



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela de Ingeniería Química**

## **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CANTÓN TISALEO”.**

**Tesis de Grado Previa la obtención del título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**CHRISTIAN PAÚL CÓRDOVA AROCA**

**Riobamba – Ecuador**

**2014**

*En primer lugar agradecer a Dios, por haberme dado la sabiduría que me permitió haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.*

*A mi madre por ser el pilar más importante y fundamental en mi vida demostrándome siempre su apoyo y cariño incondicional, a mi padre que he sentido que está conmigo, a mis abuelitos que con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera.*

*A mis amigos que siempre supieron estar conmigo apoyándome durante toda mi carrera universitaria convirtiéndose en familia y siempre brindándome su aliento para ser una persona mejor.*

*Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Tisaleo por la apertura para realizar la investigación en especial al Señor Alcalde Ing. Rodrigo Garcés por su confianza en mi persona, al Ing. Germán López encargado de la Planta de Tratamiento de Agua Potable por toda su ayuda a lo largo de la investigación al igual que a todo el personal que en sus instalaciones laboran.*

*A los Ing. José Usiña y a la Ing. Mónica Andrade quienes con su guía y apoyo se supieron encaminar a lo largo de este trabajo de investigación.*

*Al culminar este trabajo de investigación dedico mi esfuerzo a Dios que es la fuente de inspiración de cada momento de mi vida, a mis padres, abuelitos y a toda mi familia que siempre han estado pendiente de mí y han sido el impulso que motivo mi superación permanente para alcanzar este nuevo objetivo, a mis amigos que siempre me han acompañado desde el principio siendo un pilar de fortaleza sabiéndose convertir en mi familia fuera del hogar.*

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

- Ing. César Avalos ..... ..

**DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**

- Ing. Mario Villacrés ..... ..

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

- Ing. José Usiña ..... ..

**DIRECTOR DE TESIS**

- Ing. Mónica Andrade ..... ..

**COLABORADORA DE TESIS**

- Ing. Hugo Calderón ..... ..

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

- Ing. Eduardo Tenelanda ..... ..

**DIRECTOR DEL CENTRO DE DOCUMENTACIÓN**

**NOTA DE TESIS** .....

*“Yo, **CHRISTIAN PAÚL CÓRDOVA AROCA**,  
declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y  
resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio  
intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la  
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**”*

---

CHRISTIAN PAÚL CÓRDOVA AROCA

## INDICE DE ABREVIATURAS

A : Área

L: Largo

Hu: Altura de la unidad

v: Velocidad de flujo

Q: Caudal

Lc: Longitud del Canal

T: Tiempo de retención

Lf: Longitud del floculador

Lft: Longitud total del floculador

a: Ancho de los canales de floculador

Nc: Número de canales

e: Espesor de las laminas

Lft: Longitud del floculador total

P: Perímetro Mojado

Ac: Área de los canales de floculación

l: Largo del canal

r: Radio medio Hidráulico

hf: Pérdida de carga continua en los canales

n: Coeficiente de Manning

K: Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas: 3

g: Aceleración de la gravedad:  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

H: Pérdida continua por vueltas

G: Gradiente de velocidad

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

Cs: Carga Superficial de Sedimentación

As: Área de Sedimentación

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo entre placas

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa:  $60^\circ$  respecto a la horizontal.

Lr: Longitud relativa del sedimentador

lr: Longitud recorrida a través del elemento placa

dp: Ancho del conducto o espaciamiento entre placas

Re: Número de Reynolds

$\nu$ : Viscosidad Cinemática

$L^*$ : Longitud de Transición

$L_{cr}$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición

$v_{sc}$ : Velocidad de sedimentación crítica

Sc: Parámetro característico

trp: Tiempo de retención en las placas

ts: Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

Hs: Altura total del sedimentador

Vd: Volumen del sedimentador

$a_s$ : Ancho del sedimentador

Ls: Longitud del sedimentador

Sf: Superficie Filtrante Requerida

Tf: Tasa de filtración

Af: Área de Filtración

Af: Área de Filtración

ni: Número de filtros

nf: Determinación del número de módulos de filtración

Ai: Área de cada unidad

af: Área de Filtración

bf: Ancho de la unidad de filtración

Ltp: Longitud total de la pared

Lm: Longitud total mínima de la pared

D: Diámetro de tubería de entrada al filtro

$v_t$ : Velocidad en la tubería

Dl: Diámetro orificios laterales

Ao: Área de cada orificio

$Q_o$ = Caudal que ingresa al orificio

$v_{or}$ : Velocidad en el orificio

nl: Número de laterales por lado

el: Separación entre laterales

Ll: Longitud de cada lateral

$e_o$ : Espacio entre orificios

Ato: Área total de orificios

$v_l$ : Velocidad de lavado



$C_u$ = Coeficiente de uniformidad

$T_e$ = Tamaño efectivo de arena

$V_l$ : Cantidad de agua para el lavado

$t$ : Tiempo óptimo de lavado

$x$ : Dosificación del agente coagulante ´

$C$ = Concentración de acuerdo al test de jarras

$P$ = Porcentaje de dilución

$\rho$ = Densidad del PAC

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
SUMMARY.....	II
INTRODUCCIÓN.....	III
ANTECEDENTES.....	IV
JUSTIFICACIÓN.....	V
OBJETIVOS.....	VI

### CAPITULO I

1 Marco Teórico.....	1
1.1 Agua.....	1
1.2 Clasificación de los cuerpos de agua .....	1
1.2.1 Ríos.....	1
1.2.2 Lagos .....	2
1.2.3 Aguas Subterráneas .....	2
1.3 Impureza del agua .....	2
1.4 Calidad del agua.....	2
1.5 Agua cruda o en estado natural .....	3
1.6 Agua tratada.....	4
1.7 NORMA 1108:2006 requisitos del agua potable.....	4
1.8 Propiedades físicas.....	8
1.8.1 Turbiedad.....	8
1.8.2 Color .....	9
1.8.3 Olor y Sabor .....	10
1.8.4 Temperatura.....	10
1.8.5 Sólidos .....	10
1.9 Propiedades químicas .....	11
1.9.1 Indicadores.....	12

1.9.1.1	pH.....	12
1.9.1.2	Conductividad.....	12
1.9.1.3	Acidez .....	12
1.9.1.4	Alcalinidad.....	13
1.9.2	Sustancias Químicas .....	13
1.9.2.1	Hierro y Manganeso.....	13
1.9.2.2	Nitrógeno .....	14
1.9.2.3	Fósforo .....	14
1.9.2.4	Sulfatos .....	15
1.10	Propiedades Biológicas.....	15
1.11	Tratamiento de agua.....	16
1.11.1	Captación.....	16
1.11.2	Desarenador .....	16
1.11.3	Coagulación.....	16
1.11.3.1	Factores que influyen en la coagulación .....	17
1.11.3.2	Valor de pH óptimo para la coagulación.....	18
1.11.3.3	Mezcla.....	18
1.11.3.4	Periodos de coagulación.....	19
1.11.3.5	Agentes de Coagulación.....	19
1.11.4	Floculación .....	20
1.11.4.1	Parámetros de floculación .....	21
1.11.4.2	Tipos de Floculadores .....	21
1.11.4.3	Floculantes .....	23
1.11.4.4	Parámetros para la optimización .....	24
1.11.5	Sedimentación .....	29
1.11.5.1	Tipos de sedimentación.....	30
1.11.5.2	Parámetros para optimización .....	31

1.11.6	Filtración.....	35
1.11.6.1	Tipos de Filtros.....	37
1.11.6.2	Sistemas de filtración .....	39
1.11.6.3	Parámetros de optimización .....	42
1.11.7	Dosificación del Agente Coagulante .....	50
1.11.8	Desinfección .....	50
1.11.8.1	Dosificación de Cloro Gas .....	50
1.12	Optimización.....	52
1.12.1	Pruebas de jarras .....	53

## CAPITULO II

2	Parte Experimental.....	55
2.1	Muestro .....	55
2.1.1	Localización de la investigación.....	55
2.1.2	Recopilación de la información.....	55
2.1.3	Recolección de muestras .....	55
2.2	Metodología.....	56
2.2.1	Metodología de trabajo.....	56
2.2.2	Tratamiento de muestras.....	57
2.2.3	Equipos materiales y reactivos .....	58
2.2.4	Métodos y Técnicas .....	59
2.2.4.1	Métodos .....	59
2.3	Datos Experimentales .....	63
2.3.1	Descripción del sistema actual existente en el sector .....	63
2.3.2	Datos.....	64
2.3.2.1	Caracterización del agua .....	64
2.3.2.2	Prueba de Jarras .....	69

## CAPITULO III

3	Cálculos y Resultados .....	73
3.1	Cálculos .....	73
3.1.1	Dimensionamiento de Floculador de flujo Horizontal .....	73
3.1.1.1	Cálculo del Área en función de la Altura .....	73
3.1.1.2	Velocidad de Flujo .....	74
3.1.1.3	Longitud del canal .....	75
3.1.1.4	Longitud del Floculador .....	76
3.1.1.5	Longitud total del floculador .....	77
3.1.1.6	Perímetro mojado de las secciones del tramo .....	77
3.1.1.7	Área de canales de floculador .....	79
3.1.1.8	Radio medio hidráulico .....	80
3.1.1.9	Perdida de carga continua en los canales .....	81
3.1.1.10	Perdida de carga continua en las vueltas .....	82
3.1.1.11	Perdida de carga total en el último tramo .....	84
3.1.1.12	Gradiente de velocidad .....	84
3.1.2	Dimensionamiento de Sedimentador .....	85
3.1.2.1	Carga Superficial de Sedimentación .....	85
3.1.2.2	Velocidad promedio de flujo entre placas .....	86
3.1.2.3	Longitud relativa del sedimentador .....	87
3.1.2.4	Número de Reynolds .....	87
3.1.2.5	Longitud de transición .....	88
3.1.2.6	Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición .....	88
3.1.2.7	Velocidad de sedimentación crítica .....	88
3.1.2.8	Tiempo de retención en las placas .....	89
3.1.2.9	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación .....	90

3.1.2.10	Volumen del sedimentador.....	91
3.1.3	Dimensionamiento de Filtro .....	91
3.1.3.1	Superficie filtrante requerida .....	91
3.1.3.2	Área de filtración .....	92
3.1.3.3	Determinación del número de módulos de filtración.....	92
3.1.3.4	Determinación del área de cada unidad .....	93
3.1.3.5	Determinación del área de filtración de la unidad .....	93
3.1.3.6	Cálculo para el ancho de la unidad .....	94
3.1.3.7	Cálculo de la longitud total de pared .....	95
3.1.3.8	Cálculo de longitud total mínima de pared.....	95
3.1.3.9	Tubería de entrada al filtro.....	96
3.1.3.10	Área de cada orificio .....	96
3.1.3.11	Caudal que ingresa a cada orificio .....	97
3.1.3.12	Número de laterales.....	97
3.1.3.13	Separación entre orificios.....	98
3.1.3.14	Número total de orificios.....	99
3.1.3.15	Área total de orificios .....	99
3.1.3.16	Comprobación de cumplimiento con los parámetros (0,0015-0,005)100	
3.1.3.17	Velocidad opima de lavado .....	100
3.1.3.18	Cantidad de agua para lavado.....	101
3.1.4	Determinación del Agente Coagulante.....	101
3.1.4.1	CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DEL PAC .....	101
3.2	Resultados .....	106
3.2.1	Resultados Floculador Flujo Horizontal.....	106
3.2.2	Resultados Sedimentación .....	108
3.2.3	Resultados Filtros .....	109
3.2.4	Resultados Dosificación Agente Coagulante .....	110

3.2.5	Resultado Optimización de Agua Potable realizado con Prueba de Jarras	111
3.3	Propuesta.....	116
3.4	Presupuesto General .....	117
3.4.1	Propuesta de uso de PAC y su influencia en el consumo eléctrico .....	117
3.5	Análisis y Discusión de Datos .....	119

#### **CAPITULO IV**

4	Conclusiones y Recomendaciones.....	121
4.1	Conclusiones .....	121
4.2	Recomendaciones .....	122

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1 .....	73
Ecuación 3-2 .....	
Ecuación 3-3 .....	75
Ecuación 3-4 .....	76
Ecuación 3-5 .....	77
Ecuación 3-6 .....	78
Ecuación 3-7 .....	79
Ecuación 3-8 .....	80
Ecuación 3-9 .....	81
Ecuación 3-10 .....	83
Ecuación 3-11 .....	84
Ecuación 3-12 .....	84
Ecuación 3-13 .....	85
Ecuación 3-14 .....	86
Ecuación 3-15 .....	87
Ecuación 3-16 .....	87
Ecuación 3-17 .....	88
Ecuación 3-18 .....	88
Ecuación 3-19 .....	88
Ecuación 3-20 .....	89
Ecuación 3-21 .....	90
Ecuación 3-22 .....	91
Ecuación 3-23 .....	91
Ecuación 3-24 .....	92
Ecuación 3-25 .....	93
Ecuación 3-26 .....	93
Ecuación 3-27 .....	93
Ecuación 3-28 .....	94
Ecuación 3-29 .....	95
Ecuación 3-30 .....	95
Ecuación 3-31 .....	96



Ecuación 3-32 .....	97
Ecuación 3-33 .....	97
Ecuación 3-34 .....	98
Ecuación 3-35 .....	98
Ecuación 3-36 .....	99
Ecuación 3-37 .....	99
Ecuación 3-38 .....	100
Ecuación 3-39 .....	100
Ecuación 3-40 .....	101
Ecuación 3-41 .....	102

## **INDICE DE FIGURAS**

Ilustración 1-1 Diferentes formas de sólidos presentes en el agua.....	11
Ilustración 1-2 Escala pH .....	12
Ilustración 1-3 Tipos de Floculadores .....	22
Ilustración 1-4 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal.....	23
Ilustración 1-5 Tipos de Filtros .....	38
Ilustración 1-6 Medios de Filtración .....	39
Ilustración 1-7 Filtro rápido de arena .....	41
Ilustración 3-1 Estado Actual de Plana de Tratamiento de Agua GAD Municipal Cantón Tisaleo .....	116
Ilustración 3-2 Propuesta .....	117

## **INDICE DE GRAFICOS**

Gráfico 3-1 Comparativa Turbidez antes y después de tratamiento con PAC .....	113
Gráfico 3-2 Comparativa Color antes y después de tratamiento con PAC .....	113
Gráfico 3-3 Comparativa Dureza antes y después de tratamiento con PAC .....	114
Gráfico 3-4 Comparativa Calcio antes y después de tratamiento con PAC .....	114
Gráfico 3-5 Comparativa Sulfatos antes y después de tratamiento con PAC .....	115
Gráfico 3-6 Comparativa Fosfatos antes y después de tratamiento con PAC .....	115

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Coeficiente de Manning .....	26
Tabla 1-2 Relación Temperatura y relación peso específico y viscosidad absoluta .....	28
Tabla 1-3 Viscosidad Cinemática en función a Temperaturas .....	32
Tabla 1-4 Variables Principales de procesos de filtración .....	36
Tabla 1-5 Variables Principales de proceso de filtración .....	36
Tabla 1-6 Principales características de los filtros .....	40
Tabla 1-7 Velocidades de afluentes y efluentes dentro de tuberías.....	45
Tabla 1-8 Parámetros de laterales en filtros .....	46
Tabla 1-9 Parámetros de diseño de laterales .....	46
Tabla 1-10 Parámetros de Diseño de Filtros de Arena.....	49
Tabla 2-1 Recolección de muestras .....	56
Tabla 2-2 Parámetros de Caracterización del Agua .....	57
Tabla 2-3 Equipos, Materiales y Reactivos .....	58
Tabla 2-4 Caracterización fisicoquímico del agua Sector Captación Semana 1 .....	65
Tabla 2-5 Caracterización fisicoquímico del agua tratada Semana 1.....	65
Tabla 2-6 Caracterización fisicoquímico del agua Sector Captación Semana 2 .....	66
Tabla 2-7 Caracterización fisicoquímico del agua Sector Captación Semana 3 .....	67
Tabla 2-8 Caracterización fisicoquímico del agua Sector Captación Semana 4 .....	68
Tabla 2-9 Prueba de Jarras Turbidez 1,2 Primera Semana.....	70
Tabla 2-10 Prueba de Jarras Turbidez 1,3 Segunda Semana.....	
Tabla 2-11 Prueba de Jarras Turbidez 1,3 Tercera Semana .....	71
Tabla 2-12 Prueba de Jarras Turbidez 6,33 Cuarta Semana.....	72
Tabla 3-9 Resultados Floculador Flujo Horizontal .....	106
Tabla 3-10 Resultados Sedimentación .....	108
Tabla 3-11 Resultados Filtros.....	109
Tabla 3-12 Resultado Dosificación Agente Coagulante.....	111

## RESUMEN

La optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal Cantón Tisaleo provincia de Tungurahua con la finalidad de buscar mejoras dentro del sistema y así proporcionar agua de mejor calidad al cantón.

Se realizó la caracterización del agua en sus parámetros físico-químico y microbiológico para conocer cómo afrontar la problemática del sistema y poder formular una solución adecuada; se realizó además las pruebas para la determinación adecuada de dosificación del Policloruro de Aluminio, estos análisis y pruebas se los pudo realizar en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad Ciencias; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para determinar los parámetros requeridos.

En base a los análisis realizados y a los cálculos de ingeniería y basándonos en la Norma INEN 1108:2006, se llegó a que todos los parámetros se encuentren en los límites permisibles para agua potables logrando evidenciar la dosificación adecuada de coagulante Policloruro de Aluminio a usar siendo, esta de 161 L/día para un caudal de diseño de 14 L/s, a partir de los cálculos se determinó el gradiente de velocidad dentro de esta etapa la cual fue de  $0.240 \text{ s}^{-1}$  así como la pérdida total dentro del sistema de floculación siendo de  $1.224 \times 10^{-5} \text{ m}$ , de esta manera se dio una solución factible al principal problema dentro de la planta de tratamiento de agua potable.

Para permitir el correcto funcionamiento del sistema y mejorar la calidad de agua que se brinda a la población. Se recomienda la implantación del estudio de optimización en el Cantón Tisaleo y en otras Plantas de Tratamiento de Agua Potable.

## SUMMARY

Optimizing Treatment Plant Water Tisaleo Canton Municipal GAD did it to seek improvements in the system and thus provide better quality water to the district. The investigation was performed on physico-chemical and microbiological parameters for how to tackle the problems of the system and to formulate an appropriate solution; tests for determining the proper dosage of Polyvinyl Aluminum, these analyzes and tests could be performed in the Laboratory Technicians, School Science Review, Polytechnic School of Chimborazo is where I facilitated the use of equipment and reagents are also made determining the required parameters.

Based on the performed analysis and engineering calculations and based on the Standard INEN 1108: 2006 second revision was reached that all parameters are within the permissible limits for drinking water achieved demonstrate the proper coagulant dosage using Polyvinyl Aluminum it still is 161 L / day for a design flow rate of 14 L / s, in base of the calculus of velocity gradient within this stage which was of  $0.240s^{-1}$  and the total loss in the flocculation system being of  $1.224 \times 10^{-5}$  m, so a feasible solution to the main problem occurred within the treatment plant water. To allow proper operation of the system and improve the quality of water provided to the population of Canton Tisaleo implantation study and recommend their peers.

## **INTRODUCCIÓN**

El agua siendo el recurso más importante para la vida del ser humano deberá tener un proceso adecuado y óptimo con eficiencias altas dentro de todas las etapas del sistema para proporcionar agua de calidad que cumpla con los parámetros establecidos en normas satisfaciendo los requerimientos de la población.

La Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal Cantón Tisaleo encargada del tratamiento de los afluentes de aguas provenientes del sector de Pampas de Salazaca me permito realizar los estudios para los procesos de optimización dentro de la planta ya mencionada.

Mediante el estudio de operación actual de la planta así como con los análisis que se realizaron se evidencio las unidades, etapas y los parámetros que son problemática dentro de la planta de tratamiento de agua potable estos parámetros se los identifico y se los comparara con la Norma INEN 1108:2006 segunda revisión, conociendo que los parámetros medidos varían según estaciones donde en épocas de verano existe parámetros como sulfatos, fosfatos y dureza que se encuentran fuera de rango y en épocas invernales existe mayor problemática debido a presencia alta de valores de turbiedad y color.

Al finalizar los análisis y estudios del agua tratada se llegó a proponer soluciones eficientes y adecuadas que mejoren la calidad del agua que trata la planta y así satisfacer las demandas de los usuarios del cantón.

## **ANTECEDENTES**

El Cantón Tisaleo perteneciente a la Provincia de Tungurahua se encuentra en una ubicación geográfica delimitada por: al Norte de la intersección del curso de la Quebrada Terremoto, al Sur del curso de la Carretera Panamericana con el camino que une las Haciendas San Augusto y El Porvenir con la Cabecera Cantonal Mocha, al Este del curso de la Quebrada Morejón con el camino denominado “del Rey” finalmente se comunica al Oeste por la cumbre Nor-Oriente del Nevado Carihuirazo, el ramal orográfico conocido como el Filoque pasa por el cerro Pacacochas y sitio Pampa de Patococha. El cantón cuenta con una extensión de 60 Km<sup>2</sup> y una densidad poblacional aproximadamente de 10831 habitantes

Los encargados de la potabilización y abastecimiento de agua a todo el Cantón es el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Del Cantón Tisaleo representado por el Ing. Rodrigo Garcés, Alcalde del mismo, siendo los encargados de proporcionar a la población servicios básicos de agua potable y alcantarillado de manera eficaz y responsable, de esta manera garantizando el bienestar de toda la comunidad, mejorando su calidad y estándares de vida.

La Planta de Tratamiento de Agua del Cantón Tisaleo se abastece del líquido vital del Sector Pampas de Salazaca específicamente del deshielo del Nevado Carihuirazo recorriendo todo el recorrido por medio de tuberías PVC, llegando así hasta la planta de tratamiento de aguas ubicadas en el sector El Calbario

El estudio para la construcción de la Planta de Tratamiento de Agua del Cantón Tisaleo lo realizó el Ing. Alfonso Buchelli Ponce en el año de 1992 inmediatamente se realizaron los estudios de campo y se procedió a la construcción del mismo; obra designada al Ing. Juan Jerez ingeniero encargado de la obra principal, los ramales secundarios de la obra se realizó bajo las ordenes del Ing. Rubén Miranda con la colaboración del Ing. Milton Acurio.

El sistema de Tratamiento de Agua del Cantón Tisaleo consta básicamente de dos etapas; la primera es la etapa de captación del agua donde se realiza un tratamiento previo al agua, consta de una etapa donde se encuentra un desarenador con dos tanques de 5m de profundidad donde se eliminara materia orgánica de gran tamaño, la siguiente etapa es la de los pre filtros donde llega el agua y se la trata en tres distintos tanques donde el primero

posee piedra gruesa, se la hace pasar a un segundo tanque donde se encuentra ripio grueso para pasar finalmente a un tercer tanque donde se encuentra ripio fino.

Después de esta primera etapa de tratamiento el agua es llevada a la Planta de Tratamiento de Agua pasando por sedimentadores, filtros y finalmente llevada a la etapa de cloración por medio de cloro gas. Terminando esta etapa el agua se la lleva a tanques de almacenamiento y posteriormente a la distribución al cantón.

## **JUSTIFICACIÓN**

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida. A pesar de que existe en el planeta, 1,41 mil millones de km<sup>3</sup> de agua, sólo el 2% es agua dulce, la mayor parte de la cual alrededor del 87%, se encuentra en capas de hielo, glaciares y aguas subterráneas, y un 13% es decir unos 2000 km<sup>3</sup> es la cantidad de agua disponible para el consumo, que se encuentra en ríos, lagos y otros cuerpos de agua dulce.

El Ecuador tiene una alta densidad de ríos en su territorio, se estima un total de 100 mil kilómetros de ríos en toda su superficie distribuidos en sus cuatro regiones naturales, en la zona Sierra provincia de Tungurahua Cantón Tisaleo existe una planta de tratamiento de agua potable en el Sector el Calvario donde se llevan a cabo procesos físico-químicos para transformar determinada cantidad de agua cruda en agua tratada que sea apta para el consumo humano, pero esto no sucede así porque el agua ya tratada posee un grado considerable de contaminación que obliga a la empresa a ir más allá de la simple remoción de partículas, lo que implica mayores costos.

De lo anterior surge la necesidad de desarrollar una metodología para lograr una optimización a partir de las condiciones reales y basada en los límites socio-económicos, de tal forma que no sea indispensable el uso de nuevas tecnologías las cuales comúnmente van acompañadas de grandes inversiones de dinero, sino generando una forma de aprovechamiento de los procesos convencionales que son empleados actualmente para el tratamiento de agua potable.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

- Optimizar la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Cantón Tisaleo.

### **ESPECIFICOS:**

- Monitorear la fuente de abastecimiento y líneas de distribución de agua potable para el cantón.
- Caracterizar el estado actual de agua que se consume en este cantón, mediante un proceso físico-químico y microbiológico.
- Identificar los parámetros que se hallan fuera de la norma INEN correspondiente.
- Plantear alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta sustentado en el estudio técnico y económico.
- Validar el sistema de tratamiento propuesto.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 Agua

El agua es una sustancia de capital importancia para la vida con excepcionales propiedades consecuencia de su composición y estructura. Es una molécula sencilla formada por tres pequeños átomos, uno de oxígeno y dos de hidrógeno, con enlaces polares que permiten establecer puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes.

El agua es un buen disolvente de los compuestos iónicos. Esto es debido a que el agua es una sustancia polar. Las moléculas de agua se disponen alrededor de los iones positivos con la parte negativa de su molécula hacia ellos y en el caso de los iones negativos les enfrentan la parte positiva. También son solubles en agua las sustancias polares, por ejemplo: los glúcidos; normalmente, estas sustancias tienen una elevada proporción de oxígeno.

Entre sus propiedades tenemos:

- A temperatura ordinaria es un líquido insípido, inodoro e incoloro.
- El agua puede encontrarse en la naturaleza e tres estados, sólido, líquido y vapor, pudiendo existir en un momento dado en equilibrio entre sus tres formas.
- A condiciones normales de presión y temperatura el punto de congelación de agua es de 0°C y su punto de ebullición de 100°C.
- La estructura molecular del agua es un dipolo; su constante dieléctrica es muy alta, por lo que tiene la propiedad de disolver cualquier sustancia aunque sea en cantidades extremadamente pequeñas.

### 1.2 Clasificación de los cuerpos de agua

#### 1.2.1 Ríos

Referidos también a corrientes se caracterizan ya que fluyen unidireccionalmente entre velocidades relativas de entre 0,1 a 1 m/s, siendo este flujo variable dependiendo de las características climáticas así como del área de drenaje.

### **1.2.2 Lagos**

Presentan velocidades promedio relativamente bajas entre 0,001 y 0,01 m/s permaneciendo el sistema así hasta varios años, teniendo en cuenta la calidad del agua es dada por el estado trópico como los periodos de estratificación del sistema.

### **1.2.3 Aguas Subterráneas**

Su sistema de flujo es considerado relativamente estable tanto en dirección como velocidad, su velocidad promedio varía entre  $10^{-10}$  y  $10^{-3}$  m/s su flujo así como la calidad del agua se ven modificadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato.

## **1.3 Impureza del agua**

El agua en su forma molecular pura no existe en la naturaleza, por cuanto contiene sustancias que pueden estar en suspensión o en solución verdadera según el tamaño de disgregación del material que acarrea.

Por otra parte, de acuerdo con el tipo de impurezas presentes, el agua puede aparecer como turbia o coloreada, o ambas.

La turbiedad, que no es más que la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso, puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, a algas o a crecimientos bacterianos.

El color está constituido por sustancias químicas, la mayoría de las veces provenientes de la degradación de la materia orgánica, tales como hojas y plantas acuáticas con las cuales entra en contacto. El conocimiento de la naturaleza y característica de estos contaminantes es básico para poder entender los procesos de remoción que describiremos luego.

## **1.4 Calidad del agua**

“La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: i) una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y ii) la concentración y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad de agua presenta variaciones específicas y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua.”<sup>1</sup>

Con referencia a la contaminación del agua se puede mencionar que la contaminación de un sistema acuático es la introducción de manera directa o indirecta de materiales o sustancias que den como resultado daños de organismos vivos, efectos perjudiciales sobre la salud de humano así como interferir en actividades económicas como es la agricultura.

### **1.5 Agua cruda o en estado natural**

Las aguas crudas o en estado natural se refieren a aguas que se encuentran en el ambiente y sin ningún tratamiento de modificación de su estado natural. Las fuentes naturales de abastecimiento de agua dan una idea de la calidad del agua que se va a tratar; siendo más representativa para la calidad de agua la posición geográfica de las fuentes de captación así como el origen de las mismas pudiendo ser ríos, aguas subterráneas, lagos, etc, y finalmente los hábitos de los pobladores.

Con respecto a fuentes superficiales podemos decir que poseen gran variabilidad de una cuenca de río a otra debido al arrastre de sedimentos ocasionados por la erosión, otro factor que afecta directamente a la calidad del agua es el arrastre de minerales y la posibilidad de tener aguas ácidas; finalmente uno de los factores más perjudiciales para la calidad del agua es la actividad humana específicamente las distintas industrias por descarga de residuos, uso de plaguicidas, insecticidas, desechos domésticos, etc van destruyendo la calidad de agua de ríos o fuentes superficiales.

En cuanto a las aguas subterráneas estas presentan una homogeneidad en su composición, generalmente son aguas claras debido a que no existe mayor contaminación en las mismas y a la filtración en las capas subterráneas, su característica negativa es que son aguas muy mineralizadas ya que poseen un poder disolvente de los estratos de suelos presentando en su composición hierro, magnesio, manganeso y calcio como sus principales componentes.

---

<sup>1</sup> Sierra, C. Calidad del agua evaluación y diagnóstico, 1º Edición, Medellín-Colombia, 2011, pag.47

## 1.6 Agua tratada

“Se entiende por agua tratada aquella a la cual se le han variado o cambiado sus características físicas, químicas y biológicas con el propósito de utilizarla en algún uso benéfico. La calidad del agua tratada depende del uso que se le vaya a asignar o a dar. Por ejemplo, la calidad del agua para consumo humano o la utilizable para riego tienen una calidad diferente a la calidad del agua requerida por un determinado sector industrial.”<sup>2</sup>

## 1.7 NORMA 1108:2006 Requisitos del agua potable

El Agua Potable debe de cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
pH	---	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
<i>Inorgánicos</i>		
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Sulfatos, SO <sub>4</sub>	mg/l	200
Cloruros, Cl	mg/l	250
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/l	300
Arsénico, As	mg/l	0,01
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cromo, Cr	mg/l	0,05
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cianuros, CN	mg/l	0,07
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Selenio, Se	mg/l	0,01
Cloro libre residual	mg/l	0,3 – 1,5 <sup>1)</sup>
Aluminio	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH <sub>3</sub> )	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Bario, Ba	mg/l	0,7

<sup>2</sup> Sierra, C. Calidad del agua evaluación y diagnóstico, 1º Edición, Medellín-Colombia, 2011, pag.52

Boro, B	mg/l	0,5
Cobalto, Co	mg/l	0,20
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/l	0,1
Litio, Li	mg/l	0,2
Molibdeno, Mo	mg/l	0,07
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Plata, Ag	µg/l	0,13
Potasio, K	mg/l	20
Sodio, Na	mg/l	200
Vanadio, V	µg/l	6
Zinc, Zn	mg/l	3
Flúor, F	mg/l	1,5
Radiación total α*	Bg/l	0,1
Radiación total β**	Bg/l	1,0

<sup>1)</sup> 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 radionucleidos: <sup>210</sup>Po, <sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>234</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>239</sup>Pu.

\*\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>60</sup>Co, <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>129</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>228</sup>Ra.

#### Sustancias Orgánicas

Parámetros	UNIDAD	Límite máximo permitido
Alcanos clorinados		
tetracloruro de carbono		2
Diclorometano	µg/l	20
1,2 dicloetano		30
1,1,1 – tricloetano		2 000
Etanos clorinados		
Cloruro de vinilo		5
1,1 dicloroetano	µg/l	30
1,2 dicloroetano		50
tricloroetano		70
Tetracloroetano		40
Hidrocarburos Aromáticos		
Benceno		10
Tolueno	µg/l	170
Xileno		500
Etilbenceno		200
Estireno		20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	µg/l	0.3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)		
benzo (a)pireno		0,01

benzo (a)fluoranteno	µg/l	0,03
benzo (k)Fluoranteno		0,03
benzo (ghi)pirileno		0,03
indeno (1,2,3-cd)pireno		0,03
Bencenos clorinados		
monoclorobenceno		300
1,2-diclorobenceno	µg/l	1 000
1,3-diclorobenceno		
1,4-diclorobenceno		300
triclorobenceno (total)		20
di(2-etilhexil)adipato	µg/l	80
di(2-etilhexil) ftalato	µg/l	8
acrylamida	µg/l	0,5
epiclorohidrin	µg/l	0,4
Hexaclorobutadieno	µg/l	0,6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA	µg/l	200
Ácido nitrotriacético	µg/l	200
Dialquil	µg/l	
Oxido tributiltin	µg/l	2

#### Pesticidas

Parámetros	UNIDAD	Límite máximo permitido
Alaclor	µg/l	20
Aldicarb	µg/l	10
Aldrin/dieldrin	µg/l	0,03
Atrazina	µg/l	2
Bentazona	µg/l	30
Carbofuran	µg/l	5
Clordano	µg/l	0,2
Clorotoluron	µg/l	30
Diclorodifeniltricloroetano DDT	µg/l	2
1,2-dibromo-3-cloropropano	µg/l	1
2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D	µg/l	30
1,2- dicloropropano	µg/l	20
1,3-dicloropropeno	µg/l	20
Heptacloro y heptacloro epoxi de etilendibromide	µg/l	0,03
Hexaclorobenceno	µg/l	1
Isoproturon	µg/l	9
Lindano	µg/l	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	µg/l	2
Metoxyclo	µg/l	10
Molinato	µg/l	6
Pendimetalin	µg/l	20
Pentaclorofenol	µg/l	9
Permetrin	µg/l	20

Propanil	µg/l	20
Piridato	µg/l	100
Simazina	µg/l	2
Trifluralin	µg/l	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPa 2,4-DB	µg/l	90
Dicloroprop	µg/l	100
Fenoprop	µg/l	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	µg/l	2
Mecoprop	µg/l	10
2,4,5-T	µg/l	9

#### Residuos de Desinfección

Parámetros	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina, di y tricloramina	µg/l	3
Cloro	µg/l	5

#### Subproductos de Desinfección

Parámetros	UNIDAD	Límite máximo permitido
Bromato	µg/l	25
Clorito	µg/l	200
Clorofenoles 2,4,6-triclorofenol	µg/l	200
Formaldehído	µg/l	900
Trihalometanos Bromoformo diclorometano bromodichlorometano cloroformo	µg/l	100 100 60 200
Ácidos acéticos clorinados ácido dicloroacético ácido tricloroacético	µg/l	50 100
Hidrato clorado Tricloroacetaldeido	µg/l	10
Acetonitrilos Halogenados Dicloroacetonitrilo Dibromoacetonitrilo Tricloroacetonitrilo	µg/l	90 100 1
Cianógeno clorado (como CN)	µg/l	70



## Requisitos Microbiológicos

Parámetros	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2*
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2*
Criptosporidium número de quistes//100 litros	Ausencia
GiardiaLambliia 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.	

### 1.8 Propiedades físicas

Las propiedades físicas del agua se atribuyen principalmente a los enlaces por puente de hidrógeno, los cuales se presentan en mayor número en el agua sólida, en la red cristalina cada átomo de la molécula de agua está rodeado tetraédricamente por cuatro átomos de hidrógeno de otras tantas moléculas de agua y así sucesivamente es como se conforma su estructura. Cuando el agua sólida (hielo) se funde la estructura tetraédrica se destruye y la densidad del agua líquida es mayor que la del agua sólida debido a que sus moléculas quedan más cerca entre sí, pero sigue habiendo enlaces por puente de hidrógeno entre las moléculas del agua líquida. Cuando se calienta agua sólida, que se encuentra por debajo de la temperatura de fusión, a medida que se incrementa la temperatura por encima de la temperatura de fusión se debilita el enlace por puente de hidrógeno y la densidad aumenta más hasta llegar a un valor máximo a la temperatura de 3.98°C y una presión de una atmósfera. A temperaturas mayores de 3.98 °C la densidad del agua líquida disminuye con el aumento de la temperatura de la misma manera que ocurre con los otros líquidos. Las propiedades físicas tendrán una incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua.

#### 1.8.1 Turbiedad

La capacidad del material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de luz, la turbiedad puede ocasionarse por dos factores los cuales son: la erosión natural de las cuencas por donde pasan las aguas principalmente aguas superficiales y la otra es la contaminación causada por la actividad del hombre tanto por parte industrial como por desechos domésticos.

La presencia de este factor en el proceso de tratamiento de aguas es sumamente importante ya que una agua con turbiedad ocasiona rechazo así como procesos industriales que necesitan aguas exentas de turbiedad; además la turbiedad en la selección de un proceso óptimo del tratamiento de aguas es de gran importancia ya que los distintos procesos como la coagulación, sedimentación y filtración se diseñan y operan en base a valores de la turbiedad.

En procesos tales como la filtración o cloración del agua se tendrá en cuenta la incidencia de turbiedad ya que a mayor turbiedad más difícil y costosa se vuelve la filtración ya que al pasar el agua con turbiedad por los filtros esta puede taponar y dañar los filtros, mientras que con la cloración se tomara en cuenta que los microorganismos se ocultan entre las partículas suspendidas dando como resultado mayor desinfección para bajar los niveles de turbiedad.

Actualmente la turbiedad se mide en turbidímetros instrumentos de laboratorio basados en principios nefelométricos usando una sustancia patrón que es una mezcla de sulfato de hidrazina y hexametiltetramina, dando como resultado de la medición unidades de turbiedad UNT.

### ***1.8.2 Color***

El color se genera debido a la presencia de sustancias disueltas y por coloides, a pesar de que está relacionado con la turbiedad el color tiene características independientes mientras que la turbiedad tiene relación con las partículas en suspensión que se encuentran en ella. Generalmente el color tiene un origen natural por la disolución de sustancias naturales como material vegetal u hongos dentro del agua o por el arrastre de minerales como hierro y manganeso en el subsuelo; también tenemos un origen industrial por las descargas industriales a las fuentes naturales de agua.

El color se clasifica en dos tipos el color aparente que hace referencia al material suspendido y el color verdadero que es aquel que continua después de de eliminar la turbiedad. Dentro del tratamiento de aguas la eliminación del color se basa más en la parte estética ya que la presencia del mismo ocasiona rechazo mientras que no existen problemas en la parte sanitaria tomando en cuenta de que se trate aguas de origen natural y no industriales.

### 1.8.3 Olor y Sabor

Se da por la presencia de sustancias indeseables lo que da como resultado el rechazo del consumidor, tienen distintos orígenes como la presencia de material orgánico, la descomposición de materia por acción de bacterias y algas o por la actividad industrial. No existe instrumentación para determinar olores y sabores sino que se reporta con la presencia o ausencia de los mismos.

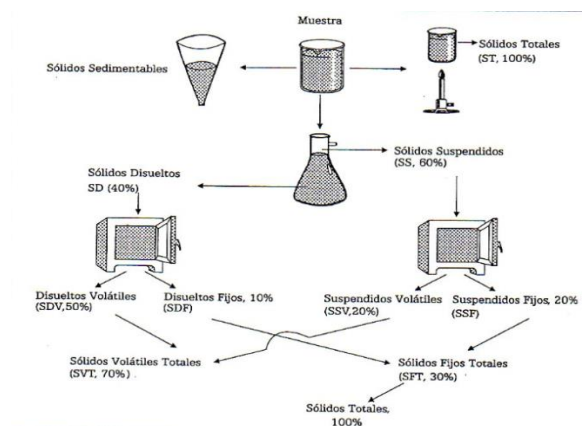
### 1.8.4 Temperatura

La temperatura es un factor físico muy importante ya que a base de datos de temperatura se hace un diseño del proceso de tratamiento de agua específicamente la coagulación o la sedimentación, además la temperatura del agua puede afectar la viscosidad así como las velocidades de reacción.

### 1.8.5 Sólidos

Para determinar la calidad del agua se debe tener en cuenta la presencia de sólidos que se encuentra en el agua, se tiene varios tipos de sólidos entre los cuales podremos encontrar sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, etc.

El primer tipo de sólidos que encontramos en el agua son los sólidos totales (ST), se los puede definir como todo material presente a excepción del agua en si después de hacerla evaporar a 105°C, además podemos mencionar que los sólidos totales se pueden dividir en sólidos suspendidos y sólidos disueltos la mayor cantidad de sólidos son disueltos los que forman grasas y sales.



## **Ilustración 1-1 Diferentes formas de sólidos presentes en el agua**

Fuente: Colon, J. Agua su calidad y tratamiento, 2º Edición, México

### **1.9 Propiedades químicas**

- Reacciona con los óxidos ácidos
- Reacciona con los óxidos básicos
- Reacciona con los metales
- Reacciona con los no metales
- Se une en las sales formando hidratos
- Los anhídridos u óxidos ácidos reaccionan con el agua y forman ácidos oxácidos.
- Los óxidos de los metales u óxidos básicos reaccionan con el agua para formar hidróxidos. Muchos óxidos no se disuelven en el agua, pero los óxidos de los metales activos se combinan con gran facilidad.
- Algunos metales descomponen el agua en frío y otros lo hacían a temperatura elevada.
- El agua reacciona con los no metales, sobre todo con los halógenos, por ejemplo Haciendo pasar carbón al rojo sobre el agua se descompone y se forma una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno (gas de agua).
- El agua forma combinaciones complejas con algunas sales, denominándose hidratos.

En algunos casos los hidratos pierden agua de cristalización cambiando de aspecto, y se dice que son eflorescentes, como le sucede al sulfato cúprico, que cuando está hidratado es de color azul, pero por pérdida de agua se transforma en sulfato cúprico anhidro de color blanco.

Los parámetros químicos del agua se dividen en dos clases:

- a) Indicadores
- b) Sustancias Químicas

### **1.9.1 Indicadores**

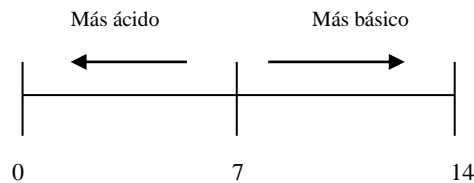
Se los define como las concentraciones de ciertos parámetros en el agua debido a la presencia e interacción de moléculas.

#### **1.9.1.1 pH**

Expresa la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua definido como:

$$pH = -\log[H^+]$$

El pH se encuentra en una escala de 0-14 representado así:



**Ilustración 1-2 Escala pH**

Generalmente el pH dentro de laboratorios y análisis de campo para determinar la calidad del agua se medirá en base a un instrumento el pHchímetro.

#### **1.9.1.2 Conductividad**

Es un indicador de sales disueltas en el agua, mide la cantidad de iones siendo una medida indirecta de los sólidos disueltos dando resultados expresados en sus unidades las cuales son micromhos/cm o Siemens/cm; al medir iones específicamente iones de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos se llega a la conclusión que aguas con elevados resultados de conductividad se las consideran muy corrosivas.

#### **1.9.1.3 Acidez**

Aguas con un pH inferior a 8,5 son consideradas aguas acidas, este efecto de las aguas naturales se ocasiona por la presencia de CO<sub>2</sub> o presencia de ácidos fuertes tales como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> o HCl; el CO<sub>2</sub> puede ingresar a la composición del agua por la absorción atmosférica o la descomposición biológica de material orgánico.

Las aguas que presentan en su composición rastros de ácidos fuertes son conocidas como aguas minerales y son ocasionadas principalmente por la actividad industrial o debido a que estas aguas pasan por zonas mineras donde son contaminadas.

En cuanto a los efectos sobre la salud la acidez en el agua si es natural con presencia de CO<sub>2</sub> no tiene efecto negativo sobre la salud, mientras que la acidez mineral presenta un sabor desagradable para el consumidor y además es conocido que son aguas altamente corrosivas.

Las aguas acidas se determinan en el laboratorio por medio de análisis químicos de titulación mediante métodos de fenolnaftaleina expresando su concentración en mg/L

#### ***1.9.1.4 Alcalinidad***

Se entiende por alcalinidad la capacidad de neutralizar ácidos, es la presencia de sustancias básicas como sales débiles o bases en el agua, la alcalinidad también se la conoce como alcalinidad al bicarbonato o carbonato según su caso.

### ***1.9.2 Sustancias Químicas***

#### ***1.9.2.1 Hierro y Manganeseo***

Compuestos que se estudian conjuntamente puesto que en la naturaleza siempre se los encuentra juntos especialmente en aguas subterráneas donde se los encuentra en altas concentraciones, la aparición de estos compuestos se debe principalmente al poder disolvente del CO<sub>2</sub> en los estratos del suelo reduciendo compuestos férricos en hierro soluble.

La importancia de estos compuestos en un proceso de tratamiento de agua radica en su acción corrosiva en tuberías y aparatos mecánicos, además son compuestos que manchan

la ropa y aparatos sanitarios mas no tienen efectos nocivos en la salud. Se consideran que concentraciones mayores a 0,3 mg/L de Fe total y de 0,1mg/L de Mn son problemáticas en la calidad de agua.

### **1.9.2.2 Nitrógeno**

La presencia de Nitrógeno así como de Fosforo en el agua es un indicador de la presencia y crecimiento de plantas y protistas ya que son fuente de nutrientes o bioestimuladores es decir sirven para la síntesis de proteínas, por lo que es muy importante conocer su concentración tanto en aguas potables así como aguas residuales; se determinara el nitrógeno total conformado por nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos.

El nitrógeno amoniacal se encuentra en solución acuosa en forma de ion amonio y en función al pH, en ambientes acuosos en presencias altas de este compuesto nos determina la presencia de contaminación orgánica ocasionada por la descomposición de materia orgánica en condiciones anóxicas en las fuentes de abastecimiento o por arrastre durante su recorrido.

Los nitritos es relativamente inestable ya que fácilmente se oxidan a nitratos normalmente sus concentraciones no exceden 0,1 mg/L en aguas subterráneas y superficiales, su importancia radica en la toxicidad que tienen los nitritos en la fauna acuática a pesar de sus bajas concentraciones en aguas.

Los nitratos es la forma más oxidada del nitrógeno que se encuentra en el agua este compuesto nitrogenado se forma por la descomposición de sustancias orgánicas siendo estas principalmente proteínas, es de importancia en plantas de tratamiento de agua ya que a concentraciones mayores a 10mg/L produce en niños la enfermedad metahemoglobinemia.

### **1.9.2.3 Fósforo**

Al igual que el nitrógeno el fósforo es de importancia en el crecimiento de algas y otros organismos biológicos, el fosforo en el agua se presenta comúnmente como: ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos.

Los ortofosfatos como  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  son la forma más importante de fósforo ya que están disueltos en el agua y son más fácilmente asimilados por las plantas, a los ortofosfatos se los llama simplemente fósforo aprovechable o disponible a este tipo de compuestos en el agua se lo encuentra en bajas concentraciones ya que generalmente las plantas son las encargadas de absorberlo esto en aguas superficiales y subterráneas mientras que en aguas marinas este rango aumenta en muy poca cantidad.

#### **1.9.2.4 Sulfatos**

“Los sulfatos, al mezclarse con iones de calcio y magnesio en aguas de consumo humano, producen un efecto laxante. En aguas residuales al entrar en contacto con el concreto inducen la formación de cristales de sulfato aluminato que originan una expansión del material que destruye su textura.

Bajo la acción bacteriana anaerobias los reduce hasta la formación de sulfuros, que luego en condiciones aeróbicas favorecen la formación de ácido sulfúrico, con los problemas de olor y corrosión asociados a estos compuestos.”<sup>3</sup>

### **1.10 Propiedades Biológicas**

Las aguas crudas presentan una actividad microbiana alta dando como resultado la presencia de gran variedad de microorganismos pudiendo ser estos patógenos o no patógenos, conociendo que los microorganismos patógenos son los organismos que causan enfermedades a los seres vivos mientras que los no patógenos son lo contrario.

Los microorganismos más comunes que se encuentran en el agua son: bacterias, virus, algas, hongos y algunos protozoos; como se puede conocer son muchos los organismos que se encuentran en el agua por lo que el parámetro que mida la calidad bacteriológica es muy difícil de determinar, por este motivo para conocer la presencia de un organismo patógeno en el agua se usa como indicador de su presencia un grupo mas no un microorganismo en especial ya que esto dificultaría la determinación de la carga microbiana en el agua.

---

<sup>3</sup>Sierra, C. Calidad del agua evaluación y diagnóstico, 1º Edición, Medellín-Colombia, 2011, pag.86



El indicador de la calidad microbiana es el grupo coliforme siendo este todas las bacterias aeróbicas y anaeróbicas, Gram negativas, no formadoras de esporas y de forma redonda que fermenta la lactosa formando gas en 48 horas y a 35 °C.

#### Coliformes Totales

La presencia de este indicador en el agua da a conocer que el agua ha sido contaminada por materia orgánica de origen fecal siendo humana o animal.

#### Coliformes Fecales

Siendo un indicador indirecto los Coliformes fecales dan a conocer el riesgo de contaminación por bacterias de carácter patógeno, los Coliformes fecales estarán presentes en las heces de animales y del ser humano.

### **1.11 Tratamiento de agua**

#### ***1.11.1 Captación***

El agua para potabilizar puede obtenerse de fuentes superficiales o fuentes subterráneas. Se capta el agua, en ella se encuentra un sistema de rejas y compuertas que retienen los materiales de gran tamaño para evitar que entren al acueducto o canal abierto que conduce el agua hacia el establecimiento potabilizador. En todos los casos el agua es bombeada desde la fuente captación hacia la planta de potabilización.

#### ***1.11.2 Desarenador***

Los desarenadores son estructuras hidráulicas que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Se utilizan en tomas para acueductos, en centrales hidroeléctricas (pequeñas), plantas de tratamiento y en sistemas industriales.

#### ***1.11.3 Coagulación***

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los

coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada.

#### ***1.11.3.1 Factores que influyen en la coagulación***

Para aguas turbias y coloreadas influyen varios factores entre los cuales podemos nombrar

- Tipo de coagulante
- Cantidad de coagulante
- Cantidad y carácter del color y turbiedad
- Caracteres químicos del agua
- Concentración de iones de hidrogeno del agua
- Tiempo de mezcla y de floculación
- Temperatura del agua
- Fuerza de agitación
- Presencia de núcleos

La determinación de la dosificación correcta de coagulante para el trato de la turbiedad del agua crudase la determina mediante ensayos pero puede rondar la concentración entre 2 p.p.m a 100 p.p.m; los valores de concentraciones de los coagulantes también son afectados directamente por los tiempos de mezcla así como la temperatura en la que se encuentre el agua.

“Es sabido, por ejemplo, que el empleo de la cantidad mínima de coagulante que probo ser eficaz para producir una buena floculación en el agua dada, requerirá generalmente un periodo de mezcla bastante largo, que puede variar de quince a treinta minutos en verano y de treinta a sesenta en los meses más fríos, a medida que las temperaturas del agua se

aproximan a su punto de congelación. También se sabe que la adición de coagulantes en demasía del mínimo determinado apresura la floculación y aumenta la eficiencia bactericida. Por lo tanto, a veces se emplea un exceso de coagulante para reducir la cantidad de cloro requerido para la desinfección. Sin embargo, donde no existe el peligro del sabor indeseable de cloro, es generalmente más económico usar la cantidad mínima de coagulante y atenerse al cloro para hacer el agua bacteriológicamente segura.<sup>4</sup>

### ***1.11.3.2 Valor de pH óptimo para la coagulación***

Existe una zona de pH donde se produce una buena floculación en plazos cortos de tiempo con dosis adecuadas de coagulantes o en un tiempo determinado con dosis mínimas de coagulantes; la coagulación deberá efectuarse dentro de la zona óptima, para aguas que poseen escaso color esto no es difícil. Sin embargo con aguas de gran contenido de materia orgánica se requerirá de mayor atención para las zonas óptimas llegando a la conclusión de Theriault y Clark los cuales dijeron "Cuanto más diluida este el agua en contenido total de sales y menos alumbre esté añadido, tanto más estrecha es la zona de pH dentro de la cual pueda lograrse lo formación óptima de flóculos".<sup>5</sup>

### ***1.11.3.3 Mezcla***

La mezcla es la fase de la coagulación donde el coagulante se disipa en el agua, generalmente por agitación rápida dando como secuela la aparición de partículas subvisuales en suspensión.

En esta eta se producen tres reacciones químicas:

- La primera detallada por Miller es la neutralización de las cargas negativas de las impurezas con el ión coagulante trivalente.
- La segunda es la reacción del coagulante con la alcalinidad del agua y la formación de flóculos de óxido hidratado coloidal con carga positiva, los cuales son atraídos por las impurezas coloidales de carga negativa.

---

<sup>4</sup> Colon, J. Agua su calidad y tratamiento, 2º Edición, México, pag.145

<sup>5</sup> Colon, J. Agua su calidad y tratamiento, 2º Edición, México, pag.147

- Finalmente la tercera reacción que se produce es la adsorción superficial de impurezas por los floculos que resultan de cualquiera de las dos primeras reacciones.

Los tiempos que se necesitan para la culminación de las tres reacciones se determina por la concentración de coagulante que se emplea, si se utiliza grandes concentraciones de coagulantes se tendrá tiempos cortos de reacción ya que los iones reactivos están cerca uno del otro teniendo como resultado una movilidad relativamente corta. Sin embargo en plantas de tratamiento de aguas donde existe gran dilución los tiempos de reacción en teoría son relativamente altos por lo que para acelerar este proceso se necesitara tanques de mezcla.

#### ***1.11.3.4 Periodos de coagulación***

El período de coagulación también conocido como período de mezcla es el tiempo requerido para la mezcla y el tiempo necesario para la floculación más precisamente se define como "el lapso que transcurre entre la adicción del coagulante al agua y el final de la agitación del agua a una velocidad que impida el asentamiento de las materias floculadas".

6

#### ***1.11.3.5 Agentes de Coagulación***

Entre los componentes más importantes para el proceso de coagulación se encuentran los sulfatos o cloruros de aluminio o de hierro; con respecto a los sulfatos el sulfato de aluminio es el más recurrente en la plantas de tratamiento de aguas pero en la actualidad existe un gran incremento de sulfatos férricos y ferrosos (caparrosa), mientras que el cloruro férrico no es utilizado en procesos de purificación de aguas debido a su uso en tratamientos de aguas negras.

De manera más específica hablando con respecto al sulfato de aluminio no presenta una composición exacta presenta un pequeño exceso de alúmina y menos agua de cristalización de lo que indica su fórmula  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ .

EL sulfato ferroso (caparrosa)

---

<sup>6</sup> Colon, J. Agua su calidad y tratamiento, 2º Edición, México, pag.149

Su composición es aproximadamente 100% de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  compuesto cristalizado muy soluble en agua, las posibles impurezas que se puedan encontrar en este compuesto no son relevantes en el proceso de purificación debido a que como la caparrosa es un compuesto cristalizado cualquier impureza queda eliminada durante el proceso.

El sulfato férrico  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

Conocido también como caparrosa clorada se lo obtiene por la oxidación del sulfato ferroso con cloro para formar soluciones de sulfato férrico y cloruro férrico, se presenta en forma anhidra y en forma cristalina.

El cloruro férrico  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Es un producto muy corrosivo en su forma líquida las cuales deben ser tratadas de manera segura con la equipo correcto, mientras que su forma de cristal son almacenados en tanques herméticos.

Aluminato de sodio  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$

Se obtiene al disolver alúmina en hidróxido de sodio en exceso para asegurar una estabilidad del compuesto, generalmente se lo utiliza para tratamiento de aguas en calderas.

Alumbre de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$

Usado principalmente para purificación de agua en piscinas de natación, fabricas de hielo mientras que en una planta de tratamiento de agua no es muy utilizada debido a su tendencia a tapar recipientes de solución.

#### ***1.11.4 Floculación***

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

Podemos definir a la floculación además como la aglomeración de partículas coagulantes en partículas floculantes, la floculación y por ende la colisión entre partículas para formar

los flóculos se ve influenciada por fuerzas químicas y físicas como son la carga eléctrica de las partículas, el tamaño de las partículas en suspensión, la concentración del floc, la temperatura del agua, pH; para partículas pequeñas se da un transporte entre partículas lo cual facilita la floculación pericinética, mientras que para partículas de mayor tamaño se tendrá menor participación de las velocidades por lo que se necesitara fuerzas externas que agiliten la etapa de floculación.

Sucedan que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo que suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados.

#### ***1.11.4.1 Parámetros de floculación***

Los parámetros que se caracterizan la floculación son los siguientes:

- Floculación Ortocinética Caracterizada por el grado de agitación ya sea para floculadores mecánicos o hidráulicos.
- Floculación Pericinética o Browniana se debe a la energía térmica del fluido
- Gradiente de Velocidad es la energía necesaria para producir la mezcla.
- Número de colisiones que ocurren entre los microflóculos.
- Tiempo de retención es el tiempo de permanencia del agua en la unidad.
- Densidad y tamaño de floc.
- Volumen de todos los flóculos no deben sedimentarse dentro de las unidades.

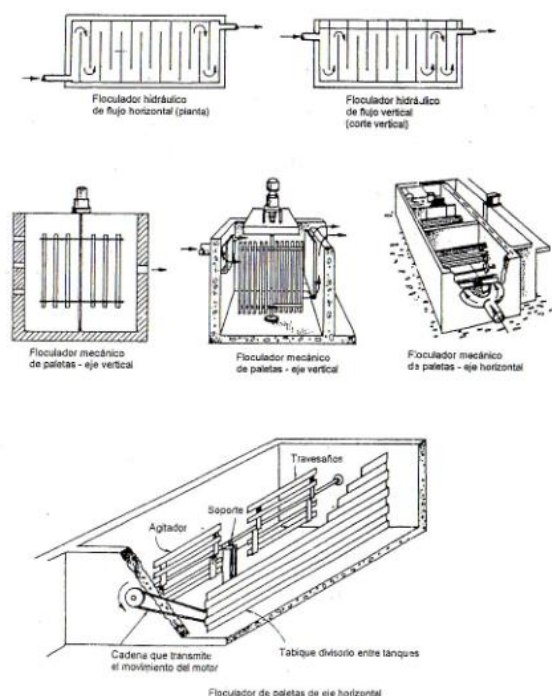
En la floculación luego de haber introducido y mezclado el coagulante estas partículas entran en contacto una con otra y con las demás partículas mediante agitación lenta, donde estas partículas tomaran mayor tamaño y densidad. El floculador es un tanque con mezcla suave y lenta con tiempos de retención prolongados, existiendo dos tipos de floculadores los mecánicos y los hidráulicos.

#### ***1.11.4.2 Tipos de Floculadores***

Floculadores Hidráulicos son de flujo horizontal y flujo vertical, los primeros son tanques de concreto divididos por tabiques o planchas de concreto con la finalidad que el agua realice un recorrido de ida y vuelta a los alrededores de los extremos libres de los tabiques; mientras que un floculador vertical el flujo de agua es de arriba hacia abajo con un recorrido por encima y por debajo. Los floculadores hidráulicos de flujo horizontal generalmente son usados en plantas pequeñas de caudal menor a 50 L/s; los floculadores verticales para plantas grandes se construyen a 2-3 m de profundidad.

Las ventajas de usar floculadores hidráulicos sobre los mecánicos se basa en el poco mantenimiento debido a la falta de equipos mecánicos, mientras que la desventaja de este tipo de floculadores es la alta pérdida de carga entre 30-150 cm y su poca falta de flexibilidad de control.

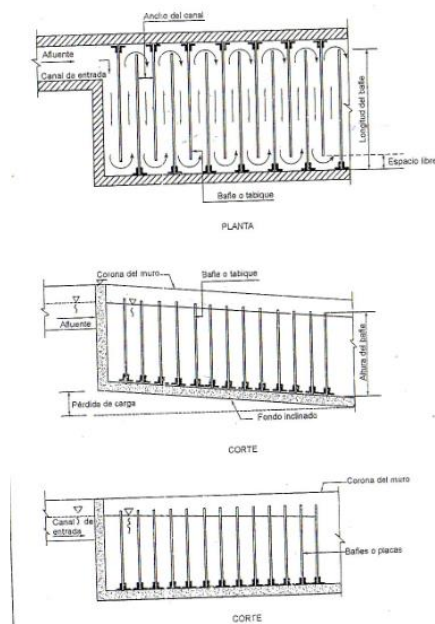
Floculadores mecánicos en este tipo de floculadores se asegura una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos siendo el más utilizado el agitador de paletas ya sea de eje horizontal o vertical dando un movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna, además existen impulsores de turbina y flujo axial; la velocidad es variable dentro del equipo debido a la calidad de agua a tratar.



Fuente:

**Ilustración 1-3 Tipos de Floculadores**  
del agua, 2º Edición, Colombia 2006

Romero, J. Purificación



**Ilustración 1-4 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal**

Fuente: Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, Colombia 2006

### 1.11.4.3 Floculantes

Los floculantes son de características de polímeros o polielectrolitos con elevado peso molecular, con moléculas solubles orgánicas en agua formando bloques denominados monómeros.

Generalmente existe tres tipos de floculantes de acuerdo a su naturaleza y son: minerales, orgánico natural y orgánico de síntesis.

- Floculantes Minerales

Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.

- Floculantes Orgánicos Naturales

Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales.



Los alginatos, cuya estructura polimérica son:

- Los ácidos manuránicos y.
  - Los ácidos glucónico
- Floculantes Orgánicos de Síntesis

Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 106 a 107 gr./mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:

- Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).
- Neutros o no ionicos (poliacrilamidas).
- Catiónicos (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

Además desde los años 80 se vienen utilizando polímeros

- Aniónico, en la etapa de pretratamiento para la reducción de la alta turbiedad presente durante los meses de verano. La dosis que se emplea fluctúa entre 0.3 a 0.8 p.p.m, siendo la cantidad máxima a emplear igual a 1.0 p.p.m.
- Catiónico, utilizado como floculante en las unidades de Decantador de Manto de Lodos en dosis de 0.15 a 0.25 p.p.m., esta dosificación se realiza con la finalidad de mejorar la separación de los flóculos.<sup>7</sup>

#### ***1.11.4.4 Parámetros para la optimización***

Para la determinación de los distintos parámetros dentro de floculadores ocuparemos las siguientes ecuaciones.

Primero calcularemos el área en función de la altura del canal:

$$A = L \times Hu$$

Donde:

L: Largo

---

<sup>7</sup><http://www.frm.utn.edu.ar>

Hu: Altura canal

La velocidad de flujo se la calculara mediante la ecuación:

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

Donde:

Caudal: 0.014m<sup>3</sup>/s

A: Área

La longitud de los canales estará calculada mediante:

$$L_c = vxTx60$$

Datos:

T: Tiempo de retención: 30 min. (Valor asumido).

v: Velocidad del fluido:

La longitud del floculador viene dado por:

$$L_f = (Nc \ x a) + (Nc - 1) e$$

Datos:

Nc: Número de canales

a: Ancho de los canales de floculación

e: Espesor de las láminas

El perímetro mojado de cada sección del floculador será determinado por medio de la ecuación:

$$P = 2Hu + a$$

Datos:

Hu: Altura de la unidad

a: Ancho de los canales de floculación

Para determinar el área de cada sección de los canales de floculación se tomara en cuenta tanto el largo del canal así como el ancho de cada canal de floculación calculándolo por medio de la siguiente ecuación:

$$Ac = l \times a$$

Datos:

l: Largo del canal

a: Ancho

El radio medio hidráulico la determinaremos por medio de la ecuación:

$$r = \frac{Ac}{P}$$

Datos:

Ac: Área de los canales del floculador

P: Perímetro mojado de las secciones

La Pérdida de carga continua en los canales se la determinara por medio de la siguiente ecuación y en función del coeficiente de Manning obtenido por medio de la tabla presentada a continuación:

**Tabla 1-1 Coeficiente de Manning**

Material	Coeficiente de Manning	Coeficiente de Rugosidad Absoluta (mm)
Asbesto cemento	0.011	0.002
Latón	0.011	0.002
Fierro fundido (nuevo)	0.012	0.600

Concreto (cimbra metálica)	0.011	0.260
Concreto (cimbra madera)	0.015	0.180
Concreto simple	0.013	0.600
Cobre	0.011	0.002
Acero corrugado	0.022	45.000
Acero galvanizado	0.016	0.150
Plomo	0.011	0.002
Platico (PVC)	0.090	0.002
Madera (duelas)	0.012	0.180
Vidrio (laboratorio)	0.011	0.002

Fuente: Aplicaciones de computación en Ingeniería Hidráulica.5.a.ed.Haestad Methods.  
(1992).

$$h_f = \left[ \frac{(n \times v)^2}{r^{4/3}} \right] * L_c$$

Datos:

v: Velocidad del fluido

n : Coeficiente de Manning: 0.011 (Tabla 1)

r: radio medio hidráulico

Lc: Longitud de canales

Mientras que la pérdida continúa por vueltas vendrá dada por la ecuación:

$$h = \frac{K(N_c - 1)v^2}{2g}$$

Datos:

K: Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas

v: Velocidad del fluido

N<sub>c</sub>: Número de canales

g: Aceleración de la gravedad: 9.800 m/s<sup>2</sup>.

La pérdida total de carga se calculara en el último tramo del sistema de floculación

$$H = h_f + h$$

Datos:

h<sub>f</sub>: pérdida de la carga en los canales

H: Pérdida de carga en las vueltas

Finalmente el gradiente de velocidad tendrá relación con las pérdidas totales de carga así como con la relación peso específico y viscosidad absoluta a una temperatura de 15°C obtenidos de la siguiente tabla:

**Tabla 1-2 Relación Temperatura y relación peso específico y viscosidad absoluta**

Temperatura °C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$
0	2336.940
4	2501.560

10	2736.530
15	2920.010
20	3114.640
25	3266.960

Fuente: Romero, J. (2008).

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \sqrt{\frac{H}{T}}$$

Datos:

T: temperatura del agua de 15°C.

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

H: Pérdida de carga total:  $1.224 \times 10^{-5}$  m.

T: Tiempo de retención: 30 min.

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

### ***1.11.5 Sedimentación***

La sedimentación es un proceso físico del tratamiento de aguas usado para asentar los sólidos suspendidos en agua bajo influencia de la gravedad. La sedimentación en el tratamiento de aguas potable sigue generalmente un paso de la coagulación y de la floculación químicas, que permite agrupar partículas juntas en los flóculos de un tamaño más grande. Esto incrementa la velocidad en que se asientan los sólidos suspendidos y permite el colocar los coloides.

La sedimentación es de uso frecuente como etapa primaria en las plantas modernas de tratamiento de aguas inóviles, reduciendo el contenido de sólidos suspendidos así como el

agente contaminador encajado en los sólidos suspendidos. Debido a la gran cantidad de reactivo necesaria para el agua urbana, la coagulación química preliminar y la floculación generalmente no se utilizan, los sólidos suspendidos restantes son reducidos por las etapas siguientes del proceso. Aunque pueden ser utilizadas para la construcción de plantas o para reprocesar adicionalmente el agua tratada. En el proceso del fango activado, los flóculos que son creados con actividad biológica se recogen en los tanques de sedimentación, designados generalmente tanques de sedimentación secundarios.

#### ***1.11.5.1 Tipos de sedimentación***

Se tendrá en cuenta factores muy importantes para escoger el tipo de sedimentador a utilizar estas consideraciones a tomarse en cuenta son los distintos tipos de partículas floculantes y precipitantes, así como la formación de partículas discretas las cuales no cambian su tamaño o peso cuando se sedimentan, teniendo los siguientes tipos de sedimentadores.

- Sedimentación tipo 1

Se refiere a la remoción de partículas discretas no floculantes en una suspensión diluida. En estas condiciones se dice que la sedimentación es no interferida y es función solamente de las propiedades del fluido y de las características de la partícula. Es el tipo de sedimentación que ocurre con partículas de características floculentas mínimas en suspensión diluida, como sería el caso de sedimentación de materiales pesados.

- Sedimentación tipo 2

Se refiere a la sedimentación diluida de partículas floculentas, en las cuales es necesario considerar las propiedades floculantes de la suspensión junto con las características de asentamiento de las partículas. Sucede generalmente en el tratamiento de aguas residuales, dada la naturaleza de los sólidos presentes en ellas, y en la purificación de agua potable los sedimentadores están precedidos de floculadores y coagulación.

- Sedimentación Zonal

Describe la sedimentación másica y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento, en las cuales se presenta un

asentamiento interferido a causa de la cercanía entre partículas. Dicha cercanía permite a las partículas, gracias a la fuerza entre ellas, tener una posición relativa fija que desplazarán, y como resultado la masa de partículas se desplaza hacia el fondo como un solo bloque, creando una interfase clara de separación entre el sobrenadante clarificado y el lodo, en un régimen descrito como sedimentación zonal.

- Comprensión

Ocurre cuando la concentración aumenta a un valor en que las partículas estén en contacto físico unas con otras y el peso de éstas lo sostiene parcialmente la masa compactada. Se presenta en operaciones de espesamiento de lodos cuando las partículas se acumulan en el fondo del tanque de sedimentación; su peso lo soporta la estructura de la masa en compactación y el asentamiento es función de la deformación de las partículas o flocs.<sup>8</sup>

En la práctica, durante una operación de sedimentación, es común que se presente más de un tipo de sedimentación al mismo tiempo y es posible que coincidan todos los cuatro tipos.

### ***1.11.5.2 Parámetros para optimización***

Con respecto a los parámetros de optimización de sedimentadores primero se determinó la carga superficial de sedimentación donde el área de sedimentación al ser dos sedimentadores totalmente iguales se multiplicara el largo por ancho por dos unidades del sedimentador.

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

Datos:

As: Área del Sedimentador

Q: Caudal de diseño: 0.014 m<sup>3</sup>/s.

---

<sup>8</sup> Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, Colombia 2006 pag.142



Para la velocidad promedio del flujo entre placas tendremos:

$$v_o = \frac{Q}{As \times Sen\theta}$$

Datos:

Q: Caudal de diseño: 0.014 m<sup>3</sup>/s.

As: Área de sedimentación: 48 m<sup>2</sup>.

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa: 60° respecto a la horizontal.

Longitud relativa del sedimentador

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

Datos:

lr: Longitud recorrida a través del elemento (placa)

dp: Ancho del conducto o espaciamiento entre placas

El Número de Reynolds estará determinado en función de la viscosidad cinemática encontrada en la siguiente tabla:

**Tabla 1-3 Viscosidad Cinemática en función a Temperaturas**

Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)
---------------------	--	----------------------------------	---	---

0	9.805	999.800	$1.781 \cdot 10^{-3}$	$1.785 \cdot 10^{-6}$
5	9.807	1000.000	$1.518 \cdot 10^{-3}$	$1.519 \cdot 10^{-6}$
10	9.804	999.700	$1.307 \cdot 10^{-3}$	$1.306 \cdot 10^{-6}$
15	9.798	999.100	$1.139 \cdot 10^{-3}$	$1.139 \cdot 10^{-6}$
20	9.789	998.200	$1.102 \cdot 10^{-3}$	$1.003 \cdot 10^{-6}$
25	9.777	997.000	$0.890 \cdot 10^{-3}$	$0.893 \cdot 10^{-6}$
30	9.764	995.700	$0.708 \cdot 10^{-3}$	$0.800 \cdot 10^{-6}$
40	9.730	992.200	$0.653 \cdot 10^{-3}$	$0.658 \cdot 10^{-6}$
50	9.689	988.000	$0.547 \cdot 10^{-3}$	$0.553 \cdot 10^{-6}$
60	9.642	983.200	$0.466 \cdot 10^{-3}$	$0.474 \cdot 10^{-6}$
70	9.589	977.800	$0.404 \cdot 10^{-3}$	$0.413 \cdot 10^{-6}$
80	9.530	971.800	$0.354 \cdot 10^{-3}$	$0.364 \cdot 10^{-6}$
90	9.466	965.300	$0.315 \cdot 10^{-3}$	$0.326 \cdot 10^{-6}$
100	9.399	958.400	$0.282 \cdot 10^{-3}$	$0.294 \cdot 10^{-6}$

Fuente: DAUGHERTY, R; FRANZINI, J. (1978).

$$Re = \frac{v_o \times dp}{\nu}$$

Datos:

Se trabaja con una temperatura del agua de 15°C

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas

$dp$ : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas

$\nu$ : Viscosidad cinemática:

La longitud de transición vendrá dado por la ecuación:

$$L' = 0.013 \times Re$$

Datos:

Re: Número de Reynolds

Para determinar la longitud de alta tasa corregida será calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$L_{cr} = Lr - L'$$

Datos:

Lr: Longitud relativa del sedimentador de alta tasa

L': Longitud de transición

Para la velocidad de sedimentación crítica tendremos:

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

Datos:

Sc: Parámetro característico; igual a 1.0 para sedimentadores de placas paralelas.

v<sub>o</sub>: Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas

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

El tiempo de retención de las placas se calculara por medio de la ecuación:

$$t_{rp} = \frac{lr}{v_o}$$

Datos:

lr : Longitud recorrida a través del elemento (placa)

$v_o$ : Velocidad promedio del fluido en el sedimentador

El tiempo de retención en el tanque será calculado por medio de la ecuación:

$$ts = \frac{V}{Q} = \frac{As \times Hs}{Q}$$

Datos:

Q: Caudal de diseño

Hs: Altura total

As: Área de sedimentación

Volumen del Sedimentador:

$$Vd = Ls \times a_s \times Hs$$

Datos:

Ls: longitud del sedimentador

$a_s$ : Ancho del sedimentador

Hs: altura del sedimentador

### **1.11.6 Filtración**

La filtración es un proceso por el cual el agua se separa de sustancias o materiales en suspensión haciéndola pasar por materiales filtrantes o porosos, el proceso de filtración es el resultado conjunto de acciones tanto físicas, químicas y biológicas que ocurren dentro del filtro con mayor o menor intensidad según sea la calidad del material filtrante así como el agua filtrada. Otros factores que intervienen en la calidad del proceso de filtración son las relaciones existentes entre las variables de diseño así como los mecanismos de remoción en un filtro.

**Tabla 1-4 Variables Principales de procesos de filtración**

Variable	Significado
1.- Características del medio filtrante a) Tamaño del grano b) Distribución granulométrica c) Forma, densidad y composición del grano d) Carga del medio	Afecta la eficiencia de remoción de partículas y el incremento en pérdida de carga
2.- Porosidad del lecho filtrante	Determina la cantidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro
3.- Profundidad del lecho filtrante	Afecta la pérdida de carga y la duración de la carrera
4.- Tasa de filtración	Determina el área requerida y la pérdida de carga
5.- Pérdida de carga disponible	Variable de diseño
6.- Características del efluente a) Concentración de sólidos suspendidos b) Tamaño y distribución del floc c) Resistencia del floc d) Carga eléctrica del floc e) Propiedades del fluido	Afectan las características de remoción del filtro

Fuente: Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, 2006

**Tabla 1-5 Variables Principales de proceso de filtración**

Mecanismo	Descripción
1.- Cribado a) Mecánico b) Oportunidad de contacto	a) Partículas más grandes que los poros del medio son retenidas mecánicamente. b) Partículas más pequeñas que los poros del medio son retenidas por oportunidad de contacto.

2.- Sedimentación	Las partículas se sedimentan sobre el medio filtrante, dentro del filtro.
3.- Impacto inercial	Las partículas pesadas no siguen las líneas de corriente.
4.- Interceptación	Muchas partículas que se mueven a lo largo de una línea de corriente son removidas cuando entran en contacto con la superficie del medio.
5.- Adhesión	Las partículas floculantes se adhieren a la superficie del medio filtrante. Debido a la fuerza de arrastre del agua, algunas son arrastradas antes de adherirse fuertemente y empujadas más profundamente dentro del filtro. A medida que el lecho se tapona, la fuerza cortante superficial aumenta hasta un límite para el cual no hay remoción adicional. Algún material se fugará a través del fondo del filtro, haciendo aparecer turbiedad en el efluente.
Floculación	Partículas más grandes capturan partículas más pequeñas y forman partículas aún más grandes.
Crecimiento Biológico	Reduce el volumen del poro y puede promover la remoción de partículas.

Fuente: Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, 2006

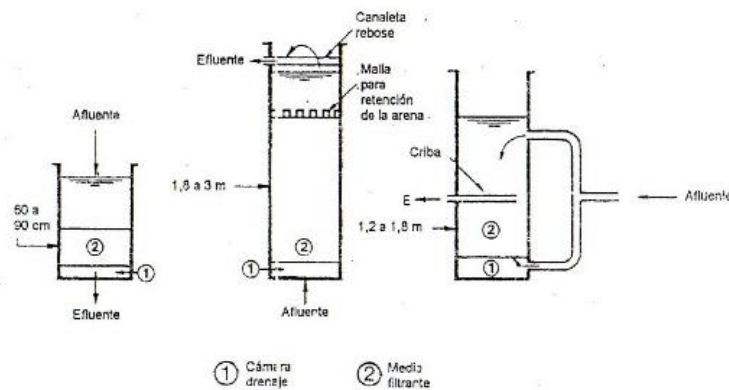
### ***1.11.6.1 Tipos de Filtros***

En el proceso de filtración podemos encontrar dos tipos de filtros considerando como material filtrante a la arena; estos filtros son de acción lenta y de acción rápida dividiéndose en filtros de superficie libre y filtros de presión.

En filtros de acción lenta el agua pasa por gravedad a bajas velocidades, la separación de los materiales suspendidos se efectúa al pasar el agua por los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas sólidas a los granos de arena; luego de este proceso los poros de la capa arenosa quedan taponados por lo cual es necesario su limpieza como recomendación para este tipo de acción lenta se debe dar un tratamiento previo al agua antes de hacerla pasar por este tipo de filtros.

Los filtros de presión son cilindros de acero hermético, su limpieza se la realiza con una corriente de agua en sentido inverso; al igual que los filtros de acción lenta los filtros de presión necesitan un tratamiento previo del agua este es sumamente importante si el agua a tratar es para consumo público; se recomienda no usar este tipo de filtros en instalaciones grandes por las limitaciones del tamaño de las unidades así como la dificultad de inspección.

El filtro de acción rápida es el filtro más usado en el tratamiento de aguas donde el agua descende por gravedad a través de la arena siendo necesario un pre tratamiento con coagulante para eliminar la mayor cantidad de materia en suspensión y retirarla por asentamiento. Generalmente el lavado de este tipo de filtros se hace con un flujo en contracorriente donde el flujo generado circula el medio filtrante produciendo el frote entre los granos del mismo y desechando el material a eliminar a través de los canales de lavado.



### Ilustración 1-5 Tipos de Filtros

Fuente: Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, Colombia 2006

### 1.11.6.2 Sistemas de filtración

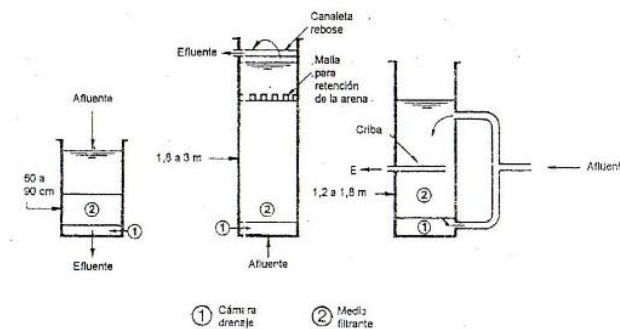
Los sistemas de filtración se los agrupa de acuerdo a distintos factores los cuales son: la dirección de flujo, tipo de lecho filtrante, fuerzas impulsoras, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración.

Dirección de flujo

De acuerdo con la dirección de flujo los filtros pueden ser de flujo hacia abajo, flujo hacia arriba o flujo dual.

Tipo de lecho filtrante

Los filtros generalmente utilizan un solo medio ya sea antracita o más utilizado arena, una medio dual arena y antracita o un lecho mezclado arena, antracita y granate o ilmenita.



**Ilustración 1-6 Medios de Filtración**

Fuente: Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, Colombia 2006

Fuerza impulsora

De acuerdo a la fuerza impulsora utilizada para vencer la resistencia friccionar ofrecida por el lecho filtrante, los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión. El filtro por gravedad es el más usado en plantas de purificación de agua, en tanto que los filtros



por presión se emplean principalmente en la filtración de aguas para piscinas y en pequeñas plantas donde su instalación es ventajosa.<sup>9</sup>

#### Tasa de filtración

Los primeros filtros usados en los procesos de tratamiento de aguas fueron los filtros de acción lenta de arena fina de 1 m soportada sobre un lecho de grava de 0,30 m, estos filtros fueron remplazados por filtros de acción rápida de arena con lavado ascensional con tazas de filtración mayores y por tanto áreas más pequeñas.

Actualmente se usan medios filtrantes duales o lechos mezclados los cuales han permitido un ahorro económico especialmente con lo referente al área y por ende tendremos una mayor tasa de filtración.

Para la filtración rápida comúnmente se usa la arena como el medio de filtro, pero el proceso es bastante diferente a la filtración lenta en arena. Esto es debido a que se usa arena más gruesa con un tamaño efectivo de grano en la escala de 0.4-1.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hora (120-360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día)

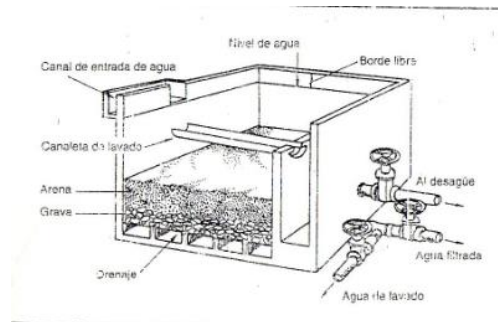
**Tabla 1-6 Principales características de los filtros**

Características	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Medio	Arena	Arena	Arena y Antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado de fino a grueso	Estratificado de grueso a fino
Duración de la carrera	20-60 días	12-36 horas	12-36 horas
Perdida de carga	Inicia 0,6m Final 1,2 m	Inicia 0,3 m Final 2,4 a 3,0 m	Inicia 0,3 m Final 2,4 a 3,0 m
Agua de lavado	No usa	2-4 % del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad del medio	0,6-1,0 m	0,6 – 0,75 m	Antracita 0,4-0,6 m Arena 0,15- 0,3 m

<sup>9</sup> Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, Colombia 2006 pag.142

Profundidad de grava	0,3 m	0,3-0,45 m	0,3-0,45 m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Falso fondo	Falsos fondos

Fuente: Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, 2006



### Ilustración 1-7 Filtro rápido de arena

Fuente: Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, Colombia 2006

#### Método de Control

“Al comenzar la carrera de filtración, el filtro está limpio; la fuerza impulsora requerida es mínima, pues sólo se necesita vencer la resistencia del lecho filtrante limpio y del sistema de drenaje. A medida que se efectúa la filtración, los sólidos suspendidos removidos se acumulan dentro del medio filtrante, la fuerza impulsora debe vencer la resistencia ofrecida por el lecho taponado y el sistema de drenaje. Por tanto, si se desea mantener una tasa constante de filtración, la fuerza impulsora debe aumentar proporcionalmente al incremento en la resistencia del filtro, de lo contrario, el caudal a través del filtro declina y la filtración será de tasa declinante.”<sup>10</sup>

Entre los principales métodos empleados para controlar la tasa de filtración tenemos:

1.- Pérdida de carga constante, filtración de tasa constante o sistema de tasa constante con medidor de caudal y válvula de control.

<sup>10</sup>Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, Colombia 2006 pag.222

Usado en filtros rápidos con controlador de flujo donde para mantener constante la tasa de filtración parte de la fuerza impulsora se consume por una válvula de control de efluente.

2.- Pérdida de carga variable, filtración de nivel constante o sistema de filtración de nivel constante con vertederos de repartición de caudal igual, sensor de nivel y válvula de control.

Este filtro requiere de un aditamento hidráulico o una válvula de mariposa operada por un flotador para mantener el nivel constante de agua en el filtro. La pérdida de carga en el orificio debe de ser igual a la diferencia entre la pérdida de carga en el filtro limpio y el nivel de operación establecido en el filtro.

3.- Filtración con afluentes igualmente distribuidos o sistema de filtración de tasa constante con vertederos de repartición de caudal igual y vertedero de control del nivel del efluente.

Aquí el caudal es distribuido equitativamente por un orificio o vertedero de entrada sobre cada filtro, obtendremos tasas constantes de filtración si el caudal total permanece constante; la desventaja más evidente de este tipo de filtros es una mayor profundidad para permitir la descarga sobre el vertedero de control.

4.- Pérdida de carga variable, nivel variable, tasa declinante con vertedero de control o sistema de filtración de tasa declinante con afluente sumergido, orificio de control en cada tubería efluente y vertedero de control del nivel del efluente.

Este tipo de sistemas se lo utiliza principalmente para agua que tienden a reducir su calidad al final de la carrera de filtración, además requieren de menos pérdida de carga que los de tasas constantes debido a que el caudal hacia el final de la carrera de filtración es menor.

En resumen podemos mencionar con respecto a los métodos de control que los sistemas de filtros tienen como objetivo fundamental reducir las variaciones bruscas en las tasas de filtración evitando así las altas velocidades de flujo al comienzo de la carrera dando como resultado de esto evitar la evidencia de fugas de la tubería y la consecuente pérdida de calidad del efluente.

### ***1.11.6.3 Parámetros de optimización***

Dentro de los cálculos para filtros primero se determino la superficie filtrante en función de la siguiente ecuación:

$$Sf = \frac{Q}{Tf}$$

Datos:

Q: caudal de diseño

Tf: Tasa de filtración

Se calculara además el área de filtración teniendo en cuenta el número de filtros que en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal del Cantón Tisaleo es de 3.

$$Af = \frac{Sf}{ni}$$

Datos:

Sf: Superficie filtrante requerida

ni: número de filtros

Para el cálculo del número de módulos de filtración se tendrá la siguiente ecuación:

$$nf = 0.5 \times \sqrt[3]{Af}$$

Datos:

Af: Área filtrante

Determinaremos el área en cada unidad de los filtros

$$Ai = \frac{Af}{nf}$$

Datos:

Af: Área de filtración

nf : Número de filtros calculado

El área de filtración por unidad vendrá determinada por:

$$a_f = \left( \frac{2 \times nf \times Ai}{2 \times nf} \right)^{0.5}$$

Datos:

Ai: Área de la unidad

nf: Número total de unidades de filtración

El ancho de la unidad se calculara por la ecuación:

$$b_f = \left[ \frac{(nf + 1) \times Ai}{2 \times nf} \right]^{0.5}$$

Datos:

Ai: Área de unidad filtrante

nf: Número total de unidades de filtración

Longitud total de la pared:

$$Lt_p = (2 \times b_f \times nf) + a_f \times (nf + 1)$$

Datos:

nf: Número total de unidades de filtración

b<sub>f</sub>: Ancho de la unidad

a<sub>f</sub>: área de filtración

Para la longitud total mínima de la pared tendremos:

$$Lm = 2 \times a_f \times (nf + 1)$$

Datos:

nf: Número total de unidades de filtración

a<sub>f</sub>: Longitud de pared común por unidad

En el cálculo del diámetro de la tubería de entrada al filtro la velocidad de entrada al filtro vendrá dada por valores de la siguiente tabla:

**Tabla 1-7 Velocidades de afluentes y efluentes dentro de tuberías**

Parámetro	Velocidad m/s
Afluente	0,3 – 12
Efluente	0,9 – 1,8

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{vt * \pi}}$$

Datos:

Q: Caudal de diseño para cada filtro

vt: Velocidad en la tubería

Para el diámetro de orificios de los laterales nos basaremos en la tabla que se presenta a continuación:

**Tabla 1-8 Parámetros de laterales en filtros**

Parámetro	Valor
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, J. (2000)

De acuerdo al diámetro encontrado en la tabla se podrá encontrar el área de cada orificio

$$A_o = \frac{\pi * D_l^2}{4}$$

Datos:

D<sub>l</sub>: Diámetro de la tubería

El caudal que ingresa al orificio será determinado por la siguiente ecuación donde obtendremos valores de velocidad de la siguiente tabla:

**Tabla 1-9 Parámetros de diseño de laterales**

Espaciamiento de los laterales	1-2 m
Diámetro de los orificios de los laterales	6.500 mm – 15.800

	mm
Espaciamiento de los orificios de los Laterales	7.500 cm – 25cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3 - 5 cm
Velocidad en orificio	3 – 5 m/s

Fuente: Arboleda, J. (2000)

$$Q_o = A_o \times v_{or}$$

Datos:

$v_{or}$ : Velocidad en el orificio

$A_o$ : Área de cada orificio

En el cálculo de número de laterales el espacio entre laterales se los obtendrá de la tabla 8

$$\# \text{ Laterales} = nl \times \frac{L_{tp}}{el}$$

Datos

$L_{tp}$ : Longitud total del filtro

$el$ : Separación entre laterales

$nl$ : número de laterales por lado

Separación entre orificios:

$$\# \text{ orificios/ Laterales} = 2 * \frac{Ll}{e_o}$$

Datos:



Ll: Longitud de cada lateral

e<sub>o</sub>: Espacio entre orificios

Para el número total de orificios tendremos:

$$\#total\ de\ orificios = \#laterales * \#orificios/Laterales$$

Datos:

# Laterales

#orificios/ Lateral

Área total de orificios:

$$Ato = Ao \times \#totaldeorificios$$

Datos:

Ao: Área de cada orificio

#total de orificios

Para la comprobación del cumplimiento de los parámetros tenemos (0,0015-0,005):

$$\frac{Ato}{Af}$$

Datos:

Ato: Área total de orificios

Af: Área de filtración

Para la velocidad óptima de lavado tenemos:

$$v_l = Cu * Te$$

Datos:

Cu= Coeficiente de uniformidad

Te= Tamaño efectivo de arena

Donde los valores de Cu y Se te los tendrá en la siguiente tabla:

**Tabla 1-10 Parámetros de Diseño de Filtros de Arena**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Medio	Arena
Altura del agua sobre el lecho	1,5 m
Profundidad del medio	0,60 – 0,75 m
Profundidad de grava	0,30 – 0,45 m
Tamaño efectivo del medio	0,35 – 0,70 m (valor típico 0,5 m)
Coeficiente de uniformidad	1,3 – 1,7 (valor típico 1,5)
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje	0,10 - 0,25 m

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

Para el cálculo de la cantidad óptima de agua para el lavado tendremos:

$$V_l = v_l * A_f * t$$

Datos:

$v_l$ = velocidad optima de lavado

$A_f$ = Área de filtración

$t$ = tiempo óptimo de lavado

### ***1.11.7 Dosificación del Agente Coagulante***

Mediante una relación se calcula el aforo de solución de PAC, además indica si se realiza una dilución o no del químico.

$$x = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

Donde

$Q$ =Caudal

$C$ = Concentración de acuerdo al test de jarras

$P$ = Porcentaje de dilución

$\rho$ = Densidad del PAC

### ***1.11.8 Desinfección***

La desinfección del agua se refiere a la inactivación de los microorganismos especialmente los patógenos que son causantes de enfermedades, que pueden causar daños en los consumidores de agua, y cuya intensidad y gravedad varía dependiendo de muchos factores entre ellos: edad y condición física de la persona infectada, así como del tipo de microorganismo causante de la enfermedad y de la intensidad o concentración en el agua del agente infeccioso. La desinfección es tal vez el tratamiento más importante y de mayor trascendencia en la potabilización del agua.

#### ***1.11.8.1 Dosificación de Cloro Gas***

La dosificación de cloro inicia donde el cilindro se conecta al clorador o al múltiple de suministro de cloro si se conecta más de un cilindro, el sistema de dosificación termina en el punto en que la solución de cloro se mezcla con el agua que se va a desinfectar, los componentes principales del sistema de dosificación son:

- Báscula
- Válvulas y tuberías
- Clorador
- Inyector o eyector y difusor

Con respecto a la báscula podemos mencionar que este elemento se encarga del registro del cloro empleado y la cantidad remanente en el cilindro; las válvulas y tuberías son elementos que permiten la transferencia de cloro y hacer las conexiones hasta el sitio de dosificación regulando o suspendiendo el suministro.

“El clorador puede ser una unidad simple, de montaje directo sobre el cilindro, o un gabinete de piso, que permita medir con exactitud y seguridad el flujo de cloro gaseoso desde el cilindro y entregar las dosis exactas establecidas. El clorador está dotado de reguladores de presión y vacío, accionados por diafragmas y orificios que disminuyen la presión del cloro gaseoso. La presión reducida permite un flujo uniforme de gas, medido con exactitud por un rotámetro. Además, mantiene un vacío en la línea al inyector para propósitos de seguridad.”<sup>11</sup>

El inyector o eyector es un aditamento que arrastra el cloro gaseoso dentro de un flujo corriente de agua de dilución, formando una solución fuerte de cloro en agua el inyector crea también el vacío necesario para operar el clorador.

El cloro se transporta a través de tuberías de PVC, materiales inoxidable o similares donde se distribuye por medio de un difusor; el fin de utilizar este tipo de materiales en las tuberías radica en que la solución de cloro es altamente corrosiva con pH que varían entre 2 a 4.

Los difusores son tuberías cortas perforadas las cuales distribuyen uniformemente la dosificación de cloro dentro del caudal de agua que se va a tratar; existen dos tipos de difusores aquellos usados en tuberías y los que son usados en canales o tanques abiertos.

---

<sup>11</sup>Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, Colombia 2006 pag.273

Los difusores de tubería 0,9 m de diámetro es un tubo que se introduce hasta el eje de la tubería principal para proveer dicha mezcla de cloro con el agua a tratar.

Los principales factores en tener en cuenta en sistemas de dosificación de cloro tenemos:

- Se debe proveer por lo menos una unidad de reserva que garantice el suministro continuo de la dosis apropiada.
- La luz solar no debe alcanzar directamente los cilindros de cloro.
- Para el control de la dosificación de cloro debe proveer una báscula de plataforma apropiada al tipo y a la cantidad de cilindros requeridos.
- Para minimizar la posibilidad de relicuefacción de cloro gaseoso, la distancia entre clorador y el cilindro de cloro debe ser tan corta como sea posible y el sistema de suministro de cloro, debe estar a una temperatura más baja que el clorador.
- La temperatura mínima para el área de almacenamiento de cloro es de aproximadamente de 10°C; bajo esta temperatura el flujo de cloro es crítico y se debería aislar los cilindros.

## **1.12 Optimización**

Los procesos de optimización garantizan el trabajo eficiente y eficaz de las plantas o procesos, estos procesos de optimización constan de evaluar y proponer acciones de mejoras dentro de todo el proceso en general o centrado el trabajo a equipos.

La optimización de plantas de tratamiento de aguas es un conjunto de acciones tanto preventivas como correctivas para el análisis completo de la planta en si logrando de este modo el funcionamiento óptimo y eficaz de la plana, la investigación se efectuara determinando los problemas que presenta la planta dándolo tratamiento y terminando el proyecto proponiendo soluciones eficientes que sepan satisfacer las necesidades propuestas como objetivos teniendo como principal iniciativa que el tratamiento sea eficaz y de bajo costo. En los procesos de optimización los costos de operación se pueden reducir hasta en un 10-40% y la capacidad de operación puede aumentar hasta en un 25%.

EL proceso de optimización dentro del GAD Municipal Tisaleo garantizara agua de calidad para todos sus pobladores, esta optimización está fijada a etapa central del proceso como es el proceso de floculación donde por medio de pruebas de jarras dentro del laboratorio se fijó la dosis optima de floculante para reducir niveles de turbiedad, dureza total y color dentro del sistema.

### ***1.12.1 Pruebas de jarras***

“La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas tanto de agua potable como residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.”<sup>12</sup>

Básicamente las pruebas de jarras se han diseñado con dos objetivos principales los cuales son:

- Como herramienta para diseñar una planta de tratamiento de agua potable

Se debe tener consideraciones específicas de las locaciones donde se requiere el diseño de la planta de tratamiento de agua conocer la calidad del agua de las captaciones asi como su fuente siendo estas aguas superficiales o subterráneas, estos estudios se los realizara con la finalidad de garantizar la calidad del agua y el volumen de distribución durante un tiempo específico. Debemos tener en cuenta dos puntos muy importantes a detallar los cuales son:

1. Tiempo de retención del agua en determinada estación del tratamiento, este punto nos hace referencia al uso de las pruebas de jarras con el fin de determinar tiempos en que el agua debe permanecer retenida en alguna estación como ocurre generalmente en etapas de mezcla rápida, sedimentación o floculación a fin de que

---

<sup>12</sup>ptasmosquera.orgfree.com

el insumo químico tenga los resultados esperados en la mejora de calidad del agua ya sea clarificándola, eliminando sólidos en suspensión, disminuyendo concentraciones de compuestos químicos o metales que alteren la composición normal del agua, etc.

2. Los gradientes de velocidad para los periodos de retención, es decir las RPM en cada etapa para asegurar la mezcla y reacción completa de los productos químicos antes de ser pasados a la siguiente etapa. A partir de estos datos se puede realizar el diseño de la planta así como futuros cambios o rediseños de la misma en base a insumos químicos que se vaya a ocupar.
- Como simulador de laboratorios para determinación de dosificación de insumos químicos aplicables en una planta de tratamiento de agua con el objetivo de mejorar la calidad del agua.

Al tener la planta de tratamiento de agua ya en funcionamiento la misma trabajara con variaciones de turbiedad por lo cual las pruebas de jarras como simulador de posibles variaciones resultan muy optimas, modificando las concentraciones de insumos químicos para reducir parámetros que se encuentren fuera de norma.

## CAPÍTULO II

### 2 PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 Muestro

##### 2.1.1 *Localización de la investigación*

Optimización De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Cantón Tisaleo se desarrolló en la planta de agua potable, ubicada en el sector de "El Calbario", perteneciente a la cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua.

##### 2.1.2 *Recopilación de la información*

Se dio la identificación preliminar de la planta de tratamiento de agua potable conociendo cada una de sus etapas desde la etapa de captación de agua cruda, pasando por la planta de tratamiento de agua en sí y finalizando en la distribución del agua tratada; por medio de los métodos de recopilación de información se determinara la relación causa-efecto entre las variables que forman el objeto de investigación.

Con estas variables determinadas se llegara a la finalidad de relacionar datos de análisis de laboratorio determinando el estado actual de la planta.

##### 2.1.3 *Recolección de muestras*

La toma de muestras se las efectuó de acuerdo al cronograma establecido en el proyecto y se trasladó las muestras inmediatamente a los laboratorios de análisis de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para el análisis de las muestras evitando que se alteren sus características originales tanto físicas, químicas como microbiológicas.



Se procedió a un muestreo sistemático simple donde las muestras recolectadas fueron tomadas en la etapa de captación primera etapa de la planta de tratamiento de agua potable y además se tomaron muestras de agua de salida o de consumo al final de la etapa donde el agua ya es tratada; este proceso de muestreo se lo realizo durante 4 semanas.

**Tabla 2-1 Recolección de muestras**

Lugar de Muestreo	Días de muestreo semanal	Número de muestras diarias	Total de muestras semanal
Captación	2	1	2
Desinfección (Zona cloro gas)	1	1	1
Grifo Domiciliario	1	1	1
Total de muestras al mes			4

Fuente: Autor

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Metodología de trabajo

La realización de la presente investigación tuvo como fundamento de trabajo la recolección de muestras de agua cruda proceso que se lo realizo dos días a la semana por un mes, estas mismas muestras se las recolectaron teniendo en cuenta especificaciones de seguridad e higiene para evitar posibles contaminaciones cruzadas de las muestras pudiendo producir resultados dudosos de las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del agua; los análisis de laboratorio se los realizo en el laboratorio de análisis de aguas de las Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### 2.2.2 Tratamiento de muestras

Se tomó 2 muestras semanales de los dos puntos de muestreo de interés a la captación agua cruda y al salir de la planta de tratamiento de agua donde se obtiene el agua potable ya tratada y se realizó la caracterización físico-química de las muestras con parámetros específicos en base a la normas

**Tabla 2-2 Parámetros de Caracterización del Agua**

Características Físicas		
Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Turbiedad	NTU	5
Color	Unidades Color Aparente	15
Sabor	-----	No objetable
Olor	-----	No objetable
pH	-----	6,5-8,5
Sólidos Totales	mg/L	1000
Características Químicas		
Cloruros	mg/L	250
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	300
Calcio	mg/L	70
Magnesio	mg/L	30-50
Alcalinidad	mg/L	250-300
Bicarbonato	mg/L	250-300
Sulfato	mg/L	200

Amonios	mg/L	1,0
Nitritos	mg/L	0,2
Nitratos	mg/L	50
Hierro	mg/L	0,3
Fosforo	mg/L	<0,3
<b>Características Microbiológicas</b>		
Coliformes totales	NMP/100 ml	<0,2*
<0,2* significa que en el ensayo del NMP utilizando una serie de 5 tubos por dilución, ningunos positivo		

Fuente: Norma INEN 1108: 2006, Segunda Edición (utilice solo 2006)

### 2.2.3 Equipos materiales y reactivos

**Tabla 2-3 Equipos, Materiales y Reactivos**

<b>Equipos</b>	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ pH-metro</li> <li>➤ Espectrofotómetro HACH</li> <li>➤ Balanza Analítica</li> <li>➤ Turbidímetro</li> <li>➤ Colorímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vasos de Precipitación</li> <li>➤ Varillas de agitación</li> <li>➤ Pipetas</li> <li>➤ Probetas</li> <li>➤ Buretas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reactivos HACH</li> <li>➤ Fenolftaleína</li> <li>➤ Naranja de metilo</li> <li>➤ Dicromato de potasio <math>K_2CrO_7</math></li> <li>➤ Nitrato de plata <math>AgNO_3</math></li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Conductímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erlenmeyer</li> <li>➤ Balones aforados</li> <li>➤ Peras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cianuro de Potasio</li> <li>➤ Buffer pH 10</li> <li>➤ Colorante negro de Eriocromo T</li> <li>➤ Hidroxido de sodio NaOH 1N</li> <li>➤ Murexida</li> <li>➤ Solución EDTA</li> <li>➤ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> <li>➤ Agua destilada</li> </ul>
---	---	--

Fuente: Autor

## 2.2.4 Métodos y Técnicas

### 2.2.4.1 Métodos

Los métodos utilizados para esta investigación están adaptados al manual “Estandar Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales); y el manual de Métodos HACH.

**Tabla 2-4 Metodología**

Determinación	Método	Materiales y Reactivos	Procedimiento
Turbiedad	Nefelométrico	Turbidímetro Muestra de agua	Se coloca la muestra de agua en la celda de

			medición. Donde por medio del electrodo de cristal del equipo se lee los valores obtenidos.
pH	Potenciométrico	pH-metro Muestras Buffer Muestra de agua	Se coloca muestra de agua en vasos de precipitación donde la muestra es medida directamente con el pH-metro por medio del electrodo de cristal que presenta el equipo.
Conductividad Eléctrica	Electrométrico	Electrodo Sensible Vaso de Precipitación Muestra de agua	Se coloca muestra de agua en vasos de precipitación donde la muestra es medida

			directamente por medio del electrodo de cristal que presenta el equipo.
Sólidos Totales Disueltos	Electrométrico	Electrodo Sensible Vaso de Precipitación Muestra de agua	Se coloca muestra de agua en vasos de precipitación donde la muestra es medida directamente por medio del electrodo de cristal que presenta el equipo.
Dureza	Volumétrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solución Tampón para dureza.</li> <li>- Negro de Eriocromo T</li> <li>- Solución EDTA</li> <li>- Muestra de agua</li> <li>- Erlenmeyer de 50 ml</li> <li>- Bureta de 50 ml</li> <li>- Pipeta de 10 ml</li> </ul>	25 mL de muestra de agua se adiciona 1mL de la solución tampón más una pizca de eriocromo T en polvo finalmente se titulará con EDTA.

		- Vaso de precipitación	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nitratos</li> <li>- Nitritos</li> <li>- Fosfatos</li> <li>- Cloruros</li> <li>- Cloro Libre, Residual</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Hierro</li> </ul>	Espectro fotometría	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cubetas para equipo HACH</li> <li>- Reactivos para cada determinación</li> <li>- Muestra de agua</li> </ul>	<p>Se colocan 10mL de la muestra así como 10 mL de agua destilada para realizar un blanco y calibrar el equipo.</p> <p>Se coloca después de realizar el blanco del reactivo la muestra de agua, registrar y leer datos proporcionados por el equipo HACH</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- EscherichiaColi</li> <li>- Coliformes Totales</li> </ul>	Siembra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CámaraIncubadora</li> <li>- Equipo de Filtración</li> </ul>	Se esteriliza el equipo microbiológico para la filtración, se toma 50 ml de muestra y se procede a

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cajas Petri</li> <li>- Membranas de filtro</li> <li>- Pinza</li> <li>- Pipetas</li> <li>- Medio de Cultivo</li> <li>- Muestra de agua</li> </ul>	<p>filtrar, se vierte el reactivo y se siembra a la temperatura correspondiente.</p>
--	--	---	--

Fuente: Autor

## 2.3 Datos Experimentales

### 2.3.1 Descripción del sistema actual existente en el sector

La Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal Tisaleo se abastece de agua de fuentes de agua potable localizadas en el Sector de "Las Pampas de Salazaca" en las faldas del nevado Carihuirazo.

El agua desde su captación hasta su llegada a la zona de los desarenadores recorre de forma entubada por tuberías PVC lo que garantiza sus características físicas-químicas estables para su tratamiento.

Actualmente la planta de tratamiento de agua consta con las siguientes etapas funcionando:



- Desarenadores
- Prefiltros
- Sedimentación
- Filtración
- Etapa de desinfección usando cloro gas

La verificación actual del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal Tisaleo se realizó en compañía del Ingeniero a cargo de la Planta donde se llegó a hacer un análisis de las condiciones actuales de la planta donde se me dio a conocer sus falencias así como de sus posibles soluciones para mejorar la calidad del agua que será distribuida a la población en general.

### **2.3.2 Datos**

#### **2.3.2.1 Caracterización del agua**

La caracterización del agua se realizó en la zona de captación de las fuentes superficiales localizadas en la entrada a la zona de los desarenadores donde se constató dos tipos de muestras una muestra característica de etapas de verano donde existe carencia de lluvias en donde por medio de caracterización del agua se constató rangos fuera de norma de parámetros como la dureza o los sulfatos.

Además se tomó y se realizó la caracterización del agua para épocas invernales donde la calidad del agua tiende a ser mucho más turbio por lo cual este será nuestro objeto de control y análisis por presentar peores condiciones que afecten su consumo.

**Tabla 2-5 Caracterización fisicoquímico del agua Sector Captación Semana 1**

Semana 1 agua cruda sector captación			
Época Seca			
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible
pH	-----	6,57	6,5-8,5
Conductividad	uSiems/cm	131	<1250
Turbiedad	UNT	1,2	5
Cloruros	mg/L	4,3	250
Dureza	mg/L	352	300
Calcio	mg/L	112	70
Magnesio	mg/L	17,5	30-50
Alcalinidad	mg/L	80	250-300
Bicarbonatos	mg/L	81,6	250-300
Nitratos	mg/L	0,800	50
Sulfatos	mg/L	265,5	200
Hierro	mg/L	0,112	0,3
Fosfatos	mg/L	0,76	<0,3
Sólidos Disueltos	mg/L	81	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 2-6 Caracterización fisicoquímico del agua tratada Semana 1**

Semana 1 agua tratada			
-----------------------	--	--	--

Época Seca			
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible
pH	-----	6,81	6,5-8,5
Conductividad	uSiems/cm	125	<1250
Turbiedad	UNT	0,9	5
Cloruros	mg/L	1,4	250
Dureza	mg/L	336	300
Calcio	mg/L	105,6	70
Magnesio	mg/L	17,5	30-50
Alcalinidad	mg/L	120	250-300
Bicarbonatos	mg/L	122,4	250-300
Nitratos	mg/L	0,2	50
Sulfatos	mg/L	281,4	200
Hierro	mg/L	0,028	0,3
Fosfatos	mg/L	0,587	<0,3
Sólidos Disueltos	mg/L	77,6	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 2-7 Caracterización fisicoquímico del agua Sector Captación Semana 2**

Semana 2 agua cruda sector captación Época Seca			
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible
pH	-----	7,42	6,5-8,5

Color	Unidades Aparente	Color	4	15
Conductividad	uSiems/cm		563	<1250
Turbiedad	UNT		1,3	5
Cloruros	mg/L		4,3	250
Dureza	mg/L		300	300
Calcio	mg/L		92,8	70
Magnesio	mg/L		16,5	30-50
Alcalinidad	mg/L		220	250-300
Bicarbonatos	mg/L		224,4	250-300
Nitratos	mg/L		0,01	50
Nitritos	mg/L		0,01	0,2
Amonios	mg/L		0,08	1,0
Sulfatos	mg/L		300	200
Hierro	mg/L		0,07	0,3
Fosfatos	mg/L		0,23	<0,3
Sólidos Totales	mg/L		240	1000
Sólidos Disueltos	mg/L		349,1	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 2-8 Caracterización fisicoquímico del agua Sector Captación Semana 3**

	Semana 3 agua cruda sector captación			
	Época Seca			
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible	
pH	-----	7,1	6,5-8,5	
Color	Unidades Aparente	Color	2	15

Conductividad	uSiems/cm	540	<1250
Turbiedad	UNT	1,3	5
Cloruros	mg/L	5,7	250
Dureza	mg/L	288	300
Calcio	mg/L	89,6	70
Magnesio	mg/L	15,6	30-50
Alcalinidad	mg/L	40	250-300
Bicarbonatos	mg/L	40,8	250-300
Nitratos	mg/L	0,01	50
Sulfatos	mg/L	310	200
Sólidos Disueltos	mg/L	334	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 2-9 Caracterización fisicoquímico del agua Sector Captación Semana 4**

	Semana 4 agua cruda sector captación		
	Época Invernal		
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible
pH	-----	6,33	6,5-8,5
Color	Unidades Color Aparente	80	15
Conductividad	uSiems/cm	280	<1250

Turbiedad	UNT	6,5	5
Cloruros	mg/L	4,3	250
Dureza	mg/L	256	300
Calcio	mg/L	80	70
Magnesio	mg/L	13,6	30-50
Alcalinidad	mg/L	40	250-300
Bicarbonatos	mg/L	40,8	250-300
Nitratos	mg/L	0,01	50
Nitritos	mg/L	0,02	0,2
Amonios	mg/L	0,01	1,0
Sulfatos	mg/L	148	200
Hierro	mg/L	0,30	0,3
Fosfatos	mg/L	0,24	<0,3
Sólidos Totales	mg/L	380	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	173,6	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### 2.3.2.2 Prueba de Jarras

La Prueba de Jarras se realizó en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad Ciencias, se utilizó Policloruro de Aluminio para flocular material en suspensión del agua.

Se dio una dosificación del Policloruro de Aluminio de 1g diluido en 100ml de agua destilada así como otra concentración de 2g diluido en 100ml, con las pruebas de jarras se pudo determinar que tanto para época seca como para época invernal la dosificación ideal donde el agua entra en todos los parámetro de norma es de 1g diluido en 100ml.

Por lo tanto esta es la dosificación adecuada y recomendada para la etapa de floculación dentro de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal Tisaleo.

**Tabla 2-10 Prueba de Jarras Turbidez 1,2 Primera Semana**

Turbiedad 1,2			
Concentración ppm	Volumen Ml	Turbiedad NTU	Dureza mg/L
10000	5	6,7	296
	15	8,9	232
	20	9,3	224
20000	5	11,5	200
	15	8,7	184
	20	7,3	176

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 2-11 Prueba de Jarras Turbidez 1,3 Segunda Semana**

Turbiedad 1,3			
Concentración ppm	Volumen ml	Turbiedad NTU	Dureza mg/L

10000	10	4,3	224
	15	7,8	216
	20	8,3	216
20000	10	6,7	200
	15	8,9	184
	20	9,3	192

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 2-12 Prueba de Jarras Turbidez 1,3 Tercera Semana**

Turbiedad 1,3			
Concentración	Volumen	Turbiedad	Dureza
ppm	MI	NTU	mg/L
10000	10	2,6	232
	15	8,7	240
	20	9,3	264
20000	10	7,1	184
	15	8,4	192
	20	9,6	208

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



**Tabla 2-13 Prueba de Jarras Turbidez 6,33 Cuarta Semana**

Turbiedad 6,33			
Concentración ppm	Volumen ml	Turbiedad NTU	Dureza mg/L
10000	10	2,5	300
	15	5,7	280
	20	6,8	292
20000	10	5,7	304
	15	6,3	300
	20	7,2	284

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## CAPÍTULO III

### 3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.1 Cálculos

Los cálculos de Ingeniería realizados son un complemento a la información técnica de la plana, así como de comprobación y de verificación para el funcionamiento óptimo del resto de las etapas.

Al conocer la problemática existente en la etapa de floculación en la Planta de Tratamiento de Agua del GAD Municipal Cantón Tisaleo se procedió a realizar los respectivos cálculos para mejorar la calidad de agua que entregara el Cantón.

Se tomo en cuenta el caudal de diseño proporcionado por el personal de Agua Potable del GAD Municipal Cantón Tisaleo el cual es de 14 L/s

##### *3.1.1 Dimensionamiento de Floculador de flujo Horizontal*

Procediendo de los antecedentes de que la calidad del agua mejorará con la adición de floculantes se procedió a realizar los cálculos de Floculador de Flujo Horizontal en todos sus parámetros.

##### *3.1.1.1 Cálculo del Área en función de la Altura*

##### **Ecuación 3-1**

$$A = L \times Hu$$

Donde:

L= Largo del canal

Hu= Altura del canal

### **Primera etapa**

Hu: 0.67 m

L: 3.15 m

$$A1 = 3.15 \times 0.67$$

$$A1 = 2.11\text{m}^2$$

### **Segunda etapa**

Hu: 0.81 m

L: 3.15 m

$$A2 = 3.15 \times 0.81$$

$$A2 = 2.55 \text{ m}^2$$

### **Tercera etapa**

Hu: 0.91 m

L: 3.15 m

$$A3 = 3.15 \times 0.91$$

$$A3 = 2.86 \text{ m}^2$$

#### **3.1.1.2 Velocidad de Flujo**

#### **Ecuación 3-2**

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

Datos:

Q: Caudal de agua:  $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A: Área.

### Primera etapa

$$v_1 = \frac{0.014}{2.11}$$

$$v_1 = 6.63 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

### Segunda etapa

$$v_2 = \frac{0.014}{2.55}$$

$$v_2 = 5.49 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

### Tercera etapa

$$v_3 = \frac{0.014}{2.86}$$

$$v_3 = 4.89 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

#### 3.1.1.3 Longitud del canal

#### Ecuación 3-3

$$L_c = vxTx60$$

Datos:

T: Tiempo de retención: 30 min. (Valor asumido).

V: Velocidad del fluido:

### Primera etapa

$$Lc1 = 6.63 \times 10^{-3} \times 30 \times 60$$

$$Lc1 = 11.93 \text{ m}$$

### Segunda etapa

$$Lc2 = 5.49 \times 10^{-3} \times 30 \times 60$$

$$Lc2 = 9,88 \text{ m}$$

### Tercera etapa

$$Lc3 = 4,89 \times 10^{-3} \times 30 \times 60$$

$$Lc3 = 8,80 \text{ m}$$

#### 3.1.1.4 Longitud del Flocculador

##### Ecuación 3-4

$$Lf = (Nc \cdot \alpha) + (Nc - 1) e$$

Datos:

Nc: Número de canales

$\alpha$ : Ancho de los canales de floculación

e: Espesor de las láminas 0.10 m

### Primera etapa

$$Nc = 11$$

$$\alpha = 0.25$$

$$Lf1 = (11 \times 0.25) + (11 - 1) \times 0.10$$

$$Lf1 = 7.25 \text{ m}$$

### **Segunda etapa**

$$Nc = 8$$

$$a = 0.30$$

$$Lf2 = (8 \times 0.30) + (8 - 1) \times 0.10$$

$$Lf2 = 8.2 \text{ m}$$

### **Tercera etapa**

$$Nc = 6$$

$$a = 0.4$$

$$Lf3 = (6 \times 0.40) + (6 - 1) \times 0.10$$

$$Lf3 = 10.5 \text{ m}$$

#### ***3.1.1.5 Longitud total del floculador***

##### **Ecuación 3-5**

$$***Lft = L1 + L2 + L3***$$

$$Lft = 7.25 + 8.2 + 10.5$$

$$Lft = 25.95 \cong 26\text{m}$$

#### ***3.1.1.6 Perímetro mojado de las secciones del tramo***

### **Ecuación 3-6**

$$P = 2Hu + a$$

Datos:

Hu: Altura en la unidad

$a$ : Ancho de los canales de floculación

#### **Primera etapa**

$$Hu_1 = 0.67$$

$$a = 0.25$$

$$P1 = (2 \times 0.67) + 0.25$$

$$P1 = 1.59 \text{ m}$$

#### **Segunda etapa**

$$Hu_2 = 0.81$$

$$a = 0.30$$

$$P2 = (2 \times 0.81) + 0.30$$

$$P2 = 1.92 \text{ m}$$

#### **Tercera etapa**

$$Hu_2 = 0.91$$

$$a = 0.40$$

$$P3 = (2 \times 0.91) + 0.40$$

$$P3 = 2.22 \text{ m}$$

### 3.1.1.7 Área de canales de floculador

#### Ecuación 3-7

$$Ac = l \times a$$

Datos:

l: Largo del canal

a: Ancho

#### Primera etapa

$$a = 0.25$$

$$Ac1 = 3 \times 0.25$$

$$Ac1 = 0.75 \text{ m}^2$$

#### Segunda etapa

$$a = 0.30$$

$$Ac2 = 3 \times 0.30$$

$$Ac2 = 0.90 \text{ m}^2$$

#### Tercera etapa

$$a = 0.40$$

$$Ac3 = 3 \times 0.40$$

$$Ac3 = 1.2 \text{ m}^2$$



### 3.1.1.8 Radio medio hidráulico

#### Ecuación 3-8

$$r = \frac{Ac}{P}$$

Datos:

Ac: Área de los canales del floculador

P: Perímetro mojado de las secciones

#### Primera etapa

$$Ac1 = 0.75$$

$$P = 1.59$$

$$r1 = \frac{0.75}{1.59}$$

$$r1 = 0.47 \text{ m}$$

#### Segunda etapa

$$Ac2 = 0.90$$

$$P = 1.92$$

$$r2 = \frac{0.90}{1.92}$$

$$r2 = 0.468 \text{ m}$$

### **Tercera etapa**

$$Ac_3 = 1.2$$

$$P = 2.22$$

$$r^3 = \frac{1.2}{2.22}$$

$$r^3 = 0.54 \text{ m}$$

#### **3.1.1.9 Perdida de carga continúa en los canales**

##### **Ecuación 3-9**

$$h_f = \left[ \frac{(n \times v)^2}{r^{4/3}} \right] * L_c$$

Datos:

$v$ : Velocidad del fluido

$n$  : coeficiente de Manning: 0.011 (Tabla 3-1 Coeficiente de Manning)

$r$ : radio medio hidráulico

$L_c$ : Longitud de canales

### **Primera etapa**

$$v = 6.63 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$L_c = 11.93$$

$$r = 0.47$$

$$h_{f1} = \left[ \frac{(0.011 * 6.63 \times 10^{-3})^2}{0.47^{4/3}} \right] * 11.93$$

$$h_{f1} = 1.73 \times 10^{-7} m$$

### Segunda etapa

$$v = 5.49 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$L_c = 9.88$$

$$r = 0.468$$

$$h_{f2} = \left[ \frac{(0.011 * 5.49 \times 10^{-3})^2}{0.468^{4/3}} \right] * 9.88$$

$$h_{f2} = 9.83 \times 10^{-8} m$$

### Tercera etapa

$$v = 4.89 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$L_c = 8.80$$

$$r = 0.54$$

$$h_{f3} = \left[ \frac{(0.011 * 4.89 \times 10^{-3})^2}{0.54^{4/3}} \right] * 8.80$$

$$h_{f2} = 4.71 \times 10^{-8} m$$

#### 3.1.1.10 Perdida de carga continúa en las vueltas

### Ecuación 3-10

$$h = \frac{K(N_c - 1)v^2}{2g}$$

Datos:

K: Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas: 2

v: Velocidad del fluido

N<sub>c</sub>: Número de canales

g: Aceleración de la gravedad: 9.8 m/s<sup>2</sup>.

#### Primera etapa

N<sub>c</sub> = 11

v = 6.63 × 10<sup>-3</sup> m/s

$$h_1 = \frac{2 \times (6.63 \times 10^{-3})^2 \times (11 - 1)}{2 \times 9.8}$$

$$h_1 = 4.485 \times 10^{-5} \text{ m}$$

#### Segunda etapa

N<sub>c</sub> = 8

v = 5.49 × 10<sup>-3</sup> m/s

$$h_2 = \frac{2 \times (5.49 \times 10^{-3})^2 \times (8 - 1)}{2 \times 9.8}$$

$$h_2 = 2.152 \times 10^{-5} \text{ m}$$

#### Tercera etapa

N<sub>c</sub> = 6

$$v = 4.89 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$h_3 = \frac{2 \times (4.89 \times 10^{-3})^2 \times (6 - 1)}{2 \times 9.8}$$

$$h_3 = 1.22 \times 10^{-5} \text{ m}$$

### 3.1.1.11 *Perdida de carga total en el último tramo*

#### **Ecuación 3-11**

$$H = h_f + h$$

Datos:

$h_f$ : pérdida de la carga en los canales

$h$ : Pérdida de carga en las vueltas

$$H = 4.71 \times 10^{-8} + 1.22 \times 10^{-5}$$

$$H = 1.224 \times 10^{-5} \text{ m}$$

### 3.1.1.12 *Gradiente de velocidad*

#### **Ecuación 3-12**

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \sqrt{\frac{H}{T}}$$

Datos:

Temperatura del agua de 15°C.

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$  : Relación peso específico y viscosidad absoluta: 2 920.010 (Tabla 1 2 Relación Temperatura y relación peso específico y viscosidad absoluta)

H: Pérdida de carga total:  $1.224 \times 10^{-5}$  m.

T: Tiempo de retención: 30 min.

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

$$G = 2920.0100 \sqrt{\frac{1.224 \times 10^{-5}}{30 \times 60}}$$

$$G = 0.240 \text{ s}^{-1}$$

### **3.1.2 Dimensionamiento de Sedimentador**

#### **3.1.2.1 Carga Superficial de Sedimentación**

#### **Ecuación 3-13**

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

Datos:

As: Área del Sedimentador

Q: Caudal de diseño:  $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$ .

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

$$CS = \frac{0.049}{8 * 3 * 2}$$

$$CS = 2.91 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$$

$$CS = 25.14 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$$

### 3.1.2.2 *Velocidad promedio de flujo entre placas*

#### **Ecuación 3-14**

$$v_o = \frac{Q}{As \times \text{Sen}\theta}$$

Datos:

Q: Caudal de diseño: 0.014 m<sup>3</sup>/s.

As: Área de sedimentación: 48 m<sup>2</sup>.

Θ: Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa: 60° respecto a la horizontal.

$$v_o = \frac{0.014}{48 \times \text{Sen}60^\circ}$$

$$v_o = 3.367 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

### 3.1.2.3 Longitud relativa del sedimentador

#### Ecuación 3-15

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

Datos:

lr: Longitud recorrida a través del elemento (placa): 8 m.

dp: Ancho del conducto o espaciamiento entre placas: 0.53 m

$$Lr = \frac{8}{0.53}$$

$$Lr = 15.09 \text{ m}$$

### 3.1.2.4 Número de Reynolds

#### Ecuación 3-16

$$Re = \frac{v_o \times dp}{\nu}$$

Datos:

Se trabaja con una temperatura del agua de 15°C

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas:  $3.367 \times 10^{-4}$  m/s

dp: Ancho del conducto o espaciamiento entre placas: 0.53

$\nu$ : Viscosidad cinemática:  $1.139 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s. (Tabla 3-2 Viscosidad Cinemática en función a Temperaturas)

$$Re = \frac{3.367 \times 10^{-4} \times 0.53}{1.139 \times 10^{-6}}$$

~ 87 ~



$$Re = 156.67$$

### 3.1.2.5 Longitud de transición

#### Ecuación 3-17

$$L' = 0.013 \times Re$$

Datos:

Re: Número de Reynolds: 156.67

$$L' = 0.013 \times 156.67$$

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

### 3.1.2.6 Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición

#### Ecuación 3-18

$$L_{cr} = Lr - L'$$

Datos:

Lr: Longitud relativa del sedimentador de alta tasa: 15.09 m

L': Longitud de transición: 2.03 m

$$L_{cr} = 15.09 - 2.03$$

$$L_{cr} = 13.06 \text{ m}$$

### 3.1.2.7 Velocidad de sedimentación crítica

#### Ecuación 3-19

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

Datos:

Sc: Parámetro característico; igual a 1.0 para sedimentadores de placas paralelas.

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas: 25.14 m/día.

$\Theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa: 60° respecto a la horizontal.

$L_{cr}$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa: 13.06 m

$$v_{sc} = \frac{1 \times 25.14}{\text{Sen}60^\circ + (13.06 \times \text{Cos}60^\circ)}$$

$$v_{sc} = 3.399 \text{ m/día}$$

$$v_{sc} = 3.93 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

### 3.1.2.8 *Tiempo de retención en las placas*

#### **Ecuación 3-20**

$$t_{rp} = \frac{lr}{v_o}$$

Datos:

lr : Longitud recorrida a través del elemento: 8

$v_o$ : Velocidad promedio del fluido en el sedimentador:  $3.367 \times 10^{-4}$  m/s

$$t_{rp} = \frac{8}{3.367 \times 10^{-4}}$$

$$t_{rp} = 23760.02 \text{ s}$$

$$t_{rp} = 396 \text{ min}$$

### ***3.1.2.9 Tiempo de retención en el tanque de sedimentación***

#### **Ecuación 3-21**

$$ts = \frac{V}{Q} = \frac{As \times Hs}{Q}$$

Datos:

Q: Caudal de diseño

Hs: Altura total

As: Área de sedimentación

$$ts = \frac{48 \times 2.61}{0.014}$$

$$ts = 8948.57 \text{ s}$$

$$t_s = 149.14 \text{ min}$$

### **3.1.2.10 Volumen del sedimentador**

#### **Ecuación 3-22**

$$Vd = Ls \times a_s \times Hs$$

Datos:

Ls: longitud del sedimentador: 8 m.

$a_s$ : ancho del sedimentador: 3 m.

Hs: altura del sedimentador: 2.61 m.

$$Vd = 8 \times 3 \times 2.61$$

$$Vd = 62.64 \text{ m}^3$$

### **3.1.3 Dimensionamiento de Filtro**

#### **3.1.3.1 Superficie filtrante requerida**

#### **Ecuación 3-23**

$$Sf = \frac{Q}{Tf}$$

Datos:

Q: caudal de diseño: 50.4 m<sup>3</sup>/h

Tf: Tasa de filtración (0.400 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h)

$$Sf = \frac{50.4}{0.400}$$

$$Sf = 126 \text{ m}^2$$

### **3.1.3.2 Área de filtración**

**Ecuación 3-24**

$$Af = \frac{Sf}{ni}$$

Datos:

Sf: Superficie filtrante requerida: 126 m<sup>2</sup>

ni: número de filtros: 3 unidades.

$$Af = \frac{126}{3}$$

$$Af = 42 \text{ m}^2$$

### **3.1.3.3 Determinación del número de módulos de filtración**

**Ecuación 3-25**

$$nf = 0.5 \times \sqrt[3]{Af}$$

Datos:

$A_f$ : Área filtrante: 42 m<sup>2</sup>.

$$Nf = 0.5 \times \sqrt[3]{42}$$

$$nf = 1.73 \approx 2 \text{ unidades}$$

**3.1.3.4 Determinación del área de cada unidad**

**Ecuación 3-26**

$$A_i = \frac{Af}{nf}$$

Datos:

$A_f$ : Área de filtración: 42 m<sup>2</sup>.

$N_f$  : Número de filtros calculado: 2 unidades.

$$A_i = \frac{147.340}{2}$$

$$A_i = 21 \text{ m}^2$$

**3.1.3.5 Determinación del área de filtración de la unidad**

**Ecuación 3-27**

$$a_f = \left( \frac{2 \times nf \times A_i}{2 \times nf} \right)^{0.5}$$

Datos:

Ai: Área de la unidad: 21 m<sup>2</sup>.

Nf: Número total de unidades de filtración: 2

$$a_f = \left( \frac{2 \times 2 \times 21}{2 \times 2} \right)^{0.5}$$

$$a_f = 4.582 \approx 5 \text{ m}$$

### 3.1.3.6 Cálculo para el ancho de la unidad

#### Ecuación 3-28

$$b_f = \left[ \frac{(nf + 1) \times Ai}{2 \times nf} \right]^{0.5}$$

Datos:

Ai: Área de unidad filtrante: 21 m<sup>2</sup>.

Nf: Número total de unidades de filtración: 2

$$b_f = \left[ \frac{(2 + 1) \times 21}{2 \times 2} \right]^{0.5}$$

$$b_f = 3.968 \approx 4 \text{ m}$$

### 3.1.3.7 *Cálculo de la longitud total de pared*

#### **Ecuación 3-29**

$$Lt_p = (2 \times b_f \times nf) + a_f \times (nf + 1)$$

Datos:

nf: Número total de unidades de filtración: 2

b<sub>f</sub>: Ancho de la unidad: 4 m.

a<sub>f</sub>: área de filtración : 5 m.

$$Lt_p = (2 \times 4 \times 2) + 5 \times (2 + 1)$$

$$Lt_p = 31 \text{ m}$$

### 3.1.3.8 *Cálculo de longitud total mínima de pared*

#### **Ecuación 3-30**

$$Lm = 2 \times a_f \times (nf + 1)$$

Datos:

nf: Número total de unidades de filtración: 2

a<sub>f</sub>: Longitud de pared común por unidad: 5 m.



$$Lm = 2 \times 5 \times (2 + 1)$$

$$Lm = 30 \text{ m}$$

### 3.1.3.9 Tubería de entrada al filtro

#### Ecuación 3-31

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{vt * \pi}}$$

Datos:

Q: Caudal de diseño para cada filtro (0.014 m<sup>3</sup>/s)

vt: Velocidad en la tubería (1m/s) (Tabla 3-3 Velocidades de afluentes y efluentes dentro de tuberías)

$$D = \sqrt{\frac{4 (0.014)}{1 * \pi}}$$

$$D = 0.133 \text{ m}$$

$$D = 133.5 \text{ mm}$$

### 3.1.3.10 Área de cada orificio

### Ecuación 3-32

$$A_o = \frac{\pi * D_l^2}{4}$$

Datos:

$D_l$ : Diámetro de la tubería: 9mm (Tabla 3-4 Parámetros de laterales en filtros)

$$A_o = \frac{\pi * (0.009)^2}{4}$$

$$A_o = 6.36 \times 10^{-5} \text{m}^2$$

#### 3.1.3.11 Caudal que ingresa a cada orificio

### Ecuación 3-33

$$Q_o = A_o * v_{or}$$

Datos:

$v_{or}$ : Velocidad en el orificio: 3 m/s (Tabla 3-5 Parámetros de diseño de laterales)

$A_o$ : Área de cada orificio:  $6.36 \times 10^{-5} \text{m}^2$ .

$$Q_o = 6.36 \times 10^{-5} * 3$$

$$Q_o = 1.908 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$$

#### 3.1.3.12 Número de laterales

### Ecuación 3-34

$$\# \text{ Laterales} = nl \times \frac{L_{tp}}{el}$$

Datos

$L_{tp}$ : Longitud total del filtro: 31 m

$el$ : Separación entre laterales: 1m (Tabla 1-9 Parámetros de diseño de laterales)

$nl$ : número de laterales por lado: 2

$$\# \text{ Laterales} = 2 * \frac{31}{1}$$

$$\# \text{ Laterales} = 62$$

#### 3.1.3.13 Separación entre orificios

### Ecuación 3-35

$$\# \text{ orificios/ Laterales} = 2 * \frac{Ll}{e_o}$$

Datos:

$Ll$ : Longitud de cada lateral: 2.25 m

$e_o$ : Espacio entre orificios: 0.2

$$\# \text{ orificios/ Laterales} = 2 * \frac{2.25}{0.2}$$

$$\# \text{orificios/ Lateral} = 22.5$$

#### **3.1.3.14 Número total de orificios**

##### **Ecuación 3-36**

$$\# \text{total de orificios} = \# \text{laterales} * \# \text{orificios/Laterales}$$

Datos:

$$\# \text{ Laterales} = 62$$

$$\# \text{orificios/ Lateral} = 22.5$$

$$\# \text{total de orificios} = 62 * 22.5$$

$$\# \text{total de orificios} = 1395$$

#### **3.1.3.15 Área total de orificios**

##### **Ecuación 3-37**

$$A_{to} = A_o * \# \text{total de orificios}$$

Datos:

$$A_o: \text{Área de cada orificio: } 6.36 \times 10^{-5} \text{m}^2.$$

$$\# \text{total de orificios: } 1395 \text{ orificios.}$$

$$A_{to} = (6.36 \times 10^{-5}) \times 1395$$

$$A_{to} = 0.088 \text{ m}^2$$

### 3.1.3.16 Comprobación de cumplimiento con los parámetros (0,0015-0,005)

#### Ecuación 3-38

$$\frac{A_{to}}{A_f}$$

Datos:

A<sub>to</sub>: Área total de orificios: 0.088 m<sup>2</sup>.

A<sub>f</sub>: Área de filtración: 42 m<sup>2</sup>.

$$\frac{A_{to}}{A_f} = \frac{0.088}{42}$$

$$\frac{A_{to}}{A_f} = 0.0021 \text{ cumple}$$

### 3.1.3.17 Velocidad optima de lavado

#### Ecuación 3-39

$$v_l = C_u * T_e$$

Datos:

C<sub>u</sub>= Coeficiente de uniformidad 1.5 (Tabla 3-6 Parámetros de Diseño de Filtros de Arena)

T<sub>e</sub>= Tamaño efectivo de arena 0.5 (Tabla 3-7 Parámetros de Diseño de Filtros de Arena)

$$v_l = 0.5 * 1.5$$

$$\sim 100 \sim$$

$$v_l = 0.75 \text{ m/min}$$

### 3.1.3.18 Cantidad de agua para lavado

#### Ecuación 3-40

$$V_l = v_l * A_f * t$$

Datos:

$v_l$  = velocidad optima de lavado 0.75m/min

$A_f$  = Área de filtración 42 m<sup>2</sup>

$t$  = tiempo óptimo de lavado 10 min

$$V_l = 0.75 * 10 * 42$$

$$V_l = 315 \text{ m}^3$$

### 3.1.4 Determinación del Agente Coagulante

#### 3.1.4.1 Cálculo de dosificación del PAC Época Invernal

Mediante una relación se calcula el aforo de solución de PAC, además indica si se realiza una dilución o no del químico.

### Ecuación 3-41

$$x = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

Donde:

$Q$ =Caudal ( $m^3/h$ )

$C$ = Concentración de acuerdo al test de jarras

$P$ = Porcentaje de dilución

$\rho$ = Densidad del PAC (Kg/L)

DATOS:

$Q=50.4 m^3/h$

$C= 10 g/L$

$P= 1$

$\rho= 1.24 g/mL$

$$x = \frac{50.4 \frac{m^3}{h} * \left( 10000 \frac{mg}{L} * \frac{1g}{1000mg} \right)}{60 * 1 * 1.24 \frac{g}{ml} * \frac{1000ml}{L}}$$

$$x = 6.72 \times 10^{-3} m^3/h$$

$$x = 6.72 \times 10^{-3} \frac{m^3}{h} * \frac{1000L}{m^3} * \frac{1000ml}{L} * \frac{h}{60 min}$$

$$x = 112 ml/min$$

$$x = 112 \frac{\text{ml}}{\text{min}} * \frac{\text{L}}{1000\text{ml}} * \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} * \frac{24\text{h}}{\text{día}}$$

$$x = 161 \text{ L/día}$$

### 3.1.4.2 Cálculo de la dosificación del PAC Época Verano

#### Ecuación 3-42

$$x = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

Donde:

$Q$ =Caudal ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$C$ = Concentración de acuerdo al test de jarras

$P$ = Porcentaje de dilución

$\rho$ = Densidad del PAC ( $\text{Kg/L}$ )

DATOS:

$Q=50.4 \text{ m}^3/\text{h}$

$C= 3 \text{ g/L}$

$P= 1$

$\rho= 1.24 \text{ g/mL}$



$$x = \frac{50.4 \frac{m^3}{h} * \left( 3000 \frac{mg}{L} * \frac{1g}{1000mg} \right)}{60 * 1 * 1.24 \frac{g}{ml} * \frac{1000ml}{L}}$$

$$x = 2.03 \times 10^{-3} m^3/h$$

$$x = 2.03 \times 10^{-3} \frac{m^3}{h} * \frac{1000L}{m^3} * \frac{1000ml}{L} * \frac{h}{60 min}$$

$$x = 33.87 ml/min$$

$$x = 33.87 \frac{ml}{min} * \frac{L}{1000ml} * \frac{60 min}{h} * \frac{24h}{día}$$

$$x = 48.77 L/día$$

### 3.1.5 Porcentaje de Rendimiento

Turbiedad

$$6.5 \longrightarrow 100$$

$$2.5 \longrightarrow x\%$$

$$x\% = 38.46$$

Rendimiento de la planta = 100 - x%

Rendimiento de la planta = 61.53

Color

$$80 \longrightarrow 100$$

$$\overset{-s.}{\longrightarrow} x\%$$

$$x\% = 3.75$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 100 - x\%$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 96.25$$

Dureza

$$352 \longrightarrow 100$$

$$160 \longrightarrow x\%$$

$$x\% = 45.45$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 100 - x\%$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 54.54$$

Calcio

$$112 \longrightarrow 100$$

$$41.6 \longrightarrow x\%$$

$$x\% = 37.14$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 100 - x\%$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 62.85$$

Sulfatos

$$310 \longrightarrow 100$$

$$104 \longrightarrow x\%$$

$$x\% = 33.54$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 100 - x\%$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 66.45$$

Fosfatos

$$0.76 \longrightarrow 100$$

$$0.23 \longrightarrow x\%$$

$$x\% = 30.26$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 100 - x\%$$

$$\text{Rendimiento de la planta} = 69.73$$

## 3.2 Resultados

### 3.2.1 Resultados Floculador Flujo Horizontal

**Tabla 3-8 Resultados Floculador Flujo Horizontal**

Parámetro		Símbolo	Valor	Unidad
Área en función de altura	Primera Etapa	A1	2.11	m <sup>2</sup>
	Segunda Etapa	A2	2.55	
	Tercera Etapa	A3	2.86	
Velocidad de Flujo	Primera Etapa	v1	6.63x10 <sup>-3</sup>	m/s
	Segunda Etapa	v2	5.49x10 <sup>-3</sup>	
	Tercera Etapa	v3	4.89x10 <sup>-3</sup>	
Longitud del Canal	Primera Etapa	Lc1	11.93	m
	Segunda Etapa	Lc2	9.88	

	Etapa			
	Tercera Etapa	Lc3	8.80	
Longitud del Floculador	Primera Etapa	Lf1	7.25	m
	Segunda Etapa	Lf2	8.20	
	Tercera Etapa	Lf3	10.5	
Longitud Total del Floculador		Lft	26	m
Perímetro mojado de las secciones del tramo	Primera Etapa	P1	1.59	m
	Segunda Etapa	P2	1.92	
	Tercera Etapa	P3	2.22	
Área de Canales de Floculador	Primera Etapa	Ac1	0.75	m <sup>2</sup>
	Segunda Etapa	Ac2	0.90	
	Tercera Etapa	Ac3	1.20	
Radio Medio Hidráulico	Primera Etapa	r1	0.47	m
	Segunda Etapa	r2	0.468	
	Tercera Etapa	r3	0.54	
Pérdida de carga continúa en los	Primera Etapa	hf1	1.73x10 <sup>-7</sup>	m
	Segunda Etapa	hf2	9.83x10 <sup>-8</sup>	

canales	Tercera Etapa	$h_{f3}$	$4.71 \times 10^{-8}$	
Perdida de carga continúa en las vueltas	Primera Etapa	$h_1$	$4.485 \times 10^{-5}$	m
	Segunda Etapa	$h_2$	$2.152 \times 10^{-5}$	
	Tercera Etapa	$h_3$	$1.22 \times 10^{-5}$	
Perdida de carga total en el último tramo		$H$	$1.224 \times 10^{-5}$	m
Gradiente de velocidad		$G$	0.240	$s^{-1}$

Fuente: Autor

### 3.2.2 Resultados Sedimentación

**Tabla 3-9 Resultados Sedimentación**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Carga Superficial del Sedimentador	CS	25.14	$m^3/m^2 \text{ día}$
Velocidad promedio de flujo entre placas	$v_o$	$3.367 \times 10^{-4}$	m/s
Longitud Relativa del Sedimentador	Lr	15.09	m

Número de Reynolds	Re	156.67	
Longitud de Transición	L`	2.03	m
Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición	Lcr	13.06	m
Velocidad de Sedimentación Crítica	vsc	3.399	m/día
Tiempo de Retención en las Placas	trp	396	min
Tiempo de Retención en el tanque de Sedimentación	ts	149.14	min
Volumen del Sedimentador	Vd	62.64	m <sup>3</sup>

Fuente: Autor

### 3.2.3 Resultados Filtros

**Tabla 3-10 Resultados Filtros**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Superficie Filtrante Requerida	Sf	126	m <sup>2</sup>
Área de Filtración	Af	42	m <sup>2</sup>
Determinación del número de módulos de filtración	nf	2	unidades

Determinación de área de cada unidad	$A_i$	21	$m^2$
Determinación del área de filtración de la unidad	$a_f$	5	m
Ancho de la unidad	$b_f$	4	m
Longitud Total de la Pared	$L_{tp}$	31	m
Longitud Total Mínima de la Pared	$L_m$	30	m
Tubería de entrada al filtro	D	133.5	mm
Área de cada Orificio	$A_o$	$6.36 \times 10^{-5}$	$m^2$
Caudal que Ingresa a cada Orificio	$Q_o$	$1.908 \times 10^{-5}$	$m^3/s$
Número de Laterales	# Laterales	62	
Separación entre Orificios	#orificios/ Laterales	22.5	
Número Total de Orificios	#total de orificios	1395	
Área Total de Orificios	$A_{to}$	0.088	$m^2$
Comprobación de cumplimiento con los parámetros	$A_{to}/A_f$	0.0021	
Velocidad Óptima de Lavado	$v_l$	0.75	m/min
Cantidad de Agua para Lavado	$V_l$	315	$m^3$

Fuente: Autor

### 3.2.4 Resultados Dosificación Agente Coagulante

**Tabla 3-11 Resultado Dosificación Agente Coagulante**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Dosificación Agente Coagulante	x	112	ml/min
		161	L/día

Fuente: Autor

### 3.2.5 Resultado Optimización de Agua Potable realizado con Prueba de Jarras

**Tabla 3-12 Resultados Optimización de Agua Potable realizado con Prueba de Jarras**

Determinación	Unidades	Resultado	Limite Permissible
Color	Und Co/Pt	3	< 15
pH	Unid	7.20	6.5-8.5
Conductividad	$\mu\text{Siems}/\text{cm}$	310	< 1250
Turbiedad	UNT	2.5	5
Cloruros	mg/L	17.0	250
Dureza	mg/L	160.0	200
Calcio	mg/L	41.6	70
Magnesio	mg/L	13.6	30-50
Alcalinidad	mg/L	40.0	250-300
Bicarbonatos	mg/L	40.8	250-300
Sulfatos	mg/L	104.0	200
Amonios	mg/L	0.010	< 0.50



Nitritos	mg/L	0.01	0.01
Nitros	mg/L	0.01	< 40
Hierro	mg/L	0.220	0.30
Fosfatos	mg/L	0.230	< 0.30
Sólidos Totales	mg/L	240.0	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	192.2	500

Fuente: Autor

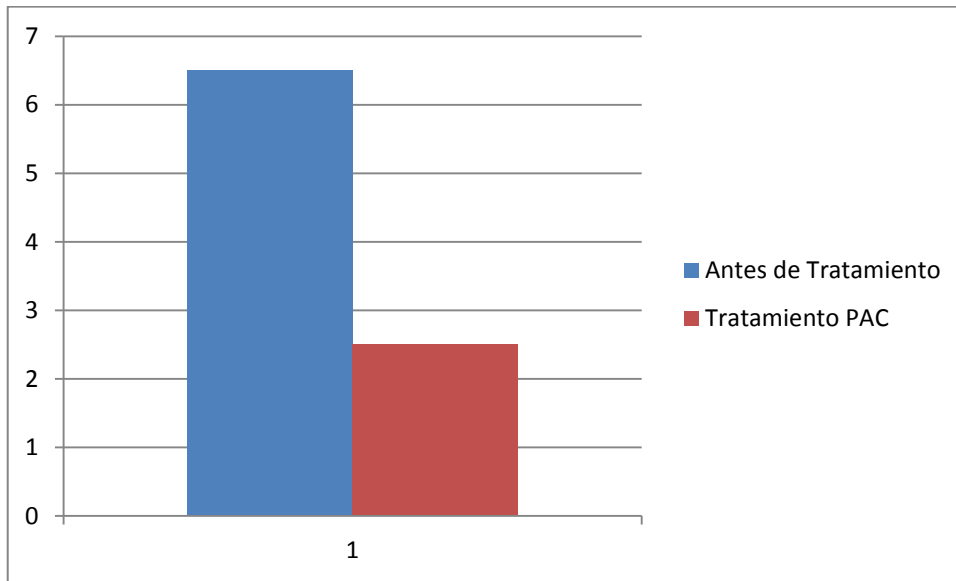
### 3.2.6 *Porcentaje de Rendimiento*

**Tabla 3-13 Porcentaje de Rendimiento**

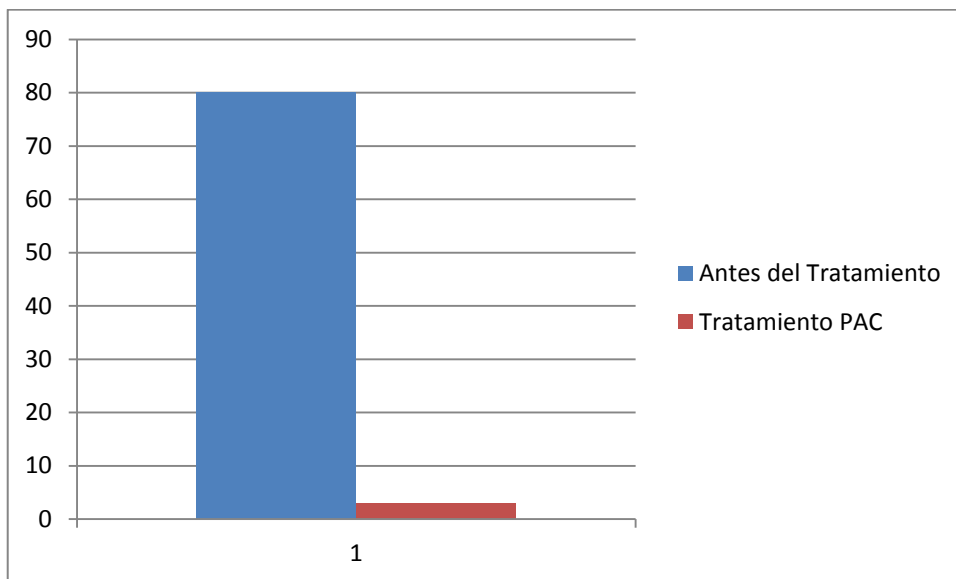
Parámetro	Antes de Tratamiento	Después de Tratamiento	Porcentaje de Rendimiento de la Planta (%)
Turbiedad	6.5 UNT	2.5 UNT	61.53
Color	80	3	96.25
Dureza	352 mg/L	160 mg/L	54.55
Calcio	112 mg/L	41.6 mg/L	62.85
Sulfatos	310 mg/L	104 mg/L	66.45
Fosfatos	0.76 mg/L	0.23 mg/L	69.73

Fuente: Autor

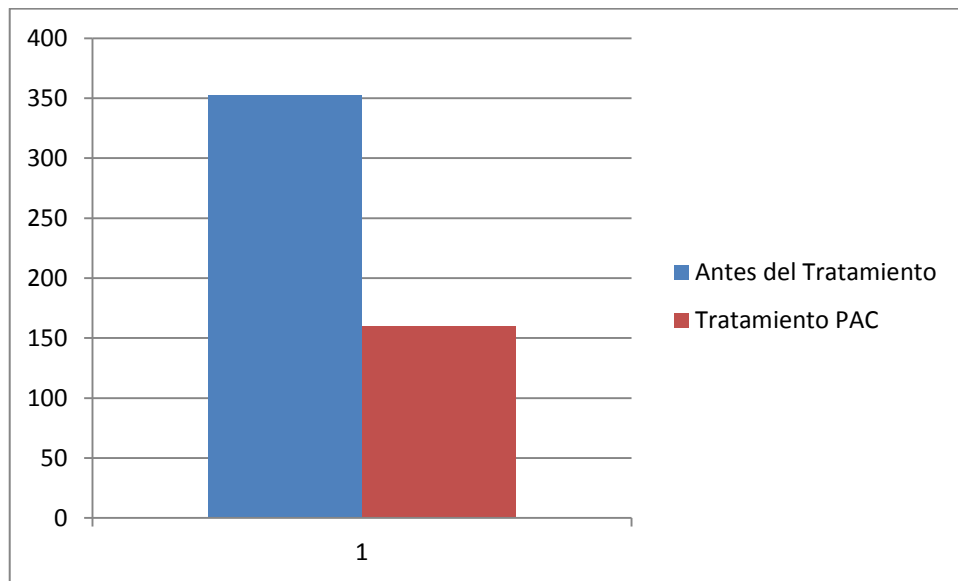
**Gráfico 3-1 Comparativa Turbidez antes y después de tratamiento con PAC**



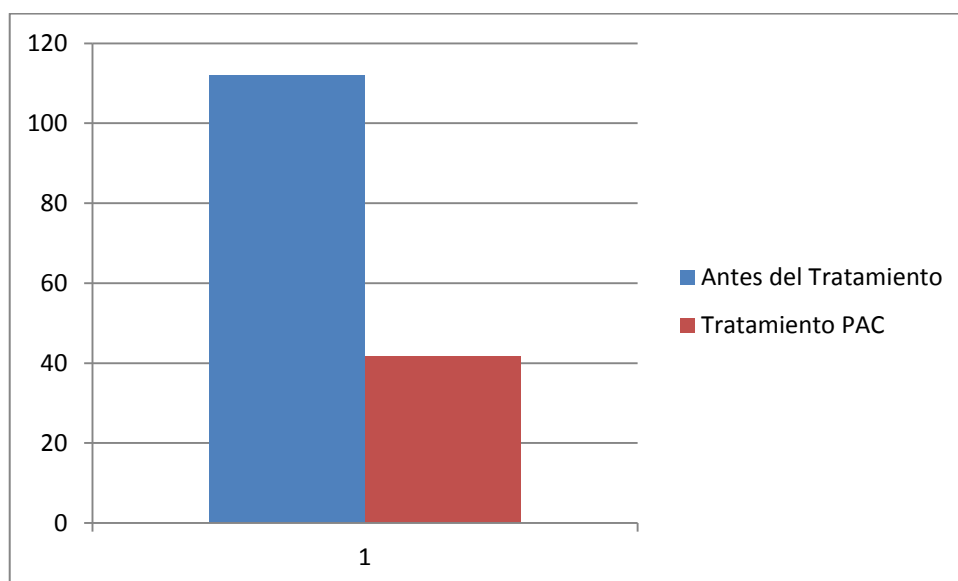
**Gráfico 3-2 Comparativa Color antes y después de tratamiento con PAC**



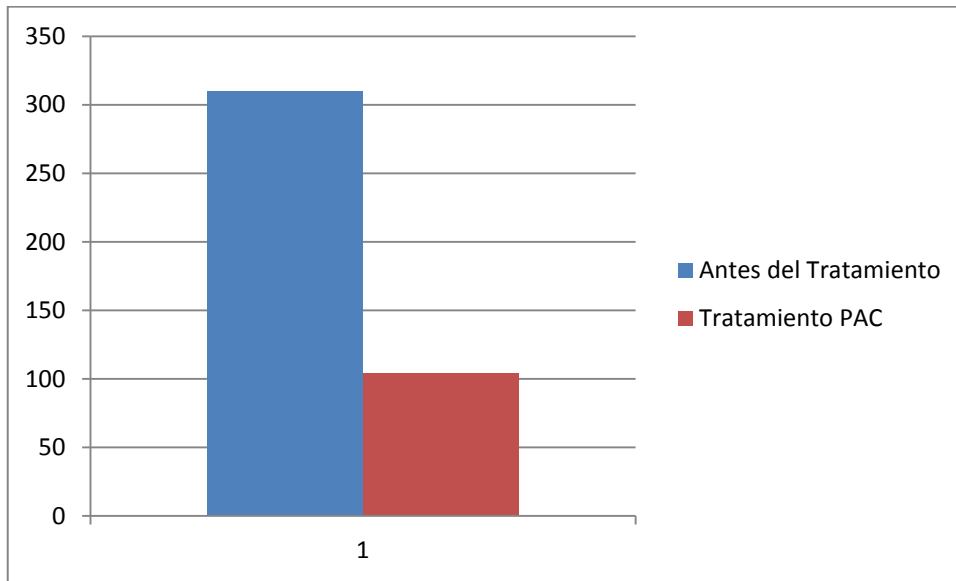
**Gráfico 3-3 Comparativa Dureza antes y después de tratamiento con PAC**



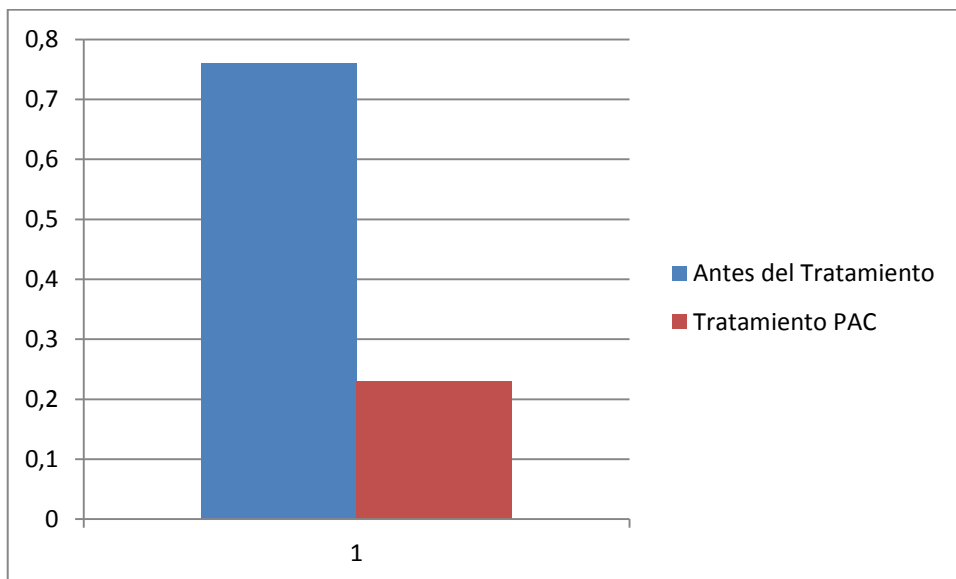
**Gráfico 3-4 Comparativa Calcio antes y después de tratamiento con PAC**



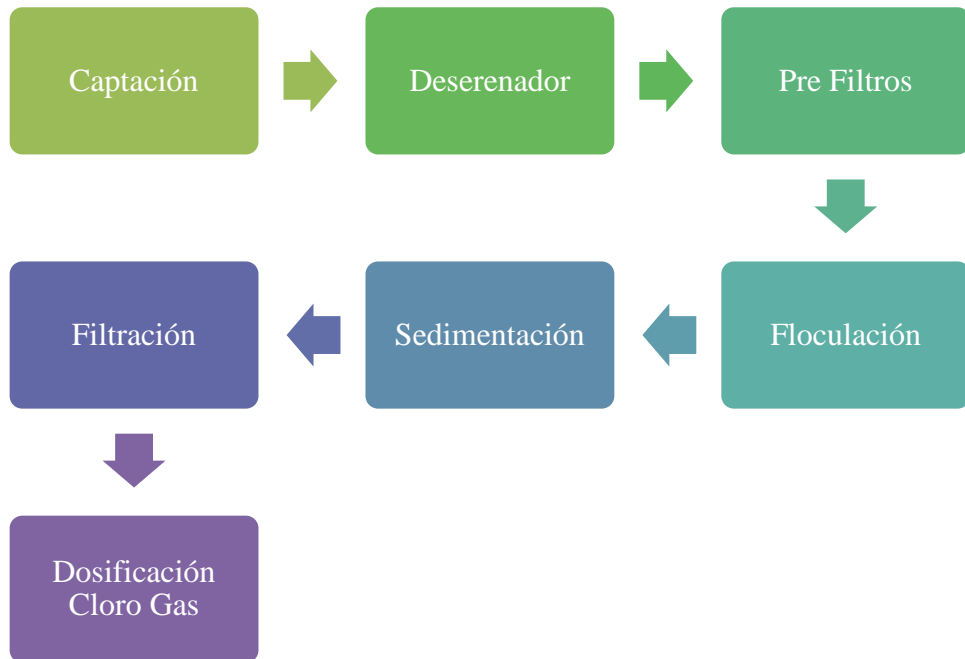
**Gráfico 3-5 Comparativa Sulfatos antes y después de tratamiento con PAC**



**Gráfico 3-6 Comparativa Fosfatos antes y después de tratamiento con PAC**



### 3.3 Propuesta



**Ilustración 3-1 Estado Actual de Plana de Tratamiento de Agua GAD Municipal Cantón Tisaleo**



**Ilustración 3-2 Propuesta**

### 3.4 Presupuesto General

#### 3.4.1 Propuesta de uso de PAC y su influencia en el consumo eléctrico

ESTACIONES EN EL AÑO	MESES	ACTUAL				PROPUESTA	
		CONSUMO MENSUAL APROXIMADO (Kw/H)	VALOR (USD/Kw/h)	CONSUMO MENSUAL (USD/Kw/h)	CONSUMO ANUAL (USD/Kw/h)	CONSUMO MENSUAL (Kw/H)	VALOR ANUAL (USD)
INVIERNO	Enero	500	0,095	47,5	570	500	285
	Febrero						
	Marzo						
VERANO	Abril	500	0,095	47,5	570	No es necesario	285
	Mayo						

	Junio					el uso continuo de equipos de dosificación	
	Julio						
	Agosto						
	Septiembre						
<b>INVIERNO</b>	Octubre					500	
	Noviembre						
	Diciembre						

### 3.4.2 Costos de operación

#### 3.4.2.1 Costos de operación al día

**Tabla 3-14 Costos de Operación Diarios para PAC Época Invernal**

REQUERIMIENTO	DOSIS	PRESENTACIÓN	COSTO POR PRESENTACIÓN (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Policloruro de aluminio (PAC)	199.64 kg/d	Sacos de 125 kg	179.20	286.20

Fuente: Autor

**Tabla 3-15 Costos de Operación Diarios para PAC Época Verano**

REQUERIMIENTO	DOSIS	PRESENTACIÓN	COSTO POR PRESENTACIÓN (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Policloruro de aluminio (PAC)	60.48 kg/d	Sacos de 125 kg	179.20	86.20

### 3.5 Análisis y Discusión de Datos

Para realizar la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal Cantón Tisaleo, primero se realizaron análisis físico-químicos del agua cruda y tratada, por consiguiente se observaron los parámetros fuera de norma tomando como referencia la Norma INEN 1108: 2006 segunda revisión donde parámetros tales como sulfatos y dureza se mantienen fuera de parámetros en el estado actual de la planta tanto en épocas de verano como épocas invernales; con respecto a la turbidez existe variación entre épocas de verano y de invierno, teniendo en épocas de verano que estos parámetros si entran en los límites permisibles de la norma 5 NTU pero en épocas donde existe mayor influencia de lluvias este parámetro sale de la norma y por tanto la calidad del agua se reducirá sustanciosamente ya que este parámetro reflejara la necesidad de un proceso de optimización en la planta.

Conociendo este análisis y sabiendo que el primer parámetro a tratar es la turbiedad se procedió a realizar pruebas de jarras para determinar dosificaciones adecuadas del coagulante Policloruro de Aluminio y así dar un tratamiento adecuado para mejorar la calidad del agua, al realizar las pruebas de jarras se determinó la dosificación adecuada del PAC, siendo esta la dosificación para que los parámetros entren en los límites de norma pudiendo observar estos resultados en la Tabla 2-13 y en la Tabla 3-13 donde se logra divisar todos los parámetros que entran dentro de norma.

Realizando todas las pruebas y evidenciando los datos finales de la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua del GAD Municipal Cantón Tisaleo se considera que el agua ya tratada con la optimización presenta una gran calidad evitando la presencia de turbidez, color, sulfatos, fosfatos y dureza que normalmente eran parámetros que se encontraban fuera de norma antes de realizar la optimización con el PAC.

En función del porcentaje de rendimiento de la planta se llega a evidenciar una mejoría clara en parámetros tales como la turbiedad y color donde los porcentajes de remoción de turbidez del 61.53% y color llegando al 96.25%, mientras que dureza con 54.55%, calcio 62.85%, sulfatos 66.45%, y fosfatos 69.73% son la evidencia de una clara y marcada mejoría del rendimiento del proceso con la dosificación adecuada del PAC.



Finalmente el proceso de optimización planteado en este proyecto de tesis podrá satisfacer las necesidades del GAD Municipal Cantón Tisaleo por proporcionar agua de mayor calidad a sus pobladores.

## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Al conocer el Sistema de Tratamiento de Agua del GAD Municipal Cantón Tisaleo se pudo evidenciar de mejor manera cada una de las etapas que lo conforman iniciando desde la etapa de captación pasando por etapas de pre filtración, a continuación el agua es llevada a la Planta de tratamiento en si donde se encuentran las etapas de floculación, filtración, sedimentación finalmente la etapa de cloración que se la realiza con cloro gas. Con este precedente se realizo el monitoreo de toda la planta conociendo en primera instancia el caudal que entra a la planta así como las falencias que contempla la planta específicamente en la zona de floculación.
  
- Por medio de los distintos análisis físico-químicos y microbiológicos que se realizaron dentro de las instalaciones del Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se observo el estado actual de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, con estos análisis se evidencia de manera general las etapas que necesitan mayor tratamiento y así formar posibles soluciones que mejoren el proceso y den como producto agua de mejor calidad.
  
- Al realizar los análisis físico-químicos como microbiológicos se identificó los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles de la Norma INEN 1108:2006 segunda revisión teniendo como parámetros fuera de norma: Dureza 336 mg/L siendo su límite permisible 300 mg/L, Calcio 89.6 mg/L su límite es 70 mg/L, Sulfatos 310 mg/L con un límite de 200 mg/L, Fosfatos 0.587 con límites menores a 0.3 mg/L todos estos parámetros se encuentran fuera de límite en épocas de verano como en épocas invernales; mientras que en épocas invernales la Turbidez con 6.5 NTU sale de norma con un límite de 5 NTU es el problema que

ayuda a proponer la idea de optimización del proceso, así como la Turbidez el Color será el otro parámetro que sale fuera de norma con 80 unidades de color aparente siendo su límite máximo permisible de 15.

- De acuerdo a la investigación teórica realizada y conjuntamente con la parte experimental y económica se llegó a plantar la mejor alternativa posible para la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal Tisaleo la cual se ve enfocada en la etapa de floculación y consiste en el uso del coagulante Policloruro de Aluminio el cual mejorara la eficiencia de la etapa y lograra que todos los parámetros que se encontraban fuera de norma logren entrar dentro de la Norma INEN 1108:2006 segunda revisión, dando como resultado agua de mejor calidad para el cantón.
  
- Para que la Planta de Tratamiento de Agua Potable de GAD Municipal Cantón Tisaleo optimice su sistema deberá implementar el agente coagulante Policloruro de Aluminio propuesto en este proyecto dentro del Floculador Flujo Horizontal, esto mejorara la eficiencia del sistema logrando agua de mejor calidad.
  
- Se evidencio la mejoría del sistema con un porcentaje de rendimiento de la planta del 68.56% durante la etapa de floculación mediante el uso de dosificaciones adecuadas de PAC.

## **4.2 Recomendaciones**

Al finalizar el estudio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal Cantón Tisaleo se dará las siguientes recomendaciones:

- Implementar los cambios dentro del sistema especialmente en la etapa de floculación con uso de Policloruro de Aluminio para mejorar el abastecimiento al cantón.
- Para mejorar el control de las unidades en cada etapa se recomienda realizar pruebas de jarras diariamente así como realizar pruebas físico-químicas y microbiológicas para evidenciar si existe variación y problemas dentro de las etapas.
- Realizar estudios continuos y limpiezas de tuberías de dotación de agua a la población ya que estas están ocasionando que la calidad del agua se reduzca al ensuciar a la misma seguramente por la antigüedad de las mismas así como por su falta de control.

## **BIBLIOGRAFÍA**

AMERICAN WATER WORKS ASOCIATION. Calidad y tratamiento del agua, España. McGraw Hill. 2002, p.p 137-296.

ARBOLEDA J. Teoría y prácticas de la purificación del agua. 3° Edición, Bogotá-Colombia. McGraw Hill. 2000, p.p 205-234

IMPORTANCIA DEL AGUA. Importancia Org. 2013  
<http://www.importancia.org/agua.php>  
20140310

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN. Norma Técnica Ecuatoriana-Requisitos para el agua potable INEN 1108:2006. 2° Edición, Quito-Ecuador. 2006

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Guías para la calidad del agua potable. 3° Edición. 2006, p.147

ROJAS R. Guía para la vigilancia de la calidad del agua para su consumo humano, México D.F-México. CEPIS. 2002, p.p 54-55

ROMERO J. Purificación del agua. 2° Edición, Bogotá-Colombia. Escuela Colombiana de Ingenieros Químicos. 2006, p.p 139-264

SIERRA C. Calidad del agua evaluación y diagnostico, Medellín.Colombia. Universidad de Medellín. 2011, p.p 27-89

TRATAMIENTO DE AGUAS COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN. Academia Nacional de Ciencias. 2008  
<http://www.drinking-water.org/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html>  
20140422

TRATAMIENTO DE AGUA SEDIMENTACIÓN. ARQHIZ. 2006  
<http://www.arqhys.com/articulos/sedimentacion.html>  
20140425

TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE. SlideShare. 2008  
<http://www.slideshare.net/lucasburchard/plantas-tratamiento-agua-potable>  
20140310

# ANEXOS

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

Solicitado por: Sr. Cristian Córdova

Fecha de análisis: 22 de enero del 2014

Fecha de entrega de resultados: 24 de enero del 2014

Tipo de muestra: Agua de sistema de abastecimiento doméstico. Captación

Localidad: Cantón Tisaleo

Código: LAT/FQ-08-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.57
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	131
Turbiedad	UNT	1	1.2
Cloruros	mg/L	250	4.3
Dureza	mg/L	200	352.0
Calcio	mg/L	70	112.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	17.5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	80.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	81.6
Sulfatos	mg/L	200	265.5
Nitratos	mg/L	< 40	0.800
Hierro	mg/L	0.30	0.112
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.765
Sólidos Disueltos	mg/L	500	81.0

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de dureza y sulfatos fuera de norma

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta sólo a la muestra analizada.



ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

Solicitado por: Sr. Cristian Córdova

Fecha de análisis: 22 de enero del 2014

Fecha de entrega de resultados: 24 de enero del 2014

Tipo de muestra: Agua de sistema de abastecimiento doméstico. Agua tratada

Localidad: Cantón Tisaleo

Código: LAT/FQ-09-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.81
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	125
Turbiedad	UNT	1	0.9
Cloruros	mg/L	250	1.4
Dureza	mg/L	200	336.0
Calcio	mg/L	70	105.6
Magnesio	mg/L	30 - 50	17.5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	120.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	122.4
Sulfatos	mg/L	200	281.4
Nitratos	mg/L	< 40	0.200
Hierro	mg/L	0.30	0.028
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.387
Sólidos Disueltos	mg/L	500	77.6

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de dureza, fosfatos y sulfatos fuera de norma

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta sólo a la muestra analizada.



NOTAS

- 1.- Análisis Físico-Químicos Primera Semana Captación
- 2.- Análisis Físico-Químicos Primera Semana Agua Tratada

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- Certificado  Por eliminar
- Aprobado  Por Aprobar
- Continuación  Información

ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DE  
CHIMBORAZO  
INGENIERÍA QUÍMICA

Christian Paúl Córdova Aroca

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Lámina	Escala	Fecha

## ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefono: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

Solicitado por: Sr. Christian Córdova

Fecha de análisis: 14 de mayo del 2014

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico. Tanques de captación

Localidad: GAD Municipal Tisaleo

**TRABAJO DE TESIS**



Código: LAT 066-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	4
pH	Unid	6,5 - 8,5	7,42
Conductividad	µ Siemens/cm	< 1250	563
Turbiedad	UNT	5	1,3
Cloruros	mg/L	250	4,3
Dureza	mg/L	200	300,0
Calcio	mg/L	70	92,8
Magnesio	mg/L	30 - 50	16,5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	220,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	224,4
Sulfatos	mg/L	200	300,0
Amonios	mg/L	< 0,50	0,080
Nitritos	mg/L	0,01	0,01
Nitratos	mg/L	< 40	0,010
Hierro	mg/L	0,30	0,070
Fosfatos	mg/L	< 0,30	0,230
Sólidos Totales	mg/L	1000	240,0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	349,1

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de dureza y calcio fuera de norma

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr. estudiante bajo la dirección del responsable del laboratorio.  
El análisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
3.- Análisis Físico-Químicos Segunda Semana Captación	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar  <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Continuación <input type="checkbox"/> Información	Christian Paúl Córdova Aroca	Lámina	Escala	Fecha



## ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

Solicitado por: Sr. Christian Córdova

Fecha de análisis: 27 de mayo del 2014

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico. Tanques de captación

Localidad: GAD Municipal Tisaleo

**TRABAJO DE TESIS**

Código: LAT 070-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.10
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	540
Turbiedad	UNT	5	1.3
Cloruros	mg/L	250	5.7
Dureza	mg/L	200	288.0
Calcio	mg/L	70	89.6
Magnesio	mg/L	30 - 50	15.6
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	40.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	40.8
Sulfatos	mg/L	200	310.0
Nitratos	mg/L	< 40	< 0.01
Sólidos Disueltos	mg/L	500	334.8

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de dureza y calcio fuera de norma.

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El análisis ha sido realizado por el estudiante bajo la dirección del responsable del laboratorio. El análisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
4.- Análisis Físico-Químicos Tercera Semana Captación	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar  <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Continuación <input type="checkbox"/> Información	Christian Paúl Córdova Aroca	Lámina	Escala	Fecha

## ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Sr. Christian Córdova

Fecha de análisis: 2 de junio del 2014

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico. Agua Clara

Localidad: GAD Municipal de Tisaleo

## TRABAJO DE TESIS

Código: LAT 075-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	80
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.33
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	280
Turbiedad	UNT	5	6.5
Cloruros	mg/L	250	4.3
Dureza	mg/L	200	256.0
Calcio	mg/L	70	80.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	13.6
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	40.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	40.8
Sulfatos	mg/L	200	148.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.010
Nitritos	mg/L	0.01	0.02
Nitros	mg/L	< 40	0.010
Hierro	mg/L	0.30	0.300
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.240
Sólidos Totales	mg/L	1000	380.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	173.6

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de color, pH, dureza, calcio fuera de norma.

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr. estudiante bajo la dirección del responsable del laboratorio.

El análisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

## ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Sr. Christian Córdova

Fecha de análisis: 2 de junio del 2014

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico. Agua tratada

Localidad: GAD Municipal de Tisaleo

## TRABAJO DE TESIS

Código: LAT 074-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	3
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.20
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	310
Turbiedad	UNT	5	2.5
Cloruros	mg/L	250	17.0
Dureza	mg/L	200	160.0
Calcio	mg/L	70	41.6
Magnesio	mg/L	30 - 50	13.6
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	40.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	40.8
Sulfatos	mg/L	200	104.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.010
Nitritos	mg/L	0.01	0.01
Nitros	mg/L	< 40	0.010
Hierro	mg/L	0.30	0.220
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.230
Sólidos Totales	mg/L	1000	240.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	192.2

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Agua dentro de los parámetros de norma.

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr. estudiante bajo la dirección del responsable del laboratorio.

El análisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

## NOTAS

- 5.- Análisis Físico-Químicos  
Cuarta Semana Captación
- 6.- Análisis Físico-Químicos  
Cuarta Semana Tratada  
Optimizada

CATEGORIA DEL  
DIAGRAMA

- Certificado  Por  
eliminar
- Aprobado  Por  
Aprobar
- Continuación   
Información

ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DE  
CHIMBORAZO  
INGENIERÍA QUÍMICA

Christian Paúl Córdova Aroca

ANÁLISIS DE  
LABORATORIO

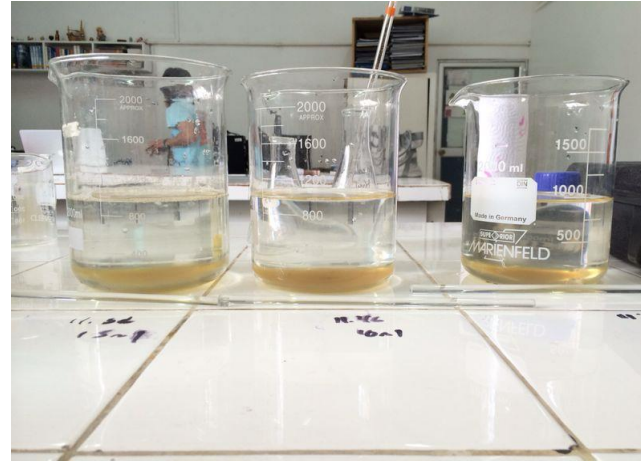
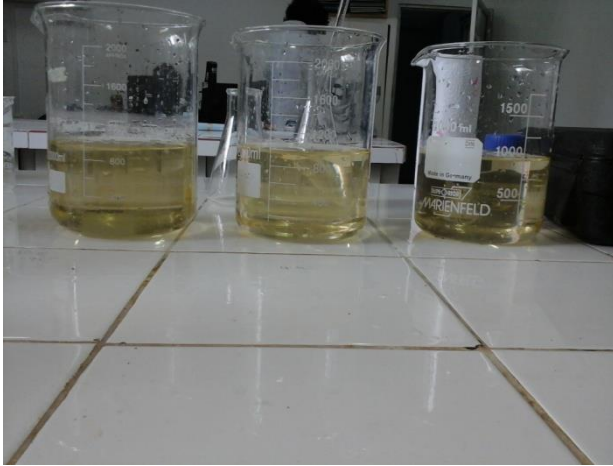
Lámina

Escala

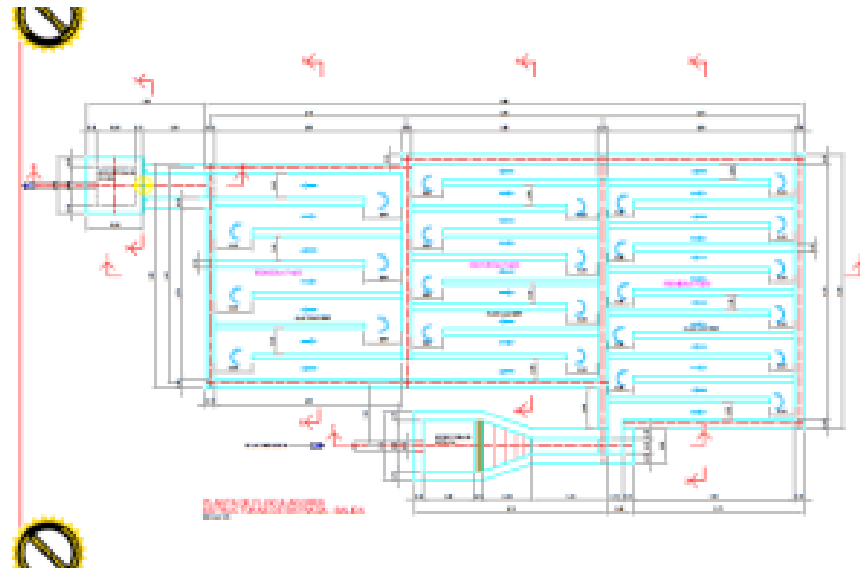
Fecha



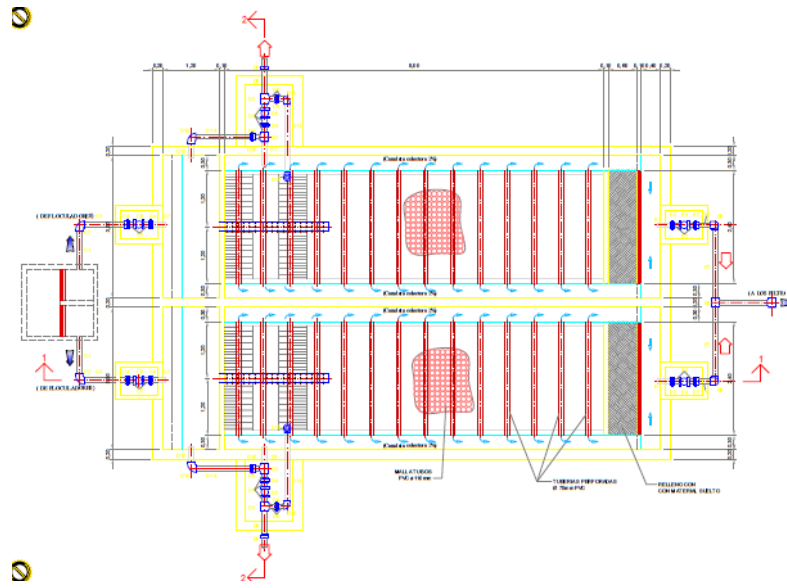
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA	ANÁLISIS DE LABORATORIO		
7.- Policloruro de Aluminio	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	Christian Paúl Córdova Aroca			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		Lámina	Escala	Fecha
<input type="checkbox"/> Continuación <input type="checkbox"/> Información					



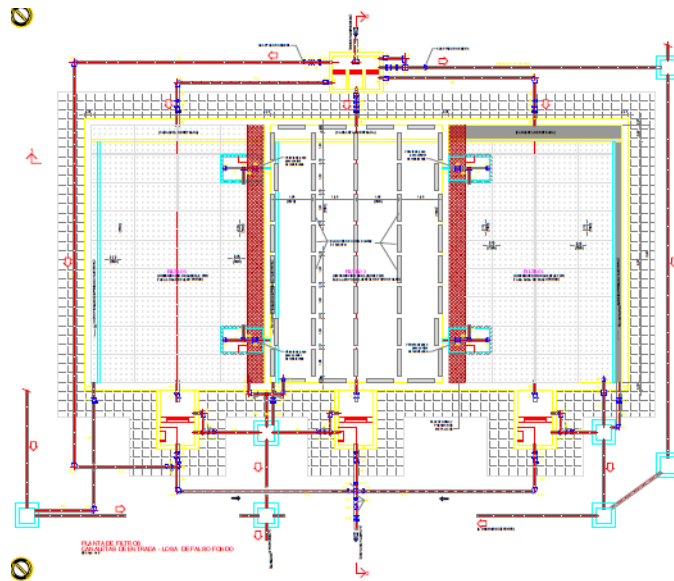
<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>		<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>		
8.- Pruebas de Jarras	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA</b>  Christian Paúl Córdova Aroca			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Continuación <input type="checkbox"/> Información				



NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA	PLANTA DE TRATAMIENTO		
9.- Estado Actual de la Planta Área de Flocculación				Lámina	Escala	Fecha
		<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Continuación <input type="checkbox"/> Información	Christian Paúl Córdova Aroca			



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA	PLANTA DE TRATAMIENTO		
10.- Estado Actual de la Planta sección Sedimentadores	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Continuación <input type="checkbox"/> Información	Christian Paúl Córdova Aroca	Lámina	Escala	Fecha



NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	PLANTA DE TRATAMIENTO		
11.- Estado Actual de la Planta sección Filtros			<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Continuación <input type="checkbox"/> Información	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA  Christian Paúl Córdova Aroca	
		Lámina			



R-PCT11-4	PROCESO DE VENTAS	N°46-0071
	COTIZACION	20/09/2011 Edición: 1

Quito, 10 de septiembre del 2014.

Señores  
**GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL TISALEO.**  
 Atención: Christian Paul Cordova Aroca  
 Presente.-

TESQUIMSA C.A., pone a su disposición la siguiente cotización:

COTIZACION					
ITEM	CANT.	UNID.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	125	KG	POLICLORURO DE ALUMINIO EN POLVO A SACOS DE 25 KG	1,28	160,00
			SUBTOTAL		160,00
			12% I.V.A		19,20
			TOTAL		179,20

- \* Validez de la oferta: 30 días
- \* Plazo de entrega: Inmediata
- \* Forma de pago: Trámite de la factura

TESQUIMSA C.A., dispone de un Sistema Integrado de Gestión conformado por las siguientes normas:

- ISO 9001-2008: Satisfacción al Cliente.
- ISO 14001-2004: Cuidado del Medio Ambiente.
- OHSAS 18001-2007: Seguridad y salud Ocupacional de los Trabajadores.

Esperando que esta cotización sea de su interés, le reitero nuestro afán de servirle.

Atentamente,

Ing. Fausto Campaña  
 ASESOR TECNICO  
 Cel.: 0993047382

Barbacoa Sánchez 772-100 y Avanzo Boronico (Parameucara Norte Km. 614)  
 Teléfono: 02 2002 387 / 2400 084 / 2400 220 / 099 9401 018 / Fax: 02 2807 440  
 E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec / www.tesquimsa.com.ec  
 Quito - Ecuador



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar  <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Continuación <input type="checkbox"/> Información	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA  Christian Paúl Córdova Aroca	COTIZACIÓN		
			Lámina	Escala	Fecha



