



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
DE LA CIUDAD DE CHAMBO”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

JOHANA ELIZABETH UVIDIA FÄSSLER

RIOBAMBA – ECUADOR

Diciembre 2013

Agradezco a Dios por haberme iluminado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Doy gracias a mis padres Edison y Fanny por ser el pilar fundamental en mi vida, por inculcarme buenos valores y por estar siempre a mi lado apoyándome.

A mis hermanos María Isabel y John por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar.

A Santiago por ser la fuerza que me impulsa a seguir siempre hacia adelante, por ayudarme y brindarme su amor.

A todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Ingeniería Química y en especial al Ing. Mario Villacrés y al Ing. Hugo Calderón por su gran ayuda profesional, al Dr. Jorge Romero, Alcalde de Chambo por haberme dado la apertura de realizar el presente trabajo.

A mis amigos y en especial a mi amiga Itaya por todos estos años de amistad, por su apoyo incondicional y por estar presentes a lo largo de toda mi carrera.

A todas las personas que me aportaron sus conocimientos para la culminación de esta investigación.

La presente tesis dedico a mis padres por su amor, por todo el apoyo dado, tanto moral y económico para poder concluir mi carrera, por guiarme siempre por el camino correcto.

A mis hermanos por estar siempre acompañándome y ayudándome en todo lo necesario.

A mi enamorado por ser testigo de mis esfuerzos y por ser la persona que me alienta a cumplir mis ideales.

A los docentes a lo largo de mi carrera estudiantil y a todas las personas que me han brindado su tiempo para realizarme profesionalmente.

JOHANNA

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Silvio Álvarez
**DECANO DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS**

.....

.....

Ing. Mario Villacrés
**DIRECTOR DE LA ESCUELA
DE INGENIERÍA QUÍMICA**

.....

.....

Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR DE TESIS

.....

.....

Ing. Hugo Calderón
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

Tec. Carlos Rodríguez
**DIRECTOR DEL CENTRO
DE DOCUMENTACIÓN**

.....

.....

NOTA DE TESIS

.....

**“Yo, JOHANA ELIZABETH
UVIDIA FÄSSLER, soy
responsable de las ideas, doctrinas
y resultados expuestos en esta
Tesis, y el patrimonio intelectual
de la Tesis de Grado pertenecen a
la ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO”.**

Johana Elizabeth Uvidia Fässler.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

a	Área transversal requerida
B	Ancho del Vertedero
C	Concentración de acuerdo al test de jarras
d	Profundidad del agua
e	Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque
F_1	Número de Froude
g	Gravedad
G	Gradiente de velocidad
h	Valor de la pérdida de energía en el resalto
h_c	Profundidad Crítica
h_f	Pérdida por fricción en el tanque
H	Altura de la lámina de agua
h_1	Profundidad del agua en la sección 1, antes del resalto
h_2	Profundidad después del resalto
l	Longitud efectiva de cada canal
L_j	Longitud del resalto
L_m	Distancia
N	Número de tabiques
P	Altura del vertedero
q	Caudal por unidad de ancho del vertedero
Q	Caudal Actual
R	Radio hidráulico del canal
s	Separación entre bafles
T	Tiempo de mezcla
V	Volumen de agua a mezclar en cada período
V_1	Velocidad en la sección 1
V_2	Velocidad en la sección 2

V_m	Velocidad Media
ρ	Densidad del PAC
γ	Peso Específico del agua
μ	Viscosidad Dinámica del agua
%P	Porcentaje de dilución

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
HOJA DE FIRMAS	IV
HOJA DE RESPONSABILIDAD	V
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
ÍNDICE DE CUADROS	XIX
ÍNDICE DE ECUACIONES	XX
ÍNDICE DE ANEXOS	XXI
RESUMEN	XXII
SUMMARY	XXIV
INTRODUCCIÓN	XXV
ANTECEDENTES	XXVI
JUSTIFICACIÓN	XXVII
OBJETIVOS	XXVIII

CAPÍTULO I	- 1 -
1 MARCO TEÓRICO	- 1 -
1.1 EL AGUA	- 1 -
1.1.1 CLASES.....	- 2 -
1.1.1.1 Aguas de ríos, lagos, lagunas, riachuelos	- 2 -
1.1.1.2 Agua Potable	- 2 -
1.1.1.3 Aguas Medicinales y termales.....	- 2 -
1.1.1.4 Agua Destilada	- 3 -
1.1.1.5 Agua Pesada	- 3 -
1.2 Ciclos del transporte del agua.....	- 3 -
1.2.1 Ciclo de UTILIZACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL.....	- 3 -
1.2.2 CICLO DE UTILIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA	- 4 -
1.3 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	- 4 -
1.3.1 AGUAS SUPERFICIALES.....	- 5 -
1.3.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS	- 5 -
1.3.3 Aguas de lluvia	- 6 -
1.3.4 Aguas de mar y las aguas salobres.....	- 6 -
1.4 MUESTREO.....	- 6 -
1.4.1 TIPOS DE MUESTRAS.....	- 6 -
1.4.1.1 Muestra simple o puntual	- 6 -
1.4.1.2 Muestras compuestas.....	- 7 -
1.4.1.3 Muestras integradas	- 8 -
1.4.2 MÉTODOS DE MUESTREO	- 8 -

1.4.2.1	Muestreo manual	- 8 -
1.4.2.2	Muestreo automático	- 8 -
1.4.3	RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS.....	- 9 -
1.4.4	PRECAUCIONES GENERALES.....	- 9 -
1.5	ASPECTOS DE LA CALIDAD DEL AGUA	- 10 -
1.5.1	ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS	- 11 -
1.5.1.1	Análisis Microbiológico	- 12 -
1.5.2	ASPECTOS QUÍMICOS.....	- 12 -
1.5.2.1	Análisis Químico	- 13 -
1.5.3	ASPECTOS FÍSICOS.....	- 17 -
1.5.3.1	Análisis Físicos.....	- 18 -
1.6	AFORO DE CAUDALES Y EFLUENTES	- 22 -
1.6.1	Medición volumétrica manual	- 22 -
1.6.2	Medición en canales abiertos.....	- 23 -
1.6.3	Medición por velocidad	- 23 -
1.7	PROCESOS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA	- 24 -
1.8	TIPOS DE PLANTAS DE PURIFICACIÓN.....	- 25 -
1.9	PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA	- 26 -
1.9.1	CRIBADO O TAMIZADO	- 26 -
1.9.2	MEZCLA RÁPIDA	- 26 -
1.9.2.1	Unidades Hidráulicas.....	- 27 -
1.9.2.1.1	Mezcla Rápida en Vertederos Rectangulares.....	- 28 -
1.9.3	COAGULACIÓN QUÍMICA DEL AGUA	- 33 -
1.9.3.1	Coagulantes	- 35 -

1.9.3.1.1	Coagulantes Metálicos	- 35 -
1.9.3.1.2	Policloruro de Aluminio.....	- 36 -
1.9.3.2	pH óptimo para Coagulación.....	- 37 -
1.9.4	FLOCULACIÓN	- 37 -
1.9.4.1	Parámetros Operacionales	- 37 -
1.9.4.2	Factores que influyen en la Floculación.....	- 38 -
1.9.4.3	FLOCULADORES.....	- 40 -
1.9.4.3.1	Hidráulicos	- 40 -
1.9.5	SEDIMENTACIÓN.....	- 46 -
1.9.5.1	Tipos De Sedimentación.....	- 47 -
1.9.5.2	Cálculo de la Fracción total removida.....	- 49 -
1.9.6	FILTRACIÓN.....	- 49 -
1.9.6.1	Filtros rápidos por gravedad.....	- 50 -
1.9.6.2	Prefiltros	- 51 -
1.9.6.3	Filtros a presión	- 53 -
1.9.6.4	Filtros lentos de arena.....	- 53 -
1.9.6.5	Método de Control.....	- 54 -
1.9.7	DESINFECCIÓN.....	- 55 -
1.9.8	CONTROL FINAL.....	- 57 -
1.10	OPTIMIZACIÓN.....	- 57 -
1.10.1	ENSAYO DE JARRAS	- 58 -
1.10.1.1	PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE JARRAS PARA EL TRATAMIENTO POR COAGULACIÓN	- 60 -
CAPÍTULO II.....		- 62 -

2	PARTE EXPERIMENTAL	- 62 -
2.1	MUESTREO	- 62 -
2.1.1	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	- 62 -
2.1.2	MÉTODO DE RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	- 63 -
2.1.3	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	- 63 -
2.1.4	PLAN DE TABULACIÓN Y ANÁLISIS	- 64 -
2.2	METODOLOGÍA	- 64 -
2.2.1	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN	- 64 -
2.2.1.1	Pasos de las Técnicas de Muestreo	- 64 -
2.2.2	TRATAMIENTO DE MUESTRAS	- 66 -
2.2.3	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	- 67 -
2.2.4	MÉTODOS	- 67 -
2.2.5	AFORO	- 68 -
2.3	DATOS EXPERIMENTALES	- 70 -
2.3.1	DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA	- 70 -
2.3.1.1	Procesos existentes	- 71 -
2.3.1.1.1	Captación	- 71 -
2.3.1.1.2	Sedimentación	- 71 -
2.3.1.1.3	Prefiltración	- 72 -
2.3.1.1.4	Filtración	- 74 -
2.3.1.1.5	Desinfección	- 76 -
2.3.1.1.6	Distribución	- 77 -
2.3.2	DATOS	- 78 -
2.3.2.1	Caracterización del agua	- 78 -

2.3.2.2	Esquema de los puntos de muestreo	- 79 -
2.3.2.2.1	Caracterizaciones físicas y químicas de los sedimentadores	- 79 -
2.3.2.2.2	Caracterizaciones físicas y químicas de los prefiltros.....	- 83 -
2.3.2.2.3	Caracterizaciones físicas y química de los filtros	- 86 -
2.3.2.2.4	Prueba de Jarras para la Turbiedad	- 89 -
CAPÍTULO III.....		- 90 -
3	CÁLCULOS Y RESULTADOS	- 90 -
•	Mezcla Rápida en Vertederos Rectangulares	- 90 -
•	Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal	- 90 -
•	Cálculo de la Dosificación de PAC	- 90 -
3.1	OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	- 91 -
3.1.1	PROCESOS DE POTABILIZACIÓN.....	- 91 -
3.1.1.1	Mezcla Rápida en Vertederos Rectangulares	- 91 -
3.1.1.1.1	Determinación de la Profundidad Crítica de flujo	- 92 -
3.1.1.1.2	Determinación de la distancia L_m	- 92 -
3.1.1.1.3	Determinación de la Profundidad del agua en la sección 1	- 93 -
3.1.1.1.4	Determinación de la Profundidad del agua en la sección 2	- 94 -
3.1.1.1.5	Determinación de la Pérdida de Energía en el resalto h.....	- 95 -
3.1.1.1.6	Determinación de la Longitud del resalto L_j	- 95 -
3.1.1.1.7	Determinación del Tiempo de Mezcla	- 95 -
3.1.1.1.8	Determinación del Gradiente de Velocidad	- 96 -
3.1.1.2	Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal	- 97 -
3.1.1.2.1	Determinación del Volumen de Agua a mezclar	- 97 -
3.1.1.2.2	Determinación de la Profundidad Total del Agua.....	- 98 -

3.1.1.2.3	Determinación de la Longitud efectiva de cada canal	- 99 -
3.1.1.2.4	Determinación del número de canales	- 99 -
3.1.1.2.5	Determinación de la Longitud total interior de la cámara de floculación	- 100 -
3.1.1.2.6	Determinación de la pérdida de carga total.....	- 100 -
3.1.1.2.7	Determinación del Gradiente de Velocidad	- 101 -
3.1.1.3	Cálculo de la Dosificación de PAC	- 101 -
3.1.2	RESULTADOS	- 102 -
3.1.2.1	RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN ...	- 102 -
3.1.2.2	Resultados de las pruebas de jarras	- 104 -
3.1.2.2.1	Caracterización Físico-Química y Microbiológica del Agua Coagulada y Sedimentada.....	- 106 -
3.1.2.2.2	Comparación de la Eficiencia del agua sedimentada con la eficiencia que tendrá el agua coagulada y sedimentada	- 108 -
3.1.2.3	Requerimiento presupuestario	- 108 -
3.1.2.3.1	Costos de procesos de potabilización son:	- 108 -
3.1.2.3.2	Costos del PAC al día	- 109 -
3.1.2.3.3	Costo del PAC al año en época de invierno.....	- 109 -
3.1.3	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA CIUDAD DE CHAMBO	- 110 -
3.1.3.1	Descripción técnica	- 110 -
3.1.3.2	Mantenimiento.....	- 110 -
3.1.3.2.1	Los costos de la grava para la redistribución en los prefiltros	- 112 -
3.1.4	INVERSIÓN DE LA EMPRESA.....	- 112 -
3.1.5	PROPUESTA.....	- 114 -

CAPÍTULO IV	- 115 -
4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	- 115 -
CAPÍTULO V	- 117 -
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 117 -
5.1 CONCLUSIONES	- 117 -
5.2 RECOMENDACIONES	- 119 -
CAPÍTULO VI	- 120 -
6 BIBLIOGRAFÍA	- 120 -
ANEXOS	- 124 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Vertedero vista Lateral.....	- 23 -
Figura 1-2 Planta de Tratamiento	- 25 -
Figura 1-3 Configuración del resalto en un Vertedero Rectangular	- 29 -
Figura 1-4 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal (planta)	- 41 -
Figura 1-5 Diagrama Paragenético	- 49 -
Figura 1-6 Esquema del sistema de dosificación de cloro.....	- 57 -
Figura 1-7 Equipo para realizar Prueba de Jarras	- 60 -
Figura 2-1 Técnicas de Muestreo.....	- 65 -
Figura 2-2 Recolección de Muestras	- 65 -
Figura 2-3 Métodos de Análisis.....	- 68 -
Figura 2-4 Aforo	- 69 -
Figura 2-5 Sedimentadores	- 72 -
Figura 2-6 Prefiltros.....	- 74 -
Figura 2-7 Distribución de la Grava en los filtros lentos de Arena	- 76 -
Figura 2-8 Filtros	- 76 -
Figura 2-9 Desinfección.....	- 77 -
Figura 2-10 Tanques de distribución	- 78 -
Figura 2-11 Esquema de los puntos de muestreo	- 79 -
Figura 2-12 Prueba de Jarras	- 90 -
Figura 3-1 Vertedero rectangular.....	- 92 -
Figura 3-2 Dimensiones del Mezclador en Vertedero Rectangular.....	- 93 -
Figura 3-3 Resultados de la prueba de jarras	- 106 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Recolección de muestras.....	- 63 -
Tabla 2.2 Datos de aforo mediante el método volumétrico	- 69 -
Tabla 2.3 Dimensiones de los Sedimentadores	- 71 -
Tabla 2.4 Eficiencia en base a la turbidez	- 72 -
Tabla 2.5 Dimensiones de Los Prefiltros.....	- 73 -
Tabla 2.6 Eficiencia en base a la turbidez	- 73 -
Tabla 2.7 Dimensiones de Los Filtros Lentos de Arena.....	- 75 -
Tabla 2.8 Eficiencia en base a la turbidez	- 75 -
Tabla 2.9 Caracterización Físico Química del Agua Cruda a la entrada de los Sedimentadores del 13,14 y 15 de Agosto y del 15 de Octubre del 2013	- 80 -
Tabla 2.10 Caracterización Física del Agua Cruda a la entrada y salida de cada uno de los 4 Sedimentadores del 16 y 22 de Octubre del 2013	- 81 -
Tabla 2.11 Caracterización de la Turbiedad del Agua Cruda a la entrada y salida de cada uno de los 4 Sedimentadores del 17 y 18 de Octubre del 2013	- 82 -
Tabla 2.12 Caracterización Físico Química del Agua Cruda a la Entrada de los Prefiltros del 13,14 y 15 de Agosto y del 15 de Octubre del 2013.....	- 83 -
Tabla 2.13 Caracterización Físico Química del Agua a la salida de los prefiltros del 13,14 y 15 de Agosto y del 15 de Octubre del 2013.....	- 84 -
Tabla 2.14 Caracterización Física del Agua Cruda a la entrada y salida de cada uno de los 6 Prefiltros de 16 y 22 de Octubre del 2013	- 85 -
Tabla 2.15 Caracterización Físico Química del Agua la la salida de los filtros, antes de la adición de cloro del 13,14 y 15 de Agosto y del 15 de Octubre del 2013	- 86 -
Tabla 2.16 Caracterización Física del Agua A la salida de cada uno de los 5 filtros, antes de la Cloración del 16 y 22 de Octubre del 2013	- 87 -
Tabla 2.17 Caracterización Físico-Química y Microbiológica del Agua Potable en la Red de Distribución a los Usuarios, después del Proceso de Potabilización del 15 de Agosto del 2013	- 88 -

Tabla 3.1 Parámetros de diseño	- 97 -
Tabla 3.2 Resultados del diseño del Mezclador en Vertederos Rectangulares	- 102 -
Tabla 3.3 Resultados del diseño del Floculador Hidráulico de flujo horizontal.....	- 103 -
Tabla 3.4 Prueba de Jarras Turbiedad 2,43.....	- 104 -
Tabla 3.5 Prueba de Jarras Turbiedad 2,61	- 105 -
Tabla 3.6 Prueba de Jarras Turbiedad 6,65.....	- 105 -
Tabla 3.7 Prueba de Jarras Turbiedad 10,56.....	- 105 -
Tabla 3.8 Resultados de la Prueba de Jarras	- 106 -
Tabla 3.9 Caracterización del Agua Coagulada.....	- 107 -
Tabla 3.10 Comparación de Eficiencias	- 108 -
Tabla 3.11 Costos de los Procesos de Potabilización	- 108 -
Tabla 3.12 Aforo de solución de PAC y costo diario en época de invierno.....	- 109 -
Tabla 3.13 Costo del PAC al año en época de invierno	- 109 -
Tabla 3.14 Costo de grava	- 112 -
Tabla 3.15 Inversión de la Empresa.....	- 112 -

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Parámetros de Caracterización del Agua Potable	- 66 -
Cuadro 2.2 Equipos, Materiales y Reactivos	- 67 -
Cuadro 2.3 Métodos de Análisis.....	- 68 -
Cuadro 2.4 Especificaciones de la Grava de los Prefiltros	- 74 -
Cuadro 2.5 Especificaciones de la grava de los filtros	- 75 -
Cuadro 3.1 Especificaciones de la grava Propuesta	- 111 -

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1.....	- 30 -
Ecuación 1.2.....	- 30 -
Ecuación 1.3.....	- 30 -
Ecuación 1.4.....	- 30 -
Ecuación 1.5.....	- 31 -
Ecuación 1.6.....	- 31 -
Ecuación 1.7.....	- 31 -
Ecuación 1.8.....	- 32 -
Ecuación 1.9.....	- 32 -
Ecuación 1.10.....	- 32 -
Ecuación 1.11.....	- 32 -
Ecuación 1.12.....	- 32 -
Ecuación 1.13.....	- 33 -
Ecuación 1.14.....	- 33 -
Ecuación 1.15.....	- 43 -
Ecuación 1.16.....	- 44 -
Ecuación 1.17.....	- 44 -
Ecuación 1.18.....	- 44 -
Ecuación 1.19.....	- 45 -
Ecuación 1.20.....	- 45 -
Ecuación 1.21.....	- 45 -
Ecuación 1.22.....	- 45 -
Ecuación 1.23.....	- 45 -
Ecuación 1.24.....	- 45 -
Ecuación 1.25.....	- 46 -
Ecuación 1.26.....	- 46 -
Ecuación 3.1.....	- 101 -

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I.....	- 124 -
ANEXO II.....	- 126 -
ANEXO III	- 130 -
ANEXO IV	- 131 -
ANEXO V.....	- 133 -
ANEXO VI.....	- 134 -
ANEXO VII.....	- 135 -
ANEXO VIII.....	- 137 -
ANEXO IX	- 138 -

RESUMEN

Optimización de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Chambo, ubicada en el sector El Mirador.

El método experimental y técnica de análisis fueron empleadas en este trabajo de investigación, para lo cual se realizó caracterizaciones físicas, químicas y microbiológicas, tanto a la entrada y salida de cada etapa del proceso de tratamiento, y pruebas de dosificación de Policloruro de Aluminio; las pruebas se efectuaron en Laboratorio de Control de Calidad de Universidad Nacional de Chimborazo.

Para dosificar el Policloruro de Aluminio se diseñó un mezclador hidráulico en Vertedero Rectangular, el mismo que tiene un ancho de 0,40 m, una altura de 1 m, un largo de 2,06 m, el agua con el químico saldrá del mezclador, pasará inmediatamente a los floculadores hidráulicos de flujo horizontal, los mismos que serán de 11,85 m de largo interior, cada floculador tendrá 3 m de ancho, 36 baffles de cemento de 3 cm de espesor, cada baffle tendrá un ancho 2,50 m.

Diseñando el mezclador en vertedero rectangular, floculadores hidráulicos de flujo horizontal y dosificando correctamente el Policloruro de Aluminio se aumentará la eficiencia sedimentando un 70%. Se realizó una redistribución de la grava en los prefiltros, y mantenimiento correctivo de cada una de las etapas del proceso de tratamiento.

Concluyendo que las alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable, aumentarán la eficiencia de sedimentación en 70%, la redistribución de la grava aumentará la eficiencia de prefiltración en 80%, la ejecución del plan de mantenimiento de cada una de las etapas disminuirá los fosfatos que exceden la norma.

Se recomienda implementar el estudio realizado para mejorar la eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable, brindando un servicio de calidad a la ciudadanía Chambeña.

SUMMARY

Optimization of the plant of drinking water treatment belonging to Chambo canton, located in El Mirador sector.

The experimental method as well as the analysis techniques were followed to conduct this research, which was possible by carrying out physical, chemical and microbiological characterizations during both, the beginning and the ending of each stage of the treatment processes, as well as tests of poly aluminium chloride dosage, which were monitored at the Laboratory of quality control of the National University of Chimborazo.

In order to control the dosage of poly aluminium chloride it was designed a hydraulic mixer into rectangular drain weir, whose width is 0,40 m, 1 m height, 2,06 m long, then, the water combined with the chemical will flow out from the chemical mixer, next, it will immediately flow to the hydraulic flocculators of horizontal flow, which will be 11,85 m long in its inner part, and each flocculator will be 3 m wide, 36 concrete baffles of 3 cm thick, each baffle will be 2,50 m wide. After having designed the mixer on rectangular drain weir, hydraulic flocculators of horizontal flow and dosing the poly aluminium chloride appropriately; there will be an increase of efficiency by making possible to sediment 70 %. It was made a redistribution of the gravel in the pre-filters, furthermore, it was developed a corrective maintenance of each of the stages of the water treatment process.

It is concluded that the improvement alternatives for the operation of the treatment plant for drinking water, will increase the efficiency of sedimentation by 70% the redistribution of gravel will also increase the efficiency of pre-filtration by 80% in addition; the implementation of the maintenance plan of each of the stages will decrease the phosphates rate exceeding the regulations.

It is recommended to implement this study in order to improve the efficiency of the plant for drinking water treatment by offering a quality service to Chambo citizens.

INTRODUCCIÓN

Chambo situado a 8 km de la Ciudad de Riobamba hacia el este, se extiende en las faldas de los montes Quilimas y Cubillín de la Cordillera Oriental. Su altitud va desde los 2.400 a 4.730 msnm, con temperaturas que fluctúan entre 0 – 15° C. Limita al norte, al oeste y al sur con el cantón Riobamba, al este con Morona Santiago.

El Municipio preocupado por mejorar la calidad del agua para la distribución a los usuarios de la cabecera cantonal, me permitió realizar la investigación para de esta manera mejorar el sistema de tratamiento.

El sistema de abastecimiento de agua de la población de Chambo es alimentado por los deshielos de Los Cubillines, el tratamiento del agua existente está constituido por sedimentadores, prefiltros de grava, filtros lentos de arena y por la desinfección con cloro gas.

La Optimización del sistema de tratamiento de agua potable pretende implementar medidas de mejora para realizar un óptimo proceso en conjunto del tratamiento de agua que llega a la planta, para lo cual se hicieron caracterizaciones que determinan que la turbidez en época de invierno sobrepasa la norma al igual que los fosfatos, también se determinó que la sedimentación es la etapa más deficiente del proceso por lo cual se diseñó un mezclador de vertedero rectangular y dos floculadores de flujo horizontal, mediante prueba de jarras se determinó la dosis óptima de PAC, lo cual ayudará a sedimentar los sólidos totales disueltos mejorando la eficiencia de los sedimentadores y por ende del proceso de tratamiento en sí, garantizando de esta manera la distribución de agua de mejor calidad a la población de la ciudad de Chambo cumpliendo con los requisitos que establece la norma NTE INEN 1 108:2006.

ANTECEDENTES

Siendo el agua uno de los recursos más necesario para la subsistencia del ser humano, y consciente de la importancia de la inocuidad del mismo, el Municipio de Chambo encargado del desarrollo de potabilización, la misma que se encuentra a cargo del Dr. Jorge Romero, Alcalde de la ciudad de Chambo, tiene el compromiso de velar por el desarrollo de los pobladores del cantón.

La planta de tratamiento cuenta con un sistema de agua entubada la misma que proviene de los deshielos de los Cubillínes, el sistema de tratamiento de agua potable funciona desde 1996, el mismo que no ha sido remodelado últimamente, y en la actualidad presenta diversos problemas en las operaciones de potabilización, desmejorando así la calidad del producto, esta planta se encarga de distribuir el agua simplemente a la ciudad de Chambo, teniendo un caudal de alrededor de 53 l/s.

Los diferentes descontentos y molestias de los usuarios, además de la preocupación del Municipio de Chambo, por tales problemas, siendo los principales la turbiedad en época de invierno que sobrepasa la norma, debido a que la turbiedad es una cualidad organoléptica y física de vital importancia al consumidor y una referencia para evaluar el rendimiento de la planta de tratamiento actual, también dentro de uno de los problemas se encuentra la presencia de fosfatos, se comparó con los parámetros establecidos en la norma INEN 1 108 expedida en Marzo del 2006, segunda revisión, para poder así, dar alternativas para optimizar el tratamiento de agua potable existente y mejorar la calidad de vida de los 4459 habitantes de la ciudad de Chambo, con censo del 2010.

JUSTIFICACIÓN

El crecimiento del planeta avanza y con ello la demanda de agua, con el fin de satisfacer las necesidades del ser humano, es necesario contar con agua pura y segura, aunque por otra parte las diversas fuentes hídricas disponibles generan agua con diferentes tipos de impurezas, siendo realmente imprescindible realizar un tratamiento de potabilización, controlando su calidad, haciendo uso de caracterizaciones por medio de análisis físico químico y microbiológico de la misma. Siendo este de una manera periódica y ordenada, identificando puntos clave para la toma de muestras representativas pudiendo determinar su grado de calidad.

Una vez que se han realizado visitas de inspección a la planta de tratamiento de agua del cantón Chambo urge la necesidad de mejorar sus procesos en la línea, de poder realizar la optimización actualizada para las diferentes fases del tratamiento de agua destinado al consumo humano.

Las actuales condiciones de operación de la red de agua potable de la ciudad de Chambo hacen al sistema muy vulnerable, debido a que el agua al provenir en su mayoría de los deshielos de los Cubillínes en su curso lleva muchas materias coloidales, minerales y orgánicas, principalmente cuando es invierno el agua que baja es turbia, además los fosfatos sobrepasan la norma siendo estos los principales problemas de esta agua que se distribuye a la ciudad de Chambo, lo que da indicio que la misma es contaminada y que requiere de un mejor tratamiento para que esta pueda ser consumida.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se plantea el presente trabajo el mismo que es auspiciado por el Municipio de Chambo, facilitando el estudio de optimización, para determinar las falencias del tratamiento y así plantear propuestas que contribuirán a mejorar la calidad del agua de consumo humano, beneficiando en gran medida a la ciudadanía

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Optimizar el tratamiento de agua potable de la ciudad de Chambo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efectuar un diagnóstico técnico del funcionamiento actual de la planta.
- Realizar la caracterización físico-química y microbiológica del agua que ingresa a la planta de tratamiento y distribución, y comparar con los parámetros de calidad del agua determinados en la NTE INEN 1 108: 2006.
- Realizar prueba de tratabilidad para mejorar el sistema de tratamiento.
- Plantear alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta de agua potable, sustentado en un soporte técnico y económico.
- Caracterizar al agua mediante métodos físico-químicos y microbiológicos posterior a la aplicación del plan de mejora.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 EL AGUA

El agua es un componente esencial de la estructura y el metabolismo de los seres vivos. Además, es el compuesto más abundante en nuestro planeta. El agua es una sustancia abiótica la más importante en la tierra y uno de los más principales constituyentes del medio en que vivimos y de la materia viva. En estado líquido aproximadamente un gran porcentaje de la superficie terrestre está cubierta por agua que se distribuye en cuencas saladas y dulces, las primeras forman los océanos y los mares; lagos y lagunas, etc.; como gas constituye la humedad atmosférica y en forma sólida la nieve o el hielo.

El agua constituye la hidrósfera y no tiene límites precisos en la Atmósfera y la litosfera porque se compenetran entre ella.

Por lo tanto, el agua es el principal fundamento de la vida vegetal y animal y por ello, es el medio ideal para la vida, es por eso que las diversas formas de vida prosperan donde hay agua. Casi las tres cuartas partes de nuestra superficie terrestre están cubiertas de agua.

Es esencial para toda forma de vida, aproximadamente el 60% y 70% del organismo humano es agua. En forma natural el agua puede presentarse en estados físicos, sin embargo, debe tenerse en cuenta que en forma natural casi no existe pura, pues casi siempre tiene sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión.

La particular importancia del agua desde el punto de vista químico reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que se dan en la naturaleza, como los que se realizan en el laboratorio, tiene lugar entre sustancias disueltas esto entre soluciones acuosas. ¹

1.1.1 CLASES

1.1.1.1 Aguas de ríos, lagos, lagunas, riachuelos

Por lo general son incoloras y sin sabor. En tiempo de lluvias estas aguas son turbias y se contaminan por efectos de la erosión. Estas aguas se emplean para el riego de cultivos y vegetación, sin embargo, algunos ríos y lagos se utilizan para la navegación.

1.1.1.2 Agua Potable

Sin olor, ni color y algunas veces de sabor agradable. No contiene gérmenes ni bacterias patógenas, por lo tanto se le usa para el consumo humano. Se obtiene por tratamiento especial que se da a las aguas del río.

1.1.1.3 Aguas Medicinales y termales

Tienen temperaturas elevadas y diversas sales disueltas, son de sabor y olor característicos. Son curativas. Existen otras aguas con gran cantidad y diversidad de sales minerales, sin embargo, esta agua proviene del subsuelo y afloran a la superficie en los manantiales y lagunas tomando en cuenta que no son calientes.

¹El agua. Consultado el 25 de Septiembre del 2013, de: <http://www.deciencias.net/proyectos/4particulares/quimica/compuestos/agua.htm>

1.1.1.4 Agua Destilada

Se la obtiene por destilación de las aguas naturales. No contienen sales minerales, por lo que es impropia para consumirla. Se la reconoce porque no deja residuos al evaporarse. Se usa en medicina y en el estudio.

1.1.1.5 Agua Pesada

Se considera como tóxica pero en realidad es inerte. Tiene gran importancia en las plantas de energía atómica. Su fórmula es D₂O.

1.2 CICLOS DEL TRANSPORTE DEL AGUA

Las aguas empleadas para el consumo son básicamente:

- El agua dulce superficial que se encuentra en lagos y ríos;
- El agua subterránea, en general, muy mineralizada.

1.2.1 CICLO DE UTILIZACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL

Primeramente, el agua dulce es captada en un lago o en un río empleando diferentes técnicas que varían desde una simple tubería sumergida en el río a una torre de captación equipada con toma selectiva a diferentes profundidades, instalada en un lago o en un embalse. En algunos casos se construye una presa para retener el agua y regularizar las descargas del río, especialmente en aquellos ríos que transportan descargas mínimas, durante los períodos de estiaje.

Los sistemas de captación (canales o tuberías) transportan el agua cruda o agua bloque hacia las comunidades que necesitan ser abastecidas de agua potable. Si el agua no es potable, entonces ésta debe pasar a través de una planta de tratamiento antes de ser

distribuida a los consumidores. Sin embargo, aún si la fuente de agua es de buena calidad ésta debe ser desinfectada.

Una vez que el agua es apropiada para el consumo se distribuye a la comunidad mediante una red de tuberías a presión, que conduce el agua a la comunidad hasta los grifos instalados en los domicilios de los consumidores. Después de su utilización, el agua pierde sus calidades y se convierte en agua negra o agua servida que es evacuada de la comunidad por el sistema de desagüe o sistema de alcantarillado.

1.2.2 CICLO DE UTILIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Esta agua se capta, en general, por medio de bombas sumergidas en el fondo de pozos profundos perforados. Las aguas subterráneas son limpias y libres de contaminantes, pudiéndose distribuir y consumir sin otro tratamiento que el de la desinfección. En ciertos casos, sin embargo, estas aguas deben ser tratadas con el fin de reducir la concentración de algunas sustancias químicas como el hierro, el manganeso, el azufre, el calcio, etc.

El ciclo de utilización del agua subterránea es muy similar al del agua superficial, sin embargo, en el caso del agua subterránea hay un riesgo mayor de contaminación oculta de la fuente de abastecimiento, si los pozos y la napa freática no son protegidos contra la infiltración del agua contaminada.

1.3 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Según las circunstancias, el ingeniero puede recurrir a la utilización de las siguientes fuentes de abastecimiento de agua:

- Aguas superficiales;
- Aguas subterráneas;
- Aguas de lluvia;
- Aguas de mar o aguas salobres.

En la mayoría de los casos, se utilizan las aguas superficiales y las aguas subterráneas; sin embargo, la ausencia de estas fuentes puede recurrirse a la explotación del agua de lluvia o al agua de mar.

1.3.1 AGUAS SUPERFICIALES

En los países ricos en ríos y lagos, la mayoría de las municipalidades se sirven de las aguas superficiales como fuentes de abastecimiento de agua.

- **Aguas Fluviales:** En la cabecera de los ríos, la población es menos densa y el bosque y las tierras de cultivo cubren una buena parte de la región. Las aguas cuyo régimen de flujo es turbulento son, en la mayoría de casos, turbias debido a que transportan material en suspensión que tiene su origen en el bosque y en las tierras agrícolas. Frecuentemente son aguas frías porque provienen de manantiales, de la fundición de la nieve o del deshielo. Finalmente, debido a la ausencia de materia orgánica en suspensión el índice de color es bajo.
- **Aguas de Lagos:** Los lagos constituyen almacenamientos naturales de agua, lo que trae consigo: una disminución de la turbiedad de las aguas debido a la baja turbulencia que favorece la deposición de las partículas en suspensión en el fondo del lago, una reducción en la concentración de bacterias y virus patógenos, debido al efecto combinado de la sedimentación y al mayor tiempo que el agua permanece en el lago, ahí las condiciones son poco favorables para el desarrollo de los microorganismos, un aumento de la concentración de nutrientes minerales como el fósforo y el nitrógenos que producen la eutrofización.

1.3.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas se obtienen de los manantiales y de los pozos. En general, el agua subterránea presenta las siguientes características: La temperatura es constantes en todas las estaciones porque el terreno actúa como tampón, baja coloración porque contienen poca materia orgánica y poca materia coloidal en solución, baja turbiedad porque el agua se

filtra al atravesar el suelo, presencia de hierro y manganeso, presencia de calcio y magnesio.

1.3.3 AGUAS DE LLUVIA

Las aguas de lluvia, en general, son de buena calidad para el consumo humano y para otros usos domésticos. Sin embargo, algunas personas consideran que la falta de sabor las hace desagradables. Las aguas de lluvia son blandas, es decir, que no contienen en solución sales de calcio, magnesio, hierro, estroncio, ni manganeso.

1.3.4 AGUAS DE MAR Y LAS AGUAS SALOBRES

Cuando no existe agua superficial, subterránea, o agua de lluvia, puede utilizarse ya sea el agua salobre o el agua de mar, como fuentes de agua potable. Hay dos técnicas que emplean membranas para desalinizar el agua de mar; la electrodiálisis y la ósmosis inversa.²

1.4 MUESTREO

1.4.1 TIPOS DE MUESTRAS

1.4.1.1 Muestra simple o puntual

Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de

² BRIÈRE., F., Distribución de agua potable y colecta de desagües y de agua de lluvia., Primera Edición., Montreal – Canadá., École Polytechnique., 2005., Pp., 1- 6.

una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, pocas veces, efluentes residuales.

Cuando se sabe que un cuerpo de agua varía con el tiempo, las muestras simples tomadas a intervalos de tiempo precisados, y analizadas por separado, deben registrar la extensión, frecuencia y duración de las variaciones. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta 1 hora o más. Las variaciones estacionales en sistemas naturales pueden necesitar muestreos de varios meses. Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados.

1.4.1.2 Muestras compuestas

En la mayoría de los casos, el término "muestra compuesta" se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Algunas veces el término "compuesta en tiempo (time-composite)" se usa para distinguir este tipo de muestras de otras. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios.

Para estos propósitos, se considera estándar para la mayoría de determinaciones una muestra compuesta que representa un período de 24 h. Sin embargo, bajo otras

circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso de tiempo, o un ciclo completo de una operación periódica. Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, tomar muestras compuestas que representen el periodo durante el cual ocurren tales descargas.

1.4.1.3 Muestras integradas

Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición. La predicción matemática puede ser inexacta o imposible, mientras que la evaluación de una muestra integrada puede dar información más útil.

1.4.2 MÉTODOS DE MUESTREO

1.4.2.1 Muestreo manual

El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso y de manejo dispendioso.

1.4.2.2 Muestreo automático

Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El

muestreador no debe contaminar las muestras, es el caso de los recipientes plásticos incompatibles para almacenar muestras que contienen compuestos orgánicos y que solubilizan los componentes plásticos. En algunos casos un muestreador manual con recipiente de vidrio puede resultar más adecuado. Programar el muestreador automático de acuerdo con las especificaciones del mismo y las necesidades del muestreo, ajustar cuidadosamente las velocidades de la bomba y los tamaños de los tubos según el tipo de muestra a tomar.

1.4.3 RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS

Los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico o de vidrio, y se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra y sus componentes. Los recipientes de vidrio son inconvenientes para muestras destinadas a ser analizadas por metales traza; el vidrio libera silicio y sodio, a su vez, pueden adsorber trazas de metales contenidas en la muestra. Por otra parte los recipientes de plástico -excepto los teflonados (politetrafluoroetileno, TFE)- deben descartarse para muestras que contengan compuestos orgánicos, estos materiales liberan sustancias del plástico (por ejemplo, ésteres de ftalato del plástico) y a su vez disuelven algunos compuestos orgánicos volátiles de la muestra. Las tapas de los envases, generalmente de plástico, también pueden ser un problema, por lo que se debe usar empaques o séptum de metal o TFE. Para situaciones críticas, es adecuada la inclusión de un blanco del recipiente para demostrar la ausencia de interferencias. Usar los de vidrio para todos los análisis de compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles, plaguicidas, PCBs, aceites y grasas.

1.4.4 PRECAUCIONES GENERALES

Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio; en el muestreo de aguas, antes de coleccionar la muestra es necesario purgar el

recipiente dos o tres veces, a menos que contenga agentes preservativos. Dependiendo del tipo de determinación, el recipiente se llena completamente (esto para la mayoría de las determinaciones de compuestos orgánicos), o se deja un espacio para aireación o mezcla (por ejemplo en análisis microbiológicos); si el recipiente contiene preservativos no puede ser rebosado, lo cual ocasionaría una pérdida por dilución. Excepto cuando el muestreo tiene como objetivo el análisis de compuestos orgánicos, se debe dejar un espacio de aire equivalente a aproximadamente 1% del volumen del recipiente, para permitir la expansión térmica durante su transporte.³

1.5 ASPECTOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

La salud y el aspecto son las principales razones para realizar el tratamiento del agua. A finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, agudas enfermedades de origen hídrico, como cólera y la fiebre tifoidea, generaron el desarrollo y proliferación de las plantas de filtrado y cloración.

La siguiente identificación en los suministros de agua, de agentes adicionales de enfermedades como Legionella, Cryptosporidium y Giardia y contaminantes como el cadmio y el plomo, dieron como resultado pre tratamientos más elaborados para mejorar la filtración y desinfección.

Conjuntamente, el tratamiento de agua puede utilizarse para proteger y preservar el sistema de distribución.

Una variedad de desarrollo en el campo de la calidad del agua desde los años setenta y un aumento en la comprensión de los efectos sobre la salud han generado un mejor desarrollo en el campo del tratamiento. Con la identificación en el agua de bajos niveles, de

³ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION., Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater., 19 Edición., New York - Estados Unidos, 1995.

compuestos orgánicos potencialmente dañinos, el agua libre de Coliformes y de baja turbidez ya no es suficiente.

El aumento en las presiones de los lechos fluviales ha producido una mayor carga de entrada de microorganismos en diversas plantas de tratamiento.

Aunque paralelamente no ha ocurrido una intensa reevaluación de los aspectos estéticos de la calidad del agua, la calidad estética es importante. Problemas como la concentración mineral excesiva, la fijación de manchas y el color, afectan en la aceptación del consumidor en el suministro de dicha agua. No obstante, han tenido lugar muchos avances en la identificación de los organismos causantes del sabor y olor y sus metabolitos en las últimas décadas.

1.5.1 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS

La garantía de la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua de consumo se basa en la aplicación, desde la cuenca de captación al consumidor, de barreras múltiples para evitar la contaminación del agua de consumo o para reducirla a niveles que no sean perjudiciales para la salud. La seguridad del agua se mejora mediante la implantación de barreras múltiples, como la protección de los recursos hídricos, la selección y aplicación correctas de una serie de operaciones de tratamiento, y la gestión de los sistemas de distribución (por tuberías o de otro tipo) para mantener y proteger la calidad del agua tratada.

En términos generales, los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales (incluidos los de las aves). Los excrementos pueden ser fuente de patógenos, como bacterias, virus, protozoos y helmintos.

Si no se garantiza la seguridad del agua, la comunidad puede quedar expuesta al riesgo de brotes de enfermedades intestinales y otras enfermedades infecciosas. Es particularmente importante evitar los brotes de enfermedades transmitidas por el agua de consumo, dada su capacidad de infectar simultáneamente a un gran número de personas y, potencialmente, a una gran proporción de la comunidad.

1.5.1.1 Análisis Microbiológico

- **Cianobacterias y algas**

Las floraciones de cianobacterias y de otras algas en embalses y aguas fluviales pueden dificultar la coagulación y la filtración, lo que hace que el agua presente coloración y turbidez después de la filtración. También pueden generar geosmina, 2-metil-isoborneol y otras sustancias químicas que presentan umbrales gustativos en el agua de consumo de unos pocos nanogramos por litro.

- **Bacterias ferruginosas**

En aguas que contienen sales ferrosas y manganosas, su oxidación por bacterias ferruginosas (o por la exposición al aire) puede generar en las paredes de depósitos, tuberías y canales precipitados de color herrumbroso que pueden contaminar el agua.

1.5.2 ASPECTOS QUÍMICOS

Los riesgos para la salud asociados a los componentes químicos del agua de consumo son distintos de los asociados a la contaminación microbiana y se deben principalmente a la capacidad de los componentes químicos de producir efectos adversos sobre la salud tras períodos de exposición prolongados. Pocos componentes químicos del agua pueden ocasionar problemas de salud como resultado de una exposición única, excepto en el caso de una contaminación masiva accidental de una fuente de abastecimiento de agua de

consumo. Además, en muchos incidentes de este tipo, aunque no en todos, el agua se hace imbebible, por su gusto, olor o aspecto inaceptables.

En situaciones en las que no es probable que una exposición de corta duración perjudique la salud, suele ser más eficaz concentrar los recursos disponibles para medidas correctoras en la detección y eliminación de la fuente de contaminación que en instalar un sistema caro de tratamiento del agua de consumo para la eliminación del componente químico.

Puede haber numerosos productos químicos en el agua de consumo; sin embargo, sólo unos pocos suponen un peligro inmediato para la salud en cualquier circunstancia determinada. La prioridad asignada a las medidas de monitoreo y de corrección de la contaminación del agua de consumo debe gestionarse de tal modo que se evite utilizar innecesariamente recursos escasos para el control de contaminantes químicos cuya repercusión sobre la salud es pequeña o nula.

La presencia de nitratos y nitritos en el agua se ha asociado con la metahemoglobinemia, sobretudo en lactantes alimentados con biberón. La presencia de nitratos puede deberse a la aplicación excesiva de fertilizantes o a la filtración de aguas residuales u otros residuos orgánicos a las aguas superficiales y subterráneas.⁴

1.5.2.1 Análisis Químico

- **Fosfatos**

La concentración de fosfatos en un agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Este elemento suele ser el factor limitante en los ecosistemas para el crecimiento de los vegetales, y un gran aumento de su concentración puede provocar la

⁴ Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la calidad del agua potable. Volumen I. Tercera Edición. pp:12-15

eutrofización⁵ de las aguas. Así, Los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de ríos, pero especialmente de lagos y embalses. En lo referente a las aguas de consumo humano, un contenido elevado modifica las características organolépticas y dificulta la floculación - coagulación en las plantas de tratamiento.

Tan sólo 1 gramo de fosfato-fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$) provoca el crecimiento de hasta 100 gramos de algas. Si el crecimiento de algas es excesivo, cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición pueden dar como resultado una alta demanda de oxígeno, agotando el oxígeno presente en el agua.

Los fosfatos existen en forma disuelta, coloidal o sólida. Antes de realizar un análisis, por tanto, es importante considerar qué tipo de fosfatos deberán determinarse.

Finalmente, el tratamiento biológico del agua mediante la eliminación de fosfatos se realiza con el uso de una bacteria aeróbica, esto es oxígeno dependiente, si la concentración de los fosfatos es elevada, pero si esta concentración es baja se pueden eliminar con lavados frecuentes de las instalaciones con cloro el mismo que actuará sobre los microorganismos (bacterias, algas, plancton) que pueden desarrollarse sobre las superficies.

- **Aluminio**

Las fuentes más comunes de aluminio en el agua de consumo son el aluminio de origen natural y las sales de aluminio utilizadas como coagulantes en el tratamiento del agua. La presencia de aluminio en concentraciones mayores que 0,1–0,2 mg/l suele ocasionar quejas de los consumidores como consecuencia de la precipitación del floculo de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y el aumento de la coloración del agua por el hierro. Por lo tanto, es importante optimizar los procesos de tratamiento con el fin de reducir al mínimo la presencia de residuos de aluminio en el sistema de abastecimiento. En

⁵ La eutrofización es un tipo de contaminación química de las aguas. Se da cuando hay un aporte excesivo de nutrientes a un ecosistema acuático, el cual queda severamente afectado por ello.

buenas condiciones de funcionamiento, pueden alcanzarse, en muchas circunstancias, concentraciones de aluminio menores que 0,1 mg/l.

- **Amoníaco**

La concentración correspondiente al umbral olfativo del amoníaco a pH alcalino es de aproximadamente 1,5 mg/l, y se ha sugerido un umbral gustativo de 35 mg/l para el catión amonio. Estas concentraciones de amoníaco no tienen repercusión directa sobre la salud y no se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud.

- **Cloruro**

Las altas concentraciones de cloruro confieren un sabor salado al agua y las bebidas. Hay diversos umbrales gustativos para el anión cloruro en función del catión asociado: los correspondientes al cloruro sódico, potásico y cálcico están en el intervalo de 200 a 300 mg/l. A concentraciones superiores a 250 mg/l es cada vez más probable que los consumidores detecten el sabor del cloruro, pero algunos consumidores pueden acostumbrarse al sabor que produce en concentraciones bajas.

- **Cloro**

La mayoría de las personas pueden detectar, mediante el olfato o el gusto, la presencia en el agua de consumo de concentraciones de cloro bastante menores que 5 mg/l, y algunas incluso pueden detectar hasta 0,3 mg/l. Si la concentración de cloro libre residual alcanza valores de 0,6 a 1,0 mg/l, aumenta la probabilidad de que algunos consumidores encuentren desagradable el sabor del agua.

- **Dureza**

La dureza del agua, derivada de la presencia de calcio y magnesio, generalmente se pone de manifiesto por la precipitación de restos de jabón y la necesidad de utilizar más jabón para conseguir la limpieza deseada. La aceptabilidad por la población del grado de dureza

del agua puede variar en gran medida de una comunidad a otra, en función de las condiciones locales.

El agua con una dureza mayor que aproximadamente 200 mg/l, en función de la interacción de otros factores, como el pH y la alcalinidad, puede provocar la formación de incrustaciones en las instalaciones de tratamiento, el sistema de distribución, y las tuberías y depósitos de los edificios.

Otra consecuencia será el consumo excesivo de jabón y la consiguiente formación de restos insolubles de jabón. Las aguas duras, al calentarlas, forman precipitados de carbonato cálcico. Por otra parte, las aguas blandas, con una dureza menor que 100 mg/l, pueden tener una capacidad de amortiguación del pH baja y ser, por tanto, más corrosivas para las tuberías.

- **Hierro**

En las aguas subterráneas anaerobias puede haber concentraciones de hierro ferroso de hasta varios miligramos por litro sin que se manifieste alteración alguna del color ni turbidez al bombearla directamente desde un pozo. Sin embargo, al entrar en contacto con la atmósfera, el hierro ferroso se oxida a férrico, tiñendo el agua de un color marrón rojizo no deseable.

El hierro también potencia la proliferación de bacterias ferruginosas, que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico y que, en su actividad, depositan una capa viscosa en las tuberías.

En niveles por encima de 0,3 mg/l, el hierro mancha la ropa lavada y los accesorios de fontanería. Por lo general, no se aprecia ningún sabor en aguas con concentraciones de hierro menores que 0,3 mg/l, aunque pueden aparecer turbidez y coloración.

- **Manganeso**

La presencia de manganeso a concentraciones mayores que 0,1 mg/l en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable en bebidas y mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. Al igual que sucede con el hierro, la presencia de manganeso en el agua de consumo puede dar lugar a la acumulación de depósitos en el sistema de distribución. Las concentraciones menores que 0,1 mg/l suelen ser aceptables para los consumidores. Incluso en una concentración de 0,2 mg/l, el manganeso formará con frecuencia una capa en las tuberías, que puede desprenderse en forma de precipitado negro.

- **Sodio**

El umbral gustativo del sodio en el agua depende del anión asociado y de la temperatura de la solución. A temperatura ambiente, el umbral gustativo promedio del sodio es de 200 mg/l aproximadamente.

- **Sulfato**

La presencia de sulfato en el agua de consumo puede generar un sabor apreciable y en niveles muy altos provocar un efecto laxante en consumidores no habituados. El deterioro del sabor varía en función de la naturaleza del catión asociado; se han determinado umbrales gustativos que van de 250 mg/l, para el sulfato de sodio, a 1000 mg/l, para el sulfato de calcio. Por lo general, se considera que el deterioro del sabor es mínimo cuando la concentración es menor que 250 mg/l.

1.5.3 ASPECTOS FÍSICOS

Los análisis físicos miden y registran aquellas características del agua que pueden ser observadas por los sentidos y que en algunos casos crean problemas de rechazo por parte del público consumidor, haciéndola inadecuada para uso doméstico e industria. Sin

embargo estas características tienen menor importancia desde el punto de vista sanitario, ellas son: color, olor, sabor, turbiedad, temperatura, residuos, conductividad específica.⁶

1.5.3.1 Análisis Físicos

- **Sabor, Olor y Aspecto**

El sabor y el olor del agua pueden tener su origen en contaminantes químicos naturales, orgánicos e inorgánicos, y fuentes o procesos biológicos (por ejemplo, microorganismos acuáticos), o en la contaminación debida a sustancias químicas sintéticas, o pueden ser resultado de la corrosión o del tratamiento del agua (por ejemplo, la cloración). También pueden desarrollarse durante el almacenamiento y la distribución sabores y olores debidos a la actividad microbiana.

Los sabores u olores del agua de consumo pueden revelar la existencia de algún tipo de contaminación, o el funcionamiento deficiente de algún proceso durante el tratamiento o la distribución del agua. Por lo tanto, puede indicar la presencia de sustancias potencialmente dañinas. Se debe investigar la causa y consultar a las autoridades de salud pertinentes, sobre todo si el cambio experimentado es substancial o repentino. Los consumidores también pueden percibir en el agua de consumo turbiedad, color, partículas u organismos visibles, lo que afecta a su aceptabilidad y puede generar preocupación por su calidad.

- **Color**

Idóneamente, el agua de consumo no debe tener ningún color apreciable. Generalmente, el color en el agua de consumo se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo. Asimismo, la presencia de hierro y otros metales, bien como impurezas naturales o como resultado de la corrosión, también tiene una gran influencia en el color del agua. También puede proceder de la contaminación de la fuente de agua con vertidos industriales y puede ser el primer

⁶ CEPIS; “Control de la Calidad del agua”- Métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua”; Segunda edición; Lima; 1996.

indicio de una situación peligrosa. Si el agua de un sistema de abastecimiento tiene color, se debe investigar su origen, sobre todo si se ha producido un cambio sustancial.

La mayoría de las personas puede percibir niveles de color mayores que 15 unidades de color verdadero (UCV) en un vaso de agua. Un nivel de color alto también puede indicar una gran propensión a la generación de subproductos en los procesos de desinfección.

- **pH y corrosión**

Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua. Se debe prestar mucha atención al control del pH en todas las fases del tratamiento del agua para garantizar que su clarificación y desinfección sean satisfactorias. Para que la desinfección con cloro sea eficaz, es preferible que el pH sea menor que 8; no obstante, el agua con un pH más bajo será probablemente corrosiva. El pH del agua que entra en el sistema de distribución debe controlarse para reducir al mínimo la corrosión del sistema de fontanería en las instalaciones domésticas.

El pH óptimo necesario variará en distintos sistemas de abastecimiento en función de la composición del agua y la naturaleza de los materiales empleados en el sistema de distribución, pero suele oscilar entre 6,5 y 8.

- **Turbidez**

La turbidez en el agua de consumo está causada por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua de origen, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la resuspensión de sedimentos en el sistema de distribución. También puede deberse a la presencia de partículas de materia inorgánica en algunas aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución. El aspecto del agua con una turbidez menor que 5 NTU suele ser aceptable para los consumidores, aunque esto puede variar en función de las circunstancias locales.

Las partículas pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y pueden estimular la proliferación de bacterias. Siempre que se someta al agua a un tratamiento de desinfección, su turbidez debe ser baja, para que el tratamiento sea eficaz.

Además, la turbidez también es un parámetro operativo importante en el control de los procesos de tratamiento, y puede indicar la existencia de problemas, sobre todo en la coagulación, sedimentación y en la filtración.

No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la turbidez; idóneamente, sin embargo, la turbidez mediana debe ser menor que 0,1 NTU para que la desinfección sea eficaz, y los cambios en la turbidez son un parámetro importante de control de los procesos.

- **Temperatura**

El agua fría tiene, por lo general, un sabor más agradable que el agua tibia, y la temperatura repercutirá en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor. La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión.⁷

- **Conductancia Específica**

La conductancia o conductividad es una medida de la capacidad de un líquido para transmitir la corriente eléctrica; es un parámetro relacionado con la cantidad de iones presentes en el líquido y con la temperatura a la cual se efectúa la determinación.

⁷ Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la calidad del agua potable. Volumen I. Tercera Edición. pp:192-202

- **Sólidos totales**

Los sólidos totales es la suma de los sólidos disueltos y en suspensión que la muestra de agua pueda contener. Se puede decir que las aguas naturales son un conjunto de agua con sólidos disueltos y suspendidos.

Sólidos disueltos: Los sólidos disueltos lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico, tal como: sedimentación, filtración, etc. La presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista, por lo que se puede tener un agua completamente cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos. La presencia de estos sólidos solo se detecta cuando el agua se evapora y quedan las sales residuales en el medio que originalmente contiene el líquido.

Analíticamente se miden pesando la cápsula con las sales residuales, una vez que el agua ha sido evaporada, y conociendo el peso neto de la cápsula es posible determinar la cantidad de sólidos disueltos por diferencia de peso. También es posible cuantificar los sólidos disueltos midiendo la conductividad del agua: los sólidos disueltos se encuentran en forma de cationes y aniones, por lo que éstos como partículas con carga pueden conducir la corriente eléctrica, y así pueden ser cuantificados indirectamente, con cierta precisión, midiendo la conductividad del agua.

Sólidos en suspensión: Los sólidos en suspensión es el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas, y que causa en el agua la propiedad de turbidez. Cuanto mayor es el contenido de sólidos en suspensión, mayor es el grado de turbidez.

A diferencia de los sólidos disueltos, estos pueden separarse con mayor o menor grado de dificultad por procesos mecánicos como son la sedimentación y la filtración. Las partículas o sólidos suspendidos se componen de material orgánico e inorgánico. El material orgánico es principalmente algas o microorganismos y el inorgánico son: arcillas, silicatos, feldespatos, etc.

1.6 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; si se hace necesario adecuar el sitio de muestreo, se deben dar las instrucciones para la implementación de la adecuación.

1.6.1 MEDICIÓN VOLUMÉTRICA MANUAL

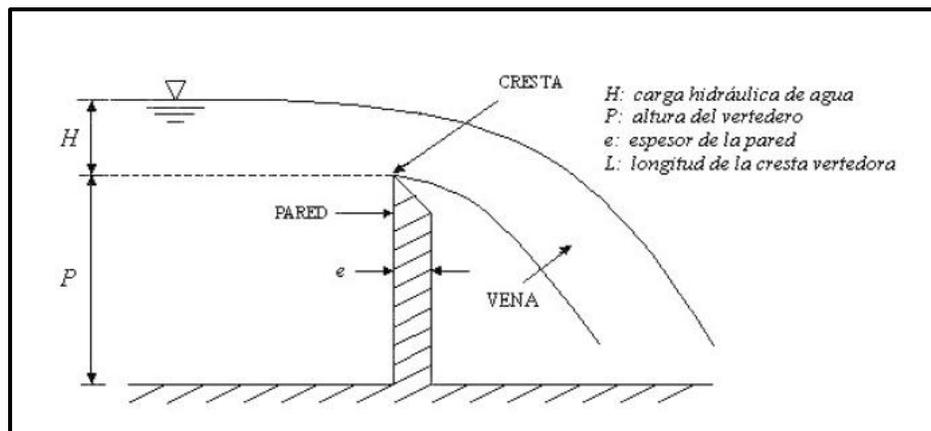
La medición del caudal se realiza de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado. El procedimiento a seguir es tomar un volumen de muestra cualquiera y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite 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; también se deben evitar represamientos que permitan la acumulación de sólidos y grasas.

1.6.2 MEDICIÓN EN CANALES ABIERTOS

El vertedero es un canal en el cual se coloca una represa cuyo rebosadero puede adoptar distintas formas; el líquido represado alcanzará distintas alturas en función del caudal, relacionadas por ecuaciones dependientes del tipo de vertedero, que puede ser rectangular, triangular o trapezoidal. Las ventajas de este tipo de vertederos radican en su fácil construcción, bajo costo, y buen rango de precisión en líquidos que no contengan sólidos.



*Fuente: artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/medidoresQ.pdf

Figura 1-1 Vertedero vista Lateral

Cuando la cabeza sobre un vertedero triangular es menor de 10 cm hay posibilidad de que se formen vacíos, por lo tanto no se recomienda su uso. En los vertederos hay que tener especial cuidado debido a que estos al represar el agua van acumulando sólidos y sustancias como grasas que interfieren en la calidad del agua y, en la representatividad de la muestra.

1.6.3 MEDICIÓN POR VELOCIDAD

Las canaletas se usan más comúnmente en canales abiertos donde:

- La rata de flujo no pueda medirse adecuadamente por un vertedero.

- Haya una significativa cantidad de partículas y otros materiales que podrían llenar un vertedero.
- La capacidad de la cabeza hidráulica sea insuficiente para utilizar el vertedero.
- La velocidad de flujo de una canaleta puede ser establecida tal que, sedimentos y otros sólidos pueden ser lavados a través de ella.
- La instalación de una canaleta puede ser relativamente más cara que un vertedero.

El diseño típico de una canaleta debe incluir lo siguiente: las secciones rectas del canal deben estar corriente arriba de la entrada de la canaleta, el flujo debe ser bien distribuido a través del canal, la velocidad corriente arriba del canal debe ser menor que la velocidad crítica, y la canaleta no debe estar sumergida y debe tener una descarga libre aguas abajo

1.7 PROCESOS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA

La selección del proceso de tratamiento del agua es una tarea complicada. Las circunstancias son diferentes para cada instalación del agua y quizás distintas para cada fuente o procedencia usada para la instalación. La selección de uno o más procesos a utilizar en determinada situación está influida por la necesidad de cumplir los objetivos de calidad reglamentada, el deseo de la instalación y de sus clientes de cumplir los objetivos de calidad del agua como los de aspecto o estética y la necesidad de proporcionar el servicio del agua a bajo costo.

Los factores que deberían estar incluidos en las decisiones de los procesos de tratamiento del agua comprenden:

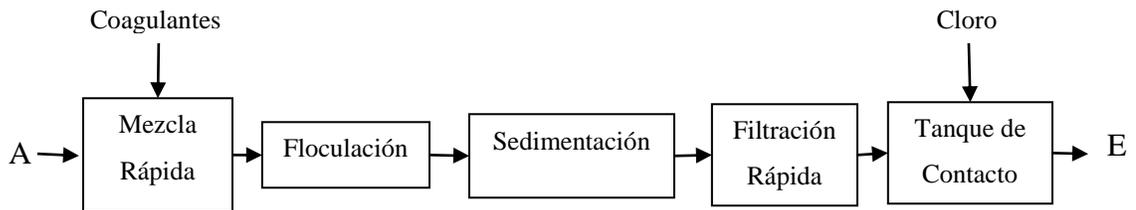
- Renovación de contaminantes.
- Calidad de la fuente original del agua.
- Fiabilidad.
- Condiciones existentes.
- Flexibilidad del proceso.
- Capacidades de la Instalación.

- Costes.
- Compatibilidad ambiental.
- Calidad del sistema de distribución de agua.
- Realización del proceso a escala.⁸

1.8 TIPOS DE PLANTAS DE PURIFICACIÓN

La calidad del agua cruda oscila grandemente de una fuente a otra, por lo cual el tipo de tratamiento también varía. El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económico requiere un estudio de ingeniería cuidadoso basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos de producir agua de la calidad requerida.⁹

Planta de Coagulación y Filtración convencional para remoción de Color, Turbidez y Microorganismos



Fuente: ROMERO, J., 1999

Figura 1-2 Planta de Tratamiento

⁸ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION., Calidad y Tratamiento del Agua., 5.a.ed., Madrid – España., Editorial McGraw-Hill., 2002., Pp 47-131.

⁹ ROMERO., J., Potabilización del Agua., 3.a.ed., Bogotá – Colombia., Escuela Colombiana de Ingeniería., 1999., Pp 11 – 21

1.9 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

1.9.1 CRIBADO O TAMIZADO

Es el primer paso en el tratamiento de aguas y aguas residuales para eliminar mediante rejas los residuos que vienen en ella y dar protección a estructuras posteriores como son bombas, tuberías y filtros, por lo general el cribado elimina de forma efectiva la “basura” como piezas de madera, plásticos y papeles.

En el cribado se utiliza distintos tamaños de rejas:

- Rejillas de gruesos: 5-10 cm de distancia entre barros.
- Rejillas de finos: 2 - 5 cm
- Rejillas de extra finos: 0,2 – 1,5 cm
- Micro tamices: 0,001 a 0,3 mm

1.9.2 MEZCLA RÁPIDA

Se denomina mezcla rápida a las condiciones de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con el fin de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante. La dosificación se realiza en la unidad de mezcla rápida, por lo cual estas condiciones son las que idealmente debe reunir esta unidad para optimizar el proceso.

La eficiencia de la coagulación depende de la dosificación y de la mezcla rápida. En la unidad de mezcla la aplicación del coagulante debe ser constante y distribuirse de manera uniforme en toda la sección. Debe existir una fuerte turbulencia para que la mezcla del coagulante y la masa del agua se dé en forma instantánea. La mezcla rápida puede realizarse aprovechando la turbulencia provocada por dispositivos hidráulicos o mecánicos.

En la coagulación por adsorción, las reacciones con aluminio que preceden a la neutralización de la carga son extremadamente rápidas y ocurren en milésimas de segundos cuando no hay formación de polímeros hidrolíticos de Al (III), y en un segundo cuando estos se forman. En cambio, la formación del precipitado de hidróxido de aluminio antes de la coagulación de barrido es lenta y se produce en un rango de 1 a 7 segundos.

Debido a la naturaleza de las reacciones involucradas en cada uno de estos modelos de coagulación, se deduce que para que ocurra la neutralización de la carga, es imperativo que los coagulantes sean difundidos en la masa de agua tan rápido como sea posible (menos de 0,1 seg), para que los productos que se forman entre 0,01 y 1 segundo produzcan la desestabilización del coloide.

Por el contrario, para la coagulación de barrido, la formación del hidróxido se produce en un rango de 1 a 7 segundos, por lo que es evidente que no es de crucial importancia disponer de tiempos de dispersión muy cortos o de altas intensidades de mezcla.¹⁰

1.9.2.1 Unidades Hidráulicas

Entre los mezcladores de este tipo se puede citar, entre los más utilizados por su simplicidad y eficiencia, los siguientes:

- Canales con cambio de pendiente o rampas
- Canaletas Parshall
- Vertederos rectangulares y triangulares
- Difusores
- Inyectores

¹⁰ Floculación. Consultado el 5 de Octubre del 2013, de:
http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual2/ma2_cap2.pdf

En los tres primeros mezcladores la turbulencia que ocasiona la mezcla es producida por la generación de un resalto hidráulico que causa un gradiente de velocidad de alrededor de 1000 s^{-1} . Estas unidades tienen la ventaja de que, además, involucran la medición del caudal de ingreso a la planta.

Las unidades de resalto hidráulico son adecuadas para todo tipo de aguas; es decir, tanto para las que coagulan por el mecanismo de absorción o neutralización de carga como para las de barrido. Para las aguas que coagulan por el mecanismo de barrido, son adecuados todos los tipos de mezcladores, inclusive los retromezcladores, porque en este caso, para que el mecanismo de barrido se produzca, son más importantes las condiciones químicas (dosis de coagulante) que los parámetros de mezcla.

En los difusores e inyectores se obtiene una eficiencia similar a la conseguida en las unidades de resalto hidráulico, pero con menores gradientes de velocidad; esto es, con menor disipación de energía durante el proceso. Esto se debe a que la homogeneización coagulante-masa de agua en estas unidades se consigue como consecuencia de la gran cantidad de puntos de aplicación de coagulante antes que de la agitación de la masa de agua. Otros tipos de mezcladores de patente como las denominadas unidades de mezcla en línea requieren gradientes de velocidad mayores, normalmente entre 3000 y 5000 s^{-1} .

La canaleta Parshall es adecuada exclusivamente para plantas de medianas a grandes ($Q \geq 500 \text{ L/S}$). El canal con cambio de pendiente se adecúa a cualquier rango de caudal, y los vertederos rectangular y triangular solo a caudales pequeños; el último, preferiblemente a caudales menores de 30 L/s .¹¹

1.9.2.1.1 Mezcla Rápida en Vertederos Rectangulares

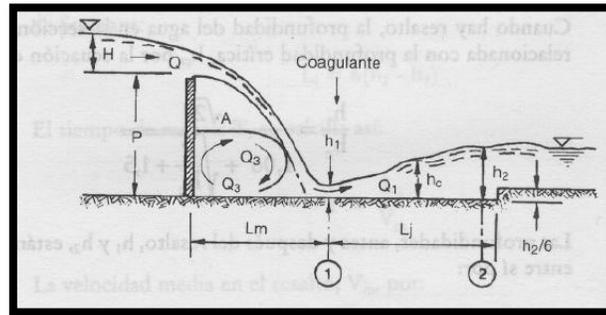
Esta unidad consiste en un canal rectangular con un vertedero rectangular sin contracciones a todo lo ancho del canal.

¹¹ Mezcla Rápida. Consultado el 7 de Octubre del 2013, de: http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1_tomo1_cap5.pdf

La metodología de cálculo fue formulada por Richter con las siguientes limitaciones:

- Vertedero rectangular, sin contracciones laterales, en caída libre.
- Relación P/h_c la menor posible, para reducir la pérdida de energía en la caída libre de la lámina vertedora.
- Para que el vertedero rectangular pueda ser utilizado como aforador la relación P/h_c debe ser mayor de 3.
- Usado para plantas pequeñas, caudal constante y flujo de gravedad.

La lámina vertiente, después de pasar sobre el vertedero, toca el fondo del canal en 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 alcanza el 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. 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.¹²



Fuente: ROMERO, J., 1999.

Figura 1-3 Configuración del resalto en un Vertedero Rectangular

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

¹² ROMERO, J., Potabilización del Agua., 3.a.ed., Bogotá – Colombia., Escuela Colombiana de Ingeniería., 1999., Pp 61 – 66.

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

(Ecuación 1.1)

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 de reposo.

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

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

(Ecuación 1.2)

Donde:

h_c : Profundidad Crítica (m)

La profundidad crítica de flujo, h_c , es:

$$h_c = \frac{q^2}{g}^{1/3}$$

(Ecuación 1.3)

Donde:

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

g : Gravedad (m/s^2)

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

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

(Ecuación 1.4)

Donde:

B : Ancho del Vertedero (m)

Q: Caudal Actual (m³/s)

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:

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

(Ecuación 1.5)

Donde:

h_1 : Profundidad del agua en la sección 1, antes del resalto (m)

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

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

(Ecuación 1.6)

Donde:

h_1 : Profundidad del agua en la sección 1, antes del resalto (m)

F_1 : Número de Froude

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

(Ecuación 1.7)

El número de Froude en la sección 1, 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:

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

(Ecuación 1.8)

Donde:

V_1 : Velocidad en la sección 1 (m/s)

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

(Ecuación 1.9)

Donde:

V_2 : Velocidad en la sección 2 (m/s)

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

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

(Ecuación 1.10)

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

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

(Ecuación 1.11)

El tiempo de mezcla T , se calcula así:

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

(Ecuación 1.12)

Donde:

V_m : Velocidad Media (m/s)

La velocidad media en el resalto, V_m , por:

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

(Ecuación 1.13)

El gradiente de velocidad, por la ecuación convencional:

$$G = \frac{\gamma h}{\mu T}$$

(Ecuación 1.14)

Donde:

γ : Peso Específico del agua a 10 °C(N/m³)

μ : Viscosidad Dinámica del agua a 10 °C (Ns/m²)

1.9.3 COAGULACIÓN QUÍMICA DEL AGUA

Las aguas crudas naturales contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados por la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0,01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0,01 mm) son generalmente sedimentables.

Los sólidos coloidales son limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc., los cuales no se sedimentan sino después de períodos razonables, su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación. Los sólidos

disueltos, materia orgánica e inorgánica, son invisibles por separado, no son sedimentables y globalmente causan diferentes problemas de olor, sabor, color y salud, a menos que sean precipitados y removidos mediante métodos físicos y químicos.

La coagulación química se define como un proceso unitario utilizado para causar la coalescencia o agregación de material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua y de aguas residuales; es el proceso en el que se reducen las fuerzas repelentes existentes entre partículas coloidales para formar partículas mayores de buena sedimentación.

El proceso se basa en la adición de sustancias químicas al agua, su distribución uniforme en ella y la formación de un floc fácilmente sedimentable.

La coagulación prepara el agua para la sedimentación, aumenta grandemente la eficiencia de los sedimentadores y tiene como función primordial desestabilizar, agregar y unir las sustancias coloidales presentes en el agua. El proceso remueve turbiedad, color, bacterias, algas y otros organismos planctónicos, fosfatos y sustancias productoras de olores y sabores.

La coagulación es el proceso que se usa más ampliamente para remover las sustancias que ocasionan turbiedad en el agua, las cuales son a menudo inorgánicas, mientras que las que causan olor, sabor o color son orgánicas.

El entendimiento del mecanismo de la coagulación implica el conocimiento de las propiedades de los coloides.

1.9.3.1 Coagulantes

Se puede decir que coagulantes son aquellos compuestos de hierro o aluminio capaces de formar un floc y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua. Por otra parte, ayudas de coagulación son sustancias que producen poco o ningún floc al ser usadas solas, pero que mejoran los resultados obtenidos con simples coagulantes.

Los coagulantes más empleados son el sulfato de aluminio, el sulfato ferroso y la cal, el cloruro férrico, el sulfato férrico, el aluminato de sodio y la cal. Entre las ayudas de coagulación se incluyen el cloruro de magnesio, el aluminato de sodio, la sílice activada, el almidón y gran número de polielectrolitos de masa molecular alta.

Hay que distinguir entre coagulación, el proceso químico por el cual se añade un coagulante (sustancia química) al agua con el fin de destruir la estabilidad de los coloides y promover su agregación, y floculación como el proceso físico de mezcla rápida y lenta por medio del cual se incrementa la posibilidad de choque entre partículas y, por tanto, la formación de floc. Sin embargo, es común referirse a la coagulación como el proceso de adición de coagulante, mezcla rápida, floculación y sedimentación.¹³

1.9.3.1.1 Coagulantes Metálicos

Existe una variedad de coagulantes metálicos que los podemos clasificar en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios.

- Coagulación con Sales de Hierro

Las sales de hierro tienen su ventaja sobre las sales de aluminio en algunos casos, porque forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento y porque pueden

¹³ ROMERO, J. (2009). Calidad del Agua. Bogotá- Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. pp: 187-194.

trabajar con un rango de pH mucho más amplio. Por tanto, se usan cuando el sulfato de aluminio no produce coagulación adecuada o cuando los sedimentadores están demasiado recargados y resulta económico aumentar el peso del floc para incrementar la eficiencia de ellos.

Las más conocidas de las sales de hierro son: el cloruro férrico, el sulfato férrico y sulfato ferroso.

- Coagulación con Sales de Aluminio

Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas de éstas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio.

El primero es el coagulante que por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable.¹⁴

1.9.3.1.2 Policloruro de Aluminio

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

Se obtienen por reacción entre el hidrato de aluminio con ácido clorhídrico en determinadas condiciones de presión, temperatura y tiempo, obteniéndose unos productos polimerizados que contienen especies polinucleares de alta cationicidad, que dan lugar a rápidas reacciones de hidrólisis al reaccionar con la materia en suspensión presente en el agua a tratar. Esto los hace especialmente válidos en procesos de coagulación de alta turbidez, alta viscosidad del agua, bajas temperaturas o en aguas de baja alcalinidad.

¹⁴ ARBOLEDA., J., Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3.a.ed., Bogotá – Colombia., Editorial Mc. Graw Hill., 2000., Pp 51-52.

➤ **Aplicación:**

PAC es un tipo de macromolécula floculante inorgánico. Mediante la función de puente de iones hidroxilo y la función polimérico anión polivalente, produce macromolécula y molécula inorgánica de electricidad alta . Se adapta a una amplia gama de pH de 5,0 ~ 9,0, y será mejor entre 6,5 ~ 7,6.

➤ **Dosis:**

Para uso en agua potable 30 mg/l máximo.

Para uso en aguas residuales puede ser de 50-500 mg/l.

Para uso en aguas aceitosas 500-2000 mg/l.

1.9.3.2 pH óptimo para Coagulación

El valor del pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación; de acuerdo con Haney, el pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como el tiempo requerido para formación de floc y la carga sobre las partículas coloidales. El pH óptimo para la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua, pero usualmente cae entre pH 5,0 y 6,5.

1.9.4 FLOCULACIÓN

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.

1.9.4.1 Parámetros Operacionales

Los parámetros operacionales del proceso son el gradiente de velocidad (G) y el tiempo de retención (T). Los valores de estos parámetros, según los estudios realizados por

Villegas y Letterman, son los que en forma conjunta van a producir la mayor eficiencia. A través de investigaciones efectuadas, se ha determinado que el rango óptimo de gradientes de velocidad para floculación varía entre 20 y 75 s⁻¹ y el de tiempos de retención entre 10 y 30 min, dependiendo de la calidad del agua.

1.9.4.2 Factores que influyen en la Floculación

Los principales factores que influyen en la eficiencia de este proceso son:

- La naturaleza del agua;
- Las variaciones de caudal;
- La intensidad de agitación;
- El tiempo de floculación, y
- El número de compartimentos de la unidad.

✓ Naturaleza del agua

La coagulación y, por consiguiente, la floculación son extremadamente sensibles a las características fisicoquímicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad.

Algunos iones presentes en el agua pueden influir en el equilibrio fisicoquímico del sistema, en la generación de cadenas poliméricas de los hidróxidos que se forman o en la interacción de estos polímeros con las partículas coloidales, lo que afectará el tiempo de floculación.

✓ Influencia del tiempo de floculación. Compartimentalización

En todos los modelos propuestos para la floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo.

Bajo determinadas condiciones, existe un tiempo óptimo para la floculación, normalmente entre 20 y 40 minutos. La permanencia del agua en el floculador durante un

tiempo inferior o superior al óptimo produce resultados inferiores, tanto más acentuados cuanto más se aleje este del tiempo óptimo de floculación.

Es necesario, por lo tanto, que se adopten medidas para aproximar el tiempo real de retención en el tanque de floculación al tiempo nominal escogido. Esto se puede obtener si se compartimentaliza el tanque de floculación con pantallas deflectoras. Cuanto mayor sea el número de compartimentos, menores serán los cortocircuitos del agua.

Con la Compartimentalización y la elección de valores adecuados para los gradientes de velocidad, se aumenta la eficiencia del proceso o se reduce el tiempo necesario de floculación (o ambos), según demostraron Harris y colaboradores. Gradientes elevados en los primeros compartimentos promueven una aglomeración más acelerada de los flóculos; gradientes más bajos en las últimas cámaras reducen la fragmentación.

✓ **Influencia del Gradiente de Velocidad**

Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad. Los flóculos crecerán hasta un tamaño máximo, por encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores.

La resistencia de los flóculos depende de una serie de factores:

- De su tamaño, forma y compactación;
- Del tamaño, forma y naturaleza de las micropartículas; y
- Del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas.

Los valores recomendados de gradientes de velocidad para floculación se encuentran dentro de un rango de 100 a 10 s⁻¹.

✓ **Influencia de la variación del caudal**

Es conocido que al variarse el caudal de operación de la planta, se modifican los tiempos de residencia y gradientes de velocidad en los reactores.

El floculador hidráulico es algo flexible a estas variaciones. Al disminuir el caudal, aumenta el tiempo de retención y disminuye el gradiente de velocidad. Al aumentar el caudal, el tiempo de retención disminuye, el gradiente de velocidad se incrementa y viceversa; el número de Camp (N_c) varía en aproximadamente 20% cuando la variación del caudal es de 50%.

1.9.4.3 FLOCULADORES

Se acostumbra clasificar a los Floculadores como mecánicos o hidráulicos de acuerdo con el tipo de energía utilizada para agitar la masa de agua. Puede hacerse una clasificación más amplia si se tiene en cuenta el modo como se realiza la aglomeración de las partículas.

1.9.4.3.1 Hidráulicos

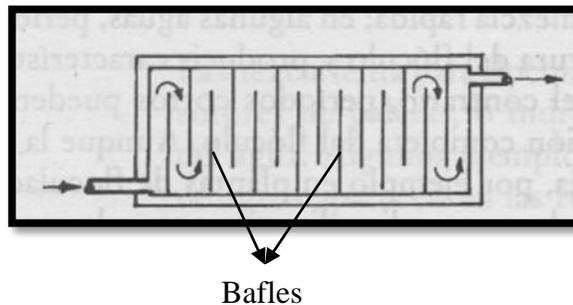
Los Floculadores hidráulicos utilizan la energía hidráulica disponible a través de una pérdida de carga general o específica.

❖ *De pantallas*

Las unidades de pantallas son las más eficientes y económicas de todos los floculadores actualmente en uso. Debido a la gran cantidad de compartimientos que tienen, confinan casi perfectamente el tiempo de retención; el tiempo real es prácticamente igual al tiempo teórico cuando la unidad ha sido bien proyectada.

Debido a que no se requiere energía eléctrica para su funcionamiento, el costo de producción es muy bajo. Debido a su mayor eficiencia y menor costo, en el Japón se han reemplazado los Floculadores mecánicos por hidráulicos y actualmente solo se diseñan unidades de este tipo.

- **Unidades de flujo horizontal**



Fuente: ROMERO, J., 1999

Figura 1-4 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal (planta)

- **Parámetros y recomendaciones de diseño**

Recomendables para caudales menores de 50 litros por segundo.

Se proyectará un mínimo de dos unidades, salvo que la planta tenga alternativa para filtración directa, porque en ese caso, podrá darse mantenimiento al floculador durante los meses en que la planta opera con filtración directa.

En este tipo de unidades predomina el flujo de pistón, por lo que se consigue un buen ajuste del tiempo de retención.

Se pueden utilizar pantallas removibles de concreto prefabricadas, fibra de vidrio, madera, plástico, asbesto cemento u otro material de bajo costo, disponible en el medio y que no constituya un riesgo de contaminación. De esta manera, se le da mayor flexibilidad

a la unidad y se reduce el área construida, disminuyendo por consiguiente el costo de construcción.

Entre los materiales indicados para las pantallas, los que ofrecen mayor confiabilidad son la fibra de vidrio, el plástico, los tabiques de concreto prefabricados y la madera. En cada caso, la elección del material dependerá del tamaño de la planta, del costo del material y de los recursos disponibles. Si se empleara madera, se pueden disponer tabiques de madera machihembrada, tratada con barniz marino aplicado en varias capas, cada una en sentido opuesto a la anterior, de tal manera de formar una gruesa capa impermeabilizante.

También puede emplearse madera revestida con una capa de fibra de vidrio. La unidad puede tener una profundidad de 1,00 a 2,00 metros, dependiendo del material utilizado en las pantallas.

Se pueden utilizar también pantallas de asbesto cemento, siempre y cuando no se tengan aguas ácidas o agresivas. En zonas sísmicas no se recomienda el empleo de planchas de asbesto cemento.

Con pantallas de asbesto cemento, se recomienda diseñar unidades de máximo un metro de profundidad útil, colocando las pantallas con la dimensión de 1,20 metros en el sentido vertical.

Si se usan pantallas de asbesto cemento onduladas, se consigue disminuir un poco la diferencia de gradientes de velocidad entre los canales y las vueltas. En este caso, se considera un coeficiente de fricción (n) de 0,03 para calcular la pérdida de carga en los canales. Cuando se utilicen placas de asbesto cemento planas o de madera, los coeficientes deben ser 0,013 y 0,012, respectivamente.

El coeficiente (K) de pérdida de carga en las vueltas varía entre 1,5 y 3,0. Se recomienda usar un coeficiente de 2 para este fin.

El espaciamiento entre el extremo de la pantalla y la pared del tanque, es decir, el paso de un canal a otro, se deberá hacer igual a 1,5 veces el espaciamiento entre pantallas.

Dependiendo del tamaño de la unidad, deberá considerarse un punto de desagüe por unidad o uno por cada tramo.¹⁵

- **Criterios para el dimensionamiento**

Según Arboleda, para flocladores hidráulicos:

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

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

$$v = 0,10 - 0,60 \text{ m/s.}$$

Donde:

G: Gradiente de Velocidad

t: Tiempo de Mezcla

v: Velocidad de flujo

La pérdida adicional, h, en flocladores de flujo horizontal, se calcula por:

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

(Ecuación 1.15)

Donde:

h: La pérdida adicional por curvas en el canal, (m)

N-1: número de tabiques (adimensional)

¹⁵ Floclación: Consultado el 10 de Octubre del 2013, de:
http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1_tomo1_cap6.pdf

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 la curvas, algunos autores sugieren un espaciamiento igual a 0,5 veces la separación entre tabiques.

La pérdida de carga se produce a lo largo de los canales (h) y principalmente en las vueltas (h_f), por lo que la pérdida de carga total en el tramo H será:

$$H = h + h_f$$

(Ecuación 1.16)

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

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

(Ecuación 1.17)

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 (m^2/s)

g: Gravedad (m/s^2)

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

$$L = v * t$$

(Ecuación 1.18)

El volumen de agua a mezclar en cada período es:

$$V = Qt$$

(Ecuación 1.19)

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

El área transversal requerida de un canal entre baffles¹⁶ es:

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

(Ecuación 1.20)

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

(Ecuación 1.21)

La profundidad del agua sería:

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

(Ecuación 1.22)

Donde:

a: área transversal (m²)

s: separación entre baffles (m)

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

$$e = 1,5 * s$$

(Ecuación 1.23)

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

$$l = ancho - e$$

(Ecuación 1.24)

¹⁶ Baffles: Paredes o muros que se instalan en un tanque de floculación o sedimentación para dirigir el sentido del flujo, evitar la formación de cortocircuitos hidráulicos y espacios muertos.

Por lo tanto, el número requerido de canales será:

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

(Ecuación 1.25)

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.

$$h_f = \frac{nv^2L}{R^4}$$

(Ecuación 1.26)

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

1.9.5 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.

Esta operación consiste en separar los sólidos en suspensión (SS) de mayor densidad que el agua, por simple gravedad. Los factores que determinan la velocidad de sedimentación de los SS son principalmente el diámetro y la densidad de las partículas así como la viscosidad de la solución.

La sedimentación se realiza en tanques (circulares o rectangulares llamados también clarificadores) o reactores en los cuales teóricamente, la masa líquida se traslada de un punto a otro con movimiento uniforme y velocidad constante.

Las partículas aglomerables (materia orgánica que logra flocularse - hacer grumos) se obstaculizan mediante la sedimentación antes de unirse, una vez lograda la unión ganan peso y se precipitan a velocidad creciente en el tiempo. El material sedimentado es retirado del fondo de los tanques y canales por medio de bombas de succión o motobombas.

Los SS de pequeño tamaño y coloide que difícilmente sedimentarían bajo condiciones naturales, son precipitados después como flocs a través de un proceso de coagulación y floculación.

Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

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 pre sedimentación. 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.

1.9.5.1 Tipos De Sedimentación

La sedimentación ocurre de maneras diferentes, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación.

En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, las cuales no cambian su tamaño, o forma o peso cuando se sedimentan, y partículas floculentas y precipitantes en

las cuales la densidad y el volumen cambia a medida que ellas se adhieren unas con otras mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido.

Dichos tipos de sedimentación son:

- Sedimentación tipo 1:

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

- Sedimentación tipo 2:

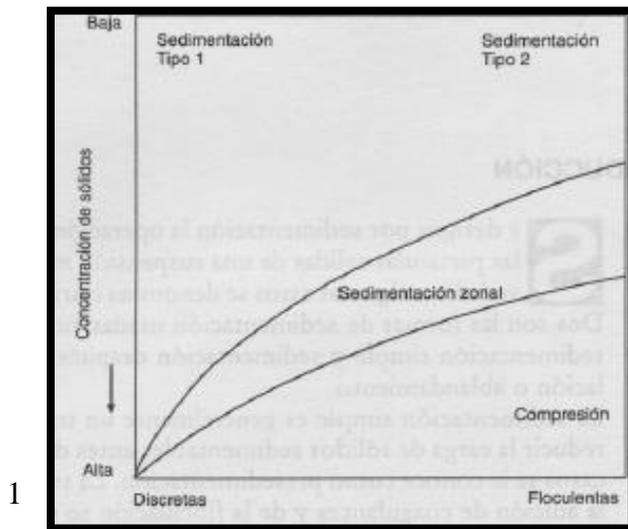
Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, en las cuales es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión junto con las características de asentamiento de las partículas.

- Sedimentación Zonal:

Describe la sedimentación másica y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento, en las cuales se presenta un asentamiento interferido debido a la cercanía entre partículas.

- Compresión:

Ocurre cuando la concentración aumenta a un valor en que las partículas están en contacto físico unas con otras y el peso de ellas es sostenido parcialmente por la masa compactada.



*Fuente: ROMERO, J., 1999.

Figura 1-5 Diagrama Paragenético

1.9.5.2 Cálculo de la Fracción total removida

$$X_T = (1 - X_0) + \frac{1}{U_0} \int_0^{X_0} U_p dx$$

Donde:

X_T = Fracción total removida

$1 - X_0$ = Fracción de partículas con velocidad U_p mayor que U_0

$\frac{1}{U_0} \int_0^{X_0} U_p dx$ = Fracción de partículas removidas con velocidad U_p menor que U_0

1.9.6 FILTRACIÓN

Las partículas pueden separarse de las aguas brutas mediante filtros rápidos por gravedad, horizontales, o a presión, o filtros lentos de arena. La filtración lenta en arena es, en esencia, un proceso biológico, mientras que los otros tipos de filtración son procesos físicos.

Los filtros rápidos por gravedad, horizontales y a presión pueden utilizarse para la filtración directa de agua bruta, sin tratamiento previo. Los filtros rápidos por gravedad y a presión se utilizan habitualmente para filtrar agua que ha sido tratada previamente mediante coagulación y sedimentación.

También puede realizarse una filtración directa, en la que se añade al agua un coagulante y, a continuación, ésta se hace pasar directamente por el filtro en el que se separa el flóculo precipitado (que contiene sustancias contaminantes). La aplicación de la filtración directa está limitada por la disponibilidad de espacio en el filtro para albergar las sustancias sólidas separadas.

1.9.6.1 Filtros rápidos por gravedad

Los filtros rápidos de arena por gravedad son habitualmente depósitos rectangulares abiertos (habitualmente de menos de 100 m²) que contienen arena de sílice (con granos de 0,5 a 1,0 mm) hasta una profundidad de 0,6 a 2,0 m. El agua fluye hacia abajo y los sólidos se concentran en las capas superiores del lecho. El caudal unitario es generalmente de 4 a 20 m³/(m²h). El agua tratada se recoge mediante bocas situadas en el suelo del lecho. Los sólidos acumulados se retiran periódicamente descolmatando el filtro mediante inyección (a contracorriente) de agua tratada. En ocasiones, la arena se lava previamente con aire. Se produce un lodo diluido que debe desecharse.

Además de los filtros de arena en capa homogénea, se utilizan filtros bicapa o multicapa. Estos filtros están constituidos por materiales diferentes, de modo que su estructura pasa de gruesa a fina conforme el agua avanza a través del filtro. Se utilizan materiales de densidad adecuada para mantener la separación de las diferentes capas tras la descolmatación. Un ejemplo común de filtro bicapa es el filtro de antracita y arena, que suele tener una capa de 0,2 m de espesor de partículas de antracita de 1,5 mm sobre una capa de 0,6 m de espesor

de arena de sílice. En filtros multicapa puede usarse antracita, arena y granate. La ventaja de los filtros bicapa y multicapa es que se utiliza más eficazmente el espesor completo del lecho para la retención de partículas: la tasa de pérdida de carga puede ser la mitad que en los filtros de capa homogénea, lo que permite utilizar caudales unitarios mayores sin que aumente la pérdida de carga.

Los filtros rápidos por gravedad suelen utilizarse para eliminar flóculos de aguas coaguladas, así como para reducir la turbidez (incluidas las sustancias adsorbidas) y los óxidos de hierro y manganeso de las aguas brutas.

1.9.6.2 Prefiltros

Los prefiltros de grava más utilizados son los de flujo horizontal y de flujo vertical, los de flujo vertical pueden ser, a su vez, de dos tipos: descendentes y ascendentes, siendo los criterios de operación diferentes en cada caso. Antes de someter el agua a otros tratamientos, como a filtros lentos de arena, pueden utilizarse prefiltros. Los prefiltros con medio de filtración de grava gruesa o piedras machacadas pueden tratar eficazmente aguas de turbidez alta (>50 UNT). La principal ventaja de la prefiltración es que al pasar el agua por el filtro, además de por filtración, se eliminan partículas mediante sedimentación por gravedad.

Los filtros horizontales pueden tener hasta 10 m de longitud y se aplican caudales de filtración de 0,3 a 1,0 m³/m² h.

Para establecer el caudal de operación de todo el sistema, si ésta es la primera unidad del sistema de tratamiento considerado, deberá anteponerse una caja de concreto con un vertedero triangular.

- La estructura de entrada está constituida por un canal y un muro de ladrillo hueco, cuya función es distribuir uniformemente el caudal en toda la sección.
- La zona de filtración está conformada por canales divididos en tres o más tramos llenos de grava de diferentes diámetros, dispuestos en sentido decreciente.
- La longitud de los tramos es variable y depende de la calidad del agua, del tamaño de la grava y de la velocidad de filtración.
- Las paredes anterior y posterior de cada tramo deberán ser muros de ladrillo hueco, para permitir una distribución uniforme y adecuada del flujo.
- Cada tramo debe tener su sistema de limpieza, consistente en una tolva para facilitar el deslizamiento y depósito del sedimento, un canal de evacuación de lodos techado con losas de concreto separadas por ranuras, compuerta y cámara de drenaje. Las ranuras o separaciones de las losas del canal se diseñan para obtener una velocidad de descarga que asegure la extracción instantánea de la mayor parte del lodo contenido en la tolva. Las tolvas estarán rellenas con piedra de 2" a 3" de diámetro.
- La estructura de salida está constituida por un muro de ladrillo hueco y un canal independiente para cada unidad.

Ventajas:

- En general, son más eficientes que los sedimentadores por la gran superficie específica disponible en la grava.
- Cuando opera con carreras largas, no sólo remueve partículas inertes, sino también microorganismos.
- Las carreras de trabajo se pueden alargar mediante descargas hidráulicas y el lavado de la grava se puede distanciar, por lo menos, hasta que concluya la época de lluvia.

Restricciones:

- Profundidades mayores de 1.5 m y anchos mayores de 5.0 m dificultan la limpieza de la unidad. En general, se recomiendan profundidades no mayores de 1.0 m y anchos máximos de 4.0 m. Estas recomendaciones restringen el uso de estas

unidades a caudales pequeños; la otra alternativa es considerar muchas unidades en paralelo.

- Turbiedades mayores de 300 UNT demandan unidades de 8 a 16 m de largo.

1.9.6.3 Filtros a presión

Los filtros a presión se utilizan a veces cuando es necesario mantener una carga de presión para evitar la necesidad de impulsar el agua al sistema mediante bombeo. El lecho de filtración se encierra en una carcasa cilíndrica. Pueden fabricarse filtros a presión pequeños, capaces de tratar hasta unos 15 m³/h, de plásticos reforzados con vidrio. Los filtros a presión más grandes, de hasta 4 m de diámetro, se hacen de acero con un recubrimiento especial. Su operación y funcionamiento son, por lo general, como los descritos para el filtro rápido por gravedad, y se necesitan instalaciones similares para descolmatar el filtro y retirar el lodo diluido.

1.9.6.4 Filtros lentos de arena

Los filtros lentos de arena son habitualmente depósitos que contienen arena (con partículas de tamaño efectivo de 0,15 a 0,3 mm) hasta una profundidad de 0,5 a 1,5 m. En estos filtros, en los que el agua bruta fluye hacia abajo, la turbidez y los microorganismos se eliminan principalmente en los primeros centímetros de la arena. Se forma una capa biológica, conocida como schmutzdecke, en la superficie del filtro, que puede eliminar eficazmente microorganismos. El agua tratada se recoge en sumideros o tuberías situados en la parte baja del filtro. Periódicamente, se retiran y sustituyen los primeros centímetros de arena que contienen los sólidos acumulados. El caudal unitario de agua a través de los filtros lentos de arena es de 0,1 a 0,3 m³/(m²h).

Los filtros lentos de arena sólo son adecuados para aguas de turbidez baja o aguas sometidas a filtración previa. Se utilizan para separar algas y microorganismos, incluidos los protozoos, y, precedidos de microtamizado (microstraining) o filtración gruesa, para

reducir la turbidez (incluidas las sustancias químicas adsorbidas). La filtración lenta en arena elimina eficazmente las sustancias orgánicas, incluidos algunos plaguicidas y el amoníaco.

Es el proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.

Su objetivo es la remoción de sólidos coloidales y suspendidos contenidos en el agua mediante su flujo a través de lechos porosos de partículas sólidas para realizar la adherencia y posterior evacuación de las partículas a remover.

Un filtro se satura a medida que su lecho se carga de materias retenidas resultando un efluente no aceptable por lo cual, se debe lavar con agua en contracorriente de filtración.

Para clarificar agua sin coagulación o sedimentación anterior, se puede aplicar la filtración lenta la velocidad en este método es bajo generalmente entre 1 m³ /día.

Para el tratamiento de agua potable, industrial y/o residual puede aplicarse filtración rápida, esta es posterior a un proceso de coagulación y floculación, también se utiliza después de una coagulación en línea y puede alcanzar desde 4 a 50 m³/día.

Para la filtración de lodos, existen filtros de vacío y filtros de presión. La mayoría de los sólidos no sedimentables que quedan, se pueden quitar mediante filtrado en un lecho de arena.

1.9.6.5 Método de Control

La tasa de filtración puede expresarse así:

$$Tasa\ de\ Filtración = \frac{Fuerza\ impulsora}{Resistencia\ del\ filtro}$$

1.9.7 DESINFECCIÓN

La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el cloro.

La desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal. La desinfección residual se utiliza como protección parcial contra la contaminación con concentraciones bajas de microorganismos y su proliferación en el sistema de distribución.

La desinfección química de un sistema de abastecimiento de agua de consumo que presenta contaminación fecal reducirá el riesgo general de enfermedades, pero no garantizará necesariamente la seguridad del suministro. La eficacia de la desinfección puede también ser insatisfactoria frente a patógenos presentes en flóculos o partículas que los protegen de la acción del desinfectante.

Una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro. Una estrategia general de gestión eficaz añade a la desinfección, para evitar o eliminar la contaminación microbiana, barreras múltiples, como la protección del agua de origen y operaciones de tratamiento adecuadas, así como la protección del agua durante su almacenamiento y distribución.

El uso de productos químicos desinfectantes en el tratamiento del agua genera habitualmente subproductos. No obstante, los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos son extremadamente pequeños en comparación con los asociados a una desinfección insuficiente, y es importante que el intento de controlar la concentración de estos subproductos no limite la eficacia de la desinfección.

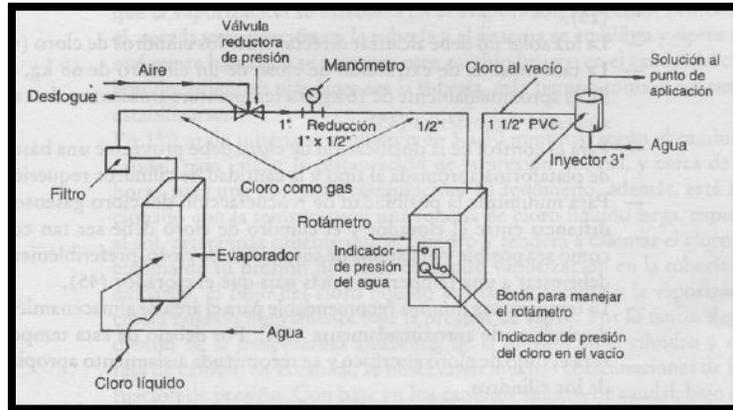
Puede medirse y controlarse fácilmente la concentración de algunos desinfectantes del agua de consumo, como el cloro, y se recomienda realizar análisis frecuentes si se practica la cloración del agua.

El proceso más utilizado para la desinfección del agua es la cloración porque se puede aplicar a grandes cantidades de agua y es relativamente barato. El cloro proporciona al agua sabor desagradable en concentraciones mayores de 0.2 ppm aunque elimina otros sabores y olores desagradables que le proporcionan diferentes materiales que se encuentran en el agua.

La cloración puede realizarse mediante gas cloro licuado, solución de hipoclorito sódico o gránulos de hipoclorito cálcico, y mediante generadores de cloro in situ. El gas cloro licuado se suministra comprimido en recipientes a presión. Un clorador extrae el gas del cilindro y lo añade al agua de forma dosificada, simultáneamente controlando y midiendo el caudal de gas. La solución de hipoclorito sódico se dosifica mediante una bomba dosificadora eléctrica de desplazamiento positivo o mediante un sistema de suministro por gravedad. El hipoclorito cálcico debe disolverse en una porción de agua y luego mezclarse con el caudal principal. El cloro, ya sea en forma de gas cloro de un cilindro, de hipoclorito sódico o de hipoclorito cálcico, se disuelve en el agua y forma ión hipoclorito (OCl^-) y ácido hipocloroso (HOCl).

La finalidad principal de la cloración es la desinfección microbiana. No obstante, el cloro actúa también como oxidante y puede eliminar o ayudar a eliminar algunas sustancias químicas; por ejemplo, puede descomponer los plaguicidas fácilmente oxidables, como el aldicarb; puede oxidar especies disueltas, como el manganeso (II), y formar productos insolubles que pueden eliminarse mediante una filtración posterior; y puede oxidar especies disueltas a formas más fáciles de eliminar (por ejemplo, el arsenito a arseniato).¹⁷

¹⁷ Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la calidad del agua potable. Volumen I. Tercera Edición. pp:159-162



*Fuente: ROMERO, J., 1999.

Figura 1-6 Esquema del sistema de dosificación de cloro

1.9.8 CONTROL FINAL

Antes de llegar al consumo, el agua es severamente controlada analizando muestras tomadas en distintos lugares del sistema.

Antes de llegar al consumo, el agua es severamente controlada analizando muestras tomadas en distintos lugares del sistema.

La calidad del agua suministrada en todas las localidades, por más pequeñas que estas sean, se controlan diariamente por mediciones de cloro residual en extremo de red, de turbiedad en las plantas de potabilización y exámenes bacteriológicos y fisicoquímicos periódicos con una cantidad de análisis mensuales acorde a los habitantes de cada localidad.

1.10 OPTIMIZACIÓN

Optimización es el proceso de mejorar algo, consiste en el tratamiento de las variaciones de un concepto inicial y usar la información obtenida para mejorar el mismo, para de esta manera lograr la integración de los procesos de tratamiento de agua con la rentabilidad

económica y lograr los requerimientos de calidad del agua potable, conforme a las normas de calidad NTE 1 108:2006.

La optimización de procesos es fundamental para garantizar el desempeño eficiente y eficaz de las plantas de proceso, y que por medio de simulación de procesos permiten representar, evaluar y proponer acciones de mejora de procesos y equipos.

Para la optimización de la Planta de tratamiento de la ciudad de Chambo se diseñará etapas que mejorarán el proceso en base al caudal con el que la planta se encuentra trabajando actualmente ya que no se piensa incrementar el caudal porque este es suficiente para abastecer a la población de Chambo 10 años más, las especificaciones de construcción deben garantizar una construcción económica pero durable, tomando en cuenta que los sistemas de tratamiento son usados por muchos años. También se dosificará PAC según el test de jarras realizado, el mismo que da las concentraciones óptimas de químico a utilizar para sedimentar los sólidos totales disueltos, se realizará la redistribución de la grava y un Programa de Mantenimiento de cada una de las etapas.

1.10.1 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 usado ampliamente; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. 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, como las recomendadas por Hudson.

1.10.1.1 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE JARRAS PARA EL TRATAMIENTO POR COAGULACIÓN



*Fuente: Autor

Figura 1-7 Equipo para realizar Prueba de Jarras

Las pruebas en jarras con coagulantes requieren un agitador de laboratorio de 6 plazas o aparato para la prueba en jarras, así como también seis vasos de 1 litro. El procedimiento para llevar a cabo la prueba es:

1. Colocar un vaso de 1 litro debajo de cada una de las paletas de agitación.
2. Colocar en cada vaso exactamente 1 litro medido con una probeta graduada, de una muestra fresca del agua cruda.
3. Anotar en la hoja de datos la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso. Esta cantidad variará de vaso a vaso.
4. Con cada pipeta, añadir el coagulante en cantidades crecientes en vasos sucesivos.
5. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min. a una velocidad de 60 a 80 rpm.
6. Reducir la velocidad a normalmente 30 rpm. aproximadamente y permitir que la agitación continúe durante unos 15 minutos. Se debe procurar que el grado y tiempo de agitación igualen las condiciones de operación de la planta de floculación.
7. Anotar cuánto tiempo transcurre antes de que se empiece a formar un flóculo.
8. Observar qué tan bien resiste éste, algo de agitación sin fragmentarse.

9. Una vez que transcurre el periodo de agitación, detener el agitador y anotar cuánto tiempo transcurre para que el flóculo se sedimente en el fondo del vaso.
10. Después de permitir que el flóculo se asiente durante 20 minutos, determinar el color y la turbiedad del sobrenadante (el líquido por encima de los flóculos).
11. En las hojas de registro se deben anotar las dosis, tiempo y velocidad de mezclado, pH, características de crecimiento de los flóculos y análisis del sobrenadante.
12. Después de permitir que el flóculo se asiente en el fondo durante 30 minutos, filtrar el sobrenadante a través de un papel filtro.
13. Determinar la turbiedad, pH, color y, si es necesario, el aluminio residual en el filtrado.
14. Determinar la dosis de coagulante que produjo la turbiedad más baja y el flóculo más resistente.
15. Dosificar la cantidad determinada de coagulante al agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento, realizando el aforo de solución de PAC, para determinar la cantidad en mililitros de PAC en minutos.

CAPÍTULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

El Sistema de Tratamiento se abastece actualmente del agua proveniente de los deshielos de Los Cubillínes, el sistema de conducción tiene alrededor de 15 años, principalmente en época de invierno se presenta turbidez, cabe recalcar que la turbidez está dentro de norma al momento de la distribución a los usuarios sin embargo se puede notar la presencia de sólidos suspendidos en el agua una vez que ha pasado por todo el proceso de potabilización, la presencia de fosfatos excede la norma, tanto a la entrada como en la distribución.

La determinación del estado actual de la planta se basó en las caracterizaciones físicas realizadas in situ y de las caracterizaciones químicas y microbiológicas realizadas en el laboratorio de la planta de tratamiento del agua que ingresa a la planta, del agua en el proceso de tratamiento tanto a la entrada y salida de cada etapa para de esta manera determinar la eficiencia de cada una de las etapas de la planta de Tratamiento de Agua Potable.

2.1 MUESTREO

2.1.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable se realizó en la ciudad de Chambo, ubicada en el sector El Mirador, provincia de Chimborazo, la cual recibe el agua proveniente de los deshielos de los Cubillínes.

2.1.2 MÉTODO DE RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Todos los datos que se han obtenido durante la ejecución del estudio, se los registra en cuadros diferentes para cada punto de muestreo, a fin de que se facilite el análisis comparativo de las caracterizaciones del agua en los diferentes procesos, la captación, el proceso de potabilización y en la distribución, con lo cual se determinó el estado actual de la planta para el posterior dimensionamiento y optimización del Sistema de Tratamiento de Agua Potable.

2.1.3 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

De acuerdo al cronograma acordado con la Laboratorista del Laboratorio de Control de Calidad de Agua Potable, la Ing. Mariana Rosero, se efectuó un muestreo manual, evitando que se alteren las características físico- químicas y microbiológicas, para ejecutar el análisis de las mismas en el Laboratorio de la Planta de Tratamiento, para lo cual se tomó una muestra de cada proceso, en la captación y potabilización, se realizó la toma de muestras en ocho días en diferentes épocas tanto en invierno como en verano, estas muestras fueron etiquetadas de la siguiente manera:

Tabla 2.1 Recolección de muestras

LUGAR DE MUESTREO	DÍAS DE MUESTREO	NÚMERO DE MUESTRAS DIARIAS	TOTAL DE MUESTRAS	DENOMINACIÓN
Captación	8	1	8	1C
Sedimentación	8	1	8	1S
Pre filtración	8	1	8	1P
Filtración	8	1	8	1F
Cloración	8	1	8	1C

--	--	--	--	--

*Fuente: Autor

2.1.4 PLAN DE TABULACIÓN Y ANÁLISIS

Para facilitar el análisis comparativo de los datos, y la determinación de la condición actual de la planta así como el dimensionamiento y la Optimización del Sistema de Tratamiento, todos los datos recolectados se los registrarán en cuadros diferentes para cada punto de muestreo.

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN

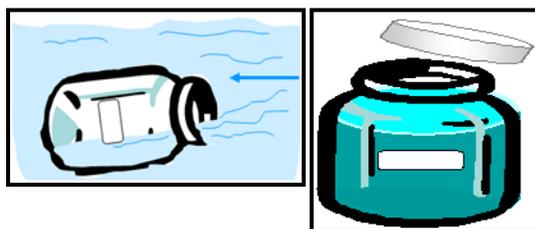
Se trabajó con muestras tomadas en ocho días de trabajo las mismas que son de diferentes épocas tanto en invierno como en verano, a las cuales se realizó la caracterización físico-química y microbiológica, que consta de 16 parámetros.

El proceso de diagnóstico inicial del sistema de tratamiento se basó en caracterizaciones físicas realizadas in situ de parámetros como la temperatura, pH, conductividad, turbiedad, sólidos totales disueltos, valores que fueron tomados por la mañana, las caracterizaciones químicas fueron realizadas en el laboratorio.

2.2.1.1 Pasos de las Técnicas de Muestreo

1. Lavar los frascos donde se va a tomar la muestra con detergente y agua caliente.
2. Enjuagar los frascos con agua caliente 3 veces.
3. Enjuagar por último con agua destilada.
4. Tomar las muestras de las estaciones menos contaminadas, para evitar contaminación cruzada.
5. En la toma de muestras de aguas profundas, realizarlo con Botella Kemmerer.
6. Tomar la muestra de 15 - 30 cm de profundidad.
7. Siempre en contra de la corriente.

8. Abrir el frasco sólo en el momento del muestreo.
9. Llenar los frascos hasta 2-3 cm antes de la tapa, para poder agitar la muestra.¹⁸



*Fuente: Standard Methods

Figura 2-1 Técnicas de Muestreo



*Fuente: Autor

Figura 2-2 Recolección de Muestras

¹⁸ Standard Methods: Consultado el 7 de Octubre del 2013, de:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/008378/008378-02.pdf>

2.2.2 TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se tomó 8 muestras en las diferentes épocas tanto invierno como verano en los diferentes puntos de muestreo, en las que se realizó la caracterización físico-química y microbiológica que consta de 16 parámetros especificados en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.1 Parámetros de Caracterización del Agua Potable

		NORMA INEN 1108: 2006
PARÁMETROS	UNIDAD	Agua Potable
		Lim. Max. Permisible
Características Físicas		
pH	-----	6,5-8,5
Temperatura	°C	25
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
Conductividad	µs/cm	1000
Turbiedad	NTU	5
Color	UTC	15
Inorgánicos		
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Nitratos, N-NO₃	mg/l	10
Fosfato, (P-PO₄)	mg/l	0,1
Nitritos, N-NO₂	mg/l	0
Sulfatos, SO₄	mg/l	200
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Fluoruro, F	mg/l	1,5
Nitrógeno Amoniacal, (N-NH₃)	mg/l	1
Microbiológicos		
Coliformes Totales	NMP/100 ml	< 2

Coliformes Fecales	NMP/100 ml	< 2
--------------------	------------	-----

* **Fuente:** Norma INEN 1 108:2006, Segunda Revisión.

2.2.3 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Cuadro 2.2 Equipos, Materiales y Reactivos

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> • Balanza Analítica • Baño María • Colorímetro • Conductímetro • Espectrofotómetro HACH • Estufa • Incubadora • pH-metro • Reverbero • Turbidímetro HACH 	<ul style="list-style-type: none"> • Buretas • Erlenmeyer • Film Protector • Peras • Pinzas • Pipetas • Probetas • Tubos de ensayo • Vasos de Precipitación • Balones Aforados 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivos HACH • Agua Destilada • Ampollas m-ColiBlue24®Broth • Ampollas m-Endo®Broth

***Fuente:** Autor

2.2.4 MÉTODOS

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



*Fuente: Autor

Cuadro 2.3 Métodos de Análisis

Figura 2-3 Métodos de Análisis

DETERMINACIÓN	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Color	Comparativo	Se toma una muestra en un recipiente del comparador y en el otro se coloca agua destilada, seguido se procede a la lectura.
Turbiedad	Nefelométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor obtenido.
pH	Potenciométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor obtenido.
Sólidos Totales Disueltos	Electrométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor obtenido.
Conductividad	Electrométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor obtenido.
Nitratos Nitritos Fosfatos Sulfatos Hierro	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra, colocar los reactivos indicados en el manual y registrar los resultados.
Fluoruro Manganeso Nitrógeno Amoniacal	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra, y 10 ml de agua destilada para el blanco, colocar los reactivos indicados en el manual y registrar los resultados obtenidos.
Coliformes Totales Coliformes Fecales	Sembrado	Se esteriliza el equipo microbiológico para la filtración, se toma 50 ml de muestra y se procede a filtrar, se vierte el reactivo y se siembra a la temperatura correspondiente.

*Fuente: Autor

2.2.5 AFORO

Para la determinación del caudal de entrada a la planta de tratamiento de agua potable, se realizó en los dos tubos que se encargan de llenar el agua en cada sedimentador, el aforo en estos tubos se hizo mediante el método volumétrico.



*Fuente: Autor

Figura 2-4 Aforo

Tabla 2.2 Datos de aforo mediante el método volumétrico

Volúmenes	V (lt)	T (s)	Q (lt/s)
Primer Tubo			
1	20	2,68	11,52
2		1,23	
3		1,3	
		T = 1,74	
Segundo Tubo			
4	20	11,86	1,74
5		11,07	
6		11,55	
		T = 11,49	
		ΣQ en cada sedimentador	13,26

ΣQ TOTAL en los 4 sedimentadores

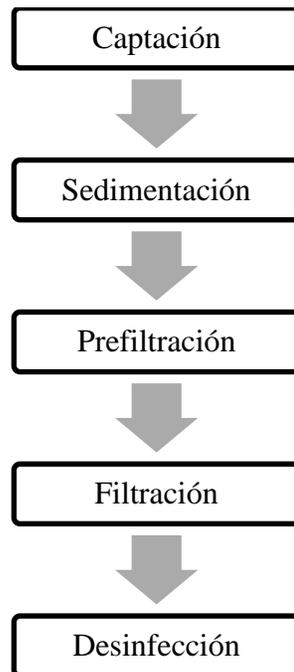
53

*Fuente: Autor

2.3 DATOS EXPERIMENTALES

2.3.1 DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA

El sistema de potabilización actual presenta las siguientes etapas:



Tales etapas se encuentran funcionando a su máxima capacidad, por lo que en época de invierno el caudal aumenta y cada una de las etapas se satura, disminuyendo su eficiencia, siendo la turbidez y los fosfatos los parámetros que más se elevan en esta época, después de haber recorrido por cada proceso de la planta con la Ingeniera a cargo del laboratorio, se pudo establecer las falencias de la planta.

2.3.1.1 Procesos existentes

La planta de tratamiento de agua potable tiene un área de 5200 m².

2.3.1.1.1 Captación

El agua llega a través de una sola línea por una tubería de hormigón simple.

2.3.1.1.2 Sedimentación

La sedimentación consta de 4 tanques adosados, son tanques rectangulares, los cuales trabajan a su máxima capacidad, produciéndose reboses a la salida en los vertederos existentes.

Tabla 2.3 Dimensiones de los Sedimentadores

Dimensiones	
Largo (m)	16,40
Ancho de cada tanque (m)	4,20
Profundidad (m)	2,20
Capacidad de cada tanque (m³)	151,54
Volumen de Lodos (m³)	58,55
Ancho Total (m)	17,81

*Fuente: Autor



* Fuente: Autor

Figura 2-5 Sedimentadores

- **Determinación de la Eficiencia de los Sedimentadores**

Tabla 2.4 Eficiencia en base a la turbidez

FECHA	TURBIDEZ EN LOS SEDIMENTADORES		EFICIENCIA (%)	E (%)
	ENTRADA	SALIDA		
13/08/2013	2,40	1,99	17,08	
14/08/2013	5,13	3,32	35,28	
15/08/2013	2,32	1,99	14,22	
15/10/2013	5,61	10	-78,25	
16/10/2013	2,67	3,49	-30,7	-1,57
17/10/2013	6,59	6,8	-3,19	
18/10/2013	2,48	2,39	3,50	
22/10/2013	1,72	1,48	13,95	
22/10/2013	1,72	1,48	13,95	

*Fuente: Autor

2.3.1.1.3 Prefiltración

La Prefiltración consta de 6 tanques formados por grava de diferente tamaño, cada uno de los prefiltros consta de 2 vertederos a la salida, se puede observar la presencia de algas y

lodos en esta etapa. Cada compartimiento tiene grava que va desde los 9 cm a 1 cm, la grava de diferente tamaño en cada compartimiento se encuentra mezclada, además esta no es simétrica.

Tabla 2.5 Dimensiones de Los Prefiltros

Dimensiones	
Ancho de cada prefiltro (m)	5,74
Ancho total de los 6 prefiltros (m)	34,42
Largo Total (m)	12,20
Largo del primero compartimiento (m)	3,06
Largo del segundo compartimiento (m)	3,02
Largo del tercero compartimiento (m)	1,52

*Fuente: Autor

- **Determinación de la Eficiencia de los Prefiltros**

Tabla 2.6 Eficiencia en base a la turbidez

FECHA	TURBIDEZ EN LOS PREFILTROS		EFICIENCIA (%)	E (%)
	ENTRADA	SALIDA		
	13/08/2013	1,99		
14/08/2013	3,32	1,80	45,78	
15/08/2013	1,99	1,42	28,64	
15/10/2013	10	6,91	31	
17/10/2013	5,89	4,62	21,56	
22/10/2013	1,54	1,97	-27,92	

*Fuente: Autor

Cuadro 2.4 Especificaciones de la Grava de los Prefiltros

ESPECIFICACIONES DE LA GRAVA	
Altura	1,85 m
Tamaño	9 cm
	3 cm
	1 cm

*Fuente: Autor



Fuente: Autor

Figura 2-6 Prefiltros

2.3.1.1.4 Filtración

Esta etapa consta de 5 tanques de filtración los mismos que están formados por arena y que funcionan de forma descendente. El agua que sale de los prefiltros ingresa a los prefiltros, pasando a través de capas de grava y arena. Esta etapa es la más eficiente de todo el proceso de tratamiento.

Tabla 2.7 Dimensiones de Los Filtros Lentos de Arena

Dimensiones	
Largo (m)	39,25
Ancho (m)	15

*Fuente: Autor

- **Determinación de la Eficiencia de los Filtros**

Tabla 2.8 Eficiencia en base a la turbidez

TURBIDEZ EN LOS FILTROS				E (%)
FECHA	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA (%)	
13/08/2013	1,26	0,92	26,98	27,50
14/08/2013	1,80	0,92	48,89	
15/08/2013	1,42	0,98	31	
15/10/2013	6,91	7,30	-5,64	
17/10/2013	4,62	3,68	20,35	
22/10/2013	1,97	1,11	43,45	

*Fuente: Autor

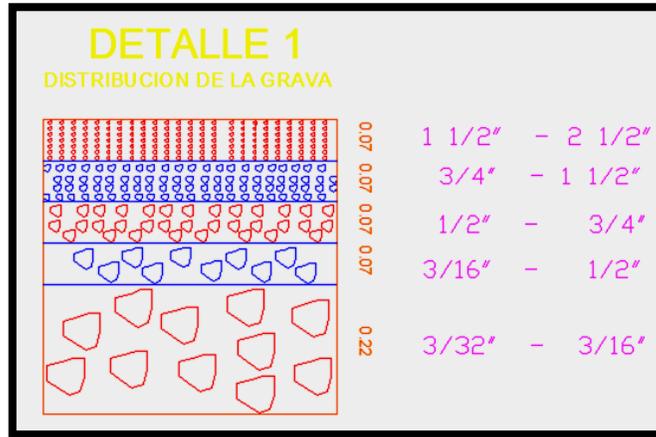
Cuadro 2.5 Especificaciones de la grava de los filtros

ESPECIFICACIONES DE LA GRAVA		
GRAVA		
UBICACIÓN	ALTURA	TAMANO
FONDO	22 cm	1 1/2" - 2 1/2"
PRIMERO	7 cm	3/4" - 1 1/2"
SEGUNDO	7 cm	1/2" - 3/4"
TERCERO	7 cm	3/16" - 1/2"
CUARTO	7 cm	3/22" - 3/16"
ARENA		

TAMANO EFECTIVO	0,20 - 0,30 mm
COEFICIENTE UNIF.	2,00 m
ALTURA	1,00 m

*Fuente: GAD

Chambo



*Fuente: GAD Chambo

Figura 2-7 Distribución de la Grava en los filtros lentos de Arena



*Fuente: Autor

Figura 2-8 Filtros

2.3.1.1.5 Desinfección

En la planta se dosifica cloro gas al agua. Después de que el agua atraviesa los filtros de arena se dosifica con cloro gas la cual es almacenada en tres tanques antes de ser distribuida a los usuarios. El tanque de cloro gas se encuentra en una caseta de 3,55 m de largo por

1,51 m de ancho. La cantidad óptima de cloro gas para ser dosificada se lo realiza mediante tablas dadas por los proveedores de este producto.



*Fuente: Autor

Figura 2-9 Desinfección

2.3.1.1.6 Distribución

Una vez que el agua ha pasado por todo el proceso de potabilización, ésta es reservada en tres tanques que tienen un volumen total de 800 m³, para así ser distribuida a todos los usuarios que habitan en la cabecera cantonal.



* **Fuente:** Autor

Figura 2-10 Tanques de distribución

2.3.2 DATOS

2.3.2.1 Caracterización del agua

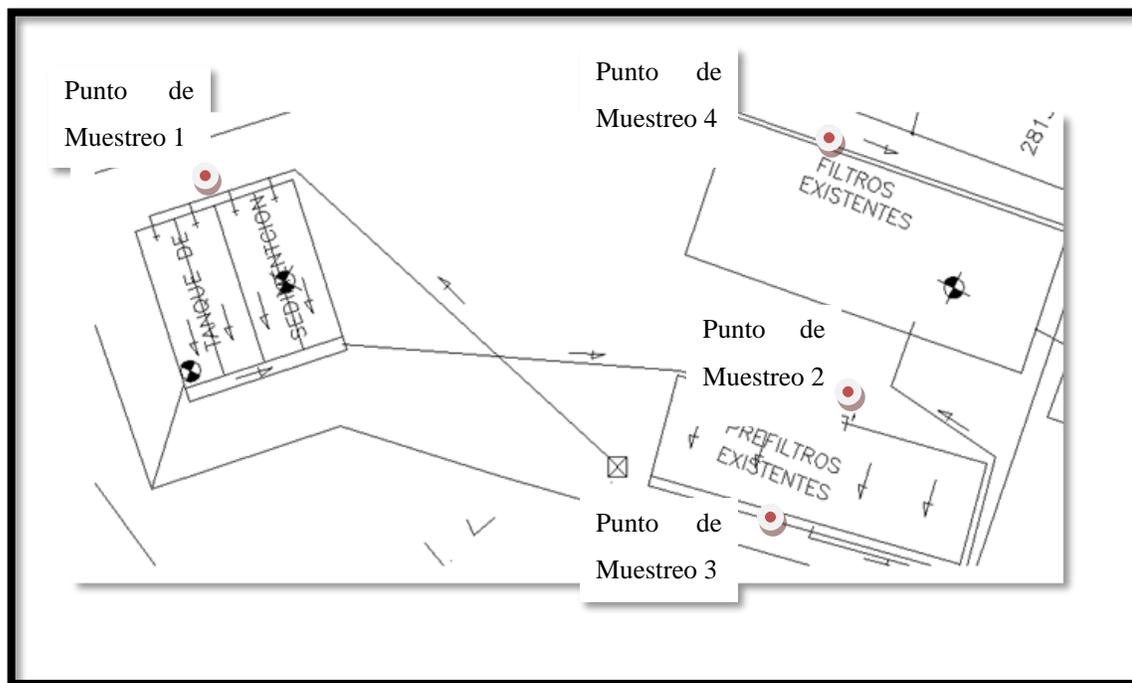
Para la caracterización del agua se tomó muestras de agua cruda tanto a la entrada y salida de cada etapa de la planta de tratamiento, durante ocho días en época de invierno y verano. Evidenciando con estos resultados los problemas de turbiedad y de fosfatos que se presentan en el proceso de captación, determinando de esta manera que la etapa de sedimentación es la menos eficiente.

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

Las mediciones de temperatura, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, turbiedad se los realizaron in situ, en tanto que los demás parámetros se los realizaron en el Laboratorio de Agua Potable de Chambo.

2.3.2.2 Esquema de los puntos de muestreo

Las mediciones in situ y la toma de muestras para su análisis en el laboratorio, se realizaron en la entrada de agua cruda a los tanques sedimentadores, a la entrada de los prefiltros y a la salida y en la salida de los filtros.



*Fuente: Autor

Figura 2-11 Esquema de los puntos de muestreo

2.3.2.2.1 Caracterizaciones físicas y químicas de los sedimentadores

Se realizó la caracterización Física y Química del Agua Cruda antes de que ingrese a los sedimentadores en días diferentes, se determinó que los mismos tienen una eficiencia muy baja por lo cual se procedió a realizar caracterizaciones físicas tanto en la entrada como en la salida de cada uno de los 4 sedimentadores.

Tabla 2.9 Caracterización Físico Química del Agua Cruda a la entrada de los Sedimentadores del 13,14 y 15 de Agosto y del 15 de Octubre del 2013

PARÁMETROS	UNIDAD	CHAMBO				NORMA INEN Límite
		13 Agosto (9:35)	14 Agosto (10:15)	15 Agosto (8:48)	15 Oct. (9:15)	
Ph	-----	7,49	7,67	7,98	7,52	6,5-8,5
Conductividad	µs/cm	127,8	103,6	111,2	91,6	1000
Temperatura	°C	11,8	10,4	10,6	11,4	25
Sólidos totales disueltos	mg/l	56,3	50	55,7	44	1000
Turbiedad	NTU	2,4	5,13	2,32	5,61	5
Color	UTC	5	5	5	5	15
Hierro, Fe	mg/l	0,20	0,55	0,19	0,45	0,3
Fosfato, (P-PO ₄)	mg/l	0,43	0,12	0,21	0,17	0,1
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	0,8	0	0,4	0,4	10
Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0	0	0	0,007	0
Sulfatos, SO ₄	mg/l	8	8	8	8	200
Manganeso, Mn	mg/l	0,011	0	0,003	0	0,1
Fluoruro, F	mg/l	0,13	0	0	0,04	1,5
Nitrógeno Amoniacal, (N-NH ₃)	mg/l	0	0,06	0	0,15	1

*Fuente: Laboratorio GAD Chambo - Autor

Tabla 2.10 Caracterización Física del Agua Cruda a la entrada y salida de cada uno de los 4 Sedimentadores del 16 y 22 de Octubre del 2013

N° Sediment.	Fecha	Hora	Temp. (°C)	Sólidos totales disueltos (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Color (UTC)	Conductividad	pH
ENTRADA								
1^{ero}	16Oct.	LIMPIEZA						
	22Oct.	09:41	10,2	64,7	1,85	5	135,8	7,73
2^{do}	16Oct.	09:37	10,7	54	2,84	5	113,2	7,48
	22Oct.	09:39	10,6	64,4	1,52	5	135,9	7,79
3^{ero}	16Oct.	09:35	10,7	54	2,67	5	113,3	7,50
	22Oct.	09:37	10,5	64,6	1,65	5	135,3	7,89
4^{to}	16Oct.	09:31	11,3	54,7	2,42	5	115	7,50
	22Oct.	09:32	11,1	67,1	1,84	5	142	7,81
NORMA INEN Límite			25	1000	5	15	1000	6,5-8,5
SALIDA								
1^{ero}	16Oct.	LIMPIEZA						
	22Oct.	09:54	10,5	64,5	1,63	5	135,1	7,64
2^{do}	16Oct.	09:25	10,8	52,7	3,05	5	110,6	7,47
	22Oct.	09:51	10,8	64,6	1,36	5	135,8	7,63
3^{ero}	16Oct.	09:22	11	52,4	3,49	5	110,5	7,35
	22Oct.	09:47	10,6	64,8	1,41	5	136,1	7,67

4 ^{to}	16Oct.	09:11	11,5	54,3	3,07	5	112,4	7,41
	22Oct.	09:43	10,9	64,7	1,50	5	135,8	7,69
NORMA INEN Limite			25	1000	5	15	1000	6,5-8,5

*Fuente: Laboratorio GAD Chambo - Autor

Tabla 2.11 Caracterización de la Turbiedad del Agua Cruda a la entrada y salida de cada uno de los 4 Sedimentadores del 17 y 18 de Octubre del 2013

N° Sediment.	Fecha	Hora	Turbiedad (NTU)
ENTRADA			
1 ^{ero}	17 Oct.	09:38	4,99
	18 Oct.	08:43	2,54
2 ^{do}	17 Oct.	LIMPIEZA	
	18 Oct.	08:49	2,38
3 ^{ero}	17 Oct.	09:42	5,89
	18 Oct.	08:50	2,53
4 ^{to}	17 Oct.	09:47	6,59
	18 Oct.	LIMPIEZA	
NORMA INEN Limite			5
SALIDA			
1 ^{ero}	17 Oct.	09:50	6,22
	18 Oct.	08:54	2,48
2 ^{do}	17 Oct.	LIMPIEZA	
	18 Oct.	09:01	2,23
3 ^{ero}	17 Oct.	09:53	5,67
	18 Oct.	09:05	2,47
4 ^{to}	17 Oct.	09:58	6,8

	18 Oct.	LIMPIEZA
NORMA INEN Limite		5

*Fuente: Laboratorio GAD Chambo - Autor

2.3.2.2.2 Caracterizaciones físicas y químicas de los prefiltros

Una vez que el agua sale de la etapa de sedimentación se procedió a realizar la caracterización física y química del agua tanto a la entrada y salida de los prefiltros en días diferentes, de igual manera para determinar la eficiencia de cada uno de los prefiltros se realizó la toma de muestras a la entrada y salida de cada uno de los 6 prefiltros, para realizar la caracterización física In Situ.

Tabla 2.12 Caracterización Físico Química del Agua Cruda a la Entrada de los Prefiltros del 13,14 y 15 de Agosto y del 15 de Octubre del 2013

PARÁMETROS	UNIDAD	CHAMBO				NORMA INEN Límite
		13 Agost. (9:45)	14 Agost. (10:30)	15 Agost. (8:56)	15 Oct. (9:30)	
pH	----	7,64	7,72	7,72	7,61	6,5-8,5
Conductividad	µs/cm	114,6	112,5	111,2	85,7	1000
Temperatura	°C	12,6	11,2	10,9	11,6	25
Sólidos totales disueltos	mg/l	55,5	52,2	53	40,6	1000
Turbiedad	NTU	1,99	3,32	1,99	10	5
Color	UTC	5	5	5	5	15
Hierro, Fe	mg/l	0,16	0,28	0,24	0,6	0,3
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	0,7	0,2	0,4	0,2	10
Fosfato, (P-PO ₄)	mg/l	0,49	0,14	0,11	0,19	0,1

Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0,001	0,002	0,001	0	0
Sulfatos, SO ₄	mg/l	9	9	9	8	200
Manganeso, Mn	mg/l	0,006	0	0,005	0,006	0,1
Fluoruro, F	mg/l	0,15	0,27	0	0	1,5
Nitrógeno Amoniacal, (N-NH ₃)	mg/l	0	0,01	0	0,18	1

*Fuente: Laboratorio GAD Chambo – Autor

Tabla 2.13 Caracterización Físico Química del Agua a la salida de los prefiltros del 13,14 y 15 de Agosto y del 15 de Octubre del 2013

PARÁMETROS	UNIDAD	CHAMBO				NORMA INEN Límite
		13 Agost. (9:52)	14 Agost. (10:35)	15 Agost. (9:03)	15 Oct. (9:43)	
pH	-----	7,52	7,72	7,77	7,56	6,5-8,5
Conductividad	µs/cm	115,7	117,5	110,5	80,7	1000
Temperatura	°C	12,5	11,9	10,8	11,7	25
Sólidos totales disueltos	mg/l	54,7	55,9	52,5	38	1000
Turbiedad	NTU	1,26	1,80	1,42	6,91	5
Color	UTC	5	5	5	5	15
Hierro, Fe	mg/l	0,12	0,18	0,15	0,35	0,3
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	0,1	0,1	0,2	0,1	10
Fosfato, (P-PO ₄)	mg/l	0,21	0,28	0,27	0,44	0,1
Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0,001	0	0	0	0
Sulfatos, SO ₄	mg/l	8	9	8	8	200
Manganeso, Mn	mg/l	0	0	0	0,009	0,1
Fluoruro, F	mg/l	0,07	0	0	0	1,5

Nitrógeno Amoniacal, (N- NH ₃)	mg/l	0,28	0	0	0,20	1
--------------------------------------------------	------	------	---	---	------	----------

*Fuente: Laboratorio GAD Chambo – Autor

Tabla 2.14 Caracterización Física del Agua Cruda a la entrada y salida de cada uno de los 6 Prefiltros de 16 y 22 de Octubre del 2013

N° Pre Filtros	Fecha	Hora	Temp. (°C)	Sólidos totales disueltos (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Color (UTC)	Conductividad	pH
ENTRADA								
1^{ero}	16Oct.	10:02	11,5	53,1	3,18	5	111,5	7,51
	22-Oct	10:41	11	63	1,53	5	134,9	7,76
2^{do}	16Oct.	10:00	11,4	53,2	2,57	5	112,3	7,51
	22-Oct	10:48	10,8	64,4	1,55	5	134,6	7,72
3^{ero}	16Oct.	09:57	11,4	53,1	2,37	5	112	7,51
	22-Oct	10:51	10,6	64,4	1,54	5	135,4	7,69
4^{to}	16Oct.	09:54	11,2	53,1	3,03	5	112,2	7,52
5^{to}	16Oct.	09:51	11,4	53,3	2,64	5	111,9	7,52
6^{to}	16Oct.	09:47	12	52,9	2,41	5	111,7	7,52
NORMA INEN Limite			25	1000	5	15	1000	6,5-8,5
SALIDA								
1^{ero}	22-Oct	10:56	10,8	64,2	2,34	5	134,5	7,63
2^{do}	22-Oct	10:58	10,9	64,2	1,93	5	134,8	7,64
3^{ero}	22-Oct	11:00	10,8	64,1	1,64	5	134,8	7,62
NORMA INEN Limite			25	1000	5	15	1000	6,5-8,5

*Fuente: Laboratorio GAD Chambo - Autor

2.3.2.2.3 Caracterizaciones físicas y química de los filtros

Se realizó la caracterización Físico Química del agua en la red principal una vez que el agua atraviesa por los filtros de arena, antes de que la misma sea clorada, también se realizó la caracterización física in situ de la salida de agua de cada uno de los 5 filtros sin ser clorada, esto se realizó en días diferentes.

En los tanques de reserva de igual manera se hizo la caracterización Física in situ, y la Caracterización Química y Microbiológica del agua en las Instalaciones del Laboratorio de Agua Potable de Chambo.

Tabla 2.15 Caracterización Físico Química del Agua la la salida de los filtros, antes de la adición de cloro del 13,14 y 15 de Agosto y del 15 de Octubre del 2013

PARÁMETROS	UNIDAD	CHAMBO				NORMA INEN Límite
		13 Agost. (10:00)	14 Agost. (10:45)	15 Agost. (9:10)	15 Oct. (9:52)	
pH	-----	7,58	7,71	7,77	7,44	6,5-8,5
Conductividad	µs/cm	114,2	112,5	108,5	80,4	1000
Temperatura	°C	12,7	12	11,1	11,8	25
Sólidos totales disueltos	mg/l	54,3	53,9	51,6	38	1000
Turbiedad	NTU	0,92	0,92	0,98	7,30	5
Color	UTC	5	5	5	5	15
Hierro, Fe	mg/l	0,09	0,09	0,14	0,5	0,3
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	0,2	0,2	0,6	0,1	10
Fosfato, (P-PO ₄)	mg/l	0,21	0,23	0,24	0,16	0,1
Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0	0	0	0	0

Sulfatos, SO ₄	mg/l	8	8	8	8	200
Manganeso, Mn	mg/l	0	0	0,011	0,009	0,1
Fluoruro, F	mg/l	0,18	0	0	0	1,5
Nitrógeno Amoniacal, (N-NH ₃)	mg/l	0,18	0	0	0,25	1

* Fuente: Laboratorio GAD Chambo - Autor

Tabla 2.16 Caracterización Física del Agua A la salida de cada uno de los 5 filtros, antes de la Cloración del 16 y 22 de Octubre del 2013

N° Filtros	Fecha	Hora	Temp. (°C)	Sólidos totales disueltos (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Color (UTC)	Conductividad	pH
1 ^{ero}	16 Oct.	11:09	11,5	52,7	1,89	5	111	7,69
	22 Oct.	11:28	11,1	63,9	1,50	5	134,8	7,63
2 ^{do}	16 Oct.	11:06	11,8	52,2	1,95	5	109,8	7,69
	22 Oct.	11:26	11,5	64	1,47	5	133,9	7,62
3 ^{ero}	16 Oct.	10:59	12,1	52	2,32	5	108,9	7,71
	22 Oct.	11:19	11,6	63,7	1,36	5	133,9	7,65
4 ^{to}	16 Oct.	10:54	12,2	47,50	1,73	5	100,3	7,85
	22 Oct.	11:14	12,1	57,7	0,73	5	121,4	7,63
5 ^{to}	16 Oct.	10:48	12,7	49,6	1,84	5	104,1	7,74
	22 Oct.	11:10	12,5	54	0,51	5	113,6	7,67
NORMA INEN Limite			25	1000	5	15	1000	6,5-8,5

*Fuente: Laboratorio GAD Chambo - Autor

Tabla 2.17 Caracterización Físico-Química y Microbiológica del Agua Potable en la Red de Distribución a los Usuarios, después del Proceso de Potabilización del 15 de Agosto del 2013

PARÁMETROS	UNIDAD	CHAMBO		NORMA INEN Límite
		15/08/2013	15/08/2013	
		Tanque distribuidor verde (9:23 am)	Tanque Cuadrado (9:43 am)	
pH	-----	7,69	7,71	6,5-8,5
Conductividad	µs/cm	108,8	111,9	1000
Temperatura	°C	11,6	12	25
Sólidos totales disueltos	mg/l	51,3	53,4	1000
Turbiedad	NTU	0,91	0,89	5
Color	UTC	5	5	15
Hierro, Fe	mg/l	0,13	0,10	0,3
Nitratos, N-NO₃	mg/l	0,6	0,1	10
Fosfato, (P-PO₄)	mg/l	0,27	0,27	0,1
Nitritos, N-NO₂	mg/l	0,001	0,001	0
Sulfatos, SO₄	mg/l	8	8	200
Manganeso, Mn	mg/l	0	0	0,1

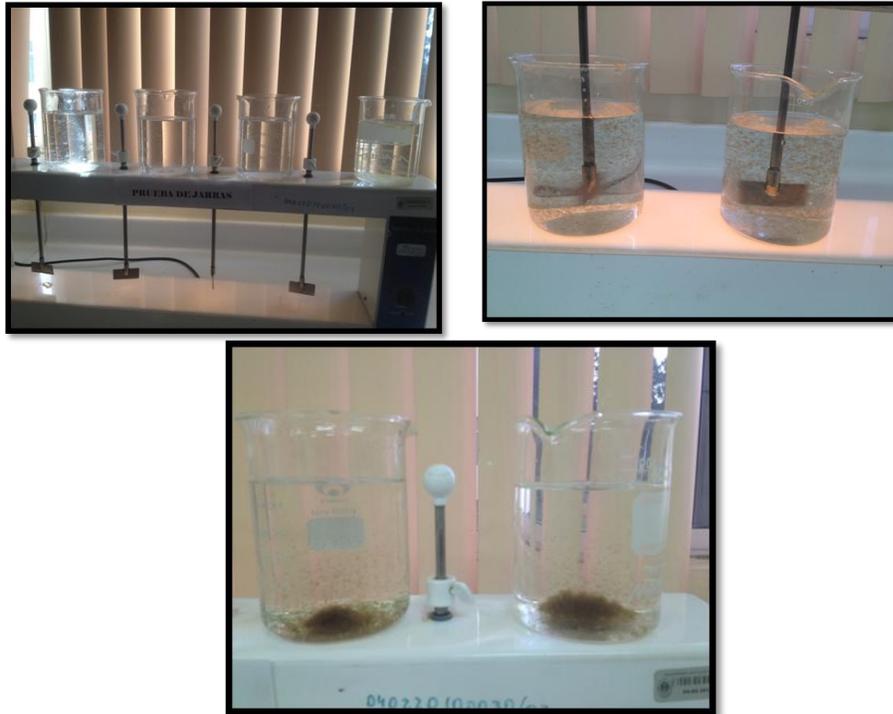
Fluoruro, F	mg/l	0	0	1,5
Nitrógeno Amoniacal, (N-NH₃)	mg/l	0,02	0,04	1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	< 1*	< 1*	< 2*
Coliformes Totales	NMP/100 mL	< 1*	< 1*	< 2*

*Fuente: Laboratorio GAD Chambo - Autor

2.3.2.2.4 Prueba de Jarras para la Turbiedad

La prueba de Jarras se realizó en el laboratorio de Control de Calidad de la Universidad Nacional de Chimborazo UNACH. Para realizar las pruebas de jarras utilizamos Policloruro de Aluminio, para la ejecución de las pruebas con el test de jarras se inició con turbiedad de 2,43 hasta una turbiedad de 10,56 NTU. Se hizo pruebas con distintos volúmenes de la solución de PAC al 1 % teniendo en cuenta que la dosis máxima de PAC para agua potable es de 30 mg/l.

Para la dosificación se realizó soluciones de Policloruro de distintas concentraciones que van desde 2 ppm hasta 100 ppm, su aplicación se realizó con distintos volúmenes y controlando que las variables de turbiedad, pH y color, se mantengan dentro de las especificaciones de la norma.



* Fuente: Autor

Figura 2-12 Prueba de Jarras

CAPÍTULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se realizará cálculos analíticos de cada aspecto que involucra las alternativas de mejora, estos son:

- Mezcla Rápida en Vertederos Rectangulares
- Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal
- Cálculo de la Dosificación de PAC

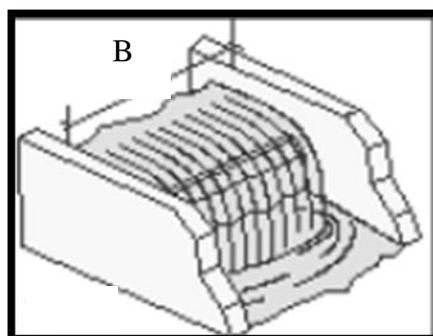
3.1 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El proceso de optimización del Sistema de Tratamiento de Agua Potable de la Ciudad de Chambo, de acuerdo al diagnóstico actual del estado de la planta a través de caracterizaciones físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda al ingreso a la planta, del agua a la entrada y salida de cada etapa, y del agua tratada, así como la revisión del estado de la infraestructura y procesos de la planta; la Optimización implicará el desarrollo de procesos de mejora encaminadas a lograr el funcionamiento óptimo del Sistema de Tratamiento, esta opción de mejora, considerará el dimensionamiento de un mezclador hidráulico en vertedero rectangular, de dos flocladores hidráulicos y la dosificación correcta de PAC, en base al caudal actual con el que se encuentra trabajando la planta, también se procederá a la ejecución de un Programa de Mantenimiento de la Planta en su conjunto relacionado con cambio y redistribución de materiales.

3.1.1 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN

3.1.1.1 Mezcla Rápida en Vertederos Rectangulares

Para el diseño de un mezclador en vertedero Rectangular se procederá a hacer los cálculos correspondientes para el dimensionamiento del mismo, teniendo en cuenta que el tiempo de retención puede variar de décimas de segundos a siete segundos, dependiendo de la concentración de los coloides en el agua por tratar, y que el número de Froude para que haya resalto estable y mezcla eficiente, debe estar comprendido entre 4,5 y 9,0.



* Fuente: ROMERO, J., 1999

Figura 3-1 Vertedero rectangular

3.1.1.1.1 Determinación de la Profundidad Crítica de flujo

Mediante la Ecuación 1.4, tenemos que:

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

Datos:

Q: 0,053 m³/s

B: 0,40 m (autor)

$$q = \frac{0,053}{0,40}$$

$$q = 0,133 \text{ m}^2/\text{s}$$

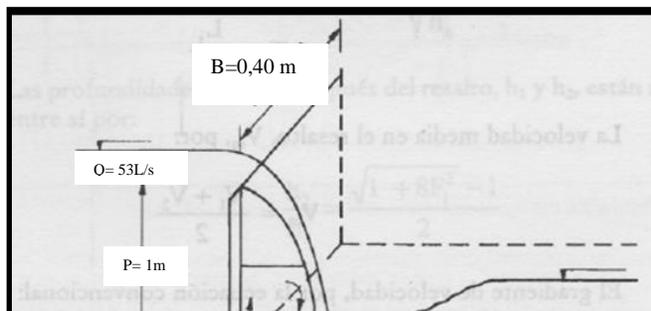
La profundidad crítica de flujo, h_c , se calcula con la Ecuación 1.3:

$$h_c = \frac{q^2}{g}^{1/3}$$

$$h_c = \frac{0,133^2}{9,8}^{1/3}$$

$$h_c = 0,122 \text{ m}$$

3.1.1.1.2 Determinación de la distancia L_m



*Fuente: Autor

Figura 3-2 Dimensiones del Mezclador en Vertedero Rectangular

Para el cálculo de la distancia L_m , se utiliza la Ecuación 1.2:

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

Datos:

P: 1 m (autor)

$$L_m = 4,3(1)^{0,1}(0,122)^{0,9}$$

$$\mathbf{L_m = 0,646 m}$$

3.1.1.1.3 Determinación de la Profundidad del agua en la sección 1

La Profundidad del agua en la sección 1 está dada por la Ecuación 1.5:

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

$$h_1 = \frac{\sqrt{2 * (0,122)}}{1,06 + \frac{1}{0,122} + 1,5}$$

$$\mathbf{h_1 = 0,041 \text{ m}}$$

3.1.1.1.4 Determinación de la Profundidad del agua en la sección 2

Para el cálculo de la velocidad V_1 , se lo realiza con la Ecuación 1.8:

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

$$V_1 = \frac{0,133}{0,041}$$

$$\mathbf{V_1 = 3,244 \text{ m/s}}$$

Para realizar el cálculo del Número de Froud, utilizamos la Ecuación 1.7:

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

$$F_1 = \frac{3,244}{\sqrt{9,8 * 0,041}}$$

$$\mathbf{F_1 = 5,118}$$

La profundidad después del resalto, h_2 , se calcula con la Ecuación 1.6:

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

$$h_2 = \frac{0,041}{2} * \frac{\sqrt{1 + 8(5,118)^2} - 1}{2}$$

$$\mathbf{h_2 = 0,277 \text{ m}}$$

3.1.1.1.5 Determinación de la Pérdida de Energía en el resalto h

Se utiliza la ecuación 1.9 para realizar el Cálculo de la velocidad V_2 :

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$
$$V_2 = \frac{0,133}{0,277}$$
$$\mathbf{V_2 = 0,48 \text{ m/s}}$$

Con la Ecuación 1.10 se realiza el cálculo del valor de la pérdida de energía en el resalto, h :

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$
$$h = \frac{(0,277 - 0,041)^3}{4(0,041 * 0,277)}$$
$$\mathbf{h = 0,289 \text{ m}}$$

3.1.1.1.6 Determinación de la Longitud del resalto L_j

Para determinar la longitud del resalto, L_j , se utiliza la Ecuación 1.11:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$
$$L_j = 6(0,277 - 0,041)$$
$$\mathbf{L_j = 1,416 \text{ m}}$$

3.1.1.1.7 Determinación del Tiempo de Mezcla

Mediante la Ecuación 1.13 se determina la velocidad media en el resalto, V_m :

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$
$$V_m = \frac{3,244 + 0,48}{2}$$

$$V_m = 1,86 \text{ m/s}$$

Con lo que indica la Ecuación 1.12 se determina el tiempo de mezcla T:

$$T = \frac{L_j}{V_m}$$
$$T = \frac{1,416}{1,86}$$
$$T = 0,76 \text{ s}$$

3.1.1.1.8 Determinación del Gradiente de Velocidad

Finalmente para el cálculo del gradiente de velocidad, se determina por la Ecuación 1.14 convencional:

$$G = \frac{\gamma h}{\mu T}$$

Datos:

$$\gamma = 9810 \text{ N/m}^3 \text{ a } 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu = 1,30 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2 \text{ a } 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$G = \frac{9810 * 0,289}{1,30 \times 10^{-3} * 0,76}$$

$$G = 1693,97 \text{ s}^{-1}$$

Con el uso de esta relación se determina si el Vertedero puede ser utilizado como aforador

$$\frac{P}{h_c} > 3$$

$$\frac{1}{0,122} = 8,20 > 3 \text{ SI PUEDE SER USADO COMO AFORADOR}$$

3.1.1.2 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal

Se diseñará dos unidades de floculación de tal manera que la planta siga trabajando normalmente cuando se realice la limpieza y mantenimiento de cada unidad, por lo que el caudal de diseño para cada unidad de floculación será la mitad del caudal con el que trabaja la planta, los resultados obtenidos son para cada unidad de floculación, la altura mínima en floculadores de flujo horizontal debe ser igual a 0,90 m.

Datos:

Tabla 3.1 Parámetros de diseño

Parámetro	Valor
Caudal (Q)	0,027 m ³ /s
Velocidad (v)	0,10 m/s
Tiempo de Mezcla	15 min

*Fuente: Autor

3.1.1.2.1 Determinación del Volumen de Agua a mezclar

Para un período de mezcla de 15 minutos y una velocidad de flujo de 0,10 m/s, la distancia total recorrida por el agua utilizando la Ecuación 1.18 debe ser:

$$L = v * t$$

$$L = 0,10 * 15 * 60$$

$$L = 90 \text{ m}$$

El volumen de agua a mezclar en cada período de 15 minutos según la Ecuación 1.19 es:

$$V = Qt$$

$$V = 0,027 * 15 * 60$$

$$V = 24,3 \text{ m}^3$$

3.1.1.2.2 Determinación de la Profundidad Total del Agua

El área transversal requerida de un canal entre baffles según la Ecuación 1.20 y la Ecuación 1.21, respectivamente es:

$$a = \frac{V}{L}$$
$$a = \frac{24,3}{90}$$
$$a = 0,27 \text{ m}^2$$

$$a = \frac{Q}{v}$$
$$a = \frac{0,027}{0,1}$$
$$a = 0,27 \text{ m}^2$$

Por la distancia recomendada entre baffles de 0,45 m, la profundidad del agua utilizando la Ecuación 1.22 sería:

$$d = \frac{a}{s}$$
$$d = \frac{0,27}{0,45}$$
$$d = 0,6 \text{ m}$$

Como $d < 0,90$ m, se adopta una separación entre baffles de 0,30 m con la cuál:

$$d = \frac{a}{s}$$
$$d = \frac{0,27}{0,30}$$
$$d = 0,9 \text{ m}$$

Con un borde libre de 0,30 m, la profundidad total del tanque será:

$$P = d + 0,30$$

$$P = 0,9 + 0,3$$

$$P = \mathbf{1,20\ m}$$

3.1.1.2.3 Determinación de la Longitud efectiva de cada canal

El espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque, calculando con la Ecuación 1.23, tenemos que el espacio libre entre los tabiques y la pared será:

$$e = 1,5 * s$$

$$e = 1,5 * 0,30$$

$$e = \mathbf{0,45\ m}$$

Se adopta un espacio libre de $e = \mathbf{0,50\ m}$

Para un ancho útil de la cámara de floculación de 3m, la longitud efectiva de cada canal según la Ecuación 1.24 será:

$$l = ancho - e$$

$$l = 3 - 0,50$$

$$l = \mathbf{2,50\ m}$$

3.1.1.2.4 Determinación del número de canales

Por lo tanto, el número requerido de canales con el uso de la Ecuación 1.25, es igual a:

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

$$N = \frac{90}{2,50}$$

$$N = \mathbf{36}$$

3.1.1.2.5 Determinación de la Longitud total interior de la cámara de floculación

Suponiendo un espesor de cada tabique de cemento de 3 cm, la longitud total interior de la cámara de floculación será:

$$L = 36 * 0,30 + 35 * 0,03$$

$$\mathbf{L = 11,85 m}$$

3.1.1.2.6 Determinación de la pérdida de carga total

Con el uso de la Ecuación 1.26, se calculará la pérdida por fricción en el tanque:

$$h_f = \frac{nv^2L}{R^4_3}$$

Datos:

$$n = 0,013$$

$$h_f = \frac{0,013 * 0,1^2 * 36 * 2,50}{\frac{0,30^4}{2,45}}$$

$$\mathbf{h_f = 0,00250 m}$$

La pérdida adicional utilizando la Ecuación 1.15 es igual a:

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

$$h = \frac{3 * 36 - 1 * 0,1^2}{2 * 9,8}$$

$$\mathbf{h = 0,054 m}$$

La pérdida de carga total se obtiene con la Ecuación 1.16:

$$H = h + h_f$$

$$H = 0,054 + 0,00250$$

$$\mathbf{H = 0,056 m}$$

3.1.1.2.7 Determinación del Gradiente de Velocidad

Por medio de la Ecuación 1.17 calculamos el gradiente de velocidad para una temperatura de 15 °C:

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

Datos:

μ : $1,13 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ a 15 °C

g : $9,8 \text{ m/s}^2$ a 15 °C

$$G = \frac{9,8 * 0,056}{1,139 \times 10^{-6} * 15 * 60}$$

$$\mathbf{G = 23,14 s^{-1}}$$

El número adimensional de Camp:

$$G * t = 23,14 * 15 * 60$$

$$\mathbf{G * t = 20824,11}$$

3.1.1.3 Cálculo de la Dosificación de PAC

Mediante una relación se calcula el aforo de solución de PAC para los 53 l/s con los que trabaja la planta actualmente, además indica si se realiza una dilución o no del químico.

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

(Ecuación 3.1)

DONDE:

Q = Caudal (m^3/h)

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

$\%P$ = Porcentaje de dilución

ρ = Densidad del PAC (Kg/L)

DATOS:

Q = 190,8 m^3/h

C = 20 ppm

$\%P$ = 1

ρ = 1.24 Kg/L

$$x = \frac{190,8 * 20}{60 * 1 * 1.24}$$

$$x = 51,29 \text{ ml/min}$$

➤ Cantidad de PAC a utilizar por día:

$$x = \frac{51,29 * 60 * 24}{1000}$$

$$x = 73,86 \text{ L/día}$$

3.1.2 RESULTADOS

3.1.2.1 RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN

Tabla 3.2 Resultados del diseño del Mezclador en Vertederos Rectangulares

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal por unidad de ancho del vertedero	q	0,133	m^2/s

Profundidad Crítica	h_c	0,122	m
Distancia	L_m	0,646	m
Profundidad del agua en la sección 1	h_1	0,041	m
Velocidad en la sección 1	V_1	3,244	m/s
Número de Froude	F_1	5,118	
Profundidad del agua en la sección 2	h_2	0,277	m
Velocidad en la sección 2	V_2	0,48	m/s
Pérdida de energía en el resalto	h	0,289	m
Longitud del resalto	L_j	1,416	m
Velocidad Media	V_m	1,86	m/s
Tiempo de mezcla	T	0,76	s
Gradiente de velocidad	G	1693,97	s^{-1}

*Fuente: Autor

Tabla 3.3 Resultados del diseño del Floculador Hidráulico de flujo horizontal

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Distancia total recorrida por el agua	L	90	m
Volumen de agua a mezclar	V	24,3	m^3
Área transversal	a	0,27	m^2

Profundidad del agua	d	0,9	m
Profundidad total del tanque	P	1,20	m
Número requerido de canales	N	36	---
Longitud total interior de la cámara de floculación	L	11,85	m
Pérdida por fricción en el tanque	h_f	0,00250	m
Pérdida adicional	h	0,054	m
Pérdida total	H	0,056	m
Gradiente de velocidad	G	23,14	s^{-1}
Número adimensional de Camp	Gt	20824,11	---

*Fuente: Autor

3.1.2.2 Resultados de las pruebas de jarras

Los resultados de la prueba de jarras realizadas a distintas turbiedades, se presentan a continuación:

Tabla 3.4 Prueba de Jarras Turbiedad 2,43

Concentración de PAC	Volumen PAC (ml)	Turbiedad (NTU)
----------------------	------------------	-----------------

(ppm)		
2	0,1	4,90
4	0,2	15,60
20	1	1,3
25	1,25	0,91

*Fuente: Autor

Tabla 3.5 Prueba de Jarras Turbiedad 2,61

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Turbiedad (NTU)
10	0,5	1,40
20	1	0,80
40	2	0,90
80	4	1,3

*Fuente: Autor

Tabla 3.6 Prueba de Jarras Turbiedad 6,65

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Turbiedad (NTU)
2	0,1	6
4	0,2	5,8
6	0,3	5
30	1,5	1,5

*Fuente: Autor

Tabla 3.7 Prueba de Jarras Turbiedad 10,56

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Turbiedad (NTU)
40	2	1,8

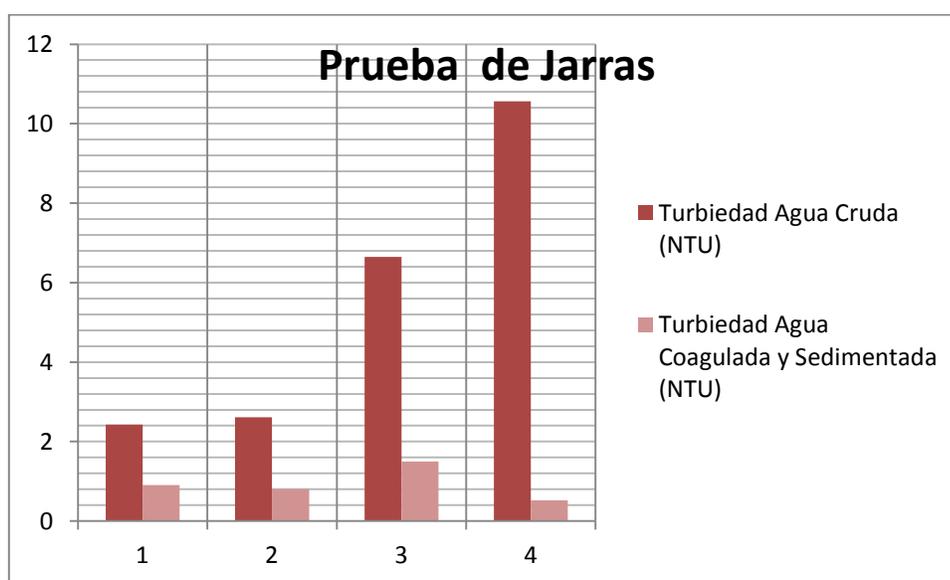
50	2,5	1,5
60	3	1,11
100	5	0,52

*Fuente: Autor

Tabla 3.8 Resultados de la Prueba de Jarras

Turbiedad Agua Cruda (NTU)	Turbiedad Agua Coagulada y sedimentada (NTU)	Concentración PAC (ppm)	Eficiencia (%)	%E
2,43	0,91	25	62,55	76,11
2,61	0,8	20	69,35	
6,65	1,5	30	77,44	
10,56	0,52	100	95,08	

*Fuente: Autor



*Fuente: Autor

Figura 3-3 Resultados de la prueba de jarras

3.1.2.2.1 Caracterización Físico-Química y Microbiológica del Agua Coagulada y Sedimentada

Tabla 3.9 Caracterización del Agua Coagulada

PARÁMETROS	UNIDAD	Agua Coagulada y Sedimentada	NORMA INEN Límite
pH	-----	7,69	6,5-8,5
Conductividad	µs/cm	105	1000
Temperatura	°C	11,3	25
Sólidos totales disueltos	mg/l	53	1000
Turbiedad	NTU	0,91	5
Color	UTC	5	15
Hierro, Fe	mg/l	0,13	0,3
Nitratos, N-NO₃	mg/l	0,6	10
Fosfato, (P-PO₄)	mg/l	0,12	0,1
Nitritos, N-NO₂	mg/l	0	0
Sulfatos, SO₄	mg/l	8	200
Manganeso, Mn	mg/l	0	0,1
Fluoruro, F	mg/l	0	1,5
Nitrógeno Amoniacal, (N-NH₃)	mg/l	0,02	1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	< 1*	< 2*
Coliformes Totales	NMP/100 mL	< 1*	< 2*

*Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la UNACH

3.1.2.2.2 *Comparación de la Eficiencia del agua sedimentada con la eficiencia que tendrá el agua coagulada y sedimentada*

Tabla 3.10 Comparación de Eficiencias

Promedio de la Eficiencia del agua Sedimentada (%)	Promedio de la Eficiencia del Agua Coagulada y Sedimentada (%)	Aumento de la Eficiencia (%)
-1,57	76,11	77,68

*Fuente: Autor

3.1.2.3 Requerimiento presupuestario

3.1.2.3.1 *Costos de procesos de potabilización son:*

Tabla 3.11 Costos de los Procesos de Potabilización

Procesos	Costo (USD)	Material	Tiempo de Construcción (días)	Incluye
Mezclador en Vertederos Rectangulares		Hormigón para muros, hormigón de 240 kg/cm ² .	1	El costo incluye Materia Prima, Mano de Obra, Equipo y Maquinaria.
Floculador Hidráulico de flujo horizontal	14341,81	Encofrado	15	
Bomba Dosificadora	1500			

*Fuente: Autor

3.1.2.3.2 Costos del PAC al día

Tabla 3.12 Aforo de solución de PAC y costo diario en época de invierno

TEST DE JARRAS (ppm)	AFORO DE LA SOLUCIÓN DE PAC (ml/min)	CANTIDAD DE PAC A UTILIZAR (l/día)	PRECIO DE QUÍMICO POR DÍA (USD)
10	25,65	36,94	38,79
15	35,47	51,08	53,63
20	51,29	73,86	77,55
25	64,11	92,32	96,94
30	76,94	110,79	116,33

*Fuente: Autor

3.1.2.3.3 Costo del PAC al año en época de invierno

Tabla 3.13 Costo del PAC al año en época de invierno

Meses de Invierno	Costo al AÑO (USD)
Enero	
Febrero	
Marzo	6982,2
Octubre	
Noviembre	
Diciembre	

*Fuente: Autor

3.1.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA CIUDAD DE CHAMBO

3.1.3.1 Descripción técnica

Como se describió anteriormente, el Sistema de Tratamiento de Agua Potable, debido a la falta de un adecuado mantenimiento y control de la misma, ha provocado que cada etapa tenga una menor eficiencia debido a que se encuentra colapsada debido a un aumento en el caudal diseño, por lo que sus unidades de trabajo no operan con normalidad, además existe falta de limpieza de cada una de las etapas.

3.1.3.2 Mantenimiento

Los objetivos de mantenimiento de la planta en su conjunto son: la identificación de los procesos básicos de operación y mantenimiento tanto preventivo como correctivo de cada uno de los componentes y determinación de los requisitos de seguridad e higiene que debe reunir la planta de tratamiento contribuyendo así a mejorar la calidad del agua para distribución a los usuarios.

Previamente a la operación de mantenimiento, es necesario controlar el caudal que ingresa a la planta, para lo cual el operador tendrá que cerrar o abrir las válvulas de paso de tal manera que el nivel del agua pase por los vertederos en la salida de agua de los sedimentadores y no sobrepase este nivel.

Se deberán realizar caracterizaciones físicas, químicas y microbiológicas, de conformidad con un plan de muestreo y análisis, cuya frecuencia e intensidad son función de los problemas particulares de calidad del agua de la planta de tratamiento, cumpliendo los requisitos de la norma I 108, segunda revisión.

El mantenimiento de todas las unidades iniciará con la inspección y luego con la limpieza de cada etapa. La inspección tiene por objeto evaluar si las condiciones determinadas en el diagnóstico inicial de la planta aún están presentes al momento de mantenimiento, para de esta manera actuar de forma programada.

Por facilidad en el presente trabajo, las labores de mantenimiento están enfocadas según el tipo de tratamiento y componentes de la planta, se encuentran detalladas en el ANEXO I.

➤ **Cambio y redistribución de material filtrante**

Dado que el funcionamiento apropiado de los Prefiltros depende en gran medida de la calidad de relleno y de su distribución, por lo que se debe colocar la grava de manera diferente a la existente para tener una mayor eficiencia y también se debe cambiar la misma debido a que la que se encuentra ya está saturada.

El relleno de grava debe ser colocada desde el mayor diámetro de 4 cm en el primer compartimiento, en el segundo compartimiento deberá ser la grava de un diámetro de 2 a 3 cm y en el tercer compartimiento la grava deberá tener un diámetro de 1 cm, con la finalidad de disminuir riesgo de taponamiento y así mejorar la eficiencia, teniendo en cuenta que la eficiencia remocional de los prefiltros depende del tamaño de la grava que forman el medio.

Cuadro 3.1 Especificaciones de la grava Propuesta

ESPECIFICACIONES DE LA GRAVA	
UBICACIÓN	TAMANO
Primer Compartimiento	4 cm
Segundo Compartimiento	2 - 3 cm
Tercer Compartimiento	1 cm

*Fuente: Autor

3.1.3.2.1 Los costos de la grava para la redistribución en los prefiltros

Tabla 3.14 Costo de grava

Descripción	Cantidad (m ³)	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Grava de 4 cm	177,17	\$5/m ³	885,85
Grava de 2-3 cm	174,86	\$5/m ³	874,30
Grava de 1 cm	88,00	\$5/m ³	440,00
Mano de Obra (4 trabajadores semanal)		110	440,00
COSTO TOTAL			2640,15

*Fuente: Autor

3.1.4 INVERSIÓN DE LA EMPRESA

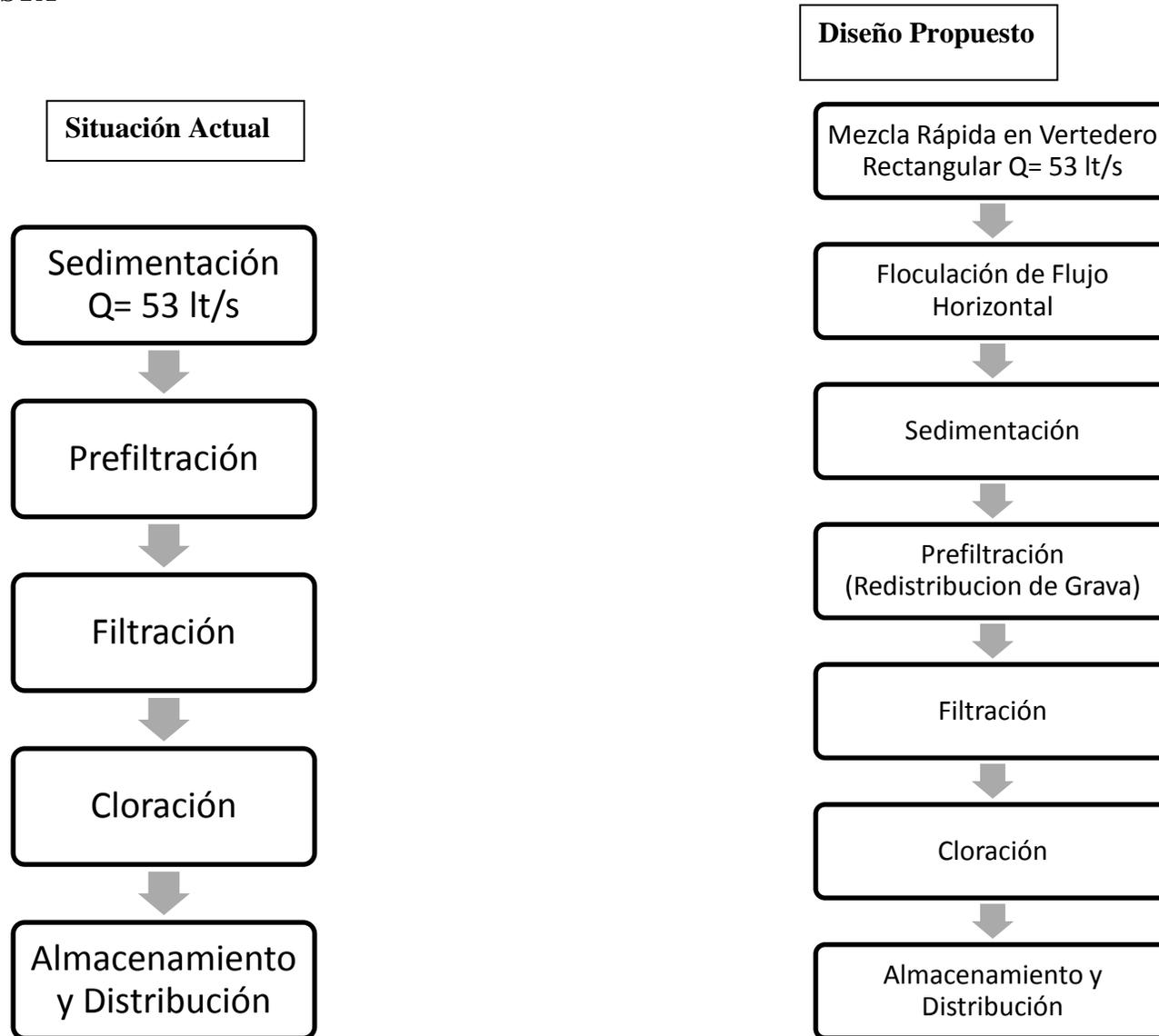
Tabla 3.15 Inversión de la Empresa

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
10	Tambores de PAC DE 250 kg	211,69	2116,90
1	Construcción del Mezclador de Vertedero Rectangular	14341,81	14341,81
1	Construcción de un Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal		
1	Bomba Dosificadora	1500	1500

1	Cambio de Grava	\$5/m ³	2640,15
		TOTAL	20598,86

*Fuente: Autor

3.1.5 PROPUESTA



CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En la planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Chambo se determinó que el parámetro determinante para realizar la optimización fue la turbiedad principalmente, este valor está fuera de norma en época de invierno, es decir, el valor de turbiedad estuvo por encima del límite permisible que es de 5 NTU, al momento de hacer las caracterizaciones físicas, químicas y microbiológicas tanto a la entrada y salida de cada etapa del proceso se pudo determinar que la etapa más deficiente son los sedimentadores presentando incluso eficiencias negativas de -78,25, -30,7 y de -3,19, esto se debe a que los sedimentadores están trabajando con mayor caudal para el cual fueron dimensionados, aumentando por ende la turbulencia en los mismos y removiendo las partículas ya sedimentadas, siendo esta etapa un punto determinante en el cuál se comenzaría la optimización. Por lo que para optimizar los sedimentadores se dosificará PAC según la prueba de jarras realizado, en donde se ve la dosis óptima que debe tener el coagulante sin que este produzca daño en la calidad estética como puede ser aumentando el color, y en la salud, los valores de las pruebas de jarras se pueden observar en las tablas 3.4 hasta la tabla 3.8.

Para dosificar el PAC se diseñó un mezclador hidráulico en Vertedero Rectangular, el mismo que tiene un ancho de 0,40 m, una altura de 1 m y un largo de 2,06 m, todas las especificaciones para que se dé una mezcla rápida con el químico están detalladas en la Tabla 3.2, el químico será dosificado por una bomba, el mezclador será construido de cemento.

Una vez que el agua con el químico salga del mezclador pasará inmediatamente a los floculadores hidráulicos de flujo horizontal, los mismos que serán de 11,85 m de largo interior, cada floculador tendrá 3 m de ancho, 36 baffles de cemento de 3 cm de espesor, cada baffle tendrá un ancho 2,50 m, serán construidos en cemento, en la base de los floculadores.

Con el diseño realizado tanto del mezclador en vertedero rectangular, de los floculadores hidráulicos de flujo horizontal y dosificando correctamente el PAC se aumentará la eficiencia de los sedimentadores en un 70 %.

Siguiendo con las siguientes etapas de la planta, tanto la prefiltración y filtración, con las caracterizaciones físicas, químicas y microbiológicas se puede observar que estas etapas son más eficientes, sin embargo, se debe hacer una redistribución de la grava como se indica en el Cuadro 3.1, ya que la distribución de la grava actual es incorrecta, se debe hacer mantenimiento de los sedimentadores, prefiltros, ya que como se pudo observar existe falta de limpieza, observando la presencia de algas en las paredes de los prefiltros, los filtros de igual manera se deberán lavar correctamente.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Mediante un diagnóstico técnico del funcionamiento actual de la planta, en donde se comprobó que los sedimentadores son la etapa deficiente a diferencia de las demás etapas de tratamiento, presentado eficiencias de un promedio de -1,57%. Esto se realizó en base a las turbiedades tanto de entrada y de salida de los sedimentadores, también se pudo determinar que la distribución de la grava en los prefiltros está en forma incorrecta y que cada una de las etapas de tratamiento presenta algas en su superficie por lo que requieren de limpieza más frecuente.

- Con la caracterización físico-química y microbiológica del agua que ingresa a la planta de tratamiento y del agua en la distribución, se observó que la turbiedad en época de invierno excede el límite permisible determinado en la NTE INEN 1 108: 2006, de igual forma se observó que los fosfatos sobrepasan los parámetros de calidad del agua.

- Se realizó prueba de jarras con el Policloruro de Aluminio ya que la dosificación del PAC ayudará a sedimentar efectivamente a los sólidos totales disueltos, aumentando por ende la eficiencia de los sedimentadores, y así se mejorará el sistema de tratamiento, la dosificación se realizará solamente cuando la turbiedad sobrepase los 5 NTU, es decir, su utilización será en los meses de invierno.

- Dentro de las alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable, se diseñó un mezclador en vertedero rectangular, también se diseñó dos flocladores hidráulicos de flujo horizontal. De esta manera se aumentará la eficiencia de los sedimentadores en un 70%. También la redistribución de la grava aumentará la eficiencia de los prefiltros en un 80% y la ejecución del plan de mantenimiento de cada una de las etapas disminuirá los fosfatos que exceden la norma.

- Con la caracterización al agua mediante métodos físico-químicos y microbiológicos una vez que se hizo la dosificación de PAC mediante prueba de jarras, se observó que una vez dosificado el químico los valores de turbiedad están dentro de norma, al igual que los demás parámetros.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Aplicar el presente estudio realizado para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua potable de la ciudad de Chambo, implementando los procesos de mezcla rápida y floculación, para de esta manera mejorar el abastecimiento de agua.
- Realizar caracterizaciones físicas, químicas y microbiológicas periódicamente del agua a la entrada a la planta de tratamiento con la finalidad de obtener una base de datos que nos permita identificar con facilidad los parámetros que se encuentren fuera de norma.
- El tanque de distribución de agua debe limpiarse una ó dos veces por año para prevenir los crecimientos biológicos dentro del tanque que pueden convertirse en una fuente de bacterias en el agua ya tratada. La limpieza se realizará de forma similar para las etapas de tratamiento como se determina detalladamente en el ANEXO I
- Aplicar las dosis de PAC para el proceso de mezclado cada vez que la turbiedad sobrepasa los 5 NTU de acuerdo a las tablas 3.4 a la Tabla 3.7.

CAPÍTULO VI

6 BIBLIOGRAFÍA

1. **ARBOLEDA, J.**, Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3a. ed., Bogotá – Colombia., Editorial Mc. Graw Hill., 2000., Pp., 1-7.
2. **BRIÉRE, F.**, Distribución de agua potable y colecta de desagües y de agua de lluvia., 1a. ed., Montreal – Canadá., Editorial École Polytechnique., 2005., Pp., 1- 6.
3. **ROMERO, J.**, Calidad del Agua., s. ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2009., Pp., 187-194.

4. **ROMERO, J.**, Potabilización del Agua., 3a. ed., Bogotá – Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 1999., Pp., 11 – 21.

5. **AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION.**, Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater., 19a. ed., New York - Estados Unidos, s. edt., 1995., Pp., 110-115

6. **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.**, Calidad y Tratamiento del Agua., 5a. ed., Madrid – España., Editorial McGraw-Hill., 2002., Pp., 47-131.

7. **PERÚ, CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS).**, “Control de la Calidad del agua”- Métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua”., 2ª. ed., Lima-Perú., CEPIS., 1996., Pp., 195-250.

- 8. PERÚ, CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA
SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS),**
“Programa regional de mejoramiento de la calidad del agua para
consumo humano”- Plantas modulares para tratamiento de agua.,
2a. ed., Lima-Perú., CEPIS., 1990., Pp., 133-197.
- 9. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS),** Guías para la
calidad del agua potable., 3a. ed., s.l., Volumen I., 2006., Pp.,
192-202

INTERNET

1. ECUADOR., INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

http://www.inen.gob.ec/index.php?option=com_content&vie

2013/08/05

2. EL AGUA

<http://www.deciencias.net/proyectos/4particulares/>

2013/09/25

3. FLOCULACIÓN

http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual2/ma2_cap2.pdf

2013/10/05

4. FLOCULADORES

http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual2/ma2_cap3.pdf

2013/10/10

5. MEZCLA RÁPIDA

http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1_tomo1

2013/10/07

6. STANDARD METHODS

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/008378/008378-02.pdf>

2013/10/07

ANEXOS

ANEXO I

AFORO

Aunque el aforo no es un proceso de tratamiento, el operador deberá hacer aforos para de esta manera controlar el caudal de cada proceso de tratamiento.

En la mayoría de los casos se considera que los registros de caudal deben tener un error menor del 2% para prevenir costos adicionales innecesarios de tratamiento. Esto se lo determinará con los vertederos ubicados a la salida de cada etapa de tratamiento.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS SEDIMENTADORES

En los sedimentadores se debe asegurar una distribución adecuada del caudal, minimizar los cambios bruscos de flujo, asegurar una carga de rebose apropiada sobre los vertederos efluentes y controlar las cargas superficiales y los tiempos de retención.

El crecimiento de algas y películas biológicas sobre las paredes del sedimentador también puede ser un problema en el proceso de sedimentación. Estos crecimientos pueden causar olores y sabores así como taponamiento en los filtros.

Dichos crecimientos se pueden controlar mediante la aplicación de una mezcla de 10 g de sulfato de cobre y 10 g de cal por litro de agua sobre las paredes, con cepillo, cuando los tanques están vacíos.

El ensayo más usado, para determinar la calidad del agua es el de turbiedad. Los registros de control deben incluir: cargas superficiales, cargas de rebose de los vertederos, turbiedad del agua afluyente y efluente de cada tanque de sedimentación, cantidad de lodo bombeado o extraído de cada tanque, tipos de problemas de operación encontrados y medidas correctivas adoptadas.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS PREFILTROS DE GRAVA

➤ Puesta en Marcha Inicial

Iniciar esta operación, lavando el material poroso mediante descargas hidráulicas sucesivas. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Llenar la unidad a una tasa de 0,5 a 1,0 m/h, hasta que el agua llegue al nivel del vertedero de efluentes.
- Evacuar el agua, abriendo la válvula o compuerta de desagüe inmediata a la entrada. Todos los sólidos que se encuentran en la superficie del material filtrante son enjuagados hacia el fondo del filtro. Las impurezas acumuladas alrededor del dren serán expulsadas fuera de la unidad.

Este procedimiento debe repetirse dos o tres veces, cambiando luego de punto de drenaje, hasta llegar al inmediato de la salida. Esta forma de limpieza evitará que los sólidos penetren en la grava fina, porque si ese fuese el caso, se elevaría la pérdida de carga inicial, acortándose las carreras.

Esta operación de lavado permitirá además comprobar el funcionamiento del drenaje.

➤ Operación Normal

La remoción microbiológica que produzca esta unidad, depende de la forma de operación y del objetivo que se persiga. Si el objetivo es atenuar turbiedades altas al ingreso del filtro lento, estará operando con tasas altas, carreras cortas y recibiendo frecuentes descargas hidráulicas, lo cual no favorece el desarrollo de una buena formación biológica. En este caso, la remoción de microorganismos no será apreciable.

Si la unidad opera a velocidades bajas, con turbiedades relativamente bajas, se producirán carreras largas y la eficiencia de remoción de microorganismos patógenos será alta. En este caso, la unidad puede ser usada como único tratamiento, para aguas relativamente poco contaminadas.

En cualquiera de los dos casos, la operación debe ser continua durante las 24 horas del día para favorecer el desarrollo de la capa biológica, siendo más importante esta condición cuando el prefiltro es el único tratamiento.

a. Medición del caudal: La tasa de flujo en la unidad depende básicamente del caudal de operación, por lo que variando este se modifica la primera. El caudal debe controlarse diariamente mediante el vertedero triangular y se ajusta con la válvula o compuerta al ingreso a la planta. La carrera¹⁹ concluye cuando el nivel del agua en la sección inicial del prefiltro alcanza el nivel superior de la grava.

b. Medición de la Pérdida de Carga: Su valor es tan pequeño que no es de mucha importancia en la operación del prefiltro. Sin embargo, la medición continua puede arrojar información valiosa sobre cambios en el lecho filtrante, por consiguiente es importante para detectar:

- El grado de colmatación de la unidad: Al acumularse los sólidos en suspensión en los poros de la grava, disminuye la porosidad, se eleva la velocidad del flujo y, consecuentemente, la resistencia en la unidad.
- El grado de regeneración del prefiltro, comparando las pérdidas de carga antes y después de la limpieza hidráulica de la unidad.
- La presencia de colmatación prematura en una sección del lecho filtrante, a través del aumento continuo de la pérdida de carga.

¹⁹ Intervalo entre dos lavados consecutivos de un filtro, siempre que la filtración sea continua en dicho intervalo. Generalmente se expresa en horas.

La resistencia total del filtro es un criterio determinante para decidir la limpieza hidráulica o manual. Si el nivel del agua se eleva rápidamente alcanzando, en un período muy corto, la superficie de la grava en la cámara de entrada, significa que es tiempo de hacer una limpieza manual.

➤ **Operación de Limpieza**

La eficiencia del filtro disminuye con la acumulación progresiva de partículas en la grava. En consecuencia, la remoción periódica de estas partículas acumuladas restaura la eficiencia del filtro y lo mantiene en buenas condiciones. La limpieza puede efectuarse en dos formas: hidráulica y manual.

➤ **Limpieza Hidráulica**

El movimiento descendente natural, de las partículas acumuladas, hacia el fondo del prefiltro, puede incrementarse mediante una descarga de la unidad. Las partículas retenidas son arrastradas cuando el nivel del agua en el filtro baja. Consecuentemente, la parte superior del lecho filtrante se regenera, mientras que una acumulación adicional de partículas ocurre en la parte baja del filtro. Estos sólidos pueden evacuarse a través del drenaje con una velocidad inicial de 1,0 a 1,5 m/min.

Es muy importante iniciar el proceso de limpieza por la sección de entrada del prefiltro, dado que la mayor parte de las partículas removidas se acumulan en esta zona.

Un drenaje inicial muy fuerte en la sección final del prefiltro, podría acarrear los sólidos acumulados en el resto de la unidad hacia este punto y aumentar el riesgo de colmatación de la grava fina.

Es importante la descarga completa del prefiltro, en cada sección de la unidad, porque expulsa las partículas acumuladas alrededor del punto de drenaje, si el agua de lavado sale

turbia, se vuelve a llenar la unidad, y se repite la descarga hasta que el agua salga limpia, se procede de modo similar con todos los demás puntos de drenaje.

Al llenar nuevamente el prefiltro, deberá tenerse cuidado de no arrastrar los sólidos acumulados en el fondo hacia la grava fina. Consecuentemente, deberán aplicarse velocidades de flujo moderadas, pudiendo aumentar esta velocidad a medida que avanza el proceso.

La frecuencia de limpieza del filtro depende mucho de las características del agua cruda, de la disposición y de la operación del prefiltro. La mayoría de las partículas en las aguas superficiales tropicales (89-90%) están compuestas generalmente de materia inorgánica estable. Como este tipo de material no modifica las propiedades químicas del agua que pasa a través del filtro, puede almacenarse en la unidad sin efectos negativos. Sin embargo, niveles elevados de materia orgánica requieren una limpieza frecuente y regular para evitar la descomposición de la materia orgánica en el filtro y prevenir el deterioro de la calidad del agua en cuanto a su sabor y olor.

Limpiezas hidráulicas regulares mejoran la eficiencia del prefiltro, reducen la compactación de los lodos y la frecuencia de la limpieza manual de la unidad.

Las limpiezas deben programarse de acuerdo a la fluctuación anual de la calidad del agua cruda, las cargas de turbiedad elevadas se tratan mejor con filtros relativamente limpios, con el fin de prevenir la rápida colmatación de la unidad. En consecuencia, se recomienda limpiar a fondo el prefiltro antes del inicio de la temporada de lluvia.

Puesto que la mayor parte de los sólidos en suspensión se retienen en la primera sección de la unidad, la carga en esta parte del prefiltro se convierte en un factor decisivo para la limpieza hidráulica.

La reducción de turbiedad en el prefiltro es una función del tamaño de la grava, de la velocidad de filtración y de la longitud del tramo.

➤ **Limpieza Manual**

Debe practicarse cuando los sólidos acumulados dentro de la grava, no pueden ya eliminarse mediante limpiezas hidráulicas. Con el tiempo, como consecuencia de la actividad biológica, una capa viscosa recubre la grava. Al principio, esta capa incrementa la eficiencia del prefiltro, pero posteriormente puede dificultar el flujo de las partículas removidas hacia la parte baja de la unidad. La cohesividad²⁰ del material acumulado entorpecerá igualmente la auto regeneración del prefiltro.

Además, el material depositado en el lecho filtrante cuando el prefiltro permanece sin agua mucho tiempo se seca y forma una película alrededor de cada grano de grava, acelerando la colmatación y reduciendo la carrera de trabajo. Por esta razón, el prefiltro nunca debe permanecer seco, a menos que se haya limpiado previamente. Este procedimiento de limpieza consiste básicamente en retirar la grava, lavarla y volverla a colocar dentro de la unidad. Se vacía el prefiltro y se remueve el material, comenzando generalmente por el más grueso, se lava y se coloca nuevamente en su sitio.

Cuando el prefiltro tiene tabiques estructuralmente resistentes, separando las secciones con grava de diferente tamaño, se puede proceder sección por sección, retirando, lavando y reinstalando el material.

Este procedimiento de limpieza consiste básicamente en retirar la grava, lavarla y volverla a colocar dentro de la unidad. Se vacía el prefiltro y se remueve el material, comenzando generalmente por el más grueso, se lava y se coloca nuevamente en su sitio.

²⁰ Atributo mecánico textural, relacionado con la cohesividad y la fuerza necesaria para romper un producto en migajas o piezas, incluye la propiedad de fracturabilidad, masticabilidad, y gomosidad.

Cuando el prefiltro tiene tabiques estructuralmente resistentes, separando las secciones con grava de diferente tamaño, se puede proceder sección por sección, retirando, lavando y reinstalando el material.

Lavado de la Grava: El mejor procedimiento para lavar la grava consiste en agitarla mecánicamente en un depósito de agua de lavado, para que la fricción mecánica remueva los sólidos adheridos a la superficie del material. Es posible ahorrar agua y lograr un lavado más eficiente, colocando pequeñas cantidades de material en el primer tanque y agitarlo con una pala, con el fin de remover las impurezas más gruesas, antes de transportar el material al segundo tanque, para su lavado final.

Reinstalación de la Grava: Durante el lavado, la agitación mecánica del material puede ocasionar el fraccionamiento o la mezcla de la grava de las diferentes secciones, siendo necesario realizar un nuevo cribado.

Para mantener una porosidad elevada del lecho filtrante, es fundamental un tamaño de grava en cada sección. De preferencia, el material deberá colocarse dentro del filtro justo después del lavado, para evitar la contaminación posterior.

El material desintegrado deberá reemplazarse para que el prefiltro alcance su nivel original. Por lo tanto, es importante mantener en la planta una cantidad adicional de material para este fin.

Organización: Para lograr una limpieza eficiente del prefiltro, la cual también debe incluir el escobillado de las paredes de la unidad y el reacomodo y sustitución de las losas del fondo del canal (en caso de rotura de estas) es importante contar con todo el material necesario para realizar las tareas indicadas. De otro modo, esta tarea se convertiría en un trabajo tedioso y pesado que tal vez nunca se lleva a cabo. La limpieza manual del prefiltro requiere de palas, cribas, dos o tres carretillas resistentes, algunas tablas y baldes. En

consecuencia, el mismo material empleado durante la construcción, una vez concluida esta etapa, debe mantenerse en la planta bajo el cuidado del operador local.

➤ **Mantenimiento**

Esta tarea no es muy existente, ya que la unidad no tiene piezas mecánicas. Sin embargo, es muy importante que desde el principio, la unidad se mantenga en buenas condiciones. En general, si el operador realiza en forma periódica las tareas de mantenimiento, puede evitarse la contratación de personal especial. Estas tareas se resumen a continuación:

- Mantenimiento del área de la planta de tratamiento (corte del césped, remoción de pequeños arbustos y árboles cuyas raíces pudieran dañar las estructuras, remoción de basuras).
- Reparación de grietas en las paredes de las diferentes estructuras y sustitución del recubrimiento descascarado.
- Aplicación de agentes anticorrosivos en las piezas metálicas expuestas (vertederos triangulares, tuberías, etc.)
- Revisión de las diferentes válvulas y sistemas de drenaje y, ocasionalmente, lubricación de las piezas móviles.
- Eliminación de malezas del material filtrante.
- Extracción de las natas flotantes en la superficie libre del agua.
- Lavado y expulsión del material grueso sedimentable.
- Control de piezas auxiliares y sustitución de piezas defectuosas (herramientas y equipo de pruebas).

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL FILTRO LENTO DE ARENA

Las tareas rutinarias de operación se limitan a ajustes y medición del caudal, monitoreo de la calidad del agua producida, limpieza de la superficie de la arena, lavado y almacenamiento de la arena y la reconstrucción del lecho filtrante.

La limpieza del lecho filtrante debe iniciarse cuando el nivel del agua en la caja del filtro llega al máximo y el agua empieza a rebosar por el aliviadero.

Para la limpieza de la superficie del lecho filtrante hay dos métodos manuales disponibles, que son aplicables al medio rural: "raspado" y "trillado".

El primero es el método convencional que consiste en retirar una capa superficial de alrededor de 2 cm de espesor, cada vez que la carrera del filtro ha llegado a su fin.

El método de "trillado" normalmente se puede aplicar a cada filtro varias veces al año, en la medida en que sea necesario, cada vez que el filtro alcance su valor límite de pérdida de carga.

Durante la etapa de trillado en húmedo se revuelven de 20 a 30 cms de profundidad de arena mediante una trilla o trinche, mientras el agua fluye sobre la superficie del filtro, llevándose la suciedad acumulada y el sedimento que ha sido desprendido y resuspendido por el trillado. En la segunda etapa se elimina la aplicación de agua, se continúa revolviendo la arena para aflojar la superficie del lecho y se prepara al filtro para entrar en servicio.

➤ **Lavado:**

En filtros lentos, al iniciar la operación se requiere un período de acondicionamiento del filtro, el cual puede tomar de 4 a 7 días, para formar una película biológica sobre la superficie de la arena. Durante dicho período de maduración el agua se desecha hasta que la calidad del efluente²¹ indique que se ha desarrollado sobre la arena la película necesaria. En general, la efectividad de la filtración es proporcional a la profundidad y finura de la arena e inversamente proporcional a la tasa de filtración.

²¹ Líquido que sale de un proceso de tratamiento

Cuando se alcanza la pérdida máxima permisible de carga en el filtro, se suspende la filtración y se procede a limpiarlo. Inicialmente se drena el filtro hasta un punto en que se pueda caminar sobre la arena. Comúnmente se raspan 1 - 2,5 cm de arena superficial; se procede a reemplazar arena cuando las limpiezas sucesivas reducen la profundidad del lecho a unos 60 cm.

La experiencia indica que si el filtro se lava solamente cuando se alcanza la pérdida de carga máxima disponible se puede presentar un incremento grande en la turbiedad del efluente antes de lavar el filtro. En forma similar, un filtro puede alcanzar la pérdida máxima de carga disponible, sin que haya fugas de turbiedad, pero creando condiciones de presión negativa en el lecho, lo cual no es deseable. Por otra parte, un filtro con agua cruda de muy baja turbiedad puede operar por períodos muy prolongados, hasta 100 horas o más, pero esto tampoco es deseable pues se puede presentar un aumento gradual de material orgánico y de bacterias dentro del lecho filtrante, con generación de sabores y olores en el agua tratada y crecimiento de algas y películas biológicas sobre las paredes de los filtros.

El operador debe tener especial cuidado con la operación de lavado de los filtros con el fin de obtener una limpieza efectiva del medio y evitar los problemas de formación de bolas de barro, consolidación del lecho filtrante, desplazamiento de la grava de soporte, entrapamiento de aire o pérdidas de medio filtrante.

El problema de formación de pelotas de barro está asociado con la aglomeración de flóculo y material no removido durante el lavado. Este material, adherido a los granos del medio filtrante, hace que se formen bolas de barro cada vez más grandes. A medida que aumentan de peso se profundizan más dentro del filtro, durante el lavado, taponando las áreas donde se sedimentan y causando tasas de filtración y de lavado desiguales sobre el área filtrante. Cuando el problema es grave se observan grietas en la superficie del lecho, separación del medio cerca a las paredes del filtro y presencia de bolas de barro sobre la superficie.

Un lecho en buen estado, con una distribución uniforme de agua de lavado, debe aparecer muy uniforme con el medio moviéndose lateralmente sobre la superficie.

Cuando un filtro está limpio, existe una pérdida de carga pequeña en la arena, la grava y el sistema de drenaje, del orden de 15 a 30 cm.

En filtros sin lavado superficial se recomienda usar un lavado de dos etapas. En la primera, la tasa de lavado es apenas la necesaria para expandir la porción superior del lecho (tasas alrededor de los 7 mm/s con el objeto de lavar los granos del medio filtrante superior). Después de lavar la parte superficial se procede al lavado ascensional con la expansión de todo el lecho en un 20 a 30%.

ANEXO II
Norma NTE INEN 1 108:2006



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 108:2006
Segunda revisión

AGUA POTABLE. REQUISITOS.

Primera Edición

WATER DRINKING. SPECIFICATIONS.

First Edition

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.
AL 01.05-401
CDU: 644.51
CIIU: 4200
ICS: 13.080.20

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	AGUA POTABLE. REQUISITOS.	NTE INEN 1 108:2006 Segunda revisión 2006-03
---------------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------------------------

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

3.2 **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.

3.3 **Límite máximo permisible.** 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.

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

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

3.6 **µg/l.** (microgramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

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

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

3.9 **Pesticidas.** Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repelar o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, 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.

3.10 **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.

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

3.12 **Radio nucleído.** Nucleídos radiactivos; nucleídos: conjunto de átomos que tienen núcleos con igual número atómico Z y mismo A.

3.13 **MBAS, ABS .** Sustancias activas al azul de metileno; Alquil Benceno Sulfonato.

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

3.15 **Dureza total.** Es la cantidad de calcio y magnesio presente en el agua y expresado como carbonato de calcio.

(Continúa)

3.16 Sólidos totales disueltos. Fracción filtrable de los sólidos que corresponde a los sólidos coloidales y disueltos.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos, no deberá ser superior a 100 UFC/ml

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos Específicos

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

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo Permisible
Características físicas		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	no objetable
Sabor	--	no objetable
pH	--	6,5 - 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
Inorgánicos		
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 - 1,5
Cloruros, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,2
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	300
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	1,5
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	10
Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0,0
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	mg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200
Vanadio, V	mg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
Radiactivos		
Radiación total α **	Bq/l	0,1
Radiación total β ***	Bq/l	1,0

* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁸Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁸Pu

*** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁶Sr, ⁹⁰Sr, ¹³²I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra

Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2 *
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2 *
Criptosporidium, número de quistes/100 litros	ausencia
Giardia Lambia, número de quistes/100 litros	ausencia

* < 2 significa que en el ensayo del NMP utilizando una serie de 5 tubos por dilución, ninguno es positivo

- (1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

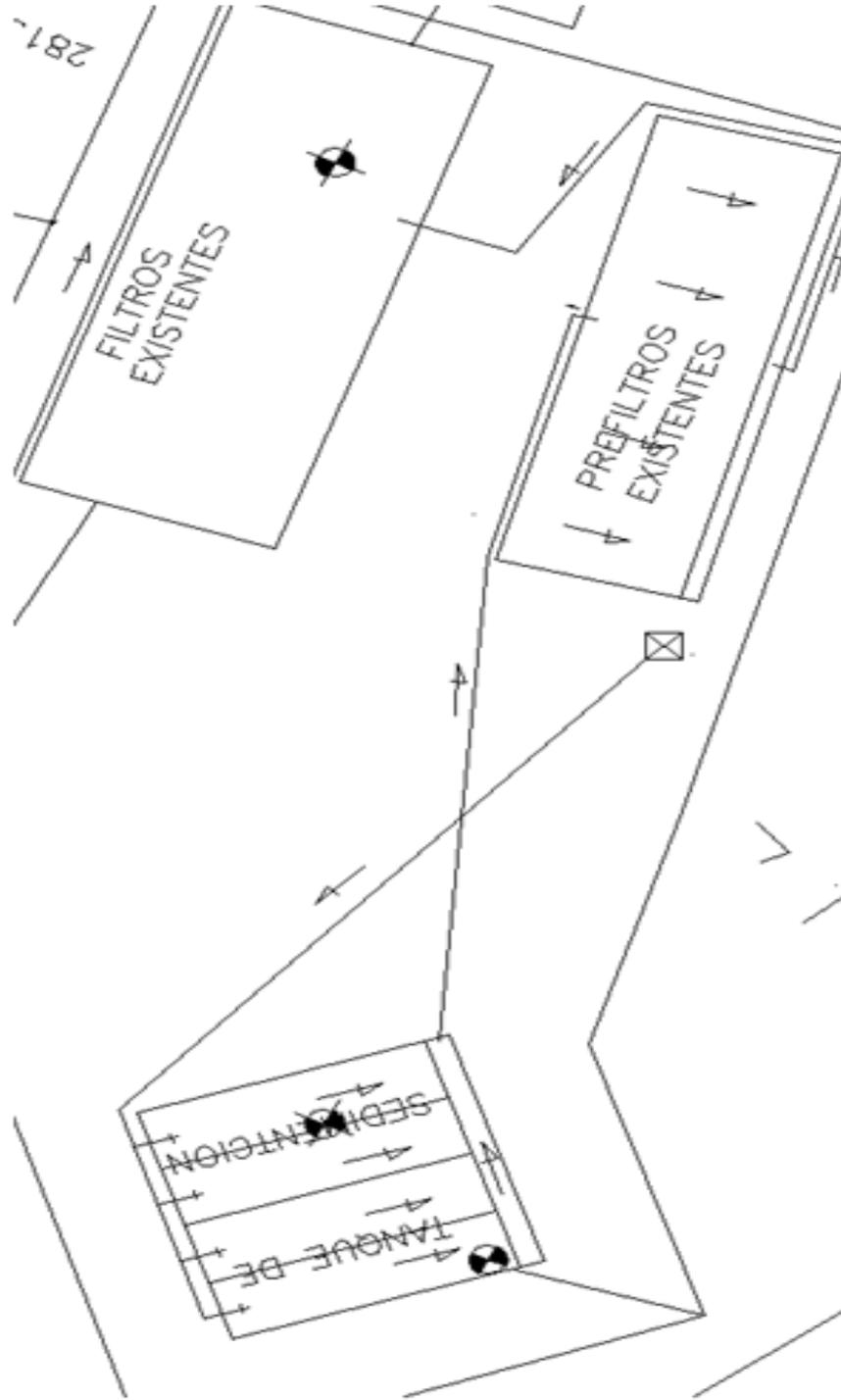
6.1.1 El muestreo para el análisis bacteriológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods)

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

7. MÉTODOS DE ENSAYO

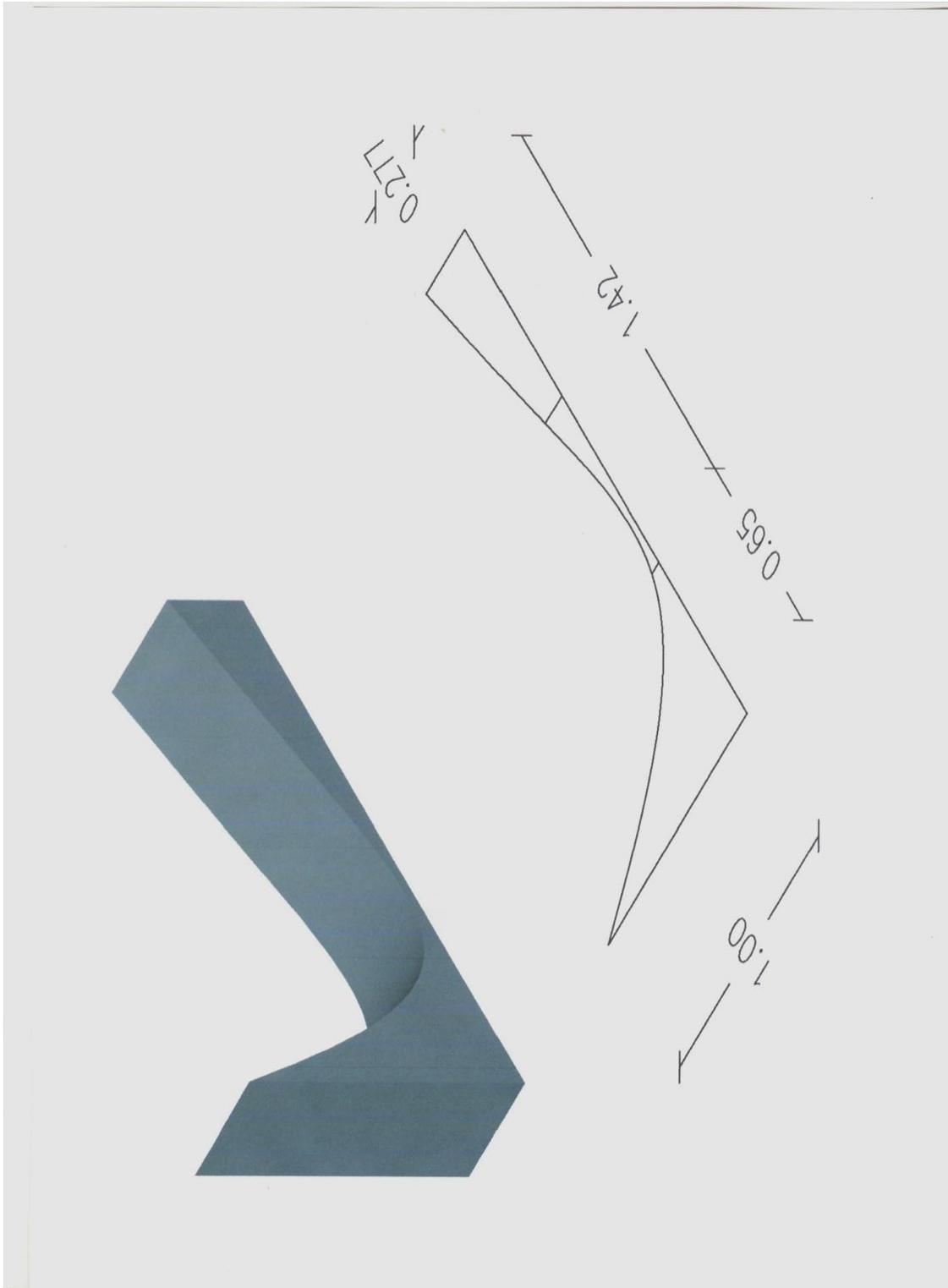
7.1 Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición.

ANEXO III
PLANOS PLANTA ACTUAL

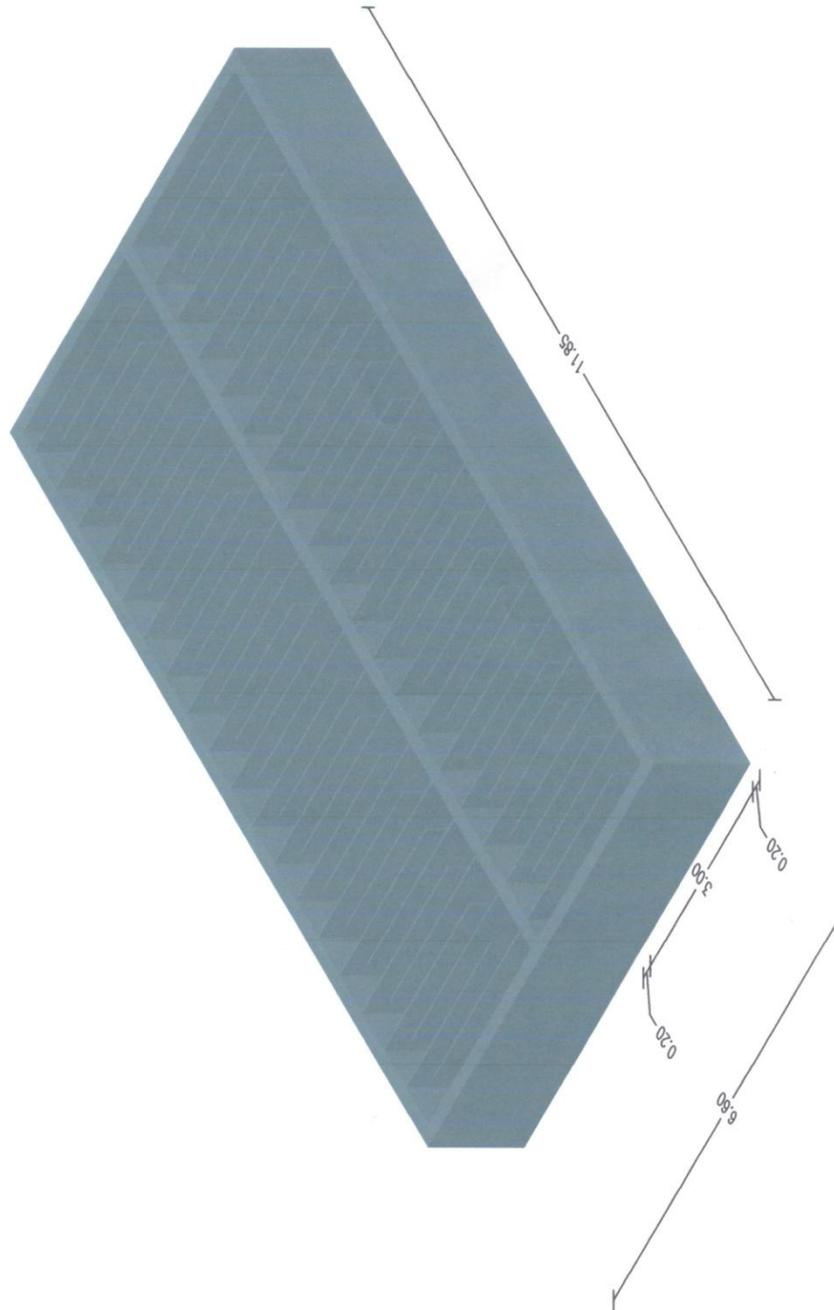


ANEXO IV
PLANOS PLANTA DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO

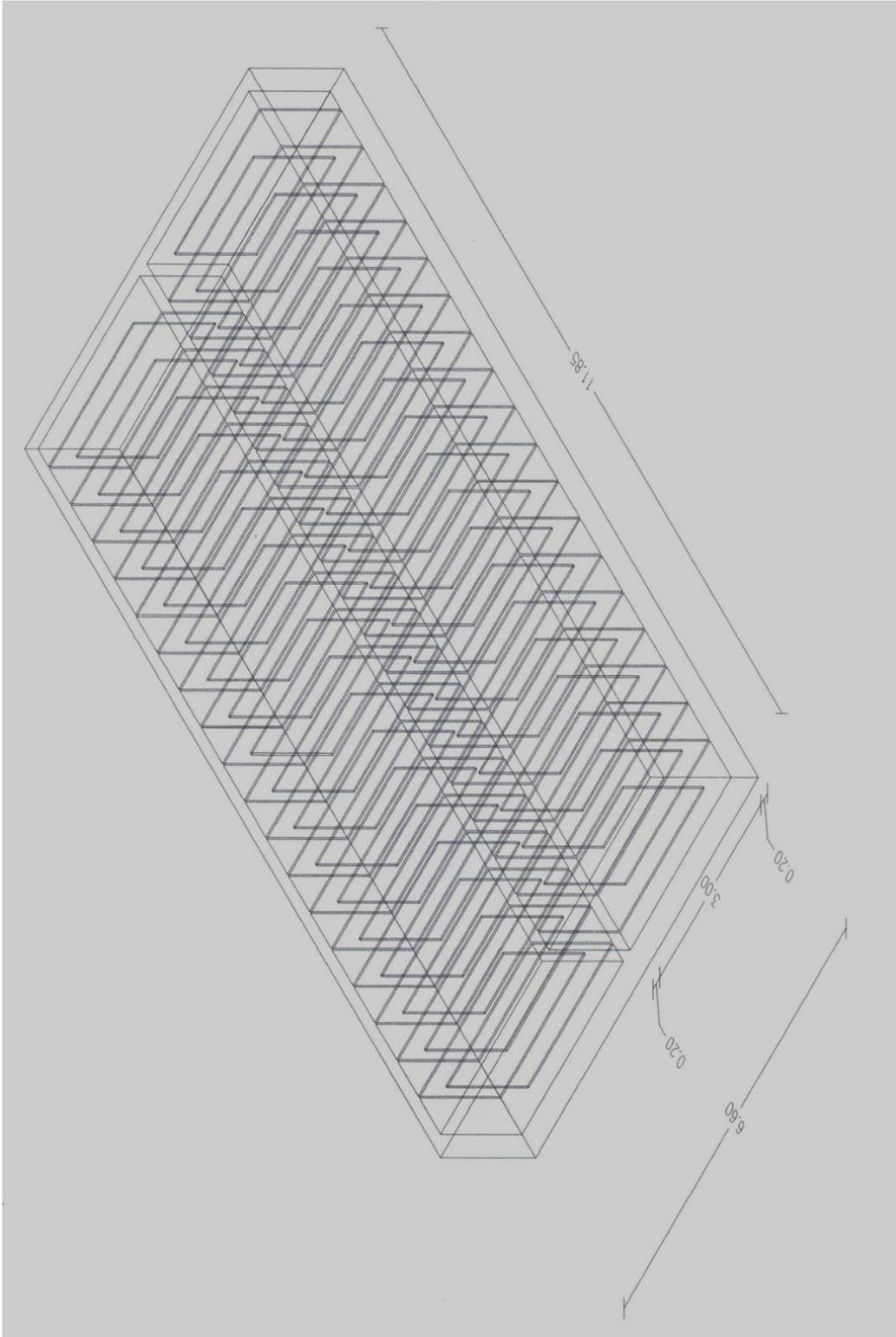
ANEXO V
PLANOS MEZCLADOR EN VERTEDERO RECTANGULAR



ANEXO VI
PLANOS FLOCULADORES DE FLUJO HORIZONTAL



ANEXO VII
PLANOS FLOCULADORES DE FLUJO HORIZONTAL



ANEXO IX

ANÁLISIS DEL AGUA A LA ENTRADA Y SALIDA DE LOS SEDIMENTADORES



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



N° SE: 067 – 13



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE:	Srta. Johana Uvidia	INFORME N°:	067 – 13
EMPRESA:	Tesis ESPOCH	N° SE:	067 – 13
DIRECCIÓN:	Veloz 39-60 y Carlos Zambrano	FECHA DE RECEPCIÓN:	30 – 10 – 13
TELÉFONO:	0998974902	FECHA DE INFORME:	01 – 11 – 13
NÚMERO DE MUESTRAS:	2	TIPO DE MUESTRA:	
IDENTIFICACIÓN:	MA - 225-13 1A MA - 226-13 2A		Agua Entrada Sedimentadores Agua Salida Sedimentadores

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 225-13

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	6,89	+/- 0,08	30-10-13
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	151,6	+/- 8 %	30-10-13
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	10,56	N/A	30-10-13
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	80	N/A	30-10-13
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	208	+/- 6 %	30-10-13
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	41	N/A	30-10-13
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO ₄ -E	10	N/A	30-10-13
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500-P-E	7,45	N/A	30-10-13
* Nitratos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 NO ₃ - E mod.	0,07	N/A	30-10-13
* Nitritos	mg/l	STANDARD METHODS 4500-NO ₂ - B	0,03	N/A	30-10-13
* Dureza Total	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2340 - C	80		30-10-13
* Calcio	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Ca - 3111B	25,6	N/A	30-10-13
* Magnesio	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Mg - 3111B	3,9	N/A	30-10-13
* Hierro	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Fe - 3111B	0,88	N/A	30-10-13
* Cobre	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Cu - 3111B	0,41	N/A	30-10-13

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 - Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 2

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



N° SE: 067 - 13



* Zinc	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Zn - 3111B	0,15	N/A	30-10-13
* Alcalinidad	mg CaCO3/l	STANDARD METHODS 2320 - B	92	N/A	30-10-13

MA - 226-13

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	6,72	+/- 0,08	30-10-13
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	160,7	+/- 8 %	30-10-13
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	8,89	N/A	30-10-13
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	82	N/A	30-10-13
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	246	+/- 6 %	30-10-13
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	45	N/A	30-10-13
* Dureza Total	mg CaCO3/l	STANDARD METHODS 2340 - C	82	N/A	30-10-13

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Rubén Lara
Dr. Juan Carlos Lara R.
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.



- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.