal revestido rectangular  
Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

### 3.2.2.6 Desarenador de flujo horizontal

El desarenador de flujo horizontal es una instalación que es diseñada para pequeñas poblaciones y su principal función es decantar los sólidos de hasta 0.2 mm de diámetro. Suele instalarse con un canal Parshall a la salida que permite al mismo tiempo mantener la velocidad constante y medir el caudal. (OPS/CEPIS/05.158, 2012)

El desarenador de flujo horizontal se divide en cuatro zonas 4 zonas las cuales son: una zona de entrada la cual consta de una cámara de aquietamiento que reduce la velocidad de entrada del fluido. Los parámetros indispensables para el diseño de la cámara son: la velocidad de ascenso del agua en su interior esté comprendida entre los valores 0.04 m/s y 0.1 m/s y teniendo en cuenta que el tiempo de retención puede estar entre 30 y 60 segundos. (BVSDE, 2005)

La siguiente zona es la de sedimentación de partículas como: grava, cenizas y arena, que por lo general están contenidos en las aguas sin depuración, por acción de la gravedad. (BVSDE, 2005)

Por ultimo tenemos la zona de depósito de lodos y zona de salida o recolección del agua, diseñado para que el agua rebose, lo que permite que la velocidad del fluido no altere el reposo de la arena sedimentada. (BVSDE, 2005)

### 3.2.2.6.1 Dimensionamiento del tanque desarenador de flujo horizontal

#### 3.2.2.6.1.1 Calculo de la cámara de aquietamiento

- **Volumen de la cámara de aquietamiento,  $V_{c.a}$ :**

$$V_{c.a} = \frac{Q_p}{t}$$

**Ecuación 21**

#### **Datos:**

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

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/s$ );  $0.01799 m^3/s$

$t$ : Tiempo de retención (s); 30 s (*Valor tomado de los criterios de diseño de BVSDE pág. 18*)

$$V_{c.a} = \frac{0.01799 m^3/s}{30 s}$$

$$V_{c.a} = 6 \times 10^{-4} m^3$$

- **Área superficial de la cámara de aquietamiento,  $A_{c.a}$ :**

El área superficial es el tamaño de la superficie de la cámara de aquietamiento que es un depósito con superficie libre de agua y volumen relativamente pequeño.

$$A_{c.a} = \frac{Q_p}{V_a}$$

**Ecuación 22**

#### **Datos:**

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

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/s$ );  $0.01799 m^3/s$

$v_a$ : Velocidad de ascenso ( $m/s$ );  $0.050 m/s$  (*Valor tomado de los criterios de diseño de BVSDE*)

$$A_{c.a} = \frac{0.01799 \text{ m}^3/\text{s}}{0.050 \text{ m/s}}$$

$$A_{c.a} = 0.36 \text{ m}^2$$

- Longitud y ancho superficial de la cámara de quietamiento,  $L_{c.a}$ :

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

**Ecuación 23**

**Datos:**

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

$A_{c.a}$ : Área superficial de la cámara de quietamiento ( $\text{m}^2$ );  $0.36 \text{ m}^2$

$$B_{c.a} = L_{c.a} = \sqrt{0.36 \text{ m}^2}$$

$$B_{c.a} = L_{c.a} = 0.60 \text{ m}$$

- Profundidad útil de la cámara de quietamiento,  $P_{t.c.a}$ :

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

**Ecuación 24**

**Datos:**

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

$P_{c.a}$ : Profundidad útil de la cámara de quietamiento (m); 2 m (*Valor tomado de los criterios de diseño Cepis, 2005 pág 18*)

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

$$P_{t.c.a} = 2 \text{ m} * 1,10$$

$$P_{t.c.a} = 2.2 \text{ m}$$

### 3.2.2.6.1.2 Cálculo de la zona de sedimentación

- Velocidad de sedimentación en régimen de transición zona de Allen,  $v_s$ :

Es la longitud que recorren las partículas y el tiempo que invierte en dicho proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en suspensión son removidas por la acción de la gravedad. (Ramalho, 2003)

Las partículas del fluido se mueven en recorridos irregulares, los cuales no son ni calmados ni determinados pero en su conjunto todavía representan el movimiento hacia adelante de la corriente total. (Arteaga, 2014 pág. 45)

**Tabla 15-3** Propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas

TEMPERATURA (T) °C	DENSIDAD ( $\rho$ ) $kg/m^3$	VISCOSIDAD DINÁMICA ( $\mu * 10^{-3}$ ) $N \cdot s/m^2$	VISCOSIDAD DINÁMICA ( $\vartheta * 10^{-6}$ ) $m^2/s$	TENSIÓN SUPERFICIAL ( $\sigma$ ) $N/m$
0	999.8	1.781	1.785	0.0756
5	1000.0	1.518	1.519	0.0749
10	999.7	1.307	1.306	0.0742
15	999.1	1.139	1.140	0.0735
20	998.2	1.002	1.003	0.0728
25	997.0	0.890	0.893	0.0720

Fuente: (Metcalf&Eddy, 1992 pág. 1417)

**Tabla 16-3** Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación

Material	Régimen	Límite de las partículas (cm)	Número de Reynolds	$v_s$	Ley Aplicable
Grava	Turbulento	>1.0	>10000	100	$v_s = 1,82 \sqrt{dg \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena Gruesa	Transición	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	$v_s = 0,22 * \left( \frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} * g \right)^{\frac{2}{3}} * \left( \frac{d}{\left( \frac{\mu}{\rho_L} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$ Allen
		0.010 0.008 0.006 0.005 0.004	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2	$v_s = \frac{g}{18} (\rho_s - \rho_L) d^2$ $\mu$

<b>Arena</b>	Laminar	0.003	1.0	0.13	Stokes
<b>Fina</b>		0.002	1.0	0.06	
		0.001	1.0	0.015	

Fuente: (OPS/CEPIS/05.158 pág. 11)

$$v_s = 0.22 * \left( \frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} * g \right)^{\frac{2}{3}} * \left( \frac{d}{\left( \frac{\mu}{\rho_L} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

**Ecuación 25**

**Datos:**

$v_s$ : Velocidad de sedimentación ( $cm/s$ )

$g$ : Gravedad ( $cm/s^2$ ); 981  $cm/s^2$

$\rho_s$ : Densidad relativa de la arena (adimensional); 2.65

$\rho_L$ : Densidad relativa del agua a 15°C (adimensional); 1

$d$ : Diámetro de las partículas a remover (cm); 0.02 cm (*Valor considerado de la Tabla 16-3*)

$\mu$ : Viscosidad cinemática del agua a 15°C ( $cm^2/s$ ); 0.01139  $cm^2/s$  (*Valor considerado de la Tabla 15-3*)

$$v_s = 0.22 * \left( \frac{2.65 - 1}{1} * 981 \text{ cm/s}^2 \right)^{\frac{2}{3}} * \left( \frac{0.02 \text{ cm}}{\left( \frac{0.01139 \text{ cm}^2/s}{1} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

$$v_s = 2.70 \text{ cm/s}$$

• **Número de Reynolds, Re:**

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

**Ecuación 26**

**Datos:**

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

$v_s$ : Velocidad de sedimentación ( $m/s$ ); 2.70  $cm/s$

$d$ : Diámetro de las partículas a remover (cm); 0.02 cm (*Valor considerado de la Tabla 16-3*)

$\mu$ : Viscosidad cinemática del agua a 15°C ( $cm^2/s$ ); 0.01139  $cm^2/s$  (*Valor considerado de la Tabla 15-3*)

$$Re = \frac{2.70 \text{ cm/s} * 0.02 \text{ cm}}{0.01139 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$Re = 4.74$$

El número de Reynolds, se encuentra en la zona de transición que corresponde a la Ley de Allen. (Ver Tabla 16-3)

- **Tiempo de sedimentación;  $t_s$ :**

**Tabla 17-3** Geometría recomendada para desarenadores de diferente tipo

Parámetro	Desarenador de flujo horizontal	Desarenador aireado
Profundidad (m)	2 a 5	2 a 5
Longitud (m)	-----	8 a 20
Ancho (m)	-----	2.5 a 7
Relación Largo – Ancho	2.5:1 a 5:1	3:1 a 5:1
Relación Ancho - Profundidad	1:1 a 5:1	1:1 a 5:1
Cámara superior	-----	-----

Fuente: (Ras 2000 pág. 52)

$$t_s = \frac{H}{V_s}$$

**Ecuación 27**

**Datos:**

$t_s$ : Tiempo de sedimentación (s)

$H$ : Profundidad del desarenador (m); 3.5 m (*Valor considerado de la Tabla 17-3*)

$v_s$ : Velocidad de sedimentación ( $m/s$ ); 2.70  $cm/s$

$$t_s = \frac{350 \text{ cm}}{2.70 \text{ cm/s}}$$

$$t_s = 129.63 \text{ s}$$

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

Los tiempos de retención hidráulica son la relación que existe entre el volumen del desarenador y el caudal de alimentación.

Para el cálculo de la eficiencia del desarenador se considera un desarenador con ausencia de pantallas deflectoras ( $n=1$ ) y para una remisión de partículas del 88%, el número de Hazen  $tr/ts$ .

**Tabla 18-3** Grado de eficiencia de sedimentación del desarenador, número de Hazen.

Condiciones	88%	75%	60%	50%
<b>n=1</b>	7	3	1.5	1
<b>n=2</b>	2.75	1.66	----	0.76
<b>n=3</b>	2.37	1.52	----	0.73
<b>Máximo teórico</b>	0.88	0.75	----	0.5

Fuente: (Weston & Borgert pág. 160)

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

$$tr = 7(ts)$$

**Ecuación 28**

**Datos:**

**$tr$ :** Tiempo de retención hidráulica en el desarenador (min)

**$ts$ :** Tiempo de sedimentación (s); 129.63 s

$\frac{tr}{ts}$ : Número de Hazen (Adimensional); 7 (Valor considerado de la Tabla 17-3)

$$tr = 7(129.63s)$$

$$tr = 907.40 s$$

$$tr = 15.12 \text{ min}$$

- **Volumen del tanque desarenador,  $V_d$ :**

$$V_d = Q_s * tr$$

## Ecuación 29

### Datos:

$V_d$ : Volumen del tanque desarenador ( $m^3$ )

$Q_s$ : Caudal de diseño por unidad ( $m^3/s$ );  $0.01799 m^3/s$

$t_r$ : Tiempo de retención hidráulica (s);  $907.40 s$

$$V_d = 0.01799 m^3/s * 907.40 s$$

$$V_d = 16.33 m^3$$

- **Área superficial del desarenador,  $A_s$ :**

El área superficial es la cantidad total de espacio que ocupan todas las superficies de un objeto.

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

## Ecuación 30

### Datos:

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

$V_d$ : Volumen del tanque desarenador ( $m^3$ );  $16.33 m^3$

$H$ : Profundidad del desarenador (m);  $3.5 m$  (Valor considerado de la Tabla 17-3)

$$A_s = \frac{16.33 m^3}{3.5 m}$$

$$A_s = 4.67 m^2$$

- **Carga hidráulica superficial en cada desarenador,  $q$ :**

- 

Es el caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, el cual se emplea para el dimensionamiento de un proceso de tratamiento. (RAS-2000)

$$q = Vsc = \frac{Q_s}{A_s}$$

## Ecuación 31

### Datos:

$q$ : Carga hidráulica superficial del desarenador ( $cm/s$ )

$Q_s$ : Caudal de diseño por unidad ( $m^3/s$ );  $0.018 m^3/s$

$As$ : Área superficial útil de cada desarenador ( $m^2$ );  $4.67 m^2$

$$q = V_{sc} = \frac{0.018 m^3/s}{4.67 m^2}$$

$$q = V_{sc} = 3.85 \times 10^{-3} m/s$$

$$q = V_{sc} = 0.38 cm/s$$

$V_s > V_{sc}$ , cuando la velocidad de sedimentación es mayor a la velocidad de sedimentación crítica nos indica que las partículas con diámetro de 0.02 cm serán retenidas en el desarenador.

- **Ancho de la zona de sedimentación de cada tanque; B:**

$$As = L * B$$

$$B = \sqrt{\frac{As}{2}}$$

**Ecuación 32**

**Datos:**

**B:** Ancho de zona de sedimentación del tanque (m)

**L/B:** Relación Longitud-Ancho (adimensional); 2 (*Valor considerado de la Tabla 17-3*)

**As:** Área superficial útil de cada desarenador ( $m^2$ );  $4.67 m^2$

$$B = \sqrt{\frac{4.67 m^2}{2}}$$

$$B = 1.53 m$$

- **Longitud de la zona de sedimentación de cada tanque, m:**

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

**Ecuación 33**

**Datos:**

**L:** Longitud de zona de sedimentación (m)

**B:** Ancho de zona de sedimentación (m); 1.53 m

**As:** Área superficial útil de cada desarenador ( $m^2$ );  $4.67 m^2$

$$L = \frac{4.67m^2}{1.53 m}$$

$$L = 3.05 m$$

• **Área transversal del desarenador, A:**

$$A = B * H$$

**Ecuación 34**

**Datos:**

**A:** Área transversal del sedimentador ( $m^2$ )

**B:** Ancho de zona de sedimentación (m); 1.53 m

**H:** Profundidad del desarenador (m); 3.5 m (*Valor considerado de la Tabla 17-3*)

$$A = 1.53 m * 3.5 m$$

$$A = 5.35 m^2$$

• **Velocidad de arrastre de partículas,  $v_a$ :**

La velocidad de arrastre es directamente proporcional a la densidad de corriente y la dimensión de las partículas y es la velocidad absoluta de una partícula, que representa la variación con respecto al tiempo de la posición fija de la partícula y un cambio de orientación. (Garcia, 2001)

$$v_a = \sqrt{\frac{8k}{f} * g * (\rho_s - 1)d}$$

**Ecuación 35**

**Datos:**

**$v_a$ :** Velocidad de arrastre; ( $cm/s$ )

**k:** Factor de forma(adimensional); 0.04 para arenas unigranulares no adheribles

**f:** Factor de fricción de D'Arcy-Weisbach para desplazamiento horizontal de flujo (adimensional); 0.03 para el concreto.

**g:** Gravedad ( $\text{cm}/\text{s}^2$ ); 981  $\text{cm}/\text{s}^2$

**$\rho_s$ :** Densidad de la partícula ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); 2.65  $\text{g}/\text{cm}^3$

**d:** Diámetro de las partículas a remover (cm); 0.02 cm (*Valor considerado de la Tabla 17-3*)

$$v_a = \sqrt{\frac{8(0.04)}{0.03} * 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} * (2.65 - 1)0.02 \text{ cm}}$$

$$v_a = 18.58 \text{ cm/s}$$

- **Velocidad horizontal en cada desarenador,  $v_h$ :**

$$v_h = \frac{Q_p}{A}$$

**Ecuación 36**

**Datos:**

**$v_h$ :** Velocidad horizontal de cada tanque desarenador ( $\text{cm}/\text{s}$ )

**$Q_p$ :** Caudal de punta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ); 0.01799  $\text{m}^3/\text{s}$

**A:** Área transversal del desarenador ( $\text{m}^2$ ); 5.35  $\text{m}^2$

$$v_h = \frac{0.01799 \text{ m}^3/\text{s}}{5.35 \text{ m}^2}$$

$$v_h = 3.36 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$v_h = 0.33 \text{ cm/s}$$

$v_a > v_h$ , cuando la velocidad de arrastre es mayor a la velocidad horizontal se asegura que no se producirá la resuspensión de las partículas.

#### 3.2.2.4.1.2 Cálculo de la zona de lodos

- **Longitud de la primera placa de entrada en el fondo del desarenador,  $L'$ :**

$$L' = \frac{1}{3} * L$$

**Ecuación 37**

**Datos:**

**L'**: Longitud de la primera parte del desarenador (m)

**L**: Longitud del desarenador (m); 3.05 m (Valor calculado en la Ecuación 33)

$$L' = \frac{1}{3} * 3.05 \text{ m}$$

$$L' = 1.02 \text{ m}$$

- **Altura de la zona de lodos de la primera placa, H'**:

Se asumió una pendiente de 10% (criterio de diseño de 5-10% CEPIS pag.19). Para la descarga de lodos, ubicada en el primer tercio de la unidad.

$$H' = L' * X$$

**Ecuación 38**

**Datos:**

**H'**: Altura de la zona de lodos de la primera placa (m)

**L'**: Longitud de la primera parte del desarenador (m); 1.02 m

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

$$H' = 1.02 \text{ m} * 0,10$$

$$H' = 0.102 \text{ m}$$

- **Longitud de la salida en el fondo del desarenador, L''**:

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

**Ecuación 39**

**Datos:**

**L''**: Longitud de la segunda parte del desarenador (m)

**L**: Longitud del desarenador (m); 3.05 m

$$L'' = \frac{2}{3} * 3.05 \text{ m}$$

$$L'' = 2.03 \text{ m}$$

- **Pendiente de la segunda placa en el fondo del desarenador, X':**

$$X' = \frac{H'}{L''}$$

**Ecuación 40**

**Datos:**

**X'**: Pendiente de la segunda placa en el fondo del desarenador; (%)

**H'**: Altura de la zona de lodos de la primera placa (m); 0.102 m

**L''**: Longitud de la segunda parte del desarenador (m); 2.03 m

$$X' = \frac{0.12 \text{ m}}{2.03 \text{ m}}$$

$$X' = 0.05$$

$$X' = 5\%$$

- **Volumen del canal de limpieza de la zona de lodos, V':**

$$V' = V_d * V_{\%}$$

**Ecuación 41**

**Datos:**

**V'**: Volumen del canal de limpieza de la zona de lodos de cada desarenador ( $m^3$ )

**V<sub>d</sub>**: Volumen útil del desarenador ( $m^3$ ); 16.33  $m^3$  (Valor calculado Ecuación 29)

**V<sub>%</sub>**: Porcentaje acumulación de lodos en el canal de limpieza (%); 10% (Valor tomando de los criterios de diseño de 5-10% OPS/CEPIS/05.158 pag.19)

$$V' = 16.33 \text{ m}^3 * 0.10$$

$$V' = 1.6 \text{ m}^3$$

**3.2.2.6.1.3 Cálculo de la zona de salida**

- **Lámina o carga sobre la cresta del vertedero de salida, H<sub>v</sub>:**

Es la medida a una distancia suficiente, para no tener influencia de la curvatura de la superficie líquida en la proximidad del vertedero para poder mantener la presión del aire, y evitar que este se vea succionado. (Garcia, 2001)

$$Hv = \left( \frac{Q_p}{1,84 * B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

**Ecuación 42**

**Datos:**

**Hv:** Lámina o carga sobre la cresta del vertedero de salida (m)

**Q<sub>p</sub>:** Caudal de punta (m<sup>3</sup>/s); 0.01799 m<sup>3</sup>/s

**B:** Ancho de zona de sedimentación de cada tanque (m); 1.53 m (*Valor calculado Ecuación 32*)

$$Hv = \left( \frac{0.01799 \text{ m}^3/\text{s}}{1.84 * 1.53 \text{ m}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$Hv = 0.034 \text{ m}$$

- **Velocidad sobre el vertedero de salida, v<sub>v</sub>:**

$$v_v = \frac{Q_p}{Hv * B}$$

**Ecuación 43**

**Datos:**

**v<sub>v</sub>:** Velocidad sobre el vertedero de salida (m/s)

**Hv:** Lámina o carga sobre la cresta del vertedero de salida (m); 0.034 m

**Q<sub>p</sub>:** Caudal de punta (m<sup>3</sup>/s); 0,01799 m<sup>3</sup>/s

**B:** Ancho de zona de sedimentación de cada tanque (m); 1.53 m (*Valor calculado Ecuación 32*)

$$v_v = \frac{0.01799 \text{ m}^3/\text{s}}{0.034 \text{ m} * 1.53 \text{ m}}$$

$$v_v = 0.35 \text{ m/s}$$

- **Ancho mínimo del canal de recolección del agua desarenada, B<sub>re,d</sub>:**

$$B_{re,d} = 0.36 * v_v^{2/3} + 0.6 * Hv^{4/7}$$

**Ecuación 44**

**Datos:**

$B_{re,d}$ : Ancho mínimo del canal de recolección del agua desarenada (m)

$H_v$ : Lámina o carga sobre la cresta del vertedero de salida (m); 0.033 m

$V_v$ : Velocidad sobre el vertedero de salida ( $m/s$ ); 0.34  $m/s$

$$B_{re,d} = 0.36 * (0.35 \text{ m/s})^{2/3} + 0.6 * (0.034 \text{ m})^{4/7}$$

$$B_{re,d} = 0.27 \text{ m}$$

3.2.2.6.1.3 Cálculo de la transición cámara de quietamiento-desarenador

- Ancho total del desarenador,  $B_{T,D}$ :

$$B_{T,D} = 2B + e$$

**Ecuación 45**

**Datos:**

$B_{T,D}$ : Ancho total del desarenador (m)

$B$ : Ancho de zona de sedimentación de cada tanque (m): 1.53 m (Valor calculado en la Ecuación 32)

$e$ : Espesor muro intermedio entre los sedimentadores (m); 0.30 m (Valor tomado del criterio de diseño de OPS/CEPIS/05.158 pag.19)

$$B_{T,D} = (2 * 1.53 \text{ m}) + 0.30 \text{ m}$$

$$B_{T,D} = 3.36 \text{ m}$$

- Ángulo central de divergencia,  $\theta_C$ :

$$\theta_C = 2 * \theta$$

**Ecuación 46**

**Datos:**

$\theta_C$ : Ángulo central de divergencia (grados)

$\theta$ : Ángulo de divergencia (grados); 20° (Valor tomado del criterio de diseño de OPS/CEPIS/05.158 pag.19)

$$\theta_C = 2 * 20^\circ$$

$$\theta_C = 40^\circ$$

- **Longitud de transición,  $L_t$ :**

Es la distancia que permite efectuar al cambio de sección transversal a una sección curva sin peligro de deslizamiento.

$$L_t = \frac{B_{T.D} - b}{2 * tg\theta}$$

**Ecuación 47**

**Datos:**

$L_t$ : Longitud de transición (m)

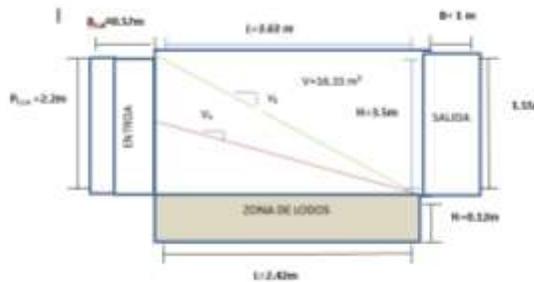
$B_{T.D}$ : Ancho total del desarenador (m); 3.36 m

$B_{c.a}$ : Ancho superficial de la cámara de aquietamiento (m); 0.60 m (Valor calculado en la Ecuación 23)

$\theta_C$ : Ángulo central de divergencia (grados); 40 °

$$L_t = \frac{3.36m - 0.60m}{2 * tg40^\circ}$$

$$L_t = 1.64 m$$



**Figura 6-3:** Desarenador de flujo horizontal  
Realizado por: Consuelo Valdivieso.2017

### 3.2.2.7 Canal Parshall

El canal parshall es una estructura hidráulica que por sus características de medición de caudales, permite la supervisión del volumen del agua y al ser un canal con resalto hidráulico también logra mezclas rápidas y homogéneas de los químicos en el agua. (BVSDE, 2005)

### 3.2.2.7.1 Dimensionamiento del canal Parshall

- **Ancho de la garganta; W:**

Es la dimensión que indica el espacio que existe en una de las tres dimensiones posibles, siendo el ancho de la garganta de la canaleta la de menor dimensión horizontal, el largo la mayor horizontal y tiene como función principal la aplicación del coagulante debido a que en esta zona se produce la turbulencia requerida. (BVSDE, 2005)

**Tabla 19-3** Determinación de W de la canaleta de Parshall en función del caudal

ANCHO W	LIMITES DE CAUDAL (L/s)	
	Q mínimo	Q máximo
1"	0.28	5.67
2"	0.57	14.15
3"	0.85	18.31
6"	1.42	110.44
9"	2.58	252.00
18"	4.24	696.50

Fuente: (Romero, 2008 pág. 88)

Según la tabla 23-3 se decide que el ancho de la canaleta es:

$$W = 3'' = 0.076m$$

- **Altura del agua en la sección de medición,  $H_0$ :**

**Tabla 20-3:** Valores de K y n, según el tamaño de W

Ancho de la Garganta Parshall		K	N
Pulgadas – Pie	Metros		
3"	0.076	3.704	0.646
6"	0.152	1.842	0.636
9"	0.2290	1.486	0.633
1'	0.305	1.276	0.657
1½'	0.460	0.966	0.650
2'	0.610	0.795	0.645
3'	0.915	0.608	0.639

Fuente: (Cepis, 2012 capítulo 2 pág. 58)

$$H_0 = K * (Q_p)^n$$

**Ecuación 48**

**Datos:**

**$H_0$ :** Altura del agua en la sección de medición (m)

**$Q_p$ :** Caudal de punta ( $m^3/s$ ); 0.01797  $m^3/s$  (Valor calculado en la Ecuación 9)

**$K$ :** Constante (adimensional); 3.704 (Valor considerado de la Tabla 20-3)

**$n$ :** Constante (adimensional); 0.646 (Valor considerado de la Tabla 20-3)

$$H_0 = 3.704 * (0.018 m^3/s)^{0.646}$$

$$H_0 = 0.28 m$$

- **Ancho entrada sección convergente,  $D'$ :**

El ancho es la dimensión horizontal va disminuyendo en el canaleta parshall.

**Tabla 21-3** Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall

W		A	B	C	D	E	F	G	N	K'
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 <sup>1/2</sup> '	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
10'	305.0	274.5	427.9	366.0	475.9	475	91.5	183.5	15.3	34.3

Fuente: (Cepis, 2012 capítulo 2 pág. 59)

$$D' = \frac{2}{3} * (D - W) + W$$

**Ecuación 49**

**Datos:**

**D'**: Ancho entrada sección convergente (m)

**D**: Dimensión de la canaleta (m); 0.259 m (*Valor considerado de la Tabla 21-3*)

**W**: Ancho de la garganta (m); 0.076 m (*Valor considerado de la Tabla 19-3*)

$$D' = \frac{2}{3} * (0.259 - 0.076) + 0.076$$

$$D' = 0.20 \text{ m}$$

- **Velocidad en la sección de medición,  $V_0$ :**

$$V_0 = \frac{Q_p}{H_0 * D'}$$

**Ecuación 50**

**Datos:**

**$V_0$** : Velocidad en la sección de medición (m/s)

**$H_0$** : Altura del agua en la sección de medición (m); 0.28 m

**$D'$** : Ancho de la sección de medición(m); 0.20 m

**$Q_p$** : Caudal de punta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ); 0.01797  $\text{m}^3/\text{s}$  (*Valor calculado en la Ecuación 9*)

$$V_0 = \frac{0.01797 \text{ m}^3/\text{s}}{0.28 \text{ m} * 0.20 \text{ m}}$$

$$V_0 = 0.32 \text{ m/s}$$

- **Carga hidráulica disponible,  $E_0$ :**

Es una medida específica del volumen de agua aplicado por unidad de superficie en un determinado período de tiempo.

$$E_0 = \frac{v_0^2}{2g} + H_0 + N$$

## Ecuación 51

### Datos:

$E_0$ : Carga hidráulica disponible (m)

$v_0$ : Velocidad en la sección de medición (m/s); 0.32 m/s

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ ); 9.8  $m/s^2$

$H_0$ : Altura del agua en la sección de medición (m); 0.28 m

$N$ : Dimensiones de la canaleta (m); 0.057 m (*Valor considerado de la Tabla 21-3*)

$$E_o = \frac{(0.32 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2} + 0.28 \text{ m} + 0.057 \text{ m}$$

$$E_o = 0.34 \text{ m}$$

- **Caudal específico en la garganta de la canaleta,  $Q_w$ :**

Es el caudal por unidad de superficie es decir que representa el caudal aportado por cada metro del ancho de la garganta.

$$Q_w = \frac{Q_p}{W}$$

## Ecuación 52

### Datos:

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

$W$ : Ancho de la garganta (m); 0.076 m (*Valor considerado de la Tabla 19-3*)

$Q_p$ : Caudal de punta ( $m^3/s$ ); 0.01799  $m^3/s$

$$Q_w = \frac{0.01797 \text{ m}^3/s}{0.076 \text{ m}}$$

$$Q_w = 0.24 \text{ m}^3/s.m$$

- **Ángulo de inclinación,  $\theta_p$ :**

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ -\frac{Q_w * g}{\left(\frac{2g * E_0}{3}\right)^{1.5}} \right]$$

## Ecuación 53

### Datos:

$\theta_p$ : Angulo de inclinación (grados)

$Q_w$ : Caudal especifico en la garganta de la canaleta ( $m^3/s.m$ );  $0.24 m^3/s.m$

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ );  $9.8 m/s^2$

$E_0$ : Carga hidráulica disponible (m); 0.34 m

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ \frac{0.24 m^3/s.m * 9.8 m/s^2}{\left( \frac{2(9.8 m/s^2) * 0.34 m}{3} \right)^{1.5}} \right]$$

$$\theta_p = 135,27^\circ$$

- Velocidad antes del resalto,  $V_1$ :

$$v_1 = 2 \sqrt{\left( \frac{2E_0 * g}{3} \right) * \cos\left(\frac{\theta_p}{3}\right)}$$

Ecuación 54

**Datos:**

$v_1$ : Velocidad antes del resalto (m/s)

$\theta_p$ : Angulo de inclinación (grados);  $135.27^\circ$

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ );  $9.8 m/s^2$

$E_0$ : Carga hidráulica disponible (m); 0.34m

$$v_1 = 2 \sqrt{\left( \frac{2(0.34 m) * 9.8 m/s^2}{3} \right) * \cos\left(\frac{135.27^\circ}{3}\right)}$$

$$v_1 = 2.10 m/s$$

- Altura de agua antes del resalto,  $h_1$ :

$$h_1 = \frac{Q_w}{v_1}$$

Ecuación 55

**Datos:**

$h_1$ : Altura de agua antes del resalto (m)

$Q_w$ : Caudal de agua ( $m^3/sm$ );  $0.24 m^3/s.m$

$v_1$ : Velocidad antes del resalto (m/s);  $2.10 m/s$

$$h_1 = \frac{0.24 m^3/s.m}{2.10 m/s}$$

$$h_1 = 0.11 m$$

• **Numero de Froude, F:**

Es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerzas de gravedad que actúan sobre el fluido y determina del estado del flujo hidráulico en la canaleta parshall. Para conseguir un salto estable que funcione adecuadamente, en la canaleta Parshall, el número Froude debe estar entre 2 y 3. (BVSDE, 2005)

$$F = \frac{v_1}{(g * h_1)^{0.5}}; \quad 3 \geq F \geq 2$$

**Ecuación 56**

**Datos:**

**F:** Número de Froude (adimensional)

$h_1$ : Altura de agua antes del resalto (m);  $0.11 m$

**g:** Gravedad ( $m/s^2$ );  $9.8 m/s^2$

$v_1$ : Velocidad antes del resalto (m/s);  $2.10 m/s$

$$F = \frac{2.10 m/s}{(9.8 m/s^2 * 0.11 m)^{0.5}}$$

$$F = 2.09$$

- **Altura del agua después del resalto,  $h_2$ :**

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * (\sqrt{1 + 8F^2} - 1)$$

**Ecuación 57**

**Datos:**

$h_2$ : Altura de agua después del resalto (m)

F: Número de Froude (adimensional); 2.09

$h_1$ : Altura de agua antes del resalto (m); 0.11 m

$$h_2 = \frac{0.11 \text{ m}}{2} * (\sqrt{1 + 8(2.09)^2} - 1)$$

$$h_2 = 0.27 \text{ m}$$

- **Velocidad de resalto,  $V_2$ :**

Es la magnitud física de carácter vectorial que expresa la distancia recorrida por el fluido en una unidad de tiempo. Fenómeno que se genera cuando una corriente supercrítica, es decir, rápida y poco profunda, cambia súbitamente a subcrítica, y se vuelve una corriente lenta. (CABANILLA, 2015 pág. 69)

$$v_2 = \frac{Q_p}{h_2 * W}$$

**Ecuación 58**

**Datos:**

$v_2$ : Velocidad después del resalto (m/s)

$Q_p$ : Caudal de punta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ); 0.01797  $\text{m}^3/\text{s}$

W: Ancho de la garganta (m); 0.076 m (Valor considerado de la Tabla 23-3)

$h_2$ : Altura de agua después del resalto (m); 0.27 m

$$v_2 = \frac{0.01797 \text{ m}^3/\text{s}}{0.27 \text{ m} * 0.076 \text{ m}}$$

$$v_2 = 0.87 \text{ m/s}$$

- **Altura en la sección de salida de la canaleta,  $h_3$ :**

$$h_3 = h_2 - (N - K')$$

**Ecuación 59**

**Datos:**

$h_3$ : Altura en la sección de salida de la canaleta (m)

$h_2$ : Altura de agua después del resalto (m); 0.27 m

$N$ : Dimensiones de la canaleta (m); 0.057 m (*Valor considerado de la Tabla 21-3*)

$K'$ : Dimensiones de la canaleta (m); 0.025 m (*Valor considerado de la Tabla 21-3*)

$$h_3 = 0.27 \text{ m} - (0.057 \text{ m} - 0.025 \text{ m})$$

$$h_3 = 0.24 \text{ m}$$

- **Velocidad en la sección de la salida,  $V_3$ :**

$$v_3 = \frac{Q_p}{C * h_3}$$

**Ecuación 60**

**Datos:**

$v_3$ : Velocidad en la sección de salida (m/s)

$h_3$ : Altura en la sección de salida de la canaleta (m); 0.24 m

$Q_p$ : Caudal de punta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ); 0.01797  $\text{m}^3/\text{s}$

$C$ : Dimensiones de la canaleta (m); 0.178 m (*Valor considerado de la Tabla 21-3*)

$$v_3 = \frac{0.01797 \text{ m}^3/\text{s}}{0.178 \text{ m} * 0.24 \text{ m}}$$

$$v_3 = 0.42 \text{ m/s}$$

- **Perdida de carga en el resalto,  $h_R$ :**

Es la pérdida de energía, que suele expresarse en términos de energía por unidad de peso del fluido circulante en el canal y que tiene dimensiones de longitud. (ALLENDE, 1994 pág. 160)

$$h_R = H_0 + K' - h_3$$

**Ecuación 61**

**Datos:**

$h_R$ : Perdida de carga en el resalto (m)

$H_0$ : Altura del flujo de agua (m); 0.28 m (*Valor calculado en la Ecuación 48*)

**K'**: Constantes adimensionales; 0.025 m (*Valor considerado de la Tabla 21-3 Cepis, 2012 capítulo 2 pág. 59*)

**h<sub>3</sub>**: Altura en la sección de salida de la canaleta (m); 0.24 m (*Valor calculado en la Ecuación 59*)

$$h_R = 0.28 \text{ m} + 0.025 \text{ m} - 0.24 \text{ m}$$

$$h_R = 0.065 \text{ m}$$

- **Tiempo de mezcla en el resalto, T:**

Es el período determinado durante el cual se realiza la operación unitaria que permite producir una distribución de partículas dentro del sistema. (BVSDE, 2005)

$$T = \frac{2G'}{v_2 + v_3}$$

**Ecuación 62**

**Datos:**

**T:** Tiempo de mezcla en el resalto (s)

**G'**: Dimensión de la canaleta (m); 0.305 m (*Valor considerado de la Tabla 21-3 Cepis, 2012 capítulo 2 pág. 59*)

**v<sub>2</sub>**: Velocidad de resalto (m/s); 0.87 m/s (*Valor calculado en la Ecuación 58*)

**v<sub>3</sub>**: Velocidad en la sección de salida (m/s); 0.42 m/s (*Valor calculado en la Ecuación 60*)

$$T = \frac{2(0.305 \text{ m})}{0.87 \text{ m/s} + 0.42 \text{ m/s}}$$

$$T = 0.47 \text{ s}$$

- **Gradiente de velocidad, G:**

Es la variación de la velocidad en función de la distancia y que a partir de la línea en que esta variación es máxima en las magnitudes cuyo valor es distinto en los diversos puntos de una región del espacio.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * hg}{\mu * T}}$$

**Ecuación 63**

**Datos:**

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

**$\gamma$ :** Peso específico ( $N/m^3$ );  $10.29 KN/m^3$  (Valor considerado de Metcalf & Eddy, Ingeniería de aguas residuales, 1995 Pg. 554)

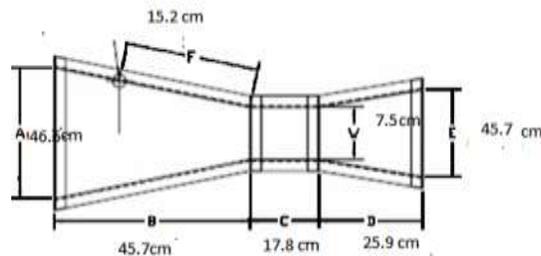
**$\mu$ :** Viscosidad dinámica ( $N.s/m^2$ );  $1.139 \times 10^{-3} N.s/m^2$  (Valor considerado de la Tabla 15-3)

**T:** Tiempo de mezcla en el resalto (s); 0.47 s

**$h_R$ :** Pérdida de carga en el resalto (m); 0.075 m

$$G = \sqrt{\frac{10290 N/m^3}{1.139 \times 10^{-3} N.s/m^2} * \left(\frac{0.075m}{0.47 s}\right)^{0.5}}$$

$$G = 1200.68 s^{-1}$$



**Figura 7-3:** Canal Parshall  
Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

### 3.2.2.7 Tanque de floculación

El tanque de floculación es específico porque debe realizar una mezcla completa del agua residual por eso es un proceso que se considera como indispensable para el tratamiento del agua porque permite durante un tiempo específico una mezcla lenta para la formación de flóculos. (Crites, 2000)

#### 3.2.2.8.1 Dimensionamiento del tanque de floculación

Para el dimensionamiento del tanque mezclador se utiliza el caudal punta con una pérdida por la remoción de lodos.

- Volumen del tanque ,  $V_{tanque}$ :

**Tabla 22-3** Parámetros de diseño para mezcladores de turbina

Parámetros	Medida
Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )	500-1000
Tiempo de retención (min)	1-60
Relación Geométrica (a)	3
Relación Geométrica (b)	3.5

Fuente: Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992 pág. 86

$$V_t = Q_p * Trh$$

**Ecuación 64**

**Datos:**

$V_t$ : Volumen del tanque de floculación ( $m^3$ )

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/s$ ); 0.01792  $m^3/s$

$Trh$ : Tiempo de retención (s); 1200 s (*Valor considerado de la Tabla 22-3 programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992 pág. 86*)

$$V_t = 0.01792 \text{ m}^3/s \times 1200 \text{ s}$$

$$V_t = 21.50 \text{ m}^3$$

- Diámetro de la cámara de mezcla,  $DT$ :

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * V * a}{\pi * b}}$$

**Ecuación 65**

**Datos:**

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

$V_t$ : Volumen del tanque mezclador ( $m^3$ ); 21.56  $m^3$

$a$ : Relación geométrica(adimensional); 3 (*Valor considerado de la Tabla 22-3*)

**b:** Relación geométrica (*adimencional*); 3.5 (*Valor considerado de la Tabla 22-3*)

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * 21.50 \text{ m}^3 * 3}{\pi * 3.5}}$$
$$DT = 2.87\text{m}$$

- **Profundidad de la cámara de mezcla, H:**

$$H = b * \frac{DT}{a}$$

**Ecuación 66**

**Datos:**

**H:** Profundidad de la cámara de mezcla (m)

**DT:** Diámetro de la cámara de mezcla ( m); 2.87 m

**a:** Relación geométrica (*adimencional*); 3 (*Valor considerado de la Tabla 22-3* )

**b:** Relación geométrica (*adimencional*); 3.5 (*Valor considerado de la Tabla 22-3*)

$$H = 3.5 * \frac{2.87 \text{ m}}{3}$$
$$H = 3.35 \text{ m}$$

- **Diámetro de la turbina, D:**

$$D = \frac{DT}{a}$$

**Ecuación 67**

**Datos:**

**D:** Diámetro de la turbina (m)

**DT:** Diámetro de la cámara de mezcla (m); 2.87 m

**a:** Relación geométrica (*adimencional*); 3 (*Valor considerado de la Tabla 26-3*)

$$D = \frac{2.87\text{m}}{3}$$
$$D = 0.96 \text{ m}$$

- **Anchura de los deflectores,  $W_d$ :**

Los deflectores son placas instaladas en la pared del tanque, para proporcionar una mayor agitación y evitar que el movimiento del agitador arrastre todo el líquido en masa sin que se mezcle, para de esta manera no producir la cavitación que afecta al agitador. (ISLAS, 2005)

$$W_d = \frac{D}{10}$$

**Ecuación 68**

**Datos:**

$W_d$ : Anchura de los deflectores ( $m$ )

$D$ : Diámetro de la turbina ( $m$ ); 0.96  $m$

$$W_d = \frac{0.96 \text{ m}}{10}$$

$$W_d = 0.096 \text{ m}$$

- **Dimensiones de las paletas**

- **Longitud de la paleta,  $B$ :**

$$B = \frac{D}{4}$$

**Ecuación 69**

**Datos:**

$B$ : Longitud de la paleta ( $m$ )

$D$ : Diámetro de la turbina ( $m$ ); 0.96  $m$

$$B = \frac{0.96 \text{ m}}{4}$$

$$B = 0.24 \text{ m}$$

- **Alto de la paleta,  $W$ :**

$$W = \frac{D}{4}$$

**Ecuación 70**

**Datos:**

$W$ : Alto de la paleta (m)

$D$ : Diámetro de la turbina (m); 0.96 m

$$W = \frac{0.96 \text{ m}}{4}$$

$$W = 0.24 \text{ m}$$

• **Potencia aplicada al agua residual,  $P$ :**

La potencia mide la rapidez con que se efectúa un trabajo, es decir, que puede asociarse a la velocidad con que tiene lugar la transferencia de energía desde un cuerpo a otro.

$$P = v * V * G^2$$

**Ecuación 71**

**Datos:**

$P$ : Potencia aplicada al agua residual (Watt)

$v$ : Viscosidad dinámica del agua a 15° ( $\frac{Ns}{m^2}$ ); 0.001139  $\frac{Kg}{m s}$  (Valor considerado de la Tabla 15-3)

$V$ : Volumen del desarenador ( $m^3$ ); 21.6  $m^3$

$G$ : Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ ); 1000  $s^{-1}$  (Valor considerado de la Tabla 22-3)

$$P = 0.001139 \frac{Kg}{m s} * 21.6 \text{ m}^3 * (1000 \text{ s}^{-1})^2$$

$$P = 24602.4 \text{ Watt}$$

$$P = 2.46 \times 10^4 \text{ Watt}$$

• **Velocidad de rotación,  $N$ :**

Es el número de revoluciones por minuto para que se pueda producir una mezcla uniforme en el tanque.

**Tabla 23-3** Número de potencia para diferente tipo de impulsores

Impulsor	N° de potencia K
Hélice pinch cuadrada, 3 paletas	0.32
Hélice pinch 2, 3 aletas	1.0
Turbina, 6 aletas planas	6.3
Turbina, 6 aletas curvas	4.8
Turbina, 6 aletas punta de flecha	4.0

Fuente: Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992 PAG 83

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{K * \rho * D^5}}$$

**Ecuación 72**

**Datos:**

**P:** Potencia (*Watt*);  $2.46 \times 10^4 \text{ Watt}$

**K:** Número de potencia (adimensional); 6.3 (*Valor considerado de la Tabla 23-3*)

**$\rho$ :** Densidad del agua a 15°C ( $\frac{Kg}{m^3}$ );  $1050 \frac{Kg}{m^3}$  (*Valor considerado de Metcalf & Eddy, Ingeniería de aguas residuales, 1995 Pg. 554*)

**D:** Diámetro de la turbina (*m*);  $0.96 \text{ m}$  (*Valor calculado en la Ecuación 67*)

$$N = \sqrt[3]{\frac{2.46 \times 10^4 \text{ Watt}}{6.3 * 1050 \frac{Kg}{m^3} * (0.96 \text{ m})^5}}$$

$$N = 1.65 \frac{rev}{s}$$

$$N = 99.50 \text{ rpm}$$

- **Anchura de las paletas del impulsor, q:**

$$q = \frac{D}{5}$$

**Ecuación 73**

**Datos:**

**q:** Anchura de las paletas de impulsor (*m*)

**D:** Diámetro de la turbina (*m*);  $0.96 \text{ m}$

$$q = \frac{0.96 \text{ m}}{5}$$

$$q = 0.19 \text{ m}$$

- **Diámetro del disco central,  $S$ :**

$$S = \frac{DT}{4}$$

**Ecuación 74**

**Datos:**

$S$ : Diámetro del disco central (m)

$DT$ : Diámetro de la cámara de mezcla ( m); 2.87 m

$$S = \frac{2.87 \text{ m}}{4}$$

$$S = 0.72\text{m}$$

- **Altura del impulsor respecto al fondo del tanque,  $h$ :**

$$h = \frac{D}{1}$$

**Ecuación 75**

**Datos:**

$h$ : Altura del impulsor respecto al fondo del tanque (m)

$D$ : Diámetro de la turbina (m); 0.96 m

$$h = \frac{0.96 \text{ m}}{1}$$

$$h = 0.96$$

- **Caudal del fango**

$$Qf = \frac{Ws}{\rho w S s t P s}$$

**Datos****Qf:** Caudal de fangos producidos ( $cm^3/s$ )**Ws:** Peso de los sólidos ( $g/s$ ) **$\rho_w$ :** Densidad del agua,  $g/cm^3$  (valor asumido)**Sst:** Peso específico relativo del fango (*valor considerado de la Tabla 24-3*)**Ps:** Fracción de sólidos. (*Valor considerado de la Tabla 24.3*)**Tabla 24.3** Rendimiento de eliminación de sólidos suspendidos totales

SST afluente (mg/L)	175
SST efluente(mg/L)	2.89
Rendimiento %	98

Realizado por: Consuelo Valdivieso, 2017

Sólidos extraídos:

$$0.98 * 0.175 \frac{g}{L} = 0.171 \frac{g}{L}$$

**Tabla 25.3** Información del peso específico del agua

Tipo	Peso específico	Concentración de sólidos %	
		Intervalo	Típico
Agua residual de concentración media	1.03	4-12	6
Agua residual procedentes de redes de alcantarillado	1.05	4-12	6.5

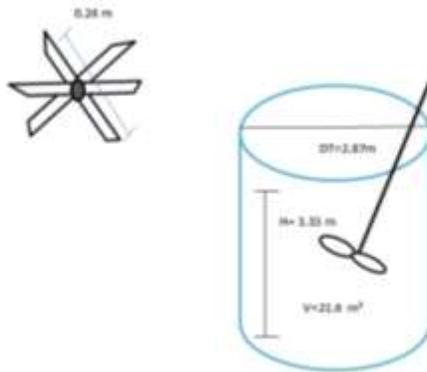
Fuente: METCALF&amp;EDDY, Ingeniería de aguas residuales, 1995 Pg. 554

$$Ws = 0.171 \frac{g}{L} * 17.97 \frac{L}{s}$$

$$Ws = 3.06 \frac{g}{s}$$

$$Qf = \frac{3.06 \frac{g}{s}}{1.07 \frac{g}{cm^3} * 1.03 * 0.065}$$

$$Qf = 42.71 \frac{cm^3}{s}$$



**Figura 8-3:** Tanque mezclador  
Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

#### 3.2.2.8.2 Dosificación del PAC y el auxiliar Chemfloc (N-100)

La coagulación es considerada como la desestabilización de un coloide por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos. (Gimenéz, 2011)

Para el tratamiento de aguas residuales se emplean coagulantes, en este caso PAC -P15A que es un coagulante inorgánico y que debido a la polimerización de su molécula permite una alta captación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, trabaja mejor con el auxiliar orgánico como el Chemfloc N-100, para dar peso suficiente al floculo y también acelera la aglomeración de floculo.

- **Cálculo para la dosificación de Policloruro de Aluminio (PAC-P15A)**

$$D_{PAC} = \frac{V_{TM} * D_{PAC JARRAS}}{V_{JARRAS}}$$

**Ecuación 77**

**Datos:**

$D_{PAC}$ : Dosis de PAC para la coagulación al día *ml*

$V_{TA}$ : Volumen de tanque mezclador (L); 21560 L

$D_{PAC JARRAS}$ : Dosis de PAC óptimo en las pruebas de test de jarras (*ml*); 30 *ml*

$V_{JARRAS}$ : Volumen de referencia de la prueba del test de jarras (L); 1L

$$D_{PAC} = \frac{21560 L * 30ml}{1L}$$

$$D_{PAC} = 646800 ml$$

$$D_{PAC} = 646.8 L/dia$$

- **Cantidad de Policloruro de Aluminio (PAC-P15A)**

$$C_{PAC} = Con_{PAC} * D_{PAC}$$

**Ecuación 78**

**Datos:**

$C_{PAC}$ : Cantidad de PAC ( g/dia)

$Con_{PAC}$ : Concentracion de PAC óptimo en la prueba de test de jarras(ml);0.04 g/L

$D_{PAC}$ : Dosis de PAC para la coagulación; 646.8 *L/dia*

$$C_{PAC} = 0.04g/L * 646.8 L/dia$$

$$C_{PAC} = 25.87 g/dia$$

- **Cálculo de la dosificación del Auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100)**

$$D_{N-100} = \frac{V_{TM} * D_{N-100JARRAS}}{V_{PJARRAS}}$$

**Ecuación 79**

**Datos:**

**$D_{N-100}$ :** Dosificación del Auxiliar de coagulación Chemfloc N-100(ml)

**$V_{TM}$ :** Volumen del tanque mezclador (L); 21600L

**$D_{N-100JARRAS}$ :** Dosis óptima de Chemfloc N-100 de la prueba de test de jarras (ml); 15 ml

**$V_{PJARRAS}$ :** Volumen de referencia de la prueba del test de jarras (L); 1L

$$D_{N-100} = \frac{21560 L * 15ml}{1L}$$

$$D_{N-100} = 323400 ml$$

$$D_{N-100} = 323.4L/dia$$

- **Cantidad de Auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100)**

$$C_{N-100} = Con_{N-100} * D_{N-100}$$

**Ecuación 80**

**$CN-100$ :** Cantidad de Chemfloc N-100 (g/día)

**$ConcN-100$ :** Concentración de Chemfloc N-100 óptimo en la prueba de jarras 0.8 (g/L)

**$DN-100$ :** Dosis de Chemfloc N-100 para la coagulación (L/día)

$$C_{n-100} = \frac{0.80g}{L} * \frac{323.4L}{dia}$$

$$C_{n-100} = 26 g/día$$

### 3.2.2.9 Sedimentador de flujo horizontal

La sedimentación es un proceso físico que consiste en hacer decantar a los sólidos que se encuentran en suspensión por medio de la gravedad, los cuales ocasionan la turbidez en el fluido. Este proceso tiene una mayor eficiencia cuando las partículas son de mayor densidad y tamaño, por lo que es necesario que previamente exista un proceso de coagulación - floculación cuyo objetivo es permitir la caída de las partículas al fondo del sedimentador.

Un sedimentador de flujo horizontal consta de cuatro zonas que son: una zona de entrada, sedimentación, de salida y de recolección de lodos y tiene como características, tiempos de retención cortos, poca profundidad y un ángulo de inclinación de 60° todas estas características ayudan a tener una mayor velocidad de sedimentación de los lodos.

#### 3.2.2.9.1 Dimensionamiento sedimentador de flujo horizontal

Para el dimensionamiento del sedimentador se utiliza el caudal punta con la pérdida correspondiente que se genera en el tanque mezclador.

**Tabla 26-3** Parámetros para el diseño de un sedimentador de flujo horizontal

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Carga superficial	50-70	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> / día
Profundidad	2-5	m
Numero de Reynolds	<500	Adimensional
Pendiente de fondo	>2	%
Tiempo de retención	<15	min
Característica crítica de funcionamiento	1-1.5	Adimensional
Relación Largo-Ancho	3-6	m
Relación Largo - profundidad	5-20	m

Fuente: (BVSDE, 2005 pág. 18)- (RAS, 2000 pág. 54)

- **Área de sedimentación,  $A_s$ :**

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

**Ecuación 81**

**Datos:**

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

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/s$ );  $0.01792 m^3/s$

$C_s$ : Carga superficial ( $m^3/m^2.s$ );  $70 m^3/m^2.dia = 8.10 \times 10^{-4} m^3/m^2.s$  (Valor considerado de la Tabla 30-3)

$$A_s = \frac{0.01792 m^3/s}{8.10 \times 10^{-4} m^3/m^2.s}$$

$$A_s = 22.12 m^2$$

- **Velocidad promedio de flujo,  $V_0$ :**

$$v_0 = \frac{Q_p}{A_s * \text{sen}\theta}$$

**Ecuación 82**

**Datos:**

$v_0$ : Velocidad promedio de flujo ( $cm/s$ )

$Q_p$ : Caudal punta ( $m^3/s$ );  $0.01792 m^3/s$

$A_s$ : Área de sedimentación ( $m^2$ );  $22.12 m^2$

$\theta$ : Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa (grados);  $60^\circ$

$$v_0 = \frac{0.01792 m^3/s}{22.12 m^2 * \text{sen}60}$$

$$v_0 = 9.35 \times 10^{-4} m/s$$

$$v_0 = 0.0935 cm/s$$

- **Longitud del sedimentador,  $L$ :**

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

**Ecuación 83**

**Datos:**

$L$ : Longitud del sedimentador

**$A_s$** : Área de sedimentación ( $m^2$ ); 22.12  $m^2$

**$B$** : Ancho del sedimentador; 2.5m (*Valor considerado de la Tabla 26-3 con respecto a la relación L/B 3-6*)

$$L = \frac{22.12 \text{ m}^2}{2.5 \text{ m}}$$

$$L = 8.84 \text{ m}$$

- **Longitud relativa del sedimentador,  $L_r$ :**

Es la distancia entre dos puntos que tiene una conexión que depende de varias características y factores.

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

**Ecuación 84**

**Datos:**

**$L_r$** : Longitud relativa del sedimentador

**$L$** : Longitud del sedimentador (m); 8.84 m

**$B$** : Ancho del sedimentador (m); 2.5m (*Valor considerado de la Tabla 26-3 con respecto a la relación L/B 3-6*)

$$L_r = \frac{8.84 \text{ m}}{2.5 \text{ m}}$$

$$L_r = 3.53 \text{ m}$$

- **Tiempo de retención en las placas,  $t_{rp}$ :**

**Tabla 27-3** Parámetros de diseño de placas planas de asbesto - cemento

Parámetro	Valor	Unidad
Longitud	1.2-3	m
Ancho	2-3	m
Espesor	0.01	m
Ángulo de inclinación	40-60	Grados
Espaciamiento entre placas	4-6	cm

Fuente: (ROMERO, 2008 pág. 85)

$$t_{rp} = \frac{I}{v_0}$$

**Ecuación 85**

**Datos:**

$t_{rp}$ : Tiempo de retención en las placas (min)

$I$ : Longitud recorrida a través de la placa (m); 1.2 m (*Valor considerado de la Tabla 27-3*)

$v_0$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas ( $m/s$ );  $9.35 \times 10^{-4} m/s$

$$t_{rp} = \frac{1.2m}{9.35 \times 10^{-4} m/s}$$

$$t_{rp} = 1283.42 s$$

$$t_{rp} = 2.39 min$$

- **Tiempo de retención en el tanque sedimentador,  $Trh$ :**

$$Trh = \frac{A_s * H_s}{Q_p}$$

**Ecuación 86**

**Datos:**

$Trh$ : Tiempo de retención (min)

$A_s$ : Área de sedimentación ( $m^2$ );  $22.12 m^2$

$H_s$ : Altura total (m); 2 m (*Valor considerado de la Tabla 26-3*)

$Q_p$ : Caudal de punta ( $m^3/s$ );  $0.01792 m^3/s$

$$Trh = \frac{22.12 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}}{0.01792 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$Trh = 2468.75 \text{ s}$$

$$Trh = 41.15 \text{ min}$$

- **Número de Reynolds; Re:**

$$Re = \frac{v_0 * d_p}{\vartheta}$$

**Ecuación 87**

**Re:** Número de Reynolds (Adimensional)

**v:** Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas (m/s);  $9.35 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

**d<sub>p</sub>:** Ancho del conducto o espaciamiento entre placas (m); 0.06 m (valor considerado de la Tabla 27-3.)

**ϑ:** Viscosidad cinemática del agua a 15° ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $1.140 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (Valor considerado de la Tabla 15-3)

$$Re = \frac{9.35 \times 10^{-4} \text{ m/s} * 0.06 \text{ m}}{1.140 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 49.21$$

- **Longitud de transición, L':**

Denominada como longitud de rampa, esta longitud nos permite efectuar cambios de una sección transversal a una sección curva, sin peligro a deslizamiento.

$$L' = 0.013 * Re$$

**Ecuación 88**

**Datos:**

**L':** Longitud de transición

**Re:** Número de Reynolds (Adimensional); 49.21

$$L' = 0.013 * 49.21$$

$$L' = 0.64$$

- Longitud relativa del sedimentador de flujo horizontal en la longitud de transición,  $L_{cr}$ :

$$L_{cr} = L_r - L'$$

Ecuación 89

**Datos:**

$L_{cr}$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en la longitud de transición

$L_r$ : Longitud relativa del sedimentador; 3.53m

$L'$ : Longitud de transición; 0.71

$$L_{cr} = 3.53 - 0.64$$

$$L_{cr} = 2.89$$

- Velocidad de sedimentación crítica;  $v_{sc}$ :

$$v_{sc} = \frac{S_c * v_0}{\text{sen}\theta + (L_{cr} * \text{cos}\theta)}$$

Ecuación 90

**Datos:**

$v_{sc}$ : Velocidad de sedimentación crítica ( $\text{cm/s}$ )

$S_c$ : Característica crítica de funcionamiento para láminas paralelas (Adimensional); 1 (*Valor considerado de la Tabla 27-3*)

$v_0$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas ( $\text{m/día}$ );  $80.78 \text{ m/día}$

$L_{cr}$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en la longitud de transición; 2.89 m

$\theta$ : Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa (grados);  $60^\circ$

$$V_{sc} = \frac{1 * 80.78 \text{ m/día}}{\text{sen}60 + (2.89 * \text{cos}60)}$$

$$V_{sc} = 34.95 \text{ m/día}$$

$$V_{sc} = 0.034 \text{ cm/s}$$

- Número de placas por modulo;  $N_p$ :

$$N_p = \frac{(L_s - L_p * \text{cos}\theta)\text{sen}\theta + d_s}{d_s + e_p}$$

## Ecuación 91

### Datos:

$N_p$ : Número de placas por modulo (Unidad)

$L_s$ : Longitud del sedimentador (m); 8.84 m

$L_p$ : Longitud de las placas (m); 1.2 m

$d_s$ : Separación entre placas (m); 0.060 m (*Valor considerado de la Tabla 26-3*)

$e_p$ : Espesor de las placas (m); 0.01 m (*Valor considerado de la Tabla 26-3*)

$\theta$ : Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa (grados); 60°

$$N_p = \frac{(8.84 - 1.2 \text{ m} * \cos 60) \text{sen} 60 + 0.060 \text{ m}}{0.060 \text{ m} + 0.01 \text{ m}}$$

$$N_p = 102.8 \cong 103$$

### • Volumen del sedimentador, V:

$$V = L * B * H$$

## Ecuación 92

### Datos:

$V$ : Volumen del sedimentador ( $m^3$ )

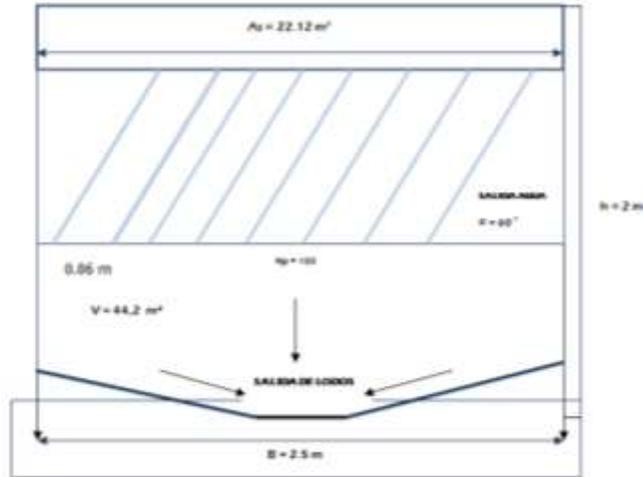
$L$ : Longitud del sedimentador (m); 8.84m

$B$ : Ancho del sedimentador (m); 2.5m

$H$ : Altura del sedimentador (m); 2 m (*Valor sugerido por la Dirección Técnica de la EP.EMAPA-G.*)

$$V = 8.84 \text{ m} * 2.5 \text{ m} * 2 \text{ m}$$

$$V = 44.2 \text{ m}^3$$



**Figura 9-3:** Sedimentador de flujo horizontal

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

### 3.2.2.10 Filtro lento de arena FLA y Carbón Activado

La filtración es el proceso en el cual se da la eliminación de sólidos en suspensión, que consiste en hacer pasar el agua a través de un lecho filtrante pueden ser los filtros lentos que son los sistemas de tratamiento de agua más antiguos del mundo que además se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua. (SPELLMAN, Frank, 2004).

#### 3.2.2.10.1 Dimensionamiento del filtro lento de Arena y Grava

En el dimensionamiento del filtro lento de Arena y Grava se utiliza el caudal punta con la pérdida correspondiente por la remoción de lodos.

**Tabla 28-3** Filtro lento de Arena y Carbón activado

Parámetro	Rango	Unidad
<b>Diseño de Laterales</b>		
Espaciamiento de los laterales	1.5-2-0	Adimensional
Diámetro de los orificios de los laterales	2-4	mm
Separación entre laterales	1.5-3	m

Velocidad en orificio	0.3-1	m/s
<b>Diseño para Tuberías del filtro</b>		
Velocidad de afluente	0.15-3	m/s
Velocidad de efluente	0.4-0.9	m/s

Fuente:(Romero2004 pág. 67)- (Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 2005 pág.18)

- **Superficie filtrante requerida,  $S_f$ :**

Es la parte externa del filtro, es decir, el contorno a través del cual se puede saber el espacio que ocupa en el espacio circundante y que, además, lo separa del mismo.

$$S_f = \frac{Q_{punta}}{T_f}$$

**Ecuación 93**

**Datos:**

$S_f$ : Superficie filtrante requerida ( $m^2$ )

$Q_{punta}$ : Caudal punta ( $m^3/h$ );  $0.01787 m^3/s$ ;  $64.33 m^3/h$

$T_f$ : Tasa de filtración ( $m^3/m^2h$ );  $0.900 m^3/m^2h$  (Valor tomado de los criterios de diseño de OTERO pág. 115)

$$S_f = \frac{64.33 \frac{m^3}{h}}{0.900 \frac{m^3}{m^2h}}$$

$$S_f = 71.48 m^2$$

- **Área de filtración,  $A_f$ :**

Es la superficie que está marcada por límites, específica para para el proceso unitario de separación de sólidos en una suspensión por medio de un medio mecánico poroso.

$$A_f = \frac{S_f}{n}$$

**Ecuación 94**

**Datos:**

**Af:** Área de filtración ( $m^2$ )

**Sf:** Superficie filtrante requerida ( $m^2$ );  $71.48 m^2$

**n:** Número de filtros deseados; *2 unidades*

$$Af = \frac{71.48 m^2}{2}$$

$$Af = 35.74 m^2$$

- **Determinación del número de módulos de filtración, *nf*:**

$$nf = 0.5 * \sqrt[3]{Af}$$

**Ecuación 95**

**Datos:**

**nf:** Número de módulos de filtración (unidad)

**Af:** Área filtrante ( $m^2$ );  $35.74 m^2$

$$nf = 0.5 * \sqrt[3]{35.74}$$

$$nf = 1.64 \cong 2 \text{ unidades}$$

- **Área de cada unidad, *Ai*:**

$$Ai = \frac{Af}{nf}$$

**Ecuación 96**

**Datos:**

**Ai:** Área de cada unidad ( $m^2$ )

**Af:** Área filtrante ( $m^2$ );  $35.74 m^2$

**nf:** Número de filtros calculado; *2 unidades*

$$Ai = \frac{35.84 m^2}{2}$$

$$A_i = 17.87 \text{ m}^2$$

- **Determinación de las dimensiones del filtro**

- **Longitud de la unidad,  $af$ :**

$$af = \left( \frac{2 * nf * Ai}{2 * nf} \right)^{0,5}$$

**Ecuación 97**

**Datos:**

**$af$ :** Longitud de la unidad (m)

**$A_i$ :** Área de la unidad ( $m^2$ );  $17.87m^2$

**$nf$ :** Número total de unidades de filtración; 2 unidades

$$af = \left( \frac{2 * 2 * 17.87 \text{ m}^2}{2 * 2} \right)^{0,5}$$
$$af = 4.22 \text{ m}$$

- **Ancho de la unidad;  $bf$ :**

$$bf = \left[ \frac{(nf + 1) * Ai}{2 * nf} \right]^{0,5}$$

**Ecuación 98**

**Datos:**

**$bf$ :** Ancho de la unidad (m)

**$A_i$ :** Área de la unidad ( $m^2$ ); 17.87

**$nf$ :** Número total de unidades de filtración; 2 unidades

$$bf = \left[ \frac{(2 + 1)17.87 \text{ m}^2}{2 * 2} \right]^{0,5}$$
$$bf = 3.66 \text{ m}$$
$$bf = 1.83 \text{ m}; \text{ c/u}$$

- **Altura de la unidad;  $Z_f$ :**

**Tabla 29-3:** Filtro lento de Arena y Grava

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidad</b>
Altura de la arena	0.5 – 1.00	m
Altura de grava	0.3	m
Altura del carbón activado	0.90 - 1.80	m
Altura de la capa de agua	1	m
Altura del lecho filtrante	0.60-0.75	m
Altura de la capa de soporte	0.30-0.45	m
Altura del drenaje	0.10-0.25	m
Factor de seguridad	10	%
Coefficiente de uniformidad	1.8- 2.0	Adimensional
Tamaño efectivo del medio	0.15-0.35	mm
Diámetro efectivo	0.15-0.35	mm
Tiempo de lavado	5-15	min

Fuente:(Romero2004 pág. 657)- (Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 2005 pág.112)

$$Z_f = F_S C_A + L_A + C_S + F_C$$

**Ecuación 99**

**Datos:**

$Z_f$ : Altura de la unidad (m)

$F_S$ : Factor de seguridad (m); 10% (Valor tomado de la Tabla 29-3)

$C_A$ : Altura de la capa de agua (m); 1m (Valor tomado de la Tabla 29-3)

$L_A$ : Altura del lecho filtrante (m); 0.75m (Valor tomado de la Tabla 29-3)

$C_S$ : Altura de la capa de soporte (m); 2.0 m (Valor tomado de la Tabla 29-3)

$F_C$ : Altura del drenaje (m); 0.25m (Valor tomado de la Tabla 29-3)

$$Z_f = 0.10 * 1m + 0.75m + 2.0m + 0.25m$$

$$Z_f = 3.10 m$$

- **Volumen de la unidad :,  $V_f$  :**

$$V_f = Z_f * b_f * a_f$$

**Ecuación 100**

**Datos:**

$V_f$ : Volumen de la unidad ( $m^3$ )

$b_f$ : Ancho de la unidad (m); 1.84 m

$a_f$ : Longitud de la unidad (m); 3.67m

$$V_f = 3.10m * 1.83 m * 4.22m$$

$$V_f = 23.94 m^3$$

- **Diámetro de la tubería de entrada del filtro,  $D$ :**

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_p}{v * \pi}}$$

**Ecuación 101**

**Datos:**

$D$ : Diámetro de la tubería en la entrada del filtro (mm)

$Q_p$ : Caudal punta para cada filtro ( $m^3/s$ ); 0.01787  $m^3/s$

$v$ : Velocidad en la tubería ( $m/s$ ); 3  $m/s$  (Valor tomado de la Tabla 24-3)

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.01787 \frac{m^3}{s}}{3 \frac{m}{s} * \pi}}$$

$$D = 0.087 m$$

$$D = 87.08 mm$$

- **Determinación del sistema de drenaje**

Se utilizara una tubería de 110 mm perforada conformando la estructura de salida de los filtros, conduciendo a la zona donde será contenida el agua filtrada.

- **Diámetro de los orificios laterales**

El orificio lateral es una abertura realizada en la pared del diafragma en una tubería por donde circula el fluido y por donde desagua el fluido al siguiente proceso, como también puede comunicar con otro fluido bajo presión.

Tomando en cuenta los parámetros de diseño el diámetro es 4mm de la Tabla 28-3 Filtro lento de Arena y Carbón activado:

$$D = 4 \text{ mm}$$

- **Área de cada orificio,  $A_o$ :**

$$A_o = \frac{\pi * D^2}{4}$$

**Ecuación 102**

**Datos:**

$A_o$ : Área de cada orificio ( $m^2$ )

$D$ : Diámetro de los orificios laterales (m)

$$A_o = \frac{\pi * (0.004 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_o = 1.26 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

- **Caudal que ingresa a cada orificio,  $Q_o$ :**

$$Q_o = A_o * v_o$$

**Ecuación 103**

**Datos:**

$v_o$ : Velocidad en el orificio ( $m/s$ );  $0.3 \text{ m/s}$  (Valor tomado de la Tabla 24-3)

$A_o$ : Área de cada orificio ( $m^2$ );  $1.26 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

$$Q_o = 1.26 \times 10^{-5} m^2 * 0.3 \frac{m}{s}$$

$$Q_o = 3.78 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

- **Número de laterales, # laterales:**

$$\# \text{ laterales} = n * \frac{L_{tp}}{el}$$

**Ecuación 104**

**Datos:**

$a_f$ : Longitud total del filtro ( $m$ );  $4.23 \text{ m}$

$n$ : Espaciamiento de laterales por lado; 2 (adimensional) (Valor considerado de la Tabla 26-3)

$el$ : Separación entre laterales ( $m$ );  $1.5 \text{ m}$  (Valor considerado de la Tabla 30-3)

$$\# \text{ laterales} = 2 * \frac{4.23 \text{ m}}{1.5 \text{ m}}$$

$$\# \text{ laterales} = 5.64 \cong 6$$

- **Separación entre orificios**

**Tabla 30-3:** Condiciones para el diseño del Filtro lento de Arena

Parámetro	Rango	Unidad
Velocidad en el orificio	1.5-3.00	m/s
Número de laterales por lado	0.5-3	m
Separación entre laterales	0.5-1.50	m
Longitud de cada lateral	2.00-3.00	m

**Fuente:** Manual de Operación y Mantenimiento de la Dirección Técnica del EMAPAG 2012 pág. 70

$$\frac{\# \text{ orificios}}{\# \text{ laterales}} = 2 * \frac{L_l}{e}$$

**Datos:**

$L_{lp}$ : Longitud de cada lateral (m); 3 m (Valor considerado de la Tabla 30-3)

$e$ : Espacio entre orificios (m); 0.050 m (Valor considerado de la Tabla 30-3)

$$\frac{\# \text{ orificios}}{\# \text{ laterales}} = 2 * \frac{3 \text{ m}}{0.050 \text{ m}}$$

$$\frac{\# \text{ orificios}}{\# \text{ laterales}} = 120$$

- Número total de orificios

$$\# \text{ total de orificios} = \# \text{ laterales} * \frac{\# \text{ orificios}}{\# \text{ laterales}}$$

**Datos:**

# Laterales = 6

#orificios/ Lateral = 120

$$\# \text{ total de orificios} = 120 * 6$$

$$\# \text{ total de orificios} = 720 \text{ orificios}$$



**Figura 10-3:** Filtro lento de arena  
Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

### 3.2.2.11 Lecho de secado

Los lechos de secado son dispositivos que tienen como objetivo la deshidratación de los lodos para que pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70 %. Las ventajas del el lecho secado es su bajo costo y el escaso mantenimiento que necesitan. (RAS-2000)

#### 3.2.2.11.1 Dimensionamiento del lecho de secado

- **Carga de sólidos suspendidos, C**

Se puede estimar la carga en función a la contribución per cápita de sólidos en suspensión que genera por habitante y por día, de la siguiente manera: por caracterización del agua residual se tiene que, los SS = 0.175 Kg/m<sup>3</sup>, con un caudal promedio que nos da un valor de 653.18 m<sup>3</sup>/día.

$$C = Q * SS$$

**Datos:**

**Q:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día); 653.18 m<sup>3</sup>/día

**SS:** Sólidos suspendidos totales (Kg/m<sup>3</sup>); 0.175 Kg/m<sup>3</sup> (Valor de la Tabla 2-3 Caracterización físico-químico y microbiológico, agua residual Salinas)

$$C = 653.18 \text{ m}^3/\text{día} * 0.175 \text{ Kg}/\text{m}^3$$
$$C = 114.30 \text{ Kg}_{SS}/\text{día}$$

La carga de sólidos que ingresa al tanque desarenador y al tanque mezclador en estado de lodo y por consecuente pasa al lecho de secado para ser retirados como materia sólida luego de un proceso de deshidratación.

- **Masa de los sólidos que conforman los lodos, M<sub>sd</sub>:**

$$M_{sd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

**Ecuación 107**

**Datos:**

**C** : Carga de sólidos en suspensión ( $Kg_{SS}/día$ ); 114.30  $Kg_{SS}/día$

$$M_{sd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * 114.30) + (0.5 * 0.3 * 114.30)$$

$$M_{sd} = 37.14 \text{ Kg}_{SS}/día$$

- **Cálculo del volumen diario de lodos digeridos,  $V_{DL}$ :**

La OPS/CEPIS/05.163 pág. 18, nos indica que la densidad de lodos para determinar el volumen diario de lodos digeridos es de 1,04 kg/L, el porcentaje de sólidos se asume un 12% que está dentro del rango mencionado por OPS/CEPIS de 8 a 12%.

$$V_{DL} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left( \frac{\%sólidos}{100} \right)}$$

**Ecuación 108**

**Datos:**

**$M_{sd}$ :** Masa de los sólidos que conforman los lodos ( $Kg_{SS}/día$ ); 31.31  $Kg_{SS}/día$

**$\rho_{lodo}$ :** Densidad del lodo ( $kg/L$ ); 1.04  $kg/L$

$$V_{DL} = \frac{37.14 \text{ Kg}_{SS}/día}{1.04 \text{ kg/L} * \left( \frac{12}{100} \right)}$$

$$V_{DL} = 297.59 \text{ L}/día$$

- **Cálculo del volumen de lodos a extraerse del tanque,  $V_{LE}$ :**

**Tabla 31-3** Tiempo requerido para digestión del lodo

Temperatura (°C)	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40

Fuente: (OPS/CEPIS/05.163 pág. 18)

$$V_{LE} = \frac{V_{DL} \cdot t_{DE}}{1000}$$

**Ecuación 109**

**Datos:**

$t_{DE}$  : Tiempo de digestión (días); 55 días (Valor considerado de la Tabla 35-3)

$$V_{LE} = \frac{297.59 \text{ L/día} \cdot 55 \text{ días}}{1000}$$

$$V_{LE} = 16.36 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del área del lecho de secado,  $A_{LS}$ :**

La profundidad del lecho que va depositarse en el lecho de secado es de 0.20 a 0.40 m según OPS/CEPIS 05,163. pág. 18. Para nuestro cálculo tomaremos como base los valores mencionados, entonces la profundidad es de 0.40 m

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_d}$$

**Ecuación 110**

**Datos:**

$V_{LE}$ : Volumen de lodos a extraerse del tanque ( $m^3$ ); 16.36  $m^3$

$H_d$  : Profundidad de aplicación (m); 0.55 m

$$A_{LS} = \frac{16.36 \text{ m}^3}{0.55 \text{ m}}$$

$$A_{LS} = 29.74 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de la longitud del lecho de secado,  $L_{LS}$ :**

El ancho del lecho de secado según mencionado por el OPS/CEPIS/05.163 pág. 18 puede estar entre 3 a 6 m por tanto, para nuestro cálculo tomaremos el valor de 5 m de ancho.

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{b_{LS}}$$

**Ecuación 111**

**Datos:**

$A_{LS}$  : Área del lecho de secado ( $m^2$ );  $29.74 m^2$

$b_{LS}$ : Ancho del lecho de secado ( $m$ );  $5 m$  (Valor considerado de los criterios de diseño de OPS/CEPIS/05.163 pág. 18)

$$L_{LS} = \frac{29.74 m^2}{5 m}$$

$$L_{LS} = 5.94 m$$

- **Cálculo del volumen del tanque para lodos,  $V_{TL}$ :**

$$V_{TL} = L_{LS} * b_{LS} * H_d$$

**Ecuación 112**

**Datos:**

$L_{LS}$ : Longitud del lecho de secado ( $m$ );  $5.94 m$

$b_{LS}$ : Ancho del lecho de secado ( $m$ );  $5 m$

$H_d$ : Profundidad de aplicación ( $m$ );  $0.55 m$

$$V_{TL} = 5.94 m * 5 m * 0.55 m$$

$$V_{TL} = 16.35 m^3$$

- **Intervalo de tiempo para desalojar el lodo,  $T_{DL}$ :**

$$T_{DL} = \frac{V_{TL}}{Q_P}$$

**Ecuación 113**

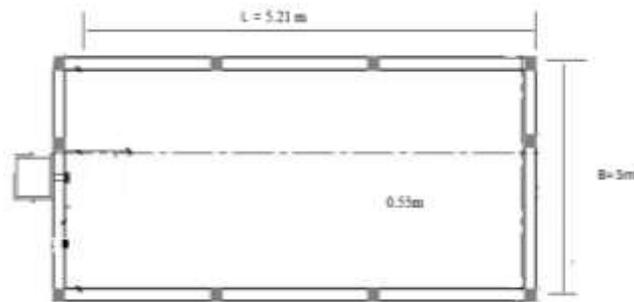
**Datos:**

$V_{TL}$ : Volumen del tanque ( $m^3$ );  $16.35 m^3$

$Q_P$ : Caudal punta ( $m^3/s$ );  $0.018 m^3/s$

$$T_{DL} = \frac{16.35 m^3}{0.018 m^3/s}$$

$$T_{DL} = 908.72 s = 0.25 h$$



**Figura 11-3:** Lecho de Secado  
Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

**3.2.2.12.1 Balance de masa**

• **Balance de masa global del sistema de rejillas**

Entrada del agua residual  $Q = 18 \frac{L}{s} * 1.05 \frac{g}{cm^3} * \frac{1000cm^3}{1L}$

$$Q = 18900 \frac{g}{s}$$

Acumulación de lodos  $A = 18 \frac{L}{s} * 0.175 \frac{g}{L} = 3.15 \frac{g}{s}$

Considerando el 30% de retención dato tomado de (Galán.P, y otros, 2001)

$$3.15 \frac{g}{s} * 0.30 = 0.95 \frac{g}{s}$$

$$E = S$$

$$E - S = A$$

$$E_{Ar} - S_{AT} = A_{lodos}$$

$$S_{AT} = E_{Ar} - A_{lodos}$$

$$S_{AT} = (18900 - 0.95) \text{ g/s}$$

$$S_{AT} = 18899 \text{ g/s}$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\delta}$$

$$Q = \frac{18899 \text{ g/s}}{1.05 \text{ g/cm}^3}$$

$$Q = 17999.09 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 17.99 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

- **Balance de masa global del desarenador**

Entrada del agua residual  $Q = 17.99 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 1.05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * \frac{1000 \text{cm}^3}{1\text{L}}$

$$Q = 18889 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

Acumulación de lodos  $A = 17.99 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 0.175 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 3.14 \text{ g/s}$

$$E = S$$

$$E - S = A$$

$$E_{Ar} - S_{AT} = A_{lodos}$$

$$S_{AT} = E_{Ar} - A_{lodos}$$

$$S_{AT} = (18889 - 3.14) \text{ g/s}$$

$$S_{AT} = 18886 \text{ g/s}$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\delta}$$

$$Q = \frac{18886}{1.05 \text{ g/cm}^3}$$

$$Q = 18885 \frac{cm^3}{s}$$

$$Q = 17.97 \frac{L}{s}$$

- **Balance de masa global del tanque de floculación**

Entrada del agua residual  $Q = 17.97 \frac{L}{s}$

Acumulación de lodos valor calculado en la ecuación 76

$$A = 42.71 \frac{cm^3}{s} * \frac{1L}{1000cm^3} = 0.0427 \frac{L}{s}$$

$$E = S$$

$$E - S = A$$

$$E_{Ar} - S_{AT} = A_{lodos}$$

$$S_{AT} = E_{Ar} - A_{lodos}$$

$$S_{AT} = (17.97 - 0.0427) \frac{L}{s}$$

$$S_{AT} = 17.92 \frac{L}{s}$$

- **Balance de masa global del sedimentador**

Entrada del agua residual  $Q = 17.92 \frac{L}{s} * 1.05 \frac{g}{cm^3} * \frac{1000cm^3}{1L}$

$$Q = 18816 \frac{g}{s}$$

Acumulación de lodos valor calculado en la ecuación 76

$$A = 0.0427 \frac{L}{s} * 1.07 \frac{g}{cm^3} * \frac{1000cm^3}{1L}$$

$$A = 45.68 \frac{g}{s}$$

$$E = S$$

$$E - S = A$$

$$E_{Ar} - S_{AT} = A_{lodos}$$

$$S_{AT} = E_{Ar} - A_{lodos}$$

$$S_{AT} = (18816 - 45.68) \frac{g}{s}$$

$$S_{AT} = 18770.3 \frac{g}{s}$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\delta}$$

$$Q = \frac{18770.3}{1.05 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Q = 17873.8 \frac{cm^3}{s}$$

$$Q = 17.87 \frac{L}{s}$$

- **Balance de masa global del filtro lento**

Entrada del agua residual  $Q = 17.87 \frac{L}{s} * 1.05 \frac{g}{cm^3} * \frac{1000cm^3}{1L}$

$$Q = 18763.5 \frac{g}{s}$$

Acumulación de lodos  $A = 17.87 \frac{L}{s} * 0.171 \frac{g}{L} = 3.05 \frac{g}{s}$

$$E = S$$

$$E - S = A$$

$$E_{Ar} - S_{AT} = A_{lodos}$$

$$S_{AT} = E_{Ar} - A_{lodos}$$

$$S_{AT} = (18763.5 - 3.05) \frac{g}{s}$$

$$S_{AT} = 18760 \frac{g}{s}$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\delta}$$

$$Q = \frac{18760}{1.05 \text{ g/cm}^3}$$

$$Q = 17867 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 17.86 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

### 3.2.2.13 Resultados

#### a. Caudal de diseño

**Tabla 32-3** Determinación caudal punta

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal punta	Q	m <sup>3</sup> /s	0.018

Realizado por: Consuelo, Valdivieso. 2017

#### b. Diseño de rejillas

**Tabla 33-3** Dimensionamiento del sistema de rejillas

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área libre al paso del agua	A <sub>L</sub>	m <sup>2</sup>	0.03
Velocidad de flujo	V	m/s	0.60
Altura del tirante en el canal	h <sub>a'</sub>	m	0.06
Altura del tirante de construcción	h <sub>a</sub>	m	1.56
Ancho del canal	B	m	0.50
Ángulo de inclinación	α	°	60
Espesor de las barras	E	m	1.27x10 <sup>-2</sup>
Longitud de barras	L <sub>b</sub>	m	1.80
Número de barras	N <sub>b</sub>	Unidades	13
Pérdida de carga	H	m	0.07

Separación entre barras	S	m	0.025
-------------------------	---	---	-------

Realizado por: Consuelo, Valdivieso.2017

**c. Diseño de un canal de entrada**

**Tabla 34-3** Dimensionamiento de un canal de entrada

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área de la sección transversal	$A$	$m^2$	0.037
Ancho del canal	$b$	$m$	0.50
Altura máxima del agua	$h$	$m$	0.14
Altura total del canal	$H$	$m$	0.44
Radio hidráulico	$RH$	$m$	0.15
Velocidad media del canal	$v$	$m/s$	0.49

Realizado por: Consuelo Valdivieso.2017

**d. Diseño de un tanque desarenador de flujo horizontal**

**Tabla 35-3** Dimensionamiento de un tanque desarenador de flujo horizontal

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño	$Q_{diseño}$	$m^3/s$	0.01799
<b>Cámara de quietamiento-zona de entrada</b>			
Volumen	$V_{c.a}$	$m^3$	$6 \times 10^{-4}$
Área superficial	$A_{c.a}$	$m^2$	0.36
Ancho	$B_{c.a}$	$m$	0.60
Longitud	$L_{c.a}$	$m$	0.60
Profundidad útil	$P_{t.c.a}$	$m^2$	2.2
<b>Zona de sedimentación</b>			
Velocidad de sedimentación	$v_s$	$cm/s$	2.70
Altura del desarenador	$H$	$m$	3.5
Número de Reynolds	$Re$	-----	4.74
Tiempo de sedimentación	$ts$	$s$	129.63

Tiempo de retención hidráulica	$tr$	Min	15.12
Volumen de cada tanque desarenador	$V_d$	$m^3$	16.33
Área superficial útil	$As$	$m^2$	4.67
Carga hidráulica superficial	$q$	$cm/s$	0.38
Ancho de zona de sedimentación	$B$	$m$	1.53
Longitud de zona de sedimentación	$L$	$m$	3.05
Área transversal del desarenador	$A$	$m^2$	5.35
Velocidad de arrastre	$v_a$	$cm/s$	18.58
Velocidad horizontal	$v_h$	$cm/s$	0.33
<b>Zona de lodos</b>			
Longitud de la primera parte del desarenador	$L'$	$m$	1.02
Altura de zona de lodos de la primera parte del desarenador	$H'$	$m$	0.10
Pendiente de la primera placa en el fondo del desarenador	$X$	%	10
Longitud de la segunda parte del desarenador	$L''$	$m$	2.03
Pendiente de la segunda placa en el fondo del desarenador	$X'$	%	5
Volumen del canal de limpieza de la zona de lodos	$V'$	$m^3$	1.6
Longitud del canal de limpieza	$L_{c.l}$	$m$	1.53
<b>Zona de salida</b>			
Carga sobre la cresta del vertedero de salida	$Hv$	$m$	0.03
Velocidad sobre el vertedero de salida	$v_v$	$m/s$	0.35
Ancho mínimo del canal de recolección del agua desarenada	$B_{re,d}$	$m$	0.27
<b>Cálculo de la transición cámara de aquietamiento-desarenador</b>			
Ancho total desarenadores	$B_{T.D}$	$m$	3.36
Ángulo central de divergencia	$\theta_C$	Grados	40
Longitud de transición	$L_t$	$m$	1.64

Realizado por: Consuelo Valdivieso.2017

e. **Diseño de un canal Parshall**

**Tabla 36-3** Dimensionamiento de un canal Parshall

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño	$Q_{diseño}$	$m^3/s$	0.01797
Altura del agua en la sección de medición	$H_0$	$m$	0.28
Ancho de la garganta	$W$	$m$	0.076
Dimensiones de la Canaleta			
Longitud de paredes sección convergente	$A$	$m$	0.46
Longitud sección convergente	$B$	$m$	0.45
Ancho de la salida	$C$	$m$	0.17
Ancho entrada sección convergente	$D$	$m$	0.25
Longitud de la garganta	$F$	$m$	0.15
Longitud de la sección divergente	$G'$	$m$	0.30
Longitud paredes de sección divergente	$K'$	$m$	0.057
Dimensión de la canaleta	$N$	$m$	0.025
Ancho entrada sección convergente	$D'$	$m$	0.20
Velocidad de la sección de medición	$V_0$	$m/s$	0.32
Carga hidráulica disponible	$E_0$	$m$	0.34
Angulo de inclinación	$\theta_p$	Grados	135.27
Velocidad antes del resalto	$v_1$	$m/s$	2.10
Altura de agua antes del resalto	$h_1$	$m$	0.11
Numero de Froude	$F$	-----	2.09
Altura del agua después del resalto	$h_2$	$m$	0.27
Velocidad del resalto	$v_2$	$m/s$	0.87
Altura en la sección de salida de la canaleta	$h_3$	$m$	0.24
Velocidad en la sección de salida	$v_3$	$m/s$	0.42

Perdida de carga en el resalto	$h_R$	$m$	0.065
Tiempo de mezcla en el resalto	T	$s$	0.47
Gradiente de velocidad	$G'$	$s^{-1}$	1200.68

Realizado por: Consuelo, Valdivieso 2017

#### f. Diseño de un tanque floculación

**Tabla 37-3** Dimensionamiento del tanque de Floculación

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño	$Q_{diseño}$	$m^3/s$	0.01792
Alto de paleta	$W$	$m$	0.24
Altura del impulsor respecto al fondo del tanque	$h$	$m$	0.96
Anchura de los deflectores	$W_d$	$m$	0.096
Anchura de las paletas del impulsor	$q$	$m$	0.19
Diámetro de la cámara de mezcla	$DT$	$m$	2.87
Diámetro del disco central	$S$	$m$	0.72
Diámetro de la turbina	$D$	$m$	0.96
Longitud de la paleta	$B$	$m$	0.24
Potencia aplicada al agua residual	$P$	$Watt$	$2.46 \times 10^4$
Profundidad de la cámara de mezcla	$H$	$m$	3.35
Velocidad de rotación	$N$	$rpm$	99.50
Volumen del tanque	$V$	$m^3$	21.50
<b>Dosificación del PAC y Chemfloc(N-100)</b>			
Dosis de PAC para la coagulación	$D_{PAC}$	$L/dia$	646.8
Cantidad de policloruro de aluminio	$C_{PAC}$	$g/dia$	25.87
Dosis del auxiliar Chemfloc(N-100)	$D_{N-100}$	$L/dia$	323.4

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

#### g. Diseño de un tanque sedimentador

**Tabla 38-3** Dimensionamiento de un tanque sedimentador

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño	$Q_{diseño}$	$m^3/s$	0.01792
Área de sedimentación	$A_s$	$m^2$	22.12
Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas	$v_0$	$cm/s$	0.0935
Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa	$\theta$	Grados	60
Longitud relativa del sedimentador	$L_r$	-----	3.53
Número de Reynold	$Re$	-----	49.21
Longitud de transición	$L'$	-----	0.64
Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en la longitud de transición	$L_{cr}$	-----	2.89
Velocidad de sedimentación crítica	$v_{sc}$	$cm/s$	0.034
Tiempo de retención en las placas	$t_{rp}$	min	2.39
Tiempo de retención en el tanque sedimentador	$Trh$	min	41.15
Ancho del sedimentador	$a$	$m$	2.5
Longitud del sedimentador	$l$	$m$	8.84
Número de placas	$Np$	unidades	103
Altura del sedimentador	$h$	$m$	2
Volumen del sedimentador	$V$	$m^3$	44.2

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

**h. Diseño de un filtro lento****Tabla 39-3** Dimensionamiento de filtro lento de arena

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño	$Q_{diseño}$	$m^3/s$	0.01787
Ancho de la unidad de filtración	$bf$	$m$	3.66
Área de cada unidad	$Ai$	$m^2$	17.87

Área de filtración	$Af$	$m^2$	35.74
Altura de la unidad de filtración	$Zf$	m	3.10
Longitud de unidad de filtración	$af$	$m$	4.22
Volumen de la unidad filtración	$Vf$	$m^3$	20.82
Superficie filtrante requerida	$Sf$	$m^2$	71.68
Diámetro de la tubería al ingreso	$D$	$mm$	87.08
Sistema de drenaje			
Área de cada orificio	$Ao$	$m^2$	$1.26 \times 10^{-5}$
Área total de orificios	$A_{to}$	$m^2$	0.038
Caudal ingreso a cada orificio	$Qo$	$m^3/s$	$3.78 \times 10^{-5}$
Número de módulos de filtración	$nf$	<i>unidades</i>	2
Número de laterales	# Laterales	.....	6
Número total de orificios	#total Orificios	<i>unidades</i>	720
Separación entre orificios	#Orificios/# Laterales	.....	120

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

#### i. Diseño de un lecho de secado

**Tabla 40-3** Dimensionamiento del lecho de secado

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área	$A_{LS}$	$m^2$	34.5
Longitud	$L_{LS}$	$m$	6.9
Volumen del tanque	$V_{TL}$	$m^3$	18.97
Profundidad	$H_s$	$m$	0.55
Ancho	$b_{LS}$	$m$	5

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

### 3.2.2.14 Análisis del agua residual tratada

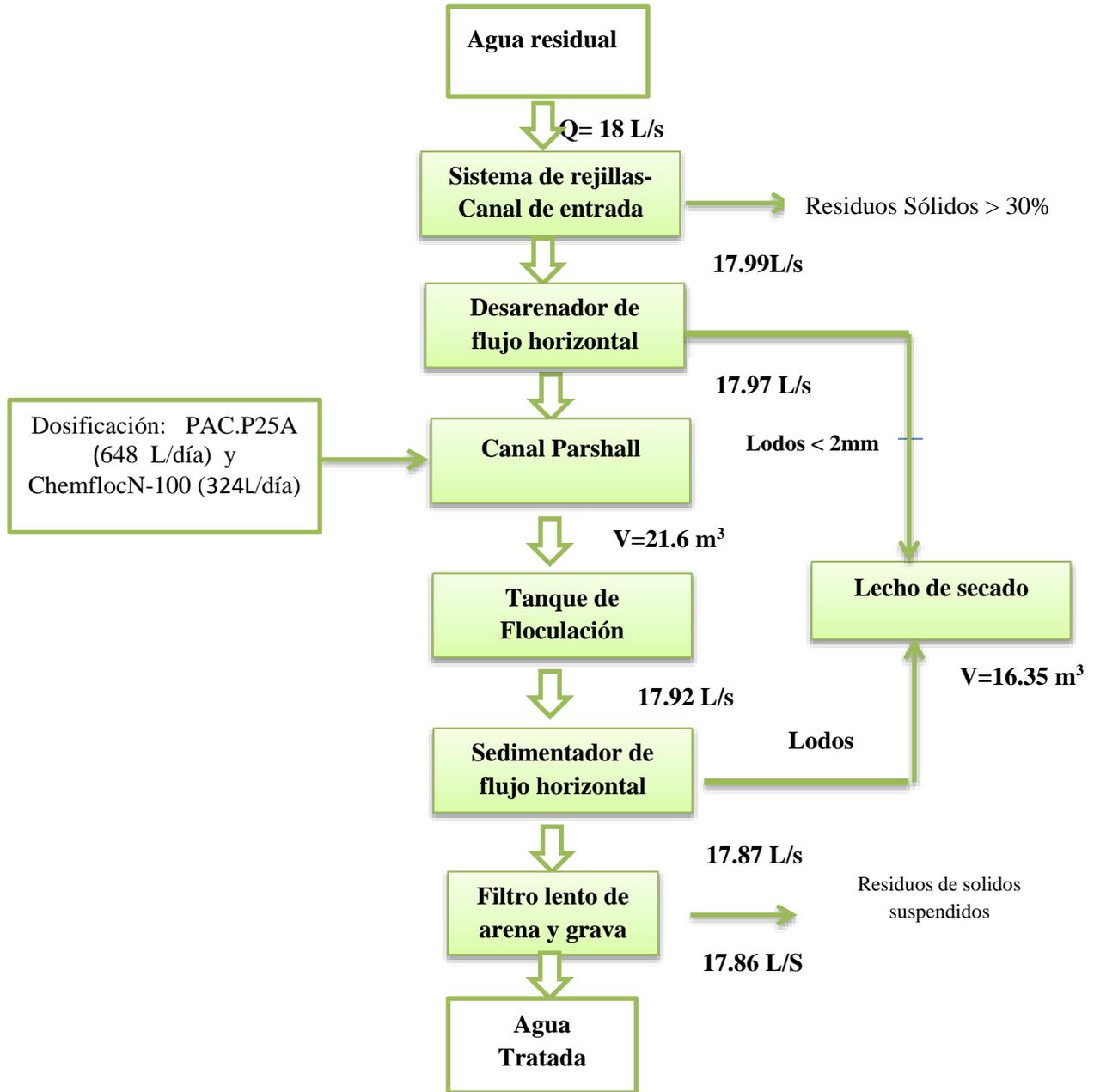
**Tabla 41-3** Resultados del agua residual Salinas- Octubre y Noviembre

PARAMETROS	UNIDAD	Agua Residual			Agua Tratada	Norma TULSMA
		Promedio Octubre	Promedio Noviembre	Muestra Compuesta		Lim.Max.Per
COLOR	UTC	153,28	159,99	156,63	1,00	-----
TURBIEDAD	NTU	71,67	74,14	72,90	0,58	.....
pH	.....	7,45	7,56	7,50	7,08	.....
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	uS/cm	695,32	653,21	674,26	96,70	.....
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	249,93	270,15	260,04	40,78	1600
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	168,22	183,605	175,91	2,89	130
TEMPERATURA	° C	19,67	19,59	19,63	15,70	Cond. ± 3
ACEITES Y GRASAS	mg/L	2,84	2,85	2,85	2,42	30,00
TENSOACTIVOS	mg/L	0,08	0,10	0,09	0,04	0,50
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	24,52	20,06	22,29	1,24	50,0
FOSFORO TOTAL	mg/L	11,625	11,49	11,56	0,15	10,0
NITROGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	14,71	13,14	13,92	0,02	30,0
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	12,25	12	12,13	10	1000
FLUORUROS (F)	mg/L	1,67	1,50	1,58	0,66	5,0
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	11,34	11,72	11,53	0,26	10,0
MANGANESO TOTAL	mg/L	2,605	2,478	2,54	0,12	2,0
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,413	0,39	0,40	0,008	0,5
COBRE (Cu)	mg/L	0,245	0,24	0,24	0,045	1,0
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	460,00	485	472,50	110,00	.....
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0,036	0,03	0,03	0,008	5,0
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	141,825	137,28	139,55	10,16	1000
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,27	0,31	0,29	0,16	2,0
COBALTO (Co)	mg/L	0,35	0,32	0,34	0,20	0,5
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,009	0,01	0,01	0,007	0,2
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,45	0,50	0,47	0,38	5,0
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	3,61	3,69	3,65	0,99	2,0
BROMO (Br)	mg/L	0,007	0,008	0,007	0,007	.....
BORO (B)	mg/L	1,39	1,40	1,39	1,10	2
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	0,008	0,008	0,008	0,007	.....
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,13	0,18	0,15	0,15	.....
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4855.50	4116.75	4486.12	< 1**	2000
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	246,50	295,00	270,75	< 30	100
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	580,25	896,25	738,25	4,50	250

Fuente: Dirección Técnica – Laboratorio de Control de Calidad E.P.EMAPA-G

Realizado por: Consuelo Valdivieso 20

### 3.3 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Propuesto



**Figura 12-3:** Sistema de Tratamiento

Realizado por. Consuelo Valdivieso 2017

### 3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

#### 3.4.1 Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición de caudal de aguas residuales

**Tabla 42-3** Materiales de muestreo y recolección de información

<b>Fundamento</b>	<b>Materiales</b>	<b>Procedimiento</b>
Se basa en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipientes de vidrio.</li> <li>• Borosilicato para caracterizaciones físico - químico.</li> <li>• Bolsas estériles Whirl - Pak para caracterizaciones bacteriológicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolección de dos muestras en un intervalo de tiempo de 15 minutos para luego hacer una muestra compuesta, la toma de muestras es en las horas pico.</li> </ul>

Realizado por. Consuelo Valdivieso 2017

Los materiales y equipos utilizados en la determinación del caudal se detallan a continuación:

**Tabla 43-3:** Materiales y equipos para medición del caudal

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
<b>Balde graduado de 120 litros</b>	Cronómetro
<b>Cuaderno Esferográfico</b>	Cámara fotográfica
<b>Mascarilla</b>	GPS
<b>Guantes</b>	
<b>Botas de caucho</b>	
<b>Mandil</b>	

Realizado por. Consuelo Valdivieso 2017

#### 3.4.2 Requerimiento de equipos y métodos para caracterización físico- químico y microbiológico del agua residual.

A continuación se especifican los equipos, materiales y reactivos necesarios para la caracterización del agua residual:

**Tabla 44-3** Materiales, Equipos y Reactivos para los Análisis Físicos del Agua Residual

Materiales	Reactivos	Equipos
<b>Buretas</b>	Buffer pH 4.0	Balanza analítica
<b>Buchner y Kitasato</b>	Buffer pH 7.0	Colorímetro
<b>Cámara fotográfica</b>	Formazin <0.1 FNU	Conductímetro
<b>Cronómetro</b>	Formazin 100 FNU	Destilador
<b>Escobilla de cerdas</b>	Formazin 1000 FNU	Estufa
<b>Esferográfico</b>	Formazin 200 FNU	Fotómetro
<b>Fiola</b>	Formazin 800 FNU	Turbidímetro
<b>Guantes</b>	Formazin20 FNU	
<b>Mandil</b>	Formazin4000 FNU	
<b>Pipeta</b>		
<b>Vasos de precipitación</b>		
<b>Soporte universal</b>		

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EP.EMAPA-G

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

**Tabla 45-3** Materiales, Equipos y Reactivos para los Análisis Químicos del Agua Residual

Materiales	Reactivos	Equipos
<b>Botellones plásticos</b>	Alkaline cyanide	Baño María
<b>Cámara fotográfica</b>	Aluver	Espectrofotómetro
<b>Cronómetro</b>	Ascorbic acid	Estufa
<b>Embudo de vidrio</b>	Bleaching 3	Fotómetro
<b>Frascos cuenta gotas con tetina</b>	Chromater 3	
<b>Gradilla</b>	Cromo 1	
<b>Guantes</b>	Cromo 2	
<b>Libreta</b>	Cuver 1	
<b>Mascarillas</b>	Cyanurate ammonium	
<b>Matraz Erlenmeyer</b>	DPD cloro total	
<b>Papel filtro</b>	EDTA (Sobres)	
<b>Parafilm</b>	EDTA 0.020 N	
<b>Pat absorbente</b>	Ferover	
<b>Pera de succión</b>	MolyVer 1	
<b>Pinza</b>	MolyVer 2	
<b>Pipeta volumétrica</b>	MolyVer 3	
<b>Pipeta</b>	Nitraver 5	
<b>Pipeta volumétrica</b>	Nitraver	
<b>Probeta milimetrada</b>	Pads absorbente	
<b>Tubos de ensayo</b>	Pan indicador sln 0.1 %	
<b>Varilla</b>	Pan indicador sln 0.3 %	
<b>Vasos de precipitación</b>	Phosver	
	Phthalate-fosfato	
	Reactivo acido cromo	
	Reagent acid cromo	
	Reagent Spands	

	Salicylate ammonium Solución férrica Sulfater 4 THM Plus reagent 1 THM Plus reagent 2 THM Plus reagent 3 THM Plus reagent 4 Tiocianato mercurico	
--	---	--

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EP.EMAPA-G

Realizado por: Consuelo Valdivieso 201

**Tabla 46-3** Materiales, Equipos y Reactivos para los Análisis Microbiológicos del Agua Residual

Análisis Microbiológicos		
Materiales	Reactivos	Equipos
<b>Capsula de Petri</b> <b>Esferográfico</b> <b>Matraz</b> <b>Lente de aumento</b> <b>Pinza</b>	Alcohol antiséptico 70° Ampollas endo Ampollas m-coliblu Filtros de membrana	Bomba de succión Incubadora Espectrofotómetro Reverbero

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EP.EMAPA-G

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

### 3.5 Análisis de Costo/beneficio del proyecto

**Tabla 47-3** Determinación de los costos del Sistema de Tratamiento de aguas residuales

Rubro/Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Global(\$)
<b>REJILLAS</b>				
Marco de hierro	U	4	12.00	48.00
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	13	1.00	13.00
Canal	m <sup>2</sup>	0.64	8.00	5.12
			<b>Subtotal</b>	<b>66.12</b>
<b>CANAL DE ENTRADA</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	0.80	1.00	0.80
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	0.80	5.00	4.00
Excavación manual para canal.	m <sup>3</sup>	1.00	9.80	9.80
Replanteo de H.S. 140kg/ cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1.00	120.50	90.50
Hormigón Simple F' C= 210 Kg/ cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0.95	190	180.5
			<b>Subtotal</b>	<b>285.6</b>

<b>DESARENADOR</b>				
Replanteo y nivelación	$m^2$	80.00	5.00	400.00
Excavación manual	$m^3$	100.80	9.00	907.20
Replanteo de H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	$m^2$	5.60	95.00	532.00
Hormigón simple F'C= 210Kg/cm <sup>2</sup>	$m^3$	40.35	190.00	7666.5
Enlucido vertical con impermeabilización	$m^2$	80.50	10.00	805.10
Encofrado de madera	$m^2$	100.02	9.00	900.18
Malla electro soldada 10x10x6mm	$m^2$	100.02	6.00	600.12
			<b>Subtotal</b>	<b>11811.10</b>
<b>CANAL PARSHALL</b>				
Limpieza y desbroce	$m^2$	10.25	1.50	15.38
Replanteo y nivelación	$m^2$	10.25	5.00	51.25
Excavación manual	$m^3$	18.60	9.00	167.40
Replanteo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	$m^2$	0.9	90.00	81.00
Hormigón simple F'C= 210Kg/cm <sup>2</sup>	$m^3$	1.3	190.00	247.00
Enlucido vertical con impermeabilización	$m^2$	5.51	10.00	55.10
Encofrado de madera	$m^2$	10.00	9.00	90.00
Malla electro soldada 10x10x6mm	$m^2$	20.58	6.00	123.48
			<b>Subtotal</b>	<b>830.61</b>
<b>TANQUE DE FLOCULACIÓN</b>				
Limpieza y desbroce	$m^2$	70.50	1.50	105.75
Replanteo y nivelación	$m^2$	70.50	5.00	352.50
Excavación manual	$m^3$	140.50	9.00	1264.50
Replanteo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	$m^2$	11.80	90.00	1062.00
Hormigón simple F'C=210 Kg/cm <sup>2</sup>	$m^3$	12.75	190.00	2422.50
Enlucido vertical con impermeabilizante	$m^2$	130.00	10.00	1300.00
Encofrado con madera	$m^2$	130.00	8.50	1105.00
Malla electro soldada 10x10x6mm	$m^2$	80.50	6.00	483.00
			<b>Subtotal</b>	<b>8095.25</b>
<b>SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL</b>				
Limpieza y desbroce	$m^2$	75.12	1.50	112.72
Replanteo y nivelación	$m^2$	75.12	5.00	375.6
Excavación manual	$m^3$	130.3	9.00	1172.7
Replanteo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	$m^2$	6.2	90.00	558
Hormigón simple F'C= 210Kg/cm <sup>2</sup>	$m^3$	55.27	190.00	10501.3
Enlucido vertical con impermeabilización	$m^2$	110.32	10.00	1103.2
Encofrado de madera	$m^2$	151.01	8.50	1283.85
Malla electro soldada 10x10x6mm	$m^2$	151.01	6.00	906.06
			<b>Subtotal</b>	<b>16013.43</b>
<b>FILTRO LENTO DE GRAVA</b>				
<b>FILTRO LENTO DE CARBÓN ACTIVADO</b>				
Limpieza y desbroce	$m^2$	75.25	1.50	112.88
Replanteo y nivelación	$m^2$	75.25	5.00	376.25
Excavación manual	$m^3$	55.00	9.00	595.00

Carbon activado	m <sup>3</sup>	15.10	90.00	1359.00
Hormigon simple F'C= 210Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	60.54	190.00	11502.60
Enlucido vertical con impermeabilización	m <sup>2</sup>	95.50	10.00	955.00
Encofrado de madera	m <sup>2</sup>	100.10	8.50	850.85
Malla electro soldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	100.10	6.00	600.10
Carbón	m <sup>3</sup>	35.30	35.00	1235.5
			<b>Subtotal</b>	<b>17587.18</b>
<b>LECHO DE SECADO</b>				
Excavación manual	m <sup>3</sup>	35.10	9.00	315.90
Replanteo de H.S. f' c=180kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1.2	90.00	108.6
Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm <sup>2</sup> .	m <sup>3</sup>	8.85	190.00	168.15
Pintura de cemento blanco, para exteriores	m <sup>2</sup>	60.70	9.00	546.30
			<b>Subtotal</b>	<b>1138.95</b>
<b>PRECIO TOTAL DEL SISTEMA FÍSICO DE TRATAMIENTO</b>				<b>54689.29</b>

Fuente: Ing. Civil Carolina Almache

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

**Tabla 48-3** Determinación de los costos de dosificación

Detalle	Dosificación	Costo por unidad (\$)	Costo por día (\$)	Costo por mes (\$)	Costo anual (\$)
<b>Policloruro de aluminio PAC-025</b>	25	3.05	0.76	22.87	274.5
<b>Auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100)</b>	26	9.00	2.34	70.2	842.4
<b>TOTAL</b>					<b>1116.9</b>

Fuente: JP Química ubicado en Ecuador – Quito, Vía Sangolqui - Amaguaña

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

### 3.6 Porcentaje de remoción

Con la ecuación 101 se demuestra el porcentaje de remoción de la carga contaminante después del tratamiento dado al efluente contaminado.

$$E_r = \frac{S_o - S}{S_o}$$

**Ecuación 114**

**Datos:**

$E_r$ : Porcentaje de remoción (%)

$S_o$ : Parámetro de entrada (mg/L)

$S$ : Parámetro de salida (mg/L)

**Tabla 49-3** Determinación del % remoción de la carga contaminante

Parámetro	Agua Residual	Agua Tratada	% de Remoción	Unidad
Color	156.63	1	99.36	.....
Turbiedad	72.90	0.58	99.20	UNT
Sólidos totales disueltos	175.91	2.89	98.36	mg/L
Fosfatos	11.56	0.28	97.57	mg/L
Hierro Total	11.53	0.26	97.37	mg/L
Manganeso	2.54	0.075	96.98	mg/L
Bario	2.85	0.99	65.23	mg/L
Coliformes fecales	4486.13	1	99.95	NMP/100 mL
DBO	270.75	30	88.82	mg/L
DQO	738.25	4	99.43	mg/L

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017

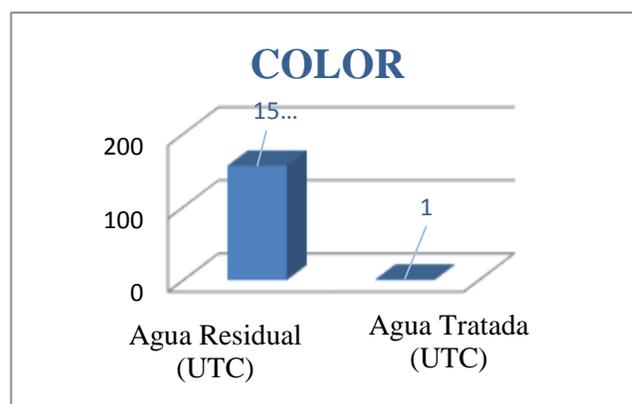
### 3.6.1 Porcentaje de remoción obtenido después del tratamiento

Es importante determinar el porcentaje de remoción de cada uno de los contaminantes del agua residual, luego de haber obtenido los resultados del agua tratada.

**Tabla 50-3** Caracterización física del Color

Agua Residual (UTC)	Agua Tratada (UTC)	% Remoción (UTC)	Límites Permisibles (UTC)
156.635	1.00	99.36	-----

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017



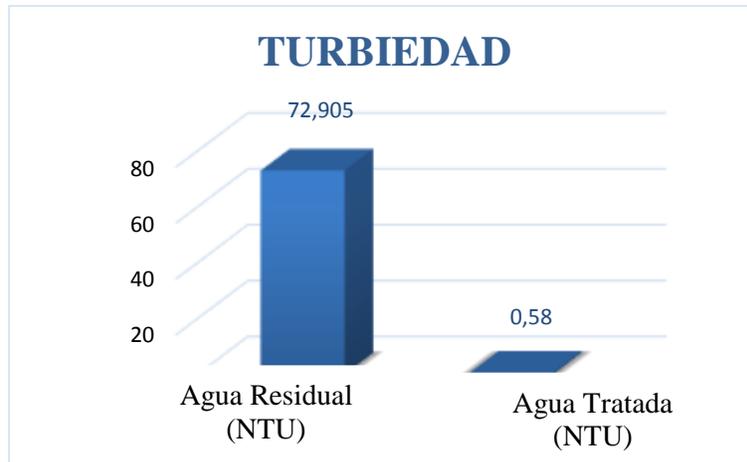
**Gráfico 1-3:** Caracterización física del color

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

**Tabla 51-3** Caracterización Física de la Turbiedad

Agua Residual (NTU)	Agua Tratada (NTU)	% Remoción	Límites Permisibles (NTU)
72.905	0.58	99.2	-----

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017



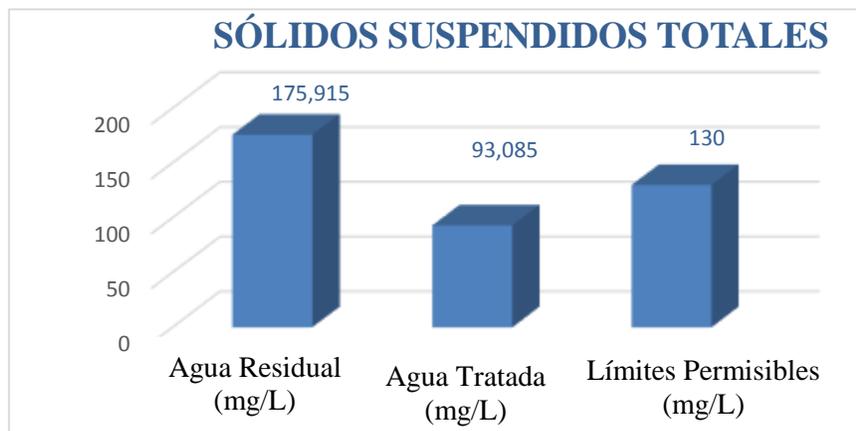
**Gráfico 2-3: Disminución de Turbiedad**

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

**Tabla 52-3** Caracterización Física de Solidos Totales Disueltos

Agua Residual (mg/l)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límites Permisibles (mg/L)
175,915	93,085	98.365	130

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017



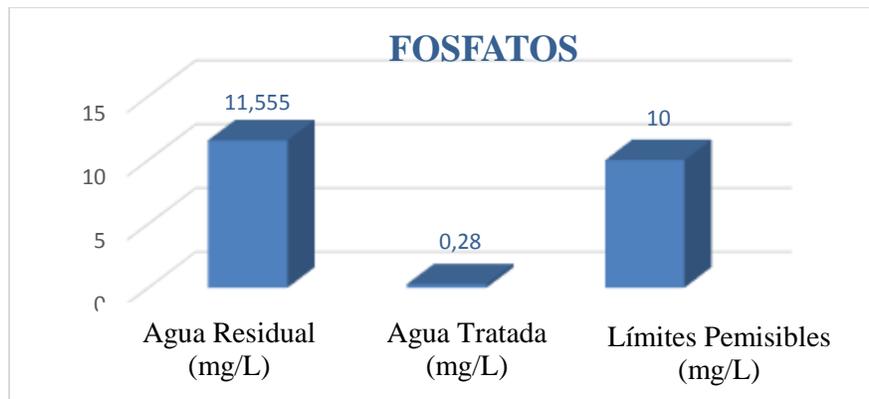
**Gráfico 3-3: Disminución de Solidos Suspendedos Totales**

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

**Tabla 53 -3** Caracterización Física de Fosfatos

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límites Permisibles (mg/L)
11.555	0.28	97.57	10.00

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017



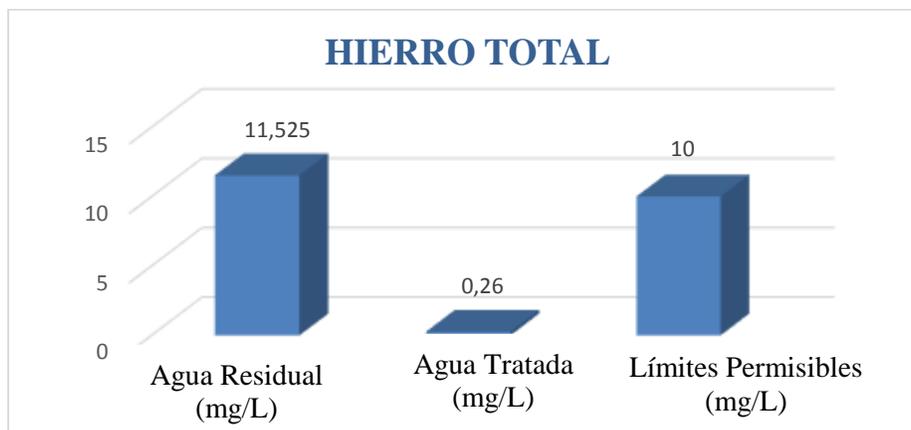
**Gráfico 4-3:** Disminución de Fosfatos

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

**Tabla 54-3** Caracterización Física del Hierro Total

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límites Permisibles (mg/L)
11.525	0.26	97.735	10.00

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017



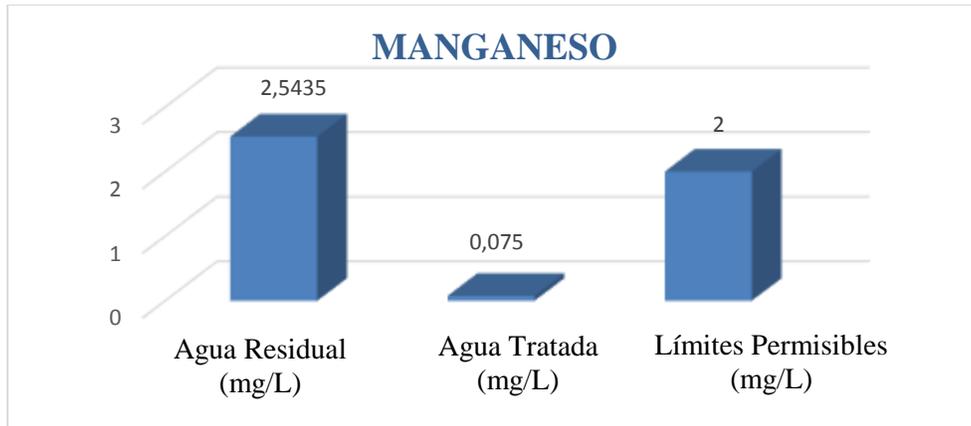
**Gráfico 5-3:** Disminución de Hierro Total

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

**Tabla 55-3** Caracterización Física de Manganeso

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límites Permisibles (mg/L)
2.5435	0.075	96.98	2.0

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017



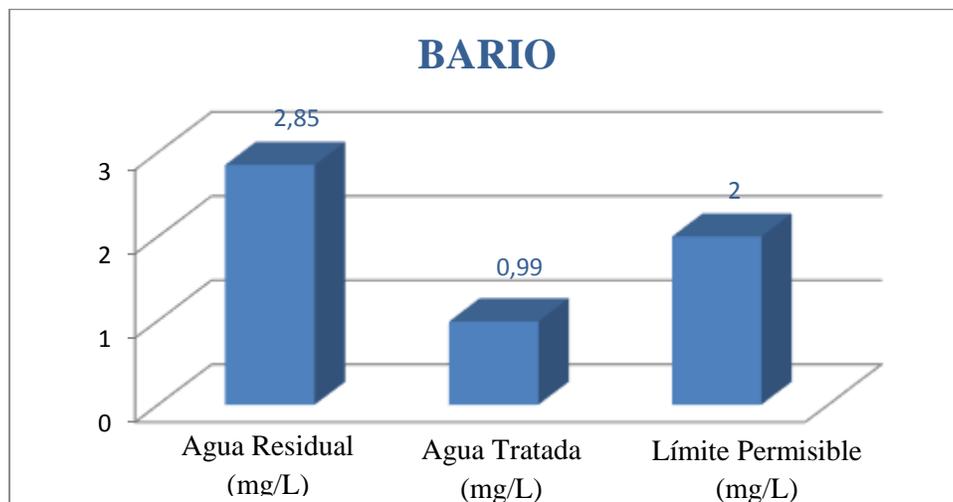
**Gráfico 6-3:** Disminución de Manganeso

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

**Tabla 56-3** Caracterización Física del Bario

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límites Permisibles (mg/L)
2.85	0.99	73.565	2.0

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017



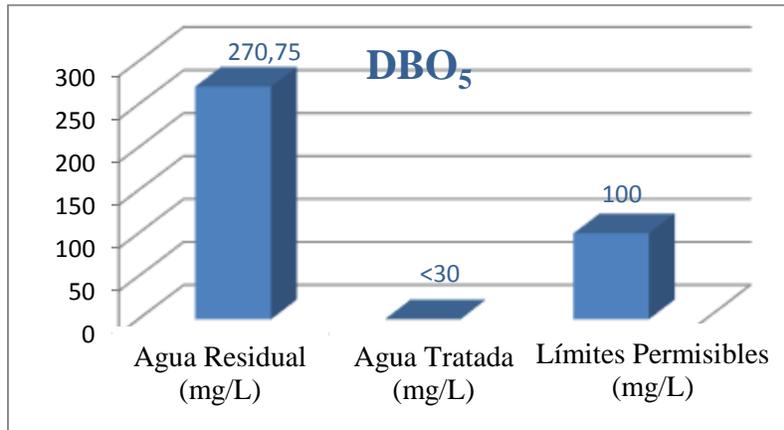
**Gráfico 7-3:** Disminución de bar

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

**Tabla 57-3** Caracterización Química de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límites Permisibles (mg/L)
270.75	30	88.82	100

Realizado por: Consuelo Valdivieso 2017



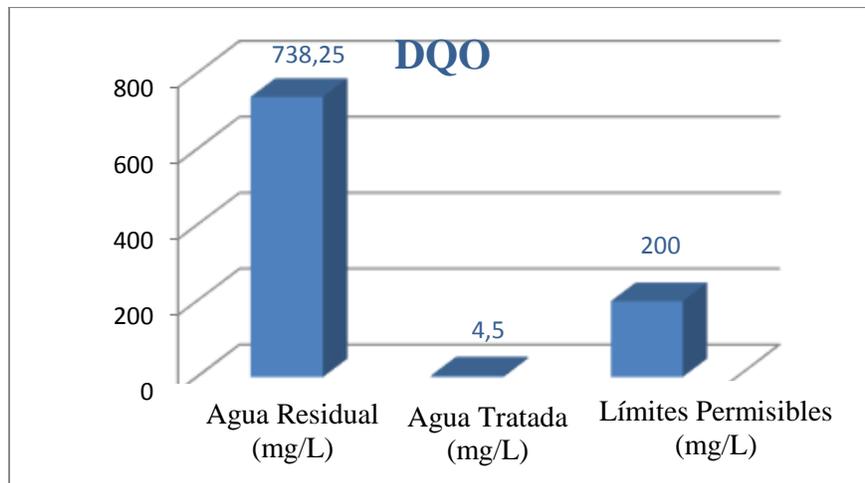
**Gráfico 8-3:** Disminución de DBO<sub>5</sub>

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

**Tabla 58-3** Caracterización Química de la Demanda Química de Oxígeno

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límites Permisibles (mg/L)
738.25	4.5	99.43	200

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017



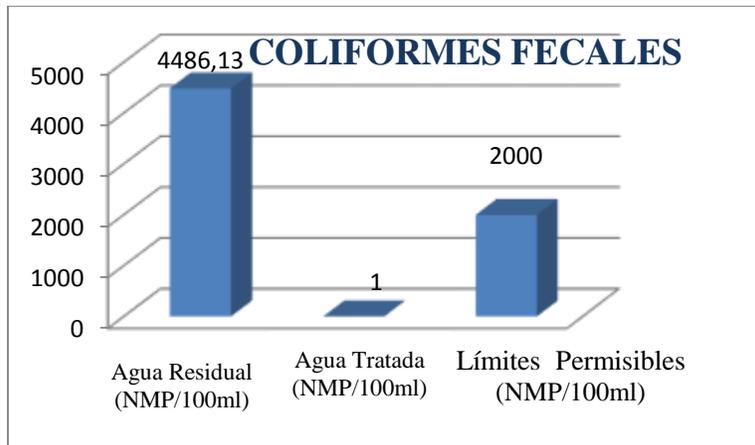
**Gráfico 9-3:** Disminución de DQO

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017

**Tabla 59-3** Caracterización bacteriológica de coliformes fecales

Agua Residual (NMP/100ml)	Agua Tratada (NMP/100ml)	% Remoción	Límites Permisibles (NMP/100ml)
4486.13	<1 **	99.95	2000

Realizado por: Consuelo Valdivieso. 2017



**Gráfico 10-3:** Disminución de los coliformes fecales

Realizado por: Consuelo Valdivieso. .2017

### 3.7 Análisis de Resultados

Para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se realizó el aforo del caudal del agua residual por medio del método volumétrico en los meses de Octubre y Noviembre del 2016, especificado en las Tabla 1-1, en base a los datos obtenidos se llevo a cabo las caracterizaciones físico – químico y microbiológico , para de esta manera poder determinar los parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles de cada muestra compuesta basado en la Norma TULSMA, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Posteriormente con los resultados de DQO y DBO<sub>5</sub> obtenidos de la caracterización inicial de nos permite conocer mediante del índice de biodegradabilidad si la materia orgánica que se encuentra en el agua residual es biodegradable que nos permitirá seleccionar el método adecuado para el tratamiento de aguas residuales.

Se caracterizó las muestras de agua residual que presentaba una turbiedad de 72.90 NTU y un color de 156.63 UTC, los parámetros que se fuera de Norma son: los Solidos Disueltos Totales con una concentración 175.91 mg/L siendo su límite permisible 130 mg/L; Fosfatos con una

concentración 11.56 mg/L siendo su límite permisible 10.0 mg/L ; Manganeso 2.54 mg/L siendo su límite permisible de 2.0 mg/L; Hierro Total 11.53 mg/L siendo su límite permisible 10.0 mg/L ; Bario con una concentración 2.85 mg/L siendo su límite permisible 2.0 mg/L ; DBO con una concentración 270.95 mg/L siendo su límite permisible 100 mg/L;DQO con una concentración de 738.25 mg/L siendo el límite permisible 200 mg/L ; Coliformes Fecales 2486.13 NMP/100mL siendo el límite permisible 2000 NMP/100mL .

La tratabilidad del agua residual se realizó cuando se identificó los parámetros que se encuentran fuera de norma, cuya tratabilidad se realizó mediante pruebas de jarras aplicando un tratamiento físico-químico, al efluente con dosificaciones a diferentes concentraciones del coagulante policloruro de aluminio, y del auxiliante de coagulación chemfloc , que permitieron disminuir la carga contaminante , también se consideró parámetros que no se encuentra establecidos dentro de la norma pero que conjunto tienen relación con la calidad del agua como el color , la turbiedad, el oxígeno disuelto considerado como indicadores importantes en la calidad del agua, los resultados obtenidos se puede apreciar en las Tabla 49-3.

En el test de jarras se simuló a nivel del laboratorio los ensayos de tratamiento, obteniéndose la dosis óptima con concentraciones y dosificaciones de policloruro de aluminio al 0.04 g/L y 240 mL, chemfloc al 0.80 g/L y 120 mL, como se indica respectivamente en la Tabla 2-1 y en la Tabla 3-1 y consiguiéndose como resultado las siguientes concentraciones con su respectiva remoción: una turbiedad de 0.58 NTU con una remoción 99.36 % y un color de 1.00 UTC con una remoción 99.20%; los Solidos Disueltos Totales con una concentración de 2.89 mg/L con una remoción de 98.36 % siendo su límite permisible 130 mg/L; Fosfatos con una concentración de 0.15 mg/L con una remoción de 97.57 % siendo su límite permisible es de 10.0 mg/L ; Manganeso 0.12 mg/L con una remoción de 96.98 % y el límite permisible es de 2.0 mg/L ; Hierro Total 0.26 mg/L con una remoción de 97.37 % siendo su límite permisible es de 10.0 mg/L ; Bario con una concentración 0.99 mg/L con una remoción de 65.35 % y el límite permisible 2.0 mg/L y de DBO con una concentración < 30 mg/L con una remoción 99.95 % de siendo su límite permisible 100 mg/L, DQO con una concentración de 4.30 mg/L con una remoción de 99.43% siendo el límite permisible 200 mg/L , los Coliformes Fecales 2486.13 NMP/100mL con una remoción 88.82% siendo el límite permisible 2000 NMP/100mL como se indica respectivamente en la Tabla 41-3 y en la Tabla 49-3.

Con los resultados obtenidos tanto en el análisis del laboratorio y de las pruebas de tratabilidad se verifico la eficiencia de este tratamiento que permitirán tener un agua residual tratada que cumpla con los límites permisibles en la Norma antes ya mencionada.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó una planta de tratamiento de aguas residuales para la Parroquia Salinas con una proyección de 15 años, con los resultados de la caracterización inicial física, química y microbiológica se identificaron los parámetros que se encuentran fuera de Norma TULSMA REGISTRO OFICIAL, ACUERDO MINISTERIAL N. 387, TABLA 09. Siendo el promedio del mes Octubre: Sólidos Disueltos Totales 168.22 mg/L; Fosfatos 11.63 mg/L; Manganeseo 2.605 mg/L; Bario 2.68 mg/L; Hierro Total 11.32 mg/L; DBO 295 mg/L; DQO con 896.25 mg/L; Coliformes Fecales 2605.5 NMP/100mL y siendo el promedio del mes de Noviembre: Sólidos Disueltos Totales 183.61 mg/L; Fosfatos 11.49 mg/L; Manganeseo 2.478 mg/L; Bario 3.01 mg/L; Hierro Total 11.72 mg/L; DBO 270.25 mg/L; DQO 739.25 mg/L; Coliformes Fecales 2366.75 NMP/100mL
- Las variables identificadas son las apropiadas para realizar el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, que fueron: la caracterización inicial, el caudal punta  $0,018 \frac{m^3}{s}$  que es una de las variables más importantes ya que puede cambiar con el transcurso del tiempo, la tratabilidad y también se considera la población futura estimada 9702 habitantes para una vida útil de 15 años.
- Los criterios de diseño se determinaron mediante la identificación de las variables, para la realización de los cálculos del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Parroquia Salinas, que consta de los siguientes procesos: rejillas, canal de entrada, desarenador, canal Parshall, tanque mezclador, sedimentador de flujo horizontal, dos filtros lentos y un lecho de secado. Estos procesos fueron planteados haciendo uso de la relación del índice de biodegradabilidad y para la selección del tratamiento se comprobó mediante la experimentación y caracterización físico-química y microbiológica final la depuración del efluente contaminado cumpliendo con los límites permisibles de la Norma TULSMA REGISTRO OFICIAL, ACUERDO MINISTERIAL N. 387, TABLA 09.
- La validación logró determinar que el sistema de tratamiento diseñado cumplirá con la eficiencia requerida, en base a los resultados de la caracterización final del agua residual cumpliendo con la Norma TULSMA REGISTRO OFICIAL, ACUERDO MINISTERIAL N. 387, TABLA 09.

- El costo estimado para la implementación y ejecución del proyecto es de \$ 54684.29 (cincuenta y cuatro mil seiscientos ochenta y cuatro dólares y veinte y nueve centavos) que incluye todas las infraestructuras, ingeniería civil para la construcción de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales. Así también el costo anual de los productos químicos para el tratamiento del agua residual es de \$ 1116.9 (mil ciento dieciséis dólares y nueve centavos)

## RECOMENDACIONES

- Los lodos generados en la planta de tratamientos de aguas residuales antes ser manejados aplicando el compostaje, como abono, relleno de terrenos, recuperación de terrenos agotados, los lodos deben ser analizados para conocer la concentración de químicos que contienen y de esta manera determinar si son óptimos para el compostaje.
- La dosificación del PAC-P15A y Chemfloc N-100 deberá hacerse con la cantidad calculada anteriormente para evitar que el agua pueda contaminarse por la presencia de este producto o no formar los flóculos adecuados para su sedimentación.
- Si existe un aumento de valor en las relación de DQO/DBO5 el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto seguirá siendo válido, pero si dicha relación disminuye se recomienda la implementación de un sistema tratamiento de degradación biológica.
- Se deberá realizar la caracterización física, química y microbiológica de manera periódica cada mes, para así verificar que el efluente cumpla con los parámetros establecidos en la Normativa TULSMA, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre 2015, Tabla 9.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUILAR, M.** *Tratamiento físico químico de aguas residuales: coagulación – floculación.* Murcia: Universidad de Murcia Servicio de Publicaciones, 2002.

**ALLENDE, A.** *Manual de tratamiento de aguas residuales.* Segunda. La habanna : Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, 1994.

**ARBOLEDA, JORGE.** *Teoría y práctica de la Purificación del Agua.* 3era. Bogotá : Mc Graw-Hill Interamericana, 2000. págs. 33-67, 300-333.

**ARTEAGA, Jhoselyn.** Tratamiento de Aguas Residuales. [En línea] 2014. [Citado el: 24 de Mayo de 2016.] <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresidual>.

**CABANILLA, Frank.** Medición de fluidos en canales abiertos con vertederos. [En línea] 10 de Septiembre de 2015. [Citado el: 04 de Junio de 2016.] <http://documents.mx/documents/medicion-de-fluidos-en-canales-abiertos-con-vertederos-corregidodocx.html>.

**CRITES, R.** *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones.* Bogotá-Colombia : McGraw Hil, 2000.

**GALÁN.P y HERNÁNDEZ, A.** PRETRATAMIENTO. [En línea] 2001. [Citado el: 05 de Octubre de 2017.] <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/pretratamiento.pdf>.

**GARCIA, Miguel.** AGUAS RESIDUALES. [En línea] 2001. [Citado el: 08 de 08 de 2017.] [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf).

**GIMENÉZ, Ricard.** *Mantenimiento y Servicios a la Producción.* Madrid : Anaya Multimedia, 2011.

**ISLAS, Ricardo.** *Proyectos de Plantas de Tratamiento de aguas .* España : Bellisco, 2005.

**METCALF & EDDY.** *Ingeniería de Aguas Residuales.* McGraw Hill : Madrid-España, 1992.

**OTERO, Natalia.** Filtración de Aguas Residuales para Reutilización. [En línea] [Citado el: 01 de Julio de 2017.] <ftp://tesis.bbt.ull.es/ccppytec/cp273.pdf>.

**POLO, José y TORRECILLAS , Aurora .** *Tratamientos Fisicos y Quimicos de Aguas Residuales .* Valencia : UPV, 2007. 49.

**POZO, Hugo.** *Texto Unificado de Legislacion Secundaria del Ministerio del Ambiente.* [En línea] 4 de Noviembre de 2015. [Citado el: 16 de Enero de 2017.] [http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/links\\_doc\\_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf](http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf).

**RAMALHO, Rubens.** *Tratamiento de Aguas Residuales.* Quebec : Reverte, 2003.

**RIGOLA, M.,** *Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Procesos y Aguas Residuales.* Barcelona. Maecombo.2005.

**REGLAMENTO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO.** *Tratamiento de Agua Residual.* [En línea] 2000. [Citado el: 25 de Mayo de 2017.] [http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf).

**ROJAS, R.** *Sistemas de tratamiento de aguas residuales: Gestión integral de tratamiento de aguas residuales .* Lima-Perú : CEPIS/OPS-OMS, 2002.

**ROJAS, R y GUEVARA, S.** *Construcción, operación y mantenimiento del Filtro de arena.* [ed.] OPS/CEPIS. Lima : 2000.

**ROMERO, Jairo.** *Calidad del Agua:Teoria y Principios de Diseño.* Bogota-Colombia : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

**SÁENZ, Rodolfo.** *Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente.* [En línea] 2005. [Citado el: 10 de Junio de 2017.] <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

## ANEXOS

### • Anexo A. Métodos y Técnicas utilizados para el análisis físico-químico del agua

ANÁLISIS FÍSICOS		
<b>CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA</b>	Equipo	Conductímetro
	Materiales	-Vasos de precipitación, agua destilada, muestra de agua y limpiadores.
	Procedimiento	-En un vaso de precipitación colocamos 100 ml de muestra de agua. -Lavar varias veces el electrodo con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar. -Determinamos el parámetro de medida ( <b>Cond</b> ) en el equipo y presionamos <b>READ</b> . Deje un tiempo hasta que la lectura sea estable. -Lea la medida de conductividad directamente de la pantalla. Además se medirá la temperatura. -Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.
<b>COLOR</b>	Equipo	Colorímetro
	Materiales	-Agua destilada, muestra de agua, limpiadores y cubetas.
	Procedimiento	-Preparación de la muestra; Colocar en la cubeta una muestra de agua hasta el nivel de aforo. -Preparación del blanco; Colocar en otra cubeta agua destilada hasta el nivel de aforo. -Proceder a medir en el instrumento.
<b>POTENCIAL HIDROGENO</b>	Equipo	Potenciómetro
	Materiales	-2 vasos de vidrio y limpiadores.
	Procedimiento	-Después que el equipo haya sido calibrado, ponga 100 ml de muestra en un vaso de 250ml. Introduzca el electrodo en el vaso, agitar y presione <b>READ</b> . -Deje un tiempo estable hasta que la lectura sea estable. Lea la medida de pH directamente de la pantalla. -Registre el valor. -Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Ponga el electrodo en el porta electrodo hasta volver a utilizar
<b>TURBIDEZ</b>	Equipo	Turbidímetro
	Materiales	-Cubetas de vidrio, limpiadores, aceite de silicona y muestra de agua.
	Procedimiento	-Coloque una muestra de agua en la cubeta hasta el nivel de aforo. -Cuidadosamente elimine cualquier residuo en el exterior de las cubetas usando toallas de papel con trazas de aceite de silicona. Las muestras con distribuciones de partículas grandes o desiguales deben leerse promediando las lecturas mínimas y máximas. Es preferible tener una muestra más uniforme, pero este método se usara si no hay otra forma de preparar la muestra. -Colocar cuidadosamente en el instrumento de medida con la señal hacia adelante, cerrar y presionar <b>READ</b> , esperar que se estabilice el instrumento.
	Equipo	-Conductímetro -Electrodos
	Materiales	-Vasos de precipitación, agua destilada, muestra de agua y limpiadores.
		-Lavar varias veces el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar.

<b>SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS</b>	Procedimiento	-Seleccionamos el parámetro de medida en la pantalla (STD) y presionamos READ. Deje un tiempo hasta que la lectura sea estable. Lea la medida de sólidos totales disueltos directamente de la pantalla. Además se medirá la temperatura. -Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.
<b>CLORO</b>	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
	Materiales y Reactivos	-Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml -Sobres de reactivo de cloro total DPD en polvo, 10ml -Pipeta, limpiadores y muestra de agua
	Procedimiento	-En un vaso de precipitación colocamos 100 ml de muestra de agua. -Lavar varias veces el electrodo con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar. -Determinamos el parámetro de medida ( <b>Cond</b> ) en el equipo y presionamos <b>READ</b> . Deje un tiempo hasta que la lectura sea estable. -Lea la medida de conductividad directamente de la pantalla. Además se medirá la temperatura. -Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.
<b>CROMO HEXANO</b>	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
	Materiales y Reactivos	-Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml -Sobres de reactivo cromo ChromaVer 3 en polvo -Limpiadores y muestra de agua
	Procedimiento	-Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 90 Cromo hex. -Preparar la muestra; llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml con muestra y añadir el contenido de un sobre de reactivo ChromaVer 3 en polvo. Agitar con rotación para mezclar. -Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos. -Preparación del blanco: llenar una cubeta cuadrada de una pulgada, con 10 ml de muestra. -Seleccionar en la pantalla: <b>Cero</b> , la pantalla indicará: 0.000mg/L Cr <sup>6+</sup> . -Seleccionar en la pantalla: <b>Medición</b> . El resultado aparecerá en mg/L Cr <sup>6+</sup> .
<b>DUREZA</b>	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
	Materiales y Reactivos	-Matraces de 125 ml -Buretas de 50 ml -Pipeta de 1-10 ml -Solución EDTA (0.02 N) -Se pesan 3.721 g de sal disódica del ácido etilendiaminotetracético y se disuelve a 1 litro de agua destilada.
	Procedimiento	-Tomar 50 ml de muestra, adicionamos 1 ml de solución tampón, agitar lentamente para que se mezcle, luego adicionamos unas gotas de indicador negro eriocromo T, si la coloración de la muestra es un rojo vino, procedemos a titular con la solución EDTA hasta cambio de coloración azul, indica que el agua tiene presencia de Sales de Calcio y Magnesio. por lo que la dureza es 0.0 ppm, también podemos afirmar que el agua es ablandada.
	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
		-Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml -Solución de reactivo SPANDS

<b>DUREZA</b>	Materiales y Reactivos	-Agua destilada, muestra de agua. pipeta volumétrica de 2 ml -Soporte universal, limpiadores, termómetro 10 a 100 o C
	Procedimiento	-Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 190 Fluoruro. -Preparar la muestra; llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml con muestra. -Preparación del blanco: llenar una cubeta cuadrada de una pulgada, con 10 ml de agua destilada. Pipetear 1 ml de reactivo SPANDS en cada cubeta, agitar varias veces para mezclar. -Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L F-. -Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L F_, proceder a registrar en valor.
<b>FLUORUROS</b>	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
	Materiales y Reactivos	-Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml -Solución de reactivo SPANDS -Agua destilada, muestra de agua. pipeta volumétrica de 2 ml -Soporte universal, limpiadores, termómetro 10 a 100 o C
	Procedimiento	-Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 190 Fluoruro. -Preparar la muestra; llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml con muestra. -Preparación del blanco: llenar una cubeta cuadrada de una pulgada, con 10 ml de agua destilada. Pipetear 1 ml de reactivo SPANDS en cada cubeta, agitar varias veces para mezclar. -Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L F-. -Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L F_, proceder a registrar en valor.
<b>HIERRO</b>	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
	Materiales y Reactivos	-Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml -Sobres de reactivo de hierro FerroVer en polvo -Tapón para cubeta, Limpiadores y muestra de agua
	Procedimiento	-Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 265 Hierro FerroVer. -Preparar la muestra; llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml con muestra. -Añadir el contenido de un sobre de hierro FerroVer en polvo., agitar, con rotación, para mezclar. -Preparación del blanco: llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada, con 10 ml de muestra. -Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.000mg/L Fe. -Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/L Fe.
<b>CLORUROS</b>	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
	Materiales y Reactivos	-Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml -Sobres de reactivo de Acido Ascórbico, AluVer 3, Bleaching 3 -Agua destilada, pipeta, muestra de agua y limpiadores
	Procedimiento	-Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 10 Aluminio, Alumin. -Colocar 50 mL de agua de la muestra en un matraz , añadir el contenido de un sobre de ácido ascórbico en polvo, taponar el matraz e invertir despacio varias veces para disolver el polvo, luego añadir el contenido de un sobre de reactivo de aluminio AluVer 3 en polvo, en presencia de aluminio se formará un color rojo – naranja, seleccionar el temporizador y pulsar OK, invertir el tubo repetidamente durante un minuto para disolver el polvo, si existe polvo sin disolver se obtendrán resultados erróneos (Solución A).

		<p>-Para preparar el blanco, llenar la cubeta cuadrada, con 10 ml de la solución A y añadir el contenido de un sobre de reactivo Bleaching 3 en polvo, presionar el temporizador y pulsar OK, -Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK. Comenzará un período de reacción de 15 minutos.</p> <p>-Preparar la muestra: Llenar la cubeta cuadrada con 10 mL de la solución A, limpiar bien el exterior de la cubeta.</p> <p>-Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0 mg/L Al <sup>3+</sup></p> <p>-Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Al <sup>3+</sup></p>
<b>SULFATOS</b>	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
	Materiales y Reactivos	<p>-Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</p> <p>-Sobres de reactivo de SulfaVer 4 en polvo</p> <p>-Agua destilada, pipeta, muestra de agua y limpiadores</p>
	Procedimiento	<p>-Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 680 Sulfate.</p> <p>-Preparar la muestra: Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo SulfaVer 4 en polvo. Agitar la cubeta varias veces, con rotación, para mezclar.</p> <p>-Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK, inmediatamente comienza un tiempo de reacción de 5 minutos.</p> <p>-Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de muestra.</p> <p>-Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</p> <p>-Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0 mg/L SO42-.</p> <p>-Dentro de los 5 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta con la marca de llenado hacia la derecha.</p> <p>-Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L SO42-.</p>
<b>SULFATOS</b>	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
	Materiales y Reactivos	<p>-Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</p> <p>-Sobres de reactivo de SulfaVer 4 en polvo</p> <p>-Agua destilada, pipeta, muestra de agua y limpiadores</p>
	Procedimiento	<p>-Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 680 Sulfate.</p> <p>-Preparar la muestra: Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo SulfaVer 4 en polvo. Agitar la cubeta varias veces, con rotación, para mezclar.</p> <p>-Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK, inmediatamente comienza un tiempo de reacción de 5 minutos.</p> <p>-Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de muestra.</p> <p>-Dentro de los 5 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta con la marca de llenado hacia la derecha.</p> <p>-Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L SO42-.</p>
<b>SULFATOS</b>	Equipo	Espectrofotómetro DR 2800
	Materiales y Reactivos	<p>-Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</p> <p>-Sobres de reactivo de NitraVer 3 en polvo, 10ml</p> <p>-Agua destilada, pipeta, muestra de agua y limpiadores</p>
		<p>-Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 371 N Nitrito RB PP.</p> <p>-Lavar las cubetas y la pipeta con la muestra antes de usarlas.</p>

	Procedimiento	<p>-Colocar con la pipeta 10 ml de muestra en la cubeta, añadir el contenido de un sobre de reactivo NitraVer 3. Agitar la cubeta con rotación, para mezclar. En presencia de nitrito aparecerá un color rosa.</p> <p>-Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK, inmediatamente comienza un tiempo de reacción de 20 minutos-Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada de una pulgada, con 10 ml de muestra..</p> <p>-Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.000mg/L NO2-N.</p> <p>-Limpiar bien el exterior de la cubeta (muestra y colocar el blanco en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</p> <p>-Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/L NO2-N.</p>
--	---------------	--

**Fuente:** MÉTODO HACH 2800, Laboratorio de Control de la Planta de Potabilización “Chaquishca”

• **Anexo B. Métodos y Técnicas utilizados para el análisis microbiológico del agua**

<b>COLIFORMES TOTALES</b>	<b>Equipo</b>	<b>-Cámara Incubadora y equipo de filtración</b>
	Materiales y Reactivos	<p>-Membranas de filtro 0.47</p> <p>-Reactivo m-COLI BLUE 24* BROTH</p> <p>-Cajas Petri de aluminio, limpiadores, alcohol antiséptico 700Gl, pinzas, termómetro, cronómetro, metanol, pat adsorbente, esferográfico, lente de aumento, tubo de grasa lubricante, pipetas plásticas Pasteur</p> <p>-Muestra de agua</p>
	Procedimiento	<p>- Todas las muestras deben ser incubadas dentro de 6 horas después del muestreo</p> <p>-Dispensar un pad en la caja petri esteril y saturar con MLSB. Aflojar el embudo de filtración y removerlo de la base. Esterilizar la pinza usando una llama y dejar enfriar. Usando esta pinza, colocar una membrana estéril en el soporte de bronce, con la cuadrícula hacia arriba. Si la membrana esta rasgada o contaminada, descartarla y usar una nueva. Poner la membrana aplastando el embudo firmemente hacia abajo. Poner la muestra de agua en el embudo hasta la marca de 100 ml. Colocar la bomba de vacío a la unidad de filtración y bombear para filtrar el agua a través de la membrana. Cuando toda el agua ha sido filtrada, liberar la bomba de vacío y usar la pinza estéril para tomar la membrana de la unidad de filtración. Usar la pinza estéril para retirar la membrana de la unidad de filtración. Poner la membrana sobre el pad que se encuentre saturado con el medio de cultivo MLSB. Tapar la caja petri y etiquetarla con el número de muestra, lugar, fecha, hora, etc.</p> <p>-Poner la caja petri en el soporte y repetir el proceso para todas las muestras, entonces colocar el soporte en la incubadora.</p> <p>-Es importante que cuando la última muestra ha sido procesada, un periodo de resucitación de 1 a 4 horas debe ser esperado antes de la incubación. Esto permite que algunos coliformes fisiológicamente estresados se recuperen antes del cultivo.</p> <p>-Para encubar coliformes fecales, seleccionar la temperatura de 44 Cy poner el soporte con las cajas petri dentro de la incubadora. Para análisis de coliformes totales, seleccionar la temperatura de 37 C</p>
<b>COLIFORMES FECALES</b>	Equipo	-Cámara Incubadora y equipo de filtración
	Materiales y Reactivos	<p>-Membranas de filtro 0.47</p> <p>-Medio de cultivo Lauryl Sulfato</p> <p>-Cajas Petri, limpiadores, alcohol antiséptico 700Gl, pinza, termómetro, cronómetro, metanol, pads adsorbentes, reverbero, muestra de agua, medidor de medio de cultivo, tubo de grasa lubricante, esferográfico y lente de aumento</p>
	Procedimiento	<p>- Todas las muestras deben ser incubadas dentro de 6 horas después del muestreo</p> <p>-Dispensar un pad en la caja petri esteril y saturar con MLSB. Aflojar el embudo de filtración y removerlo de la base</p>

	<p>-Esterilizar la pinza usando una llama y dejar enfriar. Usando esta pinza, colocar una membrana estéril en el soporte de bronce, con la cuadrícula hacia arriba. Si la membrana esta rasgada o contaminada, descartarla y usar una nueva. Poner la membrana aplastando el embudo firmemente hacia abajo. Poner la muestra de agua en el embudo hasta la marca de 100 ml. Colocar la bomba de vacío a la unidad de filtración y bombear para filtrar el agua a través de la membrana. Cuando toda el agua ha sido filtrada, liberar la bomba de vacío y usar la pinza estéril para tomar la membrana de la unidad de filtración..Usar la pinza estéril para retirar la membrana de la unidad de filtración. Poner la membrana sobre el pad que se encuentre saturado con el medio de cultivo MLSB. Tapar la caja petri y etiquetarla con el número de muestra, lugar, fecha, hora, etc. Poner la caja petri en el soporte y repetir el proceso para todas las muestras, entonces colocar el soporte en la incubadora. Es importante que cuando la última muestra ha sido procesada, un periodo de resucitación de 1 a 4 horas debe ser esperado antes de la incubación. Esto permite que algunos coliformes fisiológicamente estresados se recuperen antes del cultivo. Para encubar coliformes fecales, seleccionar la temperatura de 44 Cy poner el soporte con las cajas petri dentro de la incubadora. Para análisis de coliformes totales, seleccionar la temperatura de 37 C</p>
--	--

**Fuente:** MÉTODO HACH 2800, Laboratorio de Control de la Planta de Potabilización “Chaquishca

## **Anexo C. Manual de operación y mantenimiento**

### **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

#### **1. Objetivo**

Este manual de tiene por objetivo conocer la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y de esta manera establecer el cumplimiento de la normativa.

#### **2. Alcance**

Este sistema de tratamiento de aguas residuales se empleará en la Parroquia Salinas , ubicada en la provincia de Bolívar, cantón Guaranda.

#### **3. Responsabilidades**

El gerente de la empresa, que delegara responsabilidades y autoridad al personal capacitado y tomara decisiones que permitirán el cumplimiento de los reglamentos para el correcto funcionamiento de planta de tratamiento de aguas residuales.

El técnico a cargo, supervisara el correcto funcionamiento de los componentes físicos y también tomara acciones preventivas y correctivas en los procesos de ser necesario.

El personal operativo, mantendrá el funcionamiento adecuado de todos los procesos y estará a cargo del mantenimiento de la planta e informara al técnico todas las novedades encontradas.

#### **4. Descripción del proceso**

##### **4.1 Rejillas**

Presenta las siguientes dimensiones: ancho de 0.50m , barras de acero con un espeso de 0.0127m, con ángulo de inclinación de las rejillas de 60°

##### **4.2 desarenador**

Las dimensiones del desarenador son: de longitud de 3.13m, de altura de 3.5m y un volumen de 16.33 m<sup>3</sup>.

##### **4.3 Tanque Mezclador**

el tanque de almacenamiento tiene un diámetro de 2.87 m , un volumen 21.6 m<sup>3</sup> y en su interior cuenta con un agitador de seis paletas con agitación de 1.67rev/s .

##### **4.4 Sedimentador de flujo horizontal**

El sedimentador tiene las siguientes medidas: 8,84m de longitud, un tiempo de retención de 41.15 min y 2.5 m de ancho.

#### **4.5 Filtro de grava y carbón**

Con dos unidades de dimensiones cada una de 4.23 m de longitud, 1.83m de ancho y un volumen de 20.82 m<sup>3</sup> y una área de filtración de 35. 84 m<sup>2</sup>.

#### **4.6 Lecho de secado**

Es un tanque cuadrado de 13.80 m<sup>3</sup> de volumen, de una área de secado de 34.5 m<sup>2</sup>, 6.9 m de longitud y 5m de ancho.

### **5. PLAN DE MANTENIENDO PREVENTIVO**

#### **5.1. Verificación periódica**

Para evitar el deterioro y mal funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales es necesario una revisión periódica ante posibles inconvenientes, mediante inspecciones a los procesos y caracterizaciones del agua residual y tratada para verificación de la correcta operación de la planta.

#### **5.2. Manteamiento periódico**

Realizar inspecciones a las instalaciones y áreas de trabajo, para la remoción de dispositivos que taponen los procesos.

#### **5.3. Herramientas para el mantenimiento**

- Taladro
- Carretilla
- Cierra eléctrica
- Palas
- Carretilla
- Mangueras y baldes
- Martillos
- Pinzas y alicates
- Rastrillo

#### **5.4. Equipo de protección para los operadores**

- Botas de caucho
- Casco de protección
- Mascarilla

- Gafas protectoras
- Guantes
- Protección del oído
- Mandil o ropa impermeable

#### **5.5. Suministros extras**

- Kit de primeros auxilios
- Extintor
- Señalética de seguridad
- Regadera

### **6. PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Sustitución de las bombas, tuberías, por roturas u obstrucciones, pintado en puntos de desgaste. El mantenimiento se realizara en periodos extensos siendo anuales o en momentos emergentes.

### **7. MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN**

#### **7.1. Rejillas**

En las rejillas se debe realizar el mantenimiento como mínimo cada semana y cada año se recomienda revisar el estado de las rejillas para ver si se encuentra corrosión de ser el caso se debe reparar, limpiar y pintar. Pueden ser limpiadas con un rastrillo metálico elaborado especialmente para evitar la obstrucción del flujo de agua, disponer de los materiales ya escurridos de manera adecuada y mantenerla limpia.

#### **7.2. Desarenador**

Para la operación y mantenimiento del desarenador se debe llevar una vigilancia de los caudales que ingresan hacia la planta de tratamiento, periódicamente se debe drenar el desarenador para que no exista grandes acumulaciones de los sedimentos que y poder felicitar el mantenimiento, también se recomienda construir el desarenador con doble canal para no interrumpir el proceso de tratamiento y facilitar su limpieza, cada año se deben revisar las placas metálicas que trabajan como compuertas tomando en cuenta que se pueden oxidar y deformar.

#### **7.3. Tanque mezclador**

Para el mantenimiento del tanque mezclador se recomienda una limpieza semanal del agitador de seis paletas el tanque constara con sistema de medida del nivel del agua que permitirá el funcionamiento cuando se llegue al volumen adecuado para que inicie la coagulación y la floculación. Para la operación del tanque debe contar con válvulas y compuertas que permitan el manejo tanto del agua tratada como de los lodos.

#### **7.4. Sedimentador de flujo horizontal**

Se recomienda prevenir todo tipo sólidos flotantes , de espumas, y cualquier tipo de material así como de material adherido a las paredes de concreto y superficies metálicas con el cual los sólidos están en contacto. El material tiende a acumularse rápidamente sobre la superficie del tanque y debe ser removido con el propósito de no afectar la calidad de los efluentes, motivo por el cual ésta acción debe recibir una atención diaria procurando retirar todo el material que existe en la superficie del área de sedimentación.

Semanalmente o cuando las circunstancias lo requieran, los sólidos depositados en las paredes del sedimentador deben ser retirados inmediatamente. La grasa y los sólidos acumulados en las paredes a la altura de la línea de agua deben ser removidos.

Las estructuras de entrada y salida deben limpiarse periódicamente, así mismo los canales de alimentación de agua residual deben limpiarse una vez concluida la maniobra de cambio de alimentación con el propósito de impedir la proliferación de insectos o la emanación de malos olores.

#### **7.5. Filtros de grava y carbón**

Para un correcto funcionamiento de los filtros se lavará o cambiará si es necesario la grava y el carbón al menos dos veces al año, pero esto dependerá de la cantidad de material que se encuentre retenido y también se debe tomar en cuenta la calidad de grava o piedra usada sea la apropiada, por lo que se recomienda una piedra cuarzítica que no sea pizarrosa peor aún de material que se disgregue con facilidad, se debe inspeccionar que esté limpio de materiales finos como arcilla que llegan a interrumpir el paso del agua por el relleno de grava se puede taponar. Los canales de recolección del agua se deben tener un mantenimiento quincenalmente para de esta manera no provocar focos de infección.

## **7.6. Lecho de secado**

.Los lodos se deben verter hacia los lechos de secado en verano o en la temporada seca, se deben extender en el lecho de secado manteniendo una profundidad de 20 cm como máximo, nunca se debe poner más lodo en el lecho de secado sin antes haber retirado totalmente el lodo anteriormente puesto a secar, luego de retirar el lodo seco se debe limpiar el lecho de secado.

## APÉNDICE

### a. Registro de capacitación a operadores

Registro de capacitación					
Responsable:				Fecha :	
Número de registro			N°		
Cpacificacion					
Temas a tratar					
Personal capacitado					
Cantidad	apellidos	Nombre	Firma	c.i	área
1					
2					
3					
4					
5					
Responsable de la capacitación					
apellidos		Nombre		c.i	area
					Hora de inicio
Responsable del registro					
apellidos		Nombre		c.i	Area
					Hora de llegada

**b. Registro de operación de proceso**

Registro de operación:				
Razón:		Fecha:		
Responsable:				
Proceso:				
Código	Hora	Caudal(L/s)	Turbiedad efluente	Nº Unidad
Observaciones				
			Aprobado por : Técnico Fecha :	Aprobado por : Gerente Fecha :

**c. Registro de mantenimiento**

Actividades de Mantenimiento 1.-informacion del suceso Fecha _____ (día)/ _____ (mes)/ _____ (año). Hora de inicio de la tarea. _____ (AM/PM) Hora de término de la tarea _____ (AM/PM). 2.-Objeto de mantención Instalación <input type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Equipo <input type="checkbox"/> Nombre _____ 3.-Tipo de mantención Preventiva <input type="checkbox"/> Correctiva <input type="checkbox"/> 4.- Descripción de la actividad efectuada        5.- Recursos involucrados RRHH						
<b>NOMBRE</b>	<b>CARGO</b>	<b>N° HORAS TRAJADAS</b>				
Materiales Empleados  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Recursos</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Unidades</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td></td> </tr> </table>			Recursos	Unidades		
Recursos	Unidades					
Aprobado por : Técnico Fecha :		Aprobado por : Gerente Fecha :				

**d. Registro de extracción de lodos**

<b>Registro de extracción de lodos</b>			
<b>Razón:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Responsable :</b>			
<b>Componente de la planta</b>			
<b>Código</b>	<b>Cantidad de lodos extraídos (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Disposición final</b>
<b>Observaciones:</b>			
		<b>Aprobado por :</b> Técnico	<b>Aprobado por :</b> Gerente
		<b>Fecha :</b>	<b>Fecha :</b>

## Anexo D. Fichas Técnicas de Productos Químicos

JP QUIMICA S.C.C.

Via Amaguaña, Molinos de Yienno- Calle Suezho Puzza s/n -Santiago

PAC - P25A

### BOLETIN TECNICO PAC -P25A

#### BENEFICIOS:

- Policloruro de Aluminio utilizado para clarificar agua, para consumo.
- Es totalmente soluble en agua. No ocasiona taponamientos, ni incrustaciones.
- Reemplaza el uso de alumbre y otros coagulantes inorgánicos.
- Efectivo en aguas con alta y baja turbidez.
- Resistente al cloro, puede usarse en sistema con pre-cloración, sin reducción en su actividad.
- Rango de pH en el que la eficiencia del producto es óptima entre: 8,5 – 12.0

#### USOS PRINCIPALES:

- Es una formulación de polímeros orgánicos e inorgánicos diseñado para clarificar agua de alta y baja turbidez con PH alcalino.
- Funciona extrayendo los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua, por procesos de coagulación.
- Trabaja con el uso adicional de un floculante orgánico para dar peso suficiente al floculo formado por la aglomeración de varios coloides para asentarse con la rapidez deseada.

#### CARACTERÍSTICAS:

Apariencia:	Líquido ligeramente marrón
Grav. Esp. A 25°C:	1.24 ± 0.01
PH puro:	Menor a 1
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	12.0 – 18.0

**DOSIS:**

La dosis del PAC – P25A en general está en función de la turbidez y pH del agua, pudiendo variar entre 20 a 350 ppm en la potabilización de agua; para determinar la dosis óptima se requiere aplicar el Producto diluido hasta que el agua se encuentre en un rango entre: 6,8 a 6,5 observando el punto de mejor clarificación por el tamaño y peso del floculo. Se debe evitar la sobredosificación porque el exceso de químico en el agua genera lodo muy liviano y el pH baja rápidamente, lo que puede producir agua muy ácida si no existe adecuado control.

**APLICACIÓN:**

- Debe aplicarse a la línea de agua en su forma original o en dilución dependiendo de las dosis y el Caudal a tratar.
- Para su máxima eficiencia se inyecta a una distancia prudencial del clarificador y en agua pre-clorada.

**MANEJO:**

- Se recomienda el uso de guantes de caucho y de anteojos de seguridad.
- Puede causar irritación a la piel y a los ojos por lo que hay que evitar el contacto prolongado o repetido con la piel.

**ALMACENAMIENTO:**

- Almacene el producto en recipientes plásticos cerrados.
- No es explosivo.
- Manténgase alejado del personal no autorizado.

**SUMINISTRO:**

- Se suministra en tambores plásticos de 250 Kg. peso neto.
- Se suministra en canecas de 30 Kg o 40 Kg Peso neto.

**ANEXO E. Resultado de análisis**

RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO AGUA RESIDUAL PARROQUIA SALINAS							
PARÁMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA	MES MONITOREADO				PROM
		Lim.Max.Per	04-oct	12-oct	20-oct	27-oct	
COLOR	UTC	lna. en dis	170,36	146,21	156,89	139,64	153,28
TURBIEDAD	NTU	.....	85,07	64,21	74,96	62,43	71,67
pH	.....	6 - 9	7,46	7,52	7,23	7,57	7,45
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	uS/cm	.....	620,80	860,50	694,53	605,43	695,32
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	1600	245,81	242,88	264,69	246,32	249,93
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	130	176,38	182,64	149,47	164,38	168,22
TEMPERATURA	°C	Cond. + 3	19,70	19,74	19,58	19,67	19,67
ACEITES Y GRASAS	mg/L	30,00	2,80	2,86	2,83	2,88	2,84
TENSOACTIVOS	mg/L	0,50	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	50,0	29,60	24,69	19,18	24,60	24,52
FOSFORO TOTAL	mg/L	10,0	11,45	11,67	11,68	11,70	11,63
NITROGENO AMONICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	30,0	13,47	14,68	15,07	15,63	14,71
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	11,00	13,00	11,00	14,00	12,25
FLUORUROS (F)	mg/L	5,0	1,48	1,49	1,96	1,74	1,67
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10,0	10,93	10,43	12,26	11,73	11,34
MANGANESO TOTAL	mg/L	2,0	2,530	2,810	2,170	2,910	2,605
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,5	0,42	0,37	0,44	0,42	0,41
COBRE (Cu)	mg/L	1,0	0,24	0,26	0,21	0,27	0,25
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	500,00	480,00	400,00	460,00	460,00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5,0	0,036	0,030	0,036	0,040	0,036
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	140,20	144,54	145,26	137,30	141,83
NIOBEL (Ni)	mg/L	2,0	0,26	0,22	0,23	0,37	0,27
COBALTO (Co)	mg/L	0,5	0,34	0,36	0,33	0,37	0,35
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,2	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5,0	0,45	0,44	0,45	0,47	0,45
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2,0	2,54	2,12	2,98	3,08	2,68
BROMO (Br)	mg/L	.....	0,006	0,007	0,007	0,006	0,007
BORO (B)	mg/L	2,0	1,46	1,29	1,43	1,37	1,39
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0,007	0,008	0,008	0,007	0,008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0,14	0,10	0,14	0,12	0,13
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	0,45	0,53	0,48	0,27	0,43
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	2000	5510	3570	5630	4712	4855,50
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	260,00	251,00	225,00	250,00	246,50
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	200	602,00	517,00	656,00	546,00	580,25

LIMITES PERMISIBLES BASADOS EN LA NORMA TULSMA, TABLA 9, DESCARGA A UN CUERPO DULCE

NOTA: No está permitido sacar fotocopias de este documento sin autorización de la EP-EMAPA-G

ING. QUI. RAUL ALIÁN  
Técnico Control de Calidad E.P.-EMAPA-G

ep-emapag  
TEC. SCH-LAB

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE GUARANDA  
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD



**RESULTADOS ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO  
AGUA RESIDUAL PARROQUIA SALINAS**

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA	MES MONITOREADO				PROM
		Lim.Max.Per	02-nov	10-nov	18-nov	24-nov	
COLOR	UTC	Ina. en dis	160,85	159,34	164,08	155,69	159,99
TURBIEDAD	NTU	.....	70,68	73,60	76,80	75,48	74,14
pH	.....	6-9	7,56	7,45	7,68	7,54	7,56
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	uS/cm	.....	630,57	720,5	640,81	620,96	653,21
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	1600	280,64	265,08	263,90	270,98	270,15
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	130	180,64	165,08	190,63	198,07	183,61
TEMPERATURA	°C	Cond. +3	19,84	19,67	19,46	19,37	19,59
ACEITES Y GRASAS	mg/L	30,00	2,86	2,84	2,80	2,91	2,85
TENSOACTIVOS	mg/L	0,50	0,10	0,08	0,10	0,12	0,10
NITROGENO TOTAL (N)	mg/L	50,0	20,73	20,71	19,53	19,26	20,06
FOSFORO TOTAL	mg/L	10,0	11,15	11,92	11,42	11,45	11,49
NITROGENO AMONICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	30,0	12,81	13,42	13,26	13,05	13,14
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	13,00	12,00	12,00	11,00	12,00
FLUORUROS (F)	mg/L	5,0	1,46	1,48	1,51	1,54	1,50
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10,0	11,64	11,63	11,85	11,74	11,72
MANGANESO TOTAL	mg/L	2,0	2,450	2,630	2,37	2,46	2,478
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,5	0,42	0,35	0,40	0,39	0,39
COBRE (Cu)	mg/L	1,0	0,25	0,22	0,20	0,27	0,24
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	480,00	460,00	510,00	490,00	485,00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5,0	0,030	0,036	0,034	0,031	0,033
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	136,57	139,67	135,800	137,060	137,28
NIQUEL (Ni)	mg/L	2,0	0,28	0,30	0,34	0,33	0,31
COBALTO (Co)	mg/L	0,5	0,31	0,32	0,34	0,32	0,32
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,2	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5,0	0,49	0,47	0,52	0,50	0,50
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2,0	2,61	3,01	3,41	3,02	3,01
BROMO (Br)	mg/L	.....	0,007	0,008	0,007	0,008	0,008
BORO (B)	mg/L	2,0	1,36	1,45	1,38	1,40	1,40
MOIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0,15	0,17	0,21	0,19	0,18
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	0,22	0,24	0,22	0,29	0,24
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	2000	3380	4362	3360	5365	4116,75
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	250,00	326,00	280,00	324,00	295,00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	200	853,00	915,00	889,00	928,00	896,25

LIMITES PERMISIBLES BASADOS EN LA NORMA TULSMA, TABLA 9, DESCARGA A UN CUERPO DULCE

NOTA: No está permitido sacar fotocopias de este documento sin autorización de la EP-EMAPA-G

ING. QUI. RAUL ALLAN  
Técnico Control de Calidad E.P.-EMAPA-G





## PRUEBAS DE JARRAS EFECTUADAS A LA MUESTRA COMPUESTA

TURBIEDAD 72.90 NTU, [pHo=7.50, pHf=7.08], rpm=200

Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,02	10,00	5,00	17,24	11,20	68,94	5,43
0,80	0,02	20,00	10,00	13,54	8,53	61,53	15,60
0,80	0,02	30,00	15,00	10,28	6,27	54,12	25,76
0,80	0,02	40,00	20,00	16,82	9,92	46,71	35,93
0,80	0,03	10,00	5,00	13,36	7,62	39,30	46,09
0,80	0,03	20,00	10,00	10,20	5,61	31,89	56,26
0,80	0,03	30,00	15,00	20,56	10,90	24,48	66,42
0,80	0,03	40,00	20,00	14,00	7,14	17,07	76,58
0,80	0,04	10,00	5,00	12,56	6,15	9,66	86,75
0,80	0,04	20,00	10,00	11,93	5,60	2,25	96,91
0,80	0,04	30,00	15,00	2,61	1,17	0,58	99,20
0,80	0,04	40,00	20,00	5,16	2,22	0,89	98,78
0,80	0,05	10,00	5,00	8,52	3,49	1,20	98,35
0,80	0,05	20,00	10,00	12,68	4,95	1,51	97,93
0,80	0,05	30,00	15,00	17,65	6,53	1,82	97,50
0,80	0,05	40,00	20,00	23,43	8,20	2,13	97,08

EMPRESA MUNICIPAL  
DE AGUA POTABLE Y  
ALCANTARILLADO DE  
GUARANDA  
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD

ING. QUI RAUL ALAN

Técnico Control de Calidad E.P.-EMAPA-G

ep-emapa-g  
Ing. Qui Raul Alan  
T.E.C. SCH-LA-3

 PRUEBAS DE JARRAS EFECTUADAS A LA MUESTRA COMPUESTA

TURBIEDAD: 72.90 NTU, (pH=7.50, pHf=7.34), rpm=200

Conc. Auxiliar	Conc. Sulfato	Dosis Sulfato (ml.)	Dosis Aux (ml.)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0.80	0.02	20	10	11.37	7.85	14.58	80.00
0.80	0.02	40	20	13.58	9.91	16.77	77.00
0.80	0.02	60	30	15.92	12.26	18.95	74.00
0.80	0.02	80	40	18.39	14.90	21.14	71.00
0.80	0.03	20	10	21.00	17.85	23.33	68.00
0.80	0.03	40	20	23.73	21.12	25.52	65.00
0.80	0.03	60	30	26.59	24.73	27.70	62.00
0.80	0.03	80	40	29.59	28.70	29.89	59.00
0.80	0.04	20	10	32.72	33.04	32.08	56.00
0.80	0.04	40	20	35.98	37.77	34.26	53.00
0.80	0.04	60	30	39.37	42.91	36.45	50.00
0.80	0.04	80	40	42.89	48.46	38.64	47.00
0.80	0.05	20	10	46.54	54.45	40.82	44.00
0.80	0.05	40	20	50.32	60.89	43.01	41.00
0.80	0.05	60	30	54.24	67.80	45.20	38.00
0.80	0.05	80	40	58.18	75.19	47.39	35.00

*ng*  
 Ing. Qui. Raul Allan  
 Técnico Control de Calidad E.P. EMAPAG





CALIDAD DEL AGUA | RESIDUAL VS TRATADA | LUEGO DE ENSAYOS

PARAMETROS	UNIDAD	Agua Residual			Agua Tratada	Norma TULSMA
		Promedio Octubre	Promedio Noviembre	Muestra Compuesta		Lim. Max. Per
COLOR	UTC	153,28	159,99	156,63	1,00	-----
TURBIEDAD	NTU	71,67	74,14	72,90	0,58	-----
pH	-----	7,45	7,56	7,50	7,08	-----
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	uS/cm	695,32	653,21	674,26	96,70	-----
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	249,93	270,15	260,04	40,78	1600
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	168,22	183,605	175,91	2,89	130
TEMPERATURA	° C	19,67	19,59	19,63	15,70	Cond ± 3
ACEITES Y GRASAS	mg/L	2,84	2,85	2,85	2,42	30,00
TENSOACTIVOS	mg/L	0,08	0,10	0,09	0,04	0,50
NITROGENO TOTAL (N)	mg/L	24,52	20,06	22,29	1,24	50,0
FOSFORO TOTAL	mg/L	11,625	11,49	11,56	0,15	10,0
NITROGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	14,71	13,14	13,92	0,02	30,0
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	12,25	12	12,13	10	1000
FLUORUROS (F)	mg/L	1,67	1,50	1,58	0,66	5,0
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	11,34	11,72	11,53	0,26	10,0
MANGANESO TOTAL	mg/L	2,605	2,478	2,54	0,12	2,0
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,413	0,39	0,40	0,008	0,5
COBRE (Cu)	mg/L	0,245	0,24	0,24	0,045	1,0
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	460,00	485	472,50	110,00	-----
ALUMINIO (Al <sup>++</sup> )	mg/L	0,036	0,03	0,03	0,008	5,0
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	141,825	137,28	139,55	10,16	1000
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,27	0,31	0,29	0,16	2,0
COBALTO (Co)	mg/L	0,35	0,32	0,34	0,20	0,5
PLOMO (Pb <sup>++</sup> )	mg/L	0,009	0,01	0,01	0,007	0,2
ZINC (Zn <sup>++</sup> )	mg/L	0,45	0,50	0,47	0,38	5,0
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1
BARIO (Ba <sup>++</sup> )	mg/L	3,61	3,69	3,65	0,99	2,0
BROMO (Br)	mg/L	0,007	0,008	0,007	0,007	-----
BORO (B)	mg/L	1,39	1,40	1,39	1,10	2
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	0,008	0,008	0,008	0,007	-----
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,13	0,18	0,15	0,15	-----
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	0,43	0,24	0,34	6,25	-----
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	905,00	827,50	866,25	< 1**	-----
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4116,75	4855,50	4486,13	< 1**	2000
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	246,50	295,00	270,75	< 30	100
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	580,25	896,25	738,25	4,50	250

*Ing. Qui. S. S. S. S.*  
 Técnico Control de Calidad E.P.-EMAPA-G



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE

ep-emar  
 Ing. Qui. S. S. S. S.  
 T.C.C. S.