



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE REGIONAL COLTA.”**

TESIS DE GRADO

Previo la Obtención del Título de:

INGENIERA QUÍMICA

HERMIDA CHÁVEZ JACQUELINE MARCELA

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

Al culminar mi trabajo de investigación deseo expresar mi agradecimiento a las personas que aportaron a que mi sueño se cristalice en una hermosa realidad.

Agradezco especialmente a mis amados padres, por su sacrificio, por su entrega desmedida y porque al inculcar en mí valores ineludibles para el diario vivir, me han permitido crecer con la certeza de que el que persevera alcanza.

Amí querido hermano que con su ternura, confianza y proceder me ha enseñado que la dedicación y valentía es fundamental en la realización de todo proyecto.

Sin ustedes no hubiese sido posible alcanzar esta meta que es un triunfo familiar.

Además agradezco sinceramente al Ing. César Avalos Director de tesis, Ing. Hugo Calderón en calidad de Asesor de Tesis, ya que con su experiencia, sugerencias y consejos guiaron la elaboración de esta tesis. Su aporte fue muy valioso.

A mis familiares que me apoyaron con su presencia y oraciones y a mis amigos con los que compartí momentos inolvidables.

A Dios por darme sabiduría, fuerza y la oportunidad de seguir luchando por la realización de mis anhelos.

Marcela

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a Dios por su amor infinito, por bendecir mi caminar permitiéndome compartir mi vida con excelentes seres humanos que han sido mi compañía durante el periodo estudiantil.

A mis padres, María Ch. y Marcelo H., que con su apoyo incondicional, amor, comprensión y ejemplo de vida han hecho que sean mi principal inspiración para la culminación de esta etapa.

A David, mi hermano y amigo, que con su peculiar forma de ser ha confortado mi alma en momentos de angustia y ha logrado darme la fortaleza necesaria para seguir adelante.

A Orlando quien me ha brindado su cariño, respaldo, ánimo y con el que hemos caminado de la mano afrontando momentos difíciles formando un solo corazón.

“Todo sacrificio tiene su recompensa”.

Marcela

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “REDISEÑO DE LA PLANTA DE AGUA POTABLE REGIONAL COLTA”, de responsabilidad de la señorita Jacqueline Marcela Hermida Chávezha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Silvio Álvarez L

DECANO FAC. CIENCIAS

Ing. Mario Villacrés A.

DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA

Ing. César Ávalos.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Hugo Calderón..... ..

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Tec. Carlos Rodríguez.

DIRECTOR CENTRO

DOCUMENTACIÓN

Nota de Tesis Escrita..... ..

HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Yo, JACQUELINE MARCELA HERMIDA CHÁVEZ, soy responsable de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

JACQUELINE MARCELA HERMIDA CHÁVEZ

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

a	Área transversal requerida de un canal entre baffles
CS	Carga superficial
d	Separación mínima entre tabiques
d_f	Distancia entre baffles
e_l	Espacio libre entre tabiques y pared del tanque
F	Número de Froude
G	Gradiente de velocidad
G_1	Gradiente de velocidad en el tramo 1
Gt	número adimensional de Camp
h	Pérdida adicional
H	Pérdidas totales
h_1	Profundidad antes del resalto
h_2	Profundidad luego del resalto
h_c	Altura crítica
h_f	Pérdida por fricción en el tabique
ht	Profundidad total del tanque
L	Distancia total recorrida
l	longitud efectiva
L'	Longitud relativa para la región de transición
L_c	Longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo laminar
L_j	Longitud del resalto
L_R	Longitud relativa de sedimentadores
L_T	Longitud total interior de la cámara de floculación
N	Número requerido de canales

N_F	Número de filtros totales
N_{RE}	Número de Reynolds
NTU	Turbiedad
pH	Potencial de Hidrógeno
q	Caudal por unidad de ancho del vertedero
Q	Caudal total de tratamiento
R	Cálculo del radio hidráulico
t_m	Tiempo de mezcla
t_{RC}	Tiempo de retención en las celdas
T_{RT}	tiempo de retención en el tanque
UFC	Unidades formadoras de colonias
V	Volumen de agua a mezclar cada 30 min
v_0	Velocidad inicial
v_1	Velocidad de entrada al resalto
v_2	Velocidad de salida al resalto
v_m	Velocidad media
v_{sc}	Velocidad crítica de asentamiento

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VIII
INDICE DE TABLAS	XVI
INDICE DE FIGURAS	XIX
INDICE DE GRÁFICOS	XXI
RESUMEN	I
SUMARY	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN	III
ANTECEDENTES	IV
JUSTIFICACIÓN	VI
OBJETIVOS	VII
CAPITULO I	- 1 -
MARCO TEÓRICO	- 1 -
1 MARCO TEÓRICO	- 2 -
1.1 IMPORTANCIA DEL AGUA	- 2 -
1.2 FUENTES DE AGUA	- 2 -
1.2.1 ABASTECIMIENTOS SUBTERRÁNEOS	- 3 -

1.2.2	ABASTECIMIENTO SUPERFICIAL	- 3 -
1.3	CALIDAD DEL AGUA	- 4 -
1.4	PARÁMETROS DEL AGUA Y SU TRATAMIENTO	- 5 -
1.4.1	PARÁMETROS FÍSICOS	- 6 -
1.4.1.1	TURBIDEZ	- 6 -
1.4.1.2	COLOR	- 6 -
1.4.1.3	OLOR Y SABOR	- 7 -
1.4.1.4	CONDUCTIVIDAD Y RESISTIBILIDAD	- 7 -
1.4.2	PARÁMETROS QUÍMICOS	- 7 -
1.4.2.1	ALCALINIDAD	- 7 -
1.4.2.2	COLOIDES	- 8 -
1.4.2.3	ACIDEZ MINERAL	- 8 -
1.4.2.4	SÓLIDOS	- 8 -
1.4.2.4.1	SÓLIDOS DISUELTOS	- 8 -
1.4.2.4.2	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	- 9 -
1.4.2.4.3	SÓLIDOS TOTALES	- 9 -
1.4.2.5	RESIDUO SECO	- 9 -
1.4.2.6	CLORUROS	- 9 -

1.4.2.7	SULFATOS.....	- 10 -
1.4.2.8	NITRATOS.....	- 10 -
1.4.2.9	FOSFATOS.....	- 10 -
1.4.2.10	FLUORUROS	- 11 -
1.4.2.11	BICARBONATOS Y CARBONATOS	- 11 -
1.4.2.12	OTROS COMPONENTES ANIÓNICOS	- 11 -
1.4.2.13	SODIO	- 11 -
1.4.2.14	POTASIO.....	- 12 -
1.4.2.15	CALCIO	- 12 -
1.4.2.16	MAGNESIO.....	- 12 -
1.4.2.17	HIERRO	- 13 -
1.4.2.18	MANGANESO.....	- 13 -
1.4.2.19	METALES TÓXICOS	- 14 -
1.4.2.20	ARSÉNICO	- 14 -
1.4.2.21	GASES DISUELTOS	- 15 -
1.4.3	PARÁMETROS BIOLÓGICOS.....	- 15 -
1.4.3.1	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).....	- 16 -
1.4.3.2	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....	- 16 -

1.4.4	PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS.....	- 16 -
1.5	AGUA POTABLE	- 17 -
1.5.1	PRODUCCIÓN	- 17 -
1.5.2	TIPOS DE TRATAMIENTO	- 18 -
1.5.3	PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.....	- 21 -
1.5.3.1	SISTEMA DE CAPTACIÓN-DESARENADO	- 21 -
1.5.3.2	COAGULACIÓN	- 21 -
1.5.3.2.1	Coagulantes.....	- 22 -
1.5.3.3	FLOCULACIÓN	- 25 -
1.5.3.4	SEDIMENTACIÓN	- 26 -
1.5.3.5	FILTRACIÓN.....	- 27 -
1.5.3.6	CLORACIÓN O DESINFECCIÓN	- 29 -
1.5.3.6.1	SUSTANCIAS VIABLES PARA DESINFECCIÓN	- 31 -
1.8	REDISEÑO	- 37 -
1.8.1	MEZCLA RÁPIDA.....	- 37 -
1.8.1.1	MEZCLA RÁPIDA EN VERTEDEROS RECTANGULARES-	40
	-	
1.8.2	FLOCULACIÓN	- 48 -

1.8.2.1	ENSAYO DE JARRAS.....	- 49 -
1.8.2.2	CRITERIOS PARA DISEÑO DE FLOCULADORES HIDRÁULICOS.....	- 50 -
1.8.3	SEDIMENTACIÓN.....	- 58 -
1.8.3.1	SEDIMENTACIÓN DE TASA ALTA.....	- 59 -
1.8.3.2	CRITERIOS PARA DISEÑO.....	- 60 -
1.8.4	FILTRACIÓN.....	- 65 -
1.8.4.1	DESCRIPCIÓN DE LA FILTRACIÓN.....	- 66 -
1.8.4.2	SISTEMAS DE FILTRACIÓN.....	- 67 -
1.8.4.3	CRITERIO PARA DISEÑO.....	- 69 -
1.8.5	DESINFECCIÓN.....	- 70 -
CAPITULO II.....		- 71 -
PARTE EXPERIMENTAL.....		- 71 -
2	PARTE EXPERIMENTAL.....	- 72 -
2.1	MUESTREO.....	- 72 -
2.1.1	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	- 72 -
2.1.2	MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	- 72 -
2.1.3	PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	- 72 -

2.1.4	METODOLOGÍA DE TRABAJO	- 73 -
2.1.5	TRATAMIENTO DE MUESTRAS	- 73 -
2.1.6	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	- 73 -
2.1.6.1	EQUIPOS.....	- 73 -
2.1.6.2	MATERIALES	- 74 -
2.1.6.3	REACTIVOS	- 74 -
2.1.7	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE DATOS.....	- 75 -
2.2	MÉTODOS Y TÉCNICAS	- 76 -
2.2.1	MÉTODOS	- 76 -
2.2.1.1	MÉTODO DEDUCTIVO	- 76 -
2.2.1.2	MÉTODO INDUCTIVO	- 76 -
2.2.1.3	MÉTODO EXPERIMENTAL.....	- 77 -
2.2.2	TÉCNICAS	- 79 -
2.3	DATOS EXPERIMENTALES	- 98 -
2.3.1	DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA ..	- 98 -
2.3.1.1	CAPTACIÓN	- 98 -
2.3.1.2	FILTROS.....	- 99 -
2.3.1.3	CASETA DE CLORACIÓN	- 100 -

2.3.1.4	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	100 -
2.3.2	DATOS DEL AGUA DEL ACTUAL SISTEMA DE TRATAMIENTO-	101 -
2.3.2.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS CAPTADA Y TRATADA-	101 -
2.3.2.2	PRUEBA DE JARRAS UTILIZANDO POLICLORURO DE ALUMINIO.....	104 -
2.3.2.3	PROPUESTA.....	105 -
CAPITULO III	106 -
REDISEÑO	106 -
3	REDISEÑO.....	107 -
3.1	CÁLCULOS DE INGENIERÍA.....	107 -
3.1.1	Tanque de MEZCLA RÁPIDA	107 -
3.1.2	FLOCULADORES HIDRÁULICOS DE FLUJO HORIZONTAL-	115 -
3.1.3	REDISEÑO DE SEDIMENTADORES DE TASA ALTA.....	122 -
3.1.4	REDISEÑO DE FILTROS.....	125 -
3.1.5	CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN DE PAC.....	126 -
3.2	RESULTADOS.....	127 -
3.2.1	MEZCLA RÁPIDA.....	127 -

3.2.2	FLOCULADORES HIDRÁULICOS.....	- 128 -
3.2.3	DOSIFICACIÓN DE PAC	- 128 -
3.2.4	SEDIMENTADORES.....	- 129 -
3.2.5	FILTROS	- 129 -
3.2.6	RESULTADOS FÍSICOS – QUÍMICOS DEL AGUA CAPTADA Y DEL AGUA TRATADA.....	- 130 -
3.3	PROPUESTA.....	- 131 -
3.4	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	- 133 -
3.4.1	PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS-	133 -
3.4.2	PRUEBA DE JARRAS.....	- 138 -
CAPITULO IV.....		- 142 -
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 143 -
4.1	CONCLUSIONES	- 143 -
4.2	RECOMENDACIONES.....	- 145 -
CAPITULO V.....		- 146 -
BIBLIOGRAFIA.....		- 146 -
ANEXOS		- 149 -

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: PARAMETROS DEL AGUA.....	- 5 -
Tabla 1-2: Procesos unitarios posibles a llevar a cabo en función de los contaminantes Presentes.....	- 18 -
Tabla 1-3: . Principales parámetros de clasificación de tipos de agua.....	- 19 -
Tabla 1-4: Procesos unitarios referidos a cada grado de tratamiento.....	- 20 -
Tabla 2-1.3: Recolección de información.....	- 72 -
Tabla 2-2.1.3: Descripción del método de análisis.....	- 77 -
Tabla 2-3.1: Determinación de Alcalinidad.....	- 80 -
Tabla 2-4.2: Determinación de Dureza.....	- 81 -
Tabla 2-5.3: Determinación de Conductividad.....	- 82 -
Tabla 2-6.4: Determinación de sólidos totales.....	- 83 -
Tabla 2-7.5: Determinación de STD.....	- 84 -
Tabla 2-8.6: Determinación del pH.....	- 85 -
Tabla 2-9.7: Determinación de turbidez.....	- 86 -
Tabla 2-10.8: Determinación de color.....	- 87 -
Tabla 2-11.9: Determinación de hierro.....	- 88 -
Tabla 2-12.10: Determinación de fosfatos.....	- 89 -

Tabla 2-13.11: Determinación de nitratos	- 90 -
Tabla 2-14.12: Determinación de fluoruros	- 91 -
Tabla 2-15.12: Determinación de Nitritos	- 92 -
Tabla 2-16.13: Determinación de amonios	- 93 -
Tabla 2-17.14: Determinación de sulfatos.....	- 94 -
Tabla 2-18.15: Determinación de cloruros	- 95 -
Tabla 2-19.16: Detrminación del Cloro Residual.....	- 96 -
Tabla 2-20.17: Determinación de contaminación microbiológica	- 97 -
Tabla 2-21.17: Caracterización física-química de las aguas captadas y tratadas (promedios semanales).....	- 101 -
Tabla 2-22.18: Promedio de la caracterización física-química de las aguas captadas y tratadas.....	- 102 -
Tabla 2-23.18: Análisis microbiológicos de las aguas captada y tratada (promedio de las cinco semanas)	- 104 -
Tabla 2-24.19: Prueba de Jarras.....	- 105 -
Tabla 3-1: Resultados mezcla rápida.....	- 127 -
Tabla 3-2: Resultados floculadores hidráulicos.....	- 128 -
Tabla 3-3: Resultados sedimentadores.....	- 129 -
Tabla 3-4: Resultados filtros.....	- 129 -

Tabla 3-5: Resultados físicos-químicos del agua captada y del agua tratada -
130 -

Tabla 3-6: Parámetros fuera de norma del agua captada - 134 -

Tabla 3-7: Parámetros fuera de norma del agua tratada - 134 -

Tabla 3-8: Promedio General - 135 -

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Sistema de captación desarenado.....	- 21 -
Figura 1-2: Coagulación.....	- 22 -
Figura 1-3: Floculación.....	- 26 -
Figura 1-4: Decantación.....	- 27 -
Figura 1-5: Filtración	- 28 -
Figura 1-6: Cloración.....	- 30 -
Figura 1-7: Proceso de potabilización del agua	- 33 -
Figura 1-8: Tipos de mezcladores mecánicos.....	- 39 -
Figura 1-9: Tipos de agitador	Figura 1-10: Trayectorias de flujo -
39 -	
Figura 1-11: configuración del resalto en un vertedero rectangular	- 41 -
Figura 1-12: floculador hidráulico de flujo horizontal.....	- 51 -
Figura 1-13: Coeficiente de Manning	- 53 -
Figura 1-14:Sistema de tasa alta	- 60 -
Figura 1-15:Filtro rápido convencional de arena.....	- 66 -
Figura 1-16: Tipos de filtros.....	- 67 -

Figura 1-17:Medios de filtración	- 68 -
Figura 2-1: captación del agua.....	- 99 -
Figura 2-2: Tanques de Filtración	- 99 -
Figura 2-3: Caseta y tanque de cloración	- 100 -
Figura 2-4: Tanque de almacenamiento	- 100 -

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: PROCESO DE POTABILIZACIÓN	- 33 -
Gráfico 2: Planta Actual	- 98 -
Gráfico 3: Análisis Físicos.....	- 103 -
Gráfico 4: Análisis químicos 1	- 103 -
Gráfico 5: Análisis químicos	- 104 -
Gráfico 6: Propuesta	- 105 -
Gráfico 7: propuesta de rediseño de la planta	- 132 -
Gráfico 8: Análisis de agua cruda vs. agua tratada (Planta actual).....	- 135 -
Gráfico 9: Análisis de agua cruda vs. agua tratada (prueba final).....	- 136 -
Gráfico 10: Eficiencia del proceso para (color, turbiedad, hierro).....	- 137 -
Gráfico 11: DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- TURBIEDAD	- 138 -
Gráfico 12:DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- COLOR	- 139 -
Gráfico 13: DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- HIERRO	- 140 -
Gráfico 14:DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- CLORO RESIDUAL	- 140 -
Gráfico 15:DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- pH	- 141 -

RESUMEN

En el trabajo investigativo se realizó el rediseño de la Planta de tratamiento de agua potable Regional Colta ubicada en la parroquia de Sicalpa.

Los métodos deductivo, inductivo y experimental por medio de conocimientos y análisis permitieron diagnosticar la planta de tratamiento y se concluyó que el agua distribuida a los usuarios de distintas comunidades del cantón Colta presenta problemas por no cumplir con las normas INEN 1108 para agua potable.

Al realizar los análisis físicos – químicos, microbiológicos del agua y pruebas dosificando Policloruro de Aluminio al 1%, se determinó que es necesario implementar etapas de mezclado rápido, floculación y sedimentación en el sistema actual.

El rediseño de la planta se dimensionó mediante cálculos de ingeniería determinando el canal de mezcla rápida con un tiempo de mezcla igual a 0.37s, el canal de floculación hidráulica de flujo horizontal es 23.2m de longitud interior con un tiempo de permanencia de 30 minutos; el sedimentador teniendo un tiempo de retención igual a 31,88 minutos y un filtro rápido para tratar 345,6m³/día.

Con la implementación del nuevo sistema los porcentajes de rendimiento que se obtuvieron al realizar prueba de jarras son: color = 100%, turbiedad = 98.5%, hierro = 89.48%, y parámetros microbiológicos = 100%.

Se recomienda al GAD Municipal del cantón Colta la aplicación del estudio, construyendo las etapas mencionadas mejorarán el sistema de potabilización y se dotará de agua de buena calidad a la población de Colta.

ABSTRACT

A redesign of a potable water treatment plan in the city of Colta, located in the town of Sicalpa was performed as a research work.

The deductive, inductive and experimental method by the means of knowledge and analysis let to diagnose the treatment plant. Water that is distributed to habitants in different communities around Colta presents problems because it does not accomplish the norms INEN 1108 for potable water.

The necessity of implementing stages of rapid mixing, flocculation, sedimentation, in the current system is determined after performing physical-chemical, and microbiological analysis of water and test.

The redesign of the plant was measured through engineering calculations determining the rapid mixing channel with a time of mixing equal to 0.37s, the hydraulic flocculation channel of horizontal flow is 23.2m of internal length with a permanence time of 30 minutes; the sediment using plates of 1.75m x 0.45m x 0.10m with a separation of 0.06m, and retention time equal to 31.88 minutes and a rapid filter to treat 345.6 m³/day.

With the implementation of the new system, the percentages of performance that were obtained after performing pitches tests are: color = 100%, turbidity = 98.5%, iron = 89.48% and microbiological parameters = 100%.

It is recommended to municipality (GAD) of the city of Colta the application of this study.

The stages mentioned above will better the purification system, so good water will be given to the population of Colta.

INTRODUCCIÓN

En la parroquia de Sicalpa se encuentra ubicada la planta de tratamiento de agua potable Regional Colta, la misma que dota del recurso hídrico a los habitantes cercanos a esta zona. El agua que se potabiliza es de origen superficial que proviene de los páramos aledaños y que son transportados a la planta por medio de tubería PVC.

En la actualidad el sistema de tratamiento está conformado por agua entubada, captación, tanque de filtración, cloración y almacenamiento; etapas que brindan un tratamiento de potabilización de agua incipiente ya que sobretodo en época de invierno los parámetros de color, turbiedad y hierro no cumplen con las normas de calidad que certifiquen que esta agua es apta para el consumo humano.

Por consiguiente, surge la necesidad de rediseñar la planta de tratamiento de agua Regional Colta, con la finalidad no solo distribuir agua a los usuarios, sino también de garantizar la calidad de la misma para su empleo.

En el presente trabajo de investigación se especifica el estado actual de la planta de tratamiento, así como los distintos análisis físicos – químicos y microbiológicos del agua captada.

Además se propone un rediseño de dicha planta para el mejoramiento de dotación de líquido vital, presentando estudios realizados en laboratorio y el diseño de un tanque de mezcla rápida, floculador de flujo horizontal y sedimentador de tasa alta.

ANTECEDENTES

Sicalpa un lugar poblado que se localiza en el cantón Colta al noroccidente de la provincia de Chimborazo de la república del Ecuador. Situada a una altitud promedio de 3398 msnm. Temperatura media: 12 °C. Por su proximidad a la ciudad de Riobamba y a Villa La Unión, hace de ella una ciudad turística importante.

Según el GAD Municipal del cantón Colta solamente el 16.78% de la parroquia Sicalpa posee servicio de agua y el 6.66% de los habitantes de la parroquia Santiago de Quito. El suministro de agua en la cabecera parroquial de Santiago de Quito y Sicalpa está administrado por la unidad dependiente de la Dirección de Obras Públicas.

La planta de tratamiento de agua Regional Colta se encuentra localizada en la parroquia Sicalpa, Monjas Altas; fue construida en el año de 1988 por la constructora SOCONANSA. Ésta cuenta con un sistema de agua entubada, con tanques de captación y filtración, sabiendo que se encuentran los filtros inservibles. Además en la infraestructura se cuenta con un cuarto de cloración pero actualmente no se utiliza lo que se deriva en un sistema de baja calidad.

Esta planta provee de agua a 13 comunidades y barrios, con un total de 2366 habitantes según el último censo realizado. El servicio es irregular existiendo problemas en la calidad del agua siendo la mayoría de ésta proveniente de vertientes naturales.

La cobertura del actual sistema de agua es muy baja y de poca calidad, esto debido a la falta de sistemas adecuados de tratamiento; es decir no es potable. Por lo tanto es obvia la necesidad de rediseñar la planta.

Cabe señalar que anteriormente ya se han realizado investigaciones de esta índole en el Cantón Colta especialmente en la cabecera cantonal como el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales; estudios que han sido realizados por señores estudiantes tesis de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

JUSTIFICACIÓN

Conociendo que el agua es el líquido indispensable para la vida, es necesario establecer un tratamiento adecuado para el consumo humano suministrado a la población perteneciente a las Parroquias de Santiago de Quito y Sicalpa del Cantón Colta a fin de detectar, prevenir sucontaminación y minimizar la presencia de enfermedades transmitidas por vía hídrica.

El Ilustre Municipio del Cantón Colta considera imprescindible el servicio de abastecimiento de agua potable, por ende se trata de mejorar la cobertura del mismo y garantizar su calidad mediante el tratamiento sistemático que cumpla con los parámetros que establece la norma INEN 1 108:2011 Requisitos de Agua Potable..

Es necesario mencionar que actualmente no se cuenta con un sistema de tratamiento de agua con procesos necesarios para asegurar su potabilización.

Por las razones expuestas y dado que el GAD Municipal del Cantón Colta a través del departamento de Agua Potable ha permitido que se realice este estudio con el fin de construir un cantón para el Buen Vivir, es imprescindible realizar el rediseño de la actual planta de tratamiento basándose en normativas estandarizadas ya que ésta se encuentra en mal estado y funcionamiento.

Con la realización del presente estudio quiero contribuir a la comunidad de tal forma que los pobladores cuenten con agua potable que garantice buenas condiciones para el consumo humano y para el uso doméstico.

OBJETIVOS

GENERAL

- Rediseñar la planta de tratamiento de agua potable Regional Colta.

ESPECIFICOS

- Monitorear el actual funcionamiento de la planta de tratamiento mediante un plan de muestreo del agua.
- Caracterizar física-química y microbiológicamente el agua.
- Detectar los problemas para aplicar los estudios adecuados de tratabilidad del agua.
- Determinar las variables para realizar los cálculos del diseño.
- Efectuar la caracterización del agua luego del tratamiento realizado.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 IMPORTANCIA DEL AGUA

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales y es uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía.

El agua es un recurso renovable, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, que ya no sea útil, sino nociva, de calidad deficiente.

Se considera que el agua está contaminada, cuando ya no puede utilizarse para el uso que se le iba a dar, en su estado natural o cuando se ven alteradas sus propiedades químicas, físicas, biológicas y/o su composición.

1.2 FUENTES DE AGUA

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

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

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

1.2.1 ABASTECIMIENTOS SUBTERRÁNEOS

Pozos poco profundos.- Los pozos deben perforarse ya sea dentro de las rocas para extraer el agua de las grietas o a través de la roca hasta localizar los estratos acuíferos más profundos.

Manantiales.- Aparecen donde un estrato que lleva agua alcanza la superficie del terreno, o donde las fisuras de la roca afloran a la superficie, en condiciones tales que el agua subterránea es forzada a través de las grietas

1.2.2 ABASTECIMIENTO SUPERFICIAL

Ríos.- Los abastecimientos de agua de los ríos requieren por lo común de los mayores recursos para su tratamiento. La turbiedad, o enturbiamiento, el contenido mineral y el grado de contaminación varían considerablemente de un día al otro. La variación de la temperatura del agua durante el año también puede hacerla indeseable.

Lagos naturales.- Proporcionan agua de calidad excepcionalmente buena, excepto de sus márgenes y en la vecindad de descargas de drenajes o de corrientes fuertes. Además de necesitar un tratamiento mínimo

Embalses.- Son represas que se construyen para disponer del agua en épocas de escases de agua además los embalses tienen la ventaja de eliminar la mayor parte de lodo o enturbiamiento del agua, por sedimentación también se

disminuye la cantidad de bacterias, las desventajas son la proliferación de algas que producen olores y sabores en el agua.

1.3 CALIDAD DEL AGUA

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar.

Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

Es importante anotar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas.

Para una correcta interpretación de los datos obtenidos, los resultados de los análisis deben manejarse estadísticamente, teniendo en cuenta la correlación de iones, los factores que gobiernan el comportamiento de los componentes del agua, etcétera. El uso de gráficos ayuda a mostrar las relaciones físicas y químicas entre el agua, las fuentes probables de contaminación o polución y el régimen de calidad y, por tanto, a realizar adecuadamente la evaluación de los recursos hídricos.

1.4 PARÁMETROS DEL AGUA Y SU TRATAMIENTO

Los parámetros del agua son características físicas, químicas, biológicas radiológicas, las mismas que están mencionados en la norma INEN 1108 que permiten detectar cual es el grado de contaminación que presenta el agua, la razón principal de este problema es su estructura molecular que es dipolar, con una constante dieléctrica muy alta superior a cualquier otro líquido. Algunos de estos se utilizan en el control de los procesos de tratamiento realizando mediciones de forma continua o discreta.

Los parámetros se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: físico, químico, biológico y radiológico.

Tabla 1-1: PARAMETROS DEL AGUA

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN-	mg/l	0,07
Clorolibre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 1)
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación totala*	Bq/l	0,1
Radiación totalb**	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01
1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos * Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 210Po, 224Ra, 226Ra, 232Th, 234U, 238U, 239Pu		

FUENTE: NORMAS INEN 1108 "REQUISITOS DEL AGUA POTABLE"

1.4.1 PARÁMETROS FÍSICOS

1.4.1.1 TURBIDEZ

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos.

Actualmente la turbidez se mide con un nefelómetro expresando los resultados como; Unidad de Turbidez Nefelométrica (UTN).

Las aguas superficiales pueden alcanzar varias decenas. Las aguas con 1 ppm son muy transparentes hasta profundidades de 4 a 5 m. Con 10 ppm, que sería el máximo deseable para una buena operación de los filtros, la transparencia se acerca al metro de profundidad. Por encima de 100 ppm las transparencias están por debajo de los 10 cm y los filtros se obstruyen rápidamente. Con turbidez mayor de 5 ppm es detectable, para lo cual se debe disminuir mediante los procesos de coagulación, decantación y filtración y debe disminuir a menos de 5 ppm.

1.4.1.2 COLOR

El color es la capacidad del agua para absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color natural en el agua existe debido al efecto de partículas coloidales cargadas negativamente. En general, el agua presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos como el color amarillento debido a los ácidos húmicos. La presencia de hierro puede darle un color rojizo y la del manganeso, un color negro.

Normalmente el color se mide en laboratorio por comparación de un estándar arbitrario a base de cloruro de cobalto, Cl_2Co y cloroplatinato de potasio, Cl_6PtK_2 y se expresa en una escala de unidades de Pt-Co (unidad Hazen) o Pt, las aguas superficiales pueden alcanzar, varios centenares de ppm de Pt. La eliminación suele hacerse por coagulación-floculación con posterior filtración (disminuyendo a menos de 5 ppm) o la absorción con carbón activado.

1.4.1.3 OLOR Y SABOR

Estos parámetros son determinaciones organolépticas y subjetivas, para dichas observaciones no existen instrumentos de observación, ni registros, ni unidades de medida. Tienen un interés evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano. Las aguas adquieren un sabor salado a partir de 300 ppm de Cl^- y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de SO_4^- . El CO_2 libre en el agua da un gusto "picante". Trazas de fenoles u otros compuestos le confiere un olor y sabor desagradable.

1.4.1.4 CONDUCTIVIDAD Y RESISTIBILIDAD

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad por las sales disueltas presentes en la misma.

El aparato utilizado para medir estos parámetros es el conductímetro. La unidad estándar de resistencia eléctrica es el ohm y la resistividad de las aguas, se expresa en megaohms-cm., la conductividad se expresa normalmente como microsie-mens por cm. Para el agua ultrapura los valores respectivos son de 18.24 mohms/cm y $0.05483\mu\text{s}/\text{cm}$ a 25°C .

1.4.2 PARÁMETROS QUÍMICOS

1.4.2.1 ALCALINIDAD

La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad los iones bicarbonato, CO_3H^- , carbonato, CO_3^- y oxhidrilo, OH^- , pero también los fosfatos y ácidos de carácter débil.

Se mide por titulación con una solución valorada de un alcalino un ácido según sea el caso y estos dependen de la concentración de los iones hidroxilos (OH^-), carbonato ($\text{CO}_3^{=}$) y bicarbonato (CO_3H).

Se corrige por descarbonatación con cal; tratamiento con ácido o desmineralización por intercambio iónico.

1.4.2.2 COLOIDES

Es una medida del material en suspensión en el agua que por su tamaño de alrededor de los 10^{-4} - 10^{-5} mm, se comporta como una solución verdadera y atraviesa el papel del filtro.

Los coloides pueden ser de origen orgánico (macromoléculas de origen vegetal) o inorgánico (óxidos de hierro y manganeso).

Se elimina por floculación, precipitación y eliminación de arcillas.

1.4.2.3 ACIDEZ MINERAL

La acidez es la capacidad para neutralizar bases. Es raro que las aguas naturales presenten acidez, no así las superficiales.

1.4.2.4 SÓLIDOS

Incluye toda materia sólida contenida en los materiales líquidos y se clasifican: en sólidos disueltos, en suspensión y totales.

1.4.2.4.1 SÓLIDOS DISUELTOS

Los sólidos disueltos son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm,

este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua. Los procesos de tratamiento son múltiples en función de la composición incluyendo la precipitación, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis y ósmosis inversa.

1.4.2.4.2 SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Se separan por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas superficiales pueden tener más de 1 ppm dependiendo del origen y forma de captación.

1.4.2.4.3 SÓLIDOS TOTALES

Es la suma de sólidos, sólidos disueltos y en suspensión. Es la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C. El valor de los sólidos incluye tanto material disuelto (residuo filtrable) y no disuelto (suspendido).

1.4.2.5 RESIDUO SECO

Se llama así al peso de los materiales que quedan después de evaporar un litro de agua en cuestión. La temperatura a que se hace la evaporación influye en los resultados, por las transformaciones que puede haber y las pérdidas, por ejemplo, de gas carbónico CO₂.

1.4.2.6 CLORUROS

El ión cloruro (Cl⁻) forma sales muy solubles, suele asociarse con el ión Na⁺, esto en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero también se encuentran valores muy superiores fácilmente. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas debido al tamaño del ión que

puede penetrar la capa protectora en la inter-fase óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural.

El ión cloruro se separa con filtros de carbono activado e intercambio iónico.

1.4.2.7 SULFATOS

El ión sulfato (SO_4^{2-}), corresponde a sales moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces entre 2 y 250 ppm. En cantidades bajas no perjudica seriamente pero algunos centenares de ppm pueden disminuir la resistencia del hormigón. Su eliminación se realiza por intercambio iónico.

1.4.2.8 NITRATOS

El ión nitrato (NO_3^-) forma sales muy solubles y estables. En un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno gas e incluso amoníaco. Las aguas normales tienen menos de 10 ppm.

Concentraciones muy elevadas de sólidos totales en agua para beber puede producir la cianosis infantil.

Su presencia junto con fosfatos en aguas superficiales provoca la aparición de un excesivo crecimiento de algas, se conoce como eutrofización. Su determinación se realiza por espectrofotometría. Se elimina por intercambio iónico.

1.4.2.9 FOSFATOS

El ión fosfato (PO_4^{3-}) en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm.

1.4.2.10 FLUORUROS

El ión fluoruro (F^-), corresponde a sales de solubilidad muy limitada, suele encontrarse en cantidades superiores a 1 ppm, alrededor de dicha concentración puede resultar beneficioso para la dentadura, una concentración de hasta 5 ppm en el caso de lactantes se almacena en los dientes nuevos de los niños logrando un endurecimiento y protección de estos.

1.4.2.11 BICARBONATOS Y CARBONATOS

Las aguas dulces suelen contener entre 50 y 350 ppm de ión bicarbonato, y si el pH es inferior a 8.3, no habrá ión bicarbonato.

1.4.2.12 OTROS COMPONENTES ANIÓNICOS

Los sulfuros (S^{2-}), y el ácido sulfhídrico (H_2S) son muy característicos de medios reductores, pero en general las aguas contienen menos de 1 ppm, su principal característica es que el agua tiene mal olor.

Los compuestos fenólicos afectan a la potabilidad, con olores y gustos especialmente desagradables, sobre todo después de un proceso de cloración. Los detergentes son ligeramente tóxicos y presentan problemas de formación de espumas y consumen el oxígeno del agua.

1.4.2.13 SODIO

El ión sodio (Na^+), corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar, suele estar asociado al ión cloruro. El contenido de las aguas dulces está entre 1 y 150 ppm, pero se pueden encontrar casos de hasta varios miles de ppm.

Es un indicador potencial de la corrosión. La determinación se hace por fotometría de llama. El sodio se elimina por intercambio iónico, pero como ión monovalente.

1.4.2.14 POTASIO

El ión potasio K^+ , corresponde a sales de muy alta solubilidad y difíciles de precipitar. Las aguas dulces no suelen tener más de 10. Su determinación se hace por fotometría de llama. Se elimina por intercambio iónico y ósmosis inversa.

1.4.2.15 CALCIO

El ión calcio (Ca^{++}) forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Precipita fácilmente como carbonato de calcio (CO_3Ca). Es el principal componente de la dureza del agua y causante de incrustaciones. Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm.

Se determina por complejometría con EDTA o NTA. Su eliminación se hace por precipitación e intercambio iónico y ósmosis inversa.

1.4.2.16 MAGNESIO

El ión magnesio (Mg^{++}), tiene propiedades muy similares a las del ión calcio, aunque sus sales son un poco más solubles y difíciles de precipitar. El hidróxido de magnesio es, sin embargo, menos soluble.

Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm. Su aparición en el agua potable con varios centenares de ppm provoca un sabor amargo y efectos

laxantes. Contribuye a la dureza del agua y a pH alcalino, puede formar incrustaciones de hidróxido.

Su determinación es analítica por complejometría. Se puede precipitar como hidróxido pero su eliminación se realiza por intercambio iónico y ósmosis inversa.

1.4.2.17 HIERRO

Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ión ferroso (Fe^{++}), o más oxidado como ión férrico (Fe^{+++}). La estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, o composición de la solución. Afecta a la potabilidad de las aguas y es un inconveniente en los procesos industriales por provocar incrustaciones.

Su determinación se hace analíticamente por colorimetría y espectrofotometría de absorción atómica, dando el hierro total que incluye las formas solubles, coloidal y en suspensión fina.

La eliminación se hace por coagulación - filtración. También se puede emplear el intercambio iónico.

1.4.2.18 MANGANESO

El ión manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO_2 que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido. La forma de manganeso

(Mn⁺⁺), que es más general por aireación se oxida y precipita con un color oscuro de MnO₂.

Se determina por oxidación a permanganato y colorimetría de la solución oxidada y espectrometría de absorción atómica.

1.4.2.19 METALES TÓXICOS

Los más comunes son el arsénico, el cadmio, el plomo, el cromo, el bario y el selenio. Todos ellos deben ser estrictamente controlados en el origen. Las mediciones se realizan por espectrofotometría de absorción atómica.

1.4.2.20 ARSÉNICO

Este se pasa al agua por contacto con ella. Es bien conocido desde hace siglos como tóxico, ya que afecta a la salud humana, produciendo daños al sistema nervioso y respiratorio, produce graves consecuencias en la piel, hígado y riñones. Uno de los principales síntomas de una ingestión prolongada es la hiperqueratosis de las palmas de pies y manos. La OMS establece un contenido máximo permisible de arsénico en el agua de 10 µg/l. Dentro de las técnicas que figuran para la eliminación del arsénico figuran:

- Coagulación- Decantación- filtración.
- Adsorción con alúmina activada.
- Ablandamiento con cal.
- Intercambio catiónico
- Ósmosis inversa.

1.4.2.21 GASES DISUELTOS

El dióxido de carbono (CO_2), es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato en función del pH del agua. Las aguas superficiales se sitúan entre 1 y 30 ppm, un exceso hace que el agua sea corrosiva. Se elimina por desgasificación o descarbonatación.

El oxígeno (O_2), por su carácter oxidante juega un papel importante en la solubilidad o precipitación de iones que presenta alguna forma insoluble, su presencia en el agua es vital para la vida superior y para la mayoría de los microorganismos. Su ausencia puede representar la presencia de metano, ácido sulfhídrico y otros gases no deseables.

El ácido sulfhídrico (H_2S), causa un olor a huevo podrido y es corrosivo.

El amoníaco (NH_3) es un indicador de contaminación del agua, en forma no iónica es tóxico para los peces. Con la cloración produce cloraminas, también tóxicas.

1.4.3 PARÁMETROS BIOLÓGICOS

Estos parámetros son indicativos de la contaminación orgánica y biológica; tanto la actividad natural como la humana contribuyen a la contaminación orgánica de las aguas: la descomposición animal y vegetal, los residuos domésticos, detergentes y otros.

Este tipo de contaminantes son más difíciles de controlar que los químicos o físicos y además los tratamientos deben estar regulándose constantemente.

1.4.3.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Mide la cantidad de oxígeno consumida en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se suele referir al consumo en 5 días (DBO_5), también suele emplearse (DBO_{21}) días. Se mide en ppm de O_2 que se consume. Debe ser menor de 2 ppm.

En las aguas superficiales es muy variable y depende de las fuentes contaminantes aguas arriba.

1.4.3.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, dicromato, permanganato, etc. Por el total de materias oxidables orgánicas e inorgánicas. Es un parámetro más rápido que el anterior ya que es la medición casi inmediata, la unidad de medida son ppm de O_2 .

Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm.

1.4.4 PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

La bacteria *Escherichia coli* y el grupo coliforme en su conjunto, son los organismos más comunes utilizados como indicadores de la contaminación fecal. Las bacterias coliformes son microorganismos de forma cilíndrica, capaces de fermentar la glucosa y la lactosa. Otros organismos utilizados como indicadores de contaminación fecal son los estreptococos fecales y los clostridios.

Estos últimos son anaerobios, formadores de esporas; estas son formas resistentes de las bacterias capaces de sobrevivir largo tiempo.

El análisis del agua se realiza con el método de los tubos múltiples y se expresa en términos de el "número más probable" (índice NMP) en 100 ml de agua. Las aguas con un NMP inferior a 1, son potables.

Según el destino del agua, la eliminación de bacterias se realiza por filtración, o esterilización por luz ultravioleta, cloración y ozonización.

1.5 AGUA POTABLE

El Agua Potable es el agua cruda que luego de haber pasado por procesos de purificación mejora sus condiciones físicas, químicas y bacteriológicas para que sea apta para el consumo humano.

1.5.1 PRODUCCIÓN

Al proceso de conversión de agua común en agua potable se le denomina potabilización. Los procesos de potabilización son muy variados, y van desde una simple desinfección, para eliminar los patógenos, que se hace generalmente mediante la adición de cloro, mediante la irradiación de rayos ultravioletas, mediante la aplicación de ozono, etc. Estos procedimientos se aplican a aguas que se originan en manantiales naturales o para las aguas subterráneas. Si la fuente del agua es superficial, agua de un río arroyo o de un lago, ya sea natural o artificial, el tratamiento suele consistir en un stripping de compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono.

Para confirmar que el agua ya es potable, debe ser inodora (sin olor), incolora (sin color) e insípida (sin sabor).

1.5.2 TIPOS DE TRATAMIENTO

Los tratamientos para potabilizar el agua, se pueden clasificar de acuerdo con:

- Los componentes o impurezas a eliminar.
- Parámetros de calidad
- Grados de tratamientos de agua

En tal sentido, se puede realizar una lista de procesos unitarios necesarios para la potabilización del agua en función de sus componentes. De esta forma, la clasificación sería la siguiente:

Tabla 1-2: Procesos unitarios posibles a llevar a cabo en función de los contaminantes Presentes

TIPO DE CONTAMINANTE	OPERACIÓN UNITARIA
Sólidos gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación+Floculación+Decantación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia Orgánica	Afino con Carbón Activo
Gérmenes Patógenos	Desinfección
Metales no deseados (Fe, Mn)	Precipitación por Oxidación

Sólidos disueltos (Cl⁻, Na⁺, K⁺) **Ósmosis Inversa**

Fuente: Calidad y tratamiento del Agua, 2002. American Water Works Association

Las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas, según el grado de tratamiento que deben incluir para su potabilización, en los 3 grupos siguientes:

- TIPO A1: Tratamiento físico simple y desinfección
- TIPO A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección
- TIPO A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección

Según la normativa europea del año 1988, los tipos de agua se definen por los siguientes parámetros:

Tabla 1-3: . Principales parámetros de clasificación de tipos de agua.

PARÁMETROS	UNIDAD	TIPO A1	TIPO A2	TIPO A3
pH		(6.5-8.5)	(5.5-9)	(5.5-9)
Color	Escala Pt	20	100	200
Sólidos en suspensión	mg/l	25		
Temperatura	°C	25	25	25
Conductividad a 20 C	S/cm	1000	1000	1000
Detergentes	Lauril Sulfato	0.2	0.2	0.5
Plaguicidas Totales mg/l	mg/l	.001	.0025	.005
DQO				30
Oxígeno disuelto	% Saturación	70	50	30

DBO5	mg/l O2	3	5	7
Coliformes totales 37 C	100 ml	50	5000	50000
Coliformes fecales	100 ml	20	2000	20000

Fuente: European Community environment legislation. Normativa 98/83.

Calidad del Agua 2000.

Los procesos unitarios que corresponde cada grado de tratamiento serán los siguientes:

Tabla 1-4: Procesos unitarios referidos a cada grado de tratamiento.

GRADO DE TRATAMIENTO	COMPOSICIÓN DEL TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
TIPO A1	Tratamiento Físico simple	Filtración rápida +
	+ Desinfección	Desinfección
TIPO A2	Tratamiento Físico normal	Precloración
	+ Tratamiento Químico	+ Coagulación/Floculación
	+ Desinfección	+ Decantación
		+ Filtración
		+ Desinfección
TIPO A3	Tratamiento Físico y Químico intensos	Cloración al Breakpoint
	+ Afino	+ Coagulación/Floculación
	+ Desinfección	+ Decantación
		+ Filtración
		+ Afino con carbón activo
		+ Desinfección

Fuente: Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association. 2007.

1.5.3 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

1.5.3.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN-DESARENADO

En esta etapa se extraen piedras, arena, ripio y se evita que los elementos que flotan (ramas, plásticos o residuos) ingresen a las bombas. Esto se logra en primer lugar, tomando el agua desde una cierta profundidad y se evita así que todo lo que venga flotando ingrese, luego se pasa el agua a través de rejillas donde se retienen sólidos grandes.

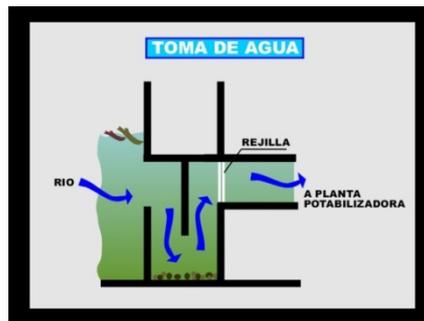


Figura 1-1: Sistema de captación desarenado

Fuente: http://iesmartinezuribarrri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf

1.5.3.2 COAGULACIÓN

Consiste en hacer pasar el agua cruda, turbia a través de un canal donde en fracciones de segundos se mezcla con un coagulante como el sulfato de aluminio, y además con polímeros, que son en general elementos aglomerantes de partículas.

Los ingredientes químicos que aquí se agregan al agua cumplen la función de provocar que las partículas de "impurezas" que se encuentran en "suspensión" en el agua se unan entre sí, formando otras de mayor tamaño y peso. Este proceso considera un fenómeno de hidrólisis mediante el cual se determina el grado de "atracción de las partículas".

El proceso se denomina coagulación porque su desarrollo considera la formación de "coágulos" ("grumos", mezcla de sal coagulante con impurezas).

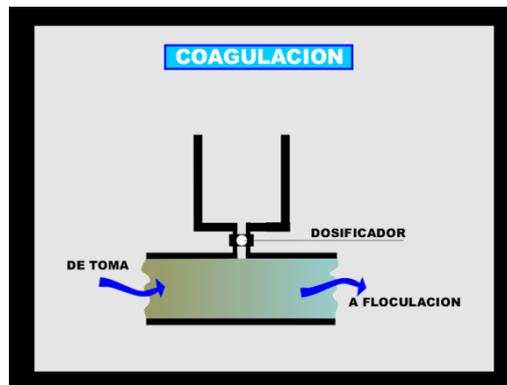


Figura 1-2: Coagulación

Fuente: http://iesmartinezuribarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf

1.5.3.2.1 Coagulantes

El coagulante es un agente químico que se le agrega al agua y cuyas propiedades hacen posible la sedimentación de materia en suspensión, finamente dividida o coloidal.

Cuando se agrega un coagulante al agua para precipitar o remover la turbiedad y color, se producen dos fases antes que el flóculo esté en condiciones de sedimentar:

Primera Fase: el coagulante, al disolverse, se disocia en iones. Si se supone que se ha empleado sulfato de aluminio o alguna sal férrica, se tendrán iones positivos trivalentes de Al^{+++} o de Fe^{+++} , los cuales reducen las cargas negativas de color o turbiedad. Por otra parte, estos iones reaccionan con la alcalinidad del agua, dando origen a los hidróxidos de hierro o de aluminio, cargados con carga eléctrica positiva sumando al efecto de los iones originales. La reducción o neutralización se realiza mucho antes de que aparezcan partículas o flóculos visibles, y será tanto más efectiva cuando más íntimo sea el contacto entre las partículas coloidales y el ión o hidróxido.

Segunda Fase: la fase anterior ha dado origen a microflóculos, partículas no visibles ni sedimentables.

Mediante el acondicionamiento o agitación leve del agua se consigue incrementar lentamente, por adsorción, el tamaño del flóculo, por cuanto se ha generado una superficie activa. Los microflóculos se transforman lentamente en flóculos susceptibles de sedimentar.

Agentes coagulantes

Los principales agentes coagulantes empleados en el proceso de coagulación son sales de aluminio o hierro de los ácidos sulfúrico y clorhídrico, aunque en algunos casos pueden utilizarse productos de síntesis tales como los polielectrolitos catiónicos.

Mencionamos a continuación los coagulantes más usados:

Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$): en forma líquida o sólida. La dosis oscila entre 10 a 150 g/m³, según la calidad del agua bruta.

Cloruro de Aluminio (AlCl_3): en forma líquida es de uso excepcional.

Sulfato de Aluminio más Cal ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$): la dosis usual es de 2/3 de sulfato de aluminio y 1/3 de cal con cantidades totales de 10 a 150 g/m³.

Sulfato de Aluminio más Sosa Cáustica ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaOH}$): la dosis es la componente de sosa cáustica en un 30 % del total de la dosis necesaria

Sulfato de Aluminio más Carbonato Sódico ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaCO}_3$): se necesita entre el 50 al 100 % de carbonato sódico de la dosis de sulfato de aluminio.

Aluminio Sódico (NaAlO_2): la dosis es entre 5 a 50 g/m³.

Polímeros de Aluminio: en ciertas condiciones las sales de aluminio pueden condensarse, llegando a la formación de polímeros capaces de coagular y flocular. Se forma así el policloruro básico de aluminio (PCBA) neutralizando progresivamente con sosa una solución de cloruro de aluminio.

Cloruro Férrico (FeCl_3): generalmente en forma líquida, a veces puede ser en forma de cristales. Las dosis usuales son de 5 a 150 g/m³

Cloruro Férrico más Cal ($\text{FeCl}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$)

Sulfato Férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$): las dosis usuales son de 10 a 150 g/m³.

Sulfato Férrico más Cal ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$): se debe usar 40 % de la dosis de cal.

Sulfuro Ferroso (FeSO_4): la dosis puede fluctuar de 10 a 100 g/m³

Sulfato Ferroso más Cloro ($\text{FeSO}_4 + \text{Cl}_2$): la dosis de cloro es el 12 % de la dosis de sulfato ferroso.

Sulfato Ferroso más Cal ($\text{FeSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$): se necesita el 25 % de cal de la dosis de sulfato ferroso.

Cloruro Férrico más Aluminio Sódico ($\text{FeCl}_3 + \text{NaAlO}_2$): la dosis de cloruro férrico y de aluminio sódico van por partes iguales.

Sulfato Cúprico (CuSO_4): es de empleo excepcional y su dosis oscila entre 5 a 20 g/m³

Sulfato Cúprico más Cal ($\text{CuSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$): se necesita 30 % de cal por cada dosis de sulfato cúprico.

1.5.3.3 FLOCULACIÓN

Consiste en someter el agua a una agitación, mezcla o movimiento lento que ayuda a la unión de varias moléculas, compuestas por los ingredientes químicos y las partículas de impurezas del agua (los grumos o coágulos), en otras mayores llamadas FLÓCULOS. Esto se realiza en una unidad distinta a la anterior, compuesta por los “floculadores”, unos de acción mecánica y otros de acción “hidráulica”.

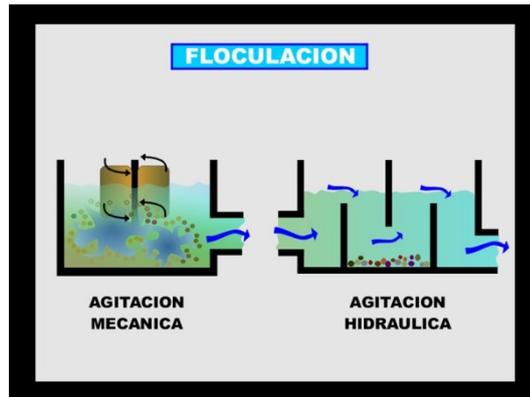


Figura 1-3: Floculación

Fuente: http://iesmartinezuribarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf

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

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

Así, las partículas (“coágulos”) van chocando entre sí adhiriéndose unas a otras y forman otras de mayor tamaño aún denominadas “flóculos”.

1.5.3.4 SEDIMENTACIÓN

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

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

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

El agua purificada que queda en el nivel superior de los piletones de decantación, se extrae por caños con orificios de captación y es conducida por medio de canales y conductos a piletas de filtrado donde se realiza la cuarta etapa.

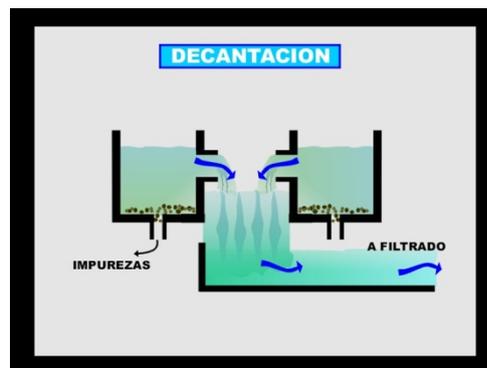


Figura 1-4: Decantación

Fuente: http://iesmartinezuribbarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf

1.5.3.5 FILTRACIÓN

Después de concluida la decantación, el agua es llevada a estanques donde se realiza la clarificación final o filtración.

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

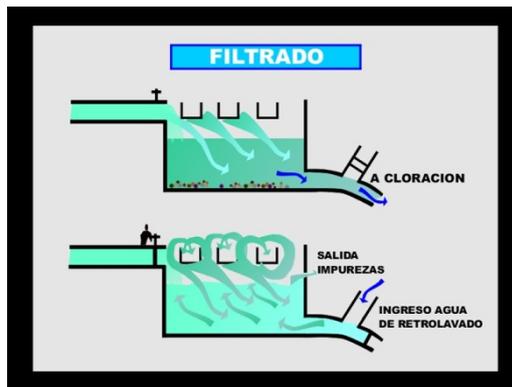


Figura 1-5: Filtración

Fuente: http://iesmartinezuribbarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf

Cuando se ensucian los filtros, es decir, cuando las capas filtrantes quedan saturadas de impurezas, se procede a limpiarlas, invirtiendo el sentido del flujo de agua que pasa por ellas, y recogiendo el agua con las partículas de impurezas por canales de limpieza. Este proceso se denomina retro lavado de filtros.

Una vez que han transcurrido ciertas horas de funcionamiento, la arena y las piedras de los filtros quedan llenas de impurezas. Para mantener su capacidad de retención, se procede a limpiarlas por “retro lavado”:

En primer lugar, los estanques o piletones son vaciados cerrando las válvulas del circuito de agua purificada, luego se inyecta agua a presión en la superficie de la arena para lograr la remoción, el desprendimiento de las impurezas retenidas. Luego se abren las válvulas que hacen circular agua limpia desde abajo hacia arriba, en sentido contrario al filtrado. El agua de limpieza que arrastra las impurezas es derivada a otro circuito independiente. Una vez limpios los filtros, se colocan las válvulas o compuertas en su estado inicial para comenzar nuevamente el filtrado del agua proveniente de los decantadores.

1.5.3.6 CLORACIÓN O DESINFECCIÓN

El último proceso de tratamiento del agua es la desinfección. Este proceso consiste en la inyección de cloro que permite destruir los últimos microorganismos que aún podrían encontrarse presentes en el agua. Con este proceso se consigue desinfectarla, prevenir contaminaciones en las redes de distribución y además servir como indicador de calidad. En efecto, este proceso final de desinfección del agua permite asegurar su calidad sanitaria.

El cloro se inyecta a través de dosificadores automáticos en una cantidad de entre 0,6 y 0,8 miligramos de cloro por litro de agua. Esto permite la eliminación de los microorganismos que pudiesen quedar en el agua después del tratamiento.

Similar función cumple la presencia del cloro residual, que corresponde a una cantidad no tóxica de cloro incorporado al agua, capaz de prevenir posibles contaminaciones entre la salida desde las plantas de tratamiento y el medidor de agua potable de las propiedades, que representa el punto donde la Empresa "entrega" el agua potable a sus clientes. El cloro residual – consistente en una cantidad mínima de cloro por litro de agua- permite asegurar la buena calidad del agua que sale por la llave y significa, por lo tanto, un resguardo adicional para nuestra salud.

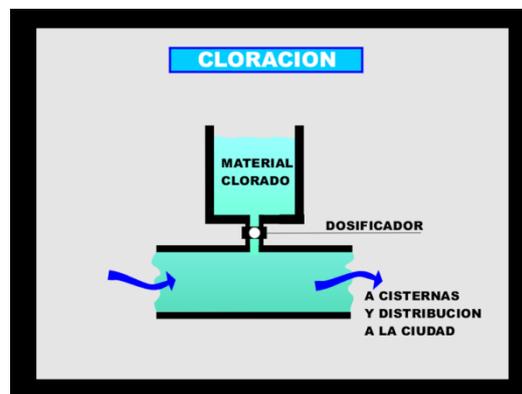


Figura 1-6: Cloración

Fuente: http://iesmartinezuribarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf

La quinta etapa: “clorado o desinfección” comienza inmediatamente a la salida de los filtros de arena, con el agregado de sustancias cloradas por inyección directa en los conductos. Este agregado se realiza a partir de rigurosos controles de la calidad del agua y en función de ellos se dosifica con sumo cuidado, con equipos dosificadores especiales de alta precisión. Con estas sustancias cloradas se eliminan todo tipo de gérmenes y bacterias del agua. Las cantidades agregadas incluyen un adicional denominado “cloro residual”

que asegura una mayor protección del agua hasta que sea consumida en los domicilios de los usuarios.

1.5.3.6.1 SUSTANCIAS VIABLES PARA DESINFECCIÓN

Como sustancias viables para la desinfección existen el cloro (por medio de clorogás, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio), cloramina y ozono; también se usa la irradiación con luz ultravioleta de baja longitud de onda.

- **Cloro.**-La cloración se efectúa con cloro gas o una sustancia que libere este gas, una vez que se encuentra en el agua. En el primer caso el cloro gas a presión normal es un gas verde-amarillento y sumamente tóxico. Es muy efectivo para remover casi todos los patógenos microbianos y apropiados para desinfección en plantas de tratamiento. El cloro gas se distribuye en forma de líquido a presión en tanques y es inyectado en el agua a través de un orificio de Venturi, para que el cloro pase rápidamente al agua y se mezcle. Se requiere un tiempo de contacto entre el cloro y el agua para asegurar la desinfección y controlar al mismo tiempo el pH del agua.

Otra forma de clorar es a través de hipoclorito de sodio o de calcio que están en forma líquida o sólida, respectivamente. Ambas son muy corrosivas y con un fuerte olor a cloro, por lo que el almacenamiento debe ser adecuado para evitar daños por corrosión. En el caso del hipoclorito de sodio reacciona en forma espontánea con el aire y no debería ser almacenado por más de un mes pues pierde su efectividad.

El hipoclorito de calcio, por el contrario, es muy estable y puede ser almacenado hasta un año.

- **Cloramina.**-La cloramina se forma cuando se añade cloro al agua que contiene amoníaco o cuando se añade amoníaco a agua que contiene cloro. Esta sustancia es un bactericida efectivo y genera menos subproductos que el uso de cloro. Sus limitaciones provienen de que tiene un poder desinfectante menor que el del cloro. Es apropiado para prevenir el recrecimiento en el sistema de distribución, propiamente dicho.
- **Luz ultravioleta.**- La radiación ultravioleta se genera con una lámpara especial. Cuando la radiación penetra la pared celular de un organismo, el material genético es modificado y la célula es incapaz de reproducirse. La luz ultravioleta destruye virus y bacterias, sin embargo, como en el caso del ozono, es necesario del uso posterior de cloro, para prevenir el recrecimiento de bacterias. La luz ultravioleta provee un método de operación y mantenimiento sencillo, es útil con tiempos cortos de contacto y no genera residuos tóxicos o subproductos.

Entre sus principales limitaciones se encuentran su incapacidad de inactivar protozoarios, y su ineficiencia para tratar aguas turbias con sólidos suspendidos, color o materia orgánica soluble. La efectividad de la radiación ultravioleta con vistas a desinfectar agua depende de la dosis absorbida por los organismos, en función de la intensidad de la lámpara utilizada y el tiempo de exposición.



Gráfico 1: PROCESO DE POTABILIZACIÓN

Fuente: Marcela Hermida Ch.

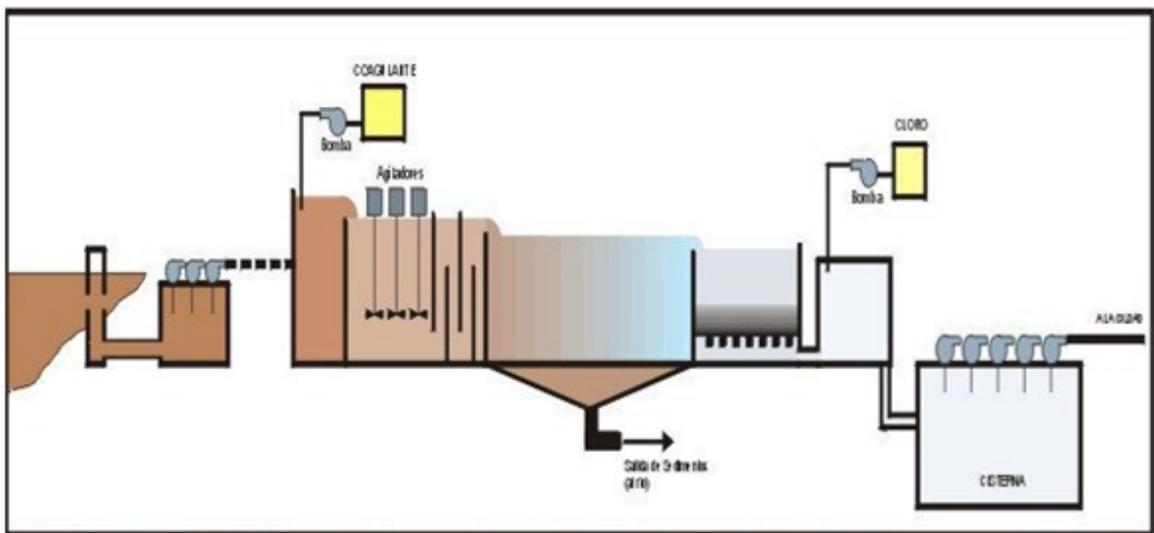


Figura 1-7: Proceso de potabilización del agua

Fuente: http://iesmartinezurbarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf

1.6 MUESTREO

El objetivo de la toma de muestras es recoger una porción de material lo suficientemente pequeña como para ser fácilmente transportada al Laboratorio de Análisis para su investigación. La primera cuestión que se plantea es obvia: la muestra debe ser homogénea y representativa de las características medias

del total del material muestreado. Esto supone que la concentración de cualquier componente en la muestra será idéntica (o razonablemente idéntica) a la existente en la masa global.

En el transcurso del transporte de la muestra desde el lugar de toma hasta el centro donde se practicarán los análisis puede ocurrir que las características físico-químicas y microbiológicas de la muestra varíen. Esto debe evitarse en lo posible reduciendo al mínimo el tiempo transcurrido entre toma de muestra y determinación y/o empleando algún medio efectivo de preservación que no altere de forma perceptible su calidad. De cualquier forma, la variación de características en aguas con alto contenido en materias orgánicas o materiales biológicos vivos, si empre será muy superior a aquéllas que tienen poca presencia biológica.

1.6.1 TÉCNICAS DE MUESTREO

Las muestras de agua pueden ser “simples”, “compuestas” o bien “en continuo”.

1.6.1.1 MUESTRA SIMPLE

Proporciona información sobre la calidad en un punto y momento dado: puede ser importante a la hora de establecer las características del agua en un punto de la red de abastecimiento de una población.

1.6.1.2 MUESTRA COMPUESTA

Se compone de varias alícuotas espaciadas temporalmente (con frecuencias variables, minutos, horas, días) que se adicionan al mismo recipiente.

Este tipo de muestras se aplica, por ejemplo, en el seguimiento de vertidos industriales cuya calidad puede variar mucho a lo largo de una jornada de trabajo.

1.6.1.3 MUESTRAS EN CONTINUO

Son imprescindibles en procesos a escala industrial, por ejemplo, la determinación de cloro residual libre en el agua potable a la salida de una potabilizadora.

1.6.1.4 MUESTRAS INTEGRADAS

En el tiempo se obtienen con bombeo a un flujo continuo de muestra que se adiciona en el mismo recipiente.

Respecto a los tipos de muestreos posibles en aguas naturales (ríos, embalses, zonas marinas) éstos pueden ser:

- a. Muestreo aleatorio simple,** consiste en la toma al azar de muestras independientes temporales y espacialmente.*
- b. Muestreo estratificado,** consiste en dividir el curso de agua en varios tramos a los que se aplica un muestreo aleatorio simple.*
- c. Muestreo sistemático,** aquí se adopta una cadencia temporal repetitiva, con lo cual se obtienen series temporales de datos.*

d. Muestreo sistemático estratificado, que combina los dos anteriores, representando probablemente el tipo de muestreo más adecuado y completo para conocer comportamientos cíclicos de sistemas hidráulicos.

1.7 AFORO DE CAUDALES Y EFLUENTES

Una vez determinados el tipo de descarga y ubicación del sitio donde se va a realizar la caracterización, se diseña el plan de aforo y muestreo. En la determinación de caudales debe adoptarse la forma más práctica de aforar dependiendo del tipo de descarga que se tenga.

1.7.1 MEDICIÓN VOLUMÉTRICA MANUAL

La medición del caudal se realiza de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado. El procedimiento a seguir es tomar un volumen de muestra cualquiera y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante de tiempo. Se debe tener un especial cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo, ya que es un proceso simultáneo donde el tiempo comienza a tomarse en el preciso instante que el recipiente se introduce a la descarga y se detiene en el momento en que se retira de ella. Siendo Q = caudal en L/s, V = volumen en L, y t = tiempo en s, el caudal se calcula como:

$$Q = V/t$$

Este método tiene la ventaja de ser el más sencillo y confiable, siempre y cuando el lugar donde se realice el aforo garantice que al recipiente llegue todo el volumen de agua que sale por la descarga. Entre sus desventajas se cuenta que la mayoría de veces es necesario adecuar el sitio de aforo y toma de muestras para evitar pérdida de muestra en el momento de aforar.

1.8 REDISEÑO

El rediseño del sistema de tratamiento de agua potable requiere del estudio y la selección de procesos y operaciones adecuados para mejorar la calidad y producir agua que cumpla con las normas de calidad correspondientes.

1.8.1 MEZCLA RÁPIDA

La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases.

En las plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales, canales Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida.

En los mezcladores hidráulicos la mezcla es ejecutada como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo; en los mecánicos la mezcla es inducida a través de impulsores rotatorios del tipo de hélice o turbina.

Los de hélice, semejantes a hélices de barco, generan corrientes axiales fuertes que crean gran intensidad de mezcla y se han usado para mezcla de alta velocidad con rotaciones de hasta 2000 revoluciones por minuto. Los impulsores de paletas generan principalmente corrientes radiales y tangenciales, y son más usados en floculación con velocidades rotacionales bajas, 2 -150 RPM, debido a la mayor área expuesta al agua.

El término turbina se aplica, indistintamente, a una gran variedad de formas de impulsores; generalmente consisten en varias aletas rectas montadas verticalmente sobre una placa plana, aunque también se usan las aletas curvas. La rotación se hace a velocidades moderadas y las corrientes generadas son principalmente de dirección radial y tangencial. Los impulsores de flujo radial descargan líquido desde el impulsor, a lo largo de un radio, en ángulo recto con su eje; en los de flujo axial el líquido entra al impulsor y es descargado desde él, en forma paralela a su eje.

1.8.1.1 MEZCLA RÁPIDA EN VERTEDEROS RECTANGULARES

Para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en toda la masa de agua cruda, el coagulante debe aplicarse sobre la sección 1, a una distancia L_m del vertedero. La aplicación del coagulante a una distancia menor de L_m no es recomendable, porque haría que parte del agua cruda recibiese una dosis mayor de coagulante y la restante una dosis menor. Cuando la lámina de agua llega al fondo, se divide en una corriente principal que se mueve hacia el frente y en una corriente secundaria que retorna haciendo que una masa de agua sea represada contra el vertedero.

El chorro secundario arrastra un volumen igual de agua hacia el punto A y retorna la corriente a la misma tasa Q_3 haciendo que parte del agua cruda reciba una cantidad mayor de coagulante que la porción restante y disminuyendo consecuentemente la eficiencia de la coagulación. Sin embargo, debe reconocerse que si se aplica el coagulante a una distancia menor que L_m se aprovecha toda la energía del resalto disponible para la mezcla.

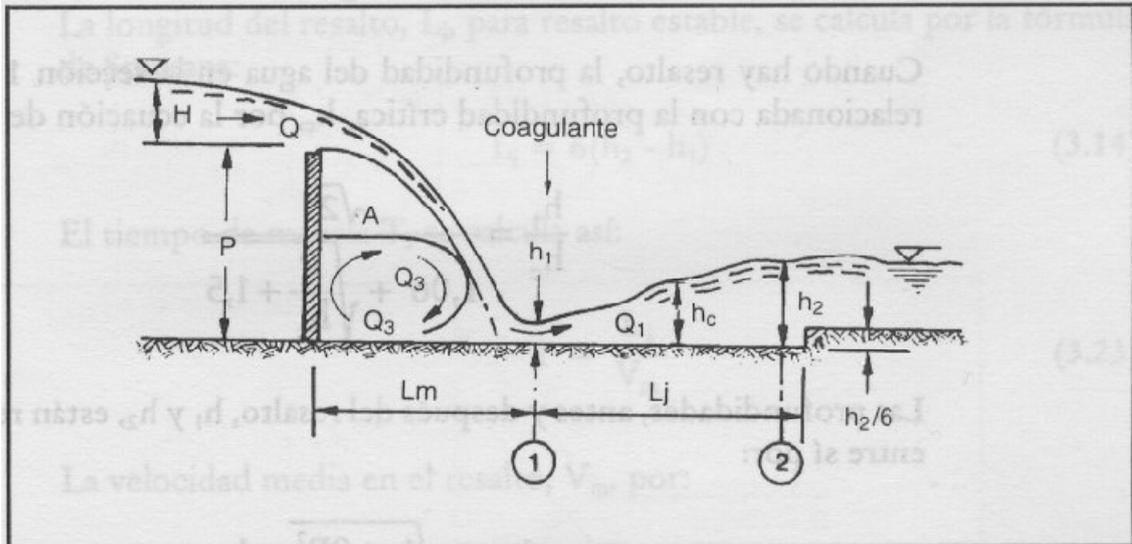


Figura 1-11: configuración del resalto en un vertedero rectangular

Fuente: Romero J. Purificación del agua

La distancia L_m puede calcularse, aproximadamente, por la ecuación de Scimemi, en función de la altura del vertedero P y de la altura de la lámina de agua H ,

$$L_m = 1,45 P^{0,54} H^{0,46}$$

Ec. 1.5.1.1- a

Donde:

P : altura del vertedero (m)

H : altura de la lámina de agua(m)

L_m : distancia entre altura del vertedero y altura de lámina del agua

El valor de L_m , calculado por la ecuación anterior, se incrementa para tener en cuenta la distancia adicional correspondiente al ancho de la lámina vertiente en el punto reposo.

Para vertederos rectangulares de pared gruesa se usa la ecuación siguiente, deducida experimentalmente:

$$L_m = 4,3 P^{0,1} h_c^{0,9}$$

Ec. 1.5.1.1- b

Donde:

P: altura del vertedero (m)

h_c : profundidad crítica de flujo (m)

La profundidad crítica de flujo, h_c es:

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

Ec. 1.5.1.1- c

Donde:

g : gravedad (m/s^2)

q : Caudal por unidad de ancho del vertedero (m^2/s)

El caudal, por unidad de ancho del vertedero, q , está dado por:

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

Ec.1.5.1.1- d

Donde:

Q : caudal de entrada (m^3/s)

B : ancho del vertedero(m)

Cuando hay resalto, la profundidad del agua en la sección 1 debe estar relacionada con la profundidad crítica, h_c , por la ecuación de White:

$$\frac{h_1}{h_c} = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}}$$

Ec.1.5.1.1- e

Donde:

h_1 : profundidad antes del resalto (m)

h_c : profundidad crítica de flujo(m)

P : altura del vertedero(m)

Las profundidades, antes y después del resalto, h_1 y h_2 , están relacionadas entre sí por:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2}$$

Ec.1.5.1.1- f

Donde:

h_1 : profundidad antes del resalto(m)

h_2 : profundidad después del resalto(m)

F_1 : número de Froude

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$$

Ec.1.5.1.1- g

Donde:

g : gravedad(m/s^2)

h_1 : profundidad antes del resalto(m)

V_1 : velocidad de entrada al resalto (m/s)

El número de Froude, F_1 , para que haya resalto estable y mezcla eficiente, debe estar comprendido entre 4,5 y 9,0.

Los valores de V_1 y V_2 se calculan por las expresiones:

$$V_1 = \frac{q}{h_1}$$

Ec.1.5.1.1- h

Donde:

q: caudal, por unidad de ancho del vertedero(m^2/s)

h_1 : profundidad antes del resalto (m)

V_1 : velocidad de entrada al resalto(m/s)

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

Ec.1.5.1.1- i

Donde:

V_2 : velocidad de salida al resalto(m/s)

q: caudal, por unidad de ancho del vertedero(m^2/s)

h_2 : profundidad después del resalto(m)

El valor de la pérdida de energía en el resalto, h, se puede calcular por la fórmula de Belanger:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

Ec.1.5.1.1- j

Donde:

h_1 : profundidad antes del resalto(m)

h_2 : profundidad después del resalto(m)

La longitud del resalto, L_j , para resalto estable, se calcula por la fórmula de Smetana:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

Ec.1.5.1.1- k

Donde:

h_1 : profundidad antes del resalto(m)

h_2 : profundidad después del resalto(m)

El tiempo de mezcla T_{re} , se calcula así:

$$T_{re} = \frac{L_j}{V_m}$$

Ec.1.5.1.1- l

Donde:

L_j : longitud del resalto

La velocidad media en el resalto, V_m , (m/s) por:

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

Ec.1.5.1.1- m

Donde:

V_1 : velocidad de entrada al resalto(m/s)

V_2 : velocidad de salida al resalto(m/s)

El gradiente de velocidad (G), por la ecuación convencional:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu T_{re}}}$$

Ec.1.5.1.1- n

Donde.

γ : peso específico del agua a 10 °C (N/m³)

h : pérdida de energía en el resalto (m)

μ : Viscosidad dinámica del agua a 10 °C (1,307x10⁻³ Ns/m²)

T_{re} : tiempo de retención

1.8.2 FLOCULACIÓN

El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados.

De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos. En partículas muy pequeñas el movimiento browniano provee cierto grado de transporte de ellas, pero en partículas grandes el movimiento browniano es muy lento y se requiere algún mecanismo de transporte que induzca la colisión de las partículas.

Teniendo en cuenta que la influencia y magnitud del efecto de cada uno de los factores que participan en la floculación no están aún definidas exactamente, es importante conocer el comportamiento del agua mediante ensayos de jarras o experiencias previas en plantas de tratamiento.

En la floculación, una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes, mediante agitación lenta prolongada, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad.

El floculador es, por lo tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado.

1.8.2.1 ENSAYO DE JARRAS

El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulantes que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales en la planta y hace que se forme un floc pesado y compacto que quede fácilmente retenido en los sedimentadores y no se rompa al pasar por el filtro. Debe observarse que no necesariamente el floc que sedimenta rápidamente es el que queda retenido en el filtro con más facilidad. El floc que se busca, por tanto, es aquel que da el mayor rendimiento en el conjunto de los procesos de clarificación. El ensayo de jarras trata de reproducir las condiciones en las cuales se produce la floculación en la planta de tratamiento.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el hecho de que la prueba de jarras sea un ensayo rutinario en la operación de las plantas, no significa que puede ejecutarse descuidadamente, lo que por desgracia suele ser bastante común.

El ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química de aguas. Se realiza, entre otros, con los siguientes propósitos:

- Selección del tipo de coagulación más efectivo.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- Evaluación de la dosis óptima de coagulante.
- Determinación de la dosis de ayudas de coagulación.
- Determinación del orden más efectivo de adición de los diferentes productos químicos.

- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla.
- Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa.

Este ensayo se usó ampliamente; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento. El procedimiento requiere como datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda. La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, por lo general entre 10 y 100 rpm.

Como jarras de coagulación se han usado vasos de precipitación, generalmente de uno a dos litros, así como jarras rectangulares de dos litros en acrílico transparente.

1.8.2.2 CRITERIOS PARA DISEÑO DE FLOCULADORES HIDRÁULICOS

En los floculadores de flujo vertical, la pérdida de energía, para flujo por encima de cada tabique, se calcula por la fórmula para vertedero ahogado rectangular de pared delgada, sin contracciones. La pérdida de energía por flujo por debajo de cada tabique, igual a la de un orificio ahogado. La altura de los tabiques para paso por encima se va disminuyendo, de acuerdo con la pérdida, con el fin de mantener constante la altura del agua.

Para prevenir la formación de lodo, en el fondo del tanque, se deja un orificio en los tabiques correspondientes, a ras del piso, de área igual al 5% del área horizontal de cada canal entre baffles (pantallas de concreto u otro material

adecuado, dispuestos de tal forma que el agua un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques).

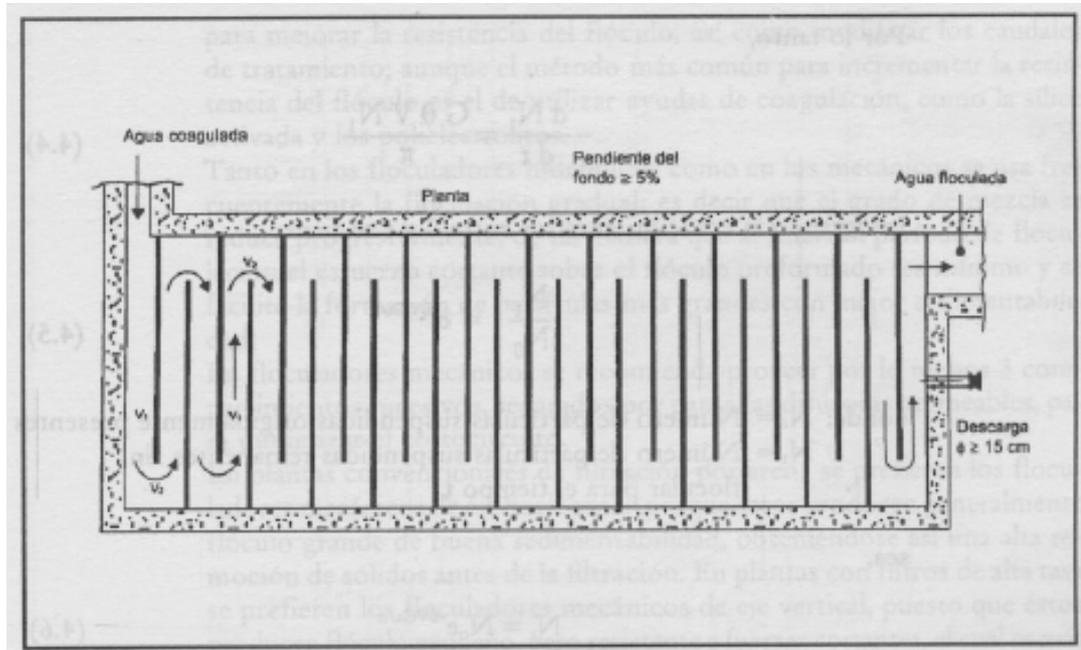


Figura 1-12: floculador hidráulico de flujo horizontal

Fuente: Romero J. Purificación del agua

Según Arboleda para diseño floculadores de flujo horizontal utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$G = 10 - 100s^{-1}$$

$$t = 15 - 20 \text{ min}$$

$$H = h_f - h$$

Ec.1.5.2.1- a

La pérdida por fricción, h_f , se calcula por la fórmula de Manning,

$$h_f = \frac{(nv)^2 L}{R^{4/3}}$$

Ec.1.5.2.1- b

Donde:

n: factor de fricción para el material

h_f : pérdidas por fricción

v: velocidad de flujo (m/s)

L: longitud (m)

R: relación factor área

	Coeficiente de Manning
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200 ¹
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200 ¹

Figura 1-13: Coeficiente de Manning

Fuente: S.M. Woodward and C. J Posey

"Hydraulics of steady flow in open channels".

Con $n=0,013$ para superficies de cemento. Y un $n=0,012$ para asbesto-cemento. La pérdida adicional, h , en floculadores de flujo horizontal, se calcula por:

$$h = \frac{3(N - 1)v^2}{2g}$$

Ec.1.5.2.1- c

Dónde:

H: pérdida adicional por curvas en el canal (m)

N-1: número de tabiques o baffles

v: velocidad promedio de flujo

H: pérdida de energía en el floculador, (m)

La velocidad de flujo= 0,10 – 0,60 (m/s).

El espaciamiento entre los tabiques y la pared, igual a 1,5 veces la separación entre tabiques. Sin embargo, para minimizar el efecto del flujo longitudinal, sin crear bloques ni efecto de contraflujo en las curvas, algunos autores sugieren un espaciamiento igual a 0,5 veces la separación entre tabiques.

Según Insfopal, para floculadores de flujo horizontal:

$$t = 15 - 60 \text{ min}$$

$$\text{Altura mínima} = 0,90 \text{ m}$$

$$\text{Separación mínima entre tabiques} = 0,45 \text{ m}$$

Velocidad de flujo = 0,15 – 0,45m/s

$$H = h_f - h$$

En las unidades hidráulicas el gradiente de velocidad es una función de la pérdida de carga total, G:

$$G = \sqrt{\frac{gH}{\mu t}}$$

Ec.1.5.2.1- d

Donde:

g/μ : relación que depende de la temperatura del agua

H: pérdida de carga total (m)

t: tiempo de mezcla (min)

μ : Viscosidad Cinemática (m²/s)

g: Gravedad (m/s²)

Para un período de mezcla t y una velocidad de flujo v , la distancia total recorrida por el agua, L , debe ser:

$$L = v * t$$

Ec.1.5.2.1- e

El volumen, V , de agua a mezclar en cada período es:

$$V = Qt$$

Ec.1.5.2.1- f

Donde:

Q: Caudal (m^3/s)

El área transversal, a , requerida de un canal entre baffles es:

$$a = \frac{V}{L}$$

Ec.1.5.2.1- g

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

Ec.1.5.2.1- h

La profundidad, d , del agua sería:

$$d = \frac{a}{s}$$

Ec.1.5.2.1- i

Donde:

a: área transversal (m^2)

s: separación entre baffles (m)

El espacio libre, e , entre los tabiques y la pared del tanque será:

$$e = 1,5 * s$$

Ec.1.5.2.1- j

Para un ancho útil de la cámara de floculación, la longitud efectiva de cada canal, l , será:

$$l = ancho - e$$

Ec.1.5.2.1- k

Por lo tanto, el número requerido de canales, N , será:

$$N = \frac{L}{l}$$

Ec.1.5.2.1- l

La pérdida por fricción h_f , se calcula por la fórmula de Manning, con $n= 0,013$ para superficies de cemento, y $n=0,012$ para asbesto-cemento.

$$h_f = \frac{(nv)^2 L}{R^{4/3}}$$

Ec.1.5.2.1- m

Donde:

h_f : La pérdida por fricción en el tanque (m)

v : Velocidad (m/s)

L: Distancia total recorrida por el agua (m)

n: Coeficiente de Fricción del Cemento

R: Radio hidráulico del canal

1.8.3 SEDIMENTACIÓN

Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento.

Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua:

a. sedimentación simple y b. sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

a. La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se le conoce como presedimentación.

b. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal.

La sedimentación puede ser precedida por presedimentación y aireación; generalmente va seguida de la filtración.

1.8.3.1 SEDIMENTACIÓN DE TASA ALTA

Por sedimentación de tasa alta, sedimentadores de poca profundidad, se entiende sedimentación en elementos poco profundos, en módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas, en tanques poco profundos, con tiempos de retención menores de 15 minutos. La característica principal de un Sedimentador de alta tasa es su poca profundidad, usualmente del orden de centímetros. En los pequeños conductos usados como sedimentadores de alta tasa se puede desarrollar flujo laminar. La distribución de velocidad dista mucho de ser uniforme; por lo tanto, las trayectorias de las partículas no son líneas rectas como en el modelo ideal de Camp.

En el modelo de Hazen y Camp para tanques de sedimentación convencionales con flujo uniforme, la carga superficial del tanque de sedimentación representa la velocidad crítica de asentamiento de las partículas suspendidas; teóricamente, toda partícula con velocidad de asentamiento mayor o igual que la velocidad crítica será removida en el tanque. En el modelo de Yao, se generaliza la teoría de sedimentación de Camp a los sedimentadores inclinados, suponiendo sedimentación de partículas discretas en tanques de alta tasa con flujo laminar y unidimensional. Para una partícula, la ecuación de movimiento será.

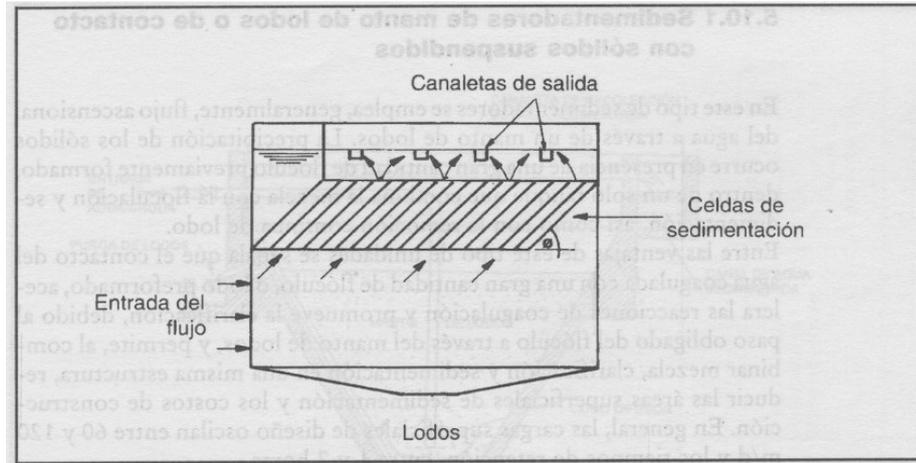


Figura 1-14: Sistema de tasa alta

Fuente: Romero J. Purificación del agua

1.8.3.2 CRITERIOS PARA DISEÑO

Los criterios de diseño de sedimentadores para clarificación del agua se basan en valores obtenidos a través de la experiencia en la operación de prototipos de plantas y plantas piloto de tratamiento del agua.

- CARGA SUPERFICIAL O TASA DE SEDIMENTACIÓN SUPERFICIAL

Una de las principales características del tanque de sedimentación es su área superficial. La carga superficial es el parámetro más usado en la práctica para diseño y clasificación de sedimentadores.

En el tanque ideal de sedimentación convencional, la carga superficial podría hacerse igual a la velocidad de asentamiento de las partículas que se desea remover. Sin embargo, como no existen en la práctica tanques ideales, se acostumbra reducir la carga superficial y aumentar los tiempos teóricos de retención.

Para sedimentadores de tasa alta tampoco existe un criterio unificado de valores de carga superficial; algunos de los intervalos o valores recomendados son:

Tabla 1.5.3.2 1:Cargas superficiales típicas en sedimentadores de tasa alta

Cs, m/d	Observaciones
120 – 300	
120 – 240	Flujo ascensional
150 – 240	Flujo horizontal, T < 4°C,
	Turbiedad < 100
150 – 180	Flujo horizontal, T < 4°C,
	Turbiedad 100-1000
150 – 240	Flujo horizontal, T > 10°C,
	Turbiedad <100
150 – 180	Flujo horizontal, T > 10°C,
	Turbiedad 100-1000
60 – 240	Valor promedio 180 m/d
150	Flóculo alumbre, agua fría
216	Sedimentadores tubulares
180 – 300	Sedimentadores tubulares

Fuente: Romero J. Purificación del agua

- PROFUNDIDAD

La eficiencia del tanque de sedimentación es afectada por el grado de floculación de los sólidos suspendidos, el cual, a la vez, depende del tiempo de

retención. El volumen, V , del tanque de sedimentación es igual al producto de su área superficial A por la profundidad d :

$$V = A \cdot d$$

Ec.1.5.3.2- a

Donde:

A : área superficial

d : profundidad

El tiempo de retención, t , es igual al volumen del tanque dividido por el caudal:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{Ad}{Q}$$

Ec.1.5.3.2- b

Donde:

V : volumen del tanque

Q : caudal

Por consiguiente, el tiempo de retención teórico es directamente proporcional a la profundidad; por ello, la eficiencia de remoción de partículas floculentas dependerá de la profundidad del tanque. Sin embargo, la eficiencia de remoción no está relacionada linealmente con el tiempo de retención; así, por ejemplo, si el 80% de los sólidos suspendidos son removidos con un tiempo de retención de dos horas, es posible que con 3 horas de retención sólo se

remuevan 90%. Además, como los tanques profundos son más costosos, no es deseable tenerlos excesivamente profundos. En general, la profundidad de los tanques de sedimentación es mayor de 3 metros.

- TIEMPO DE RETENCIÓN

El tiempo de retención depende del propósito del Sedimentador. Para tanques o dársenas de sedimentación simple, el tiempo de retención debe ser lo suficientemente largo como para permitir el asentamiento de partículas con velocidad de asentamiento muy baja; en este caso el tiempo de retención puede ser de varios días.

En tanques convencionales usados para sedimentación de los sólidos provenientes de coagulación o ablandamiento de aguas, un tiempo de retención de 2 a 4 horas es generalmente suficiente como preparación del agua para su filtración subsecuente. Cuando el agua va a ser usada sin filtración se proveen tiempos de retención hasta de 12 horas. En sedimentadores tubulares de alta tasa el tiempo de retención es de 3 a 6 minutos; en los de placas inclinadas, de 15 a 25 minutos.

- VELOCIDAD HORIZONTAL

La velocidad de flujo a través del tanque de sedimentación no será uniforme en toda la sección transversal del tanque perpendicular a la dirección de flujo, aunque la entrada y salida sean diseñadas para distribución uniforme debido a la existencia de corrientes de densidad, corrientes de inercia, cortocircuito y operación de mecanismos de remoción de lodos.

La corriente de densidad es el flujo de un fluido dentro de otro, relativamente quieto, con una densidad diferente. Una corriente de densidad mayor que la del cuerpo principal del fluido se hundirá y circulará a lo largo del fondo del tanque a una velocidad mayor. Si la corriente de densidad es más liviana, correrá a lo largo del techo del tanque. Las diferencias de densidad se deben a diferencias de temperatura, contenido de sales o contenido de material suspendido.

Para tanques de alta tasa se recomiendan valores de velocidad promedio de flujo menores de 1cm/s.

La velocidad media en el tanque de sedimentación debe ser menor a 2 cm/s.

- UNIDADES DE ENTRADA Y SALIDA DEL SEDIMENTADOR

La entrada al Sedimentador se diseña para distribuir el agua uniformemente sobre la sección transversal del tanque entre el floculador y el Sedimentador. Es más importante que la unidad de salida para controlar corrientes de densidad e inercia, y afecta por ello en mayor grado la eficiencia del Sedimentador. La mejor unidad de entrada es una que permita el paso del agua al Sedimentador sin tuberías o canales. La velocidad en los canales debe ser lo suficientemente baja para evitar que el flóculo se rompa, generalmente entre 15 y 60 cm/s. el principal propósito de la unidad de entrada es el de proveer una transición suave entre la velocidad relativamente alta de la tubería afluyente y la velocidad baja uniforme deseable en la zona de asentamiento para minimizar su interferencia con este proceso. El canal de entrada debe extenderse a todo lo ancho del tanque para asegurar la distribución uniforme sobre toda la sección transversal.

El propósito de la unidad de salida es similar al de la unidad de entrada, o sea proveer una transición suave entre la velocidad de flujo en el Sedimentador y la velocidad de la tubería efluente; generalmente el nivel del agua en el Sedimentador se controla a la salida. Las salidas pueden ser vertederos o aberturas sumergidas con control manual ejercido por las válvulas de control de nivel de entrada a los filtros.

A menudo los vertederos de salida son del tipo de abertura en V, algunas veces con facilidades para ajustar verticalmente su altura y controlar el caudal de salida.

1.8.4 FILTRACIÓN

La producción de agua clara y cristalina es prerequisite para el suministro de agua segura y requiere de la filtración. Aunque cerca del 90% de la turbiedad y color son removidos por la coagulación y la sedimentación, una cierta cantidad de flóculo pasa al tanque de sedimentación y requiere su remoción. Por ello, para lograr la clarificación final se usa la filtración a través de medios porosos; generalmente dichos medios son arena o arena y antracita.

En la planta de purificación la filtración remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto de flóculo, suelo, metales oxidados y microorganismos. La remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y, sin embargo, son removibles mediante filtración. Lo anterior indica por qué en la práctica se considera que el propósito principal de la filtración es remover

turbiedad e impedir la interferencia de la turbiedad con la desinfección, al proveer protección a los microorganismos de la acción del desinfectante.

1.8.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA FILTRACIÓN

El filtro rápido por gravedad es el tipo de filtro más usado en tratamiento de aguas. La operación de filtración supone dos etapas: filtración y lavado; las dos etapas se identifican:

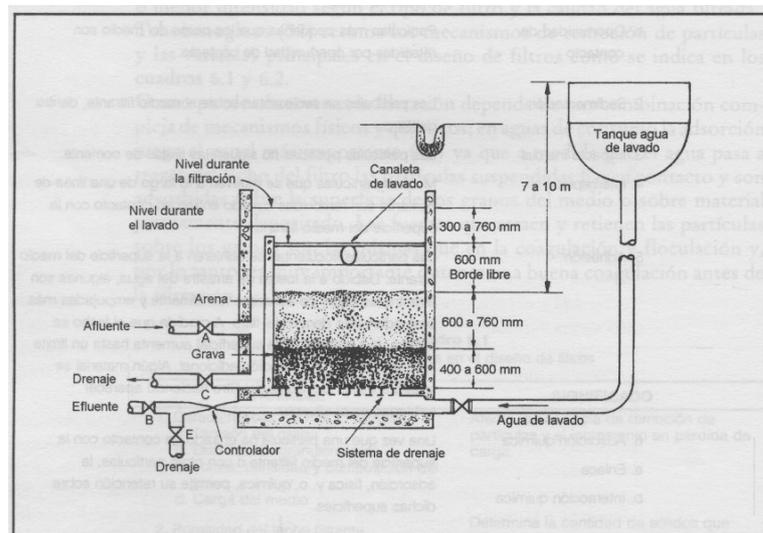


Figura 1-15: Filtro rápido convencional de arena

Fuente: Romero J. Purificación del agua

En un filtro rápido convencional, el final de la etapa de filtración o carrera del filtro se alcanza cuando los sólidos suspendidos (turbiedad) en el efluente comienzan a aumentar; cuando la pérdida de carga es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada, usualmente 2,4 m de pérdida, o cuando la carrera del filtro es de 36 horas o más. Generalmente, cuando una de las condiciones anteriores se presenta, se procede a lavar el filtro para remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y para recuperar su

capacidad de filtración. Usualmente el lavado se hace invirtiendo el flujo a través del filtro, aplicando un flujo suficiente de agua para fluidizar el medio filtrante y producir el frote entre los granos del mismo, y desechando el material removido a través de las canaletas de lavado.

1.8.4.2 SISTEMAS DE FILTRACIÓN

Muchos son los sistemas de filtraciones propuestas y construidas; sin embargo, se puede hacer una clasificación de acuerdo con la dirección de flujo, el tipo de lecho filtrante, la fuerza impulsora, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración.

- DIRECCIÓN DE FLUJO

Por la dirección de flujo pueden ser de flujo hacia abajo, hacia arriba, o dual.

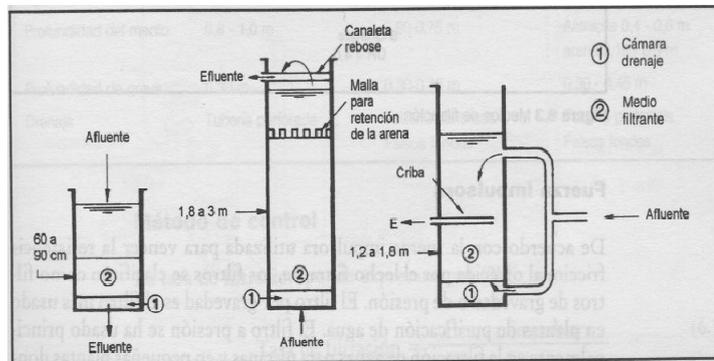


Figura 1-16: Tipos de filtros

Fuente: Romero J. Purificación del agua

- TIPO DE LECHO FILTRANTE

Los filtros utilizan generalmente un solo medio, arena o antracita: un medio dual, arena y antracita, o un lecho mezclado: arena, antracita y granate.

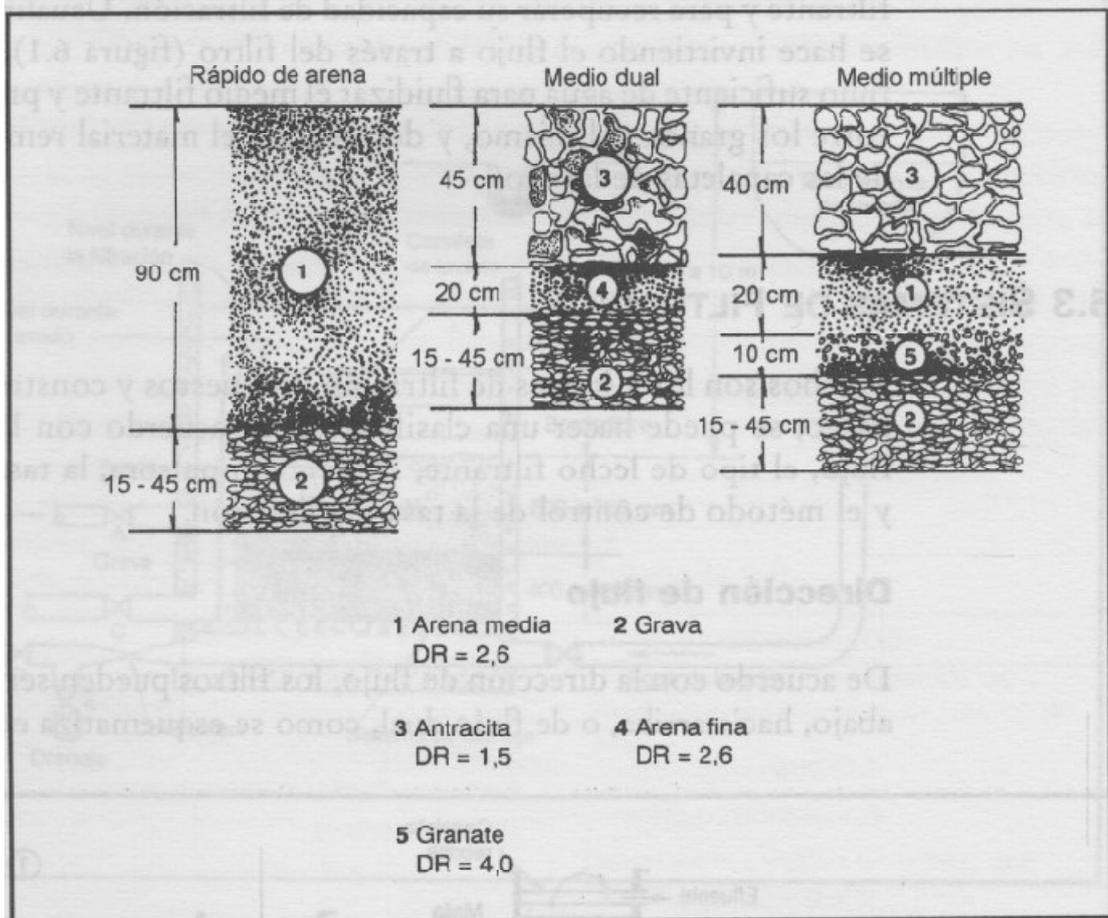


Figura 1-17:Medios de filtración

Fuente: Romero J. Purificación del agua

- FUERZA IMPULSORA

De acuerdo con la fuerza impulsora utilizada para vencer la resistencia friccional ofrecida por el lecho filtrante, los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión. El filtro por gravedad es el filtro más usado en plantas de purificación de agua. El filtro a presión se ha usado principalmente en la filtración de aguas para piscinas y en pequeñas plantas donde su instalación es ventajosa.

- TASA DE FILTRACIÓN

Los primeros filtros usados para tratamiento de agua fueron los filtros lentos, los cuales utilizan una capa de arena fina de 1 m soportada sobre un lecho de grava de aproximadamente 0,30 m. estos filtros fueron luego reemplazados por los filtros rápidos, filtros de arena, generalmente con lavado ascensional, con tasa de filtración mucho mayores y, por consiguiente, con requerimientos de área mucho menores. Posteriormente, con el uso de medios filtrantes duales o lechos mezclados, se lograron diseños mucho más económicos en área, al usar tasas de filtración todavía mayores que las de los filtros rápidos convencionales.

1.8.4.3 CRITERIO PARA DISEÑO

En las plantas pequeñas el número mínimo es generalmente dos y aun no si existe suficiente almacenamiento de agua tratada para lavado del filtro y para las necesidades de consumo durante la puesta fuera de servicio del filtro. En las plantas grandes el número mínimo de filtros es cuatro.

El tamaño máximo de cada filtro depende principalmente de la tasa de lavado y de la conviencia de garantizar una distribución uniforme de agua de lavado, lo cual es más difícil en áreas grandes. También depende del diseño estructural y de la reducción de la capacidad filtrante de la planta, cuando se pone una unidad fuera de servicio para su lavado.

En plantas de autolavado, lavado de un filtro con el caudal tratado en los otros, el número mínimo de filtros es de cuatro.

Morril y Wallace, sugirieron la expresión siguiente para calcular el número de filtros N:

$$N = 0,044\sqrt{Q}$$

Ec.1.5.4.3- a

Donde:

Q : caudal de la planta m³/d

1.8.5 DESINFECCIÓN

La operación exitosa del proceso de cloración requiere básicamente:

- Suministro adecuado y permanente del agente desinfectante.
- Control eficiente, continuo y exacto de la dosificación.
- Manejo seguro en todo momento del compuesto y de los equipos utilizados para su aplicación.
- Mezcla completa y continua del cloro con toda el agua a tratar.

El manejo y mantenimiento de cada instalación de cloración dependerá del equipo utilizado y deberá hacerse de conformidad con los manuales de operación y mantenimiento de cada fabricante.

CAPITULO II

PARTE

EXPERIMENTAL

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MUESTREO

2.1.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El Rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Regional Colta” se realizó en la parroquia Sicalpa, comunidad Monjas Altas del Cantón Colta de la provincia de Chimborazo.

2.1.2 MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

El método de investigación que se utilizó en el presente trabajo fue comparativo; se relacionó todos los datos obtenidos durante la elaboración del estudio, esto nos permitió realizar el dimensionamiento y el rediseño del sistema de tratamiento de agua potable.

2.1.3 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El procedimiento realizado fue el siguiente.

Tabla 2-1.3: Recolección de información

MUESTREO	NÚMERO DE MUESTRAS DIARIAS	DIAS DE MUESTREO	TOTAL DE MUESTRAS SEMANAL	TOTAL DE MUESTRAS ANALIZADAS
Agua Captada	1	2	2	10
Agua Tratada	1	2	2	10

Fuente: Marcela Hermida Ch.

A cada muestra se realizó los análisis físicos-químicos en situ y se complementaron los mismos en el laboratorio de Análisis Técnicos, de igual forma se llevaron a cabo los análisis microbiológicos.

2.1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Las muestras del agua de la planta de tratamiento Regional Colta se tomaron por las mañanas dos veces a la semana y fueron trasladadas al laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ubicados en el cantón Riobamba; en donde se realizó las pruebas de caracterización y las pruebas de jarras dosificando policloruro de aluminio. Enmarcándose en la Norma INEN 1108 de agua potable.

2.1.5 TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se tomaron dos muestras diarias a las que se les realizó la caracterización físico – química del agua que consta de 19 parámetros que son: parámetros físicos: color, turbiedad, pH, temperatura, conductividad. Parámetros químicos: sólidos totales disueltos, dureza, calcio, alcalinidad, hierro, fosfatos, nitratos, fluoruros, nitritos, sulfatos, amonios, solidos totales,cloruros. Además se realizó el análisis microbiológico y la respectiva prueba de tratabilidad o denominada prueba de jarras al agua captada utilizando policloruro de aluminio al 1%.

2.1.6 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

2.1.6.1 EQUIPOS

- Multiparámetros de campo
- Equipo de filtración de membranas por aspersion

- Estufa de incubación
- Espectrofotómetro HachDr 2800
- ConductímetroHach
- PeachímetroHach
- ColorímetroHachDr 2800
- Turbidímetro 2100P
- Equipo volumétrico
- Baño María Memmert

2.1.6.2 MATERIALES

- Erlenmeyer
- Pipetas
- Peras
- Vasos de precipitación
- Pipetas volumétricas de 25ml
- Varillas de vidrio
- Cajas petri
- Balones aforados de 50ml
- Balones aforados de 100ml
- Buretas de 50ml
- Pizeta

2.1.6.3 REACTIVOS

- Cromato de potasio
- Nitrato de plata 0,01N
- Cianuro de potasio
- Solución buffer pH 10

- Solución EDTA 0,02M
- Indicador Negro de ericromo T
- Hidróxido de sodio 1N
- Indicador murexida
- Fenoftaleína
- Ácido sulfúrico
- Naranja de metilo
- Tartrato de sodio y potasio
- Solución Nessler
- Solución acondicionadora
- Cloruro de bario
- Reactivo A
- Reactivo B
- Reactivo ferover
- Reactivo nitrover
- Reactivo fosfover
- Reactivo SPAND
- Soluciones amortiguadoras de pH 4, pH7, pH9
- Agua destilada

2.1.7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE DATOS

Con los datos obtenidos en el trabajo de campo y de laboratorio se realizó el respectivo análisis del agua muestreada para determinar el cumplimiento de las normas de calidad y de los objetivos propuestos. Se realizó un promedio

semanal comparando los datos que se obtuvieron. Además se identificó los procesos de tratamiento que se requiere en la planta de tratamiento de esta manera se generaron los resultados, las conclusiones y recomendaciones finales del proyecto.

2.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.2.1 MÉTODOS

En el presente anteproyecto de estudio se aplicara el denominado método experimental, utilizando como procesos lógicos la inducción y la deducción ya que es necesario conocer los hechos más importantes que se dan en el sistema de tratamiento de aguas para consumo humano, es decir las variables que se presentan en el análisis del problema de estudio para poder llegar a un adecuado y óptimo diseño de tratamiento.

2.2.1.1 MÉTODO DEDUCTIVO

Se partirá de conocimientos generales y actualizados de la planta de tratamiento para encontrar soluciones al problema de la calidad del agua que distribuye de la planta de tratamiento Regional Colta.

2.2.1.2 MÉTODO INDUCTIVO

Se analizará los problemas ocasionados por el estado de la planta de tratamiento Regional Colta, determinando soluciones y alternativas acorde a lo que los investigadores y autores de literatura han propuesto.

2.2.1.3 MÉTODO EXPERIMENTAL

Mediante este método se analizará el estado real de la Planta de tratamiento y del agua de captación, posteriormente se elegirá una optimización adecuada para que el agua sea adecuada para el consumo. Se dejará proponiendo el diseño de la planta, con los respectivos procesos de tratamiento.

Tabla 2-2.1.3: Descripción del método de análisis

DETERMINACIÓN	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Ph	Electrométrico	Se utiliza un electrodo de cristal
Conductividad	Electrométrico	Se lo determina con el conductímetro
Solidos totales disueltos	Electrométrico	Se utiliza el electrodo de cristal adecuado para su lectura
Turbiedad	Nefelométrico	Se utiliza el turbidímetro
Dureza	Volumétrico	Tomar 25ml de muestra + 1ml de cianuro de potasio + 2ml de buffer pH 10 + pizca de indicador negro de ericromo T y titulamos con EDTA 0,02M.
Alcalinidad	Volumétrico	Tomar 25ml de muestra + 2 gotas de fenoftaleina (color rosado) titular con ácido sulfúrico 0,02 N (incolor) + 3 gotas de naranja de metilo, valorar con ácido sulfúrico 0,02N
Color	Comparativo	Observar por el comparador de color
Hierro	Espectrofotométrico	Colocar los reactivos indicados y leer el manual
Fosfato	Espectrofotométrico	Colocar los reactivos indicados

Fluoruros	Espectrofotométrico	Colocar los reactivos indicados y leer el manual
Nitratos	Espectrofotométrico	Colocar los reactivos indicados y leer el manual
Sulfatos	Espectrofotométrico	Tomar una porción de muestra en un balón de 100ml + 2ml de solución acondicionadora + aproximadamente 1g de cloruro de bario, aforar con la muestra, medir a 410nm
Nitritos	Espectrofotométrico	En un balón de 50ml colocar 25ml de muestra +2 ml de solución A +2 ml de solución B, aforar con la misma muestra, dejar reposar 30 min. Medir en el fotómetro a 520nm.
Amonios	Espectrofotométrico	En un balón de 50ml colocar 25ml de muestra +1 ml de tartrato de sodio y potasio + 2ml se sol. Nessler, aforar con la misma muestra. Medir a 425nm
Sólidos Totales	Secado	Pesar una caja Petritarada, agitar la muestra de agua, colocar 25ml de muestra en la caja, someter a Baño María hasta sequedad, introducirla en la estufa, colocar en el desecador por 15 min y pesar.
Cloruros	Volumétrico	25ml de muestra + 4 gotas de cromato de potasio y titular con nitrato de plata 0,01N
MICROBIOLOGICO (Coliformes fecales, totales)	Sembrado	Luego de esterilizar el equipo de filtración de membrana se siembra se deja 24 h. y se realiza el conteo de las colonias

Fuente: Marcela Hermida Ch.

2.2.2 TÉCNICAS

Las técnicas que se utilizaron están adaptados al manual “Standard Methods for Examination of Water and Wasterwater” (Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales).

ALCALINIDAD MÉTODO DE TITULACIÓN 2320 A

Tabla 2-3.1: Determinación de Alcalinidad

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. El valor medio puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado. La alcalinidad de muchas aguas de superficie depende primordialmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Probeta de 50ml • Pipeta de 1ml • Vaso de precipitación de 250ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra problema • Naranja de metilo • Ácido sulfúrico 0,02N 	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar 50 ml de muestra • Agregar 4 gotas de naranja de metilo • Valorar con ácido sulfúrico 0,02N • Leer valor de titulación. 	<p>ml valorados por 20</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

DUREZA MÉTODO TITULOMÉTRICO DE EDTA 2340C

Tabla 2-4.2: Determinación de Dureza

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
La dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato cálcico en miligramos por litro.	<ul style="list-style-type: none">• Probeta de 100ml• Pipeta de 1mlVaso de precipitación de 250ml	<ul style="list-style-type: none">• Muestra problema• Solución Buffer pH 10• Negro de ericromo T• EDTA	<ul style="list-style-type: none">• Tomar 50ml de agua• Adicionar 1ml de solución Buffer pH 10• Poner una pizca de Negro de ericromo T• Valorar con EDTA• Leer el valor de titulación	ml valorados por 20

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

CONDUCTIVIDAD MÉTODO 2510-B

Tabla 2-5.3: Determinación de Conductividad

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Ésta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición.	Conductímetro Vaso de precipitación de 250ml	<ul style="list-style-type: none">• Agua problema	<ul style="list-style-type: none">• Colocar la muestra en un vaso de precipitación• Introducir el electrodo del conductímetro• Dejar que realice la lectura.	Lectura directa

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

SÓLIDOS TOTALES MÉTODO 2540

Tabla 2-6.4: Determinación de sólidos totales

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida.	<ul style="list-style-type: none">• Baño María• Cápsulas taradas• Pipeta de 25ml• balanza	<ul style="list-style-type: none">• agua problema	<ul style="list-style-type: none">• Pesar una caja Petri tarada,• Agitar la muestra de agua y colocar 25ml de muestra en la caja• Someter a Baño María hasta sequedad• Introducirla en la estufa• Colocar en el desecador por 15 min y pesar.	Mg de ST/l= (A-B)x1000/vol. De muestra en ml Donde: A: peso de residuo seco + placa mg. B: peso de la placa mg.

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS 2540 - C

Tabla 2-7.5: Determinación de STD

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Los sólidos totales disueltos es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua. Se puede calcular tomando la suma de las concentraciones de todos los cationes y aniones del agua.	Vaso de precipitación de 250ml <ul style="list-style-type: none">Electrodo HACH	<ul style="list-style-type: none">Agua problema	<ul style="list-style-type: none">Colocar una cantidad de agua muestra en un vaso de precipitación.Introducir el electrodoDejar que lea	Lectura directa

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

PH MÉTODO 4500 - B

Tabla 2-8.6: Determinación del pH

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua, prácticamente todas las fases del tratamiento de agua para consumo y residual como, precipitación, ionizado, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH. El pH se utiliza en la determinación de la alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácido-base.</p>	<ul style="list-style-type: none"> pHmetro digital vaso de precipitación de 250ml 	<ul style="list-style-type: none"> agua problema 	<ul style="list-style-type: none"> calibrar el pHmetro utilizando las soluciones 4, 7 y 10 colocar el electrodo en el vaso de precipitación leer el valor 	Lectura directa

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

TURBIDEZ MÉTODO 2130 - B

Tabla 2-9.7: Determinación de turbidez

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Cuando mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez. La turbidez de una concentración especificada de suspensión de formacina se define como el equivalente a 40 unidades nefelométricas. La turbidez puede determinarse en cualquier muestra de agua libre de residuos y privada de sedimentos gruesos.	Turbidímetro	<ul style="list-style-type: none">• Agua problema	<ul style="list-style-type: none">• colocar una cantidad de muestra en la celda del turbidímetro y dejar que lea.	Lectura directa

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

COLOR MÉTODO 2120

Tabla 2-10.8: Determinación de color

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
El término color se asocia al concepto de color puro, esto es, el color del agua cuya turbidez ha sido eliminada. El término color aparente engloba no sólo el color debido a las sustancias disueltas, sino también a las materias en suspensión.	<ul style="list-style-type: none">• Equipo HACH DR 2800• pizeta	<ul style="list-style-type: none">• Agua muestra• Agua destilada	<ul style="list-style-type: none">• Colocar en una celda el agua muestra• Colocar en otra celda agua destilada• Ecerar el equipo con el agua destilada• Leer la celda con agua muestra	Lectura directa

Fuente: HACH MODEL DR/2800

HIERRO MÉTODO 8008

Tabla 2-11.9: Determinación de hierro

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
El hierro es un constituyente inorgánico que está presente en las aguas de formación por lo tanto en los lodos provenientes de éstas. El óxido de tubos de hierro o acero, también puede aumentar la concentración de materiales disueltos, así como la cantidad total de hierro.	<ul style="list-style-type: none">• HACH DR 2800• Pipeta de 10ml• Pizeta	<ul style="list-style-type: none">• Reactivo ferrover• Agua problema	<ul style="list-style-type: none">• Colocar en una celda 10ml de agua muestra• Colocar en otra celda agua muestra más reactivos• Esperar el tiempo sugerido• Encerar el equipo con la celda blanco• Leer el valor de la celda problema	Lectura directa

Fuente: HACH MODEL DR/2800

FOSFATOS MÉTODO 8190

Tabla 2-12.10: Determinación de fosfatos

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfato, fosfatos condensados pirofosfatos, metafosfatos, otros polifosfatos y los fosfatos ligados orgánicamente. Los fosfatos orgánicos se forman en procesos biológicos. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitado de la productividad primaria de un cuerpo en el agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • HACH DR 2800 • Pipeta de 10ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivo phosfover • Agua problema 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar en una celda 10ml de agua muestra • Colocar en otra celda agua muestra más reactivos • Esperar el tiempo sugerido • Encerar el equipo con la celda blanco • Leer el valor de la celda problema 	Lectura directa

Fuente:HACH MODEL DR/2800V

NITRATOS MÉTODO 4500-NO₂⁻-B

Tabla 2-13.11: Determinación de nitratos

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro. En muchas aguas subterráneas, se ha observado un incremento de los niveles de nitratos debido a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas.	<ul style="list-style-type: none">• HACH DR 2800• Pipeta de 10 ml	<ul style="list-style-type: none">• Reactivo nitra-ver• Agua muestra	<ul style="list-style-type: none">• Colocar en una celda 10ml de agua muestra• Colocar en otra celda agua muestra más reactivos• Esperar el tiempo sugerido• Encerrar el equipo con la celda blanco• Leer el valor de la celda problema	Lectura directa

Fuente: HACH MODEL DR/2800

FLUORUROS MÉTODO8029

Tabla 2-14.12: Determinación de fluoruros

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Una concentración de fluoruro de 1,0 mg/l aproximadamente en el agua de bebida reduce efectivamente de caries dentales sin efectos perjudiciales sobre la salud. El fluoruro puede aparecer naturalmente en el agua o se puede adicionar en cantidades controladas. Cuando el nivel se excede del recomendado puede producirse fluorosis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> HACH DR 2800 	<ul style="list-style-type: none"> Agua problema SPAND 	<ul style="list-style-type: none"> Colocar en una celda 10ml de agua destilada Colocar en otra celda agua muestra Añadir a las dos celdas dos ml de SPAND Esperar el tiempo sugerido Encerar el equipo con la celda blanco Leer el valor de la celda problema 	Lectura directa

Fuente: HACH MODEL DR/2800

NITRITOS MÉTODO 4500 - B

Tabla 2-15.12: Determinación de Nitritos

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
El ión nitrato (NO_3^-) forma sales muy solubles y estables. En un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno gas e incluso amoníaco.	Espectrofotómetro	<ul style="list-style-type: none">• Solución A• Solución B• Agua problema	<ul style="list-style-type: none">• En un balón de 50ml colocar 25ml de muestra• Adicionar 2 ml de solución A y 2 ml de solución B, aforar con la misma muestra• dejar reposar 30 min. Medir en el fotómetro a 520nm.	Lectura directa

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

AMONIOS METODO4500 - C

Tabla 2-16.13: Determinación de amonios

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Los dos factores principales que influyen en la selección del método para determinar el amoniac, son la concentración y la presencia de interferencias. En general la determinación manual directa de concentraciones bajas se limita a las aguas potables, aguas superficiales limpias y diluyentes residuales nitrificados de buena calidad.	Espectrofotómetro	<ul style="list-style-type: none"> • tartrato de sodio y potasio • sol. Nessler, • agua problema 	<ul style="list-style-type: none"> • En un balón de 50ml colocar 25ml de muestra • Adicionar 1 ml de tartrato de sodio y potasio • Añadir 2ml de sol. Nessler, aforar con la misma muestra. • Medir a 425nm 	Lectura directa

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

SULFATOS MÉTODO 4500 - E

Tabla 2-17.14: Determinación de sulfatos

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
El sulfato de sodio se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unas pocas a varios miligramos por litro. Los residuos del drenado de minas pueden aportar grandes cantidades debido a la oxidación de la pirita. El sulfato de sodio ejerce una acción catalítica.	.Espectrofotómetro	solución acondicionadora <ul style="list-style-type: none">de cloruro de barioagua problema	<ul style="list-style-type: none">Tomar una porción de muestra en un balón de 100mlAñadir 2ml de solución acondicionadoraAdicionar aproximadamente 1g de cloruro de bario, aforar con la muestraMedir en el equipo a 410nm	Lectura directa

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

CLORUROS MÉTODO 4500-Cl⁻-B

Tabla 2-18.15: Determinación de cloruros

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El cloruro en la forma de iones Cl⁻ es uno de los aniones inorgánicos principales presentes en el agua natural y residual. En el agua potable el sabor salado es generado por los cloruros, es variable y depende de la composición química del agua. En algunos casos este sabor salado típico puede estar ausente en aguas con hasta 1000 mg/l cuando los cationes predominantes son el calcio y magnesio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pipeta de 25ml • Bureta de 25ml • Erlenmeyer 150ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Cromato de potasio • nitrato de plata 0,01N • agua problema 	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar 25ml de muestra en un balón de 50ml • Añadir 4 gotas de cromato de potasio • Titular con nitrato de plata 0,01N 	<p>Lectura de titulación</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

CLORO RESIDUAL MÈTODO 4500-CI

Tabla 2-19.16: Detrminación del Cloro Residual

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La cloración del agua para suministro y residual sirve principalmente para destruir o desactivar los microorganismos causantes de enfermedades. Una segunda ventaja, especialmente en el tratamiento del agua reside en la mejora general de su calidad, como consecuencia de la reacción del cloro con el amoníaco, hierro, manganeso, sulfuros y algunas sustancias orgánicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • HACH DR 2800 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua problema • DPD – total 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar en una celda 10ml de agua muestra • Colocar en otra celda agua muestra más reactivos • Esperar el tiempo sugerido • Encerar el equipo con la celda blanco • Leer el valor de la celda problema 	Lectura directa

Fuente: HACH MODEL DR/2800

**DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA MÉTODO
9222-B**

Tabla 2-20.17: Determinación de contaminación microbiológica

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La potabilidad del agua es de gran importancia en cuanto a Salud Pública, ya que ésta puede servir como vehículo de microorganismos patógenos, es decir, productores de enfermedades llamadas comúnmente "de origen hídrico". El microorganismo indicador más comúnmente utilizado es Escherichia coli, considerando la OMS preferible emplear la expresión Coliforme fecal</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Membranas estériles • Equipo de absorción por filtración de membranas 	<p>Medio de cultivos para coliformes fecales y totales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Esterilizar la pinza - Codificar las cajas - Colocar las membranas en el soporte - Colocar el embudo y cerrar la llave - Homogenizar la muestra - Se coloca 100 ml de la muestra en el embudo - Se prende la bomba hasta que filtre totalmente - Se abre la llave se coloca la membrana en la caja - Agregar a la caja el medio de cultivo respectivo - Realizar el mismo procedimiento para el otro cultivo - Encubar de 24 a 48 horas 	<p>Conteo de colonias</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

2.3 DATOS EXPERIMENTALES

2.3.1 DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA

El sistema de tratamiento Regional Colta se abastece actualmente del agua proveniente de corrientes superficiales que realiza su recorrido desde los páramos, durante su trayecto acarrea contaminantes orgánicos generadores de microorganismos que posteriormente son eliminados por el proceso de potabilización.

Al realizar la caracterización física – química y microbiológica del agua que ingresa a la planta de tratamiento mediante tubería y del agua tratada sin desinfectar se logró determinar el estado actual de la planta.

Los análisis se los realizó en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.



Gráfico 2: Planta Actual

Fuente: Marcela Hermida Ch.

2.3.1.1 CAPTACIÓN

Consta de una caja de concreto que mide 3m x 2m, el agua llega al interior de la planta mediante tubería PVC, el caudal máximo oscila entre 3 y 4 L/s.

A la salida del tanque de captación existe una tubería que conduce el agua hasta los tanques de filtración.



Figura 2-1: captación del agua

Fuente: Marcela Hermida Ch.

2.3.1.2 FILTROS

Existen dos filtros lentos de arena y grava, los mismos que tienen una dimensión de 10.65m x 10.4 m divididos en dos partes iguales con una profundidad de x 3.3 m. Los filtros se encuentran constituidos aproximadamente de una altura de 1m de arena blanca con un tamaño efectivo de 0.30mm y una capa de 0.40m de grava.

Cabe recalcar que no se dispone de un mecanismo de lavado, el operador lo realiza manualmente dejando secar los tanques y lavando la arena mediante un raspado de la misma.



Figura 2-2: Tanques de Filtración

Fuente: Marcela Hermida Ch.

2.3.1.3 CASETA DE CLORACIÓN

En la caseta de cloración se suministra hipoclorito de calcio al agua que proviene de los tanques de filtración, el desinfectante está en un tanque de capacidad de 250 L, con el fin que el desinfectante actúe correctamente. Las medidas de la caseta es 2.20m x 0.80m x 1.40m.



Figura 2-3: Caseta y tanque de cloración

Fuente: Marcela Hermida Ch.

2.3.1.4 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para el almacenamiento del agua destinada a la distribución de los usuarios que cuentan con el servicio de agua potable existe un tanque con capacidad de 1000l.



Figura 2-4: Tanque de almacenamiento

Fuente: Marcela Hermida Ch.

2.3.2 DATOS DEL AGUA DEL ACTUAL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El agua captada se tomó en el cajón de recepción de la planta Regional Colta, mientras que el agua tratada fue tomada del vertedero que reúne el agua de los dos tanques de filtración.

2.3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS CAPTADA Y TRATADA

Tabla 2-21.17: Caracterización física-química de las aguas captadas y tratadas (promedios semanales)

Determinación	Unidad	Promedio semana 1		Promedio semana 2		Promedio semana 3		Promedio semana 4		Promedio semana 5	
		Captada	Tratada								
pH	Unid	6,68	6,63	7,2	6,34	6,57	6,57	7,2	7,2	7,56	7,56
Color	PtCo	19	18	31	26	28	28	43	43	43	43
Conductividad	μSiems/cm	112	108	102	110	107	107	108	108	191	191
Turbiedad	UNT	3,3	2,8	3,2	1,5	3,4	3,4	2,8	2,8	13,4	13,4
Cloruros	mg/L	7,1	4,3	1,4	1,4	4,3	4,3	1,6	1,6	1,4	1,4
Dureza	mg/L	64	64	144	208	64	64	104	104	144	144
Calcio	mg/L	16	9,6	12,8	19,2	9,6	9,6	12,8	12,8	41,6	41,6
Magnesio	mg/L	5,8	9,7	27,2	38,9	9,7	9,7	17,5	17,5	9,7	9,7
Alcalinidad	mg/L	120	100	140	120	80	80	40	40	140	140
Bicarbonatos	mg/L	122,4	102	142,8	122,4	81,6	81,6	40,8	40,8	142,8	142,8
Sulfatos	mg/L	0,5	0,5	8,1	8,9	6	6	3,5	3,5	19,5	19,5
Amonios	mg/L	0,018	0,018	0,04	0,025	0,018	0,018	0,097	0,097	0,162	0,162
Nitritos	mg/L	<0,001	<0,001	0,003	0,005	<0,001	<0,001	0,007	0,007	0,008	0,008
Nitratos	mg/L	0,8	0,7	0,9	0,7	0,3	0,3	1	1	0,3	0,3
Hierro	mg/L	0,4	0,44	0,616	0,44	0,529	0,529	0,532	0,532	1,036	1,036
Fosfatos	mg/L	0,171	0,17	0,255	0,16	0,199	0,199	0,19	0,19	0,209	0,209
Fluoruros	mg/L	0,1	0,1	0,4	0,84	0,49	0,49	0,16	0,16	0,16	0,16
Sólidos Totales	mg/L	176	188	188	208	208	208	220	220	232	232
Sólidos Disueltos	mg/L	69,3	66,3	63,2	67,9	66,3	66,3	67,2	67,2	118,1	118,1

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Tabla 2-22.18: Promedio de la caracterización física-química de las aguas captadas y tratadas

Determinaciones	Unidades	*Límites	Promedio captada	Promedio tratada
<i>Ph</i>	<i>Unid</i>	6.5 - 8.5	7,042	6,86
<i>Color</i>	<i>PtCo</i>	< 5	32,8	31,6
<i>Conductividad</i>	<i>μSiems/cm</i>	< 1250	124	124,8
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	1	5,22	4,78
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>	250	3,16	2,6
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	200	104	116,8
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>	70	18,56	18,56
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>	30 - 50	13,98	17,1
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	104	96
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	106,08	97,92
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	200	7,52	7,68
<i>Amonios</i>	<i>mg/L</i>	< 0.50	0,067	0,064
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	0,001	0,0036	0,004
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	< 40	0,66	0,6
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	0.30	0,6226	0,5954
<i>Fosfatos</i>	<i>mg/L</i>	< 0.30	0,2048	0,1856
<i>Fluoruros</i>	<i>mg/L</i>	1,5	0,262	0,35
<i>Sólidos Totales</i>	<i>mg/L</i>	1000	204,8	211,2
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	500	76,82	77,16

* valores referenciales para aguas de consumo doméstico (Normas Inen 1108 "Agua Potable Requisitos).

Fuente: Marcela Hermida Ch.

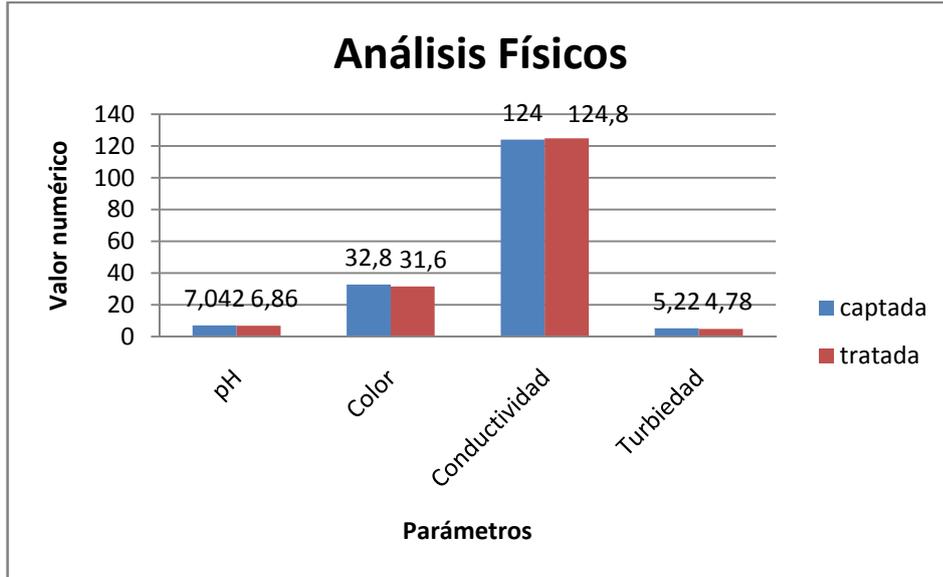


Gráfico 3: Análisis Físicos

Fuente: Marcela Hermida Ch.

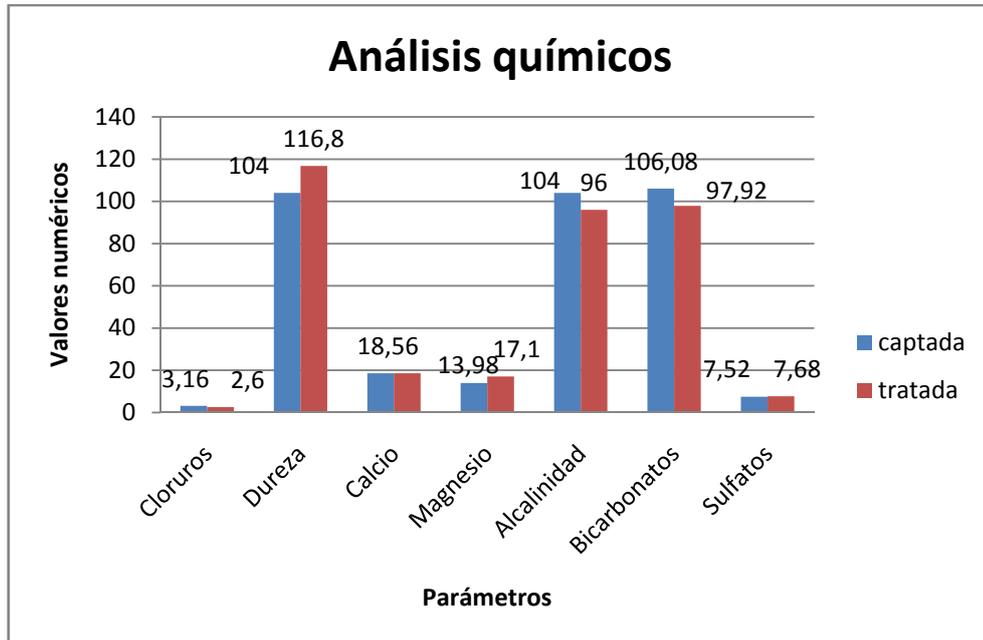


Gráfico 4: Análisis químicos 1

Fuente: Marcela Hermida Ch.

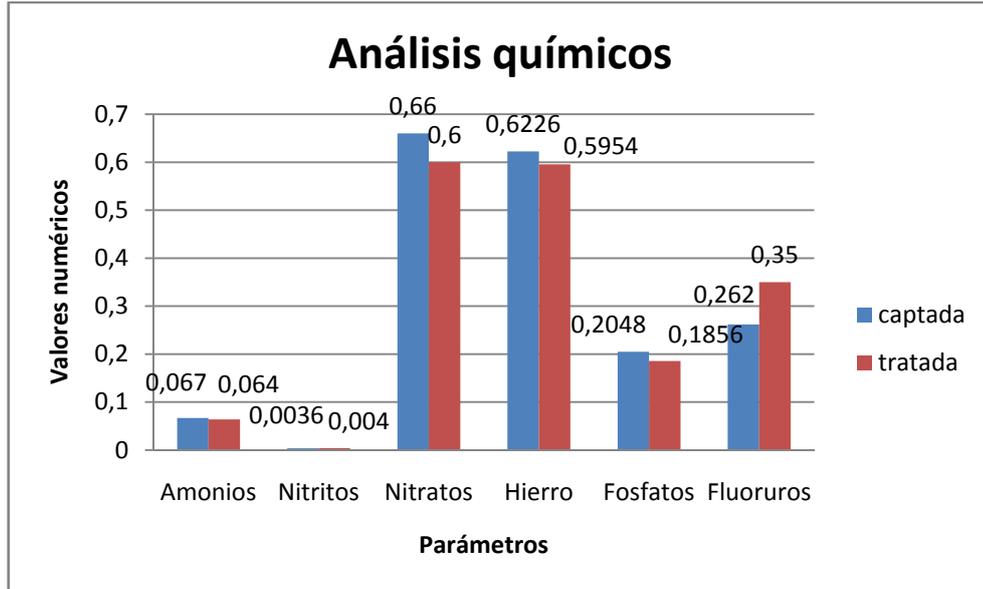


Gráfico 5: Análisis químicos

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Tabla 2-23.18: Análisis microbiológicos de las aguas captada y tratada (promedio de las cinco semanas)

Muestra	Valor Referencial	Agua Captada	Agua Tratada
Parámetros			
Coliformes Totales <i>UFC/100ml</i>	<2	4	1
Coliformes Fecales <i>UFC/100ml</i>	< 2	2	Ausencia

Fuente: Marcela Hermida Ch.

2.3.2.2 PRUEBA DE JARRAS UTILIZANDO POLICLORURO DE ALUMINIO

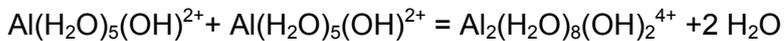
Se realizó las pruebas de jarras tomando muestras del agua captada, a la misma se le dosificó 20 ml de policloruro de aluminio al 1%, además hipoclorito de sodio a partir de 1.2 ml en 1000ml de agua captada.

Tabla 2-24.19: Prueba de Jarras

Determinaciones	1.2 ml	1.5 ml	1,6 ml	1,8 ml	2.2 ml
Ph	7,93	7,76	7,97	8,06	8,39
Color	6	3	1	<1	<1
Turbiedad	0,412	0,236	0,335	0,203	0,372
Hierro	0,29	0,15	0,13	0,11	0,13
Cloro residual	0,3	0,3	0,4	0,7	1,9

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Al analizar la tabla de resultados encontramos que la dosificación con la que se trabaja es óptima en la disminución de los parámetros problemas como color turbiedad, hierro, por lo tanto se realiza la siguiente propuesta. Su reacción es:



2.3.2.3 PROPUESTA

Para mejorar la calidad del agua que se capta en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Regional Colta, se propone la implementación de etapas de potabilización como: mezclado rápido con adición de policloruro de aluminio al 1%, floculación y sedimentación en el sistema actual; mismas que aportarán a la obtención de un agua potable que garantice su utilización.

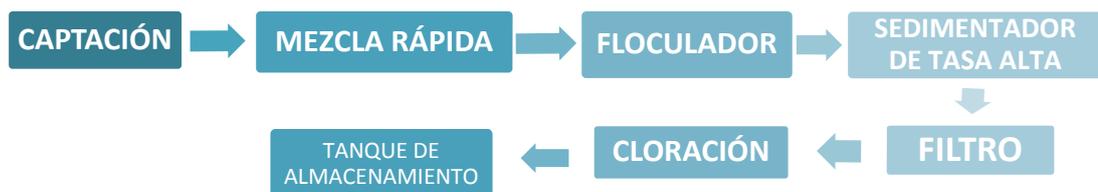


Gráfico 6: Propuesta

Fuente: Marcela Hermida Ch.

CAPITULO III

REDISEÑO

CAPÍTULO III

3 REDISEÑO

El rediseño de la planta de agua potable Regional Colta consiste en diseñar etapas complementarias en las que se utilizará un producto químico denominado policloruro de aluminio que sirva como coagulante y floculante, a su vez la adición de hipoclorito de sodio para que mejore la sedimentación garantizando la producción de agua que cumpla con las normas de calidad INEN 1108.

Al realizar los análisis físicos – químicos y microbiológicos del agua cruda y posteriormente del agua tratada en la prueba de jarras, se consideró que el rediseño de la planta de tratamiento consiste en la implementación de: la sección rápida con vertedero rectangular con contracciones laterales, en caída libre que garantice el adecuado contacto con el polímero con el agua cruda; floculadores hidráulicos de flujo horizontal para mantener el agua con polímero el tiempo necesario para que se realice una adecuada sedimentación; sedimentadores de tasa alta para aprovechar el espacio físico de la planta y el rediseño de los filtros lentos de arena por uno de filtro rápido.

3.1 CÁLCULOS DE INGENIERÍA

3.1.1 Tanque de MEZCLA RÁPIDA

$$Q = 4 \text{ L/s}$$

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

$$\mu = 1,307 \times 10^{-3} \text{Ns/m}^2$$

De acuerdo a los parámetros establecidos en el capítulo de estructuras hidráulicas, educación virtual, Universidad Nacional de Colombia, la carga sobre el vertedero, H, es de 0,0042 m. Por lo tanto, el ancho del vertedero, B, es:

$$Q = 1,84BH^{3/2}$$

$$B = \frac{0,004}{(1,84)(0,042)^{3/2}}$$

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

El caudal por unidad de ancho del vertedero: (q)

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

$$q = \frac{4 \times 10^{-3} \text{m}^3}{0,25 \text{ms}}$$

$$q = 0,016 \text{ m}^2/\text{s}$$

Ec.1.5.1.1- d

Donde:

Q: caudal de entrada (m³/s)

B: ancho del vertedero (m)

La profundidad crítica del flujoserá: (h_c)

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

$$h_c = \left(\frac{0,016^2}{9,8}\right)^{1/3}$$

$$h_c = 0,03 \text{ m}$$

Ec. 1.5.1.1- c

Donde:

g : gravedad

q: caudal por unidad de ancho del vertedero

Distancia L_m :

$$L_m = 4,3 P^{0,1} h_c^{0,9}$$

$$L_m = 4,3 (0,60)^{0,1} (0,03)^{0,9}$$

$$L_m = 0,17 \text{ m}$$

Ec. 1.5.1.1- b

Donde:

P: altura del vertedero (m), el valor para caudales pequeños es máximo 1m.

h_c : profundidad crítica de flujo (m)

La profundidad antes del resalto: (h_1)

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} h_c}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}}$$

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} \times 0,03}{1,06 + \sqrt{\frac{0,60}{0,03} + 1,5}}$$

$$h_1 = 0,007m$$

Ec.1.5.1.1- e

Donde:

h_c : profundidad crítica de flujo

P: altura del vertedero

Velocidad de entrada al resalto: (V_1)

$$V_1 = \frac{q}{h_1}$$

$$V_1 = \frac{0,016}{0,007}$$

$$V_1 = 2,29 \text{ m/s}$$

Ec.1.5.1.1- h

Donde:

q: caudal, por unidad de ancho del vertedero

h_1 : profundidad antes del resalto

Número de Froud: (F_1)

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$$

$$F_1 = \frac{2,29}{\sqrt{9,8 \times 0,007}}$$

$$F_1 = 8,74$$

Ec.1.5.1.1- g

Donde:

g : gravedad

h_1 : profundidad antes del resalto

V_1 : velocidad de entrada al resalto

Profundidad luego del resalto: (h_2)

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

$$h_2 = \left(\frac{0,007}{2} \right) \left(\sqrt{1 + 8 \times (8,74)^2} - 1 \right)$$

$$h_2 = 0,083m$$

Ec.1.5.1.1- f

Donde:

h_1 : profundidad antes del resalto

F_1 : número de Froude

Velocidad de salida al resalto: (V_2)

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$V_2 = \frac{0,016}{0,083}$$

$$V_2 = 0,19 \text{ m/s}$$

Ec.1.5.1.1- i

Donde:

q: caudal, por unidad de ancho del vertedero

h_2 : profundidad después del resalto

Pérdida de energía en el resalto: (h)

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

$$h = \frac{(0,083 - 0,007)^3}{4 \times 0,007 \times 0,083}$$

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

Ec.1.5.1.1- j

Donde:

h_1 : profundidad antes del resalto

h_2 : profundidad después del resalto

Longitud del resalto: (L_j)

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

$$L_j = 6(0,083 - 0,007)$$

$$L_j = \mathbf{0,46\ m}$$

Ec.1.5.1.1- k

Donde:

h_1 : profundidad antes del resalto

h_2 : profundidad después del resalto

Velocidad media: (V_m)

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

$$V_m = \frac{2,29 + 0,19}{2}$$

$$V_m = \mathbf{1,24\ m/s}$$

Ec.1.5.1.1- m

Donde:

V_1 : velocidad de entrada al resalto

V_2 : velocidad de salida al resalto

Tiempo de mezcla: (T_m)

$$T_m = \frac{L_j}{V_m}$$

$$T_m = \frac{0,46 \text{ m}}{1,24 \text{ m/s}}$$

$$T_m = 0,37 \text{ s}$$

Ec.1.5.1.1- I

Donde:

L_j : longitud del resalto

V_m : velocidad media en el resalto

Gradiente de velocidad: (G)

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu T_m}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9810 \times 0,19}{1,307 \times 10^{-3} \times 0,37}}$$

$$G = 1963,24 \text{ s}^{-1}$$

Ec.1.5.1.1- n

Donde.

γ : peso específico del agua (9810 N/m³ a 10 °C)

h : pérdida de energía en el resalto

μ : Viscosidad dinámica del agua ($1,307 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

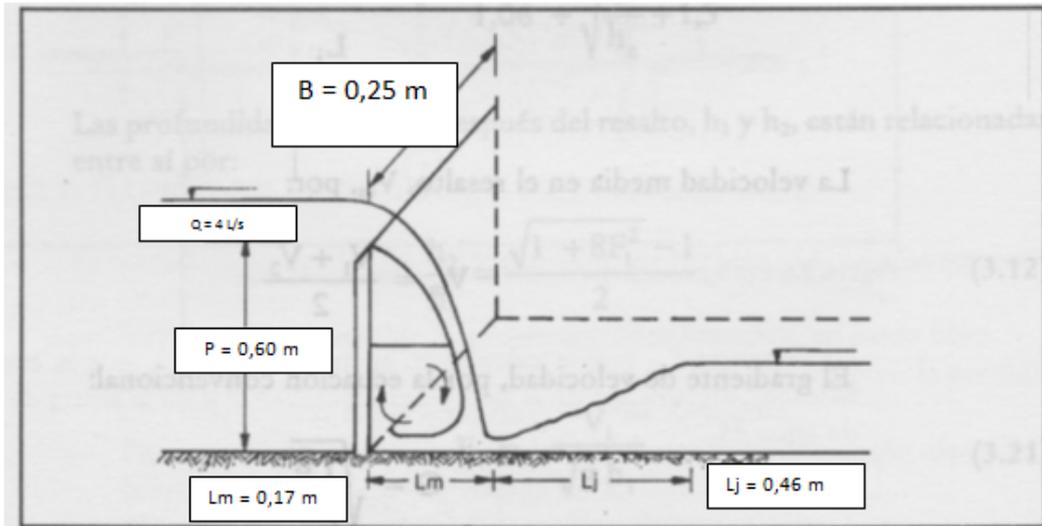


Figura 3- 1: Dimensiones del Mezclador en vertedero rectangular

Fuente: Marcela Hermida Ch.

3.1.2 FLOCULADORES HIDRÁULICOS DE FLUJO HORIZONTAL

$$Q = 4 \text{ L/s}$$

$$V_2 = 0,19 \text{ m/s}$$

$$t = 30 \text{ min}$$

Distancia total recorrida: (L)

$$L = v \times t$$

$$L = 0,19 \frac{m}{s} \times 30 \text{ min} \times \frac{60s}{min}$$

$$L = 342 \text{ m}$$

Ec.1.5.2.1- e

Volumen de agua a mezclar cada 30 min: (V)

$$V = Q \times t$$

$$V = 4 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \times 30 \text{ min} \times \frac{60s}{min}$$

$$V = 7,2 \text{ m}^3$$

Ec.1.5.2.1- f

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

t: tiempo (min)

Área transversal requerida de un canal entre baffles: (a)

$$a = \frac{V}{L}$$

$$a = \frac{7,2}{342}$$

$$a = 0,02 \text{ m}^2$$

Ec.1.5.2.1- g

$$a = \frac{Q}{V_2}$$

$$a = \frac{4 \times 10^{-3}}{0,19}$$

$$a = 0,02 \text{ m}^2$$

Ec.1.5.2.1- h

Distancia entre baffles: (d)

$$d = \frac{a}{s}$$

$$d = \frac{0,02}{0,225}$$

$$d = 0,09 \text{ m}$$

Ec.1.5.2.1- i

Donde:

a: área transversal (m²)

s: separación entre baffles (m)

La separación mínima entre tabiques: (d_f)

$$d_f = \frac{0,02}{0,20}$$

$$d_f = 0,1 \text{ m}$$

Profundidad total del tanque, tomando un borde libre de 0,15 m es: (P_{tanque})

$$P_{\text{tanque}} = 0,1 + 0,15$$

$$\mathbf{P_{\text{tanque}} = 0,25 m}$$

Espacio libre entre tabiques y pared del tanque: (e)

$$e = 1,5 * s$$

$$e_l = 1,5 x 0,20$$

$$\mathbf{e = 0,3 m}$$

Ec.1.5.2.1- j

Se adopta un espacio libre de 0,6 m y el ancho útil de la cámara de floculación de 4 m, la longitud efectiva de cada canal será: (l)

$$l = \text{ancho} - e$$

$$l = 4 - 0,6$$

$$\mathbf{l = 3,4 m}$$

Ec.1.5.2.1- k

Y el número requerido de canales: (N)

$$N = \frac{L}{l}$$

$$N = \frac{342}{3,4}$$

$$N = 101$$

Ec.1.5.2.1- I

Suponiendo un espesor de cada tabique de 3 cm, la longitud total de la cámara de floculación será: (L_T)

$$L_T = (101 \times 0,20) + (100 \times 0,03)$$

$$L_T = 23,2 \text{ m}$$

La pérdida por fricción es: (h_f)

$$h_f = \frac{(nv)^2 L}{R^{4/3}}$$

$$h_f = \frac{(0,013 \times 0,19)^2 \cdot 101 \times 3,4}{\left(\frac{0,34}{3,6}\right)^{4/3}}$$

$$h_f = 0,048 \text{ m}$$

Ec.1.5.2.1- b

Donde:

h_f : La pérdida por fricción en el tanque (m)

v: Velocidad (m/s)

L: Distancia total recorrida por el agua (m)

n: Coeficiente de Fricción del Cemento (FIGURA 1-13)

R: Radio hidráulico del canal

La pérdida adicional: (h)

$$h = \frac{3(N - 1)v^2}{2g}$$

$$h = \frac{3(101 - 1)0,19^2}{2 \times 9,8}$$

$$\mathbf{h = 0,553m}$$

Ec.1.5.2.1- c

Dónde:

H: pérdida adicional por curvas en el canal (m)

N-1: número de tabiques o baffles

v: velocidad promedio de flujo

H: pérdida de energía en el floculador, (m)

La pérdida total será: (H)

$$H = h_f + h$$

$$H = 0,048 + 0,553$$

$$H = 0,601m$$

Ec.1.5.2.1- a

El gradiente de velocidad para una temperatura de 15 °C: (G)

$$G = \sqrt{\frac{gH}{\nu t}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9,8 \times 0,601}{1,139 \times 10^{-6} \times 30 \times 60}}$$

$$G = 53,60 \text{ s}^{-1}$$

Donde: Ec.1.5.2.1- d

g/ν : relación que depende de la temperatura del agua

H: pérdida de carga total (m)

t: tiempo de mezcla (min)

ν : Viscosidad Cinemática (m²/s)

g: Gravedad (m/s²)

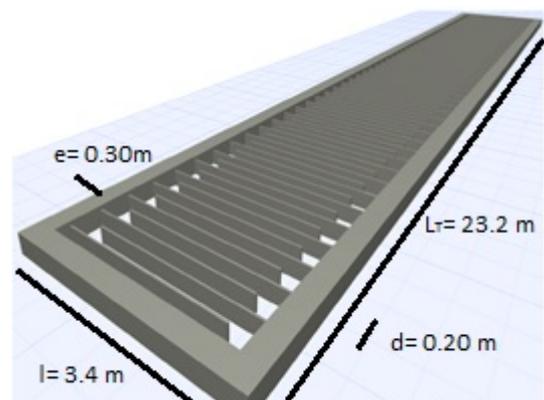


Figura 3- 2: dimensiones del floculador

El número adimensional de Camp: (Gt)

$$Gt = 53,60 \times 30 \times 60 = 96480$$

El floculador diseñado cumple los parámetros de varios autores con G entre 70 y 20s⁻¹ y número de Camp entre 50000 y 100000.

3.1.3 REDISEÑO DE SEDIMENTADORES DE TASA ALTA

Parámetros de diseño de un sedimentador de una tasa alta de 4 L/s; T=15°C; A

$$= 3\text{m} \times 1,5\text{m}$$

$$\mu = 1,139 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

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

$$CS = \frac{4 \times 10^{-3} \times 86400}{3 \times 1,5}$$

$$CS = 76,8 \text{ m/d}$$

Ec.1.5.3.2- c

Donde:

CS: carga superficial

Q: caudal actual de la planta

A: área útil

$$v_o = \frac{Q}{A \sin \theta}$$

$$v_o = \frac{4 \times 10^{-3} \times 86400}{3 \times 1,5 \times \sin 60}$$

$$v_o = 88,68 \text{ m/d} = 0,062 \text{ m/min}$$

Ec.1.5.3.2- d

Donde:

V_0 : velocidad inicial; θ : valor de ángulo recomendado para diseño.

Suponiendo una separación de placas de 6 cm (la longitud relativa de sedimentación): (L_R)

$$L_R = \frac{l}{d}$$

$$L_R = \frac{45}{6}$$

$$L_R = 7,5 \text{ cm}$$

Ec.1.5.3.2- e

Donde:

d: separación de placas; l= longitud recomendada de placa.

$$L' = \frac{0,013v_0d}{u}$$

$$L' = \frac{0,013 \times 0,062 \times 0,06}{60 \times 1,139 \times 10^{-6}}$$

$$L' = 0,71 \text{ m}$$

Ec.1.5.3.2- f

Donde:

L' : longitud relativa para la región de transición

d: separación de placas

Vo: velocidad inicial; Lc: longitud relativa de sedimentación

$$L' < L \leq Lc = L - L' \quad Lc = 7,5 - 0,71$$

$$Lc = \mathbf{6,79 \text{ m}}$$

La velocidad crítica de asentamiento es: (Vsc)

$$v_{sc} = \frac{v_o}{\sin\theta + Lc \cos\theta}$$

$$v_{sc} = \frac{0,062}{\sin 60 + 6,79 \cos 60}$$

$$v_{sc} = \mathbf{0,015 \text{ m/d}}$$

Vo: velocidad inicial Ec.1.5.3.2- g

Número de Reynolds: (N_{RE})

$$N_{RE} = \frac{v_o d}{u}$$

$$N_{RE} = \frac{0,062 \times 0,06}{86400 \times 1,139 \times 10^{-6}}$$

$$N_{RE} = \mathbf{0,04}$$

Ec.1.5.3.2- h

Tiempo de retención: (t_{RC})

$$t_{RC} = \frac{l}{v_o}$$

$$t_{RC} = \frac{0,45}{0,062}$$

$$t_{RC} = 7,26 \text{ min}$$

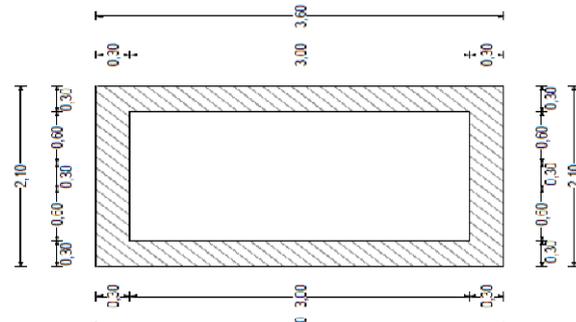
Ec.1.5.3.2- i

Tiempo de retención en el tanque:(T_{RC})

$$t_{RC} = \frac{V}{Q}$$

$$t_{RC} = \frac{3 \times 1,5 \times 1,7}{4 \times 10^{-3} \times 60}$$

$$t_{RC} = 31,88 \text{ min}$$



Ec.1.5.3.2- b

Figura 3- 3: dimensiones del sedimentador

3.1.4 REDISEÑO DE FILTROS

$$N_F = 0,044\sqrt{Q}$$

$$N_F = 0,044\sqrt{345,6}$$

$$N_F = 0,82$$

$$N_F = 1$$

Ec.1.5.4.3- a

Donde:

Q : caudal de la planta m^3/d ; N_F : número de filtros

El rediseño de filtros implica la aplicación de un filtro rápido para tratar el caudal ya que la planta no puede interrumpir la producción de agua cada vez que se cumpla con la carrera del filtro.

Se utilizará una capa de 1 m de altura de arena de 0,03 mm y una capa de grava con una altura de 0,40m.

3.1.5 CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN DE PAC

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

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

$$x = \frac{14,4 * 20}{60 * 1 * 1,24}$$

$$x = 3,87 \text{ ml/min}$$

Donde:

Q= Caudal (m³/h)

C= Concentración de acuerdo al test de jarras (ppm)

%P= Porcentaje de dilución

ρ = Densidad del PAC (1.24 Kg/L)

Cantidad de PAC a utilizar por día: (x)

$$x = \frac{3,87 * 60 * 24}{1000}$$

$$x = 5,573 \text{ L/día}$$

3.2 RESULTADOS

3.2.1 MEZCLA RÁPIDA

Tabla 3-1: Resultados mezcla rápida

CÁLCULO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Longitud	Lm	0,17	m
Caudal por unidad de ancho del vertedero	Q	0,016	m ² /s
Altura crítica	h _c	0,03	m
Profundidad antes del resalto	h ₁	0,007	m
Velocidad de entrada al resalto	v ₁	2,29	m/s
Número de Froude	F	8,74	
Profundidad luego del resalto	h ₂	0,083	m
Velocidad de salida al resalto	v ₂	0,19	m/s
Pérdida de energía en el resalto	H	0,19	m
Longitud del resalto	Lj	0,46	m
Velocidad media	v _m	1,24	m/s
Tiempo de mezcla	t _m	0,37	S
Gradiente de velocidad	G	1963,24	s ⁻¹

Fuente: Marcela Hermida Ch.

3.2.2 FLOCULADORES HIDRÁULICOS

Tabla 3-2: Resultados floculadores hidráulicos

CÁLCULOS	SÍMBOLOS	VALOR	UNIDADES
Distancia total recorrida	L	342	m
Volumen de agua a mezclar cada 30 min	V	7,2	m ³
Área transversal requerida de un canal entre bafles	a	0,02	m ²
Separación mínima entre tabiques	d	0,1	m
Distancia entre bafles	d _f	0,09	m
Profundidad total del tanque	ht	0,25	m
Espacio libre entre tabiques y pared del tanque	e _l	0,3	m
longitud efectiva	l	3,4	m
Número requerido de canales	N	101	
Longitud total interior de la cámara de floculación	L _T	23,2	m
Pérdida por fricción en el tabique	h _f	0,048	m
Pérdida adicional	h	0,553	m
Pérdidas totales	H	0,601	m
Gradiente de velocidad	G	53,6	s ⁻¹
número adimensional de Camp	Gt	96480	

Fuente: Marcela Hermida Ch.

3.2.3 DOSIFICACIÓN DE PAC

Tabla 3.2- 1: Dosificación de PAC

CÁLCULOS	SÍMBOLOS	VALOR	UNIDADES
Dosificación de PAC	x	5,573	L/d

Fuente: Marcela Hermida Ch.

3.2.4 SEDIMENTADORES

Tabla 3-3: Resultados sedimentadores

CÁLCULOS	SÍMBOLOS	VALOR	UNIDADES
Carga superficial	CS	76,8	m/día
Velocidad inicial	v_0	0,062	m/min
Longitud relativa de sedimentadores	L_R	7,5	cm
Longitud relativa para la región de transición	L'	0,71	m
Longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo laminar	L_c	6,79	m
Velocidad crítica de asentamiento	v_{sc}	0,015	m/día
Número de Reynolds	N_{RE}	0,04	
Tiempo de retención en las celdas	t_{RC}	7,26	min
tiempo de retención en el tanque	T_{RT}	31,88	min

Fuente: Marcela Hermida Ch.

3.2.5 FILTROS

Tabla 3-4: Resultados filtros

CÁLCULOS	SÍMBOLOS	VALOR	UNIDADES
Caudal total de tratamiento	Q	345,6	m ³ /día
Número de filtros totales	N_F	1	

Fuente: Marcela Hermida Ch.

3.2.6 RESULTADOS FÍSICOS – QUÍMICOS DEL AGUA CAPTADA Y DEL AGUA TRATADA

Tabla 3-5: Resultados físicos-químicos del agua captada y del agua tratada

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados Iniciales	Resultados Finales
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	6.5 - 8.5	7,56	8,08
<i>Color</i>	<i>PtCo</i>	< 5	43	< 1
<i>Conductividad</i>	<i>μSiems/cm</i>	< 1250	191	422
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	1	13,4	0,2
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>	250	1,4	9,9
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	200	144	88
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>	70	41,6	28,8
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>	30 – 50	9,7	3,9
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	250 – 300	140	80
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	250 – 300	142,8	81,6
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	200	19,5	8,7
<i>Amonios</i>	<i>mg/L</i>	< 0.50	0,162	0,047
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	0,001	0,008	0,004
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	< 40	0,3	18,2
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	0.30	1,036	0,109
<i>Fosfatos</i>	<i>mg/L</i>	< 0.30	0,209	0,189
<i>Fluoruros</i>	<i>mg/L</i>	1,5	0,16	0,89
<i>Sólidos Totales</i>	<i>mg/L</i>	1000	232	236
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	500	118,1	204

* valores referenciales para aguas de consumo doméstico INEN 1108

Fuente: Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

3.3 PROPUESTA

Para la obtención de un agua para consumo humano que cumpla con los requisitos que establece la NORMA INEN 1108 de agua potable es necesario realizar un tratamiento que garantice su utilización sin generar riesgos para los consumidores, por tal motivo se presenta un rediseño de la planta de agua potable Regional Colta, el mismo que disminuye los valores de los parámetros que están fuera de norma como de color, turbiedad, hierro, así como otros parámetros importantes.

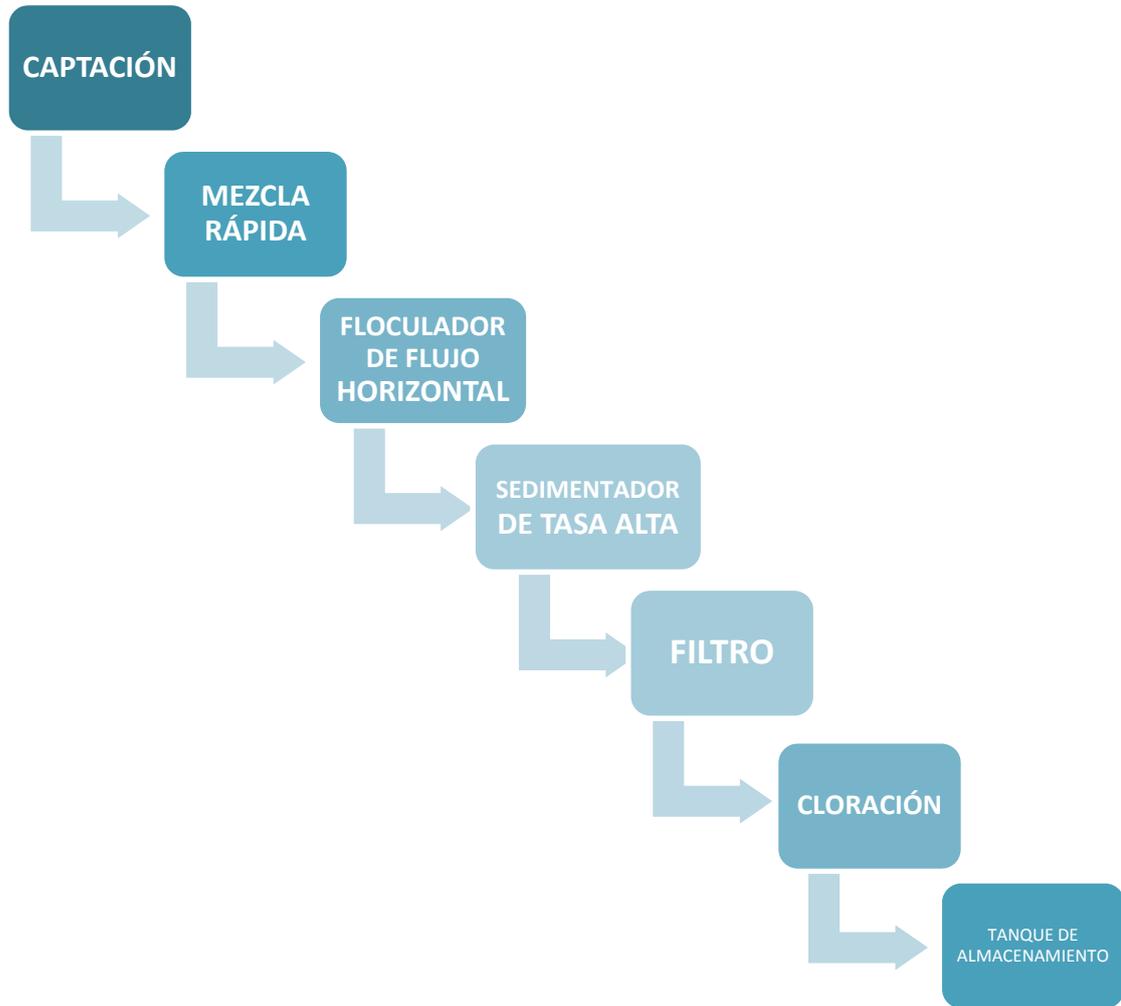


Gráfico 7: propuesta de rediseño de la planta

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Todas las especificaciones se encuentran en las tablas: 3-1, 3-2, 3-3 y 3-4. Las etapas de captación, filtración cloración y almacenamiento se conservan.

3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.4.1 PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Durante un periodo de cinco semanas se realizaron las distintas caracterizaciones físicas - químicas del agua captada se obtuvieron los resultados especificados en la **Tabla 2-21.17**, los mismos que al compararlos con la Norma INEN 1180 para agua potable, se identifica que los parámetros color, turbiedad y hierro se encuentran fuera de los límites permisibles.

En los análisis microbiológicos del agua presentados en la **Tabla 2-23.18**, se pudo determinar que después de un filtrado se logró reducir los microorganismos presentes en el agua, lo que indica que esta etapa es necesaria para la eliminación de coliformes totales presentes en el agua. Cabe recalcar que el filtrado no se lo realiza continuamente ya que los tanques no tienen el mantenimiento adecuado y el agua captada se distribuye directamente.

En la **Tabla 2-21.17** se puede observar que existe una variación notable en los datos de la turbiedad, esto fue debido a que las muestras tomadas se realizaron en días de lluvia por lo tanto el agua trae consigo mayor cantidad de impurezas. De igual manera afecta al color.

Además con los resultados del agua captada y tratada durante la primera y segunda semana, se determinó que los filtros necesitaban ser lavados para que exista un tratamiento efectivo y no altere los valores principalmente de dureza, sólidos totales y sólidos disueltos.

Tomando en cuenta las consideraciones mencionadas se optó por un sistema de tratamiento con ayuda de un coagulante y un desinfectante a base de cloro para la reducción notable de turbiedad, color y hierro.

Los resultados finales del estudio expuestos en la **Tabla 3-5** nos permiten abalizar el tratamiento propuesto, en donde podemos observar que se presentan nuevas condiciones, las mismas que se encuentran dentro de los límites admisibles que estipula la Norma INEN 1108 de agua potable.

Tabla 3-6: Parámetros fuera de norma del agua captada

AGUA CAPTADA								
PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITE	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Promedio
<i>Color</i>	<i>PtCo</i>	<i>< 5</i>	<i>19</i>	<i>31</i>	<i>28</i>	<i>43</i>	<i>43</i>	<i>32,8</i>
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	<i>1</i>	<i>3,3</i>	<i>3,2</i>	<i>3,4</i>	<i>2,8</i>	<i>13,4</i>	<i>5,22</i>
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	<i>0.30</i>	<i>0,4</i>	<i>0,616</i>	<i>0,529</i>	<i>0,532</i>	<i>1,036</i>	<i>0,6226</i>

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Tabla 3-7: Parámetros fuera de norma del agua tratada

AGUA TRATADA								
PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITE	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Promedio
<i>Color</i>	<i>PtCo</i>	<i>< 5</i>	<i>18</i>	<i>26</i>	<i>28</i>	<i>43</i>	<i>43</i>	<i>31,6</i>
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	<i>1</i>	<i>2,8</i>	<i>1,5</i>	<i>3,4</i>	<i>2,8</i>	<i>13,4</i>	<i>4,78</i>
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	<i>0.30</i>	<i>0,44</i>	<i>0,44</i>	<i>0,529</i>	<i>0,532</i>	<i>1,036</i>	<i>0,5954</i>

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Tabla 3-8: Promedio General

PROMEDIO GENERAL			
PARÀMETROS	LÍMITE	Agua captada	Agua tratada
Color	< 5	32,8	31,6
Turbiedad	1	5,22	4,78
Hierro	0.30	0,6226	0,5954

Fuente: Marcela Hermida Ch.

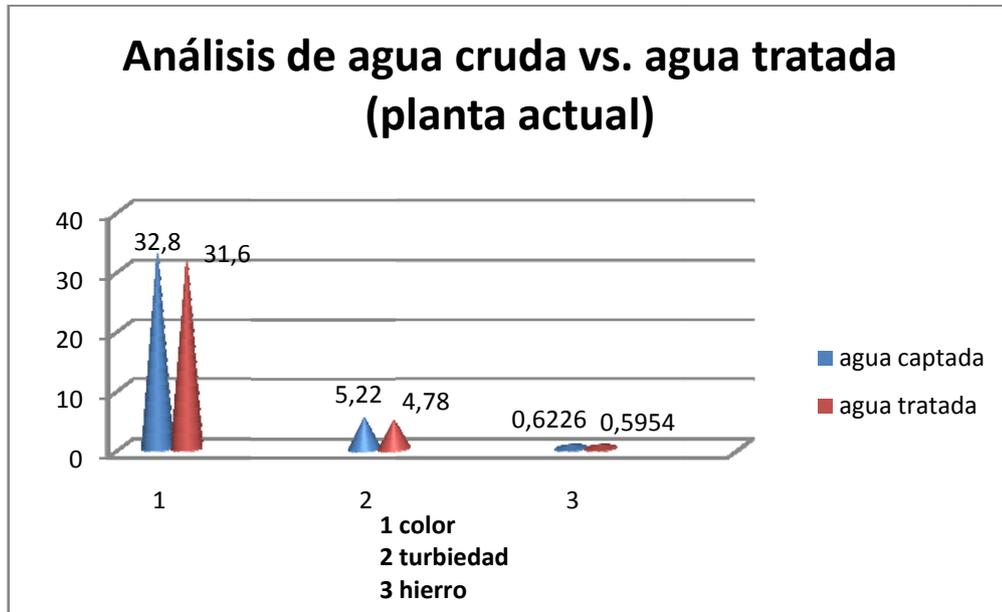


Gráfico 8: Análisis de agua cruda vs. agua tratada (Planta actual)

Fuente: Marcela Hermida Ch.

El análisis físico- químico realizado para el agua cruda y para el agua tratada tomando cuenta los parámetros que se encuentran fuera de la norma como son el color, turbiedad y hierro, permitió determinar que el sistema de tratamiento actual no está trabajando adecuadamente y por ende no tienen una

buena calidad para el consumo humano. Los altos valores en hierro, color y turbiedad en el agua obedecen a que siendo agua de origen superficial puede estar afectada por contaminantes orgánicos como inorgánicos.

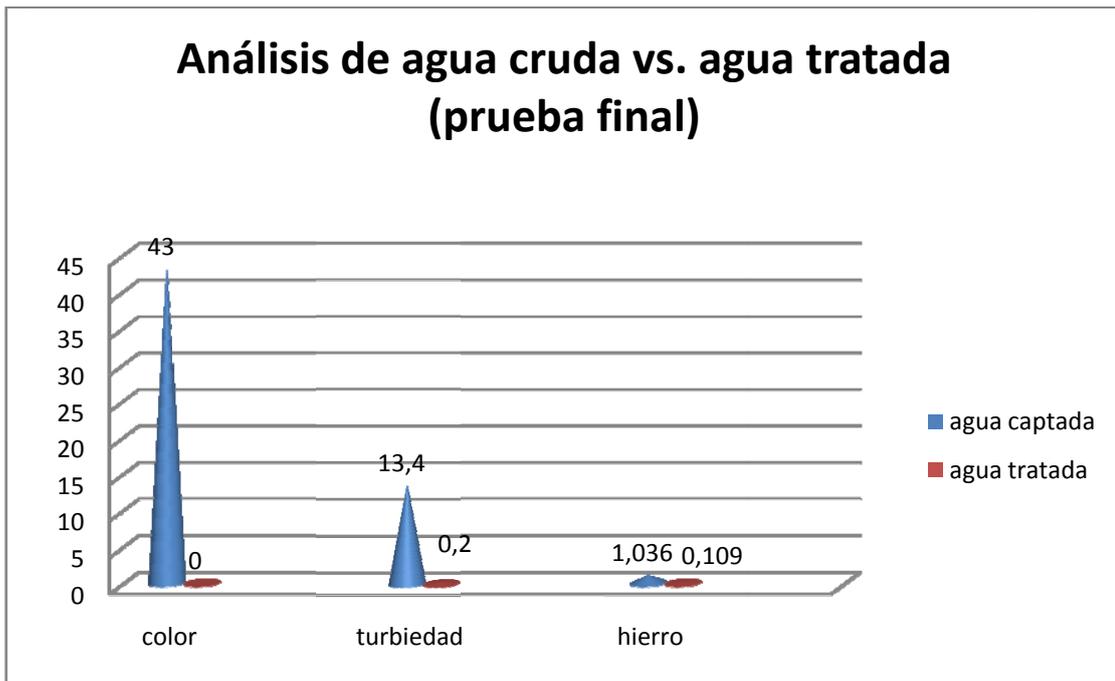


Gráfico 9: Análisis de agua cruda vs. agua tratada (prueba final)

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Al realizar el análisis físico- químico del agua cruda y del agua tratada después de la prueba de jarras, pudimos determinar que el sistema de tratamiento se encuentra trabajando de una manera adecuada, ya que al relacionar los parámetros que se encontraban fuera de norma (color, turbiedad y hierro), después del tratamiento adoptado nos da resultados que se encuentran dentro de las normas establecidas, lo que indica que se disminuyen los parámetros eficazmente y asegura un agua apta para el consumo humano.

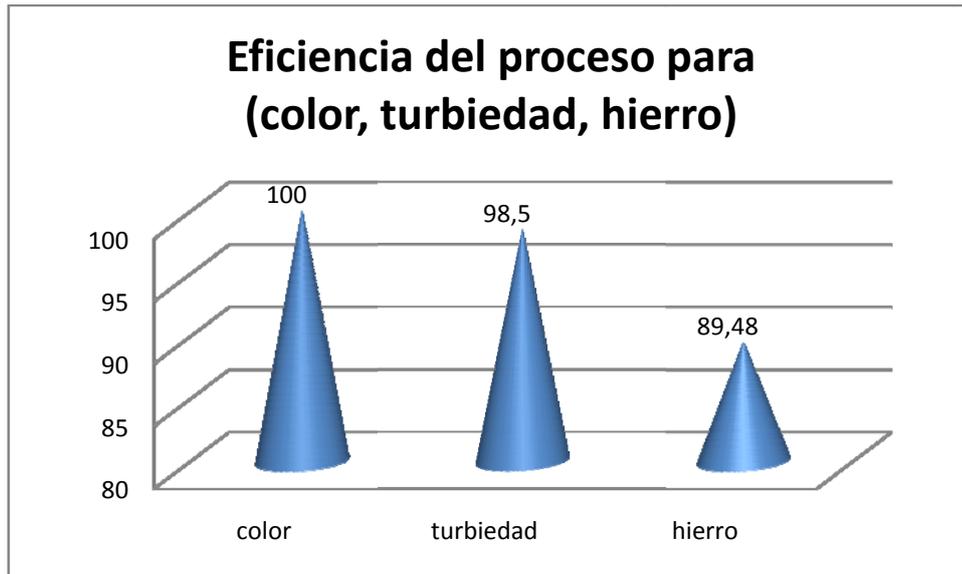


Gráfico 10: Eficiencia del proceso para (color, turbiedad, hierro)

Fuente: Marcela Hermida Ch.

En el gráfico podemos observar la alta eficiencia que posee el sistema de tratamiento al momento de remover las impurezas y contaminantes, y podemos evidenciar en el rendimiento de los parámetros como color, turbiedad y hierro, que son los principales valores a controlar para mejorar el agua de consumo humano.

Podemos decir que los rendimientos de 100%, 98,5% y 89,48% radica en el proceso de floculación y filtración en donde se separan los contaminantes del agua cruda.

Además al realizar los análisis microbiológicos se pudo determinar que existe ausencia de coliformes totales y fecales obteniendo así una eficiencia del 100%.

3.4.2 PRUEBA DE JARRAS

En la **Tabla 2-23.19** se puede apreciar que al adicionar 20ml del polímero al 1%, más la adición de hipoclorito de sodio al 5.25% a partir de 1.2ml hasta 2,2ml; el color, la turbiedad y el hierro disminuyen debido a la acción del coagulante del producto químico y la presencia del desinfectante denominado hipoclorito de sodio.

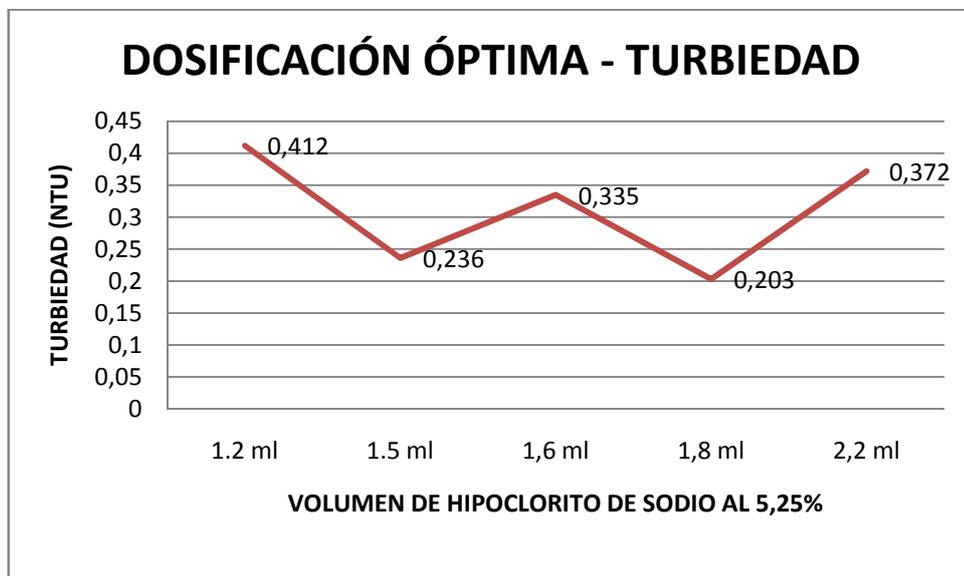


Gráfico 11: DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- TURBIEDAD

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Al observar el gráfico podemos ver que el valor más bajo de turbiedad es 0,203 NTU, al dosificar 1,8ml de hipoclorito de sodio 5,25%.

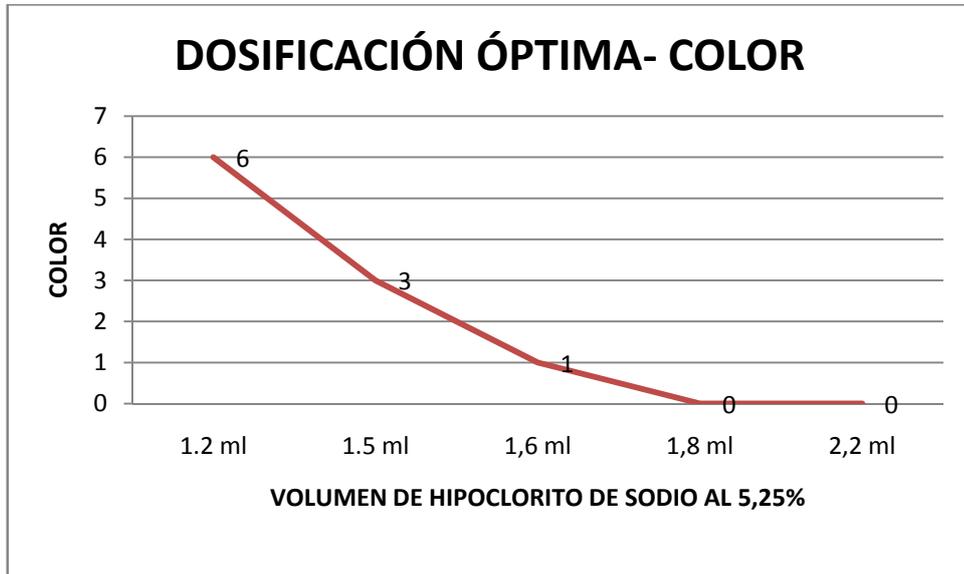


Gráfico 12:DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- COLOR

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Se puede observar que la dosificación de hipoclorito de sodio 5,25% con respecto al color es inversamente proporcional; mientras más cantidad de hipoclorito de sodio disminuye en mayor cantidad el color del agua.

Los valores obtenidos dentro de norma son cuando la dosificación es de 1,8ml y de 2,2ml, siendo así los volúmenes de dosificación adecuada en cuanto concierne al color.

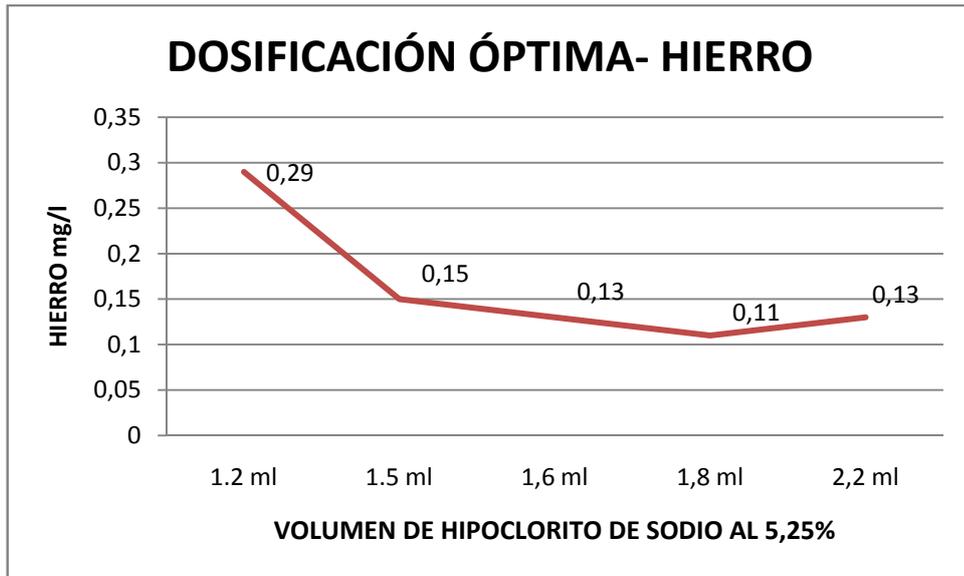


Gráfico 13: DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- HIERRO

Fuente: Marcela Hermida Ch.

En cuanto al hierro los valores obtenidos están dentro de norma siendo el menor cuando la dosificación es de 1,8ml de hipoclorito de sodio.

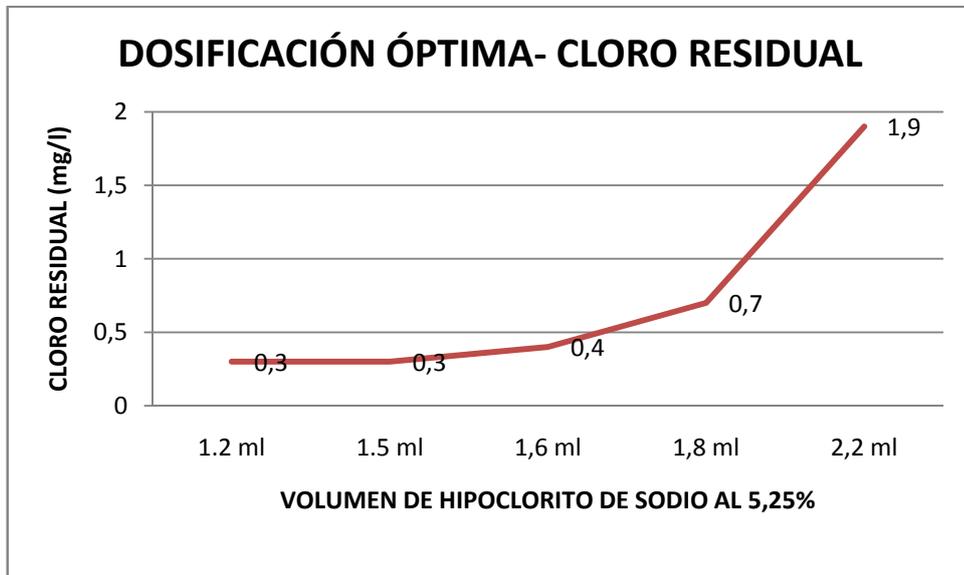


Gráfico 14: DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- CLORO RESIDUAL

Fuente: Marcela Hermida Ch.

En el gráfico se puede observar que la relación de dosificación de hipoclorito de sodio al 5,25% es directamente proporcional a la presencia de cloro residual; entre mayor dosificación de hipoclorito de sodio más alta es la presencia de cloro residual en el agua.

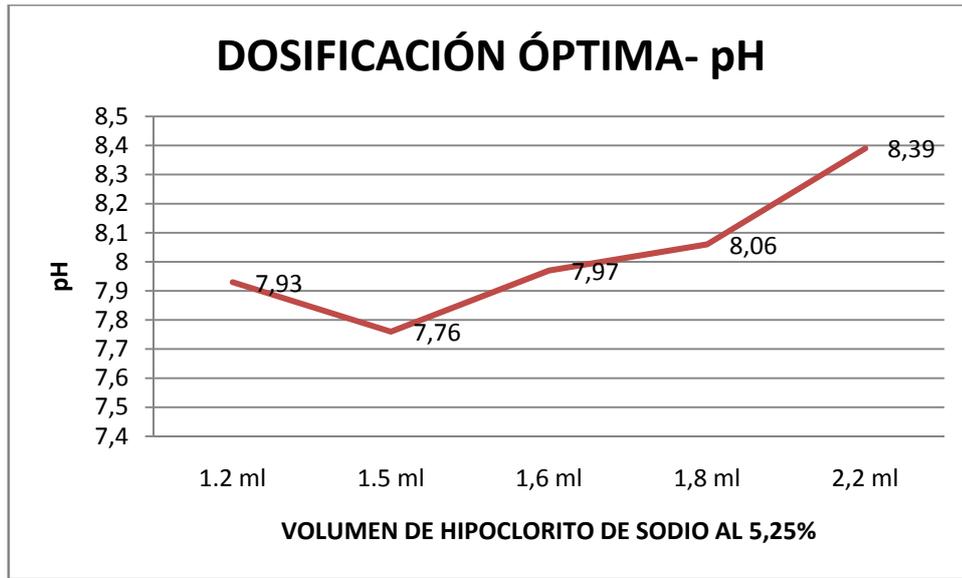


Gráfico 15: DOSIFICACIÓN ÓPTIMA- pH

Fuente: Marcela Hermida Ch.

Al dosificar más desinfectante el valor del pH es mayor, podemos decir que existe una relación directamente proporcional.

Después de analizar los resultados individuales de los parámetros como: turbiedad, color, hierro, cloro residual y pH, se logró establecer la dosificación óptima de hipoclorito de sodio al 5.25% la misma que es de 1,8ml ya que con éste volumen se pudo mejorar la calidad del agua de captación.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

El diagnóstico del estado actual de la planta de agua potable Regional Colta permitió concluir que el agua que se distribuye a los usuarios de las distintas comunidades del cantón Colta presenta problemas ya que el agua de salida al seguir el tratamiento actual no cumple con las normativas inen1108 “Requisitos del Agua Potable”.

Al realizar los análisis físicos – químicos y microbiológicos del agua se logró obtener los promedios de los valores que están fuera de norma: color = 32.8, turbiedad= 5.22, hierro=0.6226; estos parámetros varían según el clima y el deterioro de la planta por el mantenimiento inadecuado de la misma; por lo cual se determina que el agua tiene una calidad deficiente, siendo necesario implementar nuevas etapas en el sistema actual.

La planta de tratamiento de agua tiene un caudal máximo de 4 l/s; el mismo que se utilizó para el rediseño ya que no existe otra fuente de donde se pueda captar el agua para el sistema de potabilización.

El rediseño de la planta se dimensionó mediante cálculos de ingeniería determinando el canal de mezcla rápida con un tiempo de mezcla de 0.37s, el canal de floculación hidráulica de flujo horizontal de 342m de longitud del con un tiempo de permanencia de 30 minutos según la prueba de jarras ya que en el floculador se adiciona policloruro de aluminio al 1% y también hipoclorito de

sodio al 5.25%; el sedimentador teniendo un tiempo de retención en el tanque de 31,88 minutos y un filtro rápido para tratar 345,6m³/día.

Los porcentajes de rendimiento del rediseño del sistema de tratamiento de agua potable enfocado en los resultados del agua tratada son: color = 100%, turbiedad = 98.5% y hierro = 89.48%. Resultados que evidencian el cumplimiento de la norma establecida de agua potable.

4.2 RECOMENDACIONES

Aplicar el estudio realizado para mejorar la planta de tratamiento de agua potable Regional Colta, rediseñando el actual sistema a uno de tipo convencional hidráulico de mezcla rápida (coagulación) para la utilización y dosificación de PAC.

Realizar el mantenimiento periódicamente de los filtros y del sedimentador por medio de limpieza manual evitando la acumulación de lodos y el deterioro de la planta.

Realizar el proceso de cloración diariamente con la cantidad indicada en el presente proyecto.

Equipar el laboratorio con los equipos básicos para monitorear constantemente el agua de captación y el agua luego del tratamiento.

Realizar la caracterización física – química y microbiológica del agua de entrada y de salida periódicamente con el fin de determinar si el tratamiento de potabilización se está efectuando correctamente.

Se recomienda tener bajo cubierta los procesos de floculación y sedimentación para evitar la presencia de contaminantes (como insectos, hojas secas, etc).

CAPITULO V

BIBLIOGRAFIA

- 1. APHA. AWWA. WPCF.,** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas potables y residuales., 17a. ed., Díaz de Santos., 1992., Pp. 95-110.
- 2. ARBOLEDA, J.,** Teoría de la Coagulación del Agua., 1^a.ed., Bogotá - Colombia., Acodal., 1992., Pp. 12-16.
- 3. ARBOLEDA, J.,** Teoría y Práctica de Purificación de agua., 3a.ed., Bogotá-Colombia., Graw Hill., 1999., Pp. 110-126.

4. **ROMERO, JAIRO.**, “Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño”, 3a. ed., Bogotá – Colombia., Escuela Colombiana de Ingeniería., 2004., Pp. 49-246.

5. **BLESA, A. y OTROS.**, SOLARSAFEWATER., Madrid - España., s.edt., 2005., Pp. 63–71.

6. **EMPRESAS PÚBLICAS MUNICIPALES DE CANALETE.**, Parámetros básicos y control de calidad del agua para consumo humano para las empresas públicas municipales de canaleta “EMPUCAN”., *NIT: 812001885-1.*,Córdova – Colombia., “EMPUCAN”.,2007., Pp. 4, 5.

7. **DÍAZ, O. y OTROS.**, Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas., Madrid - España., VIRTUALPRO., 2007., Pp. 55–65.Z

8. **ECUADOR., INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).**, Agua- Potable – Requisitos.,Norma N°1108 – 2010., Quito-Ecuador., INEN., 2010., Pp. 1-8.

9. **Agua potable**

http://www.darwinnet.org/docs/Agua%20dulce_NCI.pdf

2013/06/17

10. **Calidad del agua**

http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf

2013/06/2

11. Importancia del agua

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/cd-cagua/ref/text/09.pdf>

2013/05/29

12. Muestreo

<http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/Biblioteca/GuiasGDW/Guia%20para%20la%20VCCA%20RRojas.pdf>

2013/05/29

13. Parámetros del agua y su tratamiento

<http://www.bvsde.ops-ms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/uno.pdf>

2013/05/29

14. Proceso de potabilización del agua

http://iesmartinezuribbarri.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/news/Proceso_potabilizacionSansa.pdf

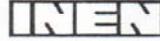
2013/06/17

ANEXOS

ANEXO 1

NORMA INEN 1108:2011 AGUA POTABLE

CDU: 628.1.033
ICS: 13.060.20



CIU: 4206
AL 01.06-401

Norma Técnica
Ecuatoriana
Voluntaria

AGUA POTABLE.
REQUISITOS

NTE INEN
1 108:2011
Cuarta revisión
2011-06

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

3. DEFINICIONES

3.1 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

3.1.1 *Agua potable.* Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

3.1.2 *Agua cruda.* Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

3.1.3 *Limite máximo permitido.* Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).

3.1.4 *UFC/ml.* Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

3.1.5 *NMP.* Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.

3.1.6 *mg/l.* (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.1.7 *Microorganismo patógeno.* Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

3.1.8 *Plaguicidas.* Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

3.1.9 *Desinfección.* Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

3.1.10 *Subproductos de desinfección.* Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

3.1.11 *Cloro residual.* Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

3.1.12 *Sistema de abastecimiento de agua potable.* El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.

3.1.13 *Sistema de distribución.* Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

4. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

4.1 Los sistemas de abastecimiento de agua potable se acogerán al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos específicos

5.1.1 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

PARAMETRO	UNIDAD	Limite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,1
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos
 * Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu
 ** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra

Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Limite máximo permitido
¶ Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP		
Benzo [a]pireno	mg/l	0,0007
Hidrocarburos:		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitrilotriacético	mg/l	0,2

(Continúa)

Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrin y Dieldrin	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrin	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002

Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3

Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:		
• Bromodichlorometano	mg/l	0,06
• Cloroformo	mg/l	0,3
Acido tricloroacético	mg/l	0,2

Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

5.1.2 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

Requisitos microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales ⁽¹⁾ :	
- Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 *
- Filtración por membrana UFC/ 100 ml	< 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/100 litros	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ ó 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
⁽¹⁾ ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

ANEXO 2

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATMÓSFERA

Temperatura °C	Densidad ρ kg/m ³	Peso específico γ kN/m ³	Viscosidad dinámica $\mu \cdot 10^3$ Pa.s	Viscosidad cinemática $\nu \cdot 10^6$ m ² /s
0	999,842	9,805	1,787	1,787
3.98	1000.00	9,807	1,567	1,567
5	999,967	9,807	1,519	1,519
10	999,703	9,804	1,307	1,307
12	999,500	9,802	1,235	1,236
15	999,103	9,798	1,139	1,140
17	998,778	9,795	1,081	1,082
18	998,599	9,793	1,053	1,054
19	998,408	9,791	1,027	1,029
20	998,207	9,789	1,002	1,004
21	997,996	9,787	0,998	1,000
22	997,774	9,785	0,955	0,957
23	997,542	9,783	0,932	0,934
24	997,300	9,781	0,911	0,913
25	997,048	9,778	0,890	0,893
26	996,787	9,775	0,870	0,873
27	996,516	9,773	0,851	0,854
28	996,236	9,770	0,833	0,836
29	995,948	9,767	0,815	0,818
30	995,650	9,764	0,798	0,801
35	994,035	9,749	0,719	0,723
40	992,219	9,731	0,653	0,658
45	990,216	9,711	0,596	0,602
50	988,039	9,690	0,547	0,554
60	983,202	9,642	0,466	0,474
70	977,773	9,589	0,404	0,413
80	971,801	9,530	0,355	0,365
90	965,323	9,467	0,315	0,326
100	958,366	9,399	0,282	0,294

ANEXO 3

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO



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: Srta. Marcela Hermida Chávez

Fecha de análisis: 2 de Diciembre del 2013

Fecha de entrega de resultados: 4 de Diciembre del 2013

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico

Localidad: Regional Colta

Código: LAT 182-13

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Uvid	6.5 - 8.5	7.56
Color	PtCo	< 5	43.00
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	191
Turbiedad	UNT	1	13.4
Cloruros	mg/L	250	1.4
Dureza	mg/L	200	144.0
Calcio	mg/L	70	41.6
Magnesio	mg/L	30 - 50	9.7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	140.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	142.8
Sulfatos	mg/L	200	19.5
Amonios	mg/L	< 0.50	0.162
Nitritos	mg/L	0.001	0.008
Nitratos	mg/L	< 40	0.300
Hierro	mg/L	0.30	1.036
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.209
Fluoruros	mg/L	1.5	0.160
Sólidos Totales	mg/L	1000	232.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	118.1

* Valores referencial es para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de dureza, calcio, alcalinidad, nitritos y fosfatos fuera de norma

Atentamente,

Dra. Gina Alvarez R.
RESP. LAB. ANALISIS TECNICOS

ANEXO 4

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO



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: Srta. Marcela Hermida Chávez

Fecha de análisis: 2 de Diciembre del 2013

Fecha de entrega de resultados: 4 de Diciembre del 2013

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico

Localidad: Regional Colta

Código: LAT 182-13

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Unid	6.5 - 8.5	8.08
Color	PtCo	< 5	< 1
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	422
Turbiedad	UNT	1	0.2
Cloruros	mg/L	250	9.9
Dureza	mg/L	200	88.0
Calcio	mg/L	70	28.8
Magnesio	mg/L	30 - 50	3.9
Alcalinidad	mg/L	230 - 300	80.0
Bicarbonatos	mg/L	230 - 300	81.6
Sulfatos	mg/L	200	8.7
Amonios	mg/L	< 0.50	0.047
Nitratos	mg/L	0.001	0.004
Nitritos	mg/L	< 40	18.200
Hierro	mg/L	0.30	0.109
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.189
Fluoruros	mg/L	1.5	0.890
Sólidos Totales	mg/L	1000	236.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	261.6

* Valores referencial es para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de color, turbiedad y hierro fuera de norma

Atentamente,

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

ANEXO 5

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO



Contáctanos: 032 942-022 ó 0984648617 – 032 360-260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Riobamba – Ecuador

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

CÓDIGO: 494-2013

CLIENTE: Srta. Marcela Hermida.	
DIRECCION: Planta regional Colta	TELEFONO: 032946094
TIPO DE MUESTRA: Agua limpia	
FECHA DE MUESTREO: 2013-12-02	
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 2013-12-02	

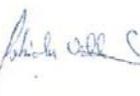
DETERMINACIONES	MÉTODO USADO	VALOR ENCONTRADO
<i>Coliformes Totales UFC/100 ml</i>	Filtración por membrana	4
<i>Coliformes Fecales UFC/100 ml</i>	Filtración por membrana	2

OBSERVACIONES:

FECHA DE ANALISIS: 2013-12-02

FECHA DE ENTREGA: 2013-12-06

RESPONSABLES:

Dra. Gina Álvarez R.

Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

*La muestra es receptada en el laboratorio.

ANEXO 6

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO



Contáctanos: 032 942-022 ó 0984648617 – 032 360-260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Riobamba – Ecuador

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

CÓDIGO: 494-2013

CLIENTE: Srta. Marcela Hermida
DIRECCION: Planta regional Colta. TELEFONO: 032 946 094
TIPO DE MUESTRA: Agua para consumo.
FECHA DE MUESTREO: 2013-12-02
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 2013-12-02

DETERMINACIONES	MÉTODO USADO	* VALOR REFERENCIAL	VALOR ENCONTRADO
Coliformes Totales UFC/100ml	Membrana filtrante	< 2	Ausencia
Coliformes Fecales UFC/100ml	Membrana filtrante	< 2	Ausencia

OBSERVACIONES: * Valores referenciales tomados de la NORMA INEN 1108:2006 para agua potable.

FECHA DE ANALISIS: 2013-12-02

FECHA DE ENTREGA: 2013-12-11

RESPONSABLES:

Dra. Gina Álvarez R.

Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.
*La muestra es receptada en el laboratorio.

ANEXO 7

HOJA TÉCNICA DE POLICLORURO DE ALUMINIO



中化(青岛)实业有限公司
SINOCHEN QINGDAO CO.,LTD.

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product name	Polyaluminium Chloride	Lot Number	20130701
The representative quantities	87mt	Inspection Date	Jul. 2, 2013
Quality Standard , GB15892-2009			
Item	Specifications	Test Result	
Appearance	White to yellow powder	Yellow powder	
Alumina(Al ₂ O ₃)/%	≥30.0	30.23	
Basicity %	40.0----90.0	75.1	
Water insoluble quality score /%	≤0.6	0.19	
PH Value (1% water solution)	3.5---5.0	4.02	
Arsenic (As) /%	≤0.0002	<0.0002	
Lead (Pb) %	≤0.001	<0.001	
Cadmium (Cd) %	≤0.0002	<0.0002	
Mercury (Hg) %	≤0.00001	<0.00001	
Chromium (Cr ⁺⁶) %	≤0.0005	<0.0005	
Conclusion	This batch is used for PAC (solid), according with GB/15892-2009 requirements.		
Examiner	Yaru Li	Review Officer	Xiaoxia Sun
		Assessor	Xiaoxia Sun

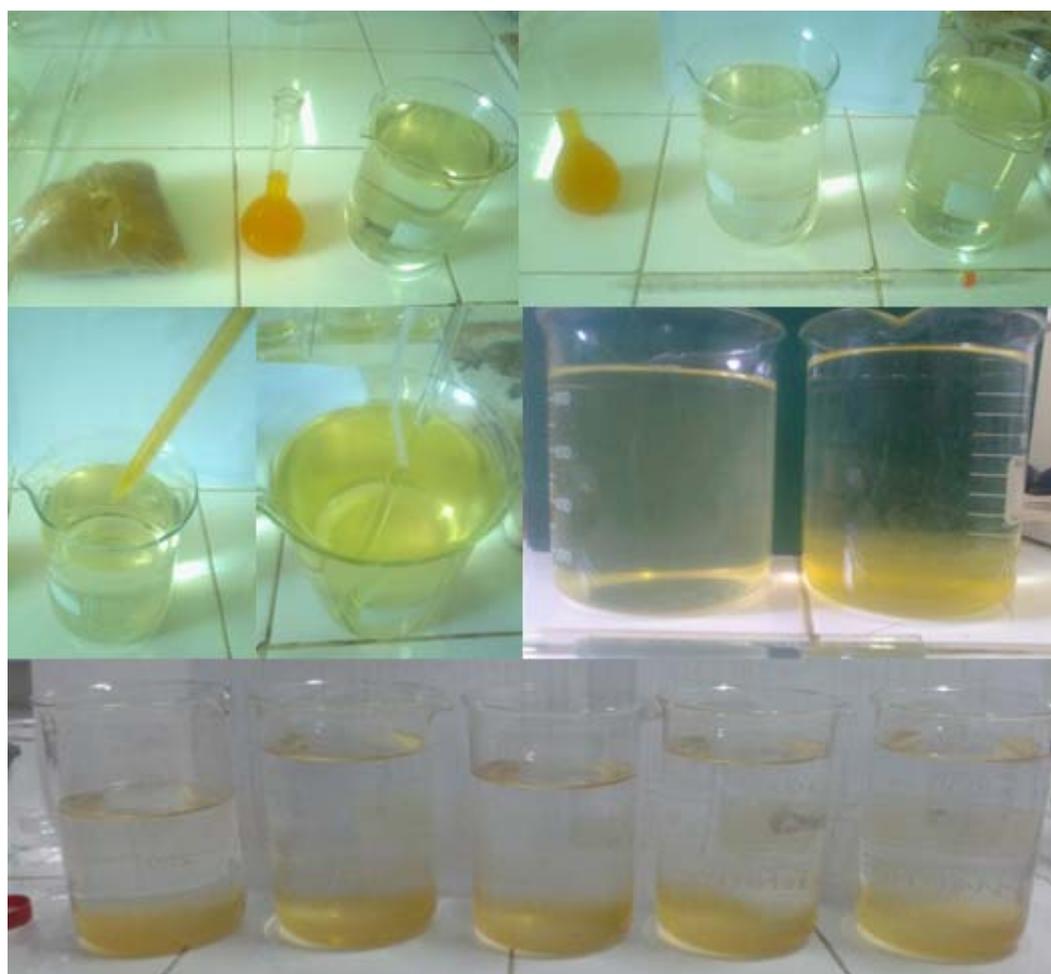
中化(青岛)实业有限公司
SINOCHEN QINGDAO CO.,LTD.

YOUR RUC ID NUMBER :1791293908001

(Handwritten signature)

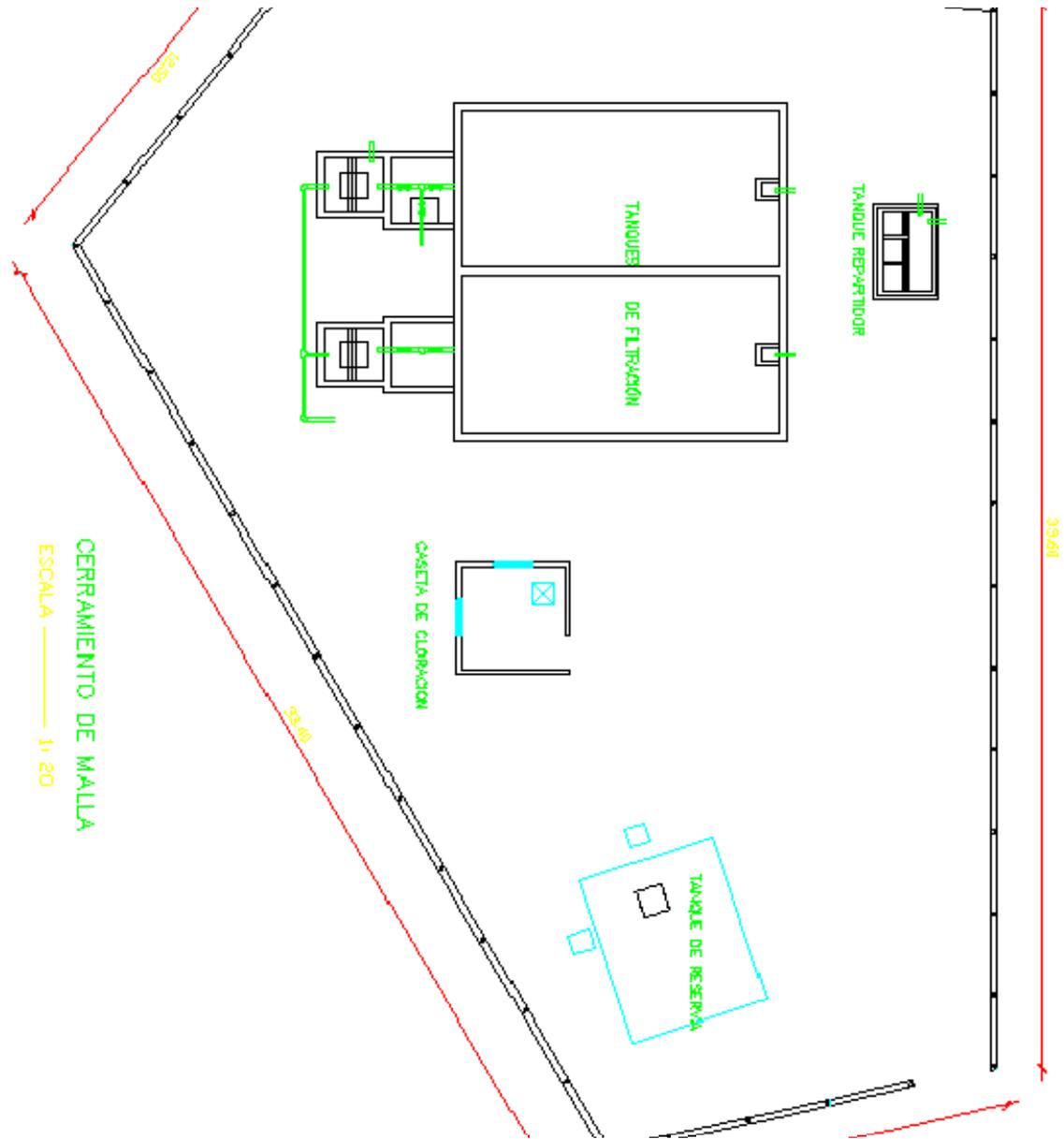
ANEXO 8

PRUEBA DE JARRAS



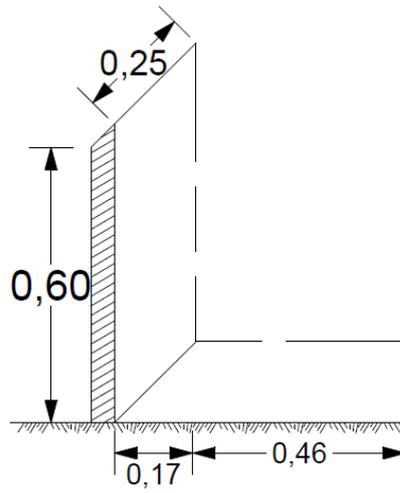
ANEXO 9

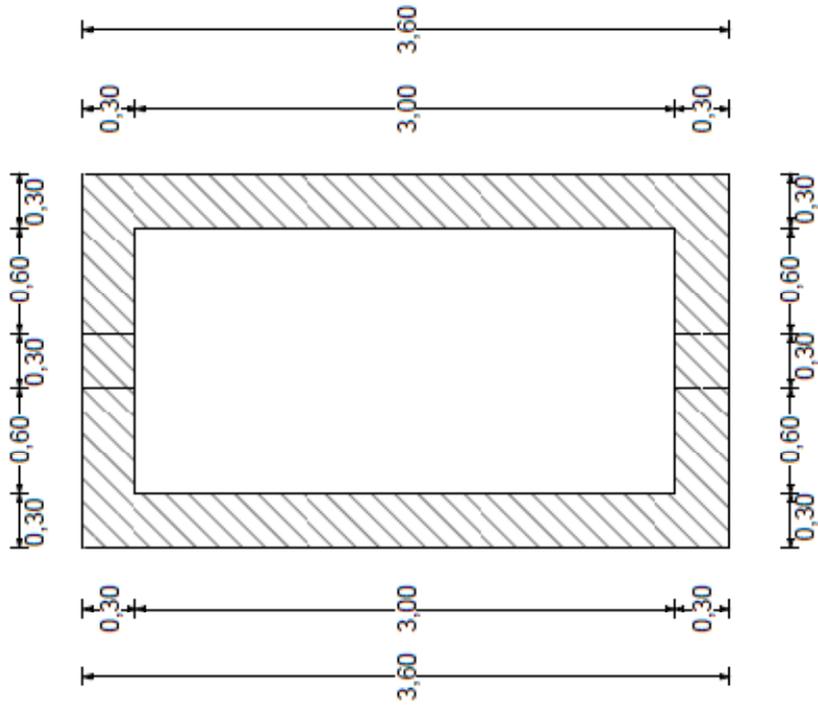
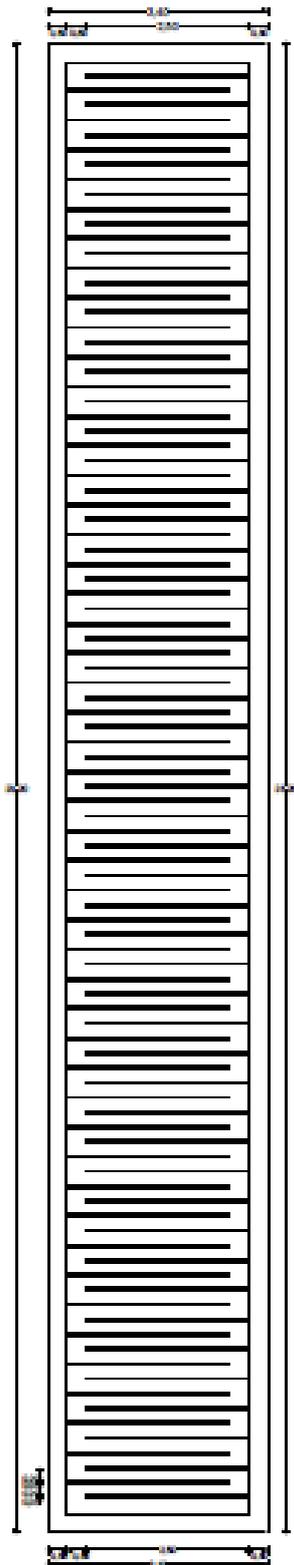
PLANOS DE LA PLANTA ACTUAL



ANEXO 12

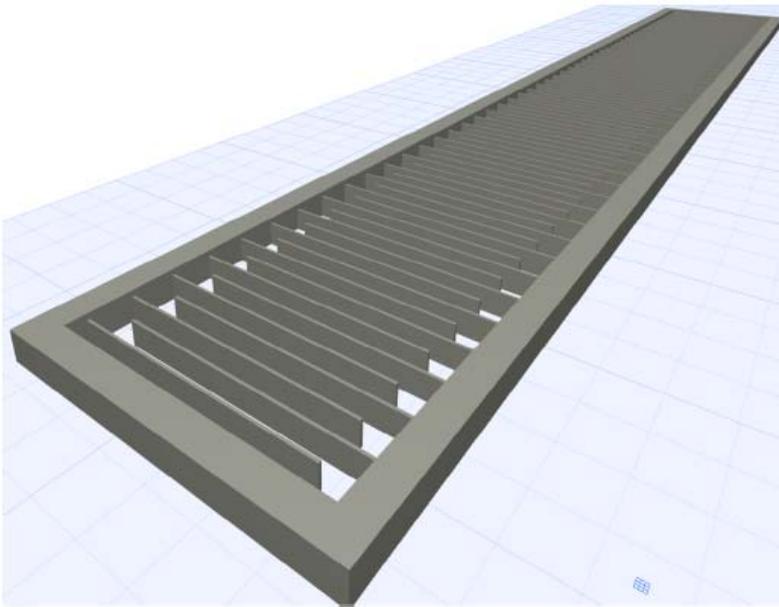
PLANOS DEL TANQUE
DE MEZCLA RÀPIDA Y SEDIMENTADOR





ANEXO 13

PLANOS DEL FLOCULADOR DE FLUJO HORIZONTAL



ANEXO 14

COSTOS DEL REDISEÑO DE LA PLANTA

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
CONSTRUCCIÓN (Materiales, hormigón + Mano de Obra)			
1	Construcción de Mezclador de Vertedero Rectangular+ Bomba	2000,00	2000,00
1	Construcción de un Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal	8000,00	8000,00
1	Construcción de un Sedimentador de tasa alta	4000,00	4000,00
ACCESORIOS			
1	Bomba Dosificadora para Cloración	1500,00	1500,00

50 m	Tubería PVC Ø 300mm para conexión de equipos	26,00	1300,00
-------------	---	-------	---------

REACTIVOS (Anual)

1	Tambores de PAC DE 250 kg	210,00	210,00
----------	---------------------------	--------	--------

1	Hipoclorito de Sodio (208 L)	240,00	240,00
----------	------------------------------	--------	--------

TOTAL			17250,00
--------------	--	--	-----------------

ANEXO 15

PASOS A SEGUIR PARA PREPARACION DEL PAC

