



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LA PARROQUIA QUÍMIAG CANTÓN  
RIOBAMBA”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: ANITA VALERIA NARVÁEZ GUAMÁN**

**TUTOR: ING. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS**

**Riobamba – Ecuador**

**2016**

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

El Tribunal del Trabajo de titulación certifica que, el trabajo de investigación **REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA QUÍMIAG CANTÓN RIOBAMBA**, de responsabilidad de la señorita Anita Valeria Narváez Guamán, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de titulación quedando autorizado su presentación.

	<b>FECHA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Marco Chuiza <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	.....	.....
Ing. Mario Villacrés <b>ASCESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	.....	.....
Ing. José Usiña <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	.....	.....

## **DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD**

Yo, Anita Valeria Narváez Guamán, 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, 21 de Junio del 2016

Anita Valeria Narváez Guamán  
0605186923

Yo “Anita Valeria Narváez Guamán”, autora y ejecutora del presente proyecto de titulación me responsabilizo de las opiniones, pensamientos y resultados expuestos en la presente investigación, siendo la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo dueña intelectual de la misma.

---

ANITA VALERIA NARVÁEZ GUAMÁN

## **DEDICATORIA**

Principalmente a mi Padre Celestial por todas las grandes bendiciones que ha tenido hacia mí, todo este tiempo y en el venidero, además dedico a mi Esposo e Hijo, quienes han sido una constante fuente de apoyo y estímulo durante este periodo de mi vida. Estoy sinceramente agradecida por tenerles en mi vida.

Además dedicado a mis padres, María y Fabián, que siempre me han apoyado incondicionalmente, han sido mi modelo a seguir para el trabajo duro, persistencia y sacrificio, y me inculcaron la inspiración para establecer metas altas y la confianza necesaria para alcanzarlos.

Anita

## **AGRADECIMIENTO**

A mi padre celestial ya que ha guiado mi camino día a día, y me ha bendecido con sabiduría lo cual me permitió llegar a culminar una etapa más de mi vida.

A mis adorados padres Fabián y María, ya que son el pilar fundamental de mi vida que son su esfuerzo y su sacrificio constante definieron esta meta culminada, a mi madre en especial ya que fue un ejemplo de perseverancia y lucha constante.

A mi Esposo e Hijo Alex y Jostin, por su apoyo incondicional y compartir conmigo muchos momentos llenos de felicidad y amor ya que han hecho un matiz distinto a mi vida con su amor, su comprensión y compañía, además ser mi inspiración diaria para continuar con el progreso de nuestra familia.

A todas mis amigas quienes fueron mis confidentes con quienes he compartido mis alegrías y tristezas.

A la JUNTA PARROQUIAL DE QUÍMIAG quienes me brindaron el auspicio para la realización de este trabajo en especial para el Presidente de la Junta Parroquial Lic. Hugo Quiroz por su valiosa colaboración y confianza en el trabajo realizado.

Al Ing. Marco Chuiza, Director del Trabajo de titulación y al Ing. Mario Villacres, asesor del Trabajo de Titulación, quienes aportaron sus amplios conocimiento para lograr la culminación de este trabajo.

De igual manera un gran agradecimiento a la EP-Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de Guaranda y a la dirección de Ing. Raúl Allan quien colaboro con sus conocimientos para la realización y culminación de este trabajo.

A todas aquellas personas que han formado parte esencial en mi vida, quienes con sus consejos y su aliento comparten mi alegría de una meta cumplida.

Anita

## CONTENIDO

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	xvii

### CAPÍTULO I

<b>1 Marco Teórico Referencial.....</b>	<b>1</b>
1.1 Agua potable .....	1
1.2 Características del agua .....	1
1.2.1 Características físicas .....	1
1.2.2 Características químicas .....	3
1.2.3 Características bacteriológicas o microbiológicas .....	6
1.3 Fuentes de agua .....	6
1.3.1 Aguas Superficiales.....	7
1.3.2 Aguas Subterráneas.....	8
1.4 Calidad del agua potable.....	9
1.5 Plantas potabilizadoras .....	9
1.6 Rediseño de una planta de tratamiento de agua.....	10
1.7 Condiciones generales para el rediseño.....	10
1.8 Principales componentes de una planta de tratamiento .....	11
1.9 Rediseño de una planta de Tratamiento de Agua Potable convencional.....	12
1.9.1 Aireación .....	12
1.9.1.1 Tipos de Aireadores .....	13
1.9.1.1.1 Aireadores de cascada.....	13
1.9.1.1.2 Aireadores de Bandejas.....	13
1.9.1.2 Parámetros para dimensionar un aireador de bandejas .....	14
1.9.2 Mezcla Rápida .....	16
1.9.2.1 Vertederos Triangulares de Thomson de 90°.....	17
1.9.2.1.1 Parámetros de diseño para un vertedero triangular .....	17
1.9.2.2 Canaleta Parshall.....	22
1.9.2.2.1 Parámetros de diseño para una canaleta Parshall.....	22
1.9.3 Coagulación.....	29

1.9.3.1	<i>Factores que Influyen en la Coagulación</i> .....	29
1.9.3.2	<i>Dosificación de coagulante</i> .....	30
1.9.3.3	<i>Determinación de la dosificación de PAC</i> .....	31
1.9.4	<i>Floculación</i> .....	31
1.9.4.1	<i>Unidades de flujo horizontal</i> .....	32
1.9.4.2	<i>Unidades de Flujo Vertical</i> .....	33
1.9.4.3	<i>Parámetros de diseño floculador de flujo horizontal</i> .....	33
1.9.5	<i>Sedimentación</i> .....	38
1.9.5.1	<i>Componentes de un sedimentador:</i> .....	39
1.9.5.2	<i>Tipos de Sedimentadores</i> .....	40
1.9.5.3	<i>Parámetros para el diseño de un sedimentador</i> .....	41
1.9.6	<i>Filtración</i> .....	46
1.9.6.1	<i>Tipos de filtros</i> .....	46
1.9.6.2	<i>Parámetros que se consideran para el diseño de un filtro lento de arena</i> .....	48
1.9.7	<i>Desinfección</i> .....	54
1.9.7.1	<i>Métodos de desinfección</i> .....	55
1.9.7.2	<i>Parámetros de diseño para el proceso de desinfección</i> .....	55

## **CAPITULO II**

<b>2</b>	<b>Parte Experimental</b> .....	<b>58</b>
2.1	<i>Diagnóstico del estado actual de la planta</i> .....	58
2.1.1	<i>Visita In situ</i> .....	58
2.1.1.1	<i>Localización de la investigación</i> .....	59
2.1.1.2	<i>Recopilación de la Información</i> .....	60
2.1.2	<i>Caracterización del agua</i> .....	64
2.2	<i>Parámetros fuera de Norma INEN 1108:2006</i> .....	65
2.3	<i>Pruebas de tratabilidad</i> .....	67

## **CAPITULO III**

<b>3</b>	<b>Cálculos y Resultados</b> .....	<b>69</b>
3.1	<i>Cálculos de rediseño</i> .....	69
3.1.1	<i>Cálculos de Ingeniería</i> .....	69
3.1.1.1	<i>Diseño de un aireador de bandejas</i> .....	69
3.1.1.2	<i>Dimensionamiento del vertedero triangular</i> .....	73

3.1.1.3	<i>Cálculo de la concentración de PAC</i> .....	78
3.1.1.4	<i>Cálculo de la concentración del auxiliar aniónico (CHEMFLOC)</i> .....	79
3.1.1.5	<i>Diseño de canaleta Parshall</i> .....	81
3.1.1.6	<i>Diseño del Floculador de Flujo Horizontal</i> .....	87
3.1.1.7	<i>Diseño del Sedimentador de Alta Tasa</i> .....	92
3.1.1.8	<i>Diseño de Filtros lentos en arena</i> .....	97
3.1.1.9	<i>Desinfección</i> .....	103
3.1.2	Capacidad de la Planta .....	106
3.1.3	Capacidad total de la planta .....	107
3.1.4	Tipos de Materiales y Controles .....	107
3.1.5	Presupuesto del Rediseño .....	108
3.2	<i>Resultados</i> .....	111
3.2.1	Especificación de los equipos del Rediseño .....	111
3.3	<i>Análisis y Discusión de los resultados</i> .....	115

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

## ÍNDICE DE ABREVIATURA

<b>C</b>	Concentración
<b>CVR</b>	Constante del volumen de regulación
<b>D'</b>	Dimensiones de la canaleta
<b>DB</b>	Dotación básica
<b>FLA</b>	Filtro lento de arena
<b>FM</b>	Factor de Mayorización, adimensional
<b>F<sub>1</sub></b>	Número de Froude
<b>G<sub>f</sub></b>	Gradiente de velocidad
<b>g</b>	Gravedad
<b>HTH</b>	Hipoclorito de Calcio
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>Kf</b>	Coefficiente de pérdida de carga en las vueltas
<b>n</b>	Coefficiente de Manning, adimensional
<b>N<sub>cr</sub></b>	Número de canales
<b>PAC</b>	Policloruro de Aluminio
<b>Qd</b>	Caudal de diseño
<b>QMd</b>	Gasto máximo diario
<b>Qmed</b>	Gasto medio diario
<b>Re</b>	Número de Reynolds, adimensional
<b>R.P.M</b>	Revoluciones por minuto
<b>SS</b>	Sólidos en Suspensión
<b>ST</b>	Sólidos en Totales
<b>Sc</b>	Parámetros característicos para sedimentadores de placas paralelas
<b>T<sub>r</sub></b>	Tiempo de retención
<b>v<sub>f</sub></b>	Velocidad del Fluido
<b>W</b>	Ancho de la garganta Parshall
<b>θ<sub>p</sub></b>	Angulo de Inclinación
<b><math>\sqrt{\gamma/\mu}</math></b>	Relación peso específico y viscosidad absoluta
<b>ρ<sub>HTH</sub></b>	Densidad de Hipoclorito de calcio

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Parámetros Físicos.....	<b>2</b>
<b>Tabla 2-1</b>	Parámetros Químicos.....	<b>3</b>
<b>Tabla 3-1</b>	Parámetros de diseño de aireadores de bandejas .....	<b>14</b>
<b>Tabla 4-1</b>	Valores específico y viscosidad absoluta para el de la relación peso agua.....	<b>21</b>
<b>Tabla 5-1</b>	Ancho del canal de Parshall en función del caudal.....	<b>23</b>
<b>Tabla 6-1</b>	Ancho de la garganta Parshall .....	<b>23</b>
<b>Tabla 7-1</b>	Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall.....	<b>25</b>
<b>Tabla 8-1</b>	Parámetros de diseño de floculadores.....	<b>33</b>
<b>Tabla 9-1</b>	Valores típicos del coeficiente de rugosidad (n).....	<b>37</b>
<b>Tabla 10-1</b>	Propiedades físicas del agua .....	<b>38</b>
<b>Tabla 11-1</b>	Parámetros de diseño de placas planas de asbesto-cemento .....	<b>41</b>
<b>Tabla 12-1</b>	Parámetros de diseño de Sedimentadores Laminares .....	<b>41</b>
<b>Tabla 13-1</b>	Valores de Sc Típicos .....	<b>44</b>
<b>Tabla 14-1</b>	Parámetros de diseño de Filtros lentos de arena .....	<b>49</b>
<b>Tabla 15-1</b>	Lecho recomendado para Filtros Lentos de Arena .....	<b>49</b>
<b>Tabla 16-1</b>	Parámetros para drenajes por tuberías .....	<b>51</b>
<b>Tabla 17-1</b>	Parámetros de diseño de los laterales .....	<b>52</b>
<b>Tabla 18-1</b>	Velocidad de diseño para tuberías del filtro .....	<b>54</b>
<b>Tabla 1-2</b>	Plan de muestreo.....	<b>60</b>
<b>Tabla 2-2</b>	Manejo y usos de recipientes.....	<b>61</b>
<b>Tabla 3-2</b>	Requerimiento de equipos, materiales y reactivos.....	<b>62</b>
<b>Tabla 4-2</b>	Métodos de Análisis de Aguas .....	<b>62</b>
<b>Tabla 5-2:</b>	Datos de aforo mediante el método volumétrico .....	<b>64</b>
<b>Tabla 6-2</b>	Resultados análisis físico-químico y microbiológicos. Parámetros fuera de los límites permisibles Entrada y salida del tanque de distribución .....	<b>64</b>
<b>Tabla 7-2</b>	Parámetros fuera de Norma .....	<b>66</b>
<b>Tabla 8-2</b>	Pruebas de jarras efectuadas a la muestra de agua de la Parroquia Químiag.....	<b>67</b>
<b>Tabla 9-2</b>	Pruebas para la desinfección.....	<b>68</b>
<b>Tabla 1-3</b>	Elementos de la planta de Tratamiento.....	<b>108</b>
<b>Tabla 2-3</b>	Equipos a ser controlados .....	<b>108</b>
<b>Tabla 3-3</b>	Presupuesto general de la planta de potabilización.....	<b>108</b>
<b>Tabla 4-3</b>	Tabla Presupuesto total de la plata de potabilización .....	<b>111</b>
<b>Tabla 5-3</b>	Costos de los productos químicos para 8 horas laborables. ....	<b>111</b>
<b>Tabla 6-3</b>	Resultados torres de aireación .....	<b>112</b>
<b>Tabla 7-3</b>	Resultados vertedero triangular .....	<b>112</b>

<b>Tabla 8-3</b>	Resultados de la de terminación del agente coagulante .....	<b>112</b>
<b>Tabla 9-3</b>	Resultados de la canaleta Parshall .....	<b>112</b>
<b>Tabla 10-3</b>	Resultados del floculador hidráulico de flujo horizontal .....	<b>113</b>
<b>Tabla 11-3</b>	Resultados Sedimentador de Alta Tasa (placas).....	<b>114</b>
<b>Tabla 12-3</b>	Resultados de filtros lentos de arena.....	<b>114</b>
<b>Tabla 13-3</b>	Validación de los resultados obtenidos después de las pruebas de jarras del rediseño de la planta.....	<b>115</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b>	Aireador de cascada.....	<b>13</b>
<b>Figura 2-1</b>	Aireador de bandejas .....	<b>14</b>
<b>Figura 3-1</b>	Vertedero triangular de Thomson de 90° .....	<b>17</b>
<b>Figura 4-1</b>	Canal Parshall .....	<b>22</b>
<b>Figura 5-1</b>	Coagulación .....	<b>29</b>
<b>Figura 6-1</b>	Floculador de flujo horizontal .....	<b>32</b>
<b>Figura 7-1</b>	Floculador de flujo vertical .....	<b>33</b>
<b>Figura 8-1</b>	Sedimentación.....	<b>39</b>
<b>Figura 9-1</b>	Sedimentador .....	<b>40</b>
<b>Figura 10-1</b>	Filtro Lento de Arena .....	<b>47</b>
<b>Figura 11-1</b>	Cloración .....	<b>55</b>
<b>Figura 1-2</b>	Proceso de Desinfección.....	<b>59</b>
<b>Figura 2-2</b>	Ubicación Geográfica de la parroquia Químiag .....	<b>59</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfica 1-2</b>	Descripción de los parámetros fuera de norma .....	<b>67</b>
<b>Gráfica 1-3</b>	Resultados de parámetros fuera de norma .....	<b>116</b>
<b>Gráfica 2-3</b>	Resultados de agua tratada (35NTU) .....	<b>117</b>

## **ÍNDICE DE ANEXO**

**Anexo A.** Reconocimiento de la planta de Tratamiento, tratabilidad

**Anexo B.** Resultados análisis físico-químico y microbiológicos del agua al tanque de almacenamiento de químiag (agua cruda)

**Anexo C.** Resultados (agua salida de la planta vs ensayos)

**Anexo D.** Normas técnica ecuatoriana

**Anexo E.** Métodos y técnicas utilizadas para el análisis físico - químicos del agua

**Anexo F.** Planos del rediseño para un proceso de potabilización de agua

## **RESUMEN**

Se realizó el rediseño del sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia Químiag cantón Riobamba para obtener agua de calidad que cumpla con la norma **NTE INEN 1108:2006. “Agua Potable. Requisitos” Segunda Revisión.**

Por tal motivo se realizó muestreo y análisis físico-químico y microbiológico preliminares del agua de la planta de tratamiento para determinar su estado actual, los análisis fueron basados en métodos y técnicas del Standar Methods determinándose que los parámetros fuera de norma son: turbiedad con 39,23 NTU, color 25 UTC, hierro 0,49 mg/L, manganeso 0,74 mg/L, coliformes totales 400 NMP/100 mL y coliformes fecales 200 NMP/100 mL.

Seguidamente se realizaron las pruebas de tratabilidad el laboratorio CHAQUISCA de la E.P-EMAPAG que permitieron determinar la dosis de Policloruro de Aluminio (PAC) de 45ppm con un auxiliar aniónico CHEMFLOC 0,6ppm, concentración necesaria para disminuir los valores de los parámetros: turbiedad y color, además tratando los coliformes con hipoclorito de calcio (HTH) con una concentración de 1,5 ppm.

El rediseño propuesto nos indica que la planta constara de los siguientes procesos: Sistema de Aireación , seguido por un vertedero triangular y una canaleta Parshall, se complementa con floculadores de flujo horizontal, un sedimentador de alta tasa, filtros lentos de arena y finalmente un tanque de desinfección Las pruebas de validación del tratamiento propuesto nos señalan que se obtendrá remoción del 91,38% de hierro, 97,84% de manganeso, 97,30% de turbiedad, 98% de color y los coliformes son removidos completamente.

## **ABSTRACT**

System redesign of potable water for Químiag parish in Riobamba, was performed to obtain water quality that meets the standard **NTE INEN 1108: 2006. “Drinking water. Requirements” Second Revision.**

Therefore sampling and physic chemical and microbiological preliminary water treatment plant was perform to determine its current state, the analyzes were based on methods and techniques of Standard Methods, determining that the parameters were standard: Turbidity 39,23NTU, color 25 UTC, iron 0,49 mg/L, manganese 0,74 mg/L, total coliforms 400 NMP/100mL and fecal coliforms 200 NMP/100mL.

EMAPAG it possible to determine the dose of Poly Aluminum chloride (PAC) of 45 ppm with an anionic auxiliary CHEMFLOC 0,6 ppm concentration required to decrease values – then treatability test in laboratory CHAQUISCA of PD were conducted parameters: turbidity and color also trying coliforms calcium hypochlorite (HTH) with a concentration of 1,5ppm.

The proposed redesing indicates that the plant will consist of the following processes: Aeration system, followed by a triangular weir and Parshall Flume, it is complemented by flocculadores horizontal flow, a settler high rate, slow sand filters and finally an tank disinfection. Validation test of the proposed treatment tell us that removal 91,38% iron, 97,84% manganese, 97,30% haze, 98 color and coliforms are completely removed is obtained.

## **INTRODUCCIÓN**

El agua potable es líquido vital importante para toda la humanidad pero este debe ser de calidad es decir (suficiente, inocuo y accesible). Pero este suministro debe ser tratado y una vez que este se encuentre en óptimas condiciones proporciona beneficios visibles para la salud, todo tipo de agua que va ser potabilizada independientemente de que fuente sea captada ya sea subterránea o superficial deben ser tratadas tomando medidas correctivas adecuadas para disminuir la concentración de elementos contaminantes en el agua ya que este será de uso cotidiano del ser humano.

Químiag es una de las parroquias rurales de la provincia de Chimborazo correspondiente al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Riobamba del territorio ecuatoriano, actualmente esta parroquia no cuenta con un Sistema de Tratamiento de Agua Potable adecuado debido a que esta planta no se encuentra funcionando adecuadamente por tal motivo la parroquia Químiag tiene la necesidad urgente de una investigación profunda y la solución inmediata a esta problemática debido a análisis previos realizados por el Ministerio de Salud Pública el cual sugiere que todo ser humano tiene derecho al líquido vital que es el agua y esta que sea de calidad y esta población no cuenta con agua de estas características y son propensos a adquirir enfermedades ya que el Gobierno Nacional apoya a la mejora de calidad de vida de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud.

El agua para ser potable debe pasar por varios procesos, cumpliendo así los requisitos exigidos por las Normas NTE INEN 1108:2006.Segunda Revisión, Agua Potable Requisitos.

El presente trabajo de titulación aporta información para la implementación de varios procesos para el tratamiento del agua de la para la parroquia Químiag, llegando así a la disposición final con características óptimas para el consumo humano.

## **ANTECEDENTES**

El tratamiento del agua es un conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables del agua.

Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en el consumo humano, existe mayor interés en tratamientos de potabilización de agua.

El agua es una sustancia necesaria e indispensable para los seres vivos, cuando es destinada para el consumo humano, no debe contener sustancias o microorganismos patógenos que puedan perjudicar nuestra salud, por tal motivo es imprescindible que el agua sea potabilizada antes de ser consumida, en la parroquia Químiag se encuentra ubicada la planta de tratamiento de agua potable, en la cual se realizó esta investigación previa y se obtuvo los resultados que necesita un inmediato tratamiento a todos los parámetros que se encuentran fuera de la norma.

Teniendo en cuenta el crecimiento de la población y la necesidad de la ampliación de la planta de tratamiento de agua potable estableciendo los parámetros adecuados para el rediseño con el fin de solucionar los problemas que existen actualmente en la planta de tratamiento.

Se conoce que en la actualidad Químiag está conformada por 31 asentamientos humanos o entre los cuales encontramos, el centro parroquial, barrios, comunidades y cooperativas. El centro parroquial cuenta con un total de 175 pobladores. Entre los barrios, Guabulag La Joya es el más representativo con 164 pobladores. Entre las comunidades, Balcashi sobresale con 512 pobladores y en las cooperativas, El Toldo con 103 pobladores. La comunidad con mayor presencia de adultos mayores, de 65 años en adelante, es Guazazo. La comunidad con mayor presencia de jóvenes entre 10 y 29 años de edad es Balcashi con 203 jóvenes.

Esta población necesita ser beneficiada de este proyecto el cual aportara para que aquellos habitantes de esta parroquia tengan una mejor calidad de vida.

## JUSTIFICACIÓN

Debido al permanente progreso poblacional de la parroquia Químiag y la necesidad de ofrecer un abastecimiento de agua potable de calidad con características óptimas para toda la población, justifica la necesidad de mejora en el sistema de tratamiento de agua y la posible ejecución de esta investigación, ya que la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Químiag no se encuentra funcionando adecuadamente.

Esta situación hace necesaria la formulación de propuestas con el fin de asegurar la gestión de este recurso indispensable para el ser humano y que el mismo tenga como ejes aspectos como la equidad social en el acceso al agua, la protección de los ecosistemas acuáticos y del recurso hídrico y la necesidad de exigir que la extracción del agua y los procesos productivos ligados a la misma sean sostenibles.

La finalidad de realizar el rediseño de la planta de tratamiento de agua de la parroquia Químiag es debido a la emergencia que indica el ministerio de salud pública por estudios realizados a esta agua y además con análisis previos que se realizó se verificó la necesidad urgente del rediseño de esta planta ya que el hecho que sea agua potable debe cumplir con todos los requisitos normados para garantizar la calidad de este líquido vital para el ser humano.

Por todos estos motivos es importante el **“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA QUÍMIAG CANTÓN RIOBAMBA”** y pronta solución cumpliendo la Norma INEN 1108:2006 Segunda Revisión “Agua Potable .Requisitos” y una vez concluido se podrá garantizar una mejor vida para la población de la parroquia Químiag.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Realizar el rediseño del Sistema de Tratamiento de Agua Potable para la Parroquia Químiag, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

### **ESPECÍFICOS**

- Determinar el estado actual de la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Químiag del cantón Riobamba.
- Realizar la caracterización físico-química y microbiológica básica del agua captada, potabilizada y distribuida de la parroquia Químiag
- Plantear soluciones a las variables que se encuentran fuera de la NTE 1108:2006 referido a la calidad del agua.
- Proponer el rediseño para el funcionamiento adecuado de la planta de tratamiento del agua potable, sustentado en un soporte técnico.

# CAPÍTULO I

## 1 Marco Teórico Referencial

### 1.1 Agua potable

Es aquella que está destinada al consumo humano y esta debe satisfacer características físicas, químicas y microbiológicas que están normalizadas a estándares de calidad.

Las mismas que están establecidas valores máximos y mínimos y estos se rigen a severos controles ya que su disposición final será para la población, es decir se le denomina agua potable al agua tratada que está regida a ciertas normas establecidas por las autoridades.

El agua apta y de calidad es aquella que se encuentra libre de microorganismos que causen enfermedades, además sin sustancias químicas que se produzcan efectos nocivos para la salud produciendo efectos fisiológicos y este también debe estar estéticamente aceptable para todos los usos habituales.

El agua potable es bebible ya que esta puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades es decir, no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes sensibilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida (GUIAS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE, 2006).

### 1.2 Características del agua

#### 1.2.1 *Características físicas*

Se denominan características físicas, aquellas características que pueden ser descubiertas mediante los sentidos, lo que implica que tienen incidencia directa por encima de las condiciones estéticas del agua.

Las características físicas del agua son:

**Tabla 1-1** Parámetros Físicos

<b>Turbiedad</b>	La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera), es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.	
<b>Sólidos y residuos</b>	Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.	
	<b>Sólidos Disueltos</b> Son sales que se encuentran presentes en el agua y estos no pueden ser separados del medio líquido por alguno de los medios físicos tales como: filtración, sedimentación y demás operaciones debido a que estos sólidos no son detectables a simple vista. Estos sólidos pueden ser detectados cuando el agua se evapora y quedan las sales residuales.	<b>Sólidos en suspensión</b> Material en estado sólido en el agua en forma de partículas o coloides extremadamente finas debido y esto causa la turbidez en el agua. Esto quiere decir mientras mayor es el contenido de sólidos en suspensión mayor es el nivel de turbiedad en el mismo. Los sólidos suspendidos se forman de orgánico e inorgánico, orgánico es principalmente algas o microorganismos y el inorgánico son: arcillas, silicatos, feldespatos, etc.
<b>Color</b>	Muestra la posible presencia de óxidos metálicos como: óxido de hierro el cual su característica es una coloración rojiza, material orgánico y algas en degradación también dan coloración al agua. El color en el agua interviene, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados. Los métodos de remoción del color. Los principales son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre y el sulfato férrico a pH bajos y las unidades de contacto o filtración ascendente.	
<b>Olor y sabor</b>	Son producidos, fundamentalmente por algas, materia orgánica en descomposición, desechos industriales y sales de diferentes orígenes. En algunos casos, la eliminación de los olores puede realizarse mediante la aireación o la adición de carbón activado. La cloración en presencia de	

	compuestos fenólicos puede imprimir un mal sabor en el agua, por la formación de derivados clorados que producen un sabor a derivados fenólicos.
<b>Temperatura</b>	Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente.
<b>pH</b>	El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9. Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua. Por lo general, un agua con pH menor de 6,0 es considerada agresiva y corrosiva para los metales. El pH tiene gran importancia en el tratamiento del agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización.

**Fuente:** (Barranechea Martel)

**Realizado por:** Anita Narváez 2016

### 1.2.2 Características químicas

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor.

**Tabla 2-1** Parámetros Químicos

<b>Cloruros</b>	Cuando su concentración es alto el sabor del agua es desagradable, además que contribuye en la corrosión de las tuberías de distribución principalmente en los metales
<b>Nitratos</b>	En las aguas superficiales, como los ríos y lagos, la concentración de nitratos es habitualmente baja, de algunos mg/l (excepto que exista un nivel importante de contaminación), como fertilizantes nitrogenados, excretas de animales, descargas de desechos sanitarios e industriales, y del uso como aditivos alimentarios (conservas de pescado y carnes).

	No son en sí mismos tóxicos. Se sabe que se absorben rápidamente a nivel intestinal y se eliminan por orina. El peligro potencial de los nitratos radica en la eventual transformación en nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) dentro del organismo.
<b>Nitrito</b>	Son altamente tóxicos, su presencia en el agua tiene que ver a contaminación fecal y este parámetro debe ser siempre nula o insignificante. Además está en estudio sus propiedades altamente cancerígenas.  En aguas superficiales bien oxigenadas, el nivel de nitrito no suele superar 0,1 mg/L.
<b>Nitrógeno Amoniacal</b>	La presencia de grandes cantidades indica una contaminación reciente por materia orgánica en descomposición, siendo viable una contaminación bacteriológica. El amoniaco favorece la proliferación de ciertas bacterias que otorga olores desagradables.
<b>Hierro Total</b>	El hierro es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales. La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua. En las aguas superficiales, el hierro puede estar también en forma de complejos organoférricos.
<b>pH</b>	Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua. Por lo general, un agua con pH menor de 6,0 es considerada agresiva y corrosiva para los metales. El pH tiene gran importancia en el tratamiento del agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización.
<b>Bario</b>	Elemento altamente tóxico para el hombre; causa trastornos cardíacos, vasculares y nerviosos (aumento de presión arterial).  Puede provenir principalmente de los residuos de perforaciones, de efluentes de refinerías metálicas o de la erosión de depósitos naturales.
<b>Cadmio</b>	En aguas superficiales este metal pesado puede provenir de la corrosión de los tubos galvanizados, de la erosión de depósitos naturales, de los efluentes de refinerías de metales o de líquidos de escorrentía de baterías usadas o pinturas. Este metal pesado es potencialmente tóxico y su ingestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones.

<b>Cianuro</b>	En aguas superficiales se debe, por lo general, a su contaminación mediante descargas industriales, en especial de galvanoplastia, plásticos, fertilizantes y minería. El cianuro es muy tóxico puede ser fatal para los seres humanos. Los efectos del cianuro sobre la salud están relacionados con lesiones en el sistema nervioso y problemas de tiroides.
<b>Cloruros</b>	Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas. En las aguas superficiales por lo general no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad.
<b>Cobre</b>	Se encuentra en forma natural en las aguas superficiales, pero en concentraciones menores a un mg/L. En estas concentraciones, el cobre no tiene efectos nocivos para la salud. Se trata de un elemento benéfico para el metabolismo, esencial para la formación de la hemoglobina. En concentraciones altas, el cobre puede favorecer la corrosión del aluminio y el cinc y cambiar el sabor del agua.
<b>Fluoruros</b>	Esencial para la nutrición del hombre. Su presencia en el agua de consumo a concentraciones adecuadas combate la formación de caries dental, principalmente en los niños (0,8 a 1,2 mg/L). Sin embargo, si la concentración de fluoruro en el agua es alta, podría generar manchas en los dientes (“fluorosis dental”) y dañar la estructura ósea.
<b>Fosfatos</b>	En las aguas superficiales son las descargas de aguas que contienen como residuo detergentes comerciales en las aguas superficiales son las descargas de aguas que contienen como residuo detergentes comerciales. Concentraciones relativamente bajas de complejos fosforados afectan el proceso de coagulación durante el tratamiento del agua. Las normas de calidad de agua no han establecido un límite definitivo. Sin embargo, es necesario estudiar la concentración de fosfatos en el agua, su relación con la productividad biológica y los problemas que estos pueden generar en el proceso de filtración y en la producción de olores.
<b>Manganeso</b>	Elemento esencial para la vida animal; funciona como un activador enzimático. Sin embargo, grandes dosis de manganeso en el organismo pueden causar daños en el sistema nervioso central. Su presencia no es común en el agua, pero cuando se presenta, por lo general está asociado al hierro.

<b>Sulfatos</b>	Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo. Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio. Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones.
<b>Dureza</b>	Un agua dura puede formar depósitos en las tuberías y hasta obstruirlas completamente. Esta característica física es nociva, particularmente en aguas de alimentación de calderas, en las cuales la alta temperatura favorece la formación de sedimentos. La remoción de la dureza en el tratamiento se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o mediante el proceso combinado cal-carbonato, conocido como ablandamiento cal-soda.

**Fuente:** (Barranechea Martel)

**Realizado por:** Anita Narváez 2016

### ***1.2.3 Características bacteriológicas o microbiológicas***

A causa de la contaminación producida por el hombre, las aguas pueden contraer algunos microorganismos perjudiciales para la salud, tales como: bacterias, protozoos, virus etc.

Esto puede ser determinado a través de análisis bacteriológicos, los cuales determinan el riesgo que involucra consumir este tipo agua.

Este tipo de análisis determina el nivel de bacterias coliformes y si se evidencia la presencia de coliformes, deriva que existe contaminación por materia fecal.

Todas estas características mencionadas anteriormente determinan la calidad del agua, además que es necesario conocer todas estas características ya que el agua es esencial para la vida y todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible). La mejora del acceso a agua salubre puede proporcionar beneficios tangibles para la salud.

### **1.3 Fuentes de agua**

El agua circula de forma continua a través de un infinito ciclo de precipitación o lluvia, escurrimiento, infiltración, retención o almacenamiento, evaporación y así se mantiene repetidamente este ciclo.

Se entiende por fuente de abastecimiento de agua aquel punto o fase del ciclo natural del cual se desvía o aparta el agua temporalmente para ser usada, regresando finalmente a la naturaleza. Esta agua puede o no volver a su fuente original, lo cual depende de la forma en que se disponga de las aguas de desperdicio.

Para el abastecimiento público de agua se usan comúnmente tanto los recursos superficiales como los subterráneos.

### ***1.3.1 Aguas Superficiales***

El tipo de aguas que generalmente son utilizadas para ser potabilizadas es el agua superficial.

Este está formada de escurrimientos obtenida de la aparición de aguas del subsuelo o de otras fuentes independientes como por ejemplo: manantiales, lagos, quebradas, ríos, arroyos y lagunas.

Generalmente estas aguas son preocupantes ya que estas están expuestas a muchos tipos de contaminación como fenómenos naturales entre otros ya que estas aguas están expuestas a la superficie, también existe contaminación directa que es causada por el hombre.

Por esta razones están dispuestas a contraer un sin número de bacterias y virus, por tal razón este tipo de aguas debe ser desinfectadas con más intensidad que las aguas subterráneas.

#### **Ventajas:**

- ✓ Se pueden utilizar fácilmente debido a su disponibilidad
- ✓ Son visibles y si están contaminadas
- ✓ Pueden ser depuradas con relativa facilidad y a un costo aceptable.
- ✓ Baja dureza

#### **Desventajas:**

Se contaminan fácilmente ya sea por descargas o de precipitaciones debido a los arrastres. Pueden presentar alta turbiedad y contaminarse con productos químicos usados en la agricultura.

- ✓ Calidad Variable
- ✓ Alto Color
- ✓ Olor y color biológico
- ✓ Alta materia orgánica

### **1.3.2 Aguas Subterráneas**

Son aquellas que se encuentran desterradas en el subsuelo y su extracción puede resultar varias veces un alto costo, se obtienen por medio de pozos someros y profundos, galerías filtrantes y en manantiales cuando brotan libremente.

Generalmente se encuentran más protegidas de la contaminación a comparación de las aguas superficiales, pero si un acuífero se contamina, no existe un método conocido para poder ser descontaminado.

#### **Ventajas:**

- ✓ Se encuentran protegidas de la contaminación
- ✓ Bajo color
- ✓ Baja turbiedad
- ✓ Calidad constante
- ✓ Baja corrosividad
- ✓ Bajo contenido de materia orgánica

#### **Desventajas:**

- ✓ Alta dureza
- ✓ Relativa inaccesibilidad
- ✓ No requiere limpieza

Las obras de captación son obras de carácter civil y electromecánicas que se emplean para extraer las aguas. Estas pueden variar de acuerdo a las características de la fuente de abastecimiento, localización, topografía del terreno y por la cantidad de agua a ser extraído.

## **1.4 Calidad del agua potable**

La calidad del agua, es un estado caracterizado por su composición físico-química y biológica. Este estado deberá permitir su empleo sin causar daño, para lo cual deberá reunir dos características:

- ✓ Estar exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores.
- ✓ Estar exenta de sustancias que le comuniquen sensaciones sensoriales desagradables para el consumo (color, turbiedad, olor, sabor).

El criterio de potabilidad del agua depende fundamentalmente del uso al que se la destina (humano, industrial, agrícola, etc).

## **1.5 Plantas potabilizadoras**

Se denomina planta de tratamiento de agua potable al conjunto de estructuras, equipos y materiales necesarios para acondicionar el agua provocando en ella cambios físicos, químicos y microbiológicos que se apta para el consumo humano.

La planta de potabilización puede suponer como una industria, ya que la materia prima será el agua cruda y su producto final es el agua potable.

Existen diferentes tecnologías para potabilizar agua, pero todas estas deben cumplir los mismos principios:

- Combinación de diferentes etapas del proceso de potabilización para con estas alcanzar bajas condiciones de riesgo.
- Tratamiento integrado para producir el efecto esperado.
- Tratamiento por objetivo es decir cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante.

Para el diseño de una planta de tratamiento requiere conocer la composición química y física del agua a tratar. Así, se conocerá cuales elementos se debe abatir y cuales eventualmente adicionar.

Dependiendo de la calidad de agua a tratar, se puede implementar variaciones al proceso de tratamiento convencional con el objetivo de simplificar las unidades y disminuir costos, ya que ciertos componentes en el proceso de tratamiento convencional pueden ser prescindibles, dependiendo de la calidad del agua que se encuentre disponible.

### **Objetivos:**

Los objetivos de una planta de potabilización de agua son básicamente dos:

- ❖ Entregar agua en cantidad suficiente y potable para satisfacer las necesidades de la población, con el menor costo posible, aprovechando al máximo los recursos disponibles.
- ❖ Suministrar al consumidor agua potable que tenga por lo menos las siguientes características:
  - ✓ Clara, transparente, cristalina.
  - ✓ Sin color, sabor y olores.
  - ✓ Libre de microorganismos patógenos
  - ✓ Con un alto contenido de oxígeno.

### **1.6 Rediseño de una planta de tratamiento de agua**

El rediseño de una planta de tratamiento tiene como finalidad efectuar varios cambios con el objeto de mejorar dicha planta siempre y cuando sea eficiente y económico pero esta requiere un estudio de ingeniería cuidadoso basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos para producir agua de la calidad requerida.

### **1.7 Condiciones generales para el rediseño**

El propósito básico del rediseño de una planta de tratamiento de agua es el de completar o mejorar, de la manera más económica y accesible, las operaciones necesarias para el tratamiento para que opere adecuadamente y pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable.

Por lo tanto esta planta debe tener máxima confiabilidad y flexibilidad, mínima operación y mantenimiento, y solamente los controles e instrumentación indispensables.

Las condiciones locales predominantes determinan la importancia de los factores previamente mencionados y su incidencia en cada diseño particular. En general se recomienda tener en cuenta, entre otros, los siguientes preceptos de diseño:

- ✓ Aunque la planta de tratamiento juegue, en muchos casos, el papel primordial en el mejoramiento de la calidad del agua, en el diseño debe considerarse además la fuente y el sistema de distribución, si se quiere lograr la “producción económica” de una agua de buena calidad.
- ✓ Se debe familiarizarse con todas las normas, leyes y requerimientos oficiales aplicables al proyecto.
- ✓ El modelo de tratamiento dependerá de la calidad de la fuente de suministro y de la calidad deseada en agua producida. Por lo cual es importante una información adecuada de la fuente es prerequisite del diseño.
- ✓ Esto supone un análisis completo del agua cruda y, cuando la fuente no es de características uniformes, el conocimiento de las variaciones de sus características y una evaluación de los cambios posibles de calidad de la fuente durante la vida útil de la planta.
- ✓ En fuentes superficiales la bocatoma o captación debe localizarse en tal forma que provea una adecuada protección contra cualquier fuente de polución.
- ✓ La capacidad nominal de diseño de una planta es generalmente mayor que la demanda
- ✓ Es necesario que la planta pueda operar continuamente con uno o más equipos fuera de servicio por mantenimiento. Esto supone un mínimo de unidades de tratamiento, por ejemplo: tanque de sedimentación, floculadores o filtros, dosificadores de coagulantes, cloradores, si existe bombeo debe haber una unidad de reserva.
- ✓ Solo debe usarse la instrumentación esencial, y la utilización de equipo automático debe restringirse para prevenir que falla del mismo pueda dejar sin suministro de agua potable a la población.

### **1.8 Principales componentes de una planta de tratamiento**

Esto depende principalmente de las características del agua a tratar y del tamaño poblacional que se pretende atender.

Los factores a tomar en cuenta para decidir el o los procesos de tratamiento del agua son los siguientes:

- Remoción de contaminantes.
- Calidad del agua en la fuente de origen.
- Parámetros de calidad.
- Grados de tratamientos de agua

## **1.9 Rediseño de una planta de Tratamiento de Agua Potable convencional**

### ***1.9.1 Aireación***

Es el proceso de tratamiento con el cual se incrementa el área de contacto del agua con el aire para facilitar el intercambio de gases y sustancias volátiles.

La aireación se realiza por tres razones:

#### **a) Remoción de gases disueltos:**

- ✓ Gas carbono presente en el agua en forma natural
- ✓ Gas sulfhídrico proveniente de la putrefacción o fermentación de los depósitos orgánicos putrescibles o fermentables del fondo de los reservorios
- ✓ Cloro en exceso (proveniente de la supercloración)

#### **b) Introducción del oxígeno del aire en el agua:**

- ✓ Para oxidar el hierro y el manganeso, cuya remoción se realiza mediante la decantación y filtración (de esta manera también se reduce el sabor debido al hierro y el manganeso)
- ✓ Para añadir oxígeno en el agua hervida o destilada.

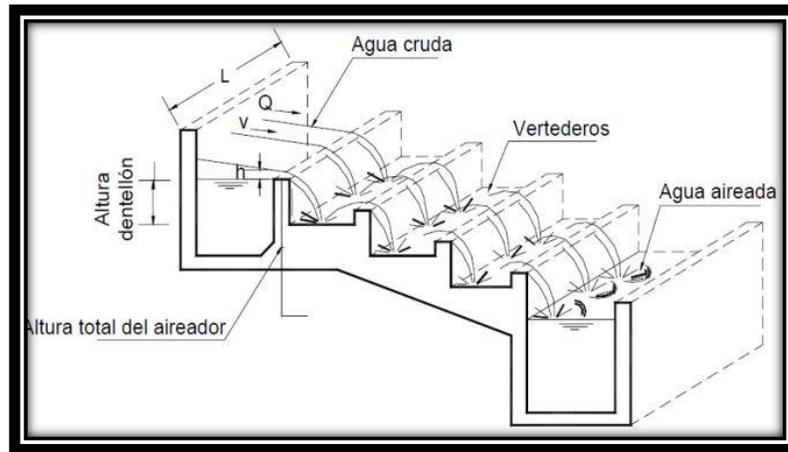
#### **c) Remoción de sustancias causantes de sabores y olores:**

- ✓ Sustancias oleaginosas provenientes de algas y otros organismos (cuando son volátiles)
- ✓ Gas sulfhídrico
- ✓ Sabores debido al hierro y el manganeso
- ✓ Descomposición de la materia orgánica (quema) (MIHELCIC, y otros, 2011).

### 1.9.1.1 Tipos de Aireadores

#### 1.9.1.1.1 Aireadores de cascada

Son aireadores en los que la altura adecuada se subdivide en varias caídas para aumentar la cantidad de oxígeno al agua que atraviese por este tipo de estructura o por el contrario reducir el contenido de gases no deseables, los bordes de los peldaños actúan como agujeros los mismos que producen una lámina de agua que beneficia la exposición con el aire.

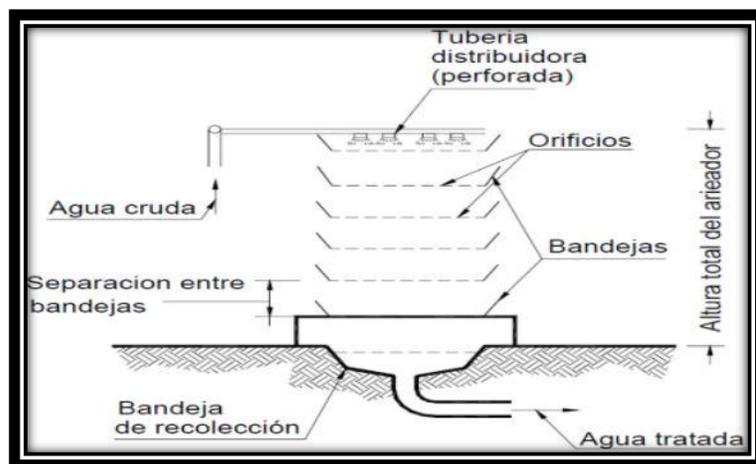


**Figura 1-1** Aireador de cascada

Fuente: (Publicas, 2005)

#### 1.9.1.1.2 Aireadores de Bandejas

Consiste en una serie de bandejas con hendiduras o perforaciones o con un fondo de malla de alambre sobre las cuales se distribuye el agua para que caiga en un estanque de recolección. Algunos aireadores de este tipo están dotados de un lecho grueso de trozos de carbón o bolas de cerámica, cuyo espesor varía de 5 a 15 centímetros y que se coloca en las bandejas para lograr mayor eficacia y producir mayor turbulencia. Los lechos gruesos son eficaces, especialmente cuando se utilizan como auxiliares catalizadores de las reacciones de oxidación de hierro y el manganeso (pirolusita) (IBIDEN 8).



**Figura 2-1** Aireador de bandejas  
Fuente: (Publicas, 2005)

### 1.9.1.2 Parámetros para dimensionar un aireador de bandejas

Los aireadores de bandejas consisten en una serie de bandejas con perforaciones en su parte inferior, diseñadas para lograr una adecuada distribución y contacto con el aire ambiente. Para obtener una mayor eficiencia se puede utilizar un material de relleno de acuerdo con el fin a que se destina la aireación. Para su diseño se puede adoptar los criterios referidos en la tabla 3-1:

**Tabla 3-1** Parámetros de diseño de aireadores de bandejas

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
<b>Carga Hidráulica TA</b>	550-1800(0,006-0,02)*	m/d ( $\text{m}^3 / \text{m}^2 \times \text{día}$ )
<b>Caudal/ área total de bandejas</b>	500-1600**	m/d
<b>Número de bandejas</b>	3 – 9	
<b>Lecho de contacto:</b>		
• Espesor	15-30	cm
• Coke o piedra, diámetro	4-15	cm
<b>Orificios de distribución</b>		
• Diámetro	5-12	mm
• Separación	2,5	cm
<b>Profundidad de agua en la bandeja</b>	15	Cm
<b>Separación entre bandejas</b>	30-75	Cm
*Valores recomendados por Feachem R et al.(1977)		
**Valores recomendados por la AWWA Water Quality and Treatment (1977)		

Fuente: (ROMERO, 1999)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**a) Área total del aireador**

$$A_t = \frac{Q}{TA}$$

**Ecuación 1**

**Dónde:**

**At:** Área total del aireador, m<sup>2</sup>.

**Q:** Caudal de diseño, L/s.

**TA:** Carga Hidráulica, L/m<sup>2</sup>× s

**b) Área de aireación (bandejas)**

Asumiendo bandejas cuadradas y el área será el resultado de multiplicar lado por lado.

$$A_i = l \times l = m^2$$

**Ecuación 2**

**Dónde:**

**l:** lado de la bandeja, m

**c) Número de unidades de aireación requerida**

$$N_b = \frac{A_t}{A_i}$$

**Ecuación 3**

**Dónde:**

**At:** Área total de aireación, m<sup>2</sup>

**Ai:** Área de cada unidad de aireación, m<sup>2</sup>

**d) Número de torres**

$$N_{torres} = \frac{Q_d}{Q_t}$$

**Ecuación 4**

**Dónde:**

**Q<sub>d</sub>:** Caudal de diseño, L/s

**Q<sub>t</sub>:** Caudal que ingresa a cada torre, L/s

**e) Tiempo de exposición**

Esto indica el tiempo de exposición que existirá entre el agua y con el medio de contacto.

$$te_A = \sqrt{\frac{2 \times H_{torre} * N_b}{g}}$$

**Ecuación 5**

**Dónde:**

**te<sub>A</sub>:** Tiempo de exposición, s

**H<sub>torre</sub>:** Altura total de la torre, m

**N<sub>b</sub>:** Número de bandejas, unidad

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

**f) Cálculo del Caudal sobre cada bandeja**

$$Q_{bandejas} = l \times A_{orificio} \times \sqrt{2 \times g \times H_{lamina}}$$

**Ecuación 6**

**Dónde:**

**l:** Lado de la bandeja, m

**g:** gravedad, m/s<sup>2</sup>

**H<sub>lámina</sub>:** Altura del agua sobre las bandejas, m

**A<sub>orificio</sub>:** Área de cada orificio, m<sup>2</sup>

**g) Determinación del número de perforaciones**

$$Np = \frac{Q}{Q_{bandejas}}$$

**Ecuación 7**

**Dónde:**

**Q=Q<sub>d</sub>:** caudal de diseño, L/s

**Q<sub>bandejas</sub>:** caudal sobre cada bandeja, L/s

**Np:** número de perforaciones, unidad

### **1.9.2 Mezcla Rápida**

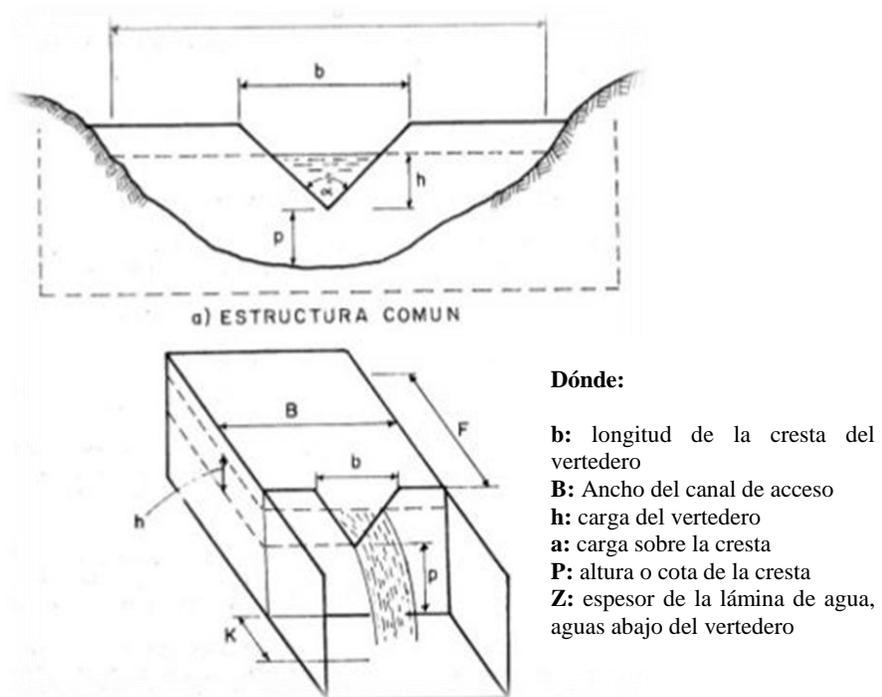
La mezcla rápida es una de las operaciones más utilizadas en las plantas de tratamiento del agua con el propósito de dispersar diferentes sustancias químicas y gases en manera rápida, uniforme el coagulante provocando una turbulencia en toda la masa o flujo de agua por medios hidráulicos o

mecánicos como son: resaltos hidráulicos en canales, canales Parshall, vertederos triangulares, vertederos rectangulares, etc.

### 1.9.2.1 Vertederos Triangulares de Thomson de 90°

Son usados generalmente para pequeños caudales, ya que posee una sección transversal de la lámina, una inclinación con variación de altura.

A continuación se muestra la figura siguiente, en donde se esquematiza el flujo a través de un vertedero triangular, simétrico y de pared delgada, con un ángulo 90° en el vértice de la escotada ya que estos son los más usados.



**Figura 3-1** Vertedero triangular de Thomson de 90°

Fuente: (Vertedero Triangular)

#### 1.9.2.1.1 Parámetros de diseño para un vertedero triangular

##### a) Altura del agua sobre la cresta del vertedero triangular

$$Q = 1,4H^{2/5}$$

**Ecuación 8**

**Dónde:**

**Q = Qd:** Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s

**H:** Altura del Agua en el Vertedero, m

**b) Ancho de la Lámina Vertical y Ancho de Canal**

$$L = 2H$$

**Ecuación 9**

**Dónde:**

**H:** Altura del Agua en el Vertedero, m

**L:** Ancho de la lámina vertiente y ancho del canal, m

**c) Caudal Promedio Unitario**

$$q = \frac{Q}{h}$$

**Ecuación 10**

**Dónde:**

**Q: Qd:** Caudal de Diseño, m<sup>3</sup>/s

**h:** Altura del Canal, m

**q:** Caudal promedio unitario, m<sup>3</sup>/s.m

**d) Altura Crítica**

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

**Ecuación 11**

**Dónde:**

**q:** Caudal Promedio Unitario, m<sup>3</sup>/s.m

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

**H<sub>c</sub>:** Altura Crítica, m

**e) Altura del agua al inicio del Resalto**

$$h_1 = \frac{1,41 \times H_c}{\sqrt{2,56 + \frac{H_v}{H_c}}}$$

**Ecuación 12**

**Dónde:**

**H<sub>v</sub>:** Altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal agua abajo, m

**H<sub>C</sub>**: Altura del borde o total del triángulo, m

**h<sub>1</sub>**: Altura al inicio del resalto, m

f) **Velocidad al inicio del Resalto**

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

**Ecuación 13**

**Dónde:**

**q**: Caudal promedio unitario, m<sup>3</sup>/s.m

**h<sub>1</sub>**: Altura al inicio del resalto, m

**v<sub>1</sub>**: Velocidad al inicio del resalto, m/s

g) **Número de Froude**

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \times h_1}}$$

**Ecuación 14**

**Dónde:**

**h<sub>1</sub>**: Altura al inicio del resalto, m

**v<sub>1</sub>**: Velocidad al inicio del resalto, m/s

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

**F<sub>1</sub>**: Número de Froude, m/s

• **Altura del Agua después del resalto velocidad al final del resalto**

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \times [\sqrt{1 + 8F_1} - 1]$$

**Ecuación 15**

**Dónde:**

**h<sub>1</sub>**: Altura al inicio del resalto, m

**F<sub>1</sub>**: Número de Froude, adimensional

**h<sub>2</sub>**: Altura del Agua después del resalto velocidad al final del resalto, m

h) **Velocidad al Final del Resalto**

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

**Ecuación 16**

**Dónde:**

**q:** Caudal promedio unitario, m<sup>3</sup>/s.m

**h<sub>2</sub>:** Altura del agua después del resalto velocidad al final del resalto, m

**v<sub>2</sub>:** Velocidad al Final del Resalto

**i) Energía Disipado en el Resalto**

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4(h_1 \times h_2)}$$

**Ecuación 17**

**Dónde:**

**h<sub>2</sub>:** Altura de agua después del resalto velocidad al final del resalto, m

**h<sub>1</sub>:** Altura al inicio del resalto, m

**h<sub>p</sub>:** Energía Disipado en el Resalto, m

**j) Longitud del Resalto**

$$L_{vr} = 6(h_2 - h_1)$$

**Ecuación 18**

**Dónde:**

**h<sub>2</sub>:** Altura de agua después del resalto velocidad al final del resalto: 0,04 m

**h<sub>1</sub>:** Altura al inicio del resalto: 0,01 m

**k) Distancia del Vertedero a la sección 1**

$$L_1' = 4,3 H_v \left( \frac{H_c}{H_v} \right)^{0,9}$$

**Ecuación 19**

**Dónde:**

**H<sub>v</sub>:** Altura desde el vertedero hasta el fondo del canal agua abajo, m

**H<sub>c</sub>:** Altura crítica, m

**L<sub>1</sub>:** Distancia del Vertedero a la sección 1, m

**l) Velocidad promedio en el resalto**

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

**Ecuación 20**

**Dónde:**

$V_1$ : Velocidad al inicio del resalto, m/s  
 $V_2$ : Velocidad al final del resalto, m/s  
 $V_m$ : Velocidad promedio en el resalto, m/s

**m) Tiempo de Mezcla**

$$t_m = \frac{L_{vr}}{V_m}$$

**Ecuación 21**

**Dónde:**

$V_m$ : Velocidad promedio en el resalto, m/s  
 $L_{vr}$ : Longitud del resalto, m  
 $t_m$ : Tiempo de Mezcla, s

**n) Gradiente de Velocidad**

$$G_v = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{h_p}{t_m}}$$

**Ecuación 22**

**Dónde:**

$t_m$ : Tiempo de mezcla, s  
 $h_p$ : Energía disipada en el resalto, m  
 $\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación de peso específico y viscosidad absoluta, se toma en base a la temperatura en la tabla siguiente:

**Tabla 4-1** Valores del peso específico y viscosidad absoluta para la relación peso agua

Temperatura °C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$
0	2336.94
4	2501.56
10	2736.53
15	2920.01
20	3114.64
25	3266.96

Fuente: (Romero, 2008)

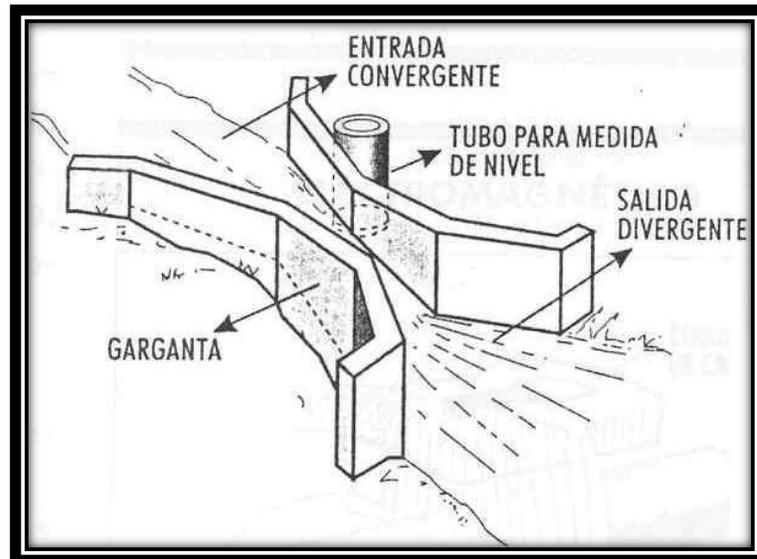
Realizado por: Anita Narváez 2016

### 1.9.2.2 Canaleta Parshall

Es una estructura hidráulica que sus propósitos son; sirve como medidor de caudales y como el punto de aplicación de coagulantes.

Las ventajas son:

- ✓ El agua tiene velocidad suficiente para limpiar los sedimentos.
- ✓ Pérdida de carga menor.
- ✓ Opera en un rango amplio de flujos.
- ✓ Tiene la capacidad de medir tanto como flujo libre como moderadamente sumergido.



**Figura 4-1** Canal Parshall

Fuente: (CEPIS, 1992)

#### 1.9.2.2.1 Parámetros de diseño para una canaleta Parshall

Se realiza los siguientes procedimientos cuando actúa como mezclador

##### a) Ancho de la garganta

En base al caudal que se está trabajando ( $m^3/s$ ) se decide el ancho de la garganta mediante la siguiente tabla:

**Tabla 5-1:** Ancho del canal de Parshall en función del caudal

Ancho W	Límites de caudal(L/s)	
	Q Mínimo	Q Máximo
1"	0,28	5,67
2"	0,57	14,15
3"	0,85	28,31
6"	1,42	110,44
9"	2,58	252,00
12"	3,11	455,90
18"	4,24	696,50
24 "	11,90	937,30
36"	17,27	1.427,20
48"	36,81	1.922,70
60"	45,31	2.424,00
72"	73,62	2.931,00

Fuente: (Romero J. , 2008)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**b) Altura del agua en la sección de medición**

$$H_o = K x Q^n$$

**Ecuación 23**

**Dónde:**

**Q=Qd:** Caudal de diseño,  $m^3/s$

**K:** Constante, adimensional

**n:** Constante, adimensional

**H<sub>o</sub>:** Altura del agua en la sección de medición, m

**Tabla 6-1** Ancho de la garganta Parshall

Ancho de la garganta del Parshall(W)		K	N
Pulgadas-Pies	Metros		
3"	0,075	3,704	0.646
6"	0,150	1,842	0.636
9"	0,229	1,486	0.633
1'	0,305	1,276	0.657

1 1/2'	0,460	0,966	0.650
2'	0,610	0,795	0.645
3'	0,915	0,608	0.639
4'	1,220	0,505	0.634
5'	1,525	0,436	0.630
6'	1,830	0,389	0.627
8'	2,440	0,324	0.623

Fuente: (CEPIS, 1992)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**c) Ancho de la sección de medición**

$$D' = \frac{2}{3} \times (D^1 - W) + W$$

**Ecuación 24**

**Dónde:**

**W:** Ancho de la garganta, m

**D<sup>1</sup>:** Dimensiones de la canaleta, m

**D':** Ancho de la sección de medición, m

**d) Velocidad de la sección de medición**

$$V_o = \frac{Q}{H_o \times D'}$$

**Ecuación 25**

**Dónde:**

**H<sub>o</sub>:** Altura del agua en la sección de medición, m

**D':** Ancho de la sección de medición, m

**Q:** Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s

**• Carga Hidráulica Disponible**

$$E_o = \frac{V_o^2}{2g} + H_o + N$$

**Ecuación 26**

**Dónde:**

$V_o$ : Velocidad en la sección de medición, m/s

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

$H_o$ : Altura de agua en la sensación de medición, m

$N$ : Dimensiones de la canaleta, m

$E_o$ : Carga Hidráulica Disponible, m

**Tabla 7-1** Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall

W		A	B	C	D <sup>1</sup>	E	F	G	K'	N
Pulg.	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	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1 ½'	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'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
10'	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,5	15,3	34,3

Fuente: (CEPIS, 1992)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**e) Caudal específico en la garganta de la canaleta**

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

**Ecuación 27**

**Dónde:**

**W:** Ancho de la garganta, m

**Qd:** Caudal de diseño,  $m^3/s$

**Q<sub>w</sub>:** Caudal específico en la garganta de la canaleta,  $m^3/s.m$

**f) Ángulo de Inclinación**

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ \frac{Q_w \times g}{\left(\frac{2g \times E_o}{3}\right)^{1,5}} \times \frac{180}{\pi} \right]$$

**Ecuación 28**

**Dónde:**

$Q_w$ : Caudal específico en la garganta de la canaleta, m<sup>3</sup>/s.m

$\theta_p$  = Ángulo de Inclinación, (°)

$g$ : gravedad, m/s<sup>2</sup>

$E_o$ : Carga Hidráulica Disponible, m

**g) Velocidad antes del resalto**

$$v_1 = 2 \left( \frac{2E_o \times g}{3} \right)^{0,5} \times \cos \left( \theta_p \times \frac{\pi}{540} \right)$$

**Ecuación 29**

**Dónde:**

$\theta_p$  = Ángulo de Inclinación, (°)

$g$ : gravedad, m/s<sup>2</sup>

$E_o$ : Carga Hidráulica Disponible, m

$v_1$ : Velocidad antes del resalto, m/s

**h) Altura de agua antes del resalto**

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

**Ecuación 30**

**Dónde:**

$Q_w$ : Caudal específico en la garganta de la canaleta, m<sup>3</sup>/s.m

$v_1$ : Velocidad antes del resalto, m/s

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

**i) Numero de Froude**

$$F_1 = \frac{v_1}{(g \times h_1)^{0,5}}; 3 \geq F_1 \geq 2$$

**Ecuación 31**

**Dónde:**

$F_1$ : Número de Froude, adimensional

$v_1$ : Velocidad antes del resalto, m/s

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

$g$ : gravedad, m/s<sup>2</sup>

**j) Altura del resalto**

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[ (1 + 8F_1^2)^{0.5} - 1 \right]$$

**Ecuación 32**

**Dónde:**

$F_1$ : Número de Froude, adimensional

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

$h_2$ : Altura del resalto, m

**k) Velocidad de resalto**

$$v_2 = \frac{Qd}{W \times h_2}$$

**Ecuación 33**

**Dónde:**

$h_2$ : Altura del resalto, m

$W$ : Ancho de la garganta, m

$Qd$ : Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s

$v_2$ : Velocidad de resalto, m/s

**l) Altura en la sección de salida de la canaleta**

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

**Ecuación 34**

**Dónde:**

$h_2$ : Altura del resalto, m

$h_3$ : Altura en la sección de salida de la canaleta, m

$K'$ ;  $N$ : Dimensiones de la canaleta, m

**m) Velocidad en la sección de salida**

$$v_3 = \frac{Qd}{C \times h_3}$$

**Ecuación 35**

**Dónde:**

**Qd:** Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s

**h<sub>3</sub>:** Altura en la sección de salida de la canaleta, m

**C:** Dimensiones de la canaleta, m

**v<sub>3</sub>:** Velocidad en la sección de salida, m/s

**n) Pérdida de carga en el resalto**

$$h_p = H_o + K' + h_3$$

**Ecuación 36**

**Dónde:**

**H<sub>o</sub>:** Altura de agua en la sensación de medición, m

**h<sub>3</sub>:** Altura en la sección de salida de la canaleta, m

**K'; N:** Dimensiones de la canaleta, m

**h<sub>p</sub>:** Pérdida de carga en el resalto, m

**o) Tiempo de mezcla en el resalto**

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

**Ecuación 37**

**Dónde:**

**v<sub>2</sub>:** Velocidad de resalto, m/s

**v<sub>3</sub>:** Velocidad en la sección de salida, m/s

**G':** Dimensiones de la canaleta, m

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

**p) Gradiente de Velocidad**

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \left(\frac{h_p}{T}\right)^{0,5}$$

**Ecuación 38**

**Dónde:**

**h<sub>p</sub>:** Pérdida de carga en el resalto, m

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

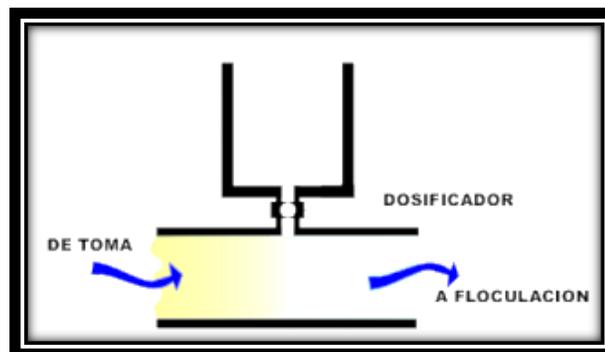
**G:** Gradiente de Velocidad, s<sup>-1</sup>

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta.

### 1.9.3 Coagulación

Su principio es mediante un caudal determinado de agua cruda, turbia y este en fracción de segundos tenga el contacto con el coagulante mediante una mezcla se producirá la coagulación el cual tiene como finalidad anular las cargas eléctricas de las partículas y transformar aquellas impurezas que se encuentran en suspensión ya sean finas o estado coloidal y algunas están disueltas en partículas que pueden ser removidas por decantación y la filtración y estos se agrupan formando aglomerados gelatinosos y se forman los flóculos.

Para la eliminación de color y turbiedad del agua generalmente se utiliza un polímero llamado policloruro de aluminio que es dosificado según las características del agua a la entrada del proceso también es utilizado el sulfato de aluminio.



**Figura 5-1** Coagulación  
Fuente: (PROCESO POTABILIZACION)

#### 1.9.3.1 Factores que Influyen en la Coagulación

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- ✓ pH.
- ✓ Turbiedad.
- ✓ Sales disueltas.
- ✓ Temperatura del agua.
- ✓ Tipo de coagulante utilizado.

- ✓ Condiciones de Mezcla.
- ✓ Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- ✓ Tipos de mezcla y el color.

La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua (TRATAMIENTO DE AGUA).

### *1.9.3.2 Dosificación de coagulante*

Dosificar es la acción de agregar a todo el caudal una cantidad exacta de una sustancia química, predeterminada mediante ensayos, con el fin de obtener unos resultados definidos después de cada proceso.

El coagulante es un producto químico que se agrega al agua con el propósito de producir desestabilización y aglutinación de los sólidos en suspensión en el agua. Los ensayos que se realizan para determinar la dosis de coagulante a agregarle al agua son los "ensayos de jarras" o de dosis óptima. El coagulante utilizado con mayor frecuencia es el sulfato de aluminio o policloruro de aluminio.

Los equipos utilizados para la aplicación del coagulante y de cualquier otro producto químico se denominan dosificadores.

- **Policloruro de Aluminio**

Es un coagulante inorgánico líquido base, adecuado principalmente para remover materia coloreada y coloidal en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como remplazo de sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas.

Se obtienen por reacción entre el hidrato de aluminio con ácido clorhídrico en determinadas condiciones de presión, temperatura y tiempo, obteniéndose unos productos polimerizados que contienen especies polinucleares de alta cationicidad, que dan lugar a rápidas reacciones de hidrólisis al reaccionar con la materia en suspensión presente en el agua a tratar. Esto los hace

especialmente válidos en procesos de coagulación de alta turbidez, alta viscosidad del agua, bajas temperaturas o en aguas de baja alcalinidad.

### 1.9.3.3 Determinación de la dosificación de PAC

Para calcular la concentración de PAC a utilizar para tratar el agua se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

**Ecuación 39**

**Dónde:**

**C<sub>1</sub>:** Concentración de la solución madre, g/mL

**V<sub>1</sub>:** Volumen utilizado de la solución madre para la tratabilidad, mL

**C<sub>2</sub>:** Concentración final de la prueba de jarras, ppm

**V<sub>2</sub>:** Volumen del agua a ser tratada, mL

- **Consumo de Policloruro de aluminio al día**

$$W = Q * D$$

**Ecuación 40**

**Dónde:**

**W:** consumo de Policloruro de aluminio en peso, kg/día

**D:** Dosis óptima de coagulante, g/L (Pruebas de jarras)

**Q:** Caudal de la planta de tratamiento, L/s

### 1.9.4 Floculación

Consiste en aglomerar las partículas coaguladas en partículas floculantes agitando el agua tratada con el coagulante durante un determinado tiempo y estas aumentan de tamaño y adquieren mayor densidad.

El floculador es un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta con un tiempo de retención prolongado. Un floculante reúne partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. La floculación no sólo incrementa el tamaño de las partículas del floculo, sino que también afecta su naturaleza física.

En esta segunda etapa, la “floculación”, se somete el agua a un proceso de agitación, de dos tipos:

- ✓ Agitación mecánica: con agitadores de paletas rotativas y accionamiento a motor.
- ✓ Agitación hidráulica: donde el agua pasa a través de placas divisorias, subiendo y bajando por presión hidráulica.

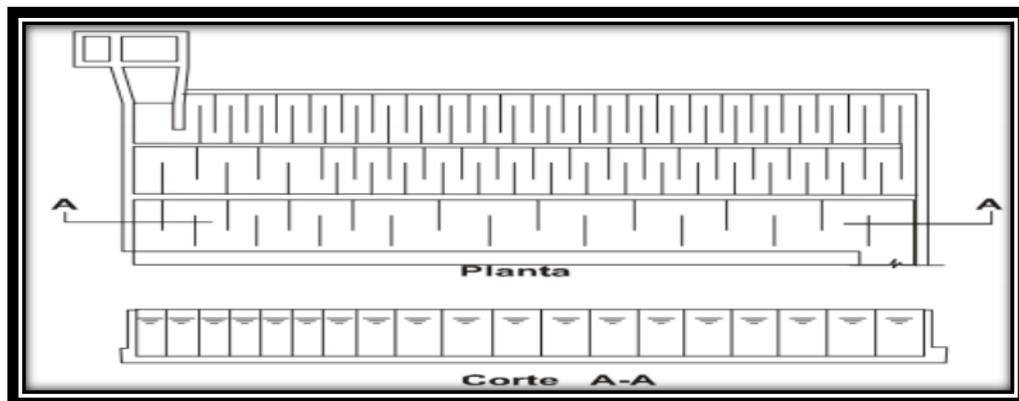
Entre los floculadores más conocidos se pueden citar, en primer lugar, las unidades de pantallas de flujo horizontal y vertical.

#### 1.9.4.1 Unidades de flujo horizontal

Es un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuestos para que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques, generalmente son recomendados para caudales menores de 50 litros por segundo

Se pueden utilizar pantallas removibles de concreto prefabricadas, fibra de vidrio, madera, plástico, asbesto-cemento u otro material de bajo costo, disponibles en el medio y que no constituya un riesgo de contaminación. De esta manera, se le da mayor flexibilidad a la unidad y se reduce el área construida, disminuyendo por consiguiente el costo de construcción.

La unidad puede tener una profundidad de 1.000 a 2.000 metros, dependiendo del material utilizado en las pantallas.



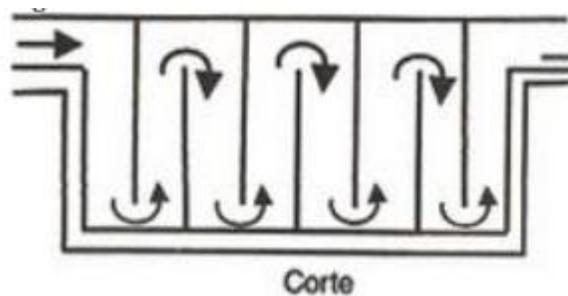
**Figura 6-1** Floculador de flujo horizontal

Fuente: (FLOCULADORES)

#### 1.9.4.2 Unidades de Flujo Vertical

El agua fluye hacia arriba, hacia abajo por encima y por debajo de los tabiques, pantallas o baffles que dividen al tanque son recomendables para plantas de capacidad mayor de 50 litros por segundo. Se proyectan para profundidades de 3 a 4 metros, por lo que ocupan un área menor que las unidades de flujo horizontal.

En este tipo de unidades el flujo sube y baja a través de canales verticales formados por las pantallas. Es una solución ideal para plantas de medianas a grandes, porque debido a la mayor profundidad que requieren estas unidades, ocupan áreas más reducidas que los canales de flujo horizontal. Otra ventaja importante es que el área de la unidad guarda proporción con respecto a los decantadores y filtros, con lo que resultan sistemas más compactos y mejor proporcionados.



**Figura 7-1** Floculador de flujo vertical  
Fuente: (MIHELCIC, y otros)

#### 1.9.4.3 Parámetros de diseño floculador de flujo horizontal

Para el diseño de este floculador se toma en cuenta los siguientes parámetros:

**Tabla 8-1** Parámetros de diseño de floculadores

Parámetro	Valor
Caudal de diseño	<50 L/s
Coficiente de perdida de carga en vueltas(K)	1,1 – 30 Recomienda: 2
Según Insfopal:	
Tiempo de retención	15 – 60 min
Altura mínima	1,0 m

Separación mínima entre tabiques	0,45 m
Gradiente de velocidad	20 – 90 s <sup>-1</sup>
Velocidad	0,08 – 0,22 m/s
Altura de agua	0,80 – 1,20 m
Espesor de laminas	0,10 – 0,20 m

Fuente: (ARBOLEDA, Teoria y practica de la purificacion del agua, 2000)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**a) Longitud de Canales**

$$Lc_f = v_f \times tr_f \times 60$$

**Ecuación 41**

**Dónde:**

**Tr<sub>f</sub>:** Tiempo de retención, min

**v<sub>f</sub>:** Velocidad de fluido, m/s

**Lc<sub>f</sub>:** Longitud de Canales, m

**b) Área de los Canales del Floculador**

$$A_{cf} = \frac{Q}{v_f}$$

**Ecuación 42**

**Dónde:**

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

**v<sub>f</sub>:** Velocidad del Fluido, m/s

**A<sub>cf</sub>:** Área de los Canales del Floculador, m<sup>2</sup>

**c) Ancho de Canales del Floculador**

$$b_{cf} = \frac{A_{cf}}{Hu_f}$$

**Ecuación 43**

**Dónde:**

**A<sub>cf</sub>:** Área de los canales del Floculador, m<sup>2</sup>

**Hu<sub>f</sub>:** Altura de agua en la unidad, m

**b<sub>cf</sub>:** Ancho de Canales del Floculador, m

**d) Ancho de Vueltas de la Floculación**

$$b_{vf} = 1,5 \times b_{cf}$$

**Ecuación 44**

**Dónde:**

$b_{cf}$ : Ancho de los canales de floculación, m

$b_{vf}$ : Ancho de Vueltas de la Floculación, m

**e) Ancho del Floculador**

$$b_f = 3b_{lf} \times b_{vff}$$

**Ecuación 45**

**Dónde:**

$b_{lf}$ : Ancho útil de la lámina, m

$b_{vff}$ : Ancho de los canales de floculación, m

$b_f$ : Ancho del Floculador, m

**f) Número de Canales**

$$Nc_f = \frac{Lc_f}{b_f}$$

**Ecuación 46**

**Dónde:**

$b_f$ : Ancho del Floculador, m

$L_c$ : Longitud de canales, m

$Nc_f$ : Número de Canales, unidad

**g) Longitud del Floculador**

$$L_f = (Nc_f \times b_{cf}) + (Nc_f - 1) \times e_l$$

**Ecuación 47**

**Dónde:**

$Nc_f$ : Número de canales, Unidad

$b_{cf}$ : Ancho de los canales de floculación, m

$e_l$ : Espesor de las láminas, m

$L_f$ : Longitud del Floculador, m

**h) Pérdida de Carga en las Vueltas**

$$hp_1 = \frac{Kf \times v_f^2 (Nc_f - 1)}{2g}$$

**Ecuación 48****Dónde:****Kf:** Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas, Unidad**v<sub>f</sub>:** Velocidad de fluido, m/s**N<sub>cf</sub>:** Número de canales, unidad**g:** Aceleración de la gravedad, m/s<sup>2</sup>**hp<sub>1</sub>:** Pérdida de carga en las vueltas, m**i) Perímetro Mojado de las Secciones del Tramo**

$$Pm = 2Hu_f + b_{cf}$$

**Ecuación 49****Dónde:****Hu<sub>f</sub>:** Altura de agua en la unidad, m**b<sub>cf</sub>:** Ancho de los canales de floculación, m**Pm:** Perímetro Mojado de las Secciones del Tramo, m**j) Radio Medio Hidráulico**

$$R = \frac{A_{cf}}{Pm}$$

**Ecuación 50****Dónde:****A<sub>cf</sub>:** Área de los canales del Floculador, m<sup>2</sup>**Pm:** Perímetro mojado de las secciones, m**R:** Radio Medio Hidráulico, m**k) Pérdida de carga en los Canales**

$$hp_2 = SL = \left[ \frac{v_f \times n}{R^{2/3}} \right]^2 \times Lc_f$$

**Ecuación 51****Dónde:****v<sub>f</sub>:** Velocidad del fluido, m/s**n:** Coeficiente de Manning, adimensional**R:** Radio medio hidráulico, m**Lc<sub>f</sub>:** Longitud de canales, m

**hp<sub>2</sub>**: Pérdida de carga en los canales, m

**Tabla 9-1** Valores típicos del coeficiente de rugosidad (n)

Material	Coficiente de Manning	Coficiente Rugosidad Absoluta (mm)
Asbestos cemento	0,011	0,0015
Latón	0,011	0,0015
Fierro fundido (nuevo)	0,012	0,6
Concreto (cimbra metálica)	0,011	0,26
Concreto (cimbra madera)	0,015	0,18
Concreto simple	0,013	0,6
Cobre	0,011	0,0015
Acero corrugado	0,022	45
Acero Galvanizado	0,016	0,15
Plomo	0,011	0,0015
Plástico (PVC)	0,09	0,0015
Madera (duelas)	0,012	0,18
Vidrio (laboratorio)	0,011	0,0015

Fuente: (APLICACIONES DE COMPUTACION EN INGENIERIA HIDRAULICA, 1992)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**l) Pérdida de Carga Total**

$$hf_1 = hp_1 + hp_2$$

**Ecuación 52**

**Dónde:**

**hp<sub>2</sub>**: Pérdida de la carga en los canales, m

**hp<sub>1</sub>**: Pérdida de carga en las vueltas, m

**hf<sub>1</sub>**: Pérdida de carga total

**m) Gradiente de Velocidad**

$$G_f = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{hf_1}{T}}$$

**Ecuación 53**

**Dónde:**

$\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta

**hf<sub>1</sub>**: Pérdida de carga total, m

**T**: Tiempo de retención, min

**G<sub>f</sub>**: Gradiente de velocidad, s<sup>-1</sup>

**Tabla 10-1** Propiedades físicas del agua

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Peso específico (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Viscosidad dinámica (N·s/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)</b>
<b>0</b>	9,805	999,8	$1,781 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$
<b>5</b>	9,807	1000,0	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,519 \cdot 10^{-6}$
<b>10</b>	9,804	999,7	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$
<b>15</b>	9,798	999,1	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$
<b>20</b>	9,789	998,2	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$
<b>25</b>	9,777	997,0	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$
<b>30</b>	9,764	995,7	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$
<b>40</b>	9,730	992,2	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$
<b>50</b>	9,689	988,0	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$
<b>60</b>	9,642	983,2	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$
<b>70</b>	9,589	977,8	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$
<b>80</b>	9,530	971,8	$0,354 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$
<b>90</b>	9,466	965,3	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$
<b>100</b>	9,399	958,4	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$

Fuente: (DAUGHERTY, y otros, 1978)

Realizado por: Anita Narváez 2016

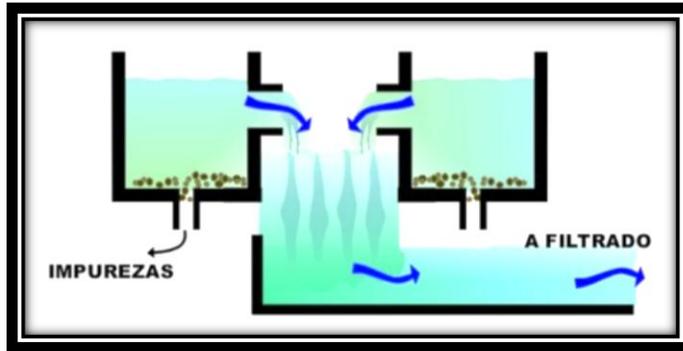
### **1.9.5 Sedimentación**

Es una operación que ayuda a eliminar los sólidos suspendidos aquellos que generan turbidez en el fluido mediante la fuerza de gravedad, la misma que si no hubiese esta operación afectaría adversamente a la eficiencia de la desinfección.

Después que el agua ha pasado por las unidades de floculación es conducido a estanques de sedimentación cuya finalidad es permitir la caída de las partículas de impurezas, transformadas en “flóculos”, al fondo del estanque. Para completar este proceso, el agua debe permanecer en estos estanques durante varias horas.

Luego desde el fondo de estos estanques o piletones, se extraen las impurezas, accionando válvulas se los extrae por conductos especiales de limpieza.

A partir de ese momento, también se procede a la limpieza total de los piletones. (Esta limpieza se efectúa periódicamente, también en todos los otros piletones y conductos del sistema de potabilización de la planta).



**Figura 8-1** Sedimentación

Fuente: (MARTINEZ)

#### 1.9.5.1 Componentes de un sedimentador:

##### ❖ Zona de Entrada

Es la disposición hidráulica de transición que permite una distribución igual del flujo dentro del sedimentador.

##### ❖ Zona de Sedimentación

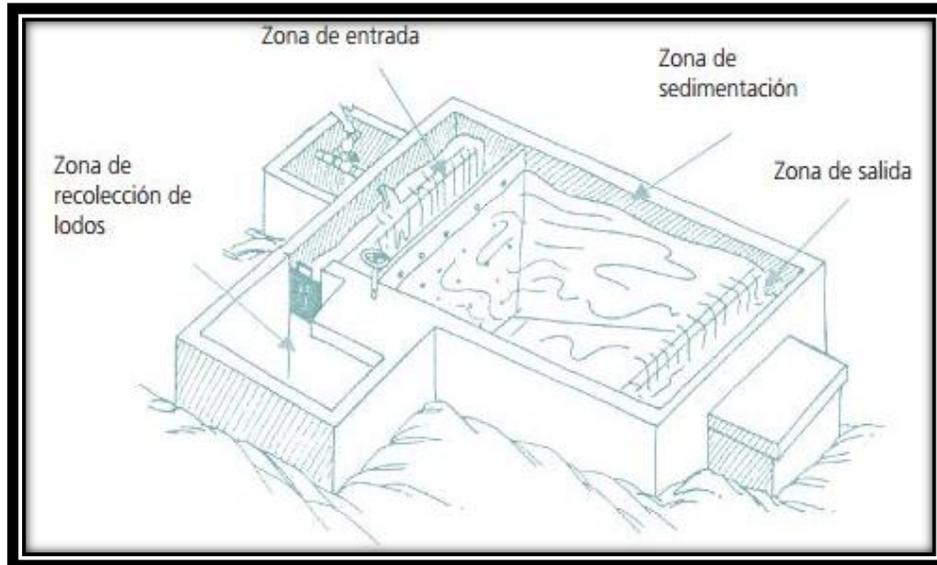
Consta de un canal rectangular con volumen longitud y medios de flujo adecuados para que se sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos.

##### ❖ Zona de Salida

Compuesta por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen el propósito de recolectar el efluente sin alterar la sedimentación de las partículas depositadas.

❖ Zona de recolección de lodos

Constituida por una tolva con capacidad para colocar los lodos sedimentados y una tubería y válvula para su evacuación periódica.



**Figura 9-1** Sedimentador

Fuente: (Manual de abastecimiento de agua potable)

### 1.9.5.2 Tipos de Sedimentadores

Existen varias formas de clasificar los tipos de sedimentadores, una de ellas es la diferencia por su forma, sentido de flujo y condición de funcionamiento:

Por su forma:

- ✓ Rectangulares
- ✓ Circulares
- ✓ Cuadrados

Por el sentido de flujo:

- ✓ Horizontales
- ✓ Verticales

Por las condiciones de funcionamiento:

- ✓ Convencionales
- ✓ Laminares (tubos o placas paralelas) o modulares o de alta tasa

### 1.9.5.3 Parámetros para el diseño de un sedimentador

Según Streeter se debe tomar los siguientes criterios:

#### a) Carga superficial después de instalar las placas

$$v_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$$

**Ecuación 54**

**Dónde:**

$l_p$ : Longitud de las placas, m

$t_{rp}$ : Tiempo de retención en las placas, min

$v_{so}$ : Carga superficial después de instalar las placas

**Tabla 11-1** Parámetros de diseño de placas planas de asbesto-cemento

Parámetro	Valor
Longitud	1,20 m
Ancho	2,40 m
Espesor	0,01 m

Fuente: (ROMERO, 1999)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 12-1** Parámetros de diseño de Sedimentadores Laminares

Parámetro	Valor
Tiempo de retención en las placas	15 – 25 min
Numero de Reynolds	<500 (Fisherstrom) <250 (Arboleda) <200 (Montgomery) <280 (Schulz y Okum)
Inclinación de las placas	60°
Distancia entre placas	5 cm
Profundidad	3 – 5 m
Pendiente del Fondo	>2%

Fuente: (ROMERO, 1999)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**b) Área de Sedimentación**

$$A_s = \frac{Q}{v_{so} \operatorname{sen}\theta}$$

**Ecuación 55**

**Dónde:**

$v_{so}$ : Carga superficial de sedimentación después de instalar las placas, m/d

$Q=Qd$ : Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/d

$\theta$ : Ángulo de inclinación de elemento de sedimentación: 60°C

$A_s$ : Área superficial de la sedimentación acelerada, m<sup>2</sup>

**c) Ancho del Sedimentador**

$$b_s = \sqrt{\frac{A_s}{5}}$$

**Ecuación 56**

**Dónde:**

$A_s$ : Área de sedimentador, m<sup>2</sup>

**d) Longitud de sedimentación**

$$L_s = \frac{A_s}{b_s}$$

**Ecuación 57**

**Dónde:**

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

$b_s$ : Ancho del sedimentador, m

$L_s$ : Longitud de sedimentación, m

**e) Longitud Relativa del Sedimentador de alta tasa**

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

**Ecuación 58**

**Dónde:**

$l_p$ : Longitud recorrida a través del elemento (placa), m

$dp$ : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, m

$Lr$ : Longitud Relativa del Sedimentador de alta tasa, adimensional

**f) Número de Reynolds**

El número de Reynolds será menor a 500 esto garantizara el flujo en transición.

$$Re = \frac{v_{so} \times dp}{\nu}$$

**Ecuación 59**

**Dónde:**

**v<sub>so</sub>**: Velocidad promedio del fluido en el sedimentador, m/d

**dp**: Ancho del conducto o espacio entre placas, m

**ν**: Viscosidad cinemática, m<sup>2</sup>/s

**Re**: Número de Reynolds, adimensional

**g) Longitud relativa en la región de transición**

$$L' = 0.013 \times Re$$

**Ecuación 60**

**Dónde:**

**Re**: Número de Reynolds, adimensional

**L'**: Longitud relativa en la región de transición, adimensional

**h) Longitud Relativa del Sedimentador Corregida**

$$L_{cr} = 2(Lr - L') \quad \text{Si } L' > Lr/2$$

**Ecuación 61**

También puede ser calculado **L<sub>cr</sub>** con la siguiente ecuación:

$$L_{cr} = Lr - L' \quad L' \leq Lr/2$$

**Dónde:**

**Lr**: Longitud relativa del Sedimentador de alta tasa, adimensional

**L'**: Longitud de transición, m

**L<sub>cr</sub>**: Longitud relativa del sedimentador corregida, adimensional

**i) Velocidad de Sedimentación Crítica**

$$V_{sc} = \frac{S_c \times v_{so}}{\text{Sen}\theta + (L_{cr} \times \text{Cos}\theta)}$$

**Ecuación 62**

**Dónde:**

**Sc:** Parámetros característicos para sedimentadores de placas paralelas, adimensional

**$v_{so}$ :** Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas, m/d

**$\theta$ :** Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa, (°)

**$L_{cr}$ :** Longitud relativa del Sedimentador de alta tasa, adimensional

**Tabla 13-1** Valores de Sc Típicos

Tipo de módulo	Sc
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas	1,30
Otras formas tubulares	1,33 – 1,42

Fuente: (Villegas)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**j) Viscosidad cinemática**

$$v = \frac{497 \times 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

**Ecuación 63**

**Dónde:**

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

**T:** Temperatura del agua, °C

**k) Tiempo de Retención en las Placas**

$$tr_p = \frac{l_p}{v_{so}}$$

**Ecuación 64**

**Dónde:**

**$l_p$ :** Longitud recorrida a través del elemento (placa), m

**$v_{so}$ :** Velocidad promedio de fluido en el sedimentador, m/s

**$tr_p$ :** Tiempo de retención en la placas, min

**l) Tiempo de Retención en el Tanque de sedimentación**

$$tr_s = \frac{V}{Q} = \frac{A_s \times H_s}{Q}$$

**Ecuación 65****Dónde:****Q=Qd:** Caudal de diseño,  $m^3/s$ **H<sub>s</sub>:** Altura total, m**A<sub>s</sub>:** Área de sedimentación,  $m^2$ **tr<sub>s</sub>:** Tiempo de Retención en el Tanque de sedimentación**m) Velocidad Promedio de Flujo Entre Placas Inclinadas**

$$V_p = \frac{Q}{A_s * \text{Sen } \theta}$$

**Ecuación 66****Dónde:****Q=Qd:** Caudal de diseño,  $m^3/s$ **A<sub>s</sub> :** Área de sedimentación,  $m^2$ **θ:** Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa, (°)**V<sub>p</sub>:** Velocidad Promedio de Flujo Entre Placas Inclinadas, m/s**n) Número de Placas por Módulo**

$$N_p = \frac{(L_s \times \text{Sen}\theta) + s_p}{s_p + e_p}$$

**Ecuación 67****Dónde:****L<sub>s</sub>:** Longitud de sedimentación, m**θ:** Ángulo de sedimentación de las placas, (°)**s<sub>p</sub>:** Separación entre placas, m**e<sub>p</sub>:** Espesor de las placas, m**N<sub>p</sub>:** Número de placas por módulo, unidad**o) Volumen del Sedimentador**

$$V_s = L_s \times b_s \times H_s$$

**Ecuación 68****Dónde:****L<sub>s</sub>:** Longitud del sedimentador, m**b<sub>s</sub>:** Ancho del sedimentador, m

**H<sub>s</sub>**: Altura del sedimentador, m

**V<sub>s</sub>**: Volumen del Sedimentador, m<sup>3</sup>

### **1.9.6 Filtración**

Es el proceso de purificación, mediante el cual se elimina del agua la materia en suspensión y tiene como principal objetivo la eliminación de los microorganismos que lograron pasar el proceso de sedimentación.

El agua decantada entra por la parte superior de cada estanque, en el cual hay capas de arena y piedra de distintos tamaños que actúan como filtros. El agua baja, pasando a través de las capas filtrantes, donde quedan retenidas la mayoría de las partículas que aún están en suspensión que son aquellas que no lograron ser eliminadas en las etapas anteriores. Estas partículas finas y livianas, al pasar entre las capas de arena y ripio quedan retenidas. Así, el agua cuando llega al fondo de los estanques de filtrado, atravesando dichas capas, ya se encuentra cristalina y es recolectada y conducida mediante tuberías a la siguiente etapa.

En la sedimentación la mayoría de las partículas se asientan por la gravedad dentro de un tiempo razonable y se remueven (SPELLMAN).

#### **1.9.6.1 Tipos de filtros**

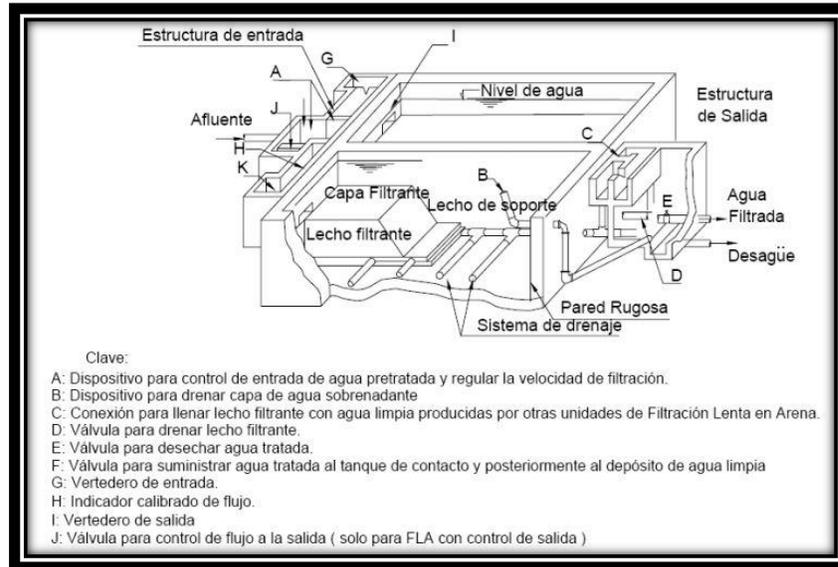
Según la tasa o velocidad de filtración

##### **❖ Filtros lentos de arena (FLA)**

El tratamiento del agua en una unidad de FLA es el producto de un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, los cuales interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua.

Los filtros lentos de arena son habitualmente depósitos que contienen arena (con partículas de tamaño efectivo de 0.150 a 0.300 mm) hasta una profundidad de 0.500 a 1.500 m. En estos filtros, en los que el agua bruta fluye hacia abajo, la turbidez y los microorganismos se eliminan principalmente en los primeros centímetros de la arena. Se forma una capa biológica, conocida como schmutzdecke, en la

superficie del filtro, que puede eliminar eficazmente microorganismos. El agua tratada se recoge en sumideros o tuberías situados en la parte baja del filtro. Periódicamente, se retiran y sustituyen los primeros centímetros de arena que contienen los sólidos acumulados. El caudal unitario de agua a través de los filtros lentos de arena es de 0.100 a 0.400 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>·h).



**Figura 10-1** Filtro Lento de Arena

**Fuente:** (DEGREMONT)

**Realizado por:** Anita Narváez 2016

#### ❖ Filtros Rápidos

Los filtros rápidos de arena por gravedad son habitualmente depósitos rectangulares abiertos (habitualmente de menos de 100 m<sup>2</sup>) que contienen arena de sílice (con granos de 0.500 a 1.000 mm) hasta una profundidad de 0.600 a 2.000 m. El agua fluye hacia abajo y los sólidos se concentran en las capas superiores del lecho. El caudal unitario es generalmente de 4 a 20 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>·h). El agua tratada se recoge mediante bocas situadas en el suelo del lecho. Los sólidos acumulados se retiran periódicamente descolmatando el filtro mediante inyección (a contracorriente) de agua tratada. En ocasiones, la arena se lava previamente con aire. Se produce un lodo diluido que debe desecharse (IBIDEN).

#### ❖ Según la presión, los filtros rápidos

Estos son de dos tipos:

- ✓ De presión: cerrados, metálicos, en los cuales el agua que va a ser tratada se aplica a presión (usados en piscinas e industrias)
- ✓ De gravedad, los más comunes. (IBIDEN)

1.9.6.2 *Parámetros que se consideran para el diseño de un filtro lento de arena*

**a) Área de filtración**

$$A_f = \frac{Q}{v_{fl}}$$

**Ecuación 69**

**Dónde:**

**Q=Qd:** Caudal de diseño o a tratar, m<sup>3</sup>/h

**v<sub>fl</sub>:** Velocidad de filtración, m/h

**A<sub>f</sub>:** Área de filtración, m<sup>2</sup>

**b) Número de módulos de filtración**

$$n_f = 0,5 \times \sqrt[3]{A_f}$$

**Ecuación 70**

**Dónde:**

**A<sub>f</sub>:** Área de filtración, m<sup>2</sup>

**n<sub>f</sub>:** Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

**b) Área de cada unidad**

$$A_i = \frac{A_f}{n_f}$$

**Ecuación 71**

**Dónde:**

**A<sub>f</sub>:** Área de filtración, m<sup>2</sup>

**n<sub>f</sub>:** Número de filtros calculados, unidades

**A<sub>i</sub>:** Área para cada unidad, m<sup>2</sup>

**Tabla 14-1** Parámetros de diseño de Filtros lentos de arena

Parámetro	Valor
Tasa de filtración	1,2- 3,7m/s* 2 – 12 m/d.
Medio	Arena
Altura del agua sobre el lecho	1 - 1,5 m
Profundidad del medio	0,60 – 1 m
Profundidad de grava	0,30 m
Tamaño efectivo del medio	0,5 – 0,35 mm
Coefficiente de uniformidad	1,8 – 2,0
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje	0,4 – 0,7 m
Tiempo de lavado	5 – 15 min

Fuente: (ROMERO, 1990)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 15-1** Lecho recomendado para Filtros Lentos de Arena

Capa de grava	Espesor	<b>0,12</b>
	Tamaño efectivo	14mm
Capa de arena gruesa	Espesor	0,05m
	Tamaño efectivo	1,2
Capa de arena de filtro	Espesor	0,8
	Tamaño efectivo	0,22m

Fuente: (CINARA, 1999)

Realizado por: Anita Narváez 2016

❖ **Determinación de las dimensiones del filtro**

c) **Longitud de la pared común por unidad**

$$a_{fu} = \left( \frac{2 \times n_f \times A_{if}}{2 + n_f} \right)^{0,5}$$

**Ecuación 72**

**Dónde:**

$A_{if}$ : Área de la unidad, m<sup>2</sup>

$n_f$ : Número de filtros calculados, unidades

$a_{fu}$ : Determinación de la longitud de la pared común por unidad, m

**d) Cálculo para el ancho de la unidad**

$$b_{fu} = \left[ \frac{(n_f + 1) \times A_{if}}{2 \times n_f} \right]^{0.5}$$

**Ecuación 73**

**Dónde:**

$A_{if}$ : Área de la unidad, m<sup>2</sup>

$n_f$ : Número de filtros calculados, unidades

$b_{fu}$ : Ancho de la unidad de filtración, m

**e) Longitud total de la pared**

$$L_{tp} = (2 \times b_{fu} \times n_f) + a_{fu} \times (n_f + 1)$$

**Ecuación 74**

**Dónde:**

$n_f$ : Número total de unidades de filtración, unidades.

$b_{fu}$ : Ancho de la unidad, m

$a_{fu}$ : Longitud de pared común por unidad, m

$L_{tp}$ : Longitud total de pared, m

**f) Longitud total mínima de pared**

$$L_{mp} = 2 \times a_{fu} \times (n_f + 1)$$

**Ecuación 75**

**Dónde:**

$n_f$ : Número total de unidades de filtración, unidades.

$a_{fu}$ : Longitud de pared común por unidad, m

$L_{mp}$ : Longitud total mínima de pared, m

**g) Altura del Filtro**

$$Z_f = (C_a + L_a + C_s + F_c)$$

**Ecuación 76**

**Dónde:**

$Z_f$ : Altura del filtro, m

$C_a$ : Altura de la capa de agua, m

$L_a$ : Altura del lecho filtrante, m

$C_s$ : Altura de la capa de soporte, m

$F_c$ : Altura del drenaje, m

**h) Diámetro de la tubería de entrada al filtro**

$$D_t = \sqrt{\frac{4Q_i}{v \times \pi}}$$

**Ecuación 77**

**Dónde:**

$Q_i$ : Caudal de diseño para cada filtro, m<sup>3</sup>/s

$v$ : Velocidad en la tubería, m/s

$D_t$ : Diámetro de la tubería de entrada al filtro, m

- **Determinación del sistema de drenaje**

Se utilizara una tubería de 70 mm perforada para la estructura de salida del filtro mediante la cual se mantendrá almacenada el agua filtrada. Los Diámetro de los orificios laterales tomara en relación al caudal que está diseñado

**Tabla 16-1** Parámetros para drenajes por tuberías

Parámetro	Valor
Velocidad máxima en el distribuidor	0,3 m/s
Velocidad máxima en los laterales	0,3 m/s
Área del lecho	(1,5 a 5) x 10 <sup>-3</sup>
Área principal	1,5 a 3
Área de orificios servida por el lateral	2 a 4

Fuente: (Silva, 2002)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**i) Área de Cada Orificio**

$$A_{of} = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

**Ecuación 78**

**Dónde:**

$D_o$ : Diámetro de tubería, m

$A_{of}$ : Área de Cada Orificio, m<sup>2</sup>

**j) Caudal que Ingresa a Cada Orificio**

$$Q_o = A_{of} * v_{of}$$

**Ecuación 79**

**Dónde:**

$v_{of}$ : Velocidad de orificio, m/s

$A_{of}$ : Área de cada orificio, m<sup>2</sup>

$Q_o$ : Caudal que ingresa a cada orificio, m<sup>3</sup>/s

**k) Número de Laterales**

$$n_L = \# \text{ Laterales} = n_{Lf} \times \frac{L_{tp}}{s_{lf}}$$

**Ecuación 80**

**Dónde:**

$L_{tp}$ : Longitud total del filtro, m

$s_{lf}$ : Separación entre laterales, m

$n_{Lf}$ : Número de laterales por lado, adimensional

$n_L$ : Número de Laterales, adimensional

**Tabla 17-1** Parámetros de diseño de los laterales

Espaciamiento de los laterales	1 - 2 m
Diámetro de los orificios de los laterales	6,5 mm - 15,8 mm
Espaciamiento de los orificios de los laterales	7,5 cm - 25 cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3 - 5 cm
Velocidad en orificio	3 - 5 m/s

Fuente: (ARBOLEDA, 2000)

Realizado por: Anita Narváez 2016

**l) Separación Entre Orificios**

$$s_o = \# \text{ Orificios/ Laterales} = 2 \times \frac{L_L}{e_o}$$

**Ecuación 81**

**Dónde:**

$L_L$ : Longitud de cada lateral, m

$e_o$ : Espacio entre orificios, m

$s_o$ : Separación entre orificios, adimensional

Se multiplicara por 2 ya que se realiza dos orificios en la misma vertical formando 60° entre sí.

**m) Número Total de Orificios**

$$n_o = \# \text{ Total de orificios} = n_L \times s_o$$

**Ecuación 82**

**Dónde:**

**n<sub>L</sub>:** # Laterales, adimensional

**s<sub>o</sub>:** Separación entre orificios, adimensional

**n<sub>o</sub>:** Número total de orificios, adimensional

**n) Área Total de Orificios**

$$At_o = A_{of} \times n_o$$

**Ecuación 83**

**Dónde:**

**A<sub>of</sub>:** Área de cada orificio, m<sup>2</sup>

**n<sub>o</sub>:** Número total de orificios, adimensional

**At<sub>o</sub>:** Área Total de Orificios, adimensional

**o) Comprobación de Cumplimiento con los Parámetros (0,0015-0,005)**

$$\frac{At_o}{A_f}$$

**Ecuación 84**

**Dónde:**

**At<sub>o</sub>:** Área total de orificios, m<sup>2</sup>

**A<sub>f</sub>:** Área de filtración, m<sup>2</sup>/s

**p) Diámetro de la tubería de salida del filtro**

La tubería de salida del filtro se diseña en base a los criterios de velocidad.

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_s}}$$

**Ecuación 85**

**Dónde:**

**$D_{Ts}$ :** Diámetro de la tubería de salida del agua del filtro, m

**$v_s$ :** Velocidad del agua a través de la tubería de salida, m/s

**$Q_i$ :** Caudal de diseño para cada filtro, m<sup>3</sup>/s

**Tabla 18-1** Velocidad de diseño para tuberías del filtro

Parámetro	Velocidad m/s
Afluente	0,15 - 3
Efluente	0,4 - 0,9

Fuente: (ROMERO, 1999)

Realizado por: Anita Narváez 2016

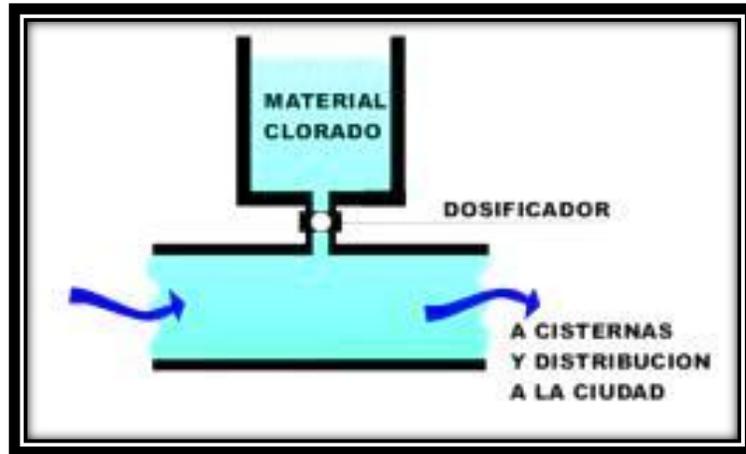
### **1.9.7 Desinfección**

Esta es la última etapa de tratamiento en todos los procesos de potabilización de agua, ya que su objetivo principal es eliminar todos los microorganismos patógenos que son perjudiciales para la salud del ser humano.

Consiste en la inyección de cloro que permite destruir los últimos microorganismos que aún podrían encontrarse presentes en el agua. Con este proceso se consigue desinfectarla, prevenir contaminaciones en las redes de distribución y además servir como indicador de calidad.

En efecto, este proceso final de desinfección del agua permite asegurar su calidad sanitaria.

El cloro se inyecta a través de dosificadores automáticos en una cantidad adecuada en miligramos de cloro por litro de agua. Esto permite la eliminación de los microorganismos que pudiesen quedar en el agua después del tratamiento.



**Figura 11-1** Cloración  
Fuente: (Proceso de Potabilización)

#### 1.9.7.1 Métodos de desinfección

Existen tres productos generalmente utilizados, para realizar la cloración de agua potable, dada sus propiedades desinfectantes:

- ✓ Cloro Gas.
- ✓ Hipocloritos de Calcio y Sodio.
- ✓ Cal Clorada. (IBIDEN)

- **Hipoclorito de calcio**

El hipoclorito de calcio es una de las formas en las cuales el cloro se encuentra como producto sólido con un porcentaje en peso de 65% aproximadamente. Para su empleo debe disolverse en agua, donde es muy soluble, y así es posible agregar la solución resultante empleando una bomba peristáltica, de manera similar a como se hace con el hipoclorito de sodio. (IBIDEN)

#### 1.9.7.2 Parámetros de diseño para el proceso de desinfección

La desinfección es la última etapa de tratamiento en todo proceso de potabilización del agua, donde se elimina todos los microorganismos patógenos para la salud del ser humano.

- **Dosificación de las sustancias químicas**

a) **Dosificación de HTH lb/día**

$$D_{HTH} = m_{HTH} = 0,012 \times Q_d \times C$$

Ecuación 86

**Dónde:**

**0.012:** constante adimensional

**Qd:** Caudal de diseño, gpm

**C:** Concentración de HTH, mg/L

**D<sub>HTH</sub>:** Dosificación de HTH, lb/día

b) **Volumen de agua para diluir el HTH para la preparación de la solución madre**

Mediante la siguiente ecuación se determina la cantidad de agua necesaria para diluir el Hipoclorito de Calcio ( $V_1$ ), utilizando la relación de la densidad:

$$V_{AHTH} = \frac{m_{HTH}}{\rho_{HTH}}$$

Ecuación 87

**Dónde:**

**m<sub>HTH</sub>:** Cantidad de HTH, g/día

**$\rho_{HTH}$ :** Densidad de HTH, g/L

**V<sub>AHTH</sub>:** Volumen de agua para diluir el HTH, L/día

c) **Volumen de la solución madre**

$$V_{SM} = \frac{V_{AHTH} * 65\%}{8,5\%}$$

Ecuación 88

**Dónde:**

**V<sub>SM</sub>:** volumen de la solución madre, L

**V<sub>AHTH</sub>:** volumen de agua para diluir HTH, L/día

d) **Volumen de agua requerida para diluir la solución madre**

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

Ecuación 89

**Dónde:**

**V<sub>2</sub>:** Volumen de agua requerido para diluir la solución madre, L

**V<sub>1</sub>**: Volumen de la solución madre, L

**C<sub>1</sub>**: Concentración de dosificación de hipoclorito de calcio, mg/L

**C<sub>2</sub>**: Concentración del hipoclorito de calcio, mg/L

**e) Volumen total de la solución**

$$V_T = V_1 + V_2$$

**Ecuación 90**

**Dónde:**

**V<sub>T</sub>**: Volumen total de la solución, L

**V<sub>1</sub>**: Volumen de la solución madre, L/día

**V<sub>2</sub>**: Volumen de agua requerido para diluir la solución madre, L/día

Transformando L/día a ml/min para ver el goteo de la solución de HTH. Se afora mediante un vaso de precipitación la cantidad de la solución de HTH en ml mediante un cronometro y el volumen resultante será el goteo que se requiere para desinfectar el agua tratada.

## CAPÍTULO II

### 2 Parte Experimental

El siguiente trabajo está orientado a realizar el rediseño de la planta de tratamiento de agua de la Parroquia Químiag para lo que se realizara el diagnóstico del estado actual de planta, la caracterización física, química y microbiológica al ingreso de la planta y después de pasar por ella.

#### 2.1 Diagnóstico del estado actual de la planta

El estado del agua que actualmente está siendo distribuida a la parroquia Químiag no es apta para el consumo humano ya que se evidencio físicamente varios inconvenientes debido que proviene de una vertiente la misma que debe ser sometida a diferentes procesos de tratamiento y la infraestructura actual de la planta de tratamiento no es la adecuada ya que solo cuenta con el siguiente proceso:

- Desinfección mediante un dosificador de Químicos

Es decir no cuenta con los procesos necesarios para ser potabilizada este tipo de agua.

##### 2.1.1 *Visita In situ*

Se conoció que el sistema de tratamiento de agua potable actual de la parroquia Químiag, se abastece de una vertiente llamado Quimias, siendo este la única fuente que suministra el agua a la planta de tratamiento, la misma que es dirigida mediante tubería PVC hacia el tanque de captación en el cual se realiza la desinfección mediante goteo por un dosificador de químicos 1 l/min una vez realizado este proceso es dirigido a un tanque de almacenamiento del mismo se distribuye a la población.

Cabe mencionar que en muchas ocasiones no se realiza la desinfección y se distribuye sin tratamiento alguno a la población.

Por tal motivo se comprobó mediante la caracterización físico-química y microbiológica tomando los requisitos de la Norma INEN 1108:2006 Segunda Revisión “Agua Potable .Requisitos”.



**Figura 12-2** Proceso de Desinfección  
**Fuente:** Anita Narváez, 2016

2.1.1.1 Localización de la investigación



**Figura 13-2** Ubicación Geográfica de la parroquia Químiag  
**Fuente:** Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Químiag 2012 - 2021

**Región:** Sierra

**Provincia:** Chimborazo

**Cantón:** Riobamba

Los límites de la parroquia Químiag son:

**Norte:** Cantón Penipe

**Sur:** Cantón Chambo

**Este:** Cantón Guamboya, Parque Nacional Sangay

**Oeste:** Parroquia Cubijfes

El rango altitudinal es de 2400 msnm-5319msnm y un clima ecuatorial de alta montaña meso térmico semi – húmedo y mesotérmico seco

*2.1.1.2 Recopilación de la Información*

Se partió con la identificación de los procesos existentes de la Planta de Agua Potable, seguidamente con la caracterización físico-química y microbiológica tomando muestras simples del agua en las distintas etapas considerando NTE INEN 2 169:98. AGUA. CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS, todo esto con fin de comparar los datos y establecer el estado de la planta.

a) Plan de Muestreo

La forma de recolección de información se realizó un muestreo sistemático simple tomando muestras en el tanque de almacenamiento y distribución del sistema de potabilización actual, durante 3 meses, se los realizó en el laboratorio de control de calidad en la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Chaquishca”.

**Tabla 19-2** Plan de muestreo

LUGAR DE MUESTREO	MAYO					JUNIO					JULIO					TOTAL
	DÍA					DÍA					DÍA					
	19	21	25	27	29	16	18	22	24	26	15	17	21	23	29	
TANQUE DISTRIBUIDOR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15

Realizado por: Anita Narváez 2016

b) Técnicas recolección de muestras

Se consideró la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2226:2000. AGUA. CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO, para la recolección más adecuada, como especifica en la siguiente Tabla:

**Tabla 20-2** Manejo y usos de recipientes

<b>USO DE RECIPIENTES</b>	<b>MANEJO DE RECIPIENTES</b>	<p>-Es importante elegir y preparar los recipientes.</p> <p>-El recipiente que va a contener la muestra, la tapa y no deben:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ser causa de contaminación por ejemplo: recipientes de vidrio borosilicato o los de sodio cal, pueden aumentar el contenido de silicio y sodio.</li> <li>• Absorber o adsorber los constituyentes a ser determinados por ejemplo: los hidrocarburos pueden ser absorbidos en un polietileno; trazas de los metales pueden ser adsorbidas sobre la superficie de los recipientes de vidrio, lo cual se previene acidificando las muestras.</li> <li>• Reaccionar con ciertos constituyentes de la muestra por ejemplo: los fluoruros reaccionan con el vidrio.</li> </ul> <p>-El uso de recipientes opacos o de vidrio ámbar puede reducir las actividades fotosensitivas considerablemente.</p> <p>-Es recomendable reservar los recipientes para las determinaciones especiales de forma que se reduzcan al mínimo los riesgos de contaminación cruzada.</p>		
	<b>PREPARACIÓN DE RECIPIENTES</b>	<b>ANÁLISIS QUÍMICOS</b>	<p>-El recipiente nuevo de vidrio, se debe lavar con agua y detergente para retirar el polvo y los residuos del material del empaque, seguido de un enjuague con agua destilada.</p> <p>-Para la determinación de fosfatos, sílice, boro y agentes surfactantes no se deben usar detergentes en la limpieza de los recipientes.</p>	
		<b>ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS</b>	<p>-Deben ser aptos para resistir la temperatura de esterilización de 175°C durante 1h y no deben producir o realizar cambios químicos a esta temperatura se inhiban la actividad biológica; inducir la mortalidad o incentivar el crecimiento.</p> <p>-Cuando se usa la esterilización a bajas temperaturas por ejemplo: esterilización con vapor, se pueden usar recipientes de policarbonato y de polipropileno resistente al calor. Las tapas y otros sistemas de cierre deben ser resistentes a la misma temperatura de esterilización.</p>	

Fuente: (NTE INEN2226:2000)

Realizado por: Anita Narváez 2016

Las muestras tomadas fueron trasladadas al laboratorio de Control de Calidad del sistema de tratamiento de agua potable “CHAQUISHCA” en el cual se realizó el análisis respectivos para de esta manera evitar que se alteren las características del agua muestreada.

c) Equipos, materiales y reactivos

**Tabla 21-2** Requerimiento de equipos, materiales y reactivos

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Balanza Analítica</li> <li>•Baño María</li> <li>•Colorímetro</li> <li>•Conductímetro</li> <li>•Equipo de Jarras</li> <li>•Estufa</li> <li>•Fotómetro</li> <li>•Incubadora</li> <li>•pH-metro</li> <li>•Reverbero</li> <li>•Turbidímetro</li> <li>•Balanza</li> <li>•Espectrofotómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Buretas</li> <li>•Erlenmeyer</li> <li>•Film protector</li> <li>•Peras de succión</li> <li>•Pinzas</li> <li>•Pipetas</li> <li>•Probetas</li> <li>•Tubos de ensayo</li> <li>•Vasos de precipitación</li> <li>•Matraz</li> <li>•Probeta</li> <li>•Piseta</li> <li>•Gradilla</li> <li>•Varilla de agitación</li> <li>•Caja Petri</li> <li>•Embudos de vidrio</li> <li>•Espátula</li> <li>•Indicador de pH</li> <li>•Frascos estériles</li> <li>•Frascos para muestras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reactivos HACH</li> <li>•Indicadores PAN (0,3% y 0,1%)</li> <li>•Solución EDTA</li> <li>•Solución Buffer</li> <li>•Solución de Tiocianato de mercurio</li> <li>•Solución Férrica</li> <li>•Indicador Cianuro alcalino</li> <li>•Spands</li> <li>•Agua Destilada</li> <li>•Soluciones amortiguadoras de pH4, pH7</li> <li>•Colorante negro de Eriocromo T (indicador)</li> <li>•Ampollas m-ColiBlue24® Broth</li> </ul>

Realizado por: Anita Narváez 2016

d) Métodos y técnicas

- Métodos

De las muestras tomadas en los diferentes puntos de muestreo del agua de parroquia Químiag y se realizó la caracterización físico-química y microbiológica, métodos que están adaptados al manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales); y el Manual de Análisis de Agua, métodos HACH, algunos de estos parámetros se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 22-2** Métodos de Análisis de Aguas

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO DE ANALISIS
PARÁMETROS FÍSICOS		
COLOR	UTC	COMPARACIÓN VISUAL PLATINO COBALTO
TURBIEDAD	NTU	NEFELOMÉTRICO
pH	.....	POTENCIOMÉTRICO
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	CONDUCTIVIMÉTRICO
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	CONDUCTIVIMÉTRICO
TEMPERATURA	° C	CONDUCTIVIMÉTRICO / POTENCIOMÉTRICO

PARÁMETROS QUÍMICOS		
NITRATOS (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Reducción cadmio)
NITRITOS (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO ( Diazotación)
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Ácido Ascórbico <sup>1</sup> )
NITROGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Nesslerización)
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Sulfaver 4)
FLUORUROS (F)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Spands)
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Ferrover <sup>1</sup> )
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO ( Pan <sup>1</sup> )
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO ( 1,5 Difenil carbohidracida <sup>1</sup> )
COBRE (Cu)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Bicinchoninato <sup>1</sup> )
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	TITULOMÉTRICO (EDTA)
CLORO LIBRE RESIDUAL (Cl <sub>2</sub> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (DPD)
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Aluminón <sup>1</sup> )
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO ( Tiocianato Mercurico)
NIQUEL (Ni)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO 1-(2 piridilazo)-2-naftol(PAN <sup>1</sup> )
COBALTO (Co)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO 1-(2 piridilazo)-2-naftol(PAN <sup>1</sup> )
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO NANOCOLOR 4-(piridil-2-azo)-resorcina (PAR)
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO NANOCOLOR (Zincon)
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO NANOCOLOR (Indicador colorante azul)
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO NANOCOLOR (Cloramina T)
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO ( Turbidimetric Method <sup>1</sup> )
BROMO (Br)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (DPD)
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Ácido mercaptoacético <sup>1</sup> )
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (Oxidación alcalina BrO <sup>1,2</sup> )
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO NANOCOLOR (Winkler)
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS		
ESCHERICHIA COLI	NMP/100 mL	FILTRACIÓN DE MEMBRANA AL VACIO
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	FILTRACIÓN DE MEMBRANA AL VACIO

**Fuente:** (Técnicas del Laboratorio de Análisis Técnicos)

**Realizado por:** Anita Narváez 2016

- Técnicas

Los análisis que se realizaron corresponden a las determinaciones pertenecientes al “STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER” (Métodos Normalizados

para el análisis de Agua Potable y Residuales); 20 THE EDITION DE LA AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), y métodos HACH.

La descripción de los métodos y técnicas utilizadas de este trabajo se las puede encontrar en el ANEXO E.

e) Determinación del caudal

Para determinar caudal de la planta de tratamiento de agua potable, se efectuó mediante el método volumétrico midiendo el tiempo necesario para recoger un volumen determinado.

**Tabla 23-2:** Datos de aforo mediante el método volumétrico

Volúmenes	V	T	Q (lt/s)
V <sub>1</sub>	11	0,9	12,22
V <sub>2</sub>	10,5	0,9	11,67
V <sub>3</sub>	10	0,8	12,50
V <sub>4</sub>	10,8	0,9	12
V <sub>5</sub>	11,6	1,1	10,55
V <sub>6</sub>	9,9	0,8	12,38
		<b>ΣQ</b>	11,89

Realizado por: Anita Narváez 2016

2.1.2 *Caracterización del agua*

Para determinar la calidad de agua se realizó caracterización físico-química y microbiológica, los datos se los muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 24-2** Resultados análisis físico-químico y microbiológicos. Parámetros fuera de los límites permisibles. Entrada y salida del tanque de distribución

CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA CRUDA ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA TANQUE DE DISTRIBUCIÓN SECTOR QUÍMIAG					
PARÁMETROS	UNIDAD	Límites Permisibles NTE INEN 1108:2006	Entrada agua cruda al tanque de distribución	Salida del agua del tanque de distribución	ESTÁNDAR
			MES MONITOREADO		
			Mayo	Junio	Julio
COLOR	UTC	15	20,00	25,00	15,00

TURBIEDAD	NTU	5	<b>35,00</b>	<b>39,23</b>	<b>22,00</b>
Ph	.....	6,5-8,5	7,60	7,62	7,48
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	<1250	110,95	190,23	208,60
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	1000	130,65	80,67	104,00
TEMPERATURA	° C	.....	14,96	14,31	13,58
NITRATOS (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	<40	1,10	1,27	1,08
NITRITOS (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,01	0,008	0,008	0,008
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	<0,3	2,07	0,48	0,62
NITROGENO AMONICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	<0,05	0,02	0,01	0,02
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	200	2,00	2,00	1,00
FLUORUROS (F)	mg/L	>1,5	0,52	0,42	0,74
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	<b>0,3</b>	<b>0,45</b>	<b>0,49</b>	<b>0,58</b>
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	<b>0,1</b>	<b>0,60</b>	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,05	0,006	0,009	0,007
COBRE (Cu)	mg/L	1,0	0,04	0,03	0,05
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	200	50,00	100,00	108,00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0,25	0,007	0,006	0,008
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	250	2,70	0,95	0,76
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,02	0,007	0,006	0,009
COBALTO (Co)	mg/L	0,2	0,008	0,007	0,007
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	3	< 0,10	< 0,10	< 0,10
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,05	< 0,20	< 0,20	< 0,20
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,0	< 0,02	< 0,02	< 0,02
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	0,7	0,18	0,19	0,14
BROMO (Br)	mg/L	.....	2,45	2,08	1,18
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0,30	0,45	0,27
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,05	0,009	0,008	0,008
OXIGENO DISUELTTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	10,00	4,60	4,36
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	< 2*	<b>620,00</b>	<b>400,00</b>	<b>640,00</b>
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	.....	<b>240,00</b>	<b>200,00</b>	<b>234,00</b>

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad del sistema de tratamiento de agua potable "CHAQUISHCA"

Realizado por: Anita Narváez 2016

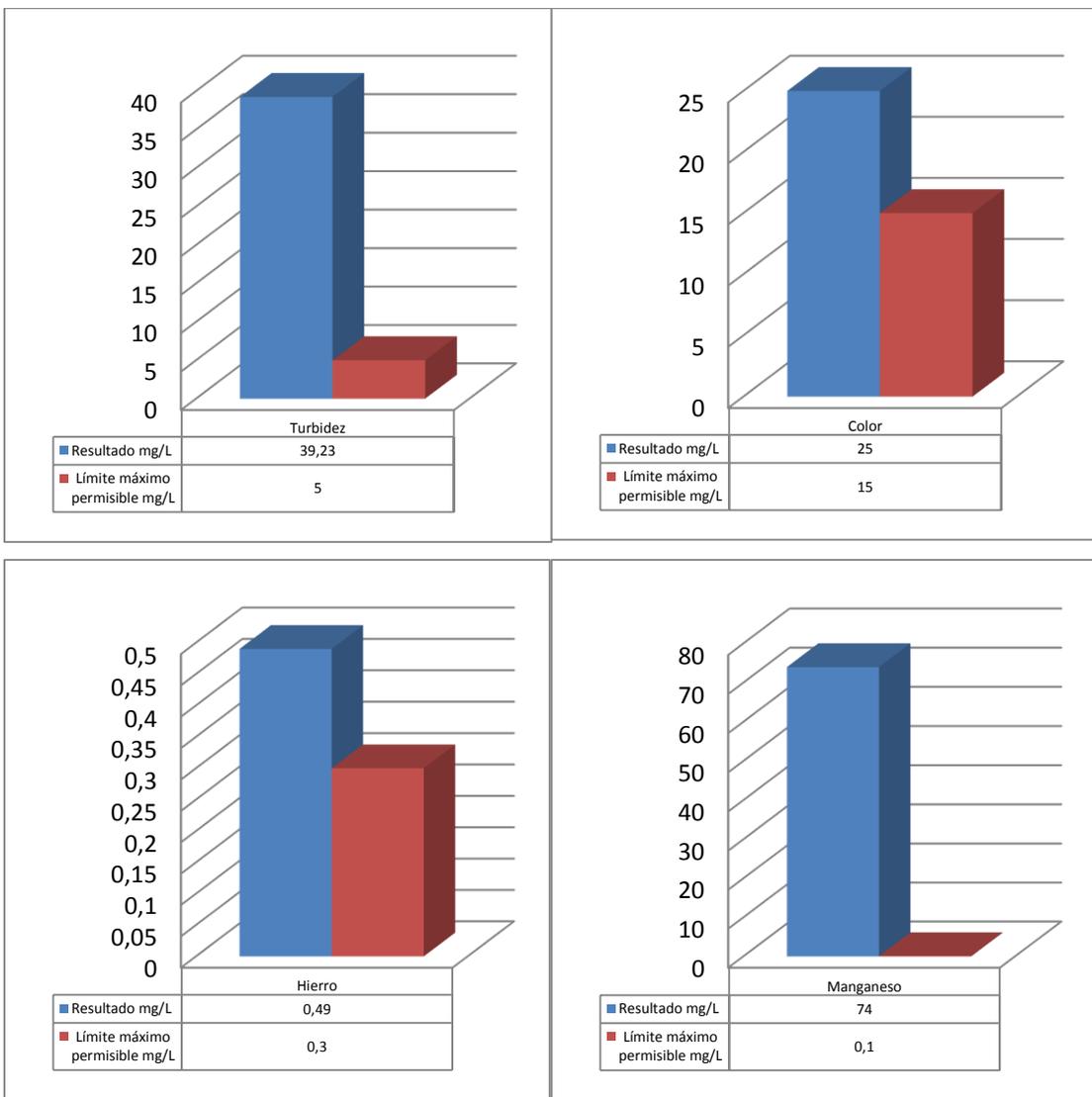
## 2.2 Parámetros fuera de Norma INEN 1108:2006

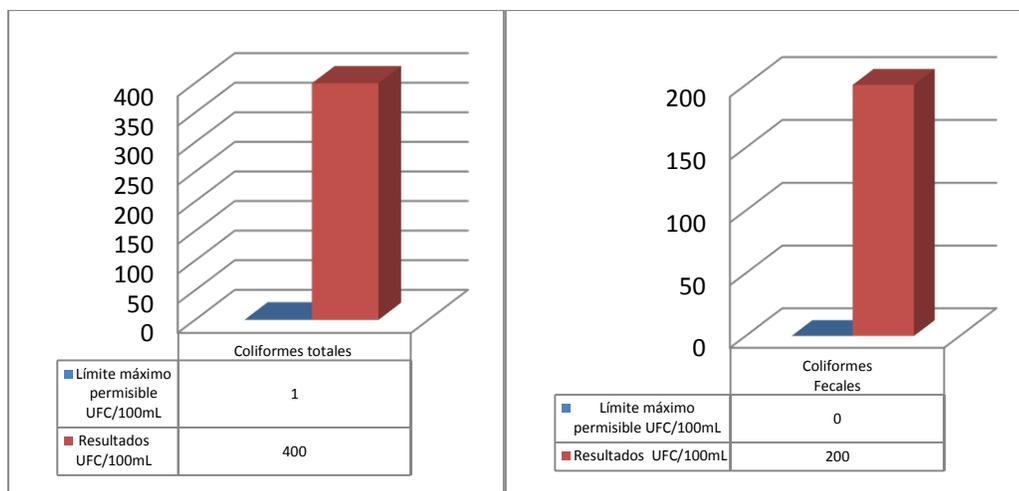
En la caracterización del agua de la parroquia Químiag cantón Riobamba, se identificó que los parámetros físicos – químicos y microbiológicos se encuentran fuera de norma son los siguientes:

**Tabla 25-2** Parámetros fuera de Norma

Parámetro		Unidades	Límite máximo permisible	Resultado
Físicos	Color	Pt /Co	15	25
	Turbidez	UNT	5	39,23
Químicos	Hierro	mg/L	0,3	0,49
	Manganeso	mg/L	0,1	0,74
Microbiológicos	Coliformes totales	NMP/100mL	1	400
	Coliformes fecales	NMP/100mL	1,1	200

Realizado por: Anita Narváez 2016





**Gráfica 1-2** Descripción de los parámetros fuera de norma  
 Realizado por: Anita Narváez 2016

### 2.3 Pruebas de Tratabilidad

Estas se realizaron mediante pruebas de jarras probando diferentes dosificaciones de Policloruro de Aluminio y CHEMFLOC (auxiliar aniónico) con la finalidad de determinar la dosis óptima que permitirá disminuir a límites permisibles los parámetros fuera de norma, actividades que se desarrollaron en el laboratorio de Control de Calidad del sistema de tratamiento de agua potable “CHAQUISHCA” de la empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de Guaranda.

Preparando así soluciones PAC y CHEMFLOC a distintas concentraciones de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis iniciales.

Se procedió a tomar 1000 mL de las muestras que presentaban daños estéticos en el agua y mediante el equipo de test de jarras a realizar ensayos a 200 rpm, dosificando las concentraciones de policloruro de aluminio y chemfloc a diferentes concentraciones probando con distintos volúmenes, hasta observar cual es la dosis óptima con mayor porcentaje de remoción, considerando las variables como tiempo de agitación, formación de los floc y decantación, mismas que se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 26-2** Pruebas de jarras efectuadas a la muestra de agua de la Parroquia Químiag

TURBIEDAD 39,23 NTU							
Conc Auxiliar	Conc PAC g/ml	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	1,50	0,75	0,96	1,54	0,64	96,80
0,80	0,01	3,00	1,50	1,08	1,94	0,70	96,50

0,80	0,01	4,50	2,25	1,20	2,40	0,76	96,20
0,80	0,01	6,00	3,00	1,33	2,92	0,82	95,90
0,80	0,02	1,50	0,75	1,46	2,34	0,88	95,60
0,80	0,02	3,00	1,50	1,60	2,72	0,94	95,30
0,80	0,02	4,50	2,25	1,74	3,31	1,00	95,00
0,80	0,02	6,00	3,00	1,89	4,34	1,06	94,70
<b>0,80</b>	<b>0,03</b>	<b>1,50</b>	<b>0,75</b>	<b>1,08</b>	<b>1,30</b>	<b>0,54</b>	<b>97,30</b>
0,80	0,03	3,00	1,50	1,32	1,85	0,60	97,00
0,80	0,03	4,50	2,25	1,63	2,61	0,68	96,60
0,80	0,03	6,00	3,00	1,98	1,58	0,76	96,20
0,80	0,04	1,50	0,75	2,35	2,12	0,84	95,80
0,80	0,04	3,00	1,50	2,76	2,76	0,92	95,40
0,80	0,04	4,50	2,25	3,20	2,37	1,00	95,00
0,80	0,04	6,00	3,00	3,67	2,28	1,08	94,60

Realizado por: Anita Narváez 2016

Para la eliminación de coliformes totales y fecales se utilizó Hipoclorito de Calcio al 65 %, realizándose la preparación de la solución madre y su posterior preparación a la concentración deseada según el caudal que tratara la planta de tratamiento.

**Tabla 27-2** Pruebas para la desinfección

<b>DESINFECCIÓN</b>			
<b>Hipoclorito de calcio 65%</b>			
<b>Concentración del HTH (C<sub>2</sub>)</b>	<b>Dosis de HTH (mL)</b>	<b>Coliformes al final NMP/100 mL</b>	<b>Remoción %</b>
0,5 mg/L	1mL	95	84,68
0,8 mg/L	2mL	60	90,32
<b>1,5 mg/L</b>	<b>3mL</b>	<b>&lt;1</b>	<b>100</b>
2,0 mg/L	4mL	<1	100

Realizado por: Anita Narváez 2016

## CAPÍTULO III

### 3 Cálculos y Resultados

#### 3.1 Cálculos de rediseño

En base a las caracterizaciones físico-químico y microbiológicas del agua se determina que el tratamiento necesario para que el agua sea apta para el consumo humano es un tratamiento convencional de una planta de potabilización que sea capaz de remover: Turbiedad, Color, Hierro, manganeso y Coliformes.

##### 3.1.1 Cálculos de Ingeniería

###### 3.1.1.1 Diseño de un aireador de bandejas

El proceso de aireación permite la remoción tanto de Hierro como de Manganeso ya que mediante la incorporación de oxígeno al agua se produce la oxidación de estos compuestos.

Esta torre será construida con acero inoxidable para un caudal de 12 L/s con una carga hidráulica de aireador T.A es de 1,90 L/s.m<sup>2</sup> valor recomendado, con una efectividad del 80-90%. Se calcula con la ecuación 1.

#### ❖ Área Total

$$At = \frac{Q}{T.A}$$

#### Datos:

**Q=Qd:** Caudal: 12 L/s

**T.A:** Carga hidráulica: 1,90/s.m<sup>2</sup>

$$At = \frac{12L/s}{1,90 L/s.m^2} = 6,32m^2$$

#### ❖ Altura total de la torre ( $H_{torre}$ )

La altura recomendada para la remoción de hierro se encuentra entre 2-2,5m, recomendado teniendo una eficiencia del 90%. Por lo que se adoptó una altura de 2,00m.

$$H_{torre} = 2,00 \text{ m}$$

- **Dimensionamiento de cada bandeja**

Se tomó de referencia la tabla 3-1 parámetros de diseño de aireadores de bandejas y estas serán de las siguientes características.

❖ **Área de aireación (bandejas)**

Asumiendo bandejas cuadradas, de 1 m de longitud con la ecuación 2.

$$Ai = l \times l = m^2$$

$$Ai = 1m \times 1m = 1m^2$$

❖ **Número de unidades de aireación requeridas**

El número recomendado de bandejas es 4-6 unidades, para el cálculo de las unidades de aireación se conoce con la ecuación 3.

$$N_b = \frac{At}{Ai}$$

**Datos:**

**At:** Área total de aireación: 6,32 m<sup>2</sup>

**Ai:** Área de aireación: 1m<sup>2</sup>

$$N_b = \frac{6.32 \text{ m}^2}{1\text{m}^2} = 6.32 \cong 6 \text{ unidades}$$

❖ **Separación entre bandejas**

Se toma en cuenta los parámetros de diseño para aireadores de bandeja de la tabla 3-1.

Separación entre bandejas de 40 cm

$$Sb = 40\text{cm} = 0,40\text{m}$$

❖ **Espesor de cada bandeja**

Se adoptó el espesor de las bandejas

$$e_b = 0,20m$$

❖ **Número de torres**

Se calcula con la ecuación 4.

$$N_{torres} = \frac{Q_d}{Q_t}$$

**Datos:**

**Q<sub>d</sub>** : Caudal de diseño: 12 L/s

**Q<sub>t</sub>**: Caudal que ingresa a cada torre: 7,16 L/s

$$N_{torres} = \frac{12 L/s}{7,16 L/s} = 1,68 \cong 2 \text{ torres}$$

Se requiere 2 torres de aireación cada torre con 3 bandejas con la finalidad de que toda el agua captada pase por este proceso.

❖ **Tiempo de exposición**

Esto indica el tiempo de exposición que existirá entre el agua y con el medio de contacto se calcula mediante la ecuación 5.

$$te_A = \sqrt{\frac{2 \times H_{torre} * N_b}{g}}$$

**Datos:**

**H<sub>torre</sub>**: Altura total de la torre: 2,00m

**N<sub>b</sub>**: Número de bandejas: 6 unidades

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

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 2,00m \times 6}{9,8m/s^2}} = 1,56 s$$

❖ **Área de cada orificio**

El diámetro del orificio es 0,006m tomado de referencia de la tabla 3-1.

$$A_{orificio} = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

**Datos:**

**D:** Diámetro del orificio: 0,006m

$$A_{orificio} = \frac{\pi \times (0,006m)^2}{4}$$

$$A_{orificio} = 2,83 \times 10^{-5} m^2$$

#### ❖ Caudal sobre cada bandeja

La altura de agua sobre cada bandeja es de 0,14 m tomado de referencia de la Tabla 3-1, se calcula con la ecuación 6.

$$Q_{bandejas} = L \times A_{orificio} \times \sqrt{2 \times g \times H_{lamina}}$$

**Datos:**

**L:** Lado de la bandeja: 1m

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

**H<sub>lámina</sub>:** Altura del agua sobre las bandejas: 0,14 m

**A<sub>orificio</sub>:** Área de cada orificio: 2,827x10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>

$$Q_{bandejas} = 1m \times 2,827 \times 10^{-5} m^2 \times \sqrt{2 \times 9,8 m/s^2 \times 0,14m}$$

$$Q_{bandejas} = 4,683 \times 10^{-5} m^3/s = 0,05 L/s$$

#### Determinación del número de perforaciones

##### ❖ Número de perforaciones

Se calcula con la ecuación 7.

$$Np = \frac{Q}{Q_{bandejas}}$$

**Datos:**

**Q:** caudal de diseño: 12 L/s

**Q<sub>bandejas</sub>:** caudal sobre cada bandeja: 0,05 L/s

$$Np = \frac{12 \text{ L/s}}{0,05 \text{ L/s}} = 240 \text{ perforaciones}$$

Si se reparten las perforaciones serán 16 filas de 16 perforaciones con un total de 256 orificios.

### 3.1.1.2 Dimensionamiento del vertedero triangular

Se dimensionara un vertedero triangular con el caudal de diseño de 12 L/s su función principal será medir el caudal que ingresa al sistema de tratamiento para de acuerdo a esto dar un tratamiento adecuado al agua.

#### ❖ Altura del vertedero

Se calcula con la ecuación 8.

$$Q = 1,4H^{2/5}$$

**Datos:**

**Q = Qd:** Caudal en m<sup>3</sup>/s : 0,012 m<sup>3</sup>/s

$$H = \left( \frac{0,012}{1,4} \right)^{2/5}$$

$$H = 0,15 \text{ m}$$

#### • Ancho de la lámina vertical y ancho del canal

Se calcula con la ecuación 9.

$$L = 2H$$

**Datos:**

**H:** Altura del agua en el vertedero: 0,15 m

$$L = 2 \times 0,15 \text{ m}$$

$$L = 0,3 \text{ m}$$

#### ❖ Caudal promedio unitario

Se calcula con la ecuación 10.

$$q = \frac{Q}{h}$$

**Dónde:**

**Q:** Caudal de Diseño: 0,012 m<sup>3</sup>/seg

**h:** Altura del Canal: 0,27 m

$$q = \frac{0,012 \text{ m}^3/\text{s}}{0,27\text{m}}$$
$$q = 0,044 \text{ m}^3/\text{s.m}$$

- **Altura Crítica**

Se calcula con la ecuación 11.

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

**Datos:**

**q:** Caudal Promedio Unitario: 0.04 m<sup>3</sup>/s. m

**g:** Gravedad: 9.8 m<sup>2</sup>/s

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{(0,04 \text{ m}^3/\text{s})^2}{9,8 \text{ m}/\text{s}^2}}$$
$$H_c = 0,06 \text{ m}$$

- **Altura del agua al inicio del resalto**

Se calcula con la ecuación 12.

$$h_1 = \frac{1,41 \times H_c}{\sqrt{2,56 + \frac{H_v}{H_c}}}$$

**Datos:**

**H<sub>v</sub>:** Altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal agua abajo 1,00 m

**H<sub>c</sub>:** Altura del borde o total del triángulo: 0,06m

$$h_1 = \frac{1,41 \times 0,06\text{m}}{\sqrt{2,56 + \frac{1,00\text{m}}{0,06\text{m}}}}$$
$$h_1 = 0,02 \text{ m}$$

- **Velocidad al inicio del Resalto**

Se calcula con la ecuación 13.

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

**Datos:**

**q:** Caudal promedio unitario:  $0,04 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$

**h<sub>1</sub>:** Altura al inicio del resalto:  $0,02 \text{ m}$

$$v_1 = \frac{0,04 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}}{0,02 \text{ m}}$$

$$v_1 = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Número de Froude**

Se calcula con la ecuación 14.

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \times h_1}}$$

**Datos:**

**h<sub>1</sub>:** Altura al inicio del resalto:  $0,02 \text{ m}$

**V<sub>1</sub>:** Velocidad al inicio del resalto:  $2 \text{ m/s}$

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

$$F_1 = \frac{2 \text{ m/s}}{\sqrt{9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,02 \text{ m}}}$$

$$F_1 = 4,52$$

- ❖ **Altura del agua después del resalto**

Se calcula con la ecuación 15.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \times [\sqrt{1 + 8F_1} - 1]$$

**Datos:**

**h<sub>1</sub>:** Altura al inicio del resalto:  $0,02 \text{ m}$

**F<sub>1</sub>:** Número de Froude:  $4,52$

$$h_2 = \frac{0,02 \text{ m}}{2} \times [\sqrt{1 + (8 \times 4,52)} - 1]$$

$$h_2 = 0,05 \text{ m}$$

- **Velocidad al final del resalto**

Se calcula con la ecuación 16.

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

**Datos:**

**q:** Caudal promedio unitario:  $0,04 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$

**h<sub>2</sub>:** Altura del agua después del resalto velocidad al final del resalto:  $0,05 \text{ m}$

$$v_2 = \frac{0,04 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}}{0,05 \text{ m}}$$
$$v_2 = 0,8 \text{ m/s}$$

- **Energía Disipada en el Resalto**

Se calcula con la ecuación 17.

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4(h_1 \times h_2)}$$

**Datos:**

**h<sub>2</sub>:** Altura de agua después del resalto velocidad al final del resalto:  $0,05 \text{ m}$

**h<sub>1</sub>:** Altura al inicio del resalto:  $0,02 \text{ m}$

$$h_p = \frac{(0,05 \text{ m} - 0,02 \text{ m})^3}{4(0,02 \text{ m} \times 0,05 \text{ m})}$$
$$h_p = 0,01 \text{ m}$$

- **Longitud del Resalto**

Se calcula con la ecuación 18.

$$L_{vr} = 6(h_2 - h_1)$$

**Datos:**

**h<sub>2</sub>:** Altura de agua después del resalto velocidad al final del resalto:  $0,05 \text{ m}$

**h<sub>1</sub>:** Altura al inicio del resalto:  $0,02 \text{ m}$

$$L_{vr} = 6(0,05 \text{ m} - 0,02 \text{ m})$$
$$L_{vr} = 0,18 \text{ m}$$

- **Distancia del Vertedero a la sección 1**

Se calcula con la ecuación 19.

$$L_1' = 4,3 H_v \left( \frac{H_c}{H_v} \right)^{0,9}$$

**Datos:**

**H<sub>v</sub>**: Altura desde el vertedero hasta el fondo del canal agua abajo: 1 m

**H<sub>c</sub>**: Altura crítica: 0,06 m

$$L_1' = 4,3 \times 1m \left( \frac{0,06m}{1m} \right)^{0,9}$$

$$L_1' = 0,34 m$$

- **Velocidad promedio en el resalto**

Se calcula con la ecuación 20.

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

**Datos:**

**V<sub>1</sub>**: Velocidad al inicio del resalto: 2m/s

**V<sub>2</sub>**: Velocidad al final del resalto: 0,8 m/s

$$V_m = \frac{2 m/s + 0,8 m/s}{2}$$

$$V_m = 1,4 \frac{m}{s}$$

- **Tiempo de Mezcla**

Se calcula con la ecuación 21.

$$t_m = \frac{L_{vr}}{V_m}$$

**Datos:**

**V<sub>m</sub>**: Velocidad promedio en el resalto: 1,4 m/s

**L<sub>vr</sub>**: Longitud del resalto: 0,18 m

$$t_m = \frac{0,18m}{1,4 m/s}$$

$$t_m = 0,13 s$$

- **Gradiente de Velocidad**

Se calcula con la ecuación 22.

$$G_v = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{h_p}{t_m}}$$

**Datos:**

$t_m$ : Tiempo de mezcla: 0,13 s

$h_p$ : Energía disipada en el resalto: 0,01 m

$\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación de peso específico y viscosidad absoluta: 2920,01 ver en tabla 4-1.

$$G_v = 2,920\ 01 \times \sqrt{\frac{0,01}{0,13}}$$

$$G_v = 0,81\ s^{-1}$$

### 3.1.1.3 Cálculo de la concentración de PAC

Se calcula mediante la ecuación 39.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

**Dónde:**

$C_1$ : concentración de PAC de la solución 0,03 g/mL

$V_1$ : volumen de la dosificación optima, 1,5 mL

$C_2$ : concentración de PAC en la dosificación optima: g/L

$V_2$ : volumen de agua cruda, 1 L

$$\frac{0,03g}{ml} * 1,5\ ml = C_2 * 1000\ ml$$

$$C_2 = \frac{0,03g}{ml} * 1,5\ ml}{1000ml}$$

$$C_2 = 4,5x10^{-05} \frac{g}{ml} * \frac{1000\ ml}{L}$$

$$C_2 = 0,045 \frac{g}{L} \times \frac{1000mg}{1g} = 45ppm$$

- **Consumo de Policloruro de aluminio PAC al día**

Se calcula mediante la ecuación 40.

$$W = Q * D$$

**Dónde:**

W: consumo de Policloruro de aluminio en peso, (kg/día).

D: Dosis óptima de coagulante: 0,045 g/L (Pruebas de jarras)

Q: Caudal de la planta de tratamiento: 12 L/s

$$W = 12 \text{ L/s} * 0,045 \text{ g/L}$$

$$W = 0,54 \frac{\text{g}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ días}} = 46,66 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$W = 0,54 \frac{\text{g}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} * \frac{8 \text{ h}}{1 \text{ días}} = 15,55 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

- Cálculo del volumen de solución a dosificar en un tanque dosificador de 200 L de capacidad

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$12 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 720 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

$$2000 \text{ ppm} * V_1 = 45 \text{ ppm} * 720 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

$$V_1 = \frac{45 \text{ ppm} * 720 \text{ L/min}}{2000 \text{ ppm}} = 16,2 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

El volumen a dosificar es de 16,2 L/min hacia la canaleta Parshall para un caudal de 12 L/s.

- Cantidad de PAC necesario para preparar la solución a un volumen de 200 L con una concentración de 2000mg/L

$$P_{PAC} = \frac{2000 \text{ mg} * 200 \text{ L}}{1 \text{ L}} = 400000 \text{ mg} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 0,4 \text{ Kg}$$

Se necesita 0,4 Kg de PAC para preparar la solución en el dosificador de 200 L de capacidad.

#### 3.1.1.4 Cálculo de la concentración del auxiliar aniónico (CHEMFLOC)

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

**Dónde:**

C<sub>1</sub>: concentración de CHEMFLOC de la solución 0,80 g/L

V<sub>1</sub>: volumen de la dosificación óptima, 0,75 mL= 7,5X10<sup>-4</sup>L

C<sub>2</sub>: concentración de CHEMFLOC en la dosificación óptima: g/L

V<sub>2</sub>: volumen de agua cruda, 1 L

$$\frac{0,80g}{L} * 7,5 \times 10^{-5} L = C_2 * 1L$$

$$C_2 = \frac{\frac{0,80g}{L} * 7,5 \times 10^{-5} L}{1L}$$

$$C_2 = 4,5 \times 10^{-5} \frac{g}{ml}$$

$$C_2 = 0,0006 \frac{g}{L} \times \frac{1000mg}{1g} = 0,6ppm$$

- Calculo del volumen de solución a dosificar en un tanque dosificador de 200 L de capacidad

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$12 \frac{L}{s} \times \frac{60s}{1min} = 720 \frac{L}{min}$$

$$100ppm * V_1 = 0,6ppm * 720 \frac{L}{min}$$

$$V_1 = \frac{0,6ppm * 720 L/min}{100ppm} = 4,32 \frac{L}{min}$$

El volumen a dosificar es de 4,32 L/min hacia la canaleta Parshall para un caudal de 12 L/s.

- Cantidad de CHEMFLOC necesario para preparar la solución a un volumen de 200 L con una concentración de 100mg/L

$$P_{chemfloc} = \frac{100mg * 200L}{1L} = 20000mg \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} = 0,02 Kg$$

Se necesita 0,02 Kg de PAC para preparar la solución en el dosificador de 200 L de capacidad.

- **Consumo de CHEMFLOC al día**

$$W = Q * D$$

**Dónde:**

W: consumo de CHEMFLOC en peso, (kg/día).

D: Dosis óptima de CHEMFLOC: 0,0006g/L (Pruebas de jarras)

Q: Caudal de la planta de tratamiento: 12 L/s

$$W = 12 L/s * 0,045 g/L$$

$$W = 0,0072 \frac{g}{s} \times \frac{1 kg}{1000 g} * \frac{3600 s}{h} * \frac{24 h}{1 día} = 0,62 \frac{kg}{día}$$

$$W = 0,0072 \frac{g}{s} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{h} * \frac{8h}{1 \text{ día}} = 0,21 \frac{kg}{\text{día}}$$

### 3.1.1.5 Diseño de canaleta Parshall

Esta canaleta de Parshall estará diseñado para un caudal de 12 L/s, este es el lugar donde se aplica los coagulantes por la turbulencia que se produce a la salida de la canaleta, se tomara como referencia para el dimensionamiento la tabla 7-1.

#### ❖ Ancho de la garganta

Ya que este será dimensionado con un caudal de 12 L/s se decide el ancho de la garganta de 9” tomado de la tabla 5-1.

$$W = 9 \text{ pulgadas} = 0,2286m$$

#### • Altura del agua en la sección de medición

Se tomara las constantes mediante la tabla 6-1 tomando en cuenta que el ancho de la garganta es de 9 pulgadas. Se calcula con la ecuación 23.

$$H_0 = K \times Q^n$$

#### Datos:

**Q:** Caudal de diseño: 0,012 m<sup>3</sup>/s

**K:** Constante adimensional: 1,486

**n:** Constante adimensional: 0,633

$$H_0 = 1,486 \times 0,012^{0,633}$$

$$H_0 = 0,09m$$

#### ❖ Ancho de la sección de medición D'

Se tomara de la tabla 7-1 tomando en cuenta que el ancho de la garganta es de 9 pulgadas. Se calcula con la ecuación 24.

$$D' = \frac{2}{3} \times (D^1 - W) + W$$

#### Datos:

**W:** Ancho de la garganta: 0,2286m

**D'**: Dimensiones de la canaleta: 0,575 m

$$D' = \frac{2}{3} \times (0,575m - 0,2286m) + 0,2286m$$

$$D' = 0,46m$$

#### ❖ Velocidad de la sección de medición

Se calcula con la ecuación 25.

$$V_o = \frac{Q}{H_o \times D'}$$

**Datos:**

**H<sub>o</sub>:** Altura del agua en la sección de medición: 0,09m

**D'**: Ancho de la sección de medición: 0,46 m

**Q:** Caudal de diseño: 0,012 m<sup>3</sup>/s

$$V_o = \frac{0,012 \text{ m}^3/\text{s}}{0,09m \times 0,46m}$$

$$V_o = 0,29 \frac{m}{s}$$

#### • Carga Hidráulica Disponible

Se calcula con la ecuación 26.

$$E_o = \frac{V_o^2}{2g} + H_o + N$$

**Datos:**

**V<sub>o</sub>:** Velocidad en la sección de medición: 0,29 m/s

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

**H<sub>o</sub>:** Altura de agua en la sensación de medición: 0,09 m

**N:** Dimensiones de la canaleta: 0,125m (valor dado por GAD)

$$E_o = \frac{(0,29m/s)^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} + 0,09m + 0,125m$$

$$E_o = 0,22 \text{ m}$$

#### ❖ Caudal específico en la garganta de la canaleta

Se calcula con la ecuación 27.

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

**Datos:**

**W:** Ancho de la garganta: 0,2286 m

**Qd:** Caudal de diseño: 0,012 m<sup>3</sup>/s

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

$$Q_w = \frac{0,012 \text{ m}^3/\text{s}}{0,2286\text{m}} = 0,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}}$$

### ❖ Ángulo de Inclinación

Se calcula con la ecuación 28.

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ \frac{Q_w \times g}{\left(\frac{2g \times E_o}{3}\right)^{1,5}} \times \frac{180}{\pi} \right]$$

**Datos:**

**Q<sub>w</sub>:** Caudal específico en la garganta de la canaleta: 0,05 m<sup>3</sup>/s.m

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

**E<sub>o</sub>:** Carga hidráulica disponible: 0,22 m

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ \frac{0,05 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m} \times 9,8\text{m}/\text{s}^2}{\left(\frac{2 \times 9,8\text{m}/\text{s}^2 \times 0,22\text{m}}{3}\right)^{1,5}} \times \frac{180}{\pi} \right]$$

$$\theta_p = 113.40^\circ$$

### ❖ Velocidad antes del resalto

Se calcula con la ecuación 29.

$$v_1 = 2 \left( \frac{2E_o \times g}{3} \right)^{0,5} \times \cos \left( \theta_p \times \frac{\pi}{540} \right)$$

**Datos:**

**θ<sub>p</sub>** = Ángulo de Inclinación: 113,44°

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

**E<sub>0</sub>:** Carga Hidráulica Disponible: 0,22 m

$$v_1 = 2 \left( \frac{(2 \times 0,22m) \times 9,8m/s^2}{3} \right)^{0,5} \times \cos \left( 113,40 \times \frac{\pi}{540} \right)$$
$$v_1 = 1,56 \text{ m/s}$$

❖ **Altura del agua antes del resalto**

Se calcula con la ecuación 30.

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

**Datos**

**Q<sub>w</sub>:** Caudal específico en la garganta de la canaleta: 0,05 m<sup>3</sup>/s.m

**v<sub>1</sub>:** Velocidad antes del resalto: 1,56 m/s

$$h_1 = \frac{0,05 \text{ m}^3/\text{s.m}}{1,56 \text{ m/s}}$$
$$h_1 = 0,03m$$

❖ **Número de Froude**

Se calcula con la ecuación 31.

$$F_1 = \frac{v_1}{(g \times h_1)^{0,5}}$$

**Datos:**

**v<sub>1</sub>:** Velocidad antes del resalto: 1,56 m/s

**h<sub>1</sub>:** Altura de agua antes del resalto: 0,03 m

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

$$F_1 = \frac{1,56 \text{ m/s}}{(9,8m/s^2 \times 0,03m)^{0,5}} = 2,91$$

❖ **Altura del resalto**

Se calcula con la ecuación 32.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[ (1 + 8F_1^2)^{0,5} - 1 \right]$$

**Datos:**

**F<sub>1</sub>**: Número de Froude: 2,91

**h<sub>1</sub>**: Altura de agua antes del resalto: 0,03 m

$$h_2 = \frac{0,03m}{2} [(1 + 8(2,91)^2)^{0,5} - 1]$$
$$h_2 = 0,11m$$

#### ❖ Velocidad de resalto

Se calcula con la ecuación 33

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

**Datos:**

**h<sub>2</sub>**: Altura del resalto: 0,11 m

**W**: Ancho de la garganta, 0,2286m

**Q<sub>d</sub>**: Caudal de diseño, 0,012m<sup>3</sup>/s

$$v_2 = \frac{0,012m^3/s}{0,2286m \times 0,11m} = 0,48m/s$$

#### ❖ Altura en la sección de salida de la canaleta

Se calcula con la ecuación 34 y se toma las dimensiones requeridas de la canaleta en la tabla 7-1.

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

**Datos:**

**h<sub>2</sub>**: Altura del resalto, 0,11m

**K'**: Dimensiones de la canaleta: 0,076m

**N**: Dimensiones de la canaleta: 0,114 m

$$h_3 = 0,11m - (0,114m - 0,076m) = 0,072m$$

#### ❖ Velocidad en la sección de salida

Se calcula con la ecuación 35 tomando como referencia la tabla 7-1 para el dimensionamiento de la canaleta.

$$v_3 = \frac{Qd}{C \times h_3}$$

**Datos:**

**Qd:** Caudal de diseño: 0,012 m<sup>3</sup>/s

**h<sub>3</sub>:** Altura en la sección de salida de la canaleta: 0,072 m

**C:** Dimensiones de la canaleta: 0,38 m

$$v_3 = \frac{0,012m^3/s}{0,38m \times 0,072m} = 0,44m/s$$

#### ❖ **Perdida de carga en el resalto**

Se calcula con la ecuación 36.

$$h_p = H_o + K' + h_3$$

**Datos:**

**H<sub>o</sub>:** Altura de agua en la sensación de medición: 0,09m

**h<sub>3</sub>:** Altura en la sección de salida de la canaleta: 0,072m

**K':** Dimensiones de la canaleta: 0,076 m

$$h_p = 0,09m + 0,076m + 0,072m$$

$$h_p = 0,24m$$

#### ❖ **Tiempo de mezcla en el resalto**

Se calcula con la ecuación 37.

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

**Datos:**

**v<sub>2</sub>:** Velocidad de resalto: 0,48m/s

**v<sub>3</sub>:** Velocidad en la sección de salida: 0,44 m/s

**G':** Dimensiones de la canaleta: 0,457 m

$$T = \frac{2 \times 0,457m}{(0,48 + 0,44)m/s} = 1s$$

#### ❖ **Gradiente de Velocidad**

Se calcula con la ecuación 38, tomando en cuenta que la temperatura del agua es 15°C mediante esto se toma el valor de la relación peso específico y viscosidad absoluta con la tabla 4-1.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \left(\frac{h_p}{T}\right)^{0,5}$$

**Datos:**

**h<sub>p</sub>:** Perdida de carga en el resalto: 0,24m

**T:** Tiempo de mezcla en el resalto: 1s

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta: 2920,01

$$G = 2920,01 \times \left(\frac{0,24}{1}\right)^{0,5} = 1430,51s^{-1}$$

### 3.1.1.6 Diseño del Floculador de Flujo Horizontal

Este floculador tiene varias ventajas ya que es eficiente y económico, además son ideales para caudales menores a 50 L/s su objetivo es asegurar el mezcla o homogeneidad del coagulante en todo el volumen de agua cruda, el coagulante es Policloruro de aluminio y su Auxiliar Aniónico, debe aplicarse sobre la sección de manera adecuada que permite que se mezclen los componentes se tomara de la tabla 8-1, varios datos para el dimensionamiento del floculador.

- **Longitud de Canales**

Se calcula con la ecuación 41.

$$Lc_f = v_f \times tr_f \times 60$$

**Datos:**

**Tr<sub>r</sub>:** Tiempo de retención: 15 min (Valor asumido de tabla 8-1)

**v<sub>f</sub>:** Velocidad de fluido: 0,12 m/s (Valor asumido de tabla 8-1)

$$Lc_f = 0,12 \frac{m}{s} \times 15min \times 60 \frac{s}{min}$$

$$Lc_f = 108 m$$

- **Área de los Canales del Floculador**

Se calcula con la ecuación 42.

$$A_{cf} = \frac{Q}{v_f}$$

**Datos:**

**Q:** Caudal del agua: 0,012 m<sup>3</sup>/s

**v<sub>f</sub>:** Velocidad del Fluido: 0,12 m/s (Valor asumido de tabla 8-1)

$$A_{cf} = \frac{0,012 \text{ m}^3/\text{s}}{0,12 \text{ m/s}}$$
$$A_{cf} = 0,1 \text{ m}^2$$

- **Ancho de Canales del Floculador**

Se calcula con la ecuación 43.

$$b_{cf} = \frac{A_{cf}}{Hu_f}$$

**Datos:**

**A<sub>cf</sub>:** Área de los canales del Floculador: 0,1 m<sup>2</sup>

**Hu<sub>f</sub>:** Altura de agua en la unidad: 0,90m (Valor asumido de tabla 8-1)

$$b_{cf} = \frac{0,1 \text{ m}^2}{1 \text{ m}}$$
$$b_{cf} = 0,1 \text{ m}$$

- **Ancho de Vueltas del Floculador**

Se calcula con la ecuación 44.

$$b_{vf} = 1,5 \times b_{cf}$$

**Datos:**

**b<sub>cf</sub>:** Ancho de los canales de floculación: 0,1 m

$$b_{vf} = 1,5 \times 0,1 \text{ m}$$

$$b_{vf} = 0,15m$$

- **Ancho del Floclador**

Se calcula con la ecuación 45.

$$b_f = 3b_{lf} \times b_{vf}$$

**Datos:**

$b_{lf}$ : Ancho útil de la lámina: 0,825 m. (constante establecida)

$b_{vf}$ : Ancho de los canales de floculación: 0,15 m

$$b_f = 3(0,825) + 0,15$$

$$b_f = 2,63 \approx 3 m$$

- **Número de Canales**

Se calcula con la ecuación 46.

$$Nc_f = \frac{Lc_f}{b_f}$$

**Datos:**

$b_f$ : Ancho del Floclador: 3 m

$L_c$ : Longitud de canales: 108 m

$$Nc_f = \frac{108}{3}$$

$$Nc_f = 36 \text{ Unid.}$$

- ❖ **Longitud del Floclador**

Se calcula con la ecuación 47.

$$L_f = (Nc_f \times b_{cf}) + (Nc_f - 1) \times e_l$$

**Datos:**

$Nc_f$ : Número de canales: 36 Unid.

$b_{cf}$ : Ancho de los canales de floculación: 0,1 m

$e_l$ : Espesor de las láminas: 0,15 m (Ver en tabla 8-1)

$$L_f = (36 \times 0,1m) + (36 - 1) \times 0,15$$

$$L_f = 8,85 \approx 9m$$

#### ❖ Pérdida de Carga en las Vueltas

Se calcula con la ecuación 48.

$$hp_1 = \frac{K_f \times v_f^2 (Nc_f - 1)}{2g}$$

**Datos:**

**K<sub>f</sub>:** Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas: 2 Unidades. (Valor asumido de tabla 8-1)

**v<sub>f</sub>:** Velocidad de fluido: 0.15 m/s (Valor asumido de tabla 8-1)

**N<sub>c<sub>f</sub></sub>:** Número de canales: 36 unidades

**g:** Aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>

$$hp_1 = \frac{2 \times (0,15 \text{ m/s})^2 (36 - 1)}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$hp_1 = 0,08 \text{ m}$$

#### ❖ Perímetro Mojado de las Secciones del Tramo

Se calcula con la ecuación 49.

$$Pm = 2Hu_f + b_{cf}$$

**Datos:**

**H<sub>u<sub>f</sub></sub>:** Altura de agua en la unidad: 1,00 m (valor asumido)

**b<sub>cf</sub>:** Ancho de los canales de floculación: 0,1 m

$$Pm = 2(1,00m) + 0,1m$$

$$Pm = 2,1m$$

#### • Radio Medio Hidráulico

Se calcula con la ecuación 50.

$$R = \frac{A_{cf}}{Pm}$$

**Datos:**

**A<sub>cf</sub>:** Área de los canales del Floculador: 0,1 m<sup>2</sup>

**Pm:** Perímetro mojado de las sensaciones: 2,1 m

$$R = \frac{0,1 \text{ m}^2}{2,1 \text{ m}}$$

$$R = 0,05 \text{ m}$$

- **Pérdida de carga en los Canales**

Se calcula con la ecuación 51.

$$hp_2 = SL = \left[ \frac{v_f \times n}{R^{2/3}} \right]^2 \times Lc_f$$

**Datos:**

**v<sub>f</sub>:** Velocidad del fluido: 0,15 m/s (Valor tomado tabla 8-1)

**n:** Coeficiente de Manning: 0,013 (Valor tomado tabla 9-1)

**R:** Radio medio hidráulico: 0,05 m

**Lc<sub>f</sub>:** Longitud de canales: 108 m

$$hp_2 = \left[ \frac{0,15 \text{ m/s} \times 0,013}{(0,05 \text{ m})^{2/3}} \right]^2 \times 108$$

$$hp_2 = 0,02 \text{ m}$$

- **Pérdida de Carga Total**

Se calcula con la ecuación 52.

$$hf_1 = hp_1 + hp_2$$

**Datos:**

**hp<sub>2</sub>:** Pérdida de la carga en los canales: 0,02 m

**hp<sub>1</sub>:** Pérdida de carga en las vueltas: 0,08 m

$$hf_1 = 0,08 \text{ m} + 0,02 \text{ m}$$

$$hf_1 = 0,1 \text{ m}$$

- ❖ **Gradiente de Velocidad**

Se calcula con la ecuación 53.

$$G_f = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{hf_1}{T}}$$

**Datos:**

$\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta: 2920,01 (Valor tomado tabla 4-1)

$h_f$ : Perdida de carga total: 0.109 m

$T$ : Tiempo de retención: 15 min (Valor asumido tabla 9-1)

$$G_f = 2920,01 \times \sqrt{\frac{0,1m}{15min \times 60s/min}}$$

$$G_f = 30,78 \text{ s}^{-1}$$

### 3.1.1.7 Diseño del Sedimentador de Alta Tasa

Para el diseño de un sedimentador de alta tasa (placas) de flujo ascendente tiene tiempos de retención corto de 15 min estos de alta eficiencia, poca profundidad con un ángulo inclinado de 60° esto facilitara que los lodos sedimentados se deslicen hacia el fondo del tanque, la temperatura del agua es 15°C, se adoptará una sola unidad para una operación y mantenimiento adecuado

#### ❖ Carga superficial después de instalar las placas

Se calcula con la ecuación 54.

$$v_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$$

$l_p$ : Longitud de las placas 1,20m (Valor tomado de la tabla 11-1)

$t_{rp}$ : Tiempo de retención en las placas: 20min(Valor tomado de la tabla 12-1)

$$v_{so} = \frac{1,20m}{20min}$$

$$v_{so} = 0,06 \frac{m}{min} \times \frac{60min}{1h} \times \frac{24h}{1d} = 86,40 \frac{m}{d}$$

### ❖ Área de Sedimentación

Se calcula con la ecuación 55.

$$A_s = \frac{Q}{v_{so} \operatorname{sen}\theta}$$

#### Datos:

$v_{so}$ : Carga superficial de sedimentación después de instalar las placas: 86,40 m/d

$Q=Qd$ : Caudal de diseño: 1037 m<sup>3</sup>/d

$\theta$ : Ángulo de inclinación de elemento de sedimentación: 60°C

$$A_s = \frac{1037 \text{ m}^3/\text{d}}{86,40 \text{ m/d} \times \operatorname{sen} 60}$$
$$A_s = 13,86 \text{ m}^2$$

### ❖ Longitud de sedimentación

Se calcula con la ecuación 57.

$$L_s = \frac{A_s}{b_s}$$

#### Datos:

$A_s$ : Área de sedimentación: 13,86 m<sup>2</sup>

$b_s$ : Ancho del sedimentador: 2,40 m (Valor tomado de la tabla 11-1)

$$L_s = \frac{13,86 \text{ m}^2}{2,40 \text{ m}}$$
$$L_s = 5,78 \text{ m} \cong 6 \text{ m}$$

### ❖ Longitud Relativa del Sedimentador

Se calcula con la ecuación 58.

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

#### Datos:

$l_p$ : Longitud recorrida a través del elemento (placa): 1,20 m (Valor tomado de la tabla 11-1)

$dp$ : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas: 0,05 m (Valor tomado de la tabla 12-1)

$$Lr = \frac{1,20m}{0,05m}$$

$$Lr = 24$$

- **Número de Reynolds**

Se calcula con la ecuación 59.

$$Re = \frac{v_{so} \times dp}{\nu}$$

**Datos:**

Se trabaja con una temperatura del agua de 15°C

$v_{so}$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas: 0,001 m/s

$dp$ : Ancho del conducto o espacio entre placas: 0,05 m (Valor tomado de la tabla 12-1)

$\nu$ : Viscosidad cinemática:  $1,139 \times 10^{-6} m^2/s$  (Valor tomado de la tabla 10-1)

$$Re = \frac{0,001 m/s \times 0,05m}{1,139 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 43,90$$

- ❖ **Longitud de transición**

Se calcula con la ecuación 60.

$$L' = 0,013 \times Re$$

**Datos:**

**Re:** Número de Reynolds: 43,90

$$L' = 0,013 \times 43,90$$

$$L' = 0,57$$

- ❖ **Longitud Relativa del Sedimentador Corregida**

Se calcula con la ecuación 61.

$$L_{cr} = Lr - L'$$

**Datos:**

**L<sub>r</sub>**: Longitud relativa del Sedimentador de alta tasa: 24

**L'**: Longitud de transición: 0,57 m

$$L_{cr} = 24 - 0,57$$

$$L_{cr} = 23,43 \text{ m}$$

#### ❖ Velocidad de Sedimentación Crítica

Se calcula con la ecuación 62.

$$V_{sc} = \frac{S_c \times v_{so}}{\text{Sen}\theta + (L_{cr} \times \text{Cos}\theta)}$$

#### Datos:

**S<sub>c</sub>**: Parámetros característicos para sedimentadores de placas paralelas: 1 (Valor tomado de la tabla 13-1)

**v<sub>so</sub>**: Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas: 86,40 m/d

**θ**: Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa: 60° respecto a la horizontal

**L<sub>cr</sub>**: Longitud relativa del Sedimentador de alta tasa: 23,43

$$V_{sc} = \frac{1 \times 86,40 \text{ m/d}}{\text{Sen}60^\circ + (23,43 \times \text{Cos}60^\circ)}$$

$$V_{sc} = 6,87 \frac{\text{m}}{\text{d}} \times \frac{1\text{d}}{24\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \times \frac{1\text{min}}{60\text{s}}$$

$$V_{sc} = 7,95 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

#### ❖ Tiempo de Retención en las Placas

Se calcula con la ecuación 64.

$$tr_p = \frac{l_p}{v_{so}}$$

#### Datos:

**l<sub>p</sub>**: Longitud recorrida a través del elemento (placa): 1,20 m (Valor tomado de la tabla 12-1).

**v<sub>so</sub>**: Velocidad promedio de fluido en el sedimentador: 0,001 m/s

$$tr_p = \frac{1,20 \text{ m}}{0,001 \text{ m/s}}$$

$$tr_p = 1200s$$

❖ **Tiempo de Retención en el Tanque de sedimentación**

Se calcula con la ecuación 65.

$$tr_s = \frac{V}{Q} = \frac{A_s \times H_s}{Q}$$

**Datos:**

**Q=Qd:** Caudal de diseño: 0.012 m<sup>3</sup>/s

**H<sub>s</sub>:** Altura total: 4,24 m (Valor tomado de la tabla 12-1)

**A<sub>s</sub>:** Área de sedimentación: 13,86 m<sup>2</sup>

$$tr_s = \frac{13,86m^2 \times 4,24m}{0,012m^3/s}$$

$$tr_s = 4897,2 \text{ s}$$

❖ **Velocidad Promedio de Flujo Entre Placas Inclinadas**

Se calcula con la ecuación 66.

$$V_p = \frac{Q}{A_s \times \text{Sen}\theta}$$

**Datos:**

**Q:** Caudal de diseño: 0,012 m<sup>3</sup>/s = 1036,8m<sup>3</sup>/d

**A<sub>s</sub> :** Área de sedimentación: 13,86 m<sup>2</sup>

**θ:** Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa: 60° respecto a la horizontal

$$V_p = \frac{1036,8 \text{ m}^3/\text{d}}{13,86\text{m}^2 \times \text{Sen}60^\circ}$$

$$V_p = 86,38 \frac{\text{m}}{\text{d}} \times \frac{1\text{d}}{24\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \times \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = 1,00 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

❖ **Número de Placas por Módulo**

Se calcula con la ecuación 67.

$$N_p = \frac{(L_s \times \text{Sen}\theta) + s_p}{s_p + e_p}$$

**Datos:**

**L<sub>s</sub>:** Longitud de sedimentación: 6 m

**θ:** Ángulo de sedimentación de las placas: 60°

**s<sub>p</sub>:** Separación entre placas: 0,05 m (Valor tomado de la tabla 12-1).

**e<sub>p</sub>:** Espesor de las placas: 0,01 m (Valor tomado de la tabla 11-1).

$$N_p = \frac{(5,78 \text{ m} \times \text{Sen}60) + 0,05 \text{ m}}{(0,05 + 0,01) \text{ m}}$$

$$N_p = 84 \text{ placas}$$

❖ **Volumen del Sedimentador**

Se calcula con la ecuación 68.

$$V_s = L_s \times b_s \times H_s$$

**Datos:**

**L<sub>s</sub>:** Longitud del sedimentador: 5,78 m

**b<sub>s</sub>:** Ancho del sedimentador: 1,50 m (Valor tomado de la tabla 11-1).

**H<sub>s</sub>:** Altura del sedimentador: 4,24 m (Valor tomado de la tabla 12-1).

$$V_s = 5,78 \text{ m} \times 1,50 \text{ m} \times 4,24 \text{ m}$$

$$V_s = 36,76 \text{ m}^3$$

### 3.1.1.8 *Diseño de Filtros lentos en arena*

- Dimensionamiento del proceso de filtración

❖ **Área de filtración**

Se calcula con la ecuación 69.

$$A_f = \frac{Q}{v_{fl}}$$

**Datos:**

**Q=Qd:** Caudal de diseño o a tratar: 43,2m<sup>3</sup>/h

$v_f$ : Velocidad de filtración: 1,5 m/h

$$A_f = \frac{43,2m^3/h}{1,5m/h}$$

$$A_f = 28,8 m^2$$

❖ **Determinación del número de módulos de filtración**

Se calcula con la ecuación 70.

$$n_f = 0,5 \times \sqrt[3]{A_f}$$

**Datos:**

$A_f$ : Área de filtración: 28,8 m<sup>2</sup>

$$n_f = 0,5 \times \sqrt[3]{28,8}$$

$$n_f = 1,53 \approx 2 \text{ unidades}$$

❖ **Determinación del área de cada unidad**

Se calcula con la ecuación 71.

$$A_{if} = \frac{A_f}{n_f}$$

**Datos:**

$A_f$ : Área de filtración: 28,8 m<sup>2</sup>

$n_f$ : Número de filtros calculados: 2 unidades

$$A_{if} = \frac{28,8m^2}{2}$$

$$A_{if} = 14,4m^2$$

- Determinación de las dimensiones del filtro

❖ **Determinación de la longitud de la pared por unidad**

Se calcula con la ecuación 72.

$$a_{fu} = \left( \frac{2 \times n_f \times A_{if}}{2 + n_f} \right)^{0,5}$$

**Datos:**

**A<sub>if</sub>:** Área de la unidad: 14,4 m<sup>2</sup>

**n<sub>f</sub>:** Número de filtros calculados: 2 unidades

$$a_{fu} = \left( \frac{2 \times 2 \times 14,4m^2}{2 + 2} \right)^{0,5}$$

$$a_{fu} = 3,79m$$

#### ❖ Cálculo para el ancho de la unidad

Se calcula con la ecuación 73.

$$b_{fu} = \left[ \frac{(n_f + 1) \times A_{if}}{2 \times n_f} \right]^{0,5}$$

**Datos:**

**A<sub>if</sub>:** Área de la unidad: 14,4 m<sup>2</sup>

**n<sub>f</sub>:** Número de filtros calculados: 2 unidades

$$b_{fu} = \left[ \frac{(2+1) \times 14,4m^2}{2 \times 2} \right]^{0,5}$$

$$b_{fu} = 3,29m$$

#### ❖ Cálculo de la longitud total de Pared

Se calcula con la ecuación 74.

$$Lt_p = (2 \times b_{fu} \times n_f) + a_{fu} \times (n_f + 1)$$

**Datos:**

**n<sub>f</sub>:** Número total de unidades de filtración: 2 unidades.

**b<sub>fu</sub>:** Ancho de la unidad: 3,29 m

**a<sub>fu</sub>:** Longitud de pared común por unidad: 3,79 m

$$Lt_p = (2 \times 3,29m \times 2) + 3,79m \times (2 + 1)$$

$$Lt_p = 24,53 m$$

#### • Cálculo de la longitud total mínima de pared

Se calcula con la ecuación 75.

$$Lm_p = 2 \times a_{fu} \times (n_f + 1)$$

**Datos:**

**n<sub>f</sub>:** Número total de unidades de filtración 2 unidades.

**a<sub>fu</sub>:** Longitud de pared común por unidad: 3,79 m

$$Lm_p = 2 \times 3,79m \times (2 + 1)$$

$$Lm_p = 22,74 m$$

#### ❖ Diámetro de la tubería de entrada al filtro

Se calcula con la ecuación 77.

$$D_t = \sqrt{\frac{4Q_i}{v \times \pi}}$$

**Datos:**

**Q<sub>i</sub>:** Caudal de diseño para cada filtro: 0,0060 m<sup>3</sup>/s

**v:** Velocidad en la tubería: 2 m/s (Dato asumido)

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \times (0,0060 m^3/s)}{2 m/s \times \pi}}$$

$$D_t = 0,06 m$$

- Sistema de drenaje

Se utilizara una tubería de 70 mm perforada para la estructura de salida del filtro mediante la cual se mantendrá almacenada el agua filtrada.

#### ❖ Diámetro de los orificios laterales

El valor se tomó en relación al caudal que está diseñado en esta operación se tomó el valor de la tabla 17-1.

$$D_o = 6,5 mm \approx 0,0065 m$$

#### • Área de Cada Orificio

Se calcula con la ecuación 78.

$$A_{of} = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

**Datos:**

**D<sub>o</sub>:** Diámetro de tubería: 0,0065 m (Valor tomado de la tabla 17-1)

$$A_{of} = \frac{\pi \times (0,007m)^2}{4}$$

$$A_{of} = 3,85 \times 10^{-5} m^2$$

- **Caudal que Ingresa a Cada Orificio**

Se calcula con la ecuación 79.

$$Q_o = A_{of} \times v_{of}$$

**Datos:**

**v<sub>of</sub>:** Velocidad de orificio: 3 m/s (Valor tomado de la tabla 17-1)

**A<sub>of</sub>:** Área de cada orificio:  $3,85 \times 10^{-5} m^2$

$$Q_o = 3,85 \times 10^{-5} m^2 \times 3 m/s$$

$$Q_o = 11,55 \times 10^{-5} m^3/s$$

- **Número de Laterales**

Se calcula con la ecuación 80.

$$n_L = \# \text{ Laterales} = n_{Lf} \times \frac{L_{tp}}{s_{lf}}$$

**Datos:**

**L<sub>tp</sub>:** Longitud total del filtro: 24,53 m

**s<sub>lf</sub>:** Separación entre laterales: 1 m (Valor tomado de la tabla 17-1)

**n<sub>Lf</sub>:** Número de laterales por lado: 2 (Valor asumido).

$$n_L = \# \text{ Laterales} = 2 \times \frac{24,53m}{1m}$$

$$n_L = \# \text{ Laterales} = 49,06 \text{ unidades}$$

- **Separación Entre Orificios**

Se calcula con la ecuación 81.

$$s_o = \# \text{Orificios} / \text{Laterales} = 2 \times \frac{L_L}{e_o}$$

**Datos:**

**L<sub>L</sub>:** Longitud de cada lateral: 3 m (Valor asumido).

**e<sub>o</sub>:** Espacio entre orificios: 0,075 m (Valor tomado de la tabla 17-1).

$$s_o = \# \text{Orificios} / \text{Laterales} = 2 \times \frac{3}{0.075}$$

$$s_o = \# \text{Orificios} / \text{Laterales} = 80$$

- **Número Total de Orificios**

Se calcula con la ecuación 82.

$$n_o = \# \text{Total de orificios} = n_L \times s_o$$

**Datos:**

**n<sub>L</sub>:** # Laterales, adimensional

**s<sub>o</sub>:** Separación entre orificios, 49

**n<sub>o</sub>:** Número total de orificios, 80

$$n_o = \# \text{Total de orificios} = 49 \times 80$$

$$n_o = \# \text{Total de orificios} = 3920$$

- ❖ **Área Total de Orificios**

Se calcula con la ecuación 83.

$$A_{t_o} = A_{o_f} \times n_o$$

**A<sub>of</sub>:** Área de cada orificio:  $3,85 \times 10^{-5} \text{m}^2$

**n<sub>o</sub>=# Total de orificios:** 3920

$$A_{t_o} = 3,85 \times 10^{-5} \text{m}^2 \times 3920 = 0,15 \text{m}^2$$

- **Comprobación de Cumplimiento con los Parámetros (0,0015-0,005)**

Se calcula con la ecuación 85.

$$\frac{At_o}{A_f}$$

**Datos:**

**At<sub>o</sub>:** Área total de orificios: 0,15 m<sup>2</sup>

**A<sub>f</sub>:** Área de filtración: 28,8 m<sup>2</sup>

$$\frac{At_o}{A_f} = \frac{0,15m^2}{28,8m^2}$$

$$\frac{At_o}{A_f} = 0,005 \text{ cumple las especificaciones}$$

#### ❖ Diámetro de la tubería a la salida del filtro

Se calcula con la ecuación 86.

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4Q_i}{\pi v_s}}$$

**Datos:**

**v<sub>s</sub>:** Velocidad del agua a través de la tubería de salida: 0,8 m/s (Valor tomado de la tabla 18-1).

**Q<sub>i</sub>:** Caudal de diseño para cada filtro: 0,0060 m<sup>3</sup>/s

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4 \times 0,006m^3/s}{\pi \times 0,8m/s}}$$

$$D_{Ts} = 0,10 m$$

#### 3.1.1.9 Desinfección

Se lo realizara en un tanque de cloración, con hipoclorito de calcio con una concentración de 1,5ppm, tendrá un dosificador de flujo constante (goteo).

Este dosificador se instalara directamente en la línea de salida del tanque donde contiene la solución, de esta manera el flujo de la solución descargue directamente a través del dosificador al tanque de agua que va a ser desinfectado.

#### ❖ Dosificación de HTH lb/día

Se calcula con la ecuación 87.

$$D_{HTH} = 0,012 \times Q_d \times C$$

**Dónde:**

**0,012:** constante adimensional

**Q<sub>d</sub>:** Caudal de diseño, 190,22gpm

**C:** Concentración de HTH, 1,5 mg/L

$$Q_d = 12 \frac{L}{s} \times \frac{60 s}{1 min} \times \frac{1 galon}{3,785 L} = 190,22 gpm$$

$$D_{HTH} = 0.012 \times 190,22 \times 1,5$$

$$D_{HTH} = 3,42 \cong 3 lb/dia$$

$$3,42 \frac{lb}{dia} \times \frac{1Kg}{2,2lb} = 1,55$$

❖ **Volumen de agua para diluir el Hipoclorito de calcio (HTH)**

Para determinar la cantidad de agua necesaria para diluir el hipoclorito de calcio (V<sub>1</sub>) se utiliza la ecuación 88.

$$V_{AHTH} = \frac{m_{HTH}}{\rho_{HTH}}$$

$$3 \frac{lb}{dia} \times \frac{1 kg}{2,205 lb} \times \frac{1000 g}{1 kg} = 1360,54 \frac{g}{dia}$$

**Dónde:**

**m<sub>HTH</sub>:** Cantidad de HTH, 1360,54 g/día

**ρ<sub>HTH</sub>:** Densidad de HTH, 800 g/L

$$V_{AHTH} = \frac{1360,54 \frac{g}{dia}}{800 \frac{g}{L}}$$

$$V_{AHTH} = 1,70 L/dia agua$$

Se necesita conocer el volumen de la solución madre de HTH (V<sub>1</sub>) de % en peso de 65 con la ecuación 89.

**Dónde:**

**V<sub>AHTH</sub>:** volumen de agua para diluir HTH: 1,70 L/día

$$V_{SM} = \frac{V_{AHTH} * 65\%}{8,5\%}$$

$$V_{SM} = \frac{1,70 \frac{L}{dia} * 65\%}{8,5\%}$$

$$V_{SM} = 13,00 L/dia \text{ agua}$$

❖ **Volumen de agua requerido para diluir la solución madre**

Se calcula con la ecuación 90.

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

**Dónde:**

**V<sub>1</sub>:** Volumen de la solución madre, 13 L

**C<sub>1</sub>:** Concentración de dosificación de hipoclorito de calcio, 1,5mg/L

**C<sub>2</sub>:** Concentración del hipoclorito de calcio, 0,65 mg/L

$$V_2 = \frac{1,5 \frac{mg}{L} \times 13L/dia \text{ agua}}{0,65 \frac{mg}{L}}$$

$$V_2 = 30 \frac{L}{dia}$$

❖ **Volumen total de la solución**

Se calcula con la ecuación 91.

$$V_T = V_1 + V_2$$

**Datos:**

**V<sub>1</sub>:** Volumen de la solución madre, 13 L/día

**V<sub>2</sub>:** Volumen de agua requerido para diluir la solución madre, 30 L/día

$$V_T = 13 \frac{L}{dia} + 30 \frac{L}{dia}$$

$$V_T = 43 \frac{L}{dia}$$

❖ **Goteo de la solución para la desinfección en el tanque**

$$Goteo = \frac{V_T}{t}$$

**Datos:**

**V<sub>T</sub>**: Volumen total de la solución, 43L/día

**t**: tiempo, 24 horas

**Goteo**: mL/min

$$Goteo = \frac{43 \frac{L}{día}}{24h}$$

$$Goteo = 1,79 \frac{L}{h} \times \frac{1h}{60min} \times \frac{1000mL}{1L}$$

$$Goteo = 29,86 \frac{mL}{min}$$

El volumen de hipoclorito cálcico para tratar 12 L/s de agua es de 43 L/día a una concentración de 1,5 ppm y para el método de goteo es necesario 29,86 mL/min.

### 3.1.2 Capacidad de la Planta

- Aireación

Se considera una pérdida del 1% del caudal en el paso por cada una de las bandejas al momento del contacto con el aire.

$$x = \frac{12 L/s * 1\%}{100\%} = 0,12 \frac{L}{s} \text{ perdido}$$

$$12 L/s - 0,12 L/s = 11,88 L/s \text{ Caudal a la salida del aireador}$$

- Floculación

Se considera una pérdida del 0,5% del caudal en las paredes por el paso del floculador horizontal en la formación de los flocs.

$$x = \frac{11,88 L/s * 0,5\%}{100\%} = 0,06 \frac{L}{s} \text{ perdido}$$

$$11,88 L/s - 0,06 L/s = 11,82 L/s \text{ Caudal a la salida del floculador}$$

- Sedimentación

Se considera una pérdida del 2% del caudal en la sedimentación ya que todos los flocs formados se sedimentan al fondo del tanque al momento del desfogue de los lodos.

$$x = \frac{11,82 \text{ L/s} * 2\%}{100\%} = 0,24 \frac{\text{L}}{\text{s}} \text{ perdido}$$

$$11,82 \text{ L/s} - 0,24 \text{ L/s} = 11,58 \text{ L/s} \text{ Caudal a la salida del sedimentador}$$

- Filtración

Se considera una pérdida del 1% del caudal en la filtración ya que separa las partículas y materia orgánica que no han podido ser removidos en los procesos de coagulación y sedimentación.

$$x = \frac{11,58 \text{ L/s} * 1\%}{100\%} = 0,12 \frac{\text{L}}{\text{s}} \text{ perdido}$$

$$11,58 \text{ L/s} - 0,12 \text{ L/s} = 11,46 \text{ L/s} \text{ Caudal a la salida de la filtración}$$

- Desinfección

Se considera una pérdida del 0,5% del caudal en la desinfección ya que la solución de HTH puede formar dureza.

$$x = \frac{11,46 \text{ L/s} * 0,5\%}{100\%} = 0,06 \frac{\text{L}}{\text{s}} \text{ perdido}$$

$$11,46 \text{ L/s} - 0,06 \text{ L/s} = 11,40 \text{ L/s} \text{ Caudal a la salida de la desinfección}$$

### 3.1.3 Capacidad total de la planta

$$11,40 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} * \frac{60\text{s}}{1\text{min}} * \frac{60\text{min}}{1\text{h}} = 41,04 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$41,04 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{24\text{h}}{1\text{dia}} = 984,96 \text{ m}^3/\text{dia}$$

### 3.1.4 Tipos de Materiales y Controles

**Tabla 28-3** Elementos de la planta de Tratamiento

<b>ELEMENTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA</b>	<b>MATERIALES</b>
<b>Aireador</b>	Hormigón, acero inoxidable, tubería PVC
<b>Vertedero triangular</b>	Hormigón
<b>Canal Parshall</b>	Hormigón
<b>Floculador</b>	Hormigón
<b>Sedimentador</b>	Hormigón, tubería PVC(desagüe)
<b>Filtros</b>	Empedrado, hormigón, arena, grava, válvulas, tubería PVC
<b>Desinfección</b>	Tubería PVC, hormigón

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 29-3** Equipos a ser controlados

<b>EQUIPO A SER CONTROLADO</b>	<b>TIPO DE CONTROL</b>
<b>Dosificadores de químicos</b>	Se controlara manualmente de acuerdo a la dosificación requerida mediante una llave la cual se podrá dejar indicado el volumen de solución por minuto.

Realizado por: Anita Narváez 2016

### 3.1.5 Presupuesto del Rediseño

A continuación en la siguiente tabla se muestra el presupuesto general de la construcción de la planta de tratamiento de agua potable para la Parroquia Químiag Cantón Riobamba, aquella que tendrá un presupuesto aproximado de 36071,58 dólares.

**Tabla 30-3** Presupuesto general de la planta de potabilización

<b>TORRE DE AIREACIÓN</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>
Limpieza manual del terreno	5,00	m <sup>2</sup>	1,00	5,00
Replanteo y nivelación	4,00	m <sup>2</sup>	4,00	16,00
Excavación manual	4,00	m <sup>3</sup>	27,00	108,00
Relleno compactado manual	2,00	m <sup>3</sup>	10,00	20,00

Replanto H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	0,25	m <sup>3</sup>	118,60	29,65
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	1,25	m <sup>3</sup>	159,00	198,75
Enlucido vertical con impermeabilizante	2,50	m <sup>2</sup>	13,00	32,50
Encofrado y desencofrado con madera de monte	2,50	m <sup>2</sup>	10,00	22,50
Lamina acero inoxidable	6,00	m <sup>2</sup>	28,00	168,00
Malla electrosoldada 8-20	2,50	m <sup>2</sup>	4,50	11,25
Tubería PVC 75mm perforada	2,00	m	6,00	12,00
Codo PVC 75mm desagüe	2,00	u	3,00	6,00
Tubería PVC 75mm	2,50	m	12,00	30,00
Válvula compuerta 03''	1,00	u	147,00	147,00
<b>TOTAL</b>				<b>806,65</b>
<b>VERTEDERO TRIANGULAR</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	0,15	m <sup>3</sup>	159,00	23,85
Enlucido vertical con impermeabilizante	1,45	m <sup>2</sup>	13,00	18,85
Encofrado y desencofrado con madera de monte	2,80	m <sup>2</sup>	10,00	28,00
Malla electrosoldada 10-20	1,40	m <sup>2</sup>	6,50	9,10
<b>TOTAL</b>				<b>79,80</b>
<b>CANAL PARSHALL</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>
Limpieza y desbroce	2,60	m <sup>2</sup>	0,50	1,30
Replanteo y nivelación	2,60	m <sup>2</sup>	3,70	9,62
Excavación manual	2,60	m <sup>3</sup>	27,00	70,20
Replanto H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	0,50	m <sup>3</sup>	118,60	59,30
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	0,27	m <sup>3</sup>	159,00	42,93
Enlucido vertical con impermeabilizante	2,65	m <sup>2</sup>	13,00	34,45
Encofrado y desencofrado con madera de monte	5,50	m <sup>2</sup>	10,50	57,75
Malla electrosoldada 8-20	2,60	m <sup>2</sup>	6,50	16,90
<b>TOTAL</b>				<b>292,45</b>
<b>FLOCULADOR HIDRAULICO DE FLUJO HORIZONTAL</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>

Limpieza y desbroce	27,00	m <sup>2</sup>	0,50	13,50
Replanteo y nivelación	27,00	m <sup>2</sup>	3,70	99,90
Excavación manual	27,00	m <sup>3</sup>	27,00	729,00
Relleno compactado manual (pizon)	12,00	m <sup>3</sup>	10,00	120,00
Replanto H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	2,72	m <sup>3</sup>	118,60	322,59
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	8,15	m <sup>3</sup>	159,00	1295,85
Enlucido vertical con impermeabilizante	81,00	m <sup>2</sup>	13,00	1053,00
Encofrado y desencofrado con madera de monte	67,70	m <sup>2</sup>	10,50	710,85
Malla electrosoldada 8-20	35,00	m <sup>2</sup>	6,50	227,50
Polietileno 2 mm	111,50	m <sup>2</sup>	0,70	78,05
<b>TOTAL</b>				<b>4650,24</b>
<b>SEDIMENTADOR DE ALTA TASA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>
Limpieza y desbroce	10,85	m <sup>2</sup>	0,50	5,43
Replanteo y nivelación	10,85	m <sup>2</sup>	3,70	40,15
Excavación manual	70,50	m <sup>3</sup>	27,00	1903,5
Relleno compactado manual (pizon)	19,10	m <sup>3</sup>	10,00	191,00
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	78,80	m <sup>3</sup>	159,00	12529,20
Encofrado y desencofrado con madera de monte	122,00	m <sup>2</sup>	10,50	1281,00
Malla electrosoldada 10-20	122,00	m <sup>2</sup>	6,50	793,00
Enlucido vertical con impermeabilizante	122,00	m <sup>2</sup>	13,00	1586,00
Tubería PVC 160mm desagüe	10,00	M	12,00	120,00
Tapón PVC 160mm desagüe	1,00	U	6,00	6,00
Tee PVC 160mm desagüe	1,00	U	19,50	19,50
Tablero fibrocemento 1 mm	188,00	m <sup>2</sup>	4,90	921,20
<b>TOTAL</b>				<b>19395,98</b>
<b>FILTRO LENTO DE ARENA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>
Limpieza y desbroce	38,75	m <sup>2</sup>	1,00	38,75
Replanteo y nivelación de estructuras	38,75	m <sup>2</sup>	1,50	58,13
Excavación manual	23,25	m <sup>3</sup>	27,00	627,75
Empedrado	5,80	m <sup>3</sup>	46,60	270,28
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	28,90	m <sup>3</sup>	159,00	4595,1
Malla electrosoldada 10-20	135,30	m <sup>2</sup>	6,50	879,45
Encofrado y desencofrado con madera de monte	135,30	m <sup>2</sup>	10,00	1353,00
Enlucido vertical paleteado	135,30	m <sup>2</sup>	11,15	1508,60
Arena	11,60	m <sup>3</sup>	23,75	275,50

Grava para filtros	22,10	m <sup>3</sup>	32,00	707,20
Tubería PVC-D 75 mm	21,00	M	5,00	105,00
Tubo de PVC de 110 mm	6,00	M	4,70	28,20
Codo PVC 110mm desagüe	1,00	U	4,00	4,00
Cruz PVC P 90, D=75 mm	1,00	M	5,50	5,50
Codo PVC 75mm desagüe	6,00	U	3,25	19,50
Válvula compuerta 03''	5,00	U	47,70	238,50
Válvula compuerta 04''	1,00	U	108,00	108,00
Tee PVC, D=3''	2,00	U	12,00	24,00
<b>TOTAL</b>				<b>10846,46</b>

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 31-3** Tabla Presupuesto total de la plata de potabilización

<b>PRESUPUESTO TOTAL DE LA PLANTA POTABILIZADORA</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>
Torre de aireación	806,65
Vertedero triangular	79,8
Canal Parshall	292,45
Floculador hidráulico de flujo horizontal	4650,24
Sedimentador de alta tasa	19395,98
Filtro lento de arena	10846,46
<b>TOTAL</b>	<b>36071,58</b>

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 32-3** Costos de los productos químicos para 8 horas laborables.

<b>PRODUCTOS QUÍMICOS</b>	<b>DOSIFICACIÓN (Kg/día)</b>	<b>COSTO UNITARIO POR Kg en (\$)</b>	<b>COSTO DIARIO (\$)</b>	<b>COSTO MENSUAL (\$)</b>
Policloruro de Aluminio	15,55	0,90	14,00	434,00
Auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100)	0,21	9,00	1,89	58,59
Hipoclorito de calcio (HTH)	1,36	3,00	4,08	126,48
<b>TOTAL (\$)</b>			<b>19,97</b>	<b>619,07</b>

## 3.2 Resultados

### 3.2.1 Especificación de los equipos del Rediseño

**Tabla 33-3** Resultados torres de aireación

PARAMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Área Total	At	6,32	m <sup>2</sup>
Altura total de la torre	H <sub>torre</sub>	2	m
Área de aireación (bandejas)	Ai	1	m <sup>2</sup>
Número de unidades de aireación	N <sub>b</sub>	6	unidades
Separación entre bandejas	Sb	0,40	m
Espesor de cada bandeja	e <sub>b</sub>	0,20	m
Número de torres	N <sub>torres</sub>	2	torres
Tiempo de exposición	Te	1,56	s
Área de cada orificio	A <sub>orificio</sub>	2,83X10 <sup>-5</sup>	m <sup>2</sup>
Caudal sobre cada bandeja	Q <sub>bandejas</sub>	0,05	L/s
Número de perforaciones	Np	256	orificios

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 34-3** Resultados vertedero triangular

PARAMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Altura del vertedero	H	0,15	m
Ancho de canal	L	0,3	m
Altura del agua al inicio del resalto	h <sub>1</sub>	0,02	m
Velocidad al inicio del resalto	v <sub>1</sub>	2	m/s
Número de Froude	F <sub>1</sub>	4,52	-
Altura del agua después del resalto	h <sub>2</sub>	0,05	m
Velocidad al final del Resalto	v <sub>2</sub>	0,8	m/s
Longitud del Resalto	L <sub>vr</sub>	0,18	m
Tiempo de Mezcla	t <sub>m</sub>	0,13	s
Gradiente de Velocidad	Gv	0,81	s <sup>-1</sup>

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 35-3** Resultados de la determinación del agente coagulante

<b>PAC (ppm)</b>	<b>Dosificación por goteo (L/min)</b>
45	16,2
<b>CHEMFLOC (ppm)</b>	<b>Dosificación por goteo (L/min)</b>
0,6	4,32
<b>HTH (ppm)</b>	<b>Dosificación por goteo (mL/min)</b>
1,5	29,86

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 36-3** Resultados de la canaleta Parshall

PARAMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Ancho de la garganta	W	0,23	m
Altura del agua en la sección de medición	Ho	0,09	m
<b>Dimensiones de la canaleta</b>			
Ancho de la sección convergente	D'	0,46	m
Velocidad de la sección de convergencia	v <sub>o</sub>	0,29	m/s
Angulo de Inclinación	Θ <sub>p</sub>	113,40	°
Velocidad antes del resalto	v <sub>1</sub>	1,56	m/s
Altura del agua antes del resalto	h <sub>1</sub>	0,03	m
Numero de Froude	F <sub>1</sub>	2,91	-
Altura del resalto	h <sub>2</sub>	0,11	m
Velocidad de resalto	v <sub>2</sub>	0,48	m/s
Altura en la sección de la salida de la canaleta	h <sub>3</sub>	0,072	m
Velocidad en la sección de salida	v <sub>3</sub>	0,44	m/s
Tiempo de mezcla en el resalto	T	1	s
Gradiente de Velocidad	G	1430,51	s <sup>-1</sup>

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 37-3** Resultados del floculador hidráulico de flujo horizontal

PARAMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Longitud de canales	Lc <sub>f</sub>	108	m
Área de los canales del floculador	Ac <sub>f</sub>	0,1	m <sup>2</sup>
Ancho de canales del floculador	bc <sub>f</sub>	0,1	m
Ancho de vueltas del floculador	bv <sub>f</sub>	0,15	m
Ancho del floculador	b <sub>f</sub>	3	m
Número de canales	Nc <sub>f</sub>	36	Unidades
Longitud del floculador	Lf	9	m
Pérdida de carga en las vueltas	hp <sub>1</sub>	0,08	m
Pérdida de carga en los canales	hp <sub>2</sub>	0,02	m
Pérdida de carga total	hf <sub>1</sub>	0,1	m
Gradiente de Velocidad	Gf	30,78	s <sup>-1</sup>

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 38-3** Resultados Sedimentador de Alta Tasa (placas)

PARAMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Altura del sedimentador	Hs	4,24	m
Ancho del sedimentador	b <sub>s</sub>	1,50	m
Longitud de sedimentación	Ls	6	m
Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	tr <sub>s</sub>	4897,2	s
Número de placas	Np	84	-
Ángulo de inclinación de las placas	$\theta$	60	°
Separación entre placas	Sp	0,05	m
Espesor de las placas	e <sub>p</sub>	0,01	m
Altura de placas	Hp	1,20	m
Altura del agua sobre las placas	Hs <sub>p</sub>	1,5	m
Altura por debajo de las placas	Hd <sub>p</sub>	1,6	m
Número de Reynolds	Re	43,90	-
Tiempo de retención en las placas	tr <sub>p</sub>	1200	s

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 39-3** Resultados de filtros lentos de arena

PARAMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Profundidad del medio filtrante (arena)	P <sub>arena</sub>	0,3mm=1,00 1,4mm=0,30	m
Área de los canales del floculador	P <sub>grava</sub>	5,6mm=0,30 26mm=0,35	m
Altura del agua sobre el lecho	h <sub>agua</sub>	1,00	m
Área de filtración	A <sub>f</sub>	28,8	m <sup>2</sup>
Número de módulos de filtración	n <sub>f</sub>	2	Unidades
Área de cada unidad	A <sub>if</sub>	14,4	m <sup>2</sup>
<b>DIMENSIONES DEL FILTRO</b>			
Longitud de la unidad	a <sub>fu</sub>	3,79	m
Ancho de la unidad	b <sub>fu</sub>	3,29	m

Longitud total de Pared	$L_{tp}$	24,53	m
Longitud total mínima de pared	$L_{mp}$	22,74	m
Diámetro de la tubería de entrada al filtro	$D_t$	0,06	m
<b>SISTEMA DE DRENAJE</b>			
Diámetro de los orificios laterales	$D_o$	0,0065	m
Área de Cada Orificio	$A_{of}$	$3,85 \times 10^{-5}$	$m^2$
Caudal que Ingresa a Cada Orificio	$Q_o$	$11,55 \times 10^{-5}$	$m^3/s$
Numero de Laterales	$n_L$	49,06	Unidades
Separación Entre Orificios	$S_o$	80	-
Número Total de Orificios	$n_o$	3920	-
Área Total de Orificios	$A_{t_o}$	0,15	$m^2$
Diámetro de la tubería a la salida del filtro	$D_{Ts}$	0,10	m

Realizado por: Anita Narváez 2016

**Tabla 13-3** Validación de los resultados obtenidos después de las pruebas de jarras del rediseño de la planta

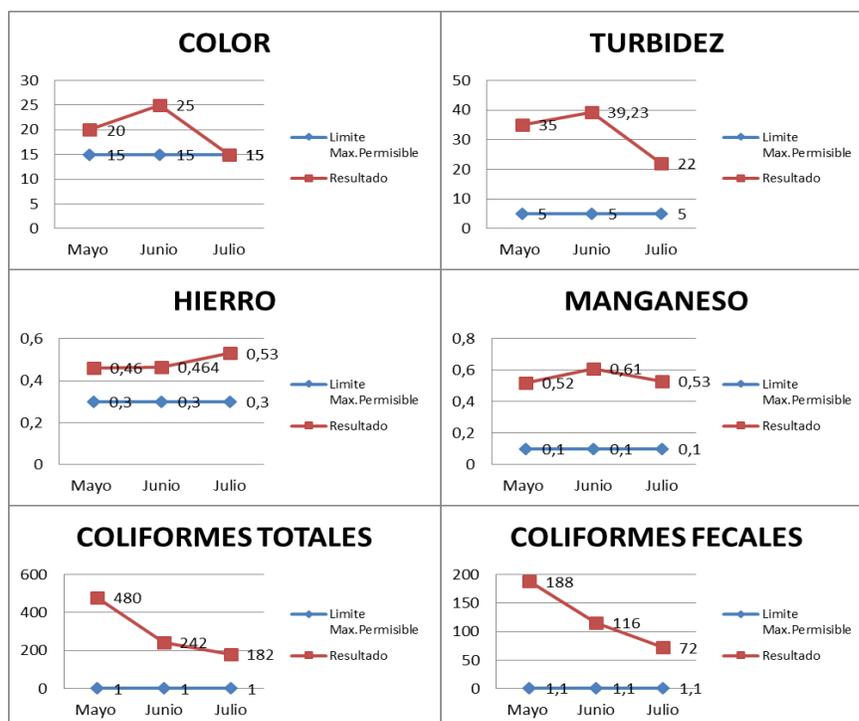
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DESPUES DE LA TRATABILIDAD DEL AGUA DE LA PARROQUIA QUIMIAG						
PARÁMETROS	UNIDAD	Límites Permisibles NTE INEN 1108:2006	Límites Permisibles NTE INEN 1108:2014	Caracterización antes del tratamiento	Caracterización después del tratamiento	ESTANDAR
COLOR	UTC	15	15	25,00	1,00	1.00
TURBIEDAD	NTU	5	5	39,23	0,54	0.50
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,3	.....	0,49	0,07	0.05
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,1	0,4	0,74	0,018	0.016
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	< 2*	< 1**	400,00	< 1**	< 1**
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	.....	.....	200,00	< 1**	< 1**

Realizado por: Anita Narváez 2016

### 3.3 Análisis y Discusión de los resultados

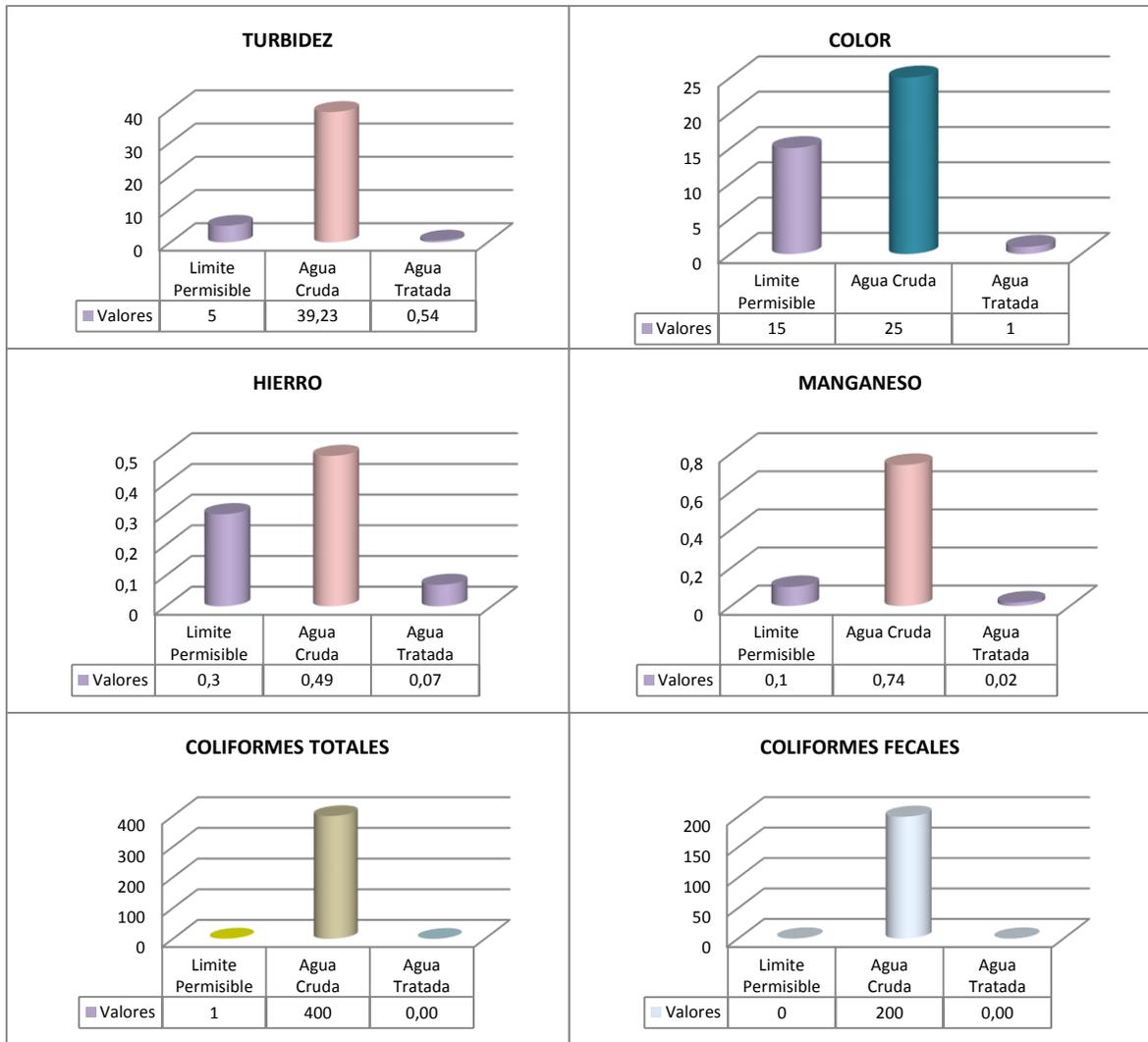
De acuerdo a la caracterización física – químico y microbiológica del agua de la parroquia Químiag se determinó que el agua que está siendo distribuida y consumida presenta parámetros fuera de los límites permisibles que son: color, turbiedad, hierro, manganeso y coliformes según la norma INEN 1108: 2006 y NTE INEN 1108:2014. (Ver figura 1-3)

Para lo cual se planteó tratamientos físicos, químicos y microbiológicos al agua. Se realizó pruebas de jarras utilizando Policloruro de Aluminio (PAC) como agente coagulador, CHEMFLOC como un auxiliar aniónico ya que ayuda acelerar la formación de los flocs, además se preparó una solución de Hipoclorito de Calcio y mediante estas pruebas se pudo determinar la dosificación adecuada de estos químicos los mismos que ayudan en la baja o eliminación de parámetros como color, turbiedad, coliformes totales y fecales además complementando con procesos físicos.



**Gráfica 1-3** Resultados de parámetros fuera de norma  
**Realizado por:** Anita Narváez 2016

En la gráfica 2-3 se puede identificar que mediante la simulación del proceso de aireación se obtuvo 85,71% y 97,56% de remoción en hierro y manganeso respectivamente. Además las pruebas de tratabilidad permitieron determinar las dosis óptimas de Policloruro de Aluminio: 45ppm y Chemfloc: 0.6ppm, obteniendo una remoción del 97,30% y 96% en turbidez y color respectivamente. De la misma manera se obtuvo que la dosis de hipoclorito de calcio de 1,5ppm es la adecuada para obtener un 100% de remoción de coliformes.



**Gráfica 2-3** Resultados de agua tratada (39,23 NTU)

Realizado por: Anita Narváez 2016

Por lo tanto se consideró los métodos más apropiados para el Tratamiento de agua Potable para la Parroquia de Químiag el mismo que constara de los siguientes procesos: un Aireador su objetivo principal es tratar el hierro y el manganeso mediante la oxidación de estos compuestos, vertedero triangular de Thompson como un medidor de caudal con que trabajaremos para el tratamiento de esta agua, canaleta de Parshall donde será el punto de aplicación de un agente coagulante (Policloruro de Aluminio) ya que se necesita de una zona fuerte de turbulencia para que se homogenice la solución de PAC y se dé la coagulación ya que esta canaleta ayuda a la remoción de turbiedad y color, un Floculador hidráulico de flujo horizontal este proceso va continuamente de la coagulación, donde se da la aglomeración de pequeñas partículas con el fin de formar partículas sedimentables y continuar con el proceso de sedimentación el cual se utilizara un sedimentador de alta tasa, donde se asientan

los sólidos suspendidos en un fluido, bajo la acción de la gravedad, el cual permite una gran eliminación de la turbiedad presente en el agua. Filtración (Filtro lento de arena) es el proceso que consiste hacer pasar el agua a través de un lecho de arena y grava para separar las partículas y microorganismos que no han podido ser removidos en los procesos de coagulación y sedimentación. Y finalmente la desinfección, la cual ayuda eliminar toda clase de microorganismos coliformes y esto lo realizamos mediante la utilización del Hipoclorito de Calcio.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a la visita in situ la infraestructura de la planta de tratamiento actual de la parroquia Químiag no es la adecuada ya que cuenta solamente con un tanque de captación y uno de desinfección y no existe los procesos necesarios para que se dé una potabilización adecuada a este tipo de agua.
- La caracterización físico-química y microbiológica inicial del agua a la entrada de la planta nos indica los siguientes parámetros fuera de norma: color 25 UTC; turbiedad 39,23 NTU; Hierro Total 0,58 mg/L; 0,74 mg/L Manganeseo; 240 NPM/100 mL Coliformes Fecales y 640 NPM/100 mL Coliformes Totales.
- Se realizó una simulación de aireación para disminuir hierro y manganeso y mediante las pruebas de jarras se determinó las dosis óptimas de policloruro de aluminio 45ppm y el auxiliar aniónico Chemfloc de 0,6ppm e Hipoclorito de calcio(HTH) a una concentración de 1,5 ppm.
- La validación del sistema propuesto arroja los siguientes resultados para los parámetros que inicialmente estaban fuera de norma: color 1,00 UTC, turbidez 0,50 NTU, hierro total 0,03 mg/L, manganeso 0,016mg/L y  $< 1^{**}$  en coliformes totales y fecales, valores que están dentro de los límites permisibles de la norma INEN 1108: 2006
- El sistema de tratamiento de agua potable de la parroquia Químiag constará de: un sistema de aireación de bandejas por gravedad, vertedero de Thompson, canaleta Parshall, un floculador hidráulico de flujo horizontal, sedimentador con placas, filtros lentos de arena y grava, un tanque de cloración para la desinfección.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación inmediata de la planta de tratamiento de agua potable en la parroquia Químiag, y de esta manera obtener un abastecimiento de agua de calidad y un seguro consumo de este líquido vital para la población.
- Sería adecuado la implementación de un laboratorio básico con métodos y procedimientos para el control interno del agua antes y después del tratamiento, para asegurar la calidad del líquido vital para el consumo de la población.
- Realizar mensualmente análisis físicos-químicos y microbiológicos del agua de la fuente de captación con el objeto de obtener seguimiento de este suministro el cual permita determinar posible variación de contaminantes además a la salida de la planta para controlar el buen funcionamiento de la misma.
- Es conveniente que se capacite a todo el personal a cargo de la planta de tratamiento, con el propósito que se controle y se maneje eficientemente cada uno de los procesos.
- El equipo de la dosificación de químicos debe encontrarse en optimas condiciones de operación, para no tener problemas de desperdicio de productos químicos, ya que esto aumentaría los gastos de operación de la planta.
- Es recomendable conocer el manejo adecuado de los químicos con conocimientos de normas de seguridad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.** *Agua su calidad y tratamiento.* 2. ed., DF - México. McGraw-Hill. 2002, pp. 6 - 7.
2. **ARBOLEDA, Jorge.** *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua.* 3.ed, Bogotá-Colombia. Editorial nomos. Tomo I. 2000, pp. 145-267; 364-582.
3. **AZEVEDO, J; ACOSTA, G.** *Manual de Hidráulica.* 6a.ed, México D.F – México. Editorial Limusa. 2000, pp.578.
4. **BARRANECHEA MARTEL, A.** *Aspectos Físico- Químicos de la calidad del Agua. CALIDAD DEL AGUA.* (s.f.). [en línea]. Bogotá-Colombia UNAD, 2012. [Consulta: 25 del agosto 2015]. Disponible en:  
[http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad\\_del\\_agua/operacion\\_potabilizacion/index.html](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html)
5. **BADUI, Salvador.** *Química de Alimentos.* 4. ed., Pearson Educación. Naucalpan de Juárez Edo de México - México. 2006, pp. 1
6. **BRITO, Nancy.** *Alternativa de Potabilización para el agua que abastecerá a la ampliación del Aeropuerto Internacional de la ciudad de México.* (Tesis). Ingeniero Civil. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Facultad de Ingenierías, Escuela de Ingeniería Civil. México D.F.- México. 2007. pp. 5-39
7. **DAUGHERTY, R & FRANZINI, J. 1978.** *Propiedades Físicas Del Agua*
8. **DEGREMONT.** *Manual Técnico del Agua, “ Flocladore Manual”.* Cuarta Edición. [En línea] [Consulta: 03 de diciembre de 2015.] Disponible en:  
[http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2\\_cap3.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap3.pdf).
9. **EX – IEOS 1993.** *Normas para estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.*

10. **Manual de abastecimiento de agua potable.** [En línea] [Consultado: 15 de Noviembre de 2015.]  
Disponible en:  
<http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%20%20Gravedad/Manual%20Abastecimiento%20Agua%20Potable%20por%20gravedad%20con%20tratamiento.pdf>
11. **MISCELA. DOCUMENTOS PLANTAS DE TRATAMIENTOS.** [En línea] [Cosultado: 29 de Noviembre de 2015.] Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/miscela/criteriosAS.pdf>
12. **MARTINEZ. Proceso de potabilizacion.** [En línea] [Consultado: 7 de 12 de 2015.] Disponible en:[http://iesmartinezuribarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso\\_potabilizacionSansa.pdf](http://iesmartinezuribarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf)
13. **MIHELICIC, J y ZIMMERMAN, J. Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño.** pág. 416
14. **MIHELICIC, James y ZIMMERMAN, Julie. 2011. Fundamentos, Sustentabilidad.** 2011. pág. 408
15. **NTE INEN 2226 (2000) (Spanish):.Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestro**
16. **NTE INEN 2 176:98. Agua Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo**
17. **RAS. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Sección 2, Título E, Tratamiento de aguas residuales**
18. **ROMERO. R, Jairo. A. Purificacion del agua.** 1999
19. **ROMERO. R, Jairo. A. Purificacion del agua.** 2008
20. **SERRANO. F, Norman. A. Aforo de Aguas Residuales** [en línea]. Bogotá, D.C. – Colombia 2008. [Consulta: 1 de septiembre 2015] Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/EXE\\_301332/identificacin\\_del\\_curso\\_acadmico.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/EXE_301332/identificacin_del_curso_acadmico.html)

- 21. SMSA. *Proceso de Potabilización del agua*** [En línea] Posada. [Consulta: 1 de septiembre 2015]  
Disponible en:  
[http://iesmartinezuribbarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso\\_potabilizacionSansa.pdf](http://iesmartinezuribbarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf)
- 22. SMSA. *Proceso de Potabilización del agua*** [En línea]. Posada. [Consulta: 29 de Noviembre de 2015.]  
Disponible en:  
[http://iesmartinezuribbarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso\\_potabilizacionSansa.pdf](http://iesmartinezuribbarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf)
- 23. SPELLMAN, Frank & DRINAN, joanne. *Manual del Agua Potable*** [En línea] [Consultado: 5 de de diciembre de 2015] Disponible en: <http://librosysolucionarios.net/manual-del-agua-potable-frank-r-spellman-joanne-drinan/>
- 24. TÉCNICAS DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS. Tratamiento de Agua. *Coagulación-Floculación*.** [En línea] [Consultado: 15 de Noviembre de 2015.] Disponible en:  
<http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20d>
- 25. TEORÍA, DISEÑO Y CONTROL DE PROCESOS DE CLARIFICACIÓN DE AGUA. *Sistemas de Simulación del proceso de coagulación-filtración*.** [En línea] [Consultado: 5 de de diciembre de 2015] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-04a.pdf>

## ANEXOS

### Anexo A. Reconocimiento de la planta de Tratamiento, tratabilidad



**Anexo B.** Resultado de la caracterización físico-químico y microbiológico del agua al tanque de almacenamiento de Químiag (agua cruda)



RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLOGICO						
ENTRADA AGUA CRUDA AL TANQUE DISTRIBUIDOR SECTOR QUIMIAG (AGUA CRUDA)						
PARAMETROS	UNIDAD	MES MONITOREADO				
		19-may	21-may	25-may	27-may	29-may
COLOR	UTC	1.00	20.00	1.00	1.00	1.00
TURBIDAD	NTU	0.64	35.00	0.54	0.45	0.72
pH	.....	7.48	7.60	7.12	7.09	7.28
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	102.00	110.95	120.64	115.37	118.61
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	110.75	130.65	138.05	120.67	130.50
TEMPERATURA	°C	15.00	14.96	14.56	15.10	15.64
NITRATOS (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.90	1.10	1.20	1.16	1.12
NITRITOS (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.006	0.008	0.005	0.006	0.008
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	1.82	2.07	1.54	1.68	1.54
NITROGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	4.00	2.00	4.00	2.00	2.00
FLUORUROS (F)	mg/L	0.30	0.52	0.50	0.42	0.48
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.47	0.45	0.60	0.38	0.40
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0.54	0.60	0.42	0.43	0.62
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0.006	0.006	0.008	0.006	0.007
COBRE (Cu)	mg/L	0.02	0.04	0.04	0.02	0.04
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	60.00	50.00	54.00	40.00	62.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0.007	0.007	0.009	0.008	0.008
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	3.00	2.70	2.50	2.86	2.64
NIQUEL (Ni)	mg/L	0.006	0.007	0.008	0.008	0.009
COBALTO (Co)	mg/L	0.007	0.008	0.008	0.009	0.009
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	0.16	0.18	0.22	0.20	0.17
BROMO (Br)	mg/L	1.12	2.45	1.90	2.85	1.92
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	0.26	0.30	0.28	0.34	0.26
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0.006	0.009	0.008	0.009	0.009
OXIGENO DISUELTTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	7.00	10.00	6.50	6.00	6.47
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	500.00	620.00	340.00	420.00	520.00
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	100.00	140.00	120.00	160.00	320.00

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARADO DE GUARANDA
   
 LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
   
 ING. RAUL ALLAN
   
 Técnico Control de Calidad E.P.EMAPA-G

RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO SALIDA AGUA CRUDA AL TANOUE DISTRIBUIDOR SECTOR OQUIMIAG (AGUA CRUDA)						
PARAMETROS	UNIDAD	MES MONITOREADO				
		16-jun	18-jun	22-jun	24-jun	26-jun
COLOR	UTC	1.00	1.00	1.00	25.00	1.00
TURBIEDAD	NTU	0.82	0.45	0.54	39.23	0.68
pH	.....	7.12	7.06	7.25	7.62	6.89
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	180.70	184.67	214.68	190.23	208.52
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	114.85	90.47	100.27	80.67	110.68
TEMPERATURA	°C	14.65	14.23	14.86	14.31	14.97
NITRATOS (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	1.05	1.07	1.12	1.27	0.98
NITRITOS (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.008	0.007	0.009	0.008	0.009
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.55	0.62	0.74	0.48	0.61
NITROGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00
FLUORUROS (F)	mg/L	0.49	0.52	0.50	0.42	0.48
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.47	0.52	0.39	0.49	0.45
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0.58	0.64	0.58	0.74	0.05
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0.006	0.008	0.009	0.009	0.008
COBRE (Cu)	mg/L	0.04	0.07	0.05	0.03	0.05
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	86.00	64.00	80.00	100.00	110.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0.007	0.009	0.008	0.006	0.007
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0.85	0.64	0.72	0.95	0.82
NIOUEL (Ni)	mg/L	0.006	0.008	0.006	0.006	0.005
COBALTO (Co)	mg/L	0.008	0.007	0.007	0.007	0.008
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	0.19	0.14	0.14	0.19	0.12
BROMO (Br)	mg/L	2.13	1.65	2.57	2.08	2.67
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	0.36	0.45	0.31	0.45	0.27
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0.009	0.008	0.007	0.008	0.008
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	6.00	6.60	7.20	4.60	6.20
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	100.00	180.00	164.00	400.00	364.00
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	52.00	86.00	102.00	200.00	142.00

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE GUARANDA  
 LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD  
 Ing. Qui. RAUL ALLAN  
 Técnico Control de Calidad E.P.EMAPA-G

ep-emapa-g  
 Ing. Qui. Raul Allan  
 TEC. SCH-LAB

RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLOGICO SALIDA AGUA CRUDA AL TANQUE DISTRIBUIDOR SECTOR QUIMIAG (AGUA CRUDA)						
PARAMETROS	UNIDAD	MES MONITOREADO				
		15-jul	17-jul	21-jul	23-jul	29-jul
COLOR	UTC	1.00	15.00	1.00	1.00	1.00
TURBIEDAD	NTU	0.54	22.00	0.84	0.35	0.65
pH	.....	7.26	7.48	7.08	7.25	7.37
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	180.25	208.60	200.89	204.97	180.60
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	120.38	104.00	120.08	128.64	110.64
TEMPERATURA	° C	14.12	13.58	13.96	14.09	14.27
NITRATOS (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.98	1.08	1.16	1.57	1.34
NITRITOS (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.008	0.008	0.007	0.008	0.009
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.71	0.62	0.78	0.64	0.62
NITROGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00
FLUORUROS (F)	mg/L	0.56	0.74	0.39	0.44	0.52
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.45	0.58	0.63	0.49	0.52
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0.82	0.74	0.45	0.56	0.76
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0.007	0.007	0.009	0.007	0.009
COBRE (Cu)	mg/L	0.03	0.05	0.04	0.005	0.03
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	42.00	108.00	48.00	44.00	46.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0.85	0.76	0.70	0.88	0.76
NIQUEL (Ni)	mg/L	0.007	0.009	0.009	0.007	0.007
COBALTO (Co)	mg/L	0.007	0.007	0.008	0.008	0.007
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	0.18	0.14	0.19	0.16	0.18
BROMO (Br)	mg/L	2.12	1.18	2.09	2.17	2.16
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	0.30	0.27	0.35	0.48	0.29
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0.009	0.008	0.009	0.008	0.008
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	6.42	4.36	6.40	6.80	6.10
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	70.00	640.00	46.00	71.00	82.00
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	41.00	34.00	17.00	23.00	47.00

EMPRESA MUNICIPAL  
DE AGUA POTABLE Y  
ALCANTARILLADO DE  
GUARANDA  
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD

ING. QUI RAUL ALLAN  
Técnico Control de Calidad E.P.EMAPA-G

ep-emapa-g  
Ing. Qui Raul Allan  
TEG. SCH-LAB

Anexo C. Resultados (agua salida de la planta vs ensayos)



RESULTADOS (AGUA SALIDA PLANTA VS ENSAYOS) QUIMIAG								
PARAMETROS	UNIDAD	LÍMITE PERMISIBLE	21-may		16-jun		15-jul	
COLOR	UTC	15	20.00	1.00	25.00	1.00	15.00	1.00
TURBIEDAD	NTU	5	35.00	0.43	39.23	0.54	22.00	0.50
pH			7.60	7.12	7.62	7.21	7.48	7.10
CONDUCTIVIDAD	uS/cm		110.95	98.25	190.23	102.64	208.60	103.64
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L		130.65	35.67	80.67	36.40	104.00	38.48
TEMPERATURA	°C		14.96	13.09	14.31	13.19	13.58	14.82
NITRATOS (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	50	1.10	0.95	1.27	1.13	1.08	0.94
NITRITOS (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.2	0.008	0.005	0.008	0.007	0.008	0.006
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L		2.07	0.24	0.48	0.27	0.62	0.42
NITROGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L		0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L		2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00
FLUORUROS (F)	mg/L	1.5	0.52	0.36	0.42	0.35	0.74	0.24
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L		0.45	0.09	0.49	0.07	0.58	0.05
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0.4	0.60	0.015	0.74	0.018	0.74	0.016
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0.05	0.006	0.007	0.009	0.007	0.007	0.007
COBRE (Cu)	mg/L	2	0.04	0.02	0.03	0.03	0.05	0.03
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L		50.00	50.00	100.00	98.00	108.00	108.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L		0.007	0.006	0.006	0.007	0.008	0.006
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L		2.70	0.85	0.95	0.54	0.76	0.51
NIOBEL (Ni)	mg/L	0.07	0.007	0.007	0.006	0.007	0.009	0.008
COBALTO (Co)	mg/L		0.008	0.006	0.007	0.006	0.007	0.005
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L		< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L		< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.07	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	0.7	0.18	0.34	0.19	0.17	0.14	0.11
BROMO (Br)	mg/L		2.45	1.12	2.08	1.43	1.18	0.94
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L		0.30	0.19	0.45	0.27	0.27	0.35
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0.05	0.009	0.009	0.008	0.007	0.008	0.007
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L		10.00	6.50	4.60	7.00	4.36	6.57
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	< 1**	620.00	< 1**	400.00	< 1**	640.00	< 1**
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL		240.00	< 1**	200.00	< 1**	234.00	< 1**

LIMITES PERMISIBLES BASADOS EN LA NORMA NTE INEN 1108:2014, Quinta Edición

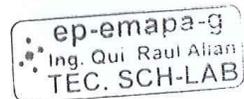
NOTA: No está permitido sacar fotocopias de este documento sin autorización de la E.P.EMAPA-G



PRUEBAS DE JARRAS EFECTUADAS A LAS MUESTRAS QUE PRESENTARON VARIACION EN LA CALIDAD DEL AGUA

TURBIEDAD 35 NTU							
Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0.80	0.01	1.50	0.75	1.46	2.27	0.54	96.40
0.80	0.01	3.00	1.50	1.74	2.75	0.60	96.00
0.80	0.01	4.50	2.25	2.05	3.27	0.66	95.60
0.80	0.01	6.00	3.00	2.38	3.85	0.72	95.20
0.80	0.02	1.50	0.75	2.73	4.48	0.78	94.80
0.80	0.02	3.00	1.50	3.11	5.16	0.84	94.40
0.80	0.02	4.50	2.25	1.07	1.60	0.43	97.15
0.80	0.02	6.00	3.00	2.00	3.06	0.78	94.80
0.80	0.03	1.50	0.75	2.11	3.31	0.81	94.60
0.80	0.03	3.00	1.50	2.22	3.57	0.84	94.40
0.80	0.03	4.50	2.25	2.33	3.85	0.87	94.20
0.80	0.03	6.00	3.00	2.45	4.14	0.90	94.00
0.80	0.04	1.50	0.75	2.57	4.44	0.93	93.80
0.80	0.04	3.00	1.50	2.69	4.76	0.96	93.60
0.80	0.04	4.50	2.25	2.81	5.09	0.99	93.40
0.80	0.04	6.00	3.00	2.94	5.43	1.02	93.20

TURBIEDAD 39.23 NTU							
Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0.80	0.01	1.50	0.75	0.96	1.54	0.64	96.80
0.80	0.01	3.00	1.50	1.08	1.94	0.70	96.50
0.80	0.01	4.50	2.25	1.20	2.40	0.76	96.20
0.80	0.01	6.00	3.00	1.33	2.92	0.82	95.90
0.80	0.02	1.50	0.75	1.46	2.34	0.88	95.60
0.80	0.02	3.00	1.50	1.60	2.72	0.94	95.30
0.80	0.02	4.50	2.25	1.74	3.31	1.00	95.00
0.80	0.02	6.00	3.00	1.89	4.34	1.06	94.70
0.80	0.03	1.50	0.75	1.08	1.30	0.54	97.30
0.80	0.03	3.00	1.50	1.32	1.85	0.60	97.00
0.80	0.03	4.50	2.25	1.63	2.61	0.68	96.60
0.80	0.03	6.00	3.00	1.98	1.58	0.76	96.20
0.80	0.04	1.50	0.75	2.35	2.12	0.84	95.80
0.80	0.04	3.00	1.50	2.76	2.76	0.92	95.40
0.80	0.04	4.50	2.25	3.20	2.37	1.00	95.00
0.80	0.04	6.00	3.00	3.67	2.28	1.08	94.60



**Anexo D.** Normas técnica ecuatoriana

**NORMAS TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2006 Segunda Revisión Agua Potable. Requisitos**

**REQUISITOS**

**Requisitos específicos**

El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permitido</b>
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
pH	---	6,5 – 8,5
Sólidos totales	mg/l	1 000
Sólidos disueltos	mg/l	500
Conductividad	µS/cm	< 1250
<b>Inorgánicos</b>		
Alcalinidad	mg/l	250 –300
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH <sub>3</sub> )	mg/l	< 0,5
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Calcio, Ca	mg/l	70
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 – 1,5
Cloruros, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,2
Cobre, Cu	mg/l	1,0

Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/l	200
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	> 1,5
Fósforo, (P-PO <sub>4</sub> )	mg/l	< 0,3
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Magnesio, Mg	mg/l	30 - 50
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, N-NO <sub>3</sub>	mg/l	< 40
Nitritos, N-NO <sub>2</sub>	mg/l	0,01
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	µg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO <sub>4</sub>	mg/l	200
Vanadio, V	µg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
Radiactivos	mg/l	
Radiación total α**	Bg/l	0,1
Radiación total β ***	Bg/l	1,0
<p>1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.</p> <p>* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 210Po, 224Ra, 226Ra, 232Th, 234U, 238U, 239Pu.</p> <p>** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 60Co, 89Sr, 90Sr, 129I, 131I, 134Cs, 137Cs, 210Pb, 228Ra.</p>		

El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

#### Requisitos microbiológicos

	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2*

Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2*
Criptosporidium número de quistes//100 litros	Ausencia
Giardia Lamblia número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 2 significa que en una serie de 9 tubos ninguno es positivo	
(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.	

## NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1108:2014. Quinta revisión

### REQUISITOS

Los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.

El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación, en las tablas 1, 2,3, 4, 5, 6 y 7.

**TABLA 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas**

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN-	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 l)
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
-	mg/l	50
-	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total $\alpha$ *	Bg/l	0,5
Radiación total $\beta$ **	Bg/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,04

1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleídos: 210Po, 224Ra, 226Ra, 232Th, 234U, 238U, 239Pu

\*\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleídos: 60Co, 89Sr, 90Sr, 129I, 131I, 134Cs, 137Cs, 210Pb, 228Ra

El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

**TABLA 7. Requisitos Microbiológicos**

	Máximo
Coliformes fecales (1):	
Tubos múltiples NMP/100 ml o	< 1,1 *
Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1 **
Cryptosporidium, número de ooquistes/ litro	Ausencia
Giardia, número de quistes/ litro	Ausencia
<p>* &lt; 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm<sup>3</sup> o 10 tubos de 10 cm<sup>3</sup> ninguno es positivo</p> <p>** &lt; 1 significa que no se observan colonias</p> <p>(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida</p>	

**Anexo E.** Métodos y técnicas utilizadas para el análisis físico - químicos del agua

<b>POTENCIAL HIDRÓGENO</b>	<b>EQUIPO</b>	✓ <b>Potenciómetro</b>
	<b>MATERIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VASOS DE VIDRIO</li> <li>• LIMPIADORES</li> </ul>
	<b>REACTIVO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución Buffer pH 4 (caducidad fijada por el fabricante)</li> <li>• Solución Buffer pH 7 (caducidad fijada por el fabricante)</li> <li>• Agua destilada.</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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 READ.</li> <li>• Deje un tiempo estable hasta que la lectura sea estable. Lea la medida de pH directamente de la pantalla.</li> <li>• Registre el valor.</li> <li>• Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Ponga el electrodo en la porta electrodo hasta volver a utilizar.</li> </ul>
	<b>EQUIPOS</b>	✓ <b>Conductímetro</b>
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasos de precipitación</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>

<p style="text-align: center;"><b>CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>PROCEDIMIENTO</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es aconsejable operar con el material de vidrio rigurosamente limpio y lavado antes de su uso con agua destilada.</li> <li>• En un vaso de precipitación colocamos 100 ml de muestra de agua.</li> <li>• Lavar varias veces el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar.</li> <li>• 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.</li> <li>• Lea la medida de conductividad directamente de la pantalla. Además se medirá la temperatura.</li> <li>• Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>EQUIPOS</b></p>	<p>✓ <b>Conductímetro- Electrodo</b></p>
	<p style="text-align: center;"><b>MATERIALES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasos de precipitación</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<p style="text-align: center;"><b>PROCEDIMIENTO</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavar varias veces el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar.</li> <li>• 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.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.</li> </ul>
<b>COLORO, Total</b>	<b>EQUIPOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Espectrofotómetro DR 2800</b></li> </ul>
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobres de reactivo de cloro total DPD en polvo, 10ml</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. Si la prueba sale de los límites, diluir la muestra con un volumen conocido de agua sin demanda de cloro y de buena calidad y repetir la prueba. Debido a la dilución puede producirse una pérdida de cloro. Multiplicar el resultado por el factor de dilución. En presencia de cloro aparecerá un color rosa, después de la adición del reactivo DPD.</li> </ul>
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 80 cloro L&amp;T PP.</li> <li>• Lavar las cubetas y la pipeta con la muestra antes de usarlas.</li> <li>• Colocar con la pipeta 10 ml de muestra en la cubeta, añadir el contenido de un sobre de reactivo Chlorine Total-DPD. Agitar con rotación durante 20 segundos.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK, comienza un tiempo de reacción de 3 minutos.</li> <li>• Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de muestra.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cl<sub>2</sub>.</li> <li>• Dentro de los 3 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.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cl<sub>2</sub>.</li> </ul>
<b>ALUMINIO</b>	<b>EQUIPOS</b>	✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobres de reactivo de ácido ascórbico en polvo, 10ml</li> <li>• Sobres de reactivo de AluVer 3 en polvo</li> <li>• Sobres de reactivo Bleaching 3 en polvo</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: <b>Programas almacenados</b> y seleccionar el test <b>10 Aluminio</b>.</li> <li>• Llenar un tubo mezclador graduado de 50mL. Añadir el contenido de un sobre de ácido ascórbico en polvo. Tapar el tubo e invertir despacio varias veces para disolver el polvo.</li> </ul>

	<p style="text-align: center;"><b>PROCEDIMIENTO</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Añadir el contenido de un sobre de reactivo de aluminio AluVer 3 en polvo. Tapar el tubo. En presencia de aluminio se formara un color rojo-naranja.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa <b>OK</b>.</li> <li>• Invertir el tubo repetidamente durante un minuto para disolver el polvo. Si hay polvo sin disolver se obtendrán resultados erróneos.</li> <li>• <b>Preparación del blanco:</b> llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml con mezcla del tubo mezclador.</li> <li>• Añadir el contenido de un sobre de reactivo Bleaching 3 en polvo a la cubeta.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa <b>OK</b>.</li> <li>• Agitar, con rotación energéticamente durante 30 segundos. Esta solución debería adquirir un color anaranjado de claro a medio.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa <b>OK</b>. Comienza un periodo de reacción de 15 minutos.</li> <li>• <b>La muestra preparada:</b> llenar otra cubeta cuadrada, con 10 ml de mezcla del tubo mezclador.</li> <li>• Dentro de los 5 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: <b>Cero</b>, la pantalla indicará: 0.00mg/L Al<sup>3+</sup>.</li> <li>• Inmediatamente limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: <b>Medición</b>. El resultado aparecerá en mg/ L Al<sup>3+</sup>.</li> </ul>
	<p style="text-align: center;"><b>EQUIPOS</b></p>	

<b>COBALTO</b>		✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobres de reactivo de EDTA en polvo</li> <li>• Sobres de reactivo de phthalate-fosfato en polvo</li> <li>• Solución del indicador PAN 0,3%</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. La formación del color, variara de verde a rojo oscuro, dependiendo de la composición química de la muestra.
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: <b>Programas almacenados</b> y seleccionar el test <b>110 Cobalto</b>.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada.</li> <li>• Añadir el contenido de u sobre de reactivo phthalate-fosfato en polvo a cada cubeta.</li> <li>• Con el cuentagotas de plástico añadido agregar 0,5mL de solución del indicador PAN 0,3% a cada cubeta.</li> <li>• Tapar las cubetas e invertir varias veces para mezclar.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa <b>OK</b>. Comienza un periodo de reacción de 3 minutos. El blanco, deberá presentar un color amarillo.</li> <li>• Añadir el contenido de un sobre de reactivo EDTA en polvo a cada cubeta. Tapar las cubetas con cuidado y agitar para disolver el polvo.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: <b>Cero</b>, la pantalla indicará: 0.00mg/L Co.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: <b>Medición</b>. El resultado aparecerá en mg/ L Co.</li> </ul>
<b>COBRE</b>	<b>EQUIPOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800</li> </ul>
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobres de reactivo CuVer 1 en polvo</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En este caso se utilizara CuVer 2 y una cubeta de 25 mL para las muestras que contienen niveles altos de aluminio, hierro y dureza</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 135 Cobre Bicin.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cobre CuVer 1 en polvo. Agitar la cubeta varias veces, con rotación, para mezclar.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos.</li> </ul>

	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Después de que suene el temporizador, llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cu.</li> <li>• Dentro de los 30 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cu.</li> </ul>
<b>CLORURO</b>	<b>EQUIPOS</b>	✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución férrica</li> <li>• Solución tiocianato mercúrico</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 70 Cloruro.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada.</li> <li>• Pipetear 0,8 ml de solución tiocianato mercúrico en cada cubeta.</li> </ul>

	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agitar, con rotación, para mezclar.</li> <li>• Pipetear 0,4 ml de solución férrica en cada cubeta.</li> <li>• Agitar, con rotación, para mezclar. En presencia de cloruro aparecerá un color anaranjado.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos.</li> <li>• Dentro de los 5 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cl<sup>-</sup>.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cl<sup>-</sup>.</li> </ul>
	<b>EQUIPOS</b>	✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobres de reactivo cromo ChromaVer 3 en polvo</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En presencia de cromo hexavalente, aparecerá un color violeta.

<p style="text-align: center;"><b>CROMO, HEXAVALENTE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>PROCEDIMIENTO</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 90 Cromo hex.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cromo ChromaVer 3 en polvo. Agitar, con rotación, para mezclar. Si hay la presencia de este elemento la coloración será violeta.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos.</li> <li>• Preparación de blanco: llenar otra cubeta de una pulgada de 10 ml hasta la marca</li> <li>• Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cr<sup>6+</sup>.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cr<sup>6+</sup>.</li> </ul>
	<p style="text-align: center;"><b>EQUIPOS</b></p>	<p>✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800</p>
	<p style="text-align: center;"><b>MATERIALES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<p style="text-align: center;"><b>REACTIVOS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución SPADNS Reagent, 2 ml</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>

<b>FUORIDE (FLUOR)</b>	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 190 Fluoride.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada.</li> <li>• Pipetear 2 ml de solución SPADNS Reagent en cada cubeta.</li> <li>• Agitar, con rotación, para mezclar.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 1 minutos.</li> <li>• Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L F<sup>-</sup>.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L F<sup>-</sup>.</li> </ul>
	<b>EQUIPOS</b>	✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución de reactivo de cianuro alcalino</li> </ul>

<b>MANGANESO</b>	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución indicadora PAN 0,1%</li> <li>• Sobres de ácido ascórbico en polvo</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En ciertas muestras al colocar la solución de reactivo de cianuro alcalino puede formarse una solución turbia, pero esta turbidez se disipará con la solución indicadora Pan 0,1%.</li> </ul>
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 290 Manganeso.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada.</li> <li>• Añadir a cada cubeta el contenido de un sobre de ácido ascórbico en polvo. Tapar las cubetas e invertir con cuidado para disolver el polvo.</li> <li>• Añadir 12 gotas de solución de reactivo de cianuro alcalino a cada cubeta. Agitar, con cuidado para mezclar. Se forma una turbidez.</li> <li>• Añadir 12 gotas de solución indicadora Pan 0,1%, a cada cubeta. Agitar con cuidado para mezclar. Si hay manganeso, la muestra preparada producirá un color anaranjado.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos.</li> <li>• Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Mn.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Mn.</li> </ul>
<b>NIQUEL</b>	<b>EQUIPOS</b>	✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución indicadora PAN 0,3%</li> <li>• Sobres de reactivo de EDTA en polvo</li> <li>• Sobres de reactivo de phthalate-fosfato en polvo</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. Si la muestra contiene hierro ( $Fe^{3+}$ ) todo el polvo debe estar disuelto antes de colocar la solución indicador PAN 0,3%
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 340 Niquel PAN.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada.</li> <li>• Añadir el contenido de un sobre de reactivo phthalate-fosfato en polvo en cada cubeta.</li> <li>• Tapar las cubetas y agitar para disolver el polvo.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con el cuentagotas de plástico, agregar o, 5 ml de solución del indicador PAN 0,3% a cada cubeta.</li> <li>• Tapar las cubetas e invertir varias veces para disolver el polvo.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 15 minutos. Durante la formación del color, el color de la solución puede variar de naranja amarillento a rojo oscuro, dependiendo de la composición química de la muestra. El blanco debería presentar un color amarillo.</li> <li>• Después de que suene el temporizador, añadir el contenido de un sobre de reactivo EDTA en polvo a cada cubeta.</li> <li>• Tapar las cubetas y agitar para disolver el polvo.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Ni.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Ni.</li> </ul>
	<b>EQUIPOS</b>	✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobres de reactivo nitrato NitaVer 5 en polvo</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>

<b>NITRATO</b>	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En presencia de nitrato, aparecerá un color ámbar.</li> </ul>
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 355 N Nitrato.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 5 en polvo a la cubeta. Tapar la cubeta.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 1 minutos.</li> <li>• Agitar vigorosamente la cubeta hasta que suene el temporizador.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de 5 minutos.</li> <li>• Después de que suene el temporizador llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L NO<sub>3</sub><sup>-N</sup>.</li> <li>• En el transcurso de 1 minuto desde que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. Medición. El resultado aparecerá en mg/ L NO<sub>3</sub><sup>-N</sup>.</li> </ul>
	<b>EQUIPOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800</li> </ul>

<b>NITRITO</b>	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobres de reactivo nitrito NitriVer 3 en polvo</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En presencia de nitrito aparecerá un color rosa.</li> </ul>
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 371 N Nitrito.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Anadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrito NitriVer 3 en polvo a la cubeta. Agitar la cubeta, con rotación, para mezclar.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 20 minutos.</li> <li>• Después de que suene el temporizador llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L NO<sub>2</sub><sup>-N</sup>.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L NO<sub>2</sub><sup>-</sup></li> </ul>
	<b>EQUIPOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> </ul>

<b>NITROGENO, AMONICAL. Método Nessler</b>	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución de reactivo Nessler, 1 ml</li> <li>• Set de reactivos para nitrógeno amoniacal (estabilizante mineral, agente dispersante alcohol poli vinílico )</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.</li> </ul>
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: <b>Programas almacenados</b> y seleccionar el test <b>380 N. amoniacal Ness.</b></li> <li>• Llenar un tubo mezclador graduado de 25 ml hasta la marca de 25 ml con muestra.</li> <li>• <b>Para preparar el blanco:</b> llenar otro tubo graduado de 25 ml hasta la marca de 25 ml con agua desionizada.</li> <li>• Añadir tres gotas de estabilizante mineral a cada tubo. Añadir tres gotas de agente dispersante alcohol poli vinílico a cada tubo. Tapara los tubos y agitar varias veces para mezclar.</li> <li>• Pipetear 1 ml de reactivo Nessler en cada tubo. Tapar los tubos y agitar varias veces para mezclar.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa <b>OK.</b> Comienza un periodo de reacción de 1 minutos.</li> <li>• Llenar dos cubetas cuadradas de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con solución de los tubos.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: <b>Cero</b>, la pantalla indicará: 0.00mg/L NH<sub>3</sub> - N.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: <b>Medición</b>. El resultado aparecerá en mg/ L NH<sub>3</sub></li> </ul>
<b>HIERRO; total</b>	<b>EQUIPOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800</li> </ul>
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobres de reactivo de hierro FerroVer en polvo</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. Si hay la presencia de hierro total, se formara un color anaranjado.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 265 Hierro FerroVer.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>• Añadir el contenido de un sobre de reactivo FerroVer en polvo. Agitar, con rotación, para mezclar.</li> </ul>

	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 3 minutos.</li> <li>• Preparación del blanco: llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra.</li> <li>• Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Fe.</li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Fe.</li> </ul>
<b>SULFATE (SULFATOS)</b>	<b>EQUIPOS</b>	✓ ESPECTROFOTÓMETRO DR 2800
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución del reactivo de SulfaVer</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	❖ Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 680 Sulfate.</li> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> </ul>

	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Añadir el contenido del reactivo de SulfaVer en la muestra. Agitar con cuidado para mezclar. La presencia de sulfato se notara con una turbidez</li><li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos.</li><li>• Preparación del blanco: llene una cubeta de una pulgada de 10 ml con la muestra.</li><li>• Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li><li>• Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.</li><li>• Después de 5 minutos, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li><li>• Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.</li></ul>
--	----------------------	---

Fuente: Dpto. Control de Calidad E.P – EMAPA

**Anexo F.** Planos del rediseño para un proceso de potabilización de agua

